



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FISICAS Y MATEMATICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL

**“ESTUDIO EXPERIMENTAL DE SOLUCIONES DE REPARACION Y
REFUERZO PARA MUROS DE ALBAÑILERIA DE LADRILLOS
CONFINADA”**

MEMORIA PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO CIVIL

LEONARDO ANTONIO SEPULVEDA CASTILLO

PROFESOR GUÍA:
FEDERICO DELFÍN ARIZTÍA

MIEMBROS DE LA COMISION:
AUGUSTO HOLMBERG FUENZALIDA
VICTOR AGUILA OLAVE

SANTIAGO DE CHILE
2016

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR AL
TITULO DE: Ingeniero Civil
POR: Leonardo Sepúlveda Castillo
FECHA: 05/10/2016
PROFESOR GUIA: Federico Delfín Ariztía

ESTUDIO EXPERIMENTAL DE SOLUCIONES DE REPARACION Y REFUERZO PARA MUROS DE ALBAÑILERÍA DE LADRILLOS CONFINADA

En la presente Memoria se presenta el desarrollo y resultados de un estudio experimental de técnicas de reparación y refuerzo estructural de muros de albañilería de ladrillos confinada, dañados por efecto de sismo. La fase experimental del estudio se desarrolló en Idiem en los años 1989-90, dando origen a varias publicaciones y sirviendo sus resultados como soporte para la actualización de la Norma Chilena Oficial para albañilería confinada, NCh2123.Of1997 modificada en 2003, vigente en la actualidad.

Dentro de las tipologías de muros de albañilería, el estudio se enfoca en la albañilería de ladrillos confinada, que representa al tipo más usado en Chile. Se construyeron dos series, de 6 muros cada una, de albañilería confinada de 2.4 m x 2.4 m; una serie con ladrillos hechos a máquina del tipo rejilla con huecos y la otra, con ladrillos hechos a mano, del tipo chonchón. Los muros se someten a un primer ensayo de resistencia en condición sana, siendo luego reparados y sometidos a un segundo ensayo.

El ensayo de los muros tanto en condición sana como reparada, se realiza aplicando una carga vertical constante y, simultáneamente, una carga horizontal alternada a la altura de la cadena, que simula las sollicitaciones de tipo sísmico en un edificio de varios pisos. La carga horizontal se incrementa gradualmente hasta sobrepasar los niveles típicos de falla estructural y en el caso de los muros sanos, el ensayo se detiene cuando se ha alcanzado un nivel de daño preestablecido en el programa de reparaciones.

Las soluciones que se han adoptado para la reparación de los muros, incluyen a aquellas que han presentado los mejores índices de recuperación de rigidez y resistencia en probetas a escala reducida. Estas consisten en la proyección de mortero de cemento contra la superficie de albañilería, realizada por medios neumáticos (shotcrete, mezcla seca) y en forma manual (estuco), incorporando una malla de acero de refuerzo electrosoldada, anclada a la albañilería. Este enchape se aplica por una o por ambas caras. Además, se analiza el reemplazo del paño de albañilería como técnica de reparación de uno de los muros construidos con ladrillo hecho a mano, solución que se complementa con la colocación de un refuerzo mínimo de acero entre hiladas del paño reparado.

Las 3 técnicas usadas como reparación muestran un desempeño eficiente, con índices de recuperación significativos de los parámetros de resistencia y rigidez. En el caso de la reparación con enchape, tanto por una como por ambas caras, el aumento de resistencia es tal que la falla del muro ya no se asocia a corte en el paño, como en el ensayo de muro sano, sino que al sobre-esfuerzo axial de los pilares por efecto de rotación global. Por su parte, el reemplazo del paño de albañilería, con la colaboración del refuerzo horizontal, otorga al muro reparado una significativa capacidad de respuesta posterior al agrietamiento, que anula el efecto de falla frágil de la albañilería.

A ANA Y EDUARDO, MIS PADRES
A LEONARDO Y JOAQUIN, MIS HIJOS

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mis sinceros agradecimientos a las siguientes personas, por su apoyo y colaboración para el desarrollo y para la conclusión de este trabajo:

Al señor Federico Delfín, profesor guía de esta memoria, por su valioso aporte de conocimientos y experiencia, por su permanente disposición e inagotable paciencia, sin los cuales difícilmente hubiese logrado alcanzar esta meta.

Al señor Maximiliano Astroza, por el papel clave que tuvo desde el día 1 y durante la mayor parte del desarrollo de este trabajo, guiando su ejecución y aportando conocimientos de primera línea en el campo de los muros de albañilería.

Al señor Ernesto Gómez Gazzano (QEPD), Ingeniero Jefe de la sección IEE de Idiem durante el periodo de ejecución de este trabajo experimental.

Al señor Víctor Águila, Ingeniero Especialista de la división Estructuras y Materiales de Idiem, por su permanente disposición y apoyo.

A mi amigo Claudio Descouvieres, por su importante acicate en la recta final.

Y a todas aquellas personas que, con valiosos consejos, con aportes y paciencia, contribuyeron al término de mi Memoria de Titulación.

TABLA DE CONTENIDO

	PAG.	
1	INTRODUCCION	1
2	ANTECEDENTES	4
2.1	INTRODUCCION	4
2.2	CARACTERIZACION DE DAÑOS EN ALBAÑILERIA	4
2.2.1	Albañilería Simple	4
2.2.2	Albañilería Confinada	4
2.2.3	Albañilería Armada	5
2.3	METODOS DE REPARACION Y DE REFUERZO.	5
2.3.1	Refuerzos de Hormigón	5
2.3.2	Sellado de Grietas y Fisuras	5
2.3.3	Incorporación de Elementos de Refuerzo	6
2.3.4	Mortero Proyectado	6
2.3.5	Barras de Acero Postensadas	6
2.4	ANTECEDENTES SOBRE ESTUDIOS EXPERIMENTALES DE REPARACIONES EN ALBAÑILERIA	7
2.4.1	Introducción	7
2.4.2	Estudio de Reparaciones Realizado por E. Gómez y J. Olivares en la Universidad de Chile (Olivares y Gómez, 1977)	9
2.4.2.1	Descripción del Trabajo	9
2.4.2.2	Probetas	9
2.4.2.3	Metodología de Reparaciones	9
2.4.2.4	Forma de Ensayo	10
2.4.2.5	Resultados	11
2.4.2.6	Conclusiones	12
2.4.3	Estudio de Reparaciones Realizado por Víctor Águila en la Universidad de Chile (1988)	13
2.4.3.1	Descripción del Trabajo	13
2.4.3.2	Probetas	13
2.4.3.3	Metodología de Reparaciones	13
2.4.3.4	Forma del Ensayo	16
2.4.3.5	Resultados	17
2.4.3.6	Conclusiones	20
2.5	ANTECEDENTES SOBRE LA APLICACION DE SHOTCRETE EN REPARACIONES.	21
2.5.1	Estudios Experimentales Sobre la Aplicación de Enchape Armado	21
3	PLANTEAMIENTO DEL TRABAJO EXPERIMENTAL	28
3.1	METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	28
3.1.1	Elección del Tipo de Ensayo	28
3.1.2	Descripción de los Muros	28
3.1.3	Nivel de la Carga Vertical	32
3.1.4	Procedimiento de Ensayo	33
3.1.5	Niveles de Desplazamiento	34
3.1.6	Niveles de Daño en Muros Originales	35
3.1.7	Instrumentación	35

3.1.8	Registro de Cargas y Deformaciones	36
3.1.9	Determinación de Propiedades de los Materiales	37
3.1.10	Dispositivo de Ensayo	38
3.2	TÉCNICAS DE REPARACION Y REFUERZO	40
3.2.1	Elección del Tipo de Reparación	40
3.2.2	Recubrimiento con Hormigón Proyectado	40
3.2.3	Recubrimientos con Mortero Colocado a Mano Reforzado con Malla	43
3.2.4	Reemplazo del Paño de Albañilería	45
3.2.5	Técnicas de Reparación Local	45
3.3	PROGRAMA DE ENSAYOS Y REPARACIONES	47
4	MATERIALES DE CONSTRUCCION Y REPARACION	48
4.1	COMPONENTES DE LOS MORTEROS Y HORMIGONES	48
4.1.1	Cemento	48
4.1.2	Cal	49
4.1.3	Arena	50
4.2	MORTERO DE JUNTA	52
4.3	ALBAÑILERIA	53
4.3.1	Ladrillos	53
4.3.2	Albañilería	55
4.3.2.1	Ensaye de Prismas	55
4.3.2.2	Ensayes de Muretes	56
4.4	HORMIGONES	56
4.5	ACERO DE REFUERZO	58
4.6	MATERIALES PARA REFRENTADO	58
4.6.1	Refrentado de Azufre	58
4.6.2	Refrentado de Mortero	58
4.7	MATERIALES PARA REPARACIÓN	58
4.7.1	Materiales para Reparación Mediante Shotcrete	58
4.7.2	Materiales para la Reparación Mediante Mortero Armado	60
4.7.3	Materiales para Reparación Mediante Reemplazo de Paño de Albañilería	60
4.7.4	Materiales para Reparaciones Locales	60
4.7.5	Aspectos de las Reparaciones Realizadas	62
5	RESULTADOS EXPERIMENTALES Y COMPORTAMIENTO DE LOS MUROS	67
5.1	INTRODUCCION	67
5.2	DEFINICIONES	67
5.3	RESULTADOS DE LOS ENSAYOS Y COMPORTAMIENTO DE MUROS REPARADOS	69
5.3.1	Muro A1-1	71
5.3.1.1	RESUMEN DE RESULTADOS EXPERIMENTALES	71
5.3.1.2	GRAFICOS DE HISTERESIS	72
5.3.1.3	CARGAS MAXIMAS	73
5.3.1.4	EVOLUCION DE RIGIDEZ SECANTE	74
5.3.1.5	ESQUEMAS DE AGRIETAMIENTO	75
5.3.1.6	FOTOGRAFIAS	77
5.3.2	Muro A1-2	79

5.3.2.1	RESUMEN DE RESULTADOS EXPERIMENTALES	79
5.3.2.2	GRAFICOS DE HISTERESIS	80
5.3.2.3	CARGAS MAXIMAS	81
5.3.2.4	EVOLUCION DE RIGIDEZ SECANTE	81
5.3.2.5	ESQUEMAS DE AGRIETAMIENTO	82
5.3.2.6	FOTOGRAFIAS	84
5.3.3	Muro A1-3	85
5.3.3.1	RESUMEN DE RESULTADOS EXPERIMENTALES	85
5.3.3.2	GRAFICOS DE HISTERESIS	86
5.3.3.3	cARGAS MAXIMAS	87
5.3.3.4	EVOLUCION DE RIGIDEZ SECANTE	87
5.3.3.5	ESQUEMAS DE AGRIETAMIENTO	88
5.3.4	Muro A1-4	90
5.3.4.1	RESUMEN DE RESULTADOS EXPERIMENTALES	90
5.3.4.2	GRAFICOS DE HISTERESIS	91
5.3.4.3	CARGAS MAXIMAS	92
5.3.4.4	EVOLUCION DE RIGIDEZ SECANTE	92
5.3.4.5	ESQUEMAS DE AGRIETAMIENTO	94
5.3.5	Muro A1-5	96
5.3.5.1	RESUMEN DE RESULTADOS EXPERIMENTALES	96
5.3.5.2	GRAFICOS DE HISTERESIS	97
5.3.5.3	CARGAS MAXIMAS	98
5.3.5.4	EVOLUCION DE RIGIDEZ SECANTE	98
5.3.5.5	ESQUEMAS DE AGRIETAMIENTO	100
5.3.6	Muro A2	101
5.3.6.1	RESUMEN DE RESULTADOS EXPERIMENTALES	101
5.3.6.2	GRAFICOS DE HISTERESIS	102
5.3.6.3	CARGAS MAXIMAS	103
5.3.6.4	EVOLUCION DE RIGIDEZ SECANTE	103
5.3.6.5	ESQUEMAS DE AGRIETAMIENTO	105
5.3.7	Muro B1-1	106
5.3.7.1	RESUMEN DE RESULTADOS EXPERIMENTALES	106
5.3.7.2	GRAFICOS DE HISTERESIS	107
5.3.7.3	CARGAS MAXIMAS	108
5.3.7.4	EVOLUCION DE RIGIDEZ SECANTE	108
5.3.7.5	ESQUEMAS DE AGRIETAMIENTO	110
5.3.7.6	FOTOGRAFIAS	112
5.3.8	Muro B1-2	113
5.3.8.1	RESUMEN DE RESULTADOS EXPERIMENTALES	113
5.3.8.2	GRAFICOS DE HISTERESIS	114
5.3.8.3	CARGAS MAXIMAS	115
5.3.8.4	EVOLUCION DE RIGIDEZ SECANTE	116
5.3.8.5	ESQUEMAS DE AGRIETAMIENTO	117
5.3.8.6	FOTOGRAFIAS	118
5.3.9	Muro B1-3	120
5.3.9.1	RESUMEN DE RESULTADOS EXPERIMENTALES	120
5.3.9.2	GRAFICOS DE HISTERESIS	121
5.3.9.3	CARGAS MAXIMAS	122

5.3.9.4	EVOLUCION DE RIGIDEZ SECANTE	123
5.3.9.5	ESQUEMAS DE AGRIETAMIENTO	124
5.3.10	Muro B1-4	126
5.3.10.1	RESUMEN DE RESULTADOS EXPERIMENTALES	126
5.3.10.2	GRAFICOS DE HISTERESIS	127
5.3.10.3	CARGAS MAXIMAS	128
5.3.10.4	EVOLUCION DE RIGIDEZ SECANTE	128
5.3.10.5	ESQUEMAS DE AGRIETAMIENTO	130
5.3.11	Muro B1-5	132
5.3.11.1	RESUMEN DE RESULTADOS EXPERIMENTALES	132
5.3.11.2	GRAFICOS DE HISTERESIS	133
5.3.11.3	CARGAS MAXIMAS	134
5.3.11.4	EVOLUCION DE RIGIDEZ SECANTE	135
5.3.11.5	ESQUEMAS DE AGRIETAMIENTO	136
5.3.12	Muro B2	137
5.3.12.1	RESUMEN DE RESULTADOS EXPERIMENTALES	137
5.3.12.2	GRAFICOS DE HISTERESIS	138
5.3.12.3	CARGAS MAXIMAS	139
5.3.12.4	EVOLUCION DE RIGIDEZ SECANTE	140
5.3.12.5	ESQUEMAS DE AGRIETAMIENTO	141
5.3.12.6	FOTOGRAFIAS	142
6	ANALISIS DE RESULTADOS	144
6.1	INTRODUCCION	144
6.2	EVALUACION DEL COMPORTAMIENTO DE LOS MUROS	145
6.2.1	Primera Grieta de Flexión	145
6.2.2	Carga de Primera Grieta de Corte	146
6.2.3	Agrietamiento Diagonal y Cargas Máximas	147
6.2.3.1	Agrietamiento Diagonal	147
6.2.3.2	Análisis de las Cargas Máximas	151
6.2.3.3	Resistencia Nominal de Muros Reparados con Enchape Armado	169
6.2.4	Rigidez Lateral	172
6.2.4.1	Valores Experimentales de la Rigidez Lateral	173
6.2.5	Efecto del Tipo de Reparación	181
6.2.5.1	Enchape Armado	181
6.2.5.2	Reemplazo del Paño de Albañilería	182
6.2.5.3	Reparaciones Locales	182
6.2.5.4	Efecto de la Densidad de ANclajes de la Armadura	183
7	CONCLUSION	185
	BIBLIOGRAFIA	188

1 INTRODUCCION

El cumplimiento de las recomendaciones de diseño permite en general reducir los riesgos de agrietamiento de las construcciones frente a sismos, pero no resulta razonable esperar que éstos no ocurran para sismos severos; más bien se busca que la falla sea del tipo local, en el contexto de la edificación, y susceptible de ser reparada mediante soluciones adecuadas a las prácticas de construcción.

Teniendo en cuenta lo anterior y la necesidad de estar preparados para recuperar estructuras dañadas, aplicando métodos de reparación que restituyan la resistencia y rigidez, que mejoren la ductilidad, y que a la vez sean ventajosos desde un punto de vista económico y práctico, se ha realizado un estudio experimental de soluciones de reparación para muros de albañilería de ladrillos confinada, con diferentes niveles de daño, cuyo desarrollo y resultados se entregan en la presente Memoria de Título.

La fase experimental de este trabajo tuvo lugar en los años 1989-90, siendo continuación de investigaciones precedentes realizadas en el IDIEM a partir de 1985, que comenzaron con la recopilación de las soluciones de reparación ejecutadas a raíz del sismo de marzo de ese año.

Si bien un muro de albañilería confinada es un sistema compuesto y son varios los elementos que la conforman además de la albañilería, el enfoque del presente estudio se centra principalmente en el comportamiento de las técnicas de reparación de daños, aplicadas sobre el paño de albañilería. Con ese propósito, el diseño estructural de los muros se establece de tal forma que las fallas inducidas como producto de las cargas aplicadas en los ensayos, se encuentren circunscritas mayoritariamente al paño de albañilería y, sean representativas de un patrón de daño causado por esfuerzo de corte, característico de un sismo.

En esta investigación se ha escogido dos series de muros de albañilería confinada, sistema representativo de los tipos más usados en Chile. Cada una de estas dos series está conformada por 6 muros de 2,4 m x 2,4 m de albañilería confinada de ladrillo hecho a máquina del tipo Rejilla con Huecos, y 6 muros de 2,4 m x 2,4 m, de albañilería confinada de ladrillo artesanal, del tipo Chonchón o Fiscal. Estos muros están conformados por la sección de albañilería propiamente tal, de 2 m de ancho y 2,2 m de alto, y los pilares y cadenas de hormigón armado que los confinan.

De estos muros, 5 de cada serie se someten a un ensayo previo, aplicándoles una carga vertical constante, que representa a la descarga gravitacional que en una situación real estaría soportando un muro resistente de un edificio típico de varios pisos, y una carga horizontal alternada a nivel de la cadena, que actúa en el plano del muro y que simula las solicitaciones horizontales de tipo sísmico.

Luego de este primer ensayo, los 10 muros se sometieron a un tratamiento de reparación y se volvieron a ensayar frente al mismo tipo de solicitaciones a las que se habían sometido en el ensayo previo. Los dos muros restantes, que no fueron ensayados previamente, se consideran como muros patrón; usando una técnica similar a la usada en la reparación de los muros ensayados, estos muros son reforzados y en esa condición, sometidos al mismo tipo de ensayo.

Las soluciones de reparación adoptadas son aquellas que han presentado los mejores índices de recuperación de rigidez y resistencia en probetas a escala reducida (Águila, 1988). Estas consisten en la proyección de mortero de cemento contra la superficie de albañilería, realizada por medios

neumáticos (shotcrete, mezcla seca) y en forma manual (estuco), incorporando una malla de acero de refuerzo electrosoldada, anclada a la albañilería, sin comprometer a los elementos de confinamiento.

También se analiza el reemplazo total del paño de albañilería como técnica de reparación de uno de los muros construidos con ladrillo hecho a mano, al que se le ha inducido previamente un nivel de daño severo. En este caso sólo se conservan los pilares y cadena de hormigón armado.

Paralelamente, se estudia el efecto de otras variables tales como densidad de anclajes de la malla de refuerzo, tratamiento de la superficie de adherencia del mortero, y el nivel de la carga vertical aplicada al muro.

Parte importante del estudio es el diseño del dispositivo de ensayo utilizado, el cual es capaz de aplicar carga vertical y horizontal mediante actuadores hidráulicos, en forma independiente. La carga horizontal se aplica por medio de dos gatos hidráulicos de 50 ton de capacidad, en tanto que la carga vertical se aplica con un tercer gato hidráulico a través de un sistema de vigas rotuladas y tensores que permite que los muros desarrollen sin restricción, desplazamientos y giros en su extremo superior.

Los desplazamientos y deformaciones se miden mediante un sistema computarizado de recopilación de datos, compuesto por sensores deformímetros de inducción (LVDT), una unidad excitadora de los sensores, una unidad captadora de señales (ACUREX) la cual está capacitada para transmitir estas señales a un computador, y el computador propiamente tal, que permite el almacenamiento de la información recopilada en un medio magnético. Durante el ensayo, el desplazamiento horizontal se mide a nivel superior e inferior del muro, y en el tercio central del paño, se miden las deformaciones diagonales para estimar las deformaciones por corte y detectar la primera fisura diagonal.

Organización de la Memoria

La presente Memoria de Título está organizada en siete capítulos, cuyo contenido es el siguiente:

✓ Capítulo 1 Introducción

✓ Capítulo 2 Antecedentes

Se presenta una síntesis descriptiva del fenómeno de daños sísmicos sobre albañilería y las prácticas normales de reparación y refuerzo, así como los resultados de estudios anteriores que han abordado este tema.

✓ Capítulo 3 Planteamiento del Trabajo Experimental

Se describe el trabajo a realizar en el laboratorio, los tipos y cantidad de especímenes, la forma de ensayo en estado sano y reparado, y las técnicas adoptadas para la reparación y/o refuerzo.

✓ Capítulo 4 Materiales de Construcción y Reparación

El capítulo se centra en la presentación de las propiedades de los materiales usados en las reparaciones y en la descripción detallada de las reparaciones aplicadas.

✓ Capítulo 5 Resultados Experimentales

Se entregan las observaciones efectuadas durante el desarrollo de los ensayos, y la información recopilada, tanto para los muros sanos como para los reparados.

✓ Capítulo 6 Análisis de Resultados

Se hace un análisis comparativo del comportamiento de los métodos de reparación y de refuerzo.

✓ Capítulo 7 Conclusión

Se resumen los aspectos más relevantes de cada método de reparación y de refuerzo, destacando lo referente a su comportamiento y eficiencia como solución estructural.

2 ANTECEDENTES

2.1 INTRODUCCION

En este capítulo, en primer lugar, se hace una caracterización de daños producidos por sismos en elementos de albañilería y en seguida, se describen brevemente los métodos de reparación o refuerzo usados en este tipo de construcciones.

Tanto la caracterización de daños como la descripción detallada de los métodos de reparación de albañilerías son temas abordados en profundidad en el estudio realizado por Víctor Águila en su Memoria de Título (Águila, 1988), por lo que la descripción que aquí se hace es breve.

Al final, se entrega un resumen de las conclusiones de trabajos realizados en Chile que preceden al presente estudio.

2.2 CARACTERIZACION DE DAÑOS EN ALBAÑILERIA

Las diferencias entre los sistemas de construcción de muros de albañilería involucran comportamientos diferentes ante los eventos sísmicos. Esto queda en evidencia al observar los daños producidos en los distintos tipos de albañilería: simple, confinada o armada.

2.2.1 ALBAÑILERÍA SIMPLE

El comportamiento sísmico de la albañilería simple (sin refuerzos) no ha sido satisfactorio y los daños que se han observado son por lo general, de gran magnitud, siendo los más frecuentes los siguientes:

- a) Agrietamiento diagonal de los muros y machones, atravesando las unidades o siguiendo las juntas de mortero en forma escalonada.
- b) Agrietamiento diagonal en dinteles
- c) Grieta vertical en encuentro de muros
- d) Vaciamiento total o parcial de muros

Los daños del tipo a) y b) se producen por solicitaciones contenidas en el plano del elemento y se deben a la reducida capacidad de la albañilería para resistir tensiones de tracción y a la falta de armaduras que resistan dichas tensiones.

Los daños del tipo c) y d) se producen por solicitaciones normales al plano del muro.

2.2.2 ALBAÑILERÍA CONFINADA

Este tipo de albañilería es uno de los más empleados en construcciones de uso habitacional y su comportamiento sísmico ha sido aceptable. Los daños observados en este tipo de albañilería son:

- a) Agrietamiento diagonal de muros, con o sin propagación de la falla a través de los pilares de confinamiento, dependiendo esto último de la sección de los pilares y de la cuantía de armadura de corte (estribos) en sus extremos.

- b) Grietas en aberturas sin refuerzo de borde.
- c) Grietas en la unión del muro de albañilería con las vigas o pilares que lo confinan.
- d) Grietas en la unión del pilar con la cadena.

2.2.3 ALBAÑILERÍA ARMADA

Este sistema de construcción, de uso más reciente en nuestro país, mostró un comportamiento sísmico poco satisfactorio durante el terremoto del 3 de marzo de 1985. Esto puede explicarse en gran medida por tratarse de una tecnología que fue adoptada sin contar con una mano de obra capacitada y una norma de diseño y, además, por la escasa supervisión de su ejecución.

Entre los daños observados, los más frecuentes son:

- a) Agrietamiento diagonal en muros y machones, con compromiso de las unidades o en forma escalonada a través de las juntas de mortero.
- b) Grieta horizontal en muros, especialmente en muros de baja esbeltez.
- c) Agrietamiento vertical por aplastamiento en los bordes inferiores de muros, con desprendimiento de cáscaras de las unidades.
- d) Grieta vertical en encuentros de muros.
- e) Grietas producidas por solicitaciones normales al plano del elemento.

2.3 METODOS DE REPARACION Y DE REFUERZO.

Muchos de los sistemas de reparación que se nombran a continuación, son adaptaciones de métodos que han tenido buenos resultados en reparaciones de elementos de hormigón.

2.3.1 REFUERZOS DE HORMIGÓN

Básicamente, los refuerzos de hormigón pueden actuar en alguna de las siguientes formas:

- a) Como recubrimiento de hormigón armado anclado a la superficie de elementos dañados.
- b) Como reemplazo de elementos gravemente dañados por elementos de hormigón armado.
- c) Como sistema de confinamiento a través de elementos de tipo pilar, viga y cadena.
- d) Reconstituyendo el monolitismo al actuar como conectores en zonas muy agrietadas (por ejemplo: tarugos o llaves de hormigón).

2.3.2 SELLADO DE GRIETAS Y FISURAS

Por lo general, esta técnica se usa para reconstituir el monolitismo y es aplicada en elementos con grietas y fisuras bien definidas, en las que el material adyacente a la grieta se encuentra en buen estado. Cabe hacer notar que las técnicas de sellado superficial de grietas, no tiene como efecto la recuperación de resistencia ni rigidez.

Básicamente, el procedimiento consiste en llenar las grietas con un material de buenas propiedades resistentes y adherentes. En albañilería de ladrillo macizo se emplean pastas de cemento fluidas o morteros epóxicos; en cambio, en albañilería de ladrillo del tipo rejilla con huecos o albañilería de bloques, es posible inyectar un grout a través de los huecos verticales.

2.3.3 INCORPORACIÓN DE ELEMENTOS DE REFUERZO

Este sistema se utiliza en albañilerías que están construidas con materiales de buena calidad que tienen deficiencias de armaduras. Existen varias modalidades para ejecutarlas:

- a) Platabandas de acero adheridas con masilla epóxica
- b) Barras de acero insertas en las juntas, adheridas con mortero de cemento o mortero epóxico.
- c) Fibras poliméricas (fibra de vidrio o fibra de carbono) incorporadas en una matriz cementicia, aplicada superficialmente sobre el elemento.

2.3.4 MORTERO PROYECTADO

Este método es particularmente adecuado cuando los elementos presentan un agrietamiento generalizado, ya que la solución se aplica en toda la extensión de dichos elementos.

La fuerza de impacto del mortero proyectado produce la compactación y adhesión de la mezcla, la que por lo general se aplica por vía seca.

Como alternativa a este método, se han usado procedimientos de proyección manual, extremando los cuidados en el tratamiento de la superficie (picado y humectación) y utilizando mezclas más fluidas.

En la sección 2.5, el método de reparación mediante mortero proyectado es abordado en profundidad, debido a la importancia que tiene en el desarrollo de esta Memoria.

2.3.5 BARRAS DE ACERO POSTENSADAS

Este método se ha empleado en muros de albañilerías simples de paredes muy gruesas. La técnica se aplica en las siguientes formas:

- a) Como sistema de arriostamiento lateral, para conectar elementos entre sí.
- b) Aplicando compresión a los elementos resistentes de tal forma que no se produzcan grietas debido a tracción.

Debido a que este método no es muy difundido a nivel local, se desconocen mayores antecedentes sobre su ejecución y eficiencia estructural.

2.4 ANTECEDENTES SOBRE ESTUDIOS EXPERIMENTALES DE REPARACIONES EN ALBAÑILERÍA

2.4.1 INTRODUCCIÓN

En general en la literatura técnica local, la información relacionada con estudios experimentales que muestran qué técnicas de reparación y refuerzo son recomendables de emplear en albañilería, y en particular en albañilería de ladrillos cerámicos confinados con elementos de hormigón armado, es escasa.

Teniendo en cuenta que este sistema de construcción es de uso limitado en el mundo desarrollado, la información existente corresponde a trabajos realizados en Europa, México, Perú y Argentina. Esta información está limitada por los materiales utilizados, los que muchas veces presentan propiedades diferentes a las de los usados en nuestro medio, y por la solución de reparación adoptada.

En nuestro país, debido a su alta sismicidad y al amplio uso de la albañilería en la construcción de edificios, se han propuesto, a la luz de las fallas observadas en muros de albañilería, varias soluciones de reparación y refuerzo; algunas de ellas han sido probadas en forma experimental en probetas a escala reducida y a escala natural en trabajos como los de Olivares y Gómez (Olivares y Gómez, 1975), Víctor Águila (1988), Ricardo Cortés (1998) y Hernán Santa María (2008).

En el primero, Olivares y Gómez, se revisan las técnicas de reparación de grietas horizontales y diagonales producidas dentro de la albañilería, cuando se utilizan unidades del tipo ladrillo hecho a mano y bloques huecos de cemento.

El trabajo de Víctor Águila desarrollado a continuación consistió en un estudio experimental relacionado con la reparación y refuerzo de la albañilería construida con unidades cerámicas hechas a máquina del tipo rejilla con huecos, que se caracteriza por su fragilidad, eligiendo técnicas adecuadas a las características de las unidades y de la albañilería a la vista (Águila, 1988).

En el estudio desarrollado por Ricardo Cortés se evalúa experimentalmente la reparación de muros de mampostería de bloques de hormigón mediante recubrimiento de shotcrete y malla.

Finalmente, en el estudio abordado por Hernán Santa María se evalúa experimentalmente el refuerzo de muros de albañilería mediante bandas de CFRP (resina reforzada con fibras de carbono).

A continuación, se presenta una síntesis de los antecedentes revisados, orientada a dar una fundamentación teórica y experimental a la forma en que se desarrolla el presente estudio de reparaciones. Esta síntesis se centra en los estudios de Olivares y Gómez y de Víctor Águila, por la mayor similitud con el propósito del presente trabajo. Para ello, se describen los diferentes métodos de reparación estudiados experimentalmente en ambos, se presentan los resultados de los ensayos realizados y las principales conclusiones de dichos estudios.

La síntesis de antecedentes se concentra en los siguientes trabajos:

- Ernesto Gómez y Juan Olivares. “Estudio Experimental de Reparación de Muros de Albañilería”, Publicación Revista del IDIEM. V.16 1977.

- Víctor Águila O. “Estudio Experimental de Sistemas de Reparación Para Elementos de Albañilería”. Memoria para optar al Título de Ingeniero Civil. U. de Chile, 1988.

El resumen de cada trabajo se ha adecuado a un esquema de presentación uniforme, ordenándose consecutivamente según los aspectos siguientes:

- Descripción del trabajo
- Probetas ensayadas
- Metodología de reparaciones
- Forma de Ensayo
- Resultados
- Conclusiones

2.4.2 ESTUDIO DE REPARACIONES REALIZADO POR E. GÓMEZ Y J. OLIVARES EN LA UNIVERSIDAD DE CHILE (OLIVARES Y GÓMEZ, 1977)

2.4.2.1 DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO

El programa de ensayos tuvo por objetivos en primer lugar, medir la adherencia por cizalle y por tracción de ladrillos y bloques de mortero, para obtener índices básicos de resistencia, en probetas compuestas por dos o tres unidades de ladrillo o bloque.

En segundo lugar, se prueba la eficacia de soluciones específicas, tales como llaves, tarugos, barras de acero de costura, etc., en muros a escala reducida, de 1 m x 1 m.

Por último, se prueban en muros a escala real, contruidos dos con ladrillo hecho a mano y dos con bloques huecos de hormigón, las técnicas de reparación que dieron mejores resultados en probetas y en muros a escala reducida.

2.4.2.2 PROBETAS

Primero se prepararon tres series de probetas de 20 unidades cada una: una serie hecha con ladrillos de arcilla hechos a mano (chonchón), otra con ladrillos de arcilla hechos en fábrica de 24 x 17,5 x 7,1 cm, y una tercera hecha con bloques de hormigón de dos huecos, de 10 x 19 x 39 cm.

Las series de muros a escala reducida (muretes) de 1 m x 1 m, se hicieron con: una serie de 3 muretes de ladrillos de arcilla hechos a mano; una serie de 3 muretes de ladrillos de arcilla hechos en fábrica de 24 x 17 x 1 cm; y una serie de 3 muretes de bloques huecos de mortero de 39 x 19 x 19 cm.

Para conformar la serie de muros a escala real, se hicieron dos muros de ladrillos de arcilla hechos a mano y dos muros de bloques de mortero.

En la construcción de todos los especímenes, se usó mortero de pega con una dosificación de 1:4 en volumen, con arena seca bajo malla N°4 y con una cantidad de agua que diera una mezcla trabajable, según apreciación directa del albañil.

2.4.2.3 METODOLOGÍA DE REPARACIONES

Para reparar las probetas pequeñas después de la rotura provocada por el ensayo de tracción o de cizalle, se usaron los siguientes procedimientos:

- Aplicación de mortero de cemento sobre la superficie de falla en el ensayo de tracción, simulando el efecto de una inyección.
- Aplicación de resina epóxica en forma de mortero, en la misma forma mencionada para el caso anterior.
- Aplicación de cordones de mortero epóxico en ranuras efectuadas en forma de V, de 1 cm de profundidad, a cada lado de la grieta.

- Pegado de platabandas de acero, de 15 x 5 x 0,5 cm, perpendicularmente a la grieta, por ambos lados, usando mortero epóxico.
- Pegado de fibras de vidrio en forma de fieltro en el contorno de la grieta, con resina epóxica.

En la reparación de probetas de ladrillos hechos a mano se usaron los 5 procedimientos destacados; en probetas de ladrillos hechos a máquina no se usó la reparación con mortero de resina; y en las probetas construidas con bloques no se aplicó reparación ni con mortero de resina ni con mortero de cemento; en cambio, en ellas se aplicó una reparación con tarugos de hormigón.

Los muros a escala reducida (1 m x 1 m) fueron reparados usando técnicas que no eran aplicables en probetas pequeñas. Así, los muros construidos con ladrillo artesanal fueron reparados ejecutando una llave de hormigón armado entre albañilería y viga solera, en un muro que falló por despegue en la base, y realizando costuras de acero con barras de 40 cm de largo colocadas en una ranura de 5 cm de profundidad, embebidas en un cordón de mortero de cemento, para un muro que tuvo una grieta diagonal. El tercer murete de este grupo, no fue posible repararlo.

Los muretes de bloques de 1 m x 1 m también fueron reparados de acuerdo al tipo de falla que experimentaron. Uno de ellos, que tuvo una grieta horizontal, se reparó usando tarugos de hormigón, procedimiento usado en las probetas pequeñas. Otro de estos muretes, con el mismo tipo de grieta, se reparó usando llaves de hormigón armado en la trayectoria de la grieta, previo retiro de dos bloques contiguos del muro (dos por cada llave) mediante herramientas adecuadas. El tercero se reparó con platabandas de acero pegadas con mortero de resina.

De los muretes de 1 m x 1 m de ladrillo hechos a máquina, dos fallaron con una grieta diagonal y se repararon, uno usando platabandas de acero pegadas con mortero de resina, y el otro usando costuras con barras de acero, conforme al procedimiento descrito. El tercer murete presentó una grieta horizontal en la primera hilada y se reparó con llaves de hormigón.

Las reparaciones ejecutadas en las series de muros a escala real son aquellas que dieron mejores resultados en probetas a escala reducida. Como todos los muros quedaron muy dañados después del ensayo original, se aplicó una reparación principal para la grieta más importante, y una serie de reparaciones secundarias para las grietas menores.

Uno de los muretes de ladrillo chonchón no se pudo reparar. Otro, que presentaba una grieta principal diagonal y varias grietas horizontales, se reparó usando costuras de acero para la grieta principal y cordones de resina epóxica para las grietas horizontales.

En los muros de bloques, ambos con falla por tracción diagonal, se aplicó en un muro la reparación con llaves de hormigón en la grieta principal y tarugos de hormigón en las grietas horizontales. En el otro muro, se usaron platabandas en la grieta diagonal y cordones de mortero epóxico en las grietas horizontales.

2.4.2.4 FORMA DE ENSAYO

Para la determinación de la resistencia máxima a tracción o a corte de las probetas pequeñas, existen métodos normalizados o probados prácticamente con éxito. Para la primera sollicitación se eligió el método de la norma chilena NCh 167 Of 54, y para la segunda, el método descrito por C. Larraín (Larraín, 1977).

Para el ensayo de muros, de escala reducida y de escala real, se usó la modalidad llamada por tracción diagonal, en que se somete al muro simultáneamente a una carga horizontal, aplicada en una cadena de hormigón armado que lo corona, y a una carga vertical ejercida por tirantes externos, que actúan en el mismo vértice en que se aplica la carga horizontal.

Para todos los especímenes, el ensayo previo y el ensayo posterior a la reparación es el mismo.

2.4.2.5 RESULTADOS

En probetas pequeñas, para los tres tipos de materiales ensayados, prácticamente todos los métodos de reparación entregaron resistencias superiores o cercanas a las de los ensayos originales, y la rotura de las probetas no comprometió a los materiales de reparación.

Los resultados de ensayos de muros a escala reducida se muestran en las tablas 2.1 y 2.2.

TABLA 2.1 Resultados de Ensayos a Tracción Diagonal de Muretes Sanos

MURO N°		ORIGINAL	
		CARGA	TIPO DE FALLA
LADRILLO ARTESANAL (CHONCHON)	1	4 910	DIAGONAL
	2	4 300	HORIZONTAL
	3	4 950	DIAGONAL
LADRILLO HECHO A MAQUINA	1	12 450	HORIZONTAL
	2	15 400	DIAGONAL
	3	13 100	DIAGONAL
BLOQUES	1	7 000	HORIZONTAL
	2	6 500	HORIZONTAL
	3	4 500	HORIZONTAL

Notas: 1) La falla de tipo diagonal observada se desarrolla a través de las unidades

2) La falla horizontal se desarrolla a través de una junta

TABLA 2.2 Resultados de Ensayos a Tracción Diagonal de Muretes Reparados

TIPO UNIDAD	N° MURO	REPARADO		
		REPARACION	CARGA	TIPO DE FALLA
LADRILLO ARTESANAL (CHONCHON)	1	-	-	-
	2	LLAVES CON CONECTORES	3 700	DIAGONAL
	3	COSTURAS DE FIERRO	5 940	DIAGONAL
LADRILLO HECHO A MAQUINA	1	LLAVES DE HORMIGON	15 700	DIAGONAL
	2	PLATABANDAS	17 620	DIAGONAL
	3	COSTURAS DE FIERRO	17 380	DIAGONAL
BLOQUES	1	TARUGOS DE HORMIGON	11 300	DIAGONAL
	2	LLAVES DE HORMIGON	11 620	DIAGONAL
	3	PLATABANDAS	2 600	HORIZONTAL

- En los dos muretes reparados de ladrillo chonchón, la rotura se produjo por tracción diagonal, fuera de la zona reparada.

- Todos los muretes de ladrillo hecho a máquina se rompieron por tracción diagonal en su condición reparada, también fuera de la zona de la reparación.
- El mismo comportamiento tuvieron los muretes hechos con bloques de mortero.

En el caso de los cuatro muros hechos a escala natural, se obtuvieron los resultados que se indican en las tablas 2.3 y 2.4 a continuación:

TABLA 2.3 Resultados de Ensayos a Tracción Diagonal de Muros Sanos

MURO		CARGA (kg)		TIPO DE FALLA
		HORIZONTAL	VERTICAL	
CHONCHON	2-1	13 100	18 500	DIAGONAL
CHONCHON	2-2	12 300	14 200	DIAGONAL
BLOQUES	2-1	19 800	27 100	DIAGONAL
BLOQUES	2-2	24 100	32 200	DIAGONAL

TABLA 2.4 Resultados de Ensayos a Tracción Diagonal de Muros Reparados

MURO		REPARACION	CARGA (kg)		TIPO DE FALLA
			HORIZ.	VERT.	
CHONCHON	2-1	-	-	-	-
CHONCHON	2-2	COSTURAS DE FIERRO	19 000	15 200	DIAGONAL
BLOQUES	2-1	LLAVES Y TARUGOS DE HORMIGON	18 300	21 900	DIAGONAL
BLOQUES	2-2	PLATABANDAS	23 200	31 800	DIAGONAL

En todos los casos, la rotura final fue por tracción diagonal, pero anteriormente se había producido en cada uno de ellos una grieta horizontal en las primeras hiladas.

2.4.2.6 CONCLUSIONES

- Se concluye que, aplicados sobre muros de unidades sin huecos, los métodos de reparación mediante inyección de grietas con mortero de resina o mortero de cemento, así como la aplicación de cordones de mortero de resina, son métodos efectivos en la recuperación de zonas dañadas de un muro, cuando se aplican sobre grietas finas y de bordes firmes.
- Para grietas muy abiertas y con destrucción de material adyacente, son más adecuadas las otras soluciones, es decir, platabandas, barras de acero, embebidas en mortero a través de las grietas, llaves de hormigón y tarugos de hormigón.
- Todas las reparaciones estudiadas dan buenos resultados, ya que resultan de mayor resistencia que las zonas adyacentes de los muros y, por lo tanto, si se producen nuevas fallas, éstas ocurren fuera de las zonas reparadas.

2.4.3 ESTUDIO DE REPARACIONES REALIZADO POR VÍCTOR ÁGUILA EN LA UNIVERSIDAD DE CHILE (1988)

2.4.3.1 DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO

En este trabajo se analizan los resultados de ensayos a muretes de albañilería, sometidos a una carga de compresión aplicada en la dirección de la diagonal del murete, en forma estática, mediante los cuales se evalúan distintos tratamientos de refuerzo o reparación. Con estos ensayos, se determina el grado de recuperación de resistencia y rigidez de los elementos reparados según esas técnicas, como también la eficiencia de las soluciones al ser aplicadas en probetas monolíticas (sanas).

2.4.3.2 PROBETAS

Para los distintos tipos de albañilería, según las características de refuerzo, se tiene tres clases de muretes:

- a) Muretes simples (sin armadura ni cadena).
- b) Muretes con cadena perimetral.
- c) Muretes armados.

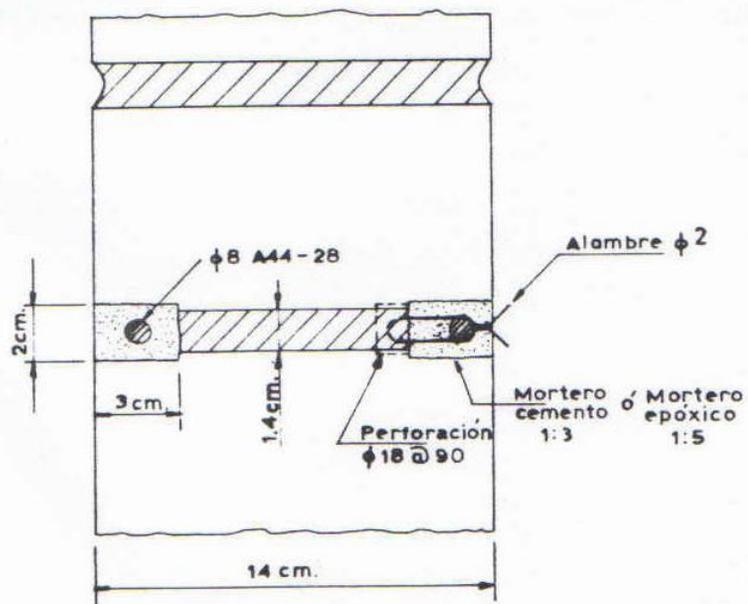
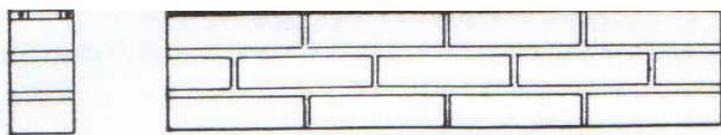
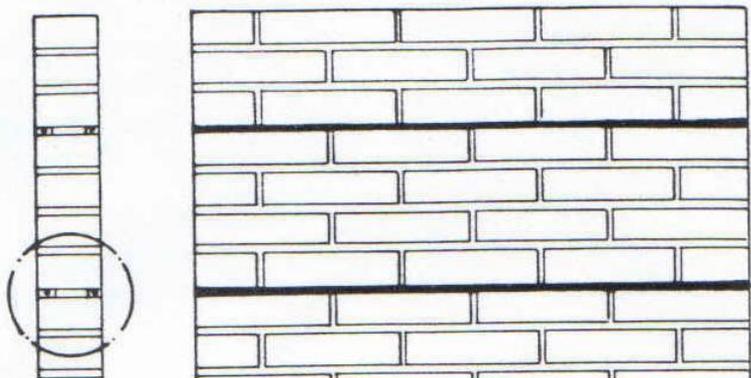
2.4.3.3 METODOLOGÍA DE REPARACIONES

Se consideraron las siguientes soluciones alternativas de reparación y refuerzo:

- Inserción de barras de acero en ranuras practicadas a lo largo de las juntas horizontales, regularmente espaciadas y adheridas mediante morteros de cemento o epóxicos. Se estudió el efecto de la asimetría, incorporando la cuantía de refuerzo en una o ambas caras de los muretes. El detalle de la reparación se muestra en la figura 2.1.
- Aplicación de recubrimiento de mortero de 3,5 cm de espesor o de hormigón de gravilla de 4.4 cm de espesor, sobre una o ambas caras de la superficie de albañilería, con o sin refuerzo de malla de acero, anclada a la albañilería en puntos regularmente espaciados. El detalle de la reparación se muestra en la figura 2.2.

Además, se reparó uno de los muretes armados mediante inyección de grout en los huecos verticales de las unidades de albañilería.

Estos tres tipos de reparación fueron aplicados sobre los muretes según el detalle de la TABLA 2.5.



Detalle de Solución con Inserción de Barras

FIGURA 2.1

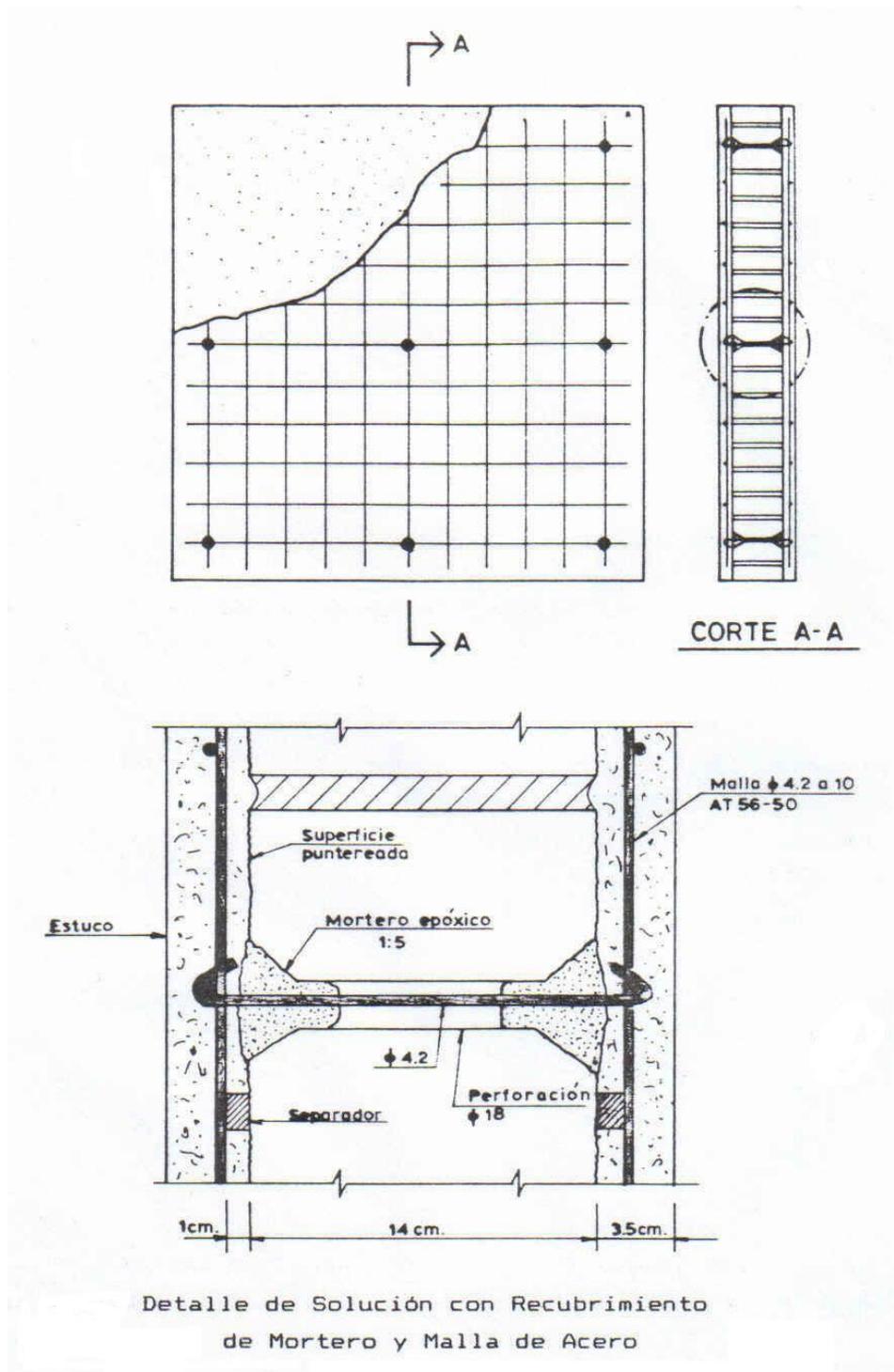


FIGURA 2.2

TABLA 2.5 Programa de Ensayes (Águila, 1988)

Probeta	Tipo de Albañilería	Calidad Mortero	Tipo de Solución	Detalle de Solución
MP1	Simple sin Refuerzo perimetral	A		
MP2		A		
MP3		A		
MP4		B		
MP5		B		
MR1	Simple sin Refuerzo perimetral	A	Refuerzo	- Inserción de barras por una cara adheridas con mortero de cemento
MR2		A	Refuerzo	Inserción de barras por ambas caras adheridas con mortero de cemento
MR3		A	Refuerzo	Inserción de barras por una cara adheridas con mortero epóxico
MR4		A	Refuerzo	Inserción de barras por ambas caras adheridas con mortero epóxico
MR5		B	Refuerzo	Recubrimiento de mortero por ambas caras
MR6		A	Refuerzo	Recubrimiento de mortero armado por ambas caras
MR7		B	Refuerzo	Recubrimiento de mortero por una cara
MR8		A	Refuerzo	Recubrimiento de mortero armado por una cara
MC1	Simple con Refuerzo Perimetral	A	Reparación	Inserción de barras por ambas caras adheridas con mortero de cemento
MC2		A	Reparación	Inserción de barras por ambas caras adheridas con mortero de cemento
MC3		A	Reparación	Inserción de barras por ambas caras adheridas con mortero epóxico
MC4		A	Reparación	Inserción de barras por ambas caras adheridas con mortero epóxico
MC5		A	Reparación	Recubrimiento de mortero por ambas caras con malla de refuerzo
MC6		A	Reparación	Recubrimiento de mortero por ambas caras con malla de refuerzo
MC7		A	Reparación	Recubrimiento de mortero por una cara con malla de refuerzo
MC8		A	Reparación	Recubrimiento de mortero por ambas caras con malla de refuerzo
MA1	Armado sin Refuerzo	A	Reparación	Inyección de grout de cemento en los huecos verticales de las unidades
MA2	Perimetral	A	Reparación	Recubrimiento de mortero por ambas caras con malla de refuerzo

2.4.3.4 FORMA DEL ENSAYO

Los muretes fueron sometidos al ensayo de compresión diagonal. La carga se aplicó hasta producir la falla por tracción diagonal, que se origina en el centro de la probeta y se propaga hacia los vértices

cargados, en tres ciclos de carga y descarga, llegando en cada ciclo hasta la carga máxima, con una velocidad de carga uniforme (aprox. 2.000 kg/min) y una descarga rápida.

El esquema del ensayo se muestra en la Figura 2.3.

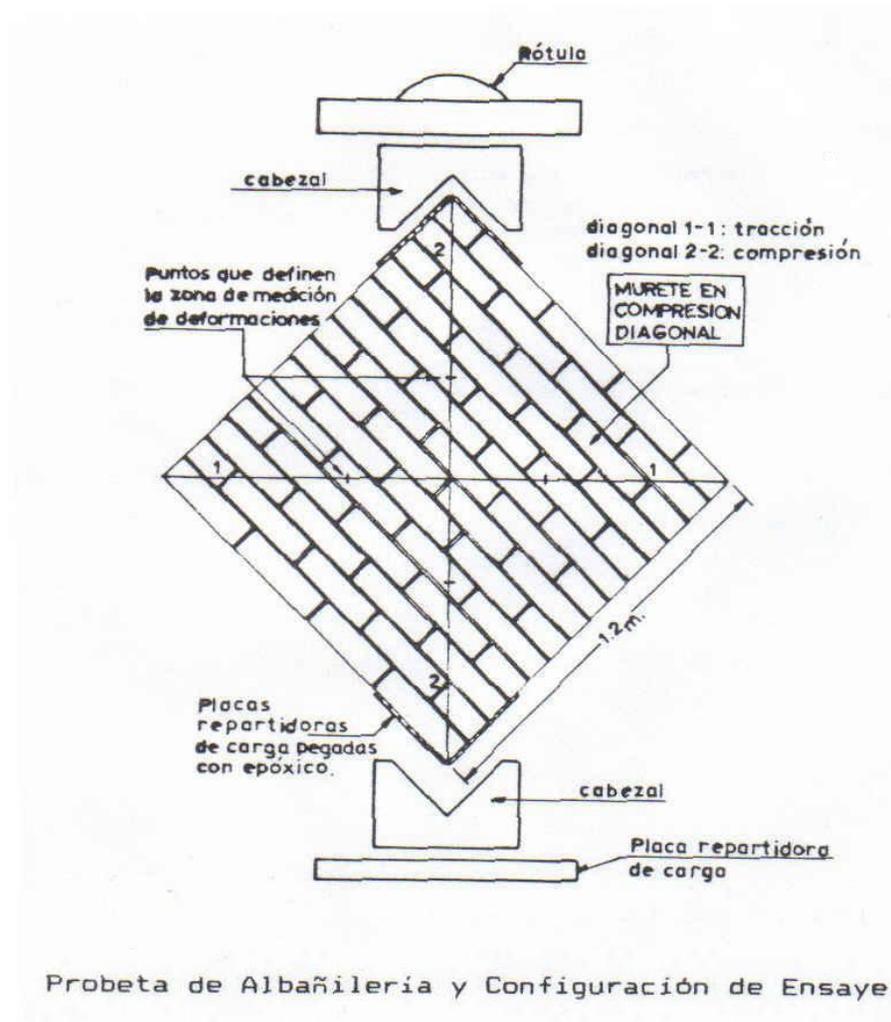


FIGURA 2.3

2.4.3.5 RESULTADOS

La tabla 2.6 muestra para cada murete, la tensión nominal de corte correspondiente a la carga máxima en cada ciclo y el valor del módulo de corte G del primer ciclo, tanto para el ensayo de muretes en estado original, como reforzados y reparados. La tensión nominal de corte corresponde a la razón entre la carga de corte aplicada y el área dada por las dimensiones nominales del murete (longitud y espesor de unidad).

La simbología usada en la columna “Observaciones” es la siguiente:

- Patrón: Murete patrón
- InsB : Inserción de barras

- 2c : Reparación en 2 caras
- MortC : Relleno con mortero de cemento
- MortE : Relleno con mortero epóxico
- Sellado : Sellado de grietas
- RecM : Recubrimiento con mortero de cemento (estuco)
- 3Barras : 3 barras por cada cara
- Grout : Inyección de grout de cemento en los huecos verticales

TABLA 2.6 RESULTADOS EXPERIMENTALES

MURETE	PRIMER ENSAYO			SEGUNDO ENSAYO				OBSERVACIONES	
	Tensión Nominal de Corte (kg/cm ²)			Módulo de Corte (kg/cm ²)	Tensión Nominal de Corte (kg/cm ²)				Módulo de Corte (kg/cm ²)
	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3		Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3		
MP-1	6.4			9400				Patrón	
MP-2	9.6			13600				Patrón	
MP-3	8.8			11700				Patrón	
MP-4	9.2			11400				Patrón	
MP-5	8.2			10900				Patrón	
MC-1	9,0	7,9	6,0	11400	7.9	6.7	4.2	3000	InsB-2c-MortC
MC-2	9,0	6,6	5,5	14100	6.6	5.7	4.8	1900	InsB-2c-MortC
MC-3	10,0	8,2	5,9	14800	13.7	11.9	9.9	10600	InsB-2c-MortE+Sellado
MC-4	9,5	6,9	7,1	16700	8.2	6.6	6	5000	InsB-2c-MortE
MC-5	8,0	5,8	5,3	13500	11.7	10.5	8.3	12200	RecM-2c+3Barras
MC-6	8,2	6,2	4,1	12100	11.7	9	6.7	16300	RecM-2c+3Barras
MC-7	7,4	6,0	6,1	13900	20.2	19.1	16.8	14900	RecM-1c+3Barras
MC-8	8,1	7,0	5,5	16300	24.7	24.2	14.9	40300	RecM-2c+3Barras
MA-1	9,4	9,5	7,6	12500	8.3	6.4	-	7300	Grout
MA-2	8,8	8,6	6,9	14000	12.8	12.3	11	24200	RecM-2c
MR-1	8,4	6,1	5,0	13400					InsB-1c-MortC
MR-2	8,5	4,8	2,9	10900					InsB-2C-MortC
MR-3	10,5	8,2	6,3	16000					InsB-1c-MortE
MR-4	10,2	7,7	6,3	10800					InsB-2c-MortE
MR-5	14,9	11,3	8,1	30800					RecM-2c Sin Armar
MR-6	16,6	13,6	8,5	19700					RecM-2c
MR-7	11,4	6,5	-	14000					RecM-1c Sin Armar
MR-8	13,9	11,0	8,2	16200					RecM-1c

2.4.3.6 CONCLUSIONES

A) Inserción de Barras

La solución de reparación mediante inserción de barras sin sellado de la grieta principal, permite recuperar un gran porcentaje de la resistencia original de elementos agrietados; sin embargo, la rigidez de éstos queda degradada.

Como método de reparación, sólo cuando la inserción de barras contempla un sellado de la grieta con mortero epóxico, es posible recuperar totalmente la rigidez del elemento dañado e incrementar la resistencia original. Si no se sellan las grietas, la rigidez de éstas queda degradada y la inserción de barras sin tratamiento de las grietas principales no es aconsejable como solución de reparación, ya que, ante una solicitación sísmica, la colaboración de estos elementos dañados sería mínima, dado que su rigidez permanece degradada.

B) Recubrimiento con Mortero

La aplicación de recubrimiento de mortero como refuerzo de un elemento en estado sano, aumenta la rigidez, la tensión asociada a la primera fisura y a la carga máxima.

El incremento de resistencia es de un 66% con recubrimiento armado por una cara, y de un 98% cuando es por las dos caras. Las soluciones que no contemplan armaduras presentan un incremento de resistencia menor con una falla frágil.

Se presentan problemas de adherencia de la capa de recubrimiento para grandes deformaciones, que afectan al comportamiento después del agrietamiento.

La aplicación de recubrimiento sin malla de refuerzo hace que la falla se produzca en forma frágil, ya que la carga de primera fisura y la carga máxima son idénticas.

Aplicado como reparación, el recubrimiento armado de mortero permite recuperar y superar la rigidez y resistencia originales.

El incremento de resistencia es de un 45% cuando se aplica mortero armado por ambas caras.

Al emplear recubrimiento de hormigón armado, el incremento de resistencia es de 173% cuando se aplica por una cara, y de 205% cuando se aplica por las dos caras, con un notable aumento de la rigidez. Este aumento de rigidez produce redistribuciones de esfuerzos que deben tenerse en cuenta en un edificio, cuando alguno de sus elementos de albañilería ha sido reparados mediante este procedimiento.

2.5 ANTECEDENTES SOBRE LA APLICACION DE SHOTCRETE EN REPARACIONES.

Los antecedentes revisados muestran que en general los enchapes de mortero armado y de shotcrete armado o reforzado, son técnicas de reparación y de refuerzo que mejoran enormemente las propiedades del elemento sobre el cual se aplican, tanto en la etapa previa al agrietamiento, como después que éste se ha producido.

Estudios como los realizados por D. L. Hutchinson en Nueva Zelanda, P. Sheppard y S. Tercej en Yugoslavia, L. F. Kahn en Estados Unidos, y Víctor Águila en su estudio de reparaciones, en los que estas técnicas de enchape han sido probadas experimentalmente, han permitido establecer el mejoramiento de las diversas propiedades de los elementos reparados o reforzados.

Básicamente, la rigidez, la carga de agrietamiento y el comportamiento posterior al agrietamiento, son las propiedades que interesa evaluar en un elemento reparado, desde el punto de vista de la eficiencia estructural; y en este aspecto, el método de reparación mediante enchapes de mortero armado, colocado manualmente o mediante proyección neumática (shotcrete), ha presentado una respuesta satisfactoria, comparativamente ventajosa frente a otras soluciones de reparación estudiadas.

2.5.1 ESTUDIOS EXPERIMENTALES SOBRE LA APLICACIÓN DE ENCHAPE ARMADO

De los estudios citados anteriormente, es útil referirse a dos de ellos con el objetivo de aclarar aspectos relativos a detalles técnicos de la experimentación, los que no quedan tan claros en las otras dos publicaciones. Uno es el estudio realizado por Víctor Águila en la Universidad de Chile en 1988, y el otro es el estudio efectuado por Lawrence F. Kahn en el Georgia Institute of Technology en Atlanta, Georgia (Kahn, 1984, Ref. 9).

El primero de estos estudios es abordado en profundidad en la sección 2.4.3 de este capítulo.

En el estudio llevado a cabo por L. F. Kahn, los paneles de ladrillo reforzados con shotcrete son ensayados para determinar el comportamiento del sistema ladrillo - shotcrete, y para saber si el vínculo entre ladrillo y shotcrete es suficiente para desarrollar toda la capacidad compuesta para cargar en el plano.

Se usaron paneles pequeños (1 m x 1 m) y paneles grandes (1,2 m x 1,2 m); sin embargo, no se encontró una diferencia significativa en el comportamiento del vínculo ladrillo - shotcrete.

Se aplicó una mezcla en seco (vía seca) en doce paneles de albañilería sanos, aproximadamente dos semanas después de su construcción (ver figura 2.6). La mezcla usada tenía una parte de cemento Portland Tipo I y tres partes de arena en volumen. Se tomaron testigos para ensayar a 90 días. Nueve paneles fueron cubiertos con alrededor de 3,5" de shotcrete y tres con aproximadamente 1,5".

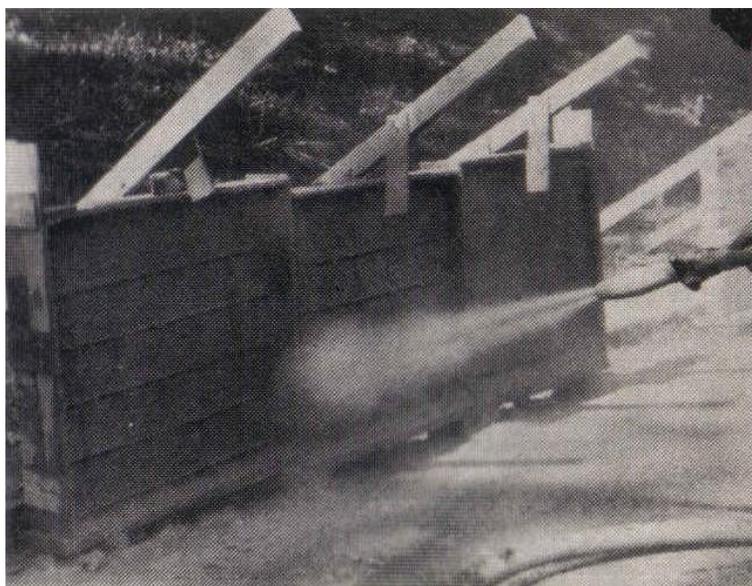


FIGURA 2.6 Shotcreteando paneles de albañilería de 1m x 1m

El shotcrete de 3,5" fue reforzado con una malla de alambre soldado N°4 con espaciamiento de 15 cm entre barras en cada sentido. El alambre N°4 tiene una tensión de fluencia de 2790 kg/cm² y una tensión última de 2940 kg/cm². El shotcrete de 1.5" fue reforzado con una malla de metal expandido, comúnmente usada en superficies de estuco. Este refuerzo representa un área de acero de 42 mm²/m en vertical y 148 mm²/m en horizontal. La tensión última de la malla de metal expandido fue de 1250 kg/cm².

La malla de alambre soldado representa una cuantía de refuerzo igual a un 0,19% de refuerzo a cada lado, tomando en cuenta el espesor del shotcrete; se usó esta cantidad de refuerzo de modo que no afectara significativamente la resistencia del shotcrete. Se requirió colocar alguna clase de refuerzo de acero para prevenir la desintegración del shotcrete. El refuerzo total (horizontal más vertical), 0,18%, representa aproximadamente los refuerzos mínimos exigidos por las normas para muros de albañilería armada.

La condición superficial del ladrillo fue variada con el objeto de estudiar su efecto sobre la adherencia entre ladrillo y shotcrete. La superficie de tres paneles se dejó seca, otros seis fueron humedecidos completamente con agua, y tres fueron impregnados con un epóxico alrededor de 10 minutos antes de colocar el shotcrete. En todos los casos, los ladrillos estaban pulidos y limpios. Las juntas de mortero fueron borradas.

Resultados Experimentales y Discusión

Cada panel reforzado fue cargado estáticamente hasta alcanzar la carga última, las deformaciones fueron incrementadas hasta que la carga llegó a un 60% de la última; entonces, la carga fue removida. El panel fue rotado en 90° y cargado a través de su otra diagonal. Se registró una curva de histéresis para cada panel. El dispositivo de ensayo se muestra en la figura 2.7.



FIGURA 2.7 Panel D1 instrumentado y cargado sobre su diagonal

En la figura 2.8 se muestra los daños sufridos por una de las probetas después de aplicar ciclos de carga alternada.



D1 - Falla de albañilería después de ciclo completo de carga



D1 – Falla del shotcrete después de ciclo completo de carga

FIGURA 2.8 Fallas observadas

Resumen de Resultados

Probeta	Condición Superficial	Espesor Shotcrete (")	Refuerzo	Carga de agrietamiento en la diagonal (*) (kips)	Carga última en la diagonal (*) (kips)
C1	-	-	-	6.2 0	6.2 0
CC1	-	-	-	18.0 0	18.0 0
D1	Seca	3.1	WWF	87.4 60.2	121.8 84.2
D2	Seca	3.8	WWF	83.9 61.7	147.6 82.2
D3	Seca	3.4	WWF	92.3 72.8	131.9 111.6
E1	Epoxy	3.1	WWF	76.6 58.8	121.8 103.5
E2	Epoxy	3.8	WWF	75.7 87.4	133.9 104.5
E3	Epoxy	3.8	WWF	79.1 45.5	138.0 100.4
W1	Húmeda	3.4	WWF	76.5 83.2	142.0 85.3
W2	Húmeda	3.9	WWF	82.2 38.1	148.1 106.5
W3	Húmeda	3.5	WWF	87.8 58.1	150.2 87.3
X1	Húmeda	1.5	Exp.Met.	65.0 22.5	67.0 69.0
X2	Húmeda	1.5	Exp.Met.	59.0 39.5	61.0 47.5
X3	Húmeda	1.4	Exp.Met	50.0 22.0	52.0 41.0

(*) Valor superior indica carga a través de la diagonal original. Valor inferior es la carga del ciclo inverso a través de la segunda diagonal

Observaciones más relevantes

a) General

Los resultados más sobresalientes son que cada técnica de shotcrete refuerza enormemente al panel. Basado en la resistencia última estática, el panel con capa de 3,5" con 0,19% de refuerzo en cada sentido incrementó la capacidad al corte del panel sobre 1.700%; el panel con 1,5" de shotcrete con un 0,25% de refuerzo incrementó su capacidad al corte por sobre 680%. Hasta el panel con menor recubrimiento desarrolló totalmente la resistencia de las unidades de albañilería, demostrando una excelente adherencia del shotcrete. El metal expandido y el WWF proveen suficiente refuerzo para que los ciclos de deformación reversible, postagrietamiento, sean posibles. Mientras los ciclos de

histéresis no demuestran ductilidad en el mismo sentido que la ductilidad del hormigón armado, la capacidad de deformación inelástica implica una resistencia sísmica muy mejorada comparada con las de los paneles no reforzados.

b) Trabazón de la Interface

El tipo de tratamiento superficial no afectó significativamente la resistencia de agrietamiento o última de los paneles. La diferencia en el comportamiento debida a las diferentes condiciones de superficie fue evidente en la respuesta carga-deformación después que se alcanzó la carga última. Los paneles con epóxico mostraron la menor degradación de resistencia cuando las deformaciones inelásticas eran aumentadas. Los paneles cuya superficie se dejó seca mostraron la mayor degradación de resistencia. En términos de la acción sísmica, los paneles humedecidos y con epóxico tienen mayor capacidad de disipación de energía y, por lo tanto, son más adecuados sísmicamente que los paneles secos.

Las diferencias de disipación de energía entre los paneles húmedos y con epóxico fue pequeña.

c) Resistencia

La determinación de la magnitud con que el recubrimiento y el refuerzo contribuyen a la resistencia de los paneles es difícil dada la sinergia que ocurre entre los elementos de refuerzo. La relación siguiente, dada por Yokel y Fattal (Ref. 10) proporciona alguna idea sobre la resistencia de los paneles:

$$f_t = 0.7336 \frac{P_d}{\sqrt{2} t b}$$

f_t : Tensión máxima a través de la diagonal cargada.

P_d : Carga diagonal última o de agrietamiento.

t : Espesor del panel o del shotcrete.

b : Largo de la arista del panel.

Para todos los paneles, la tensión de agrietamiento promedio fue 1,14 MPa ($4\sqrt{f'_m}$ y $2\sqrt{f'_c}$ para la superficie del ladrillo y de shotcrete respectivamente). La rigidez relativa del ladrillo a través de su diagonal fue aproximadamente un 3% de la rigidez diagonal del shotcrete, considerando las medidas de deformación y deflexión lateral junto con un análisis de elementos finitos elásticos. La resistencia última dependió principalmente sólo de la capacidad de corte del shotcrete. La tensión última promedio en el shotcrete calculada para todos los paneles reforzados fue de 3,9 MPa ($6.8\sqrt{f'_c}$). Esta tensión fue la misma para los recubrimientos de 3.5" y de 1.5", independientemente de la cuantía de refuerzo.

d) Influencia del Refuerzo

El WWF fue colocado a aproximadamente 1" bajo la superficie del ladrillo; el metal expandido estaba separado a aproximadamente 1/4" de la superficie del ladrillo. El refuerzo fue solicitado significativamente después del agrietamiento diagonal del shotcrete. Aparentemente, el refuerzo mantuvo juntas las superficies agrietadas diagonalmente y permitió alcanzar la carga última.

Para los paneles D, E y W (con recubrimiento grueso) la carga última superó en un 60% a la carga de agrietamiento. Esta carga última resulta superior a la suma de la capacidad de carga observada en el agrietamiento más la capacidad teórica aportada por el refuerzo en la fase de fluencia, calculada con la fórmula descrita anteriormente.

Para los paneles con refuerzo de metal expandido, la carga última superó a la de agrietamiento en 31%, la que también es superior al valor teórico calculado igual que en el caso anterior.

La observación más importante es que aún una pequeña cantidad de refuerzo (de acero) provee una capacidad de deformación inelástica y cíclica reversible. El mínimo refuerzo permite al ladrillo y shotcrete desarrollar su capacidad total de tensión diagonal en cada dirección bajo cargas cíclicas.

e) Espesor de la Capa de Shotcrete

Se puede aplicar una capa delgada de shotcrete sobre un muro sin aumentar significativamente la masa del edificio. La reducida cantidad de shotcrete disminuiría significativamente el costo del refuerzo, comparado con la aplicación de una capa de 3 a 6 pulgadas.

La delgada capa de shotcrete desarrolló la resistencia total al corte de los ladrillos, aun cuando la adherencia entre mortero y ladrillo era insignificante.

Conclusiones

Este estudio demostró que el uso del shotcrete armado refuerza la albañilería de ladrillos para ciclos reversibles de cargas en el plano. El recubrimiento de shotcrete de 1,5 y 3,5 pulgadas representa un gran refuerzo de los paneles. Al producirse el agrietamiento, el shotcrete desarrolló la capacidad total de corte de los ladrillos.

La resistencia diagonal última fue dependiente sólo de la resistencia del shotcrete reforzado. La pequeña área del WWF o del metal expandido desarrolló la capacidad de deformación inelástica, postagrietamiento.

El ladrillo y el shotcrete actuaron en forma conjunta independientemente de la preparación superficial. Ladrillo y shotcrete permanecieron adheridos a lo largo del ciclo de carga. Las superficies humedecidas y con epóxico mostraron una significativa mayor capacidad de deformación inelástica.

El uso de una capa delgada de shotcrete con metal expandido representa un efectivo sistema de refuerzo y es una solución económica de refuerzo para regiones con riesgo sísmico.

3 PLANTEAMIENTO DEL TRABAJO EXPERIMENTAL

3.1 METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

3.1.1 ELECCIÓN DEL TIPO DE ENSAYO

El ensayo que se adopta en esta investigación es el llamado “Ensayo en voladizo de un muro”, que consiste en fijar rígidamente un muro en su base, de tal forma de producir una condición de empotramiento y bajo esa condición, aplicar las cargas.

El muro, una vez montado en el marco de ensayo, es sometido a una carga vertical, constante durante el desarrollo del ensayo, del orden de la que soporta un muro resistente de albañilería en un edificio de tres o cuatro pisos típico (entre 2 kg/cm² y 6 kg/cm²).

La carga horizontal en forma alternada se aplica a nivel de la cadena superior mediante actuadores hidráulicos de manera de producir ciclos de deformación controlada.

Este procedimiento de ensayo se aplica tanto a los muros sanos como a los muros reparados o reforzados, variando los niveles de la carga vertical.

3.1.2 DESCRIPCIÓN DE LOS MUROS

Se construyeron dos series de muros (A y B), todos confinados con pilares y cadena de hormigón armado, los que representan a los tipos más usados en la práctica de construcción de albañilería en Chile.

Las dimensiones de los muros se muestran en la figura 3.1.

La serie A está formada por seis muros de ladrillo hecho a máquina, con denominación comercial Titán Liviano. La serie B está conformada por seis muros de ladrillo hecho a mano del tipo chonchón.

Los doce muros se designan de la forma siguiente:

A1-1, A1-2, A1-3, A1-4, A1-5 y A2 para la serie de los muros de ladrillo hecho a máquina, y

B1-1, B1-2, B1-3, B1-4, B1-5 y B2 para la serie de los muros de ladrillo hecho a mano.

Todos los muros de cada serie son idénticos en su construcción.

Cabe mencionar que, para el análisis del comportamiento de los muros sanos realizado por Ernesto Herrera (Herrera, 1990), dos muros (uno de cada serie) se construyeron sin el endentado de las unidades en la unión pilar-albañilería, endentado que es recomendado en la mayoría de las normas de diseño de este tipo de construcciones.

Del estudio de E. Herrera se desprende que no hay un efecto visible de esta variable sobre el comportamiento del muro durante el ensayo. En el análisis del agrietamiento del estado final de estos muros tampoco se observa un efecto relevante de la ausencia del endentado. Por esto, para el presente estudio no se considera ésta como una de las variables a analizar, aunque sí se tiene presente la condición particular de los muros sin endentado en el análisis de los resultados.

Las características geométricas de los muros, así como el tipo y calidad de los materiales usados en su construcción, fueron definidas con las recomendaciones disponibles para la construcción de este tipo de elementos y con antecedentes de las obras que se ejecutaban en la época en que se hicieron los ensayos.

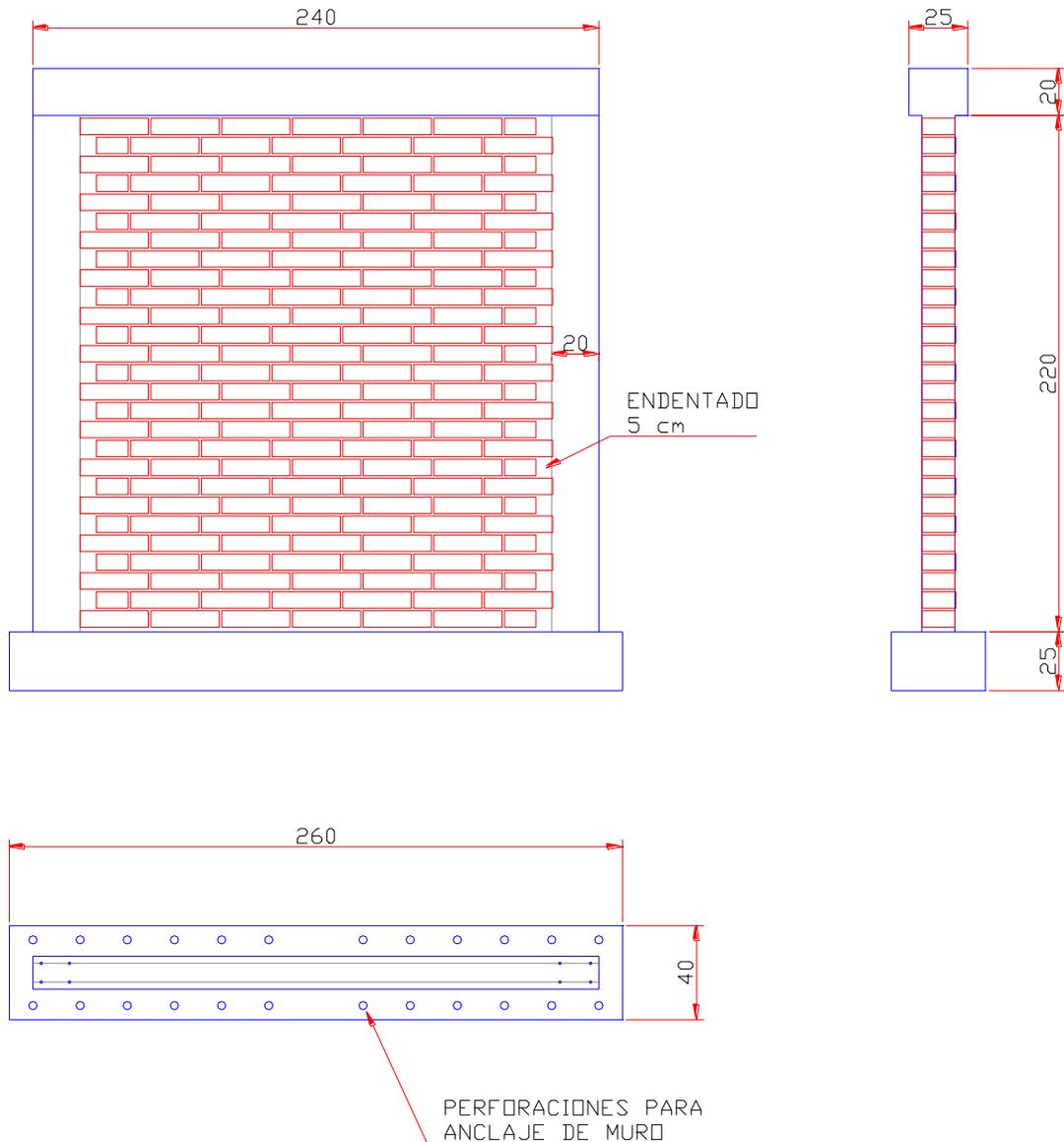


FIGURA 3.1 DIMENSIONES DE LOS MUROS

Los refuerzos de acero de los pilares y cadenas de hormigón armado se calcularon usando el Anteproyecto de Norma de Diseño y Cálculo de Construcciones de Albañilería Confinada. El acero utilizado es grado A63 - 42H, según la norma NCh 204 Of. 78.

Los muros fueron diseñados de tal forma de garantizar que la falla predominante en el ensayo del muro sano sea por efecto de corte y no de flexión, de tal forma de tener muros mecánicamente equivalentes a los usados en experiencias anteriores.

Los estribos fueron diseñados para que una vez producida la falla de corte del panel de ladrillo, todo el esfuerzo horizontal fuera resistido por los pilares.

Las figuras 3.2 a 3.5 muestran el detalle de las armaduras utilizadas en los elementos de confinamiento.

El mortero de junta empleado en esta experiencia corresponde a una dosificación en volumen de 1 : $\frac{1}{2}$: 4 (cemento / cal / arena)

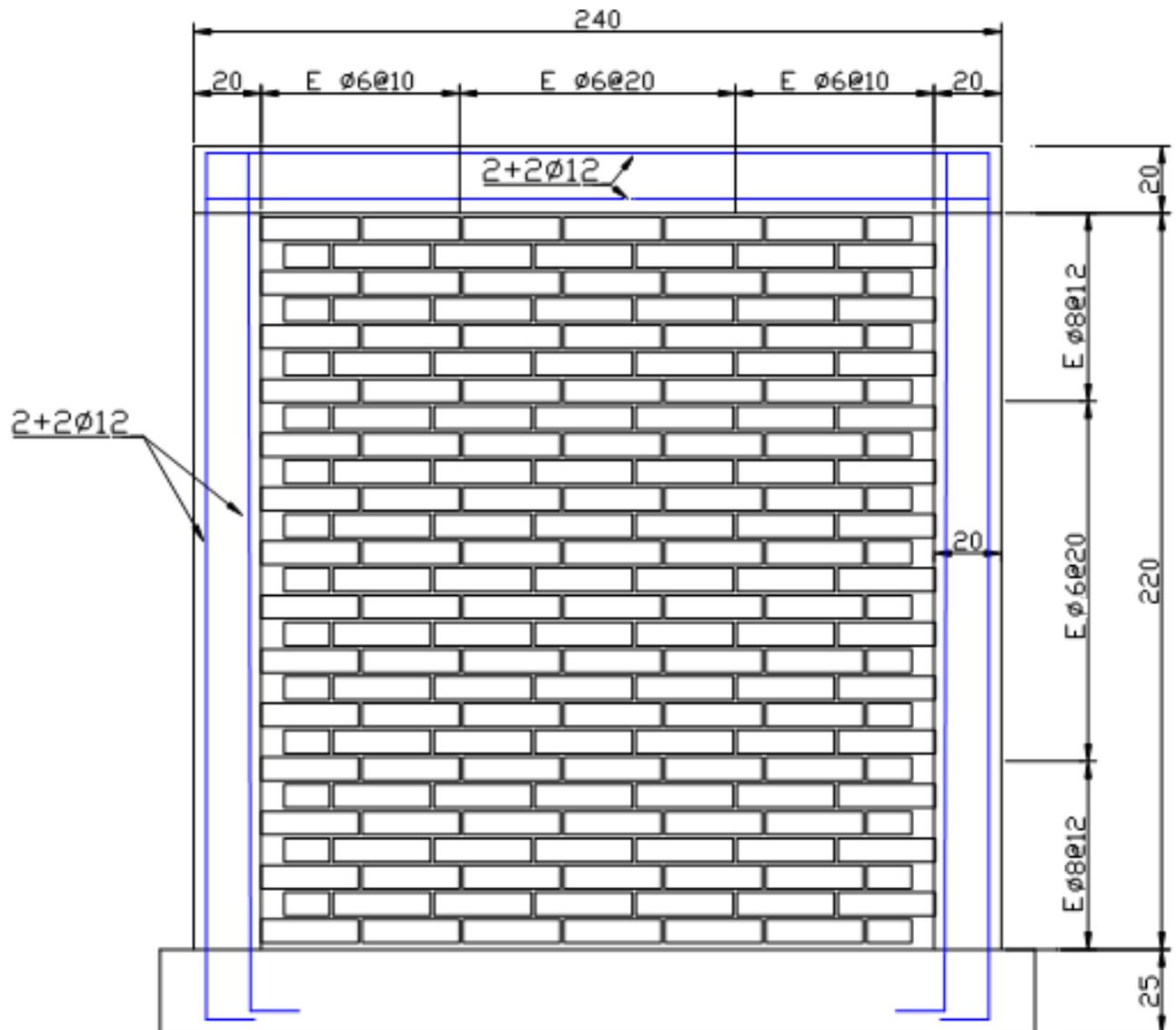


FIGURA 3.2 ARMADURAS MUROS SERIE A

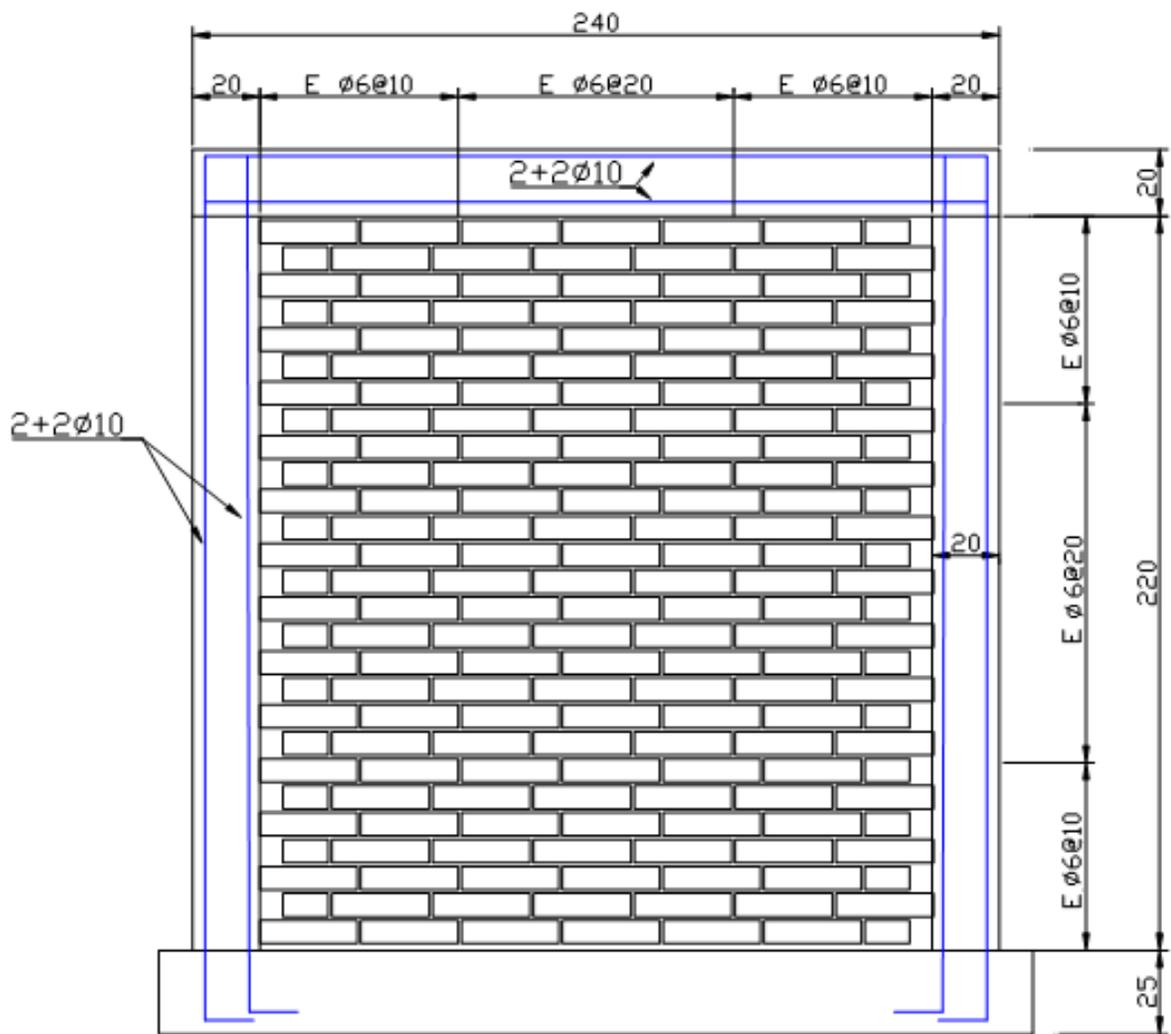


FIGURA 3.3 ARMADURA MUROS SERIE B

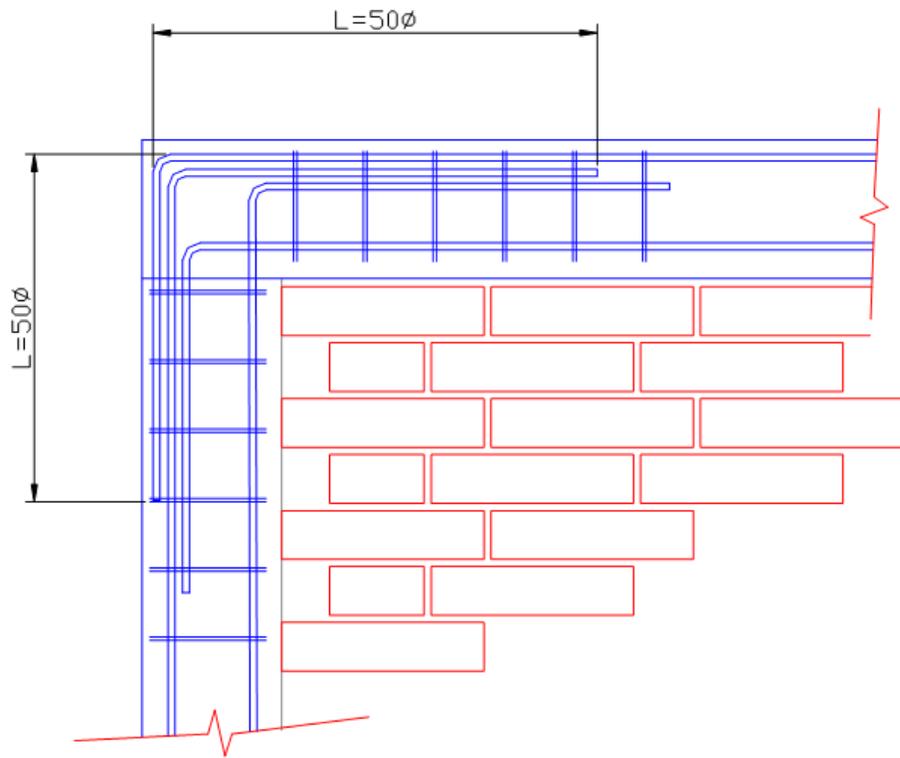


FIGURA 3.4 NUDO TIPICO UNION PILAR – CADENA

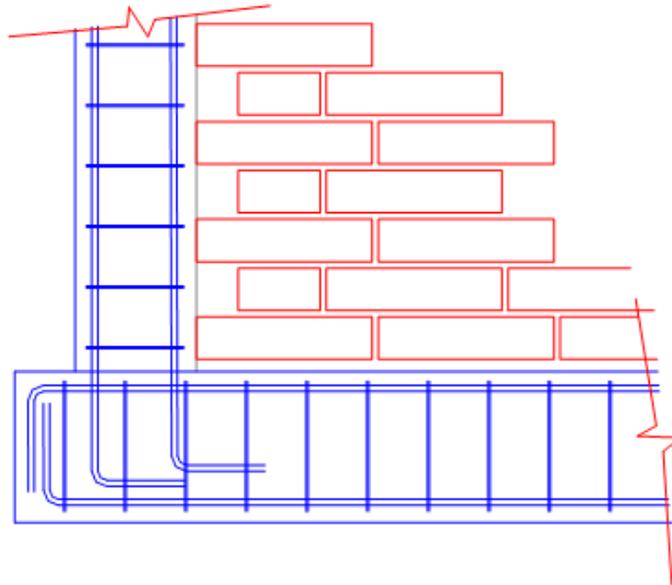


FIGURA 3.5 NUDO TIPICO UNION PILAR – VIGA DE FUNDACION

3.1.3 NIVEL DE LA CARGA VERTICAL

Los niveles de la carga vertical se determinan a partir de los requerimientos del estudio realizado por Ernesto Herrera en la primera parte de este trabajo. Allí se adoptó el nivel de la carga vertical como

una de las variables en estudio para evaluar el efecto de esta sollicitación sobre la resistencia y la rigidez, y sobre las propiedades inelásticas de los muros de albañilería.

Para estudiar esta variable, se adoptaron cuatro niveles de carga vertical: 0, 4, 8 y 12 toneladas, equivalentes respectivamente a tensiones normales por fuerza axial de 0, 2, 4 y 6 kg/cm².

3.1.4 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

El muro a ensayar se monta sobre un marco de reacción plano de acero, el que posee una viga horizontal inferior sobre la que se instala el muro apernado a través de su viga basal.

Mediante un mecanismo diseñado especialmente para esta experiencia, se aplica una carga vertical constante durante todo el desarrollo del ensayo. En seguida, el muro se somete a ciclos de carga y descarga en su plano en forma alternada, aplicando una fuerza horizontal creciente mediante actuadores hidráulicos a nivel de la cadena superior del muro, para inducir niveles desplazamiento predeterminados. Un esquema de la forma en que las cargas son aplicadas se muestra en la figura 3.6.

Las cargas horizontales son incrementadas en forma lenta, de tal forma que éste puede considerarse como un ensayo pseudoestático.

Los niveles de desplazamiento máximo son crecientes en la medida que el ensayo avanza, comenzando por ciclos de desplazamiento pequeño (1 mm), hasta llegar durante el ensayo a niveles de desplazamiento máximo del orden de 15 mm.

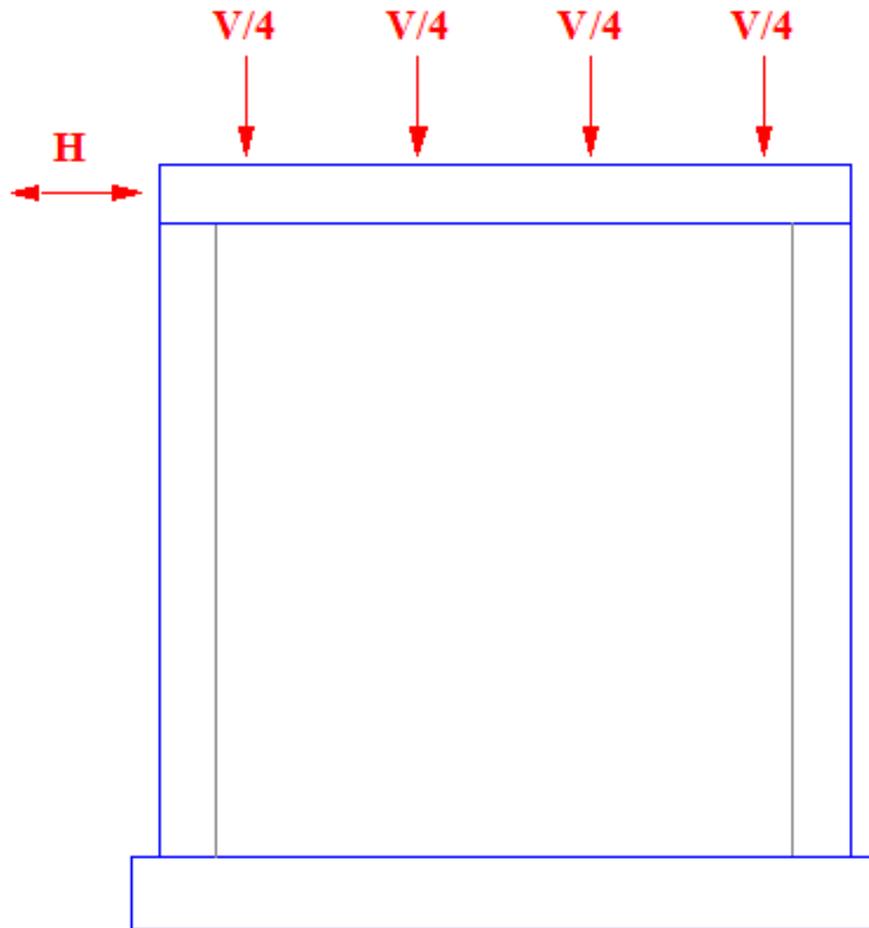


FIGURA 3.6 ESQUEMA APLICACIÓN DE CARGAS

3.1.5 NIVELES DE DESPLAZAMIENTO

La magnitud de los desplazamientos horizontales se determinó con la experiencia obtenida en el ensayo de muros sanos efectuado por J. Diez (Ref. 3). De ella se desprende que hay niveles de desplazamiento más o menos definidos en los que ocurre la primera grieta de flexión, el inicio de la grieta diagonal, el agrietamiento diagonal, y la rotura del muro.

Los niveles de desplazamiento considerados son: $H/2400$, $H/800$, $H/400$, $H/267$, $H/160$ y $H/133$, donde H es la altura del muro. Para $H = 2.40$ m, esto se reduce a la secuencia de desplazamientos siguiente:

- 1 mm
- 3 mm
- 6 mm
- 9 mm
- 12 mm

- 15 mm
- 18 mm

Esta secuencia de desplazamientos se aplica tanto al ensayo de muros sanos como al ensayo de muros reparados.

3.1.6 NIVELES DE DAÑO EN MUROS ORIGINALES

Se establecen dos niveles del daño, “Leve” y “Severo”, para el ensayo de los muros en su condición sana.

El nivel de daño denominado “Leve” está asociado a muros cuyo ensayo en condición sana concluye al momento en que se produce el agrietamiento diagonal de la estructura. No existe en este caso compromiso de los elementos de confinamiento.

El nivel de daño “Severo” está asociado a degradación subsecuente al agrietamiento diagonal, manifestada para niveles de desplazamiento horizontal iguales o superiores a 12 mm, en los que se aprecia sumado al agrietamiento del paño de albañilería, compromiso de los elementos de confinamiento.

3.1.7 INSTRUMENTACIÓN

La instrumentación definida para los ensayos está compuesta por dos partes: por un lado un sistema visual que permite el control durante el ensayo y que está compuesto por los indicadores visuales de carga de los péndulos dinamométricos y por un dial mecánico para el control del desplazamiento horizontal a nivel de la cadena; por otro lado, se dispone un conjunto de dispositivos electrónicos capaces de registrar prácticamente en forma continua y en una base de datos, el comportamiento de los muros.

Los dispositivos electrónicos para medición de deformaciones consisten en deformímetros de inducción (LVDT: Linear Variable Differential Transductor). En total se colocan 6 LVDT para medición de deformaciones y desplazamientos, y uno para medición de la carga horizontal. Los que miden deformaciones y desplazamientos son:

- Un LVDT para medir el desplazamiento horizontal a nivel de la cadena superior, con una capacidad de medición de ± 30 mm.
- Un LVDT para medir el desplazamiento horizontal a nivel de la viga de fundación del muro, que controla los corrimientos en la base. Su rango útil de medición es de ± 5 mm.
- 4 LVDT para medir las deformaciones en las dos diagonales principales del muro, por ambas caras, con una luz de medición de 1.00 m. El rango útil de medición de los LVDT diagonales es de 5 mm.

La disposición de los deformímetros de inducción (LVDT) se muestra en la Figura 3.7.

Para la medición electrónica de la carga, se usa un manómetro del tipo Bourdon, conectado hidráulicamente a la cámara de compresión del péndulo dinamométrico que controla el actuador horizontal, de tal forma que la misma presión que recibe el actuador es transmitida al manómetro. Un

LVDT dispuesto para medir la deformación del tubo Bourdon durante los ensayos, permite convertir a señal digital la presión hidráulica y, por consiguiente, la carga aplicada en el actuador, completando de esta forma el registro automático de una base de datos de carga y deformación durante los ensayos.

Antes de la realización de los ensayos, cada uno de los instrumentos es ajustado en bancos de calibración.

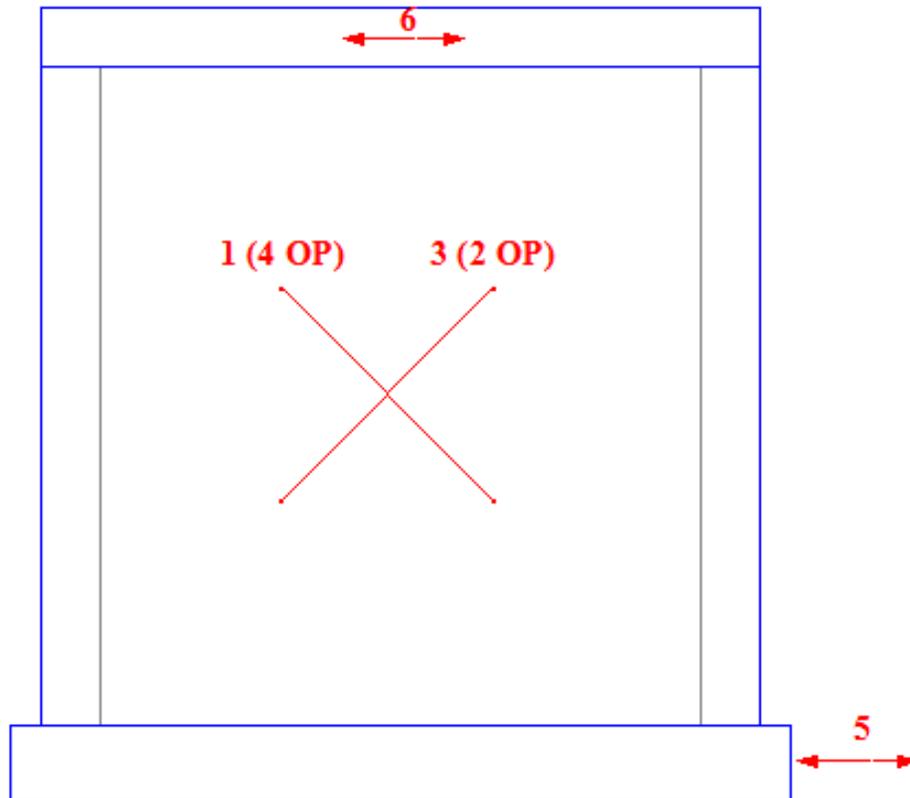


FIGURA 3.7 DISPOSICION DE LVDT

3.1.8 REGISTRO DE CARGAS Y DEFORMACIONES

El registro de datos es automático y se hace mediante un sistema recuperador de señales llamado ACUREX, comandado desde un PC. Con este equipo se puede medir cualquier instrumento que entregue señales de voltaje o corriente, sean éstas análogas (continuas) o digitales (pulsos).

Las señales de deformación son recibidas por el ACUREX a través de la unidad excitadora y transmisora JB-88, que es capaz de operar con 10 LVDT como máximo. La configuración del ACUREX se muestra en la Figura 3.8.

La captura de señales en el ACUREX se hace a través de pasadas (scans), en cada una de las cuales se realiza lecturas de todos los sensores activados y son enviadas al computador a través de una interfaz RS-232.

El control del sistema se hace desde el computador por medio de un programa en lenguaje Basic. El programa procesa la información del ACUREX en cada pasada, pero no toda la información es almacenada en medio magnético. Ello porque la frecuencia de lectura es muy alta en relación a la

velocidad del ensayo, lo cual podría dar lugar a archivos extremadamente extensos conteniendo información innecesaria.

Por esta razón, el programa se adapta para efectuar registros de datos en forma espaciada, de acuerdo a un criterio de incremento en las lecturas del LVDT superior (desplazamiento a nivel de la cadena). Así, para los primeros ciclos, los intervalos para grabación son pequeños (0.1 mm) y son aumentados para los ciclos de desplazamiento mayor.

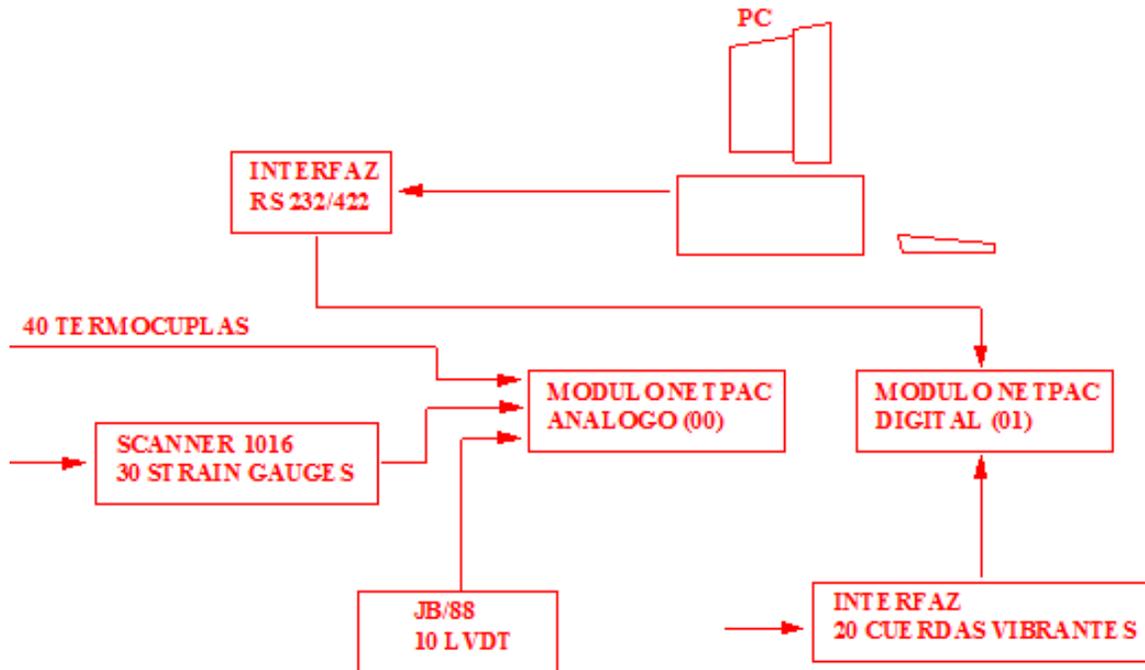


FIGURA 3.8 CONFIGURACION DEL ACUREX

3.1.9 DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

La determinación de las propiedades de los materiales usados en la construcción y en la reparación de los muros, se hace a través de muestras obtenidas durante la construcción y a través de la construcción de probetas a escala reducida con los mismos materiales utilizados en los muros.

Se preparan muestras de morteros de junta de reparación conformando probetas de dimensiones Rilem (4 x 4 x 16 cm) que se ensayan a los 28 días.

De los hormigones usados en la construcción de vigas, pilares y cadenas, se obtienen probetas cúbicas de 20 x 20 x 20 cm, que se ensayan a los 7, 28 y 90 días.

Además, se construye prismas y muretes de albañilería: cuatro prismas y cuatro muretes de cada tipo de unidad. Los muretes tienen dimensiones de 60 x 60 cm y los prismas empleados son de 8 hiladas de alto.

3.1.10 DISPOSITIVO DE ENSAYO

El sistema diseñado para la aplicación de las cargas está compuesto por dos actuadores hidráulicos independientes, uno para aplicación de cargas verticales y el otro para aplicación de cargas horizontales.

El montaje del mecanismo de cargas horizontales es similar al utilizado por Juan Diez en sus experiencias, con algunas variaciones. Este sistema está armado en base a un conjunto de piezas de tipo mecano, que son parte de un mecanismo de ensayo adquirido por IDIEM para el ensayo de vigas del Ferrocarril Metropolitano de Santiago. Su montaje se muestra en la Figura 3.9.

El montaje para ensayo de muros cuenta con dos actuadores hidráulicos AMSLER de 50 toneladas de capacidad cada uno, los que se encuentran montados en posición horizontal sobre marcos de reacción triangulares anclados a la base del mecanismo. Los actuadores se instalan de tal forma que el eje de aplicación de cargas se encuentre alineado con el centro de la cadena del borde superior de los muros.

Los actuadores hidráulicos o gatos son controlados por un péndulo dinamométrico alimentado por una bomba eléctrica.

El mecanismo para la aplicación de la carga vertical fue diseñado especialmente para este estudio. Está formado por un sistema de rótulas, palancas, tensores y vigas de acero, capaz de transmitir cargas verticalmente a cuatro puntos ubicados sobre la cadena del muro.

El sistema está diseñado para acoplarse al marco de reacción de IDIEM.

La carga vertical es aplicada mediante un actuador hidráulico de 20 ton, marca AMSLER, controlado por un segundo péndulo dinamométrico, de las mismas características que el usado para la aplicación de las cargas horizontales.

El actuador vertical aplica carga sobre un punto ubicado en uno de los extremos del sistema de palancas (ver figura 3.9), carga que se duplica al transmitirse al coronamiento del muro a través de los tensores y vigas.

La configuración de este dispositivo, conformado por elementos articulados y tensores, permite el desarrollo de desplazamientos y giros en el borde superior del muro, sin que sea afectada la distribución de la carga vertical.

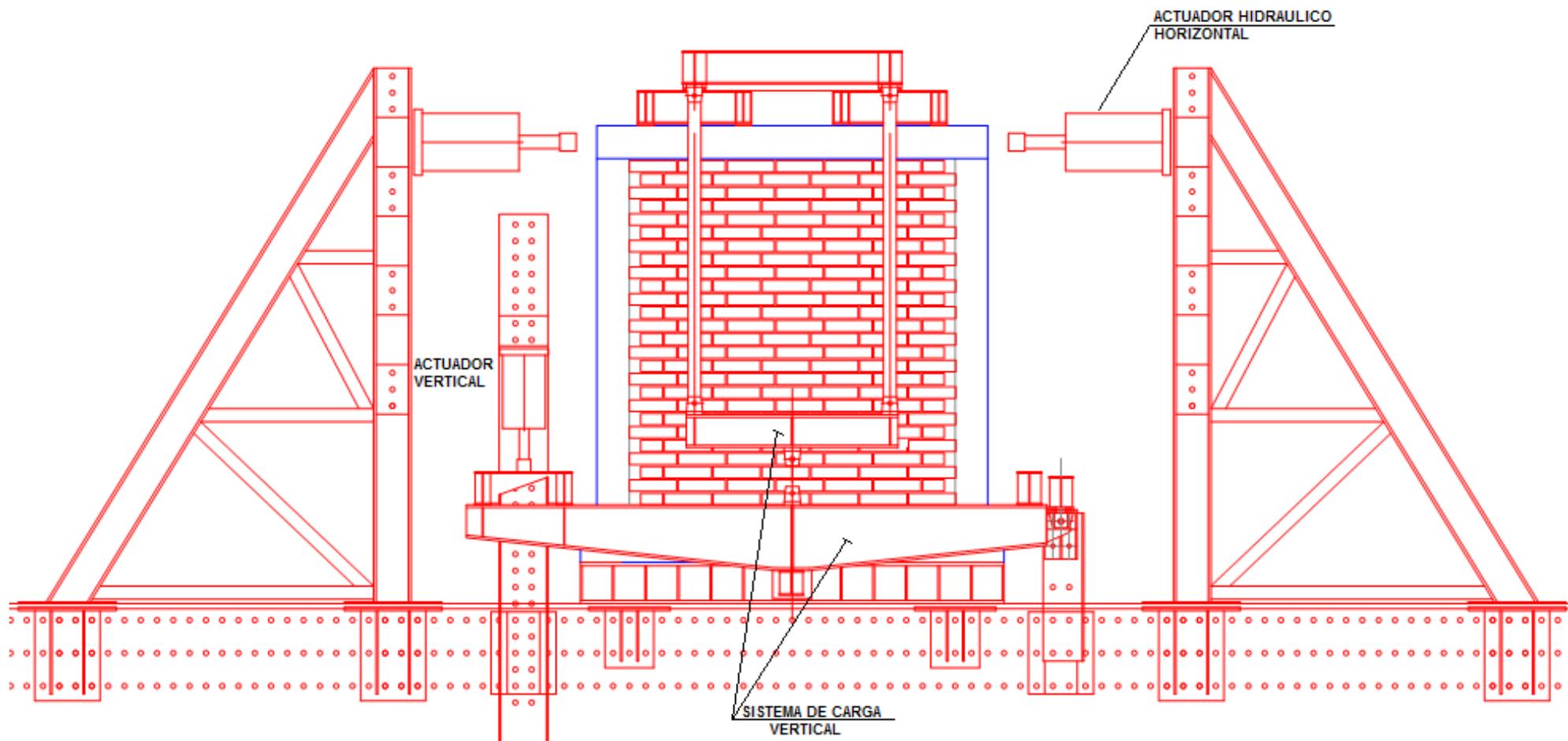


FIGURA 3.9 DISPOSITIVO DE ENSAYO

3.2 TÉCNICAS DE REPARACION Y REFUERZO

3.2.1 ELECCIÓN DEL TIPO DE REPARACIÓN

Los métodos de reparación escogidos han sido seleccionados considerando la simplicidad de la ejecución del trabajo y el logro de una recuperación integral del muro, considerando que en muros de albañilería de ladrillos cerámicos el daño sísmico compromete una zona mucho más amplia que la señalada por las trazas visibles del agrietamiento. Se han postergado por tanto técnicas de reparación del tipo local, como el refuerzo de grietas, que permiten la recuperación de la zona más dañada de la estructura, pero no el restablecimiento de las propiedades originales de ésta.

Las soluciones estudiadas consisten principalmente en la aplicación ya sea por una o por ambas caras del muro, de mortero en forma manual (estuco) o por métodos neumáticos (shotcrete). En ambos casos, el mortero se aplica sobre la totalidad de la superficie de albañilería, usándose como refuerzo una malla de acero anclada a la albañilería para dar continuidad a la reparación.

Adicionalmente, se usa como método de reparación de uno de los muros, al cual se le indujo un nivel de daño “severo”, la eliminación del paño de albañilería conservando los elementos de confinamiento y su reconstrucción posterior con unidades de ladrillo nuevas.

En algunos casos, estas técnicas se complementan con otras de recuperación local obtenidas de la revisión de los antecedentes, tales como la inserción de tacos de mortero y la demolición y reconstrucción de sectores dañados de los pilares de hormigón.

3.2.2 RECUBRIMIENTO CON HORMIGÓN PROYECTADO

El tipo de shotcrete adoptado para esta investigación es el denominado Vía Seca, ya que el agua es agregada al momento de salir la mezcla por la boquilla.

La reparación se ejecuta mediante personal y equipos aportados por la empresa PISCINERIA, con amplia experiencia en la aplicación de mortero proyectado

Se usó una dosificación típica para shotcrete de nueve sacos de cemento (380 kg) por metro cúbico de arena.

Esta técnica se usa para la reparación de seis muros. Para los muros patrones (A2 y B2) se aplica como refuerzo de un muro sin daño, de tal forma de poder estudiar el aumento de capacidad resistente en ausencia de agrietamiento.

De los muros reparados, tres corresponden a la serie construida con ladrillos hechos a máquina y tres a la serie construida con ladrillos hechos a mano.

Se adoptan dos modalidades de aplicación: por una cara o por las dos caras.

Con el propósito de facilitar la extensión de los resultados de este estudio a muros de dimensiones distintas de las que tienen los muros que aquí se usan, y eventualmente con otro tipo de refuerzos, la solución de reparación se aplica sólo al paño de albañilería, excluyendo en su aplicación los elementos de confinamiento (pilares y cadenas de hormigón armado).

El shotcrete se aplica en un espesor nominal de 4 cm. Para la fijación de los límites y del espesor de este enchape, se disponen durante la faena de proyección de la mezcla, regletas en posición vertical, dos por cada cara a lo largo de los bordes internos de los pilares, con el espesor requerido para una labor posterior de enrase manual de la superficie del mortero.

La capa de hormigón proyectado se refuerza en todos los casos con una malla de acero electrosoldada ACMA tipo C139, fabricada con barras de 4.2 mm de diámetro, espaciadas a 10 cm. El acero de esta malla es de calidad AT 56-50 H.

Para fijar esta malla de refuerzo se tienen 35 puntos de anclaje por cada cara del muro, distribuidos uniformemente sobre el paño y anclados con resina epóxica. La distribución de los puntos de anclaje se muestra en las Figuras 3.10.A, 3.10.B y 3.10.C.

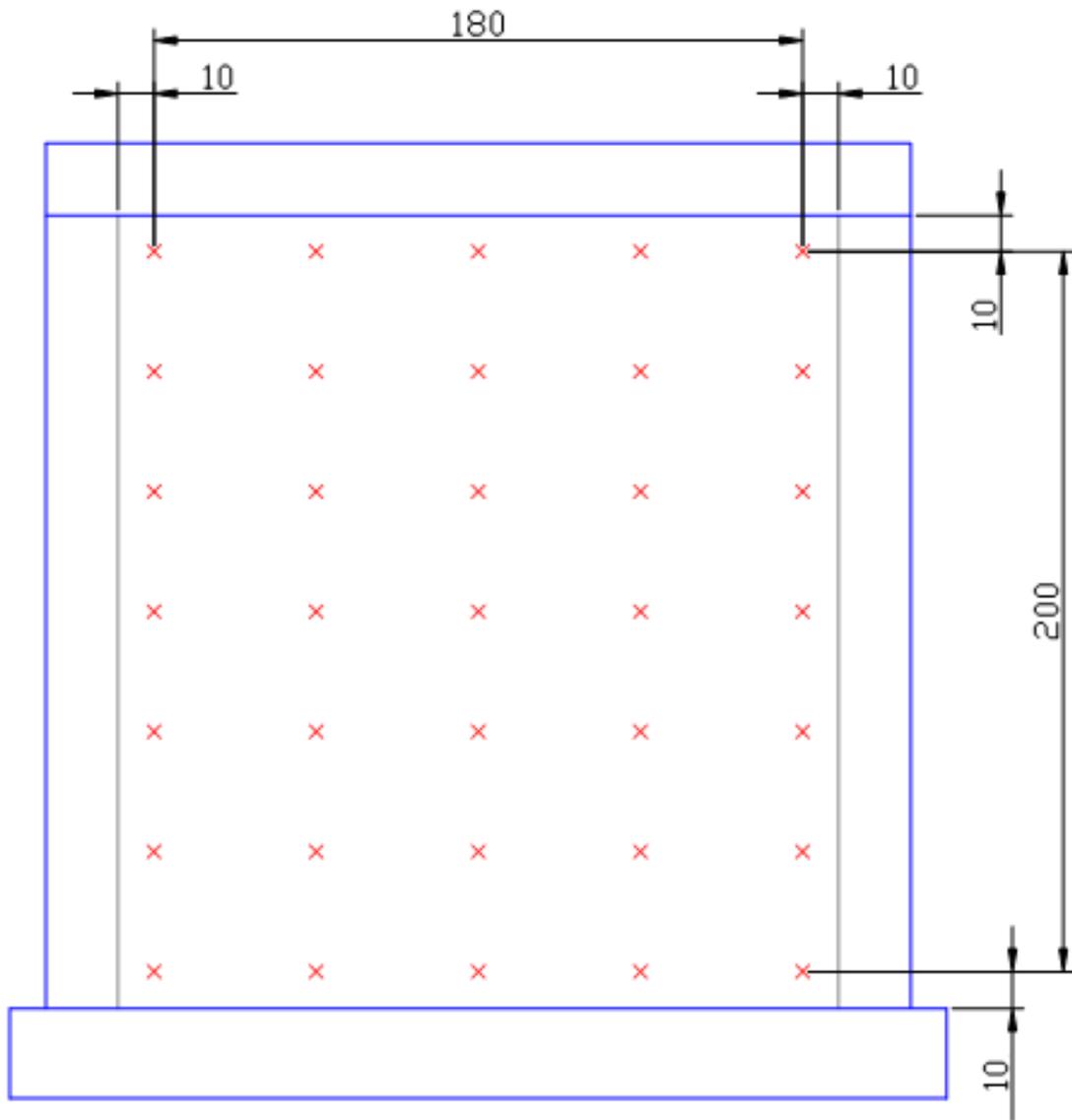


FIGURA 3.10.A DISTRIBUCION TIPICA DE ANCLAJES



FIG. 3.10.B Detalle Colocación Malla



FIG. 3.10.C Gancho Anclaje Malla

Una vez dispuesta la malla de refuerzo, la preparación de la superficie a reparar se hizo proyectando agua a presión mediante el mismo equipo de proyección de hormigón. La calidad de la superficie alcanzada se puede observar en las Figuras 3.11.A y 3.11 B.



FIGURA 3.11.A Preparación de Superficie



FIGURA 3.11.B Vista de la rugosidad superficial alcanzada

Previo a la colocación del mortero, se realizaron una serie de reparaciones locales de los muros, cuya descripción se incluye en la sección 3.2.5.

3.2.3 RECUBRIMIENTOS CON MORTERO COLOCADO A MANO REFORZADO CON MALLA

Este método se aplica por una cara en tres muros con daño de tipo leve.

Son válidas para este caso las mismas especificaciones de la reparación mediante hormigón proyectado, en lo que se refiere a la delimitación de la chapa, espesor y tipo de refuerzo de acero.

Los anclajes de la malla son también los mismos, en igual cantidad, con excepción de un muro, en el que se desea detectar algún posible efecto de la densidad de colocación de estos anclajes. En este muro, el número de anclajes de fijación de la malla se ha limitado a nueve.

El mortero es preparado y colocado por un albañil experimentado, proporcionado por la empresa Constructora Molina Morel S.A..

Para la confección del mortero de reparación se usa una dosificación 1:3 (cemento:arena) en volumen. El amasado es realizado por el albañil, quien agrega el agua de acuerdo a los requerimientos de trabajabilidad de la mezcla, de la misma forma como se hace en obra.

La preparación de superficie sobre la que se coloca el estuco de reparación consiste en un picado con herramienta manual, conforme a prácticas normales de obra. La calidad de la superficie puede observarse en las Figuras 3.12.A y 3.12.B.



FIGURA 3.12.A Preparación manual de superficie



FIGURA 3.12.B Vista rugosidad superficial

3.2.4 REEMPLAZO DEL PAÑO DE ALBAÑILERÍA

Esta forma de reparación se aplica en uno de los muros construidos con ladrillos hechos a mano, el cual presenta un nivel de daño “severo”.

El procedimiento de reparación comienza con la demolición y retiro de la totalidad del paño de albañilería, conservando los pilares y cadena de confinamiento. Posteriormente, las superficies de hormigón expuestas son limpiadas de tal forma de eliminar los residuos de ladrillo.

Dentro del paño de hormigón se construye un nuevo paño de albañilería del mismo tipo que la original, procurando dejar un espacio libre aproximado de 5 cm entre los bordes de la nueva albañilería y el hormigón de pilares y cadena. Este espacio es rellenado con un mortero con dosificación 1:3 en volumen, con agua en la cantidad necesaria para conformar un mortero de tipo seco, el cual es compactado manualmente con pisón.

Esta reparación se refuerza con la colocación de escalerillas tipo ACMA alojadas en las juntas horizontales de los ladrillos, formadas cada una por dos barras de acero de calidad AT56-50H, de 4.2 mm de diámetro.

El espaciamiento que se da a las escalerillas es de 3 hiladas.

Las barras longitudinales de las escalerillas son fijadas a los pilares en una longitud de anclaje de 8 cm, en perforaciones de 10 mm de diámetro que se rellenan con resina epóxica con anterioridad a la introducción de las barras.

3.2.5 TÉCNICAS DE REPARACIÓN LOCAL

Las reparaciones locales de los elementos se adoptan como complemento de las reparaciones globales ya descritas. Estas consisten en la inserción de tacos de mortero en la trayectoria de las grietas principales y en la reconstrucción de las zonas dañadas de los elementos de hormigón. Detalles de la ejecución de estas reparaciones pueden observarse en las Figuras 3.13.A, 3.13.B y 3.13.C.



FIG. 3.13A Detalle moldaje



FIG. 3.13.B Taco de mortero



FIG. 3.13.C Taco de mortero

3.3 PROGRAMA DE ENSAYOS Y REPARACIONES

En la Tabla 3.1 se detallan las series de muros y su correspondiente programa de ensayos y reparaciones.

TABLA 3.1 Programa de Ensayos

Muro	Nivel de Daño Previo	Carga Vertical (kg/cm ²)		Técnica de Reparación Aplicada
		Muro Original	Muro Reparado	
A1-1	Leve	0	0	Estuco – Malla
A1-2	Severo	2	4	Estuco – Malla no Anclada
A1-3	Leve	4	4	Shotcrete – Malla 1 Cara
A1-4	Severo	4	6	Shotcrete – Malla 1 Cara
A1-5	Severo	4	4	Shotcrete – Malla 2 Caras
A2	Sin Daño	-	4	Shotcrete – Malla 1 Cara
B1-1	Leve	0	0	Estuco – Malla
B1-2	Severo	2	4	Reemplazo de Albañilería
B1-3	Leve	4	4	Shotcrete – Malla 1 Cara
B1-4	Severo	4	6	Shotcrete – Malla 1 Cara
B1-5	Severo	4	4	Shotcrete – Malla 2 Caras
B2	Sin Daño	-	4	Shotcrete – Malla 1 Cara

Es importante considerar que para efectos de comparar resultados con los obtenidos en los ensayos de muros sanos por E. Herrera, deberá tenerse presente la siguiente equivalencia:

Muro	Ensayo Muro Sano
A1-5	A2
B1-2	B2
B1-5	B1-2

4 MATERIALES DE CONSTRUCCION Y REPARACION

En este capítulo se entregan las propiedades de los materiales utilizados en la confección de los muros, muretes y prismas, y de los materiales empleados en las reparaciones.

Los materiales de construcción se clasificaron de la siguiente manera:

- a) Componentes de los morteros:
 - Cemento
 - Cal
 - Arena
- b) Mortero de junta
- c) Unidades de la albañilería
- d) Hormigones
- e) Acero de refuerzo
- f) Material para refrentado de probetas
- g) Albañilería

Las características y propiedades de los materiales se obtuvieron de acuerdo a los métodos recomendados por las normas vigentes (NCh y ASTM).

4.1 COMPONENTES DE LOS MORTEROS Y HORMIGONES

4.1.1 CEMENTO

El cemento utilizado en esta investigación es fabricado por Cemento POLPAICO S.A. y su denominación comercial es Cemento Polpaico Especial. Las propiedades de este cemento se entregan en la tabla 4.1.

TABLA 4.1 Propiedades del Cemento

TIPO: ESPECIAL		
GRADO: CORRIENTE		
PROPIEDAD	UNIDAD	VALOR
Resistencia Mecánica		
Resistencia a Compresión (7 días)	kg/cm ²	257
(28 días)	kg/cm ²	289
Resistencia a Flexotracción (7 días)	kg/cm ²	52
(28 días)	kg/cm ²	74
Tiempo de Fraguado		
Tiempo de Fraguado Inicial	h	3.5
Tiempo de Fraguado Final	h	4.3
Peso Específico	kg/dm ³	2.89
Superficie Específica de Blaine	cm ² /gr	4250
Densidad Aparente	kg/dm ³	1.42

4.1.2 CAL

La cal utilizada es del tipo hidráulico y proviene de la fábrica SOPROCAL CALERIAS E INDUSTRIAS S.A., su denominación es “Cal Hidráulica Soprocal” o “Cal Soprocal N°6”.

Las propiedades físicas y químicas de la cal se entregan en la Tabla 4.2.

TABLA 4.2 Propiedades Físicas y Químicas de la Cal

PROPIEDAD	UNIDAD	VALOR
Resistencia Mecánica		
Resistencia a Compresión (7 días)	kg/cm ²	9.5
(28 días)	kg/cm ²	17.0
Peso Específico	kg/dm ³	2.48
Retentividad	%	77
Superficie Específica de Blaine	cm ² /gr	10150
Finura		
Material Retenido en Malla # 30	%	0
Material Retenido en Malla # 200	%	8.9
Composición Química		
Calcio + Magnesio (CaO + Mgo)	%	37.6
Dióxido de Silicio (SiO ₂)	%	12.7
Anhídrido Carbónico (CO ₂)	%	13.7
Compuesto (Fe ₂ O ₃ + SiO ₂)	%	16.5
Densidad Aparente	kg/dm ³	0.83

4.1.3 ARENA

La arena empleada proviene de la planta de Áridos ARRIP S.A. SOCIEDAD MINERA y su denominación comercial es ARENA ARRIP.

La arena utilizada fue bajo malla #4, por lo cual se debió tamizar. No se separó en dos fracciones granulométricas como en otras experiencias (Águila, 1988, Ref. 3; Diez, 1987, Ref. 4) considerando que la granulometría no afecta considerablemente la resistencia del mortero y además se representa mejor las condiciones de obra.

En la tabla 4.3 se muestra la granulometría de la arena empleada y la correspondiente a la establecida en la norma NCh 1928. En figura 4.1 los mismos datos se muestran gráficamente.

TABLA 4.3 Granulometría Arena Bajo Malla #4

Tamiz ASTM	Abertura (mm)	NCh 1928 % que Pasa	% que pasa
# 4	4.76	100	100
# 8	2.36	95 – 100	92
# 16	1.18	70 – 100	79
# 30	0.60	40 – 75	64
# 50	0.30	10 – 35	33
# 100	0.15	2 - 15	21

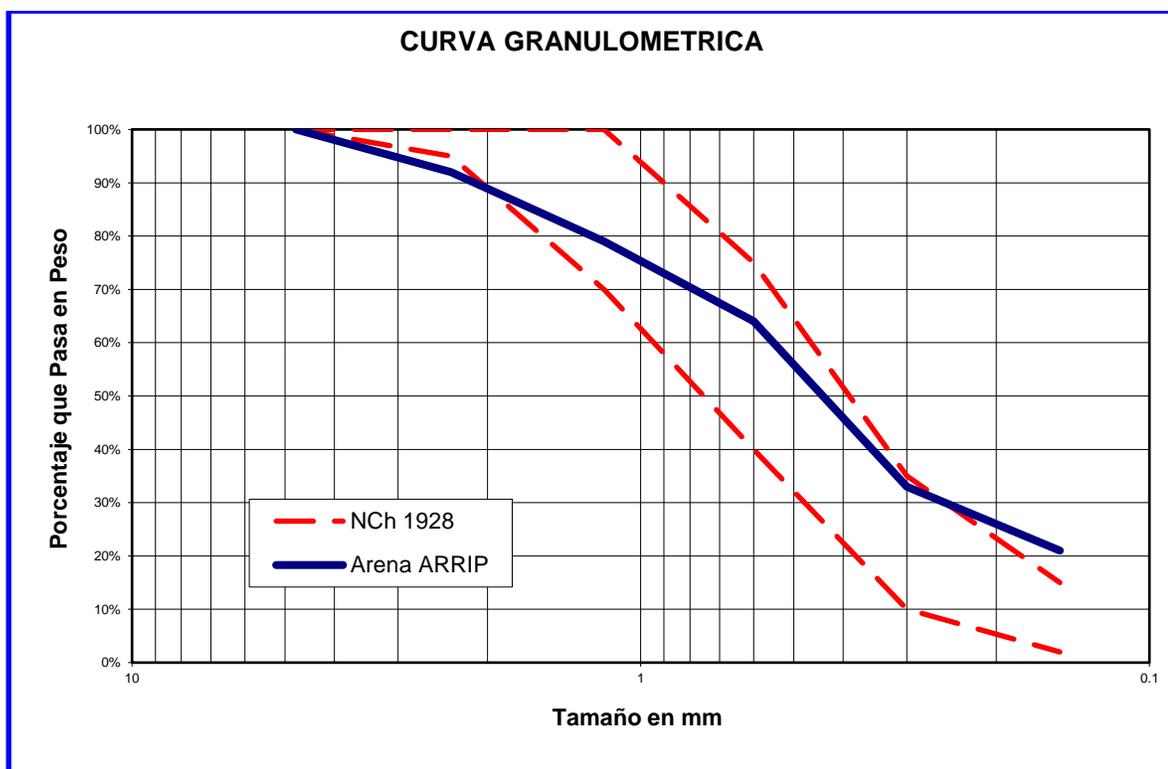


FIGURA 4.1 Curva Granulométrica Arena

En la Tabla 4.4 se resumen las propiedades de la arena ARRIP tamizada bajo malla #4.

TABLA 4.4 Propiedades de la Arena ARRIP Bajo Malla #4

Propiedades	Unidad	Valor
Densidades	kg/dm ³	1.54
- Aparente Suelta	kg/dm ³	1.67
- Aparente Compactada	kg/dm ³	2.69
- Real (S.S.S)	kg/dm ³	2.65
- Neta	kg/dm ³	2.76
Absorción	%	1.51
Módulo de Finura	#	3.10

4.2 MORTERO DE JUNTA

El mortero empleado en esta investigación tiene una dosificación en volumen de 1 : ½ : 4 (cemento : cal : arena).

Para evitar las variaciones de las dosificaciones en volumen, éstas se transformaron a dosificaciones en peso usando las siguientes densidades aparentes:

Cemento : 1,42 kg/dm³

Cal : 0,83 kg/dm³

Arena : 1,28 kg/dm³

La densidad aparente de la arena corresponde a la densidad aparente suelta húmeda recomendada en la norma ASTM C109. Con estas densidades se obtiene una dosificación en peso de 1 : 0,3 : 3,61 (cemento : cal : arena).

La fabricación de estos morteros se realizó de acuerdo a las especificaciones de la norma ASTM C305-80a (Ref. 11).

La determinación de las propiedades de los morteros en condiciones de laboratorio se hizo según la Norma ASTM C109-80 (Ref. 11).

En la Tabla 4.5 se resumen las propiedades del mortero de pega con una fluidez de 130 por ciento.

TABLA 4.5 Propiedades del Mortero de Pega

Propiedad o Característica	Unidad	Promedio	Desv. Est.	Nº Muestras
Relación Agua Total / Cemento		0,76		
Relación Agua Libre / Cemento		0,70		
Densidad en Fresco	kg/dm ³	2,17	0,01	3
Retentividad	%	70,0	4,5	3
Resistencia a la Compresión	kg/cm ²	206	5	3

En la tabla 4.6 se entregan los valores de la densidad y de la resistencia a la compresión promedio a los 28 días del mortero usado en la confección de cada uno de los muros ensayados.

TABLA 4.6 Densidades y Resistencia del Mortero de Pega

Muro	Densidad (kg/dm ³)		R28 (kg/cm ²) RILEM
	Fresca	Endurecida	
A1-1	2.17	2.06	227
A1-2	2.16	1.97	253
A1-3	2.14	1.95	243
A1-4	2.16	2.03	239
A1-5	2.17	2.00	293
A2	2.16	2.03	227
B1	2.17	2.04	249
B1-2	2.16	2.01	243
B1-3	2.18	2.02	221
B1-4	2.14	2.01	259
B1-5	2.12	1.45	237
B2	2.16	2.01	239

4.3 ALBAÑILERIA

4.3.1 LADRILLOS

Las unidades de albañilería empleadas fueron ladrillos cerámicos hechos a máquina fabricados por ladrillos PRINCESA S.A., cuya denominación comercial es ladrillo Titán Liviano, y ladrillos hechos a mano, del tipo chonchón.

En las Tablas 4.7 y 4.8 se muestran las propiedades de las unidades de albañilería.

TABLA 4.7 Propiedades del Ladrillo Titán Liviano

Propiedad Característica	Unidad	Valor	Desv. Estándar	Tamaño muestra
Largo	cm	28.76	0.03	10
Ancho	cm	14.03	0.06	10
Altura	cm	7.02	0.03	10
Área Bruta	cm ²	471.9	1.00	10
Área Neta	cm ²	239.57	1.00	10
Huecos	%	40.50	0.50	10
Peso Seco	kg	3209.40	0.05	10
Peso Específico	kg/dm ³	1.91	0.002	10
Absorción Fría (24 h)	%	14.0	0.30	10
Tasa Inicial de Absorción	gr/cm ² /min	0.26	0.02	10
Resistencia a Compresión	kg/cm ²	258.67	32.00	7
Módulo de Ruptura	kg/cm ²	16.0	2.00	7

TABLA 4.8 Propiedades del Ladrillo Chonchón

Propiedad Característica	Unidad	Valor	Desv. Estándar	Número Muestras
Largo	cm	30.25	0.03	10
Ancho	cm	15.60	0.02	10
Altura	cm	6.4	0.08	10
Área Bruta	cm ²	471.90	0.80	10
Área Neta	cm ²	471.90	0.80	10
Peso Seco	kg	3888.00	0.04	10
Peso Específico	kg/dm ³	1.29	0.001	10
Absorción Fría (24 h)	%	25.00	0.20	10
Tasa Inicial de Absorción	gr/cm ² /min	N.D. (1)		
Resistencia a Compresión	kg/cm ²	84.38	13.00	7
Módulo de Ruptura	kg/cm ²	N.D. (1)		

(1): No se determinó

4.3.2 ALBAÑILERÍA

Las propiedades de la albañilería se determinaron a los 28 días después de su construcción. Las probetas respectivas se construyeron en condiciones similares a las de los muros y se sometieron al mismo tipo de curado. Este curado consistió en la colocación de aspilleras permanentemente humectadas cubriendo completamente la superficie de la albañilería durante un período de 48 horas.

4.3.2.1 ENSAYE DE PRISMAS

Se ensayaron 4 prismas de 8 hiladas de altura construidos con unidades de albañilería del tipo Princesa y 2 prismas de 6 y 4 hiladas construidos con unidades de albañilería del tipo artesanal. En estos últimos se detectaron problemas de adherencia entre la unidad y el mortero de junta, lo que produjo su rotura al transportarlos.

Los valores característicos de la resistencia prismática ($f'm$) y del Módulo de Elasticidad (E), se determinaron siguiendo las recomendaciones del anexo B de la norma NCH 1928 Of. 86.

Las propiedades de la albañilería en compresión axial se entregan en las Tablas 4.9 y 4.10.

TABLA 4.9 Propiedades de la Albañilería Construida con Unidades Tipo Rejilla en Compresión Axial

Probeta	Carga Máxima	$f'm$ (kg/cm ²)	E (kg/cm ²)	E/ $f'm$
1	52600	130	57200	441
2	44000	110	59928	543
3	49000	110	57889	455
4	49300	121	52597	433
Promedio	48725	122	56904	468

Donde: $f'm$: Resistencia básica a la compresión.

E : Módulo de elasticidad.

TABLA 4.10 Propiedades de la Albañilería Construida con Unidades Tipo Chonchón en Compresión Axial

Probeta	Nº Hiladas	Carga Máxima	$f'm$ (kg/cm ²)	E (kg/cm ²)	E/ $f'm$
1	6	8000	17.78	3478	196
2	4	13300	29.56	7918	268

4.3.2.2 ENSAYES DE MURETES

Se ensayaron a compresión diagonal 8 muretes de 7 hiladas de altura y 2 ladrillos de arista. Con ello se determinaron los valores característicos de la resistencia básica de corte de la albañilería (Vcd) y del módulo de corte (G). Las deformaciones de las dos diagonales se midieron por medio de dos diales mecánicos. Las propiedades de la albañilería determinadas con este ensayo se entregan en las Tablas 4.11 y 4.12.

TABLA 4.11 Propiedades de la Albañilería Construida con Unidades Tipo Rejilla en Compresión Diagonal

Probeta	Carga Máxima	Vcd (kg/cm ²)	G (kg/cm ²)
1	8500	7.16	14400
2	7300	6.26	8347
3	9400	8.04	11000
4	12500	10.52	16698
Promedio	9425	8.00	12611

TABLA 4.12 Propiedades de la Albañilería Construida con Unidades del Tipo Chonchón en Compresión Diagonal

Probeta	Carga Máxima	Vcd (kg/cm ²)	G (kg/cm ²)
1	2000	1.57	1764
2	3300	2.37	2297
3	3000	2.35	
4	2800	2.32	
Promedio	3033	2.47	

4.4 HORMIGONES

Los hormigones usados en los muros fueron de dos tipos: en la viga de fundación se ocupó un hormigón de 225 kg/cm² de resistencia mínima, mientras que en los pilares y cadena se ocupó un hormigón de 300 kg/cm² de resistencia mínima. Las calidades de los hormigones corresponden a aquellos definidos en la Norma NCh 429 EOf57 como Clase D225 y Clase E300, respectivamente.

Los hormigones utilizados fueron del tipo premezclados, preparados por la empresa PREMIX S.A.

Las dosificaciones utilizadas por metro cúbico para los materiales secos son las siguientes:

- a) Hormigón D225 con tamaño máximo de árido 1½ pulgada.

Cemento : 255 kg.

Arena : 947 kg.
 Gravilla : 436 kg.
 Grava : 603 kg.
 Agua : 182 kg.
 Total : 2423 kg.

b) Hormigón E300 con tamaño máximo de árido $\frac{3}{4}$ pulgada.

Cemento : 362 kg.
 Arena : 989 kg.
 Gravilla : 819 Kg.
 Agua : 209 kg.
 Total : 2379 kg.

A los hormigones se les agregó un aditivo plastificante retardante en una cantidad de 4,2 cc por kilo de cemento.

Los hormigones fueron colocados según los procedimientos normales de obra y fueron compactados por medio de vibradores de inmersión.

En la tabla 4.13 se resumen algunas propiedades de los hormigones utilizados.

TABLA 4.13 Propiedades de los Hormigones

Muro	Hormigón E300			Hormigón D225		
	Dens. End. (kg/cm ²)	R28 (kg/cm ²)	Desv.Std. (kg/cm ²)	Dens. End. (kg/cm ²)	R28 (kg/cm ²)	Desv.Std. (kg/cm ²)
A1-1	2.25	277	25	2.40	236	3
A1-2	2.36	427	16	2.39	274	10
A1-3	2.25	277	25	2.42	330	18
A1-4	2.40	406	31	2.41	168	20
A1-5	2.25	278	20	2.40	236	3
A2	2.40	406	31	2.39	274	10
B1-1	2.31	207	15	2.41	168	20
B1-2	2.31	207	15	2.33	217	17
B1-3	2.35	286	32	2.42	330	18
B1-4	2.36	427	16	2.33	217	17

Muro	Hormigón E300			Hormigón D225		
	Dens. End. (kg/cm ²)	R28 (kg/cm ²)	Desv.Std. (kg/cm ²)	Dens. End. (kg/cm ²)	R28 (kg/cm ²)	Desv.Std. (kg/cm ²)
B1-5	2.37	433	40	2.40	281	14
B2	2.35	286	32	2.4	281	14

4.5 ACERO DE REFUERZO

El acero utilizado en las barras de refuerzo de pilares y cadenas de hormigón armado correspondió a barras CAP. En las cadenas, que se construyeron con un ancho mayor que el espesor del muro para permitir el montaje del aparato de carga vertical, se usó complementariamente una armadura de piel tipo ACMA C-139.

Los diámetros de las barras utilizadas en los muros fueron: 6, 8, 10 y 12 milímetros en sus dimensiones nominales y calidad A 63-42 H.

4.6 MATERIALES PARA REFRENTADO

Se emplearon dos tipos de refrentado para las probetas de albañilería.

- a) Refrentado de azufre
- b) Refrentado de mortero

4.6.1 REFRENTADO DE AZUFRE

Este refrentado se empleó para el ensayo a compresión de las unidades de albañilería.

El material para el refrentado de azufre es una mezcla de azufre y arena de cuarzo (bajo malla # 100 ASTM), cuya denominación comercial es "CYLCAP".

4.6.2 REFRENTADO DE MORTERO

Este refrentado se empleó en el ensayo de muretes a compresión diagonal y en el ensayo de prismas.

El mortero para el refrentado consistió en un mortero con dosificación cemento: arena igual a 1:3, empleando arena Arrip (bajo malla # 30 ASTM) y cemento Polpaico Especial con una relación agua / cemento de 0,56.

4.7 MATERIALES PARA REPARACIÓN

4.7.1 MATERIALES PARA REPARACIÓN MEDIANTE SHOTCRETE

Los materiales usados para la reparación mediante aplicación de shotcrete son:

- Cemento
- Áridos
- Aditivos
- Agua
- Malla de acero

El cemento utilizado corresponde al tipo Polpaico Especial, el mismo usado en la construcción de los muros.

La arena empleada proviene del río Maipo; su granulometría corresponde a la que se presenta en la tabla 4.3. Es una arena limpia, bien graduada, con un tamaño máximo de ½"; se ajusta a la banda granulométrica recomendada por la norma ACI 506.2-77 (Ref. 12).

El cemento y la arena se mezclan en seco en proporción de 9 sacos de cemento por metro cúbico de arena (382 kg cem/m³ de arena). Todo el proceso de preparación de los materiales y su colocación fue realizado por la empresa PISCINERIA.

Considerando a modo de referencia para esta aplicación por vía seca, una relación agua:cemento de 0.4 y los datos de la arena indicados en la TABLA 4.4, la combinación anterior equivale aproximadamente a una dosificación en peso por metro cúbico de mezcla, de:

- Cemento : 409 kg
- Arena : 1786 kg
- Agua : 214 kg

La revoltura de la arena con el cemento se realiza en forma manual, con palas, sobre una cancha preparada en el lugar de la faena.

La mezcla cemento-arena es introducida en una tolva, desde donde es impulsada con aire a presión a través de una manguera hacia la boquilla, donde se le agrega el agua y el aditivo previamente dosificados. El flujo de agua es regulado por el operador del pitón, quien ajusta la mezcla de tal forma de controlar el porcentaje de rechazo.

Como refuerzo de acero se usa una malla electrosoldada ACMA tipo C-139, con espaciamiento de 10 cm y barras de 4.2 mm de diámetro, fabricado con un acero de calidad AT56-50H.

Los anclajes de la malla a la superficie del muro se fabrican usando segmentos de barras de la misma malla, adheridas con resina epóxica en el interior de perforaciones de aproximadamente 8 cm de profundidad hechas en los ladrillos. El sistema epóxico que se emplea en la colocación de los anclajes es un adhesivo de uso general, fabricado por CIBA GEIGY Ltda. Los componentes de este sistema son:

- Resina: GY 250

- Endurecedores: HY 830 y HY 850

El árido empleado corresponde a un polvo de cuarzo conocido comercialmente como “Sílice Impalpable”. Este árido se agrega en cantidad suficiente como para producir una mezcla plástica con la consistencia que se requiere para permitir el relleno de las perforaciones horizontales sin que escurra.

4.7.2 MATERIALES PARA LA REPARACIÓN MEDIANTE MORTERO ARMADO

Para la fabricación del mortero se usa cemento tipo Polpaico Especial y arena bajo malla #4, proveniente del río Maipo, la misma usada para el mortero proyectado.

Estos materiales se mezclan en proporción 1:3 (cemento:arena) en volumen, lo que da una dosificación en peso de 1: 3.53.

La mezcla de materiales secos se realiza en partidas para 20 litros de mortero aproximadamente. El agua la agrega el albañil en el momento de la colocación, de acuerdo a los requerimientos de docilidad.

La malla utilizada como refuerzo, así como sus anclajes, son idénticos a los usados en la reparación mediante shotcrete.

4.7.3 MATERIALES PARA REPARACIÓN MEDIANTE REEMPLAZO DE PAÑO DE ALBAÑILERÍA

Para esta reparación, aplicada sólo en un muro, se usan unidades de ladrillo artesanal tipo chonchón, de la misma partida de la que provenían los ladrillos usados en la construcción de muros originales de este tipo de unidad.

El cemento empleado en la confección del mortero de junta y del mortero para relleno de bordes es del tipo Polpaico Especial.

La arena utilizada es del río Maipo y se usa la fracción bajo malla N° 4.

Para la preparación del mortero de junta se adopta la misma dosificación usada en la etapa de construcción de los muros originales, es decir, 1:½:4 (cemento : cal : arena).

Para el mortero de relleno de bordes, la dosificación usada corresponde a 1:3 (cemento : arena) en volumen. El agua se añade en cantidad mínima necesaria para conformar un mortero sólo con la trabajabilidad suficiente para permitir su colocación y compactación.

Las escalerillas de acero que se usan como refuerzo horizontal de la reparación están formadas por dos barras paralelas a 8.5 cm de separación, de acero AT56-50H, de 4.2 mm de diámetro y tensiones nominales de fluencia y rotura de 500 y 560 MPa, respectivamente, con trabas de 4.2 mm de diámetro cada 30 cm.

4.7.4 MATERIALES PARA REPARACIONES LOCALES

El cemento utilizado en las reparaciones locales es Polpaico Especial y la arena es del río Maipo.

a) Tacos de mortero

Para la confección de los tacos se usa un mortero plástico, con una dosificación 1:3 (cemento : arena) en volumen. La consistencia es la adecuada para permitir su colocación y compactación.

b) Imprimación de la superficie de albañilería

Se utiliza un puente de adherencia de tipo acrílico, cuyo nombre comercial es SIKATOP 77.

El SIKATOP 77 se diluye en agua en una relación de 1:1 y se amasa con cemento y arena fina (bajo malla N° 16 y sobre malla N° 100), mezclados previamente en partes iguales.

Esta mezcla se esparce con brocha sobre el muro, previo a recibir la capa de estuco.

c) Reconstrucción de pilares dañados

La dosificación del hormigón de gravilla para reparación se obtiene de la memoria de título de Osman Torres (Ref. 5), basada en el método ACI modificado. Esta dosificación corresponde a la siguiente:

- Cemento : 360 kg/m³
- Gravilla : 1000 kg/m³
- Arena : 860 kg/m³
- A/C : 0.45
- H : 3-4 cm
- Aditivo : SIKA Plastiment HER 0.3% c/r al cemento, en peso

La gravilla utilizada corresponde a un material de granulometría comprendida entre 3/4" y malla N° 4. La arena corresponde a aquella fracción bajo malla N° 4.

4.7.5 ASPECTOS DE LAS REPARACIONES REALIZADAS

En las fotografías 4.1 a 4.8 se muestran algunos aspectos de la labor de reparación ejecutada.



FOTO 4.1 Muros Antes de la Reparación



FOTO 4.2 Muros Antes de la Reparación



FOTO 4.3 Muros en Etapa de Preparación



FOTO 4.4 Muros en Etapa de Preparación



FOTO 4.5 Colocación de Estuco con Malla de Refuerzo



FOTO 4.6 Colocación de Estuco con Malla de Refuerzo



FOTO 4.7 Colocación de Shotcrete con Malla de Refuerzo



FOTO 4.8 Colocación de Shotcrete con Malla de Refuerzo



FOTO 4.9 Colocación de Shotcrete con Malla de Refuerzo

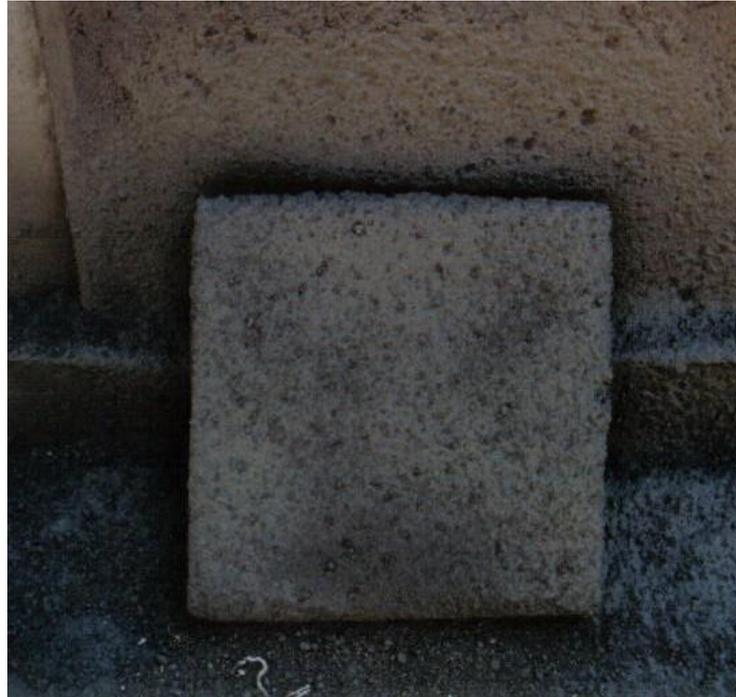


FOTO 4.10 Muestra Prismática de Shotcrete

5 RESULTADOS EXPERIMENTALES Y COMPORTAMIENTO DE LOS MUROS

5.1 INTRODUCCION

En este capítulo se entregan los resultados obtenidos de los ensayos realizados en los muros reparados. Con el propósito de establecer una comparación entre el comportamiento de estos muros en estado sano y posteriormente reparado, se presentan resultados tanto de los ensayos de muros sanos realizados en el trabajo de Ernesto Herrera, como los del presente Estudio

Del estudio del comportamiento de muros sanos, se detallan sólo aquellos resultados más relevantes para este estudio. Otros resultados del análisis de la respuesta de los muros sanos pueden ser consultados directamente en la memoria de título de Ernesto Herrera (Herrera, 1992).

La descripción del comportamiento de los muros reparados se hace con las observaciones realizadas durante el ensayo, destacando: nivel de daño previo, tipo de reparación, secuencia de agrietamiento, cargas máximas, registros de carga y deformación y el análisis de las curvas Carga – Deformación Horizontal.

5.2 DEFINICIONES

Para describir el comportamiento de los muros reparados y el estado de deterioro de los mismos, es necesario tener en cuenta las definiciones siguientes:

- i) Comportamiento elástico : Este comportamiento corresponde a ciclos histeréticos estrechos, donde las gráficas carga-deformación de las fases de carga y descarga prácticamente coinciden. En estos casos, la deformación remanente final menos la deformación inicial del ciclo, es menor de 0.6 mm. Para este comportamiento los muros no presentan fisuración visible.
- ii) Comportamiento estable : Corresponde a aquel comportamiento en el cual la caída del nivel de carga entre el primer y segundo ciclo es menor o igual a un 5%. Para este comportamiento la fisuración se mantiene estable.
- iii) Degradación de carga : Queda definida cuando la caída en el nivel de carga entre el primer y segundo ciclo de un mismo nivel de deformación sobrepasa el 5%.
- iv) Cara frontal : Cara visible durante el ensayo
- v) Sentido positivo : Corresponde a aquel ciclo en que la carga se aplica de izquierda a derecha para un observador situado delante de la cara frontal del muro.
- vi) Sentido negativo : Corresponde a aquel ciclo en que la carga se aplica de derecha a izquierda para un observador situado delante de la cara frontal del muro.

- vii) Cabeza comprimida : Extremo inferior del muro, ubicado en el borde opuesto al de aplicación de la carga. Se define como cabeza de compresión positiva aquella que resulta comprimida al aplicar carga en sentido positivo, y como cabeza de compresión negativa, aquella que resulta comprimida al aplicar carga en sentido negativo.
- viii) Pilar derecho : Pilar ubicado a la derecha de un observador situado delante de la cara frontal del muro.
- ix) Pilar izquierdo : Pilar ubicado a la izquierda de un observador situado delante de la cara frontal del muro.
- x) Deformación nominal : Nivel de desplazamiento horizontal a nivel de la cadena del muro, asignada previamente a cada etapa del ensayo.
- xi) Rigidez secante (K_a) : Se define la rigidez secante K_a asociada a un determinado nivel de desplazamiento horizontal, como la pendiente de la recta que une la posición deformada remanente del ciclo anterior con el punto correspondiente a la máxima carga horizontal del nivel de desplazamiento del ciclo actual. En la FIGURA 5.1 se representa la rigidez anteriormente descrita.
- xii) Rigidez inicial (K_i) : Se obtiene a partir del primer ciclo de aplicación de carga de un ensayo. Se define como la razón entre carga aplicada a la altura de la cadena y el desplazamiento horizontal medido a la misma altura, para el nivel más pequeño de desplazamiento (1 mm). Su representación gráfica se muestra en la FIGURA 5.1.
- xiii) Rigidez final (K_f) : Corresponde a la rigidez secante remanente al final del ensayo del muro sano, determinada para los ciclos finales del ensayo en cada sentido de carga.
- xiv) Recuperación de rigidez : Corresponde al porcentaje en que la rigidez inicial del muro sano es recuperada por efecto de la reparación que se ha aplicado. Se compara en este caso la Rigidez Inicial del muro reparado con la Rigidez Inicial medida al comienzo del ensayo del muro sano. La expresión para calcularla es:

$$R = \frac{K_i (\text{muro reparado})}{K_i (\text{muro sano})}$$

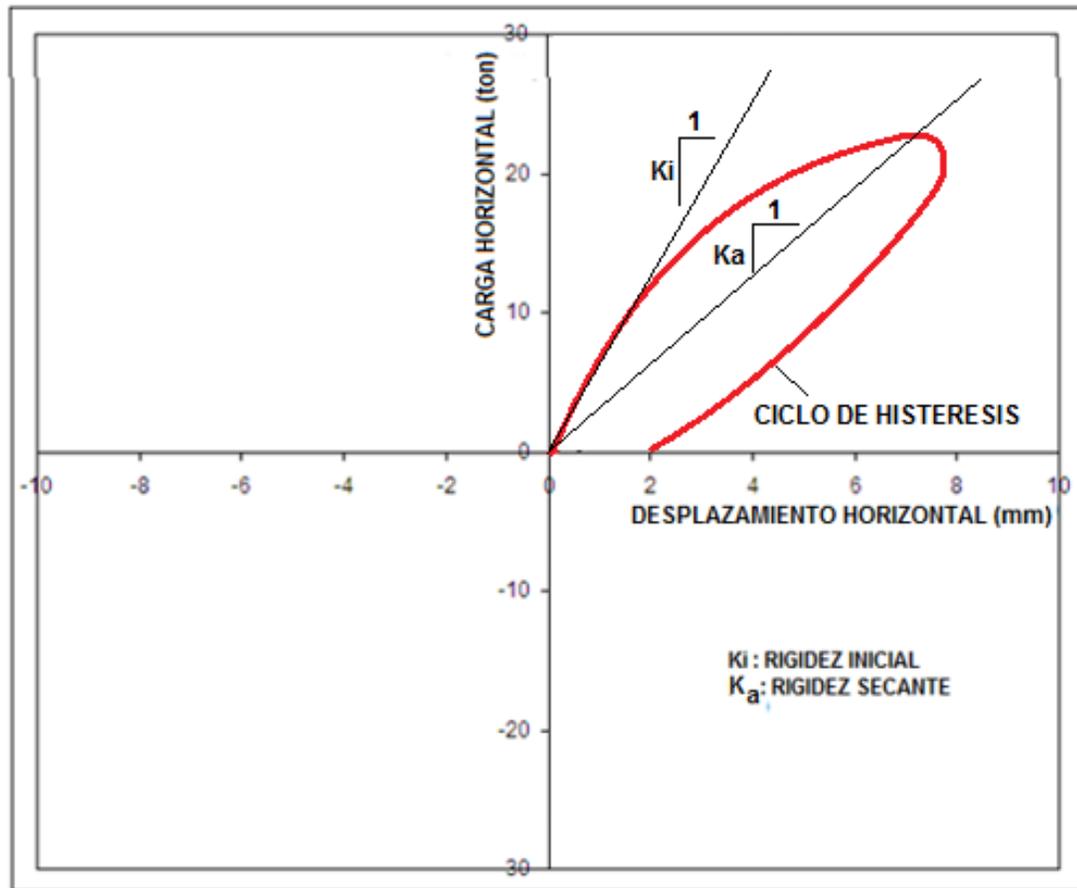


FIGURA 5.1 REPRESENTACION GRAFICA DE LA RIGIDEZ

Definidos estos términos, en los numerales siguientes se presenta la descripción del comportamiento de los muros reparados durante el ensayo ante cargas laterales cíclicas.

5.3 RESULTADOS DE LOS ENSAYOS Y COMPORTAMIENTO DE MUROS REPARADOS

En los numerales 5.3.1 a 5.3.12 se entregan para cada uno de los muros, los resultados obtenidos de los ensayos tanto de muros sanos como de muros reparados. Para cada uno se entrega en primer lugar, una tabla y gráficos que resumen la siguiente información:

- Tipo de unidad de albañilería.
- Dimensiones del muro.
- Nivel de carga vertical aplicada tanto para el muro sano como para el muro reparado/reforzado.
- Nivel de daño inducido al muro sano en el primer ensayo.
- Características de la reparación/refuerzo ejecutada.

- Carga horizontal alcanzada en cada sentido para cada uno de los niveles de desplazamiento aplicados. Estos valores se indican en las columnas “CARGA”, tanto para muro original como reparado. Los niveles de desplazamiento se designan por letras y el sentido de aplicación de la carga se designa por un signo “ + ” (más) cuando la carga se aplica hacia la derecha y por un signo “ - ” (menos) cuando la carga se aplica hacia la izquierda. Los niveles de desplazamiento aplicados son los siguientes:

- Ciclos A : 1 mm
- Ciclos B : 3 mm
- Ciclos C : 6 mm
- Ciclos D : 9 mm
- Ciclos E : 12 mm
- Ciclos F : 15 mm
- Ciclos G : 18 mm

No obstante se aplican 3 ciclos completos para cada nivel de desplazamiento, en las tablas se indican sólo las cargas correspondientes al primer ciclo de cada nivel de desplazamiento. Además, se entrega la recuperación de rigidez del muro reparado para cada sentido de aplicación de la carga.

- Rigidez Secante asociada al primer ciclo de cada nivel de desplazamiento, tanto para muro sano como reparado. Estos valores se muestran en la columna “RIGIDEZ SECANTE”.
- Evolución del daño en el muro a medida que los niveles de desplazamiento son incrementados. Para su representación en la tabla, se usa la siguiente nomenclatura:

EL : El comportamiento del muro es elástico

FC : Desarrollo de fisuras de corte

FF : Desarrollo de fisuras de flexión

GD : Agrietamiento diagonal por corte

$$R = \frac{Ki \text{ (muro reparado)}}{Ki \text{ (muro sano)}}$$

- Recuperación de rigidez, según lo definido en 5.2.
- Gráfico de evolución de la rigidez secante de los muros a medida que los niveles de desplazamiento son incrementados.
- Gráficos de carga v/s desplazamiento, donde pueden observarse los ciclos de histéresis resultantes de los ensayos de muros sanos y reparados o reforzados.

A continuación de la tabla y gráficos, se muestran esquemas de agrietamiento de los muros sanos y reparados, y fotografías tomadas luego de los ensayos.

5.3.1 MURO A1-1

5.3.1.1 RESUMEN DE RESULTADOS EXPERIMENTALES

A continuación, se presenta el resumen de resultados obtenidos en los ensayos en condición sana y reparada, para el muro A1-1:

TABLA 5.1 RESULTADOS EXPERIMENTALES

MURO: A1-1 TIPO LADRILLO: REJILLA DIMENSIONES: 2.40X2.40														
FECHA DE ENSAYO			MURO SANO					MURO REPARADO						
NIVEL CARGA VERTICAL (kg/cm ²)			02-oct-89					14-may-90						
NIVEL DE DAÑO			LEVE					ESTUCO MALLA 1 CARA						
CARACTERISTICAS														
TIPO DE FALLA PREDOMINANTE			CORTE					FLEXION						
CARGA MAX.	CICLO		D					G						
	VALOR		14,1					21,7						
CICLOS (+)	RIGIDEZ INICIAL (t/cm)		55,07					30,17						
	RIGIDEZ FINAL (t/cm)		10,11					8,95						
	RECUP. RIGIDEZ (%)							55%						
CICLOS (-)	RIGIDEZ INICIAL (t/cm)		40,81					21,74						
	RIGIDEZ FINAL (t/cm)		15,63					4,82						
	RECUP. RIGIDEZ (%)							53%						
CICLOS			CARGA MAX (t)	CARGA/CARGA MAX	DESPLAZAMIENTO (mm)	RIGIDEZ SECANTE (t/cm)	K / KG (%)	COMPORTEAMIENTO	CARGA (t)	CARGA/CARGA MAX	DESPLAZAMIENTO (mm)	RIGIDEZ SECANTE (t/cm)	K / KG (%)	COMPORTEAMIENTO
1 mm	A+	4,66	0,35	0,85	55,07	100%	EL	3,23	0,24	1,07	30,17	55%	EL	
	A-	4,18	0,32	0,88	40,81	100%	EL	2,24	0,17	0,71	21,74	53%	EL	
	A+	5,03	0,38	0,87	41,11	75%		3,00	0,23	1,08	23,22	42%		
3 mm	A-	4,18	0,32	0,88	38,66	95%		2,75	0,21	0,87	24,11	59%		
	B+	8,47	0,64	2,11	32,67	59%	FF	6,74	0,51	2,82	23,23	42%	EL	
	B-	7,86	0,59	2,41	25,73	63%	FF	5,49	0,41	2,61	18,23	45%	EL	
	B+	8,22	0,62	2,25	25,83	47%		6,48	0,49	2,89	20,97	38%		
	B-	7,36	0,56	2,33	25,77	63%		5,49	0,41	2,66	17,85	44%		
	B+	8,22	0,62	2,26	26,30	48%								
6 mm	B-	6,76	0,51	2,24	23,22	57%								
	C+	11,55	0,87	3,57	25,99	47%	FC	10,95	0,83	5,19	19,89	36%	EL	
	C-	10,8	0,82	3,86	20,42	50%	FC	9,23	0,70	5,03	15,48	38%	EL	
	C+	10,67	0,81	3,79	18,60	34%		10,70	0,81	5,46	17,04	31%		
	C-	10,54	0,80	4,08	20,55	50%		9,96	0,75	5,52	15,68	38%		
	C+	10,92	0,82	3,76	18,47	34%		10,95	0,83	5,67	17,24	31%		
9 mm	C-	10,19	0,77	4,03	19,55	48%		9,71	0,73	5,40	15,60	38%		
	D+	13,25	1,00	5,06	19,50	35%	GD	15,20	1,15	8,28	17,41	32%	EL	
12 mm	D-	12,77	0,96	5,67	14,62	36%		13,45	1,02	8,00	15,13	37%	EL	
	E+							18,43	1,39	11,34	15,52	28%	FF + FC	
15 mm	E-							16,19	1,22	11,20	12,66	31%	FF + FC	
	F+							20,44	1,54	14,25	13,47	24%	FF + FC	
18 mm	F-							17,44	1,32	13,81	10,35	25%	FF + FC	
	G+							24,40	1,84	25,74	8,95	16%	FF + FC	
	G-							18,94	1,43	26,67	4,82	12%	FF + FC	

5.3.1.2 GRAFICOS DE HISTERESIS

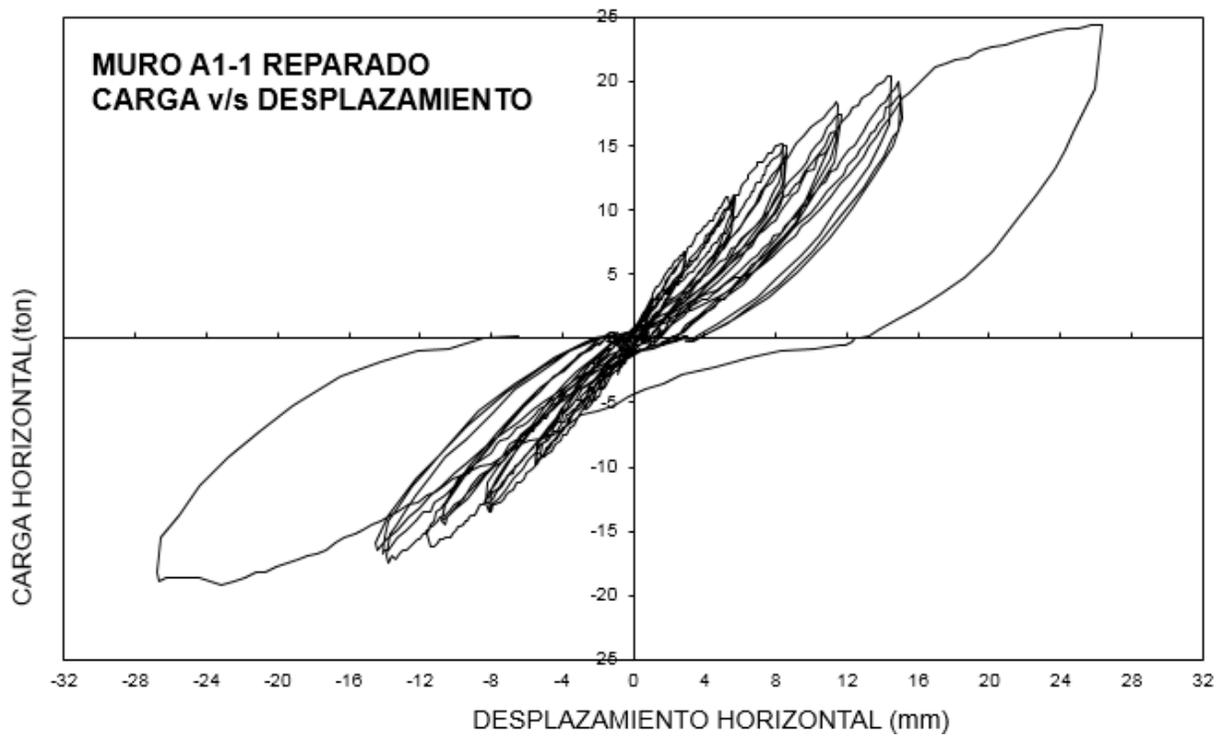
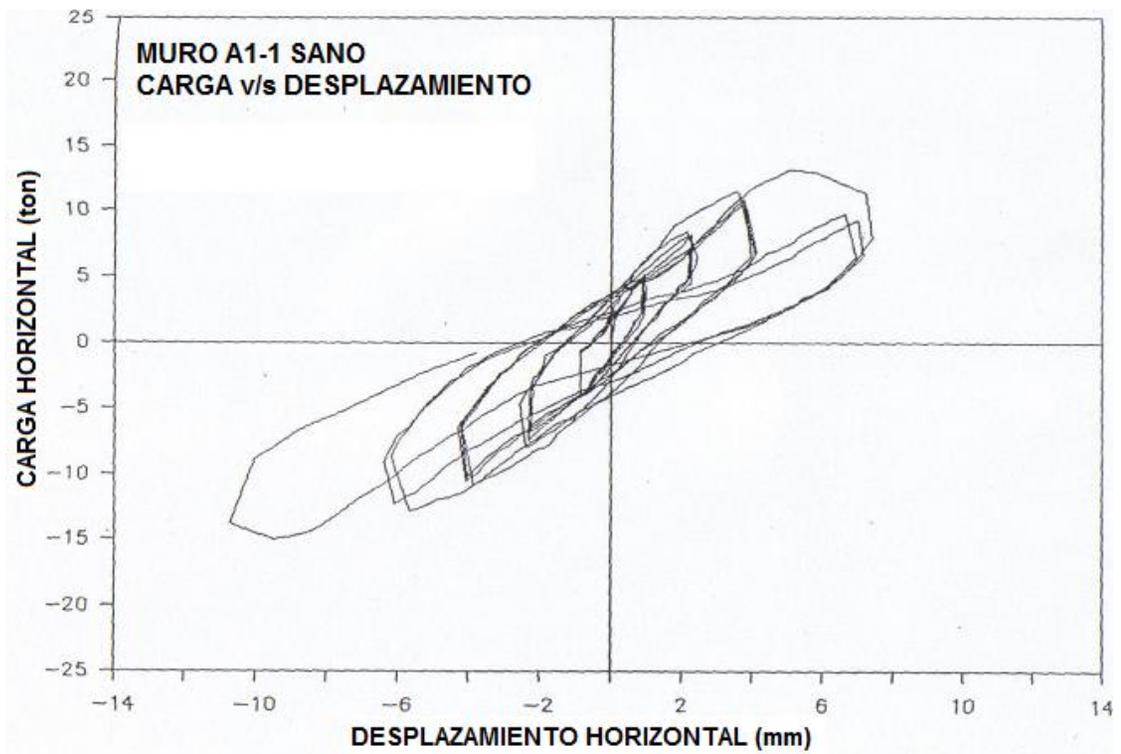


FIGURA 5.2 GRAFICOS DE HISTERESIS

5.3.1.3 CARGAS MAXIMAS

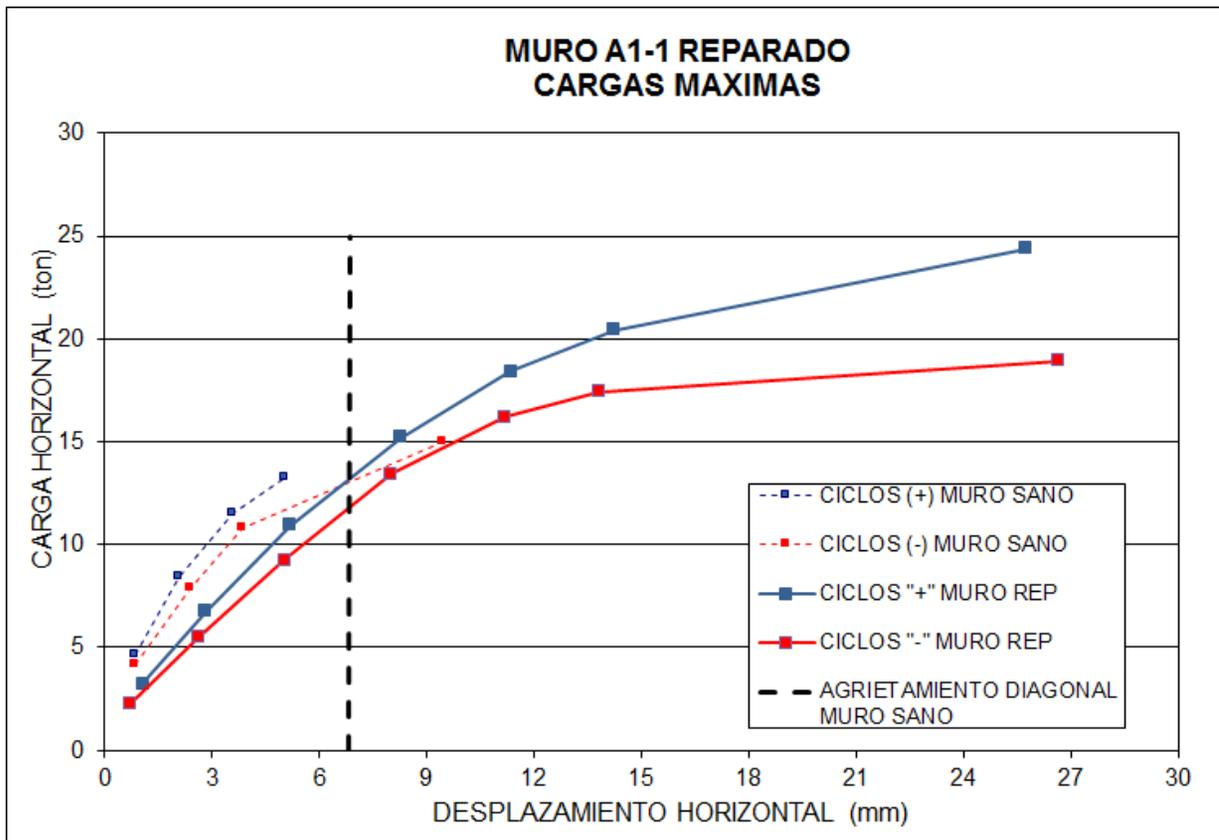


FIGURA 5.3 MURO REPARADO – CARGAS MAXIMAS

5.3.1.4 EVOLUCION DE RIGIDEZ SECANTE

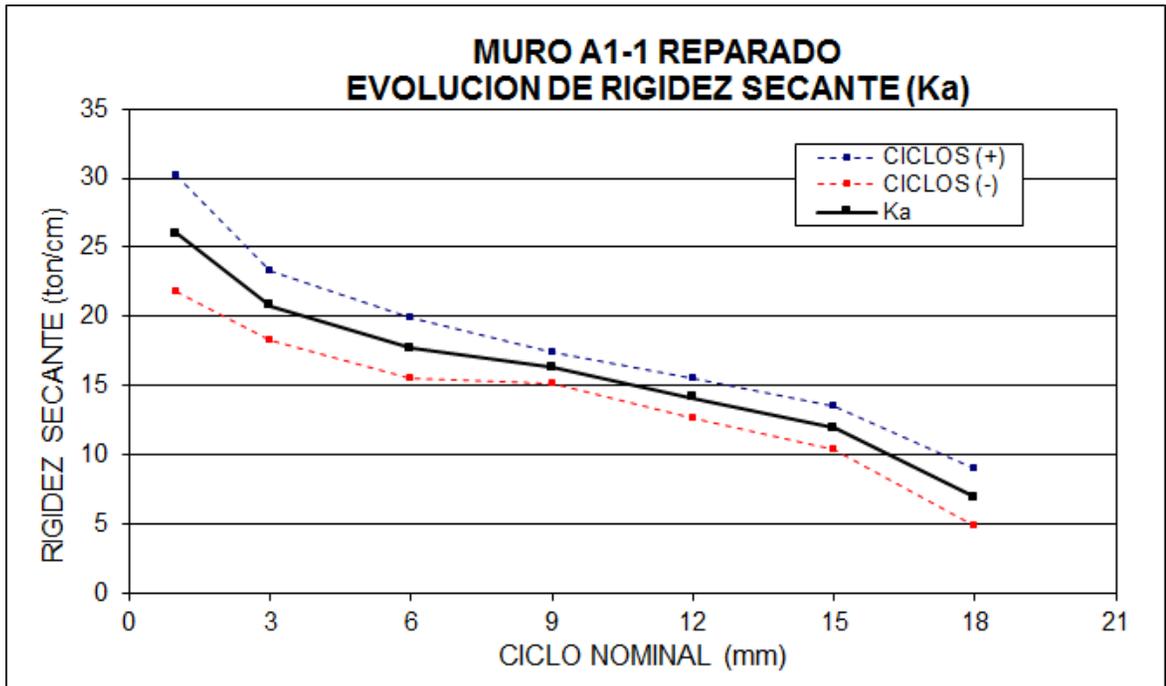


FIGURA 5.4 EVOLUCION DE RIGIDEZ SECANTE MURO REPARADO

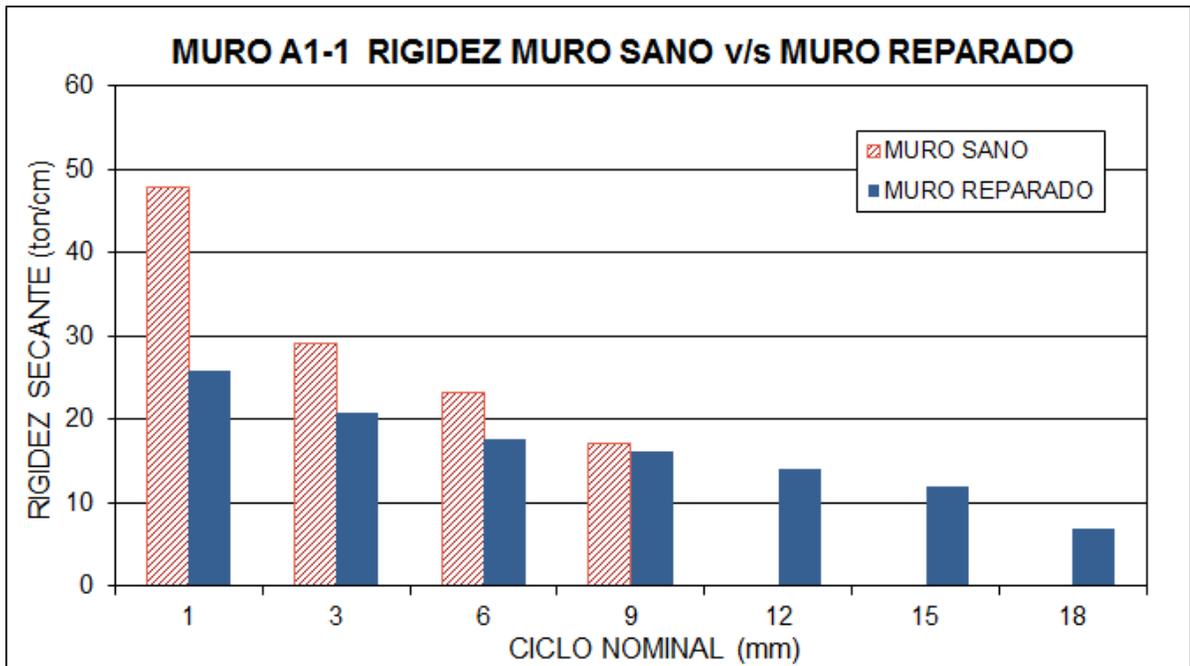


FIGURA 5.5 RIGIDEZ MURO SANO v/s MURO REPARADO

5.3.1.5 ESQUEMAS DE AGRIETAMIENTO

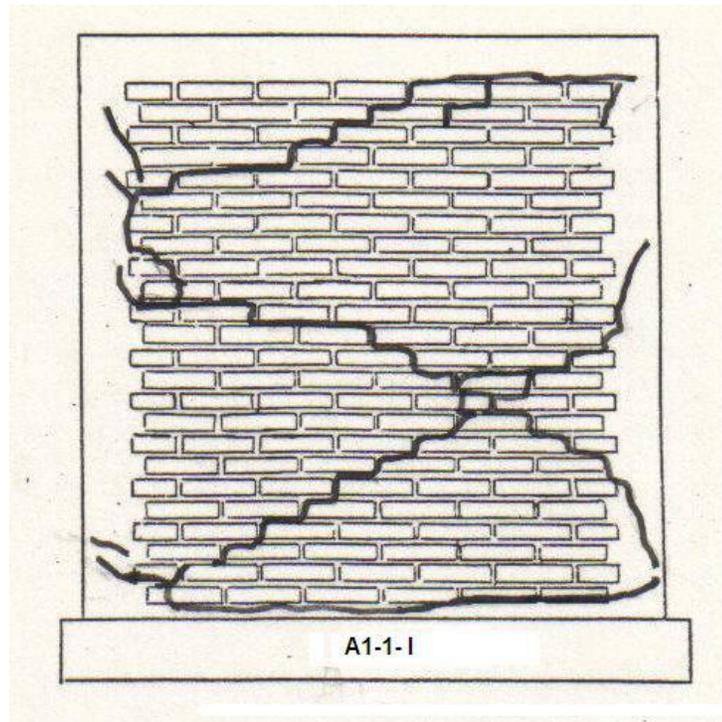


FIGURA 5.6 Muro A1-1 - Agrietamiento Final Ensayo Muro Sano

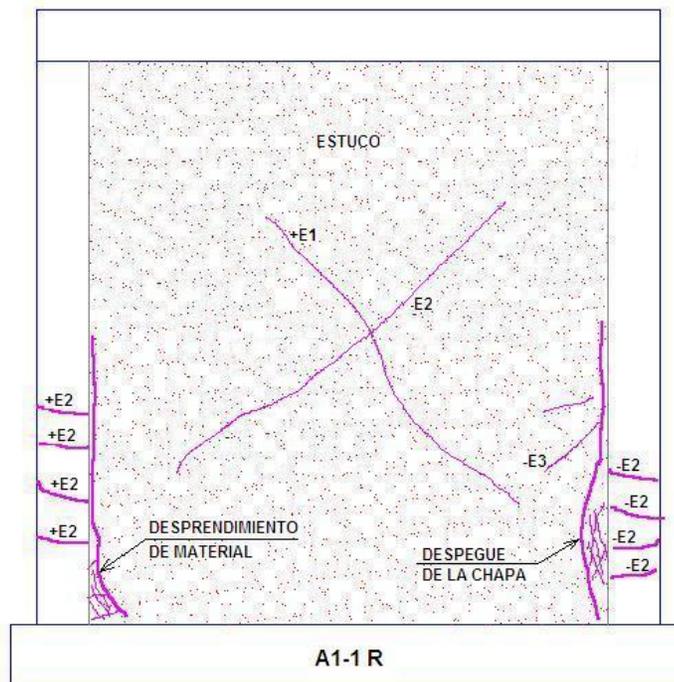


FIGURA 5.7 Muro A1-1 Agrietamiento Final Muro Reparado (Cara Frontal)

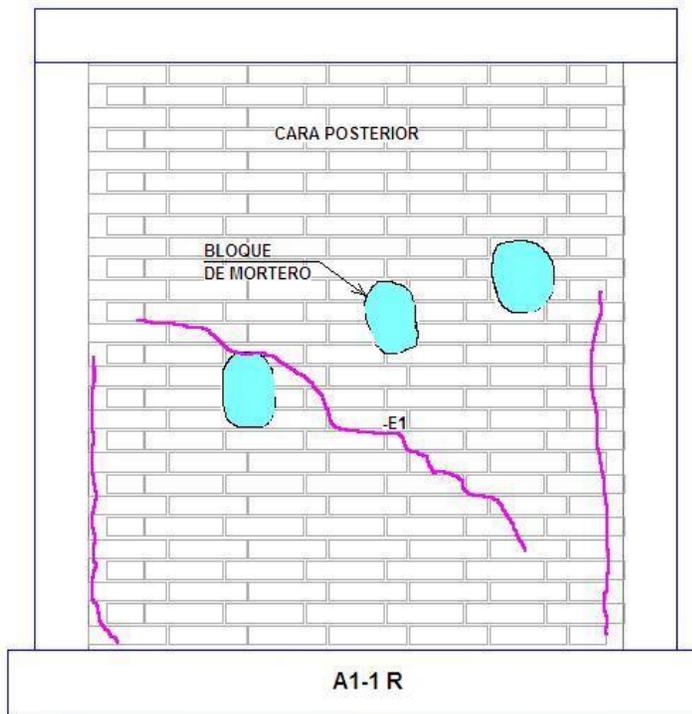


FIGURA 5.8 Muro A1-1 Agrietamiento Final Muro Reparado (Cara Posterior)

5.3.1.6 FOTOGRAFIAS



Foto 5.1 Cara Frontal



Foto 5.2 Cabezal Izquierdo

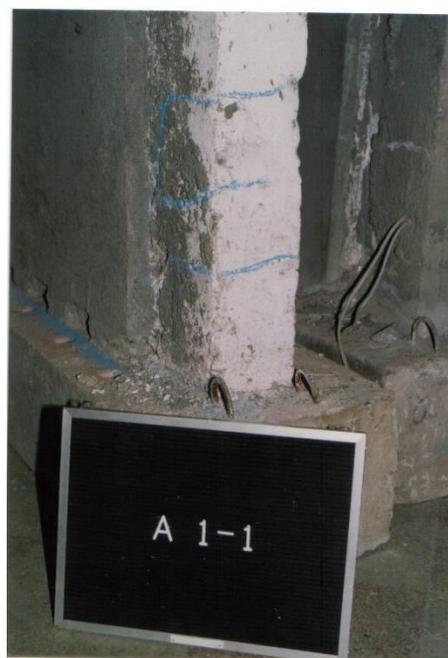


Foto 5.3 Cabezal Derecho



Foto 5.4 Detalle taco de mortero



Foto 5.5 Detalle taco de mortero

5.3.2 MURO A1-2

5.3.2.1 RESUMEN DE RESULTADOS EXPERIMENTALES

A continuación, se presenta el resumen de resultados obtenidos en los ensayos en condición sana y reparada, para el muro A1-2:

TABLA 5.2 RESULTADOS EXPERIMENTALES

MURO: A1-2 TIPO LADRILLO: REJILLA DIMENSIONES: 2.40X2.40														
FECHA DE ENSAYO NIVEL CARGA VERTICAL (kg/cm ²)			MURO SANO 05-ene-90 2					MURO REPARADO 10-may-90 4						
NIVEL DE DAÑO CARACTERISTICAS			SEVERO					ESTUCO MALLA 1 CARA 5 TACOS DE MORTERO						
TIPO DE FALLA PREDOMINANTE			CORTE					FLEXION						
CARGA MAX.		CICLO	E					G						
		VALOR	18,6					31,2						
CICLOS (+)	RIGIDEZ INICIAL (t/cm)		48,16					54,94						
	RIGIDEZ FINAL (t/cm)		12,33					7,54						
	RECUP. RIGIDEZ (%)							114%						
CICLOS (-)	RIGIDEZ INICIAL (t/cm)		42,15					34,40						
	RIGIDEZ FINAL (t/cm)		10,76					6,98						
	RECUP. RIGIDEZ (%)							82%						
CICLOS			CARGA MAX (t)	CARGA/CARGA MAX	DESPLAZAMIENTO (mm)	RIGIDEZ SECANTE (t/cm)	K / Kg (%)	COMPORTAMIENTO	CARGA (t)	CARGA/CARGA MAX	DESPLAZAMIENTO (mm)	RIGIDEZ SECANTE (t/cm)	K / Kg (%)	COMPORTAMIENTO
1 mm	A+	4,57	0,24	0,95	48,16	100%		5,00	0,26	0,83	ELIM.		82%	EL
	A-	4,33	0,22	0,90	42,15	100%		3,75	0,19	1,09	34,40			
	A+	4,94	0,26	0,79	58,88	122%		4,23	0,22	0,64	54,94			
3 mm	A-	4,23	0,22	0,87	40,61	96%	2,98	0,15	0,96	33,48	79%	EL		
	B+	10,96	0,57	2,44	42,73	89%	10,50	0,54	2,95	34,88	72%	EL		
	B-	9,51	0,49	2,59	33,63	80%	7,98	0,41	2,75	24,94	59%	EL		
	B+	10,96	0,57	2,51	37,94	79%	10,25	0,53	3,20	32,03	67%			
	B-	8,92	0,46	2,66	29,20	69%	8,23	0,43	2,88	24,21	57%			
	B+	10,62	0,55	2,44	37,33	78%								
6 mm	B-	9,17	0,48	2,50	31,48	75%								
	C+	15,68	0,81	5,06	30,33	63%	16,49	0,85	6,41	25,73	53%	EL		
	C-	13,74	0,71	5,23	22,02	52%	13,48	0,70	6,08	18,80	45%	EL		
	C+	14,94	0,77	5,09	26,87	56%	15,50	0,80	6,22	24,45	51%			
	C-	13,27	0,69	4,98	22,42	53%	13,99	0,73	6,27	18,83	45%			
9 mm	C+	14,82	0,77	5,08	26,29	55%	14,99	0,78	6,03	24,61	51%			
	C-	13,15	0,68	5,07	22,68	54%	13,74	0,71	6,15	18,98	45%			
	D+	17,97	0,93	8,33	20,96	44%	21,23	1,10	9,23	22,71	47%	EL		
12 mm	D-	17,23	0,89	7,94	17,47	41%	FF	17,99	0,93	9,10	17,00	40%	EL	
	E+	16,64	0,86	10,97	13,83	29%	GD	24,98	1,29	12,62	18,94	39%	FC	
15 mm	E-	19,29	1,00	10,00	15,16	0,36	GD	21,74	1,13	12,36	15,43	37%	FC	
	F+							28,21	1,46	14,87	17,54	36%	FC	
18 mm	F-							24,24	1,26	15,37	14,18	34%	FC	
	G+							31,24	1,62	27,77	10,48	22%	FC	
	G-							31,22	1,62	34,59	7,35	17%	FC	

5.3.2.2 GRAFICOS DE HISTERESIS

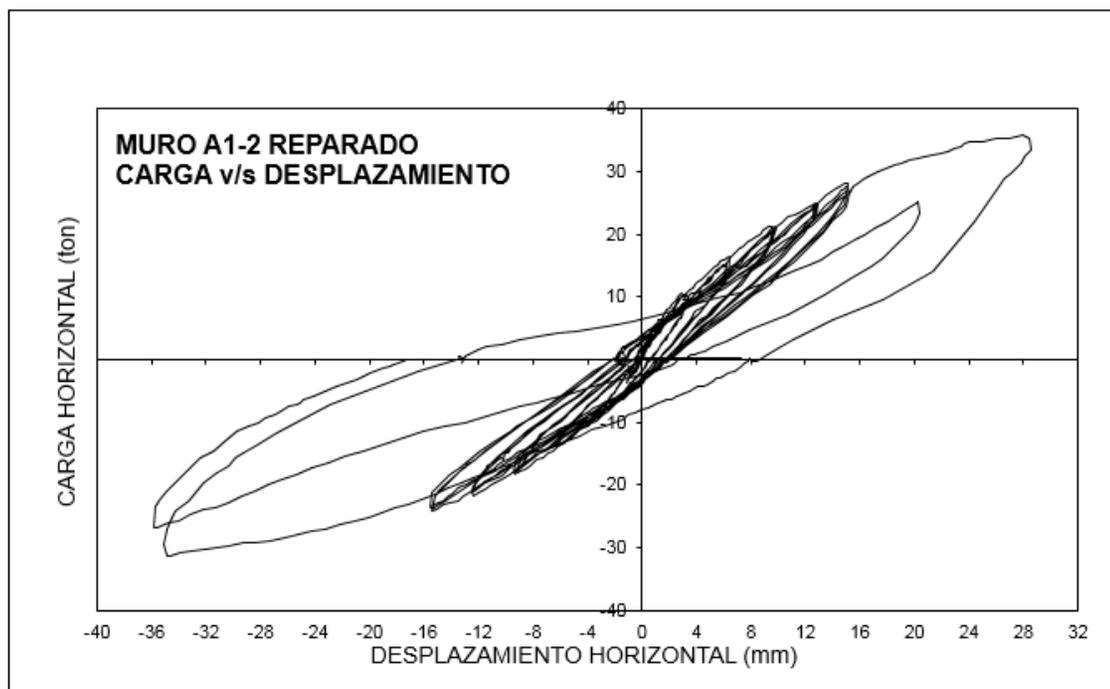
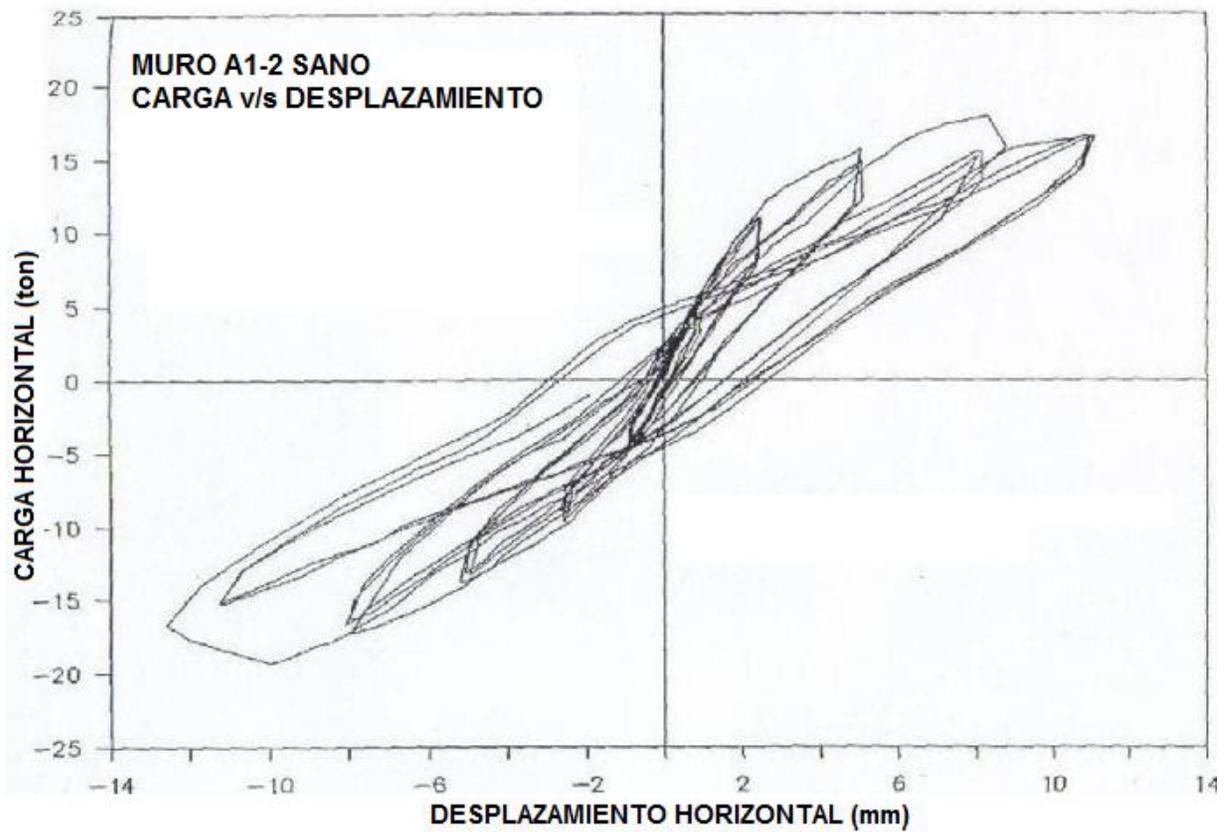


FIGURA 5.9 GRAFICOS DE HISTERESIS

5.3.2.3 CARGAS MAXIMAS

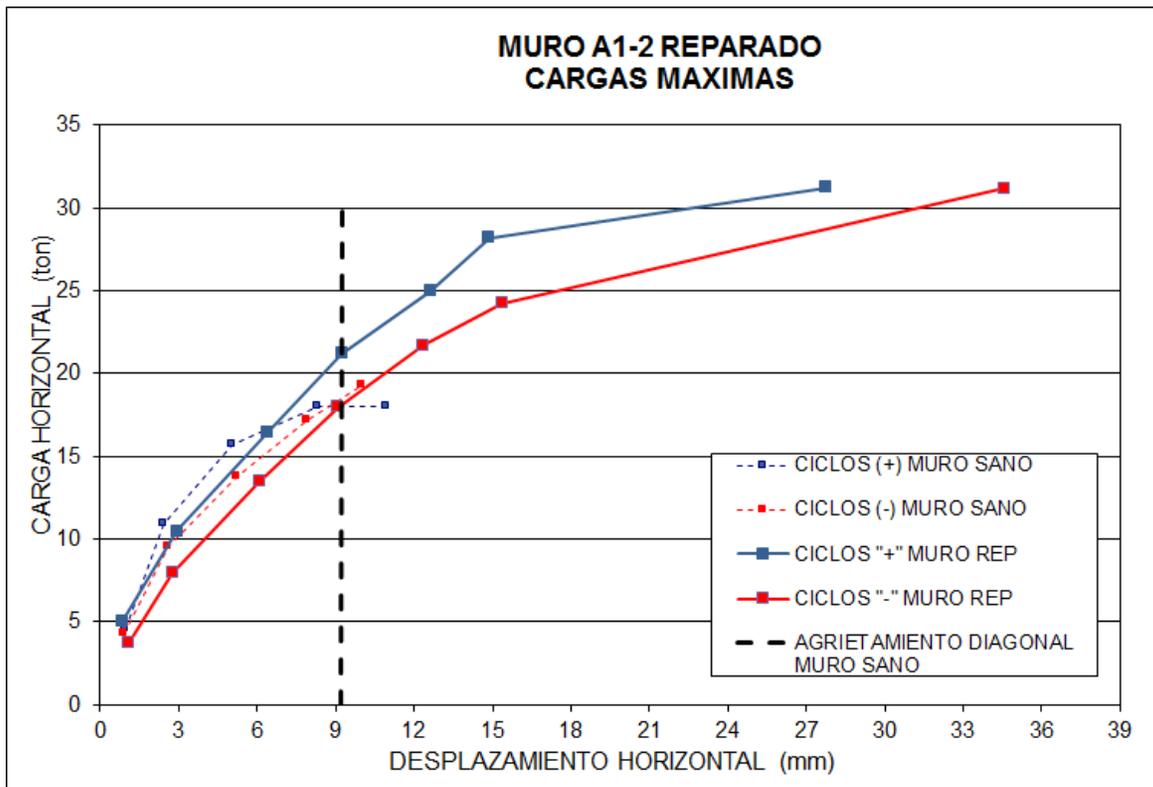


FIGURA 5.10 Muro A1-2 Reparado – Cargas Máximas

5.3.2.4 EVOLUCION DE RIGIDEZ SECANTE

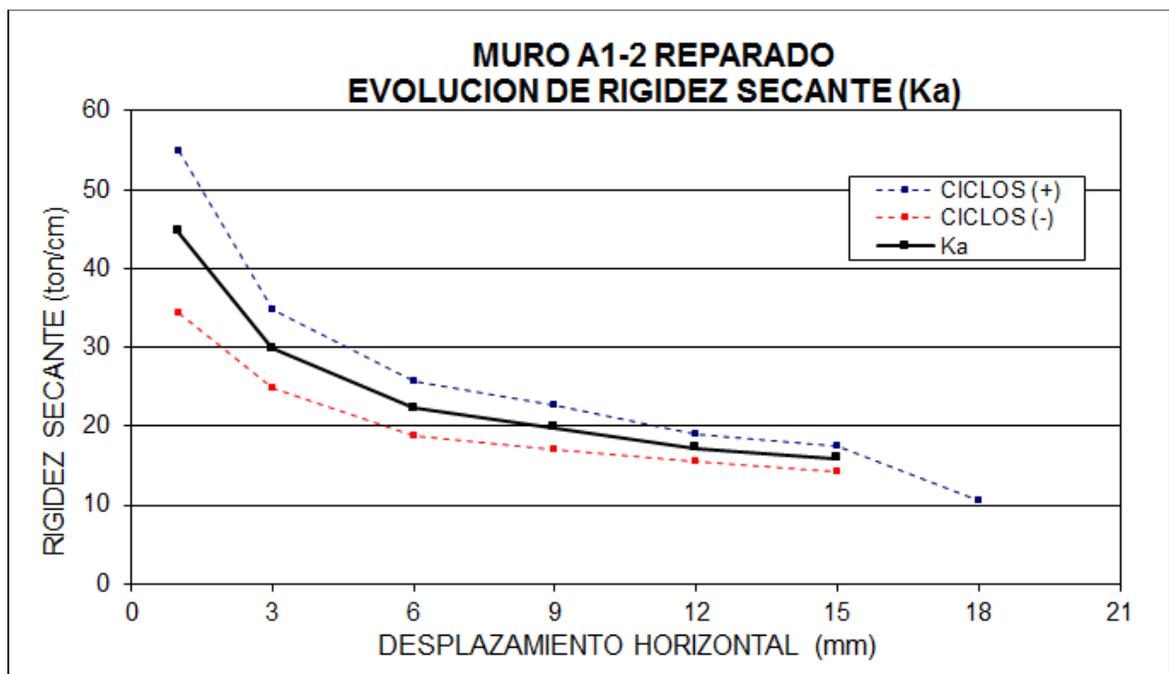


FIGURA 5.11 EVOLUCION DE RIGIDEZ SECANTE MURO REPARADO

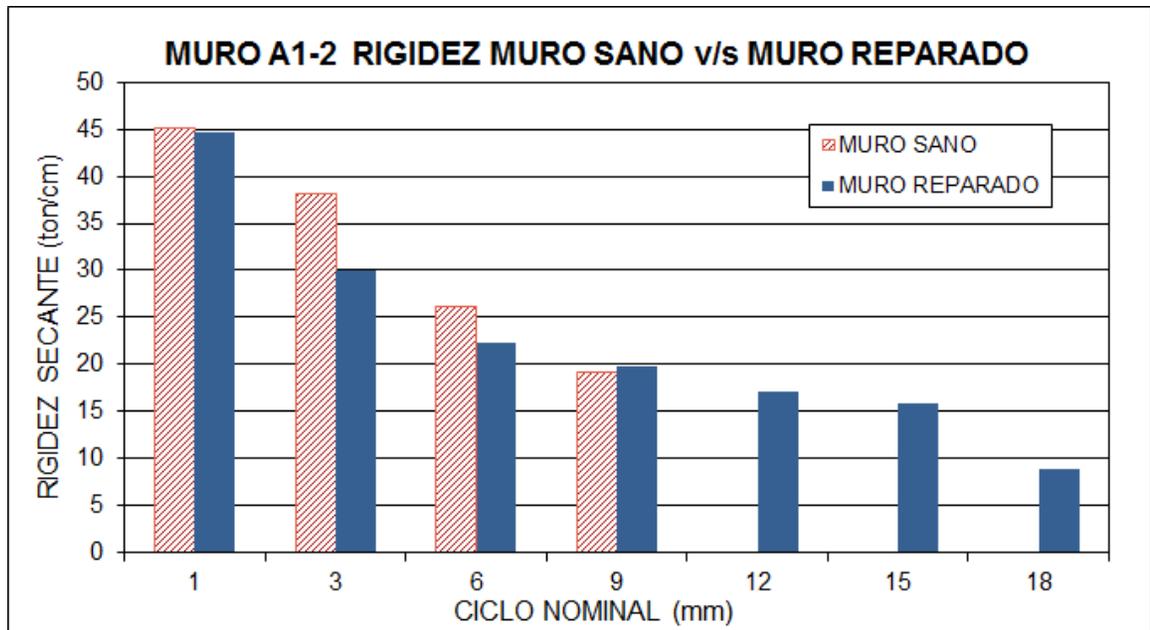


FIGURA 5.12 RIGIDEZ MURO SANO v/s MURO REPARADO

5.3.2.5 ESQUEMAS DE AGRIETAMIENTO

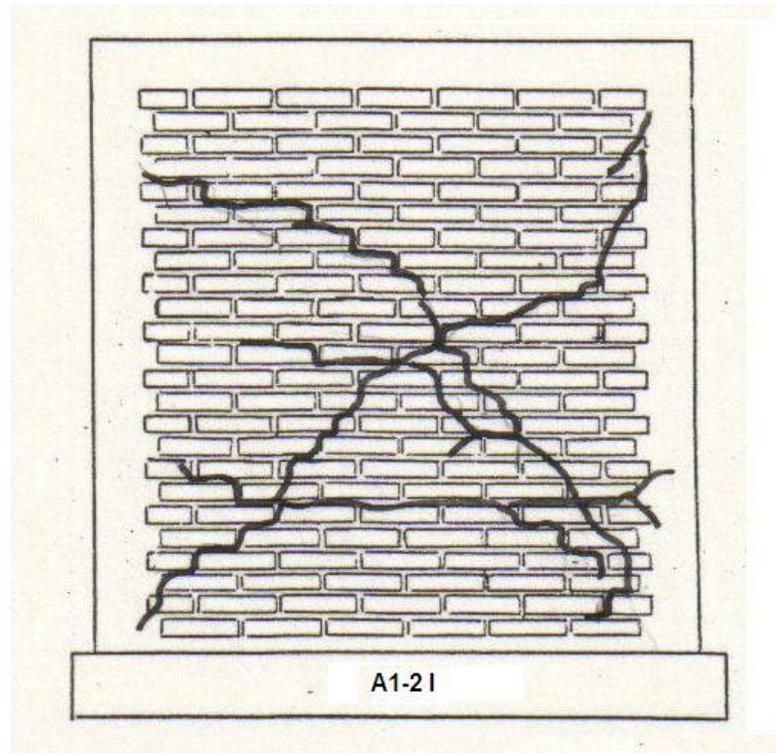


FIGURA 5.13 Muro A1-2 Agrietamiento Final Ensayo Muro Sano

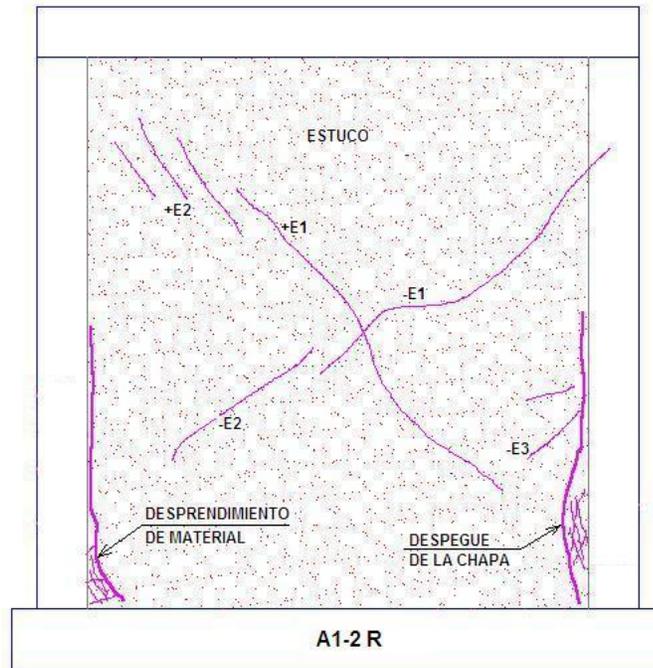


FIGURA 5.14 Muro A1-2 Agrietamiento Final Muro Reparado (Cara Frontal)

5.3.2.6 FOTOGRAFIAS



Foto 5.6

5.3.3 MURO A1-3

5.3.3.1 RESUMEN DE RESULTADOS EXPERIMENTALES

A continuación, se presenta el resumen de resultados obtenidos en los ensayos en condición sana y reparada, para el muro A1-3:

TABLA 5.3 RESULTADOS EXPERIMENTALES

MURO: A1-3 TIPO LADRILLO: REJILLA DIMENSIONES: 2.40X2.40																	
FECHA DE ENSAYO		MURO SANO 08-nov-89						MURO REPARADO 23-may-90									
NIVEL CARGA VERTICAL (kg/cm ²)		4						4									
NIVEL DE DAÑO CARACTERISTICAS		LEVE						SHOTCRETE MALLA 1 CARA 4 TACOS DE MORTERO									
TIPO DE FALLA PREDOMINANTE		CORTE						FLEXION									
CARGA MAX.		CICLO		C						CICLO		G					
		VALOR		17,2						VALOR		30,0					
CICLOS (+)	RIGIDEZ INICIAL (t/cm)		78,66						RIGIDEZ INICIAL (t/cm)		48,78						
	RIGIDEZ FINAL (t/cm)		20,52						RIGIDEZ FINAL (t/cm)		14,49						
	RECUP. RIGIDEZ (%)		62%						RECUP. RIGIDEZ (%)		62%						
CICLOS (-)	RIGIDEZ INICIAL (t/cm)		47,53						RIGIDEZ INICIAL (t/cm)		27,10						
	RIGIDEZ FINAL (t/cm)		17,73						RIGIDEZ FINAL (t/cm)		12,64						
	RECUP. RIGIDEZ (%)		57%						RECUP. RIGIDEZ (%)		57%						
CICLOS		CARGA MAX (t)	CARGA/CARGA MAX	DESPLAZAMIENTO (mm)	RIGIDEZ SECANTE (t/cm)	K / Kg (%)	COMPORTAMIENTO	CARGA (t)	CARGA/CARGA MAX	DESPLAZAMIENTO (mm)	RIGIDEZ SECANTE (t/cm)	K / Kg (%)	COMPORTAMIENTO				
1 mm	A+	7,07	0,43	0,90	78,66	100%	GD GD	4,01	0,24	0,74	48,78	62%	EL				
	A-	6,44	0,36	1,02	47,53	100%		4,75	0,26	1,61	27,10	57%	EL				
3 mm	A+	6,57	5,03	0,83	64,03	81%		4,01	0,24	0,73	46,79	59%	EL				
	A-	6,57	4,18	1,07	48,02	101%		3,24	0,18	1,21	24,66	52%	EL				
	B+	13,19	0,80	2,61	44,79	57%		9,24	0,56	2,57	35,70	45%	EL				
	B-	12,81	0,71	2,62	40,06	84%		9,24	0,51	2,48	34,12	72%	EL				
	B+	13,19	0,80	2,61	44,79	57%		9,24	0,56	2,60	32,26	41%	EL				
	B-	12,56	0,70	2,63	39,27	83%		9,49	0,53	2,58	33,22	70%	EL				
6 mm	B+	13,19	0,80	2,70	44,80	57%		GD GD	16,74	1,02	4,98	32,70	42%	EL			
	B-	12,21	0,68	2,30	42,47	89%											
	C+	16,48	1,00	4,26	36,24	46%											
	C-	17,96	1,00	5,91	24,32	51%											
	C+	15,76	0,88	5,31	20,52	26%											
	C-	11,96	0,67	5,99	17,73	37%											
9 mm	D+	17,00	1,03	5,37	27,46	35%	14,24		0,79	4,48	29,25	62%	EL				
	D-	17,99	1,00	6,02	27,36	58%	22,00		1,33	7,33	27,26	35%	EL				
12 mm	E+	28,76	1,75	11,05	24,76	31%	17,99		1,00	6,02	27,36	58%	EL				
	E-	21,26	1,18	7,91	25,31	53%	28,76		1,75	11,05	24,76	31%	EL				
15 mm	F+	31,74	1,93	14,52	21,12	27%	21,26		1,18	7,91	25,31	53%	EL				
	F-	22,51	1,25	10,10	19,43	41%	31,74		1,93	14,52	21,12	27%	FF				
18 mm	G+	34,76	2,11	20,62	14,49	18%	22,51	1,25	10,10	19,43	41%	FF					
	G-	25,24	1,41	16,04	12,64	27%	34,76	2,11	20,62	14,49	18%	FF					

5.3.3.2 GRAFICOS DE HISTERESIS

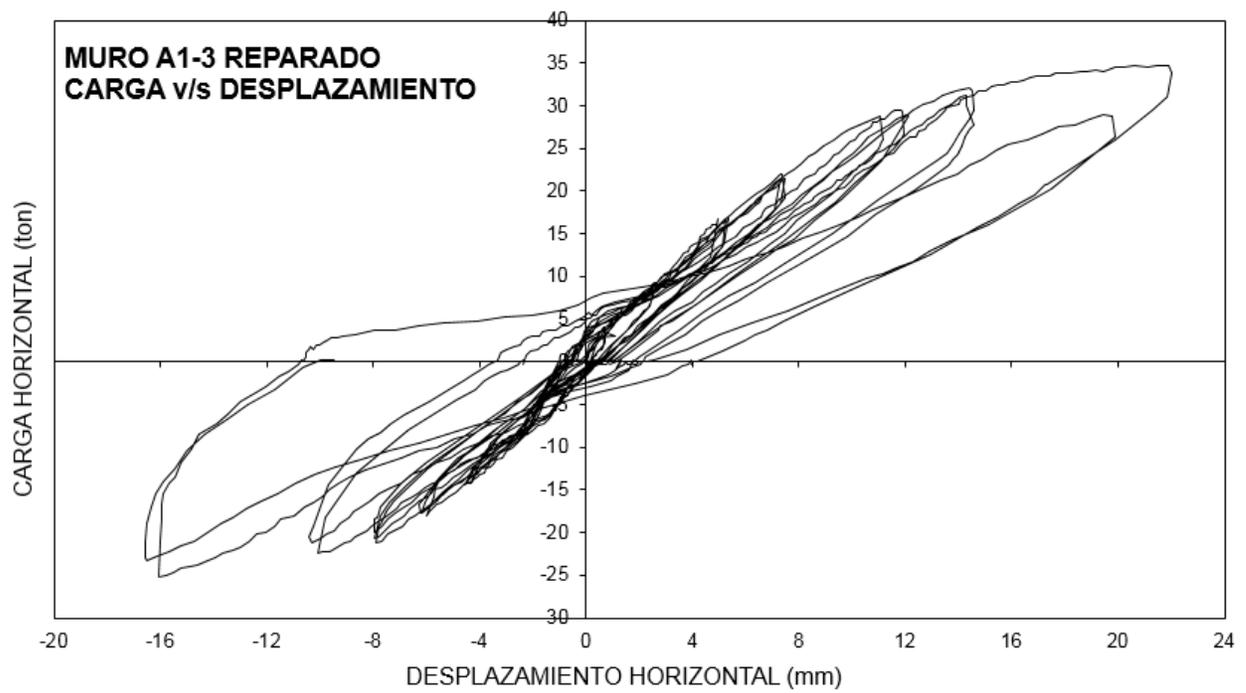
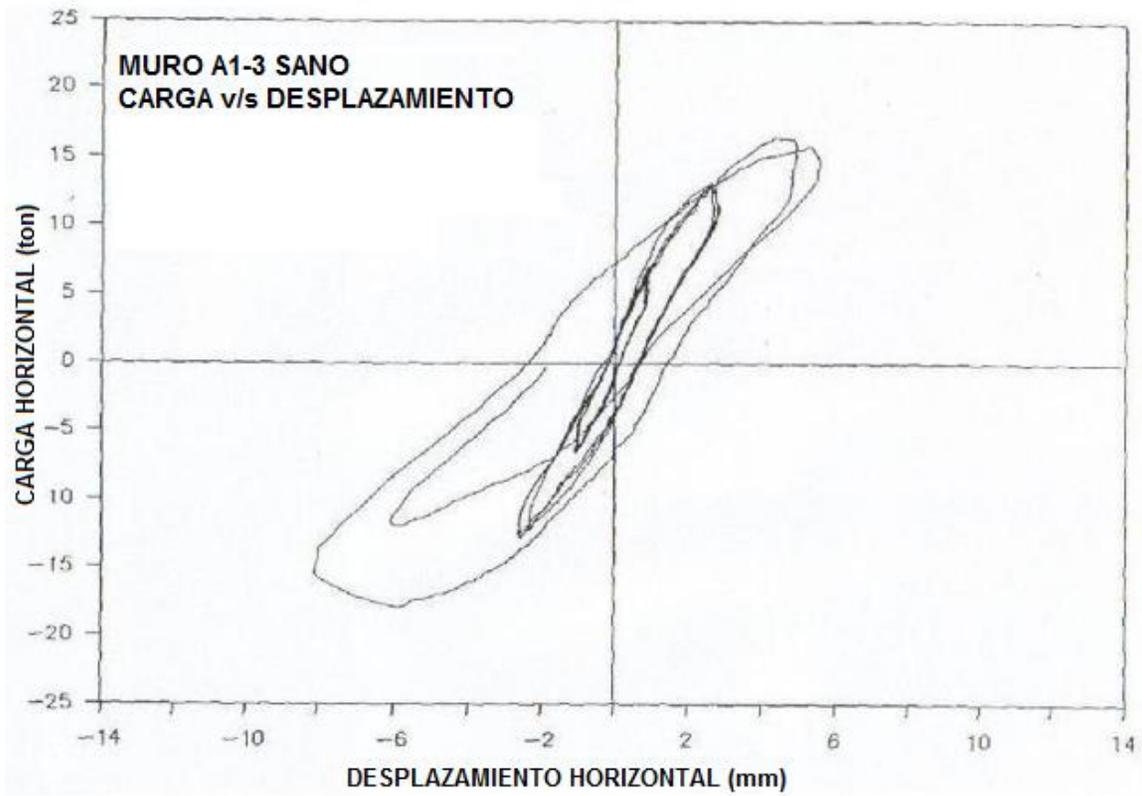


FIGURA 5.15 GRAFICOS DE HISTERESIS

5.3.3.3 CARGAS MAXIMAS

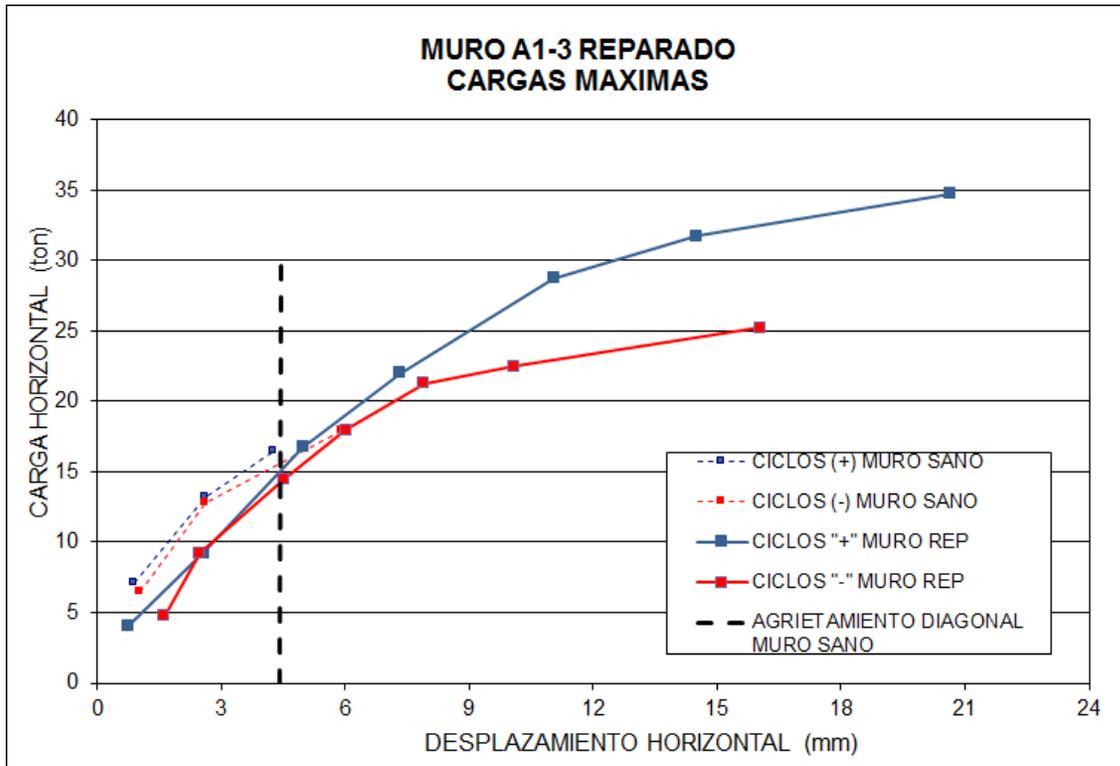


FIGURA 5.16 Muro A1-3 Reparado – Cargas Máximas

5.3.3.4 EVOLUCION DE RIGIDEZ SECANTE

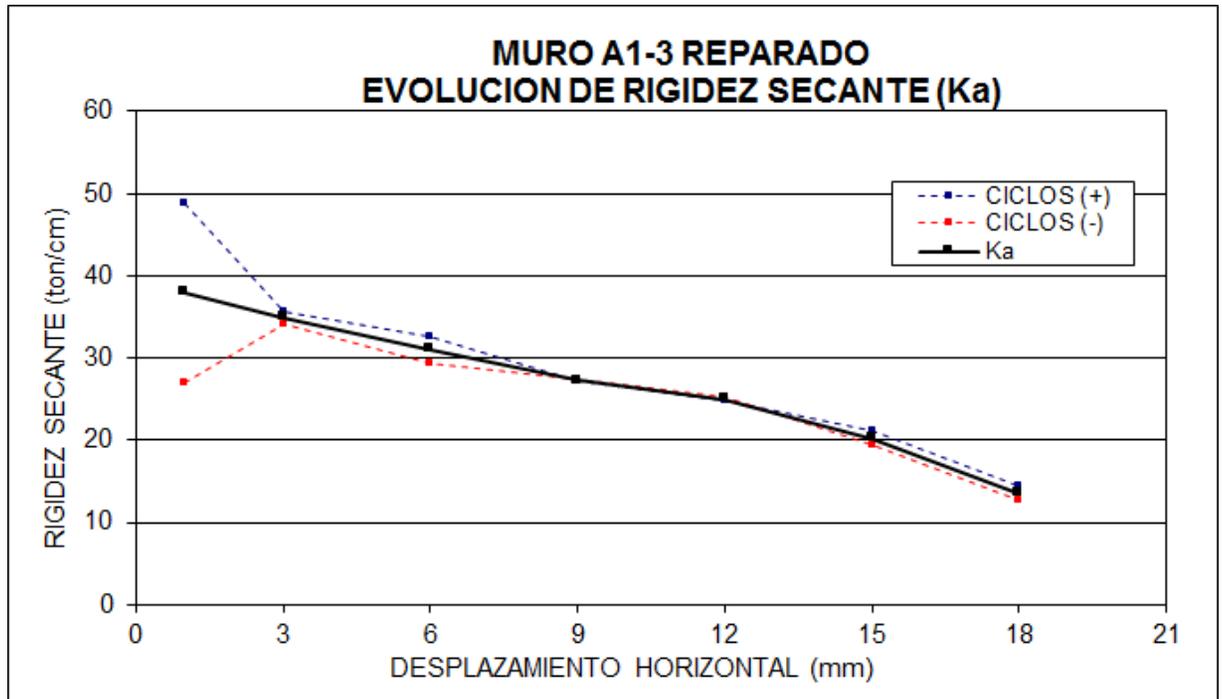


FIGURA 5.17 EVOLUCION DE RIGIDEZ SECANTE MURO REPARADO

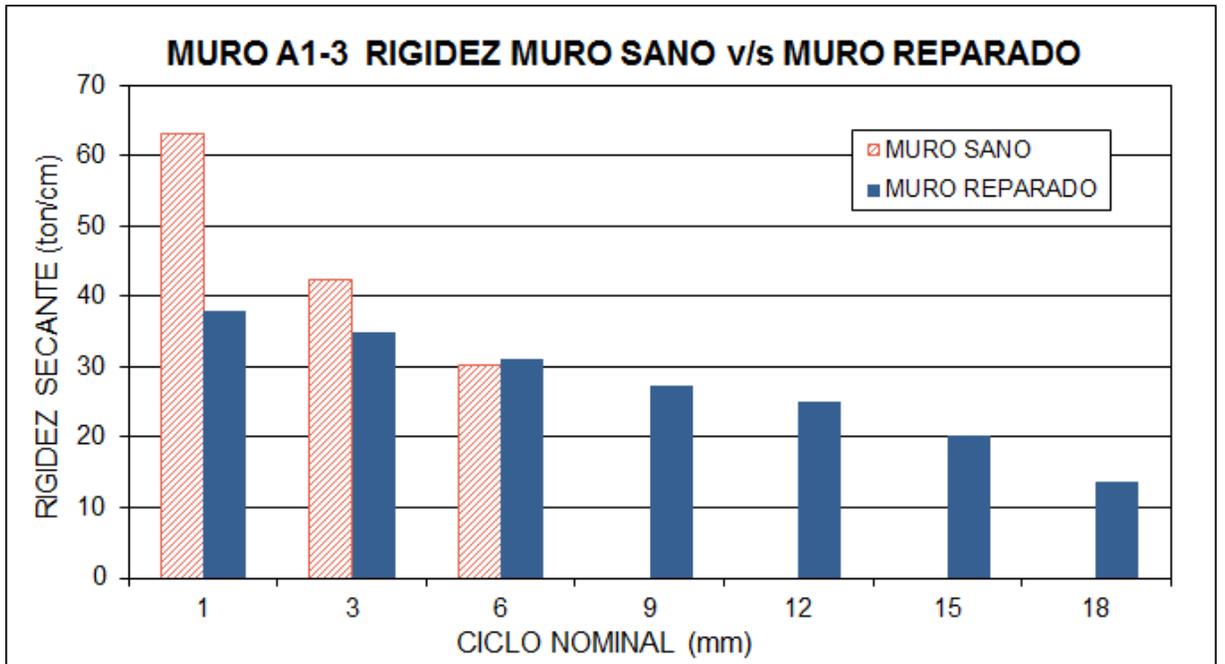


FIGURA 5.18 RIGIDEZ MURO SANO v/s MURO REPARADO

5.3.3.5 ESQUEMAS DE AGRIETAMIENTO

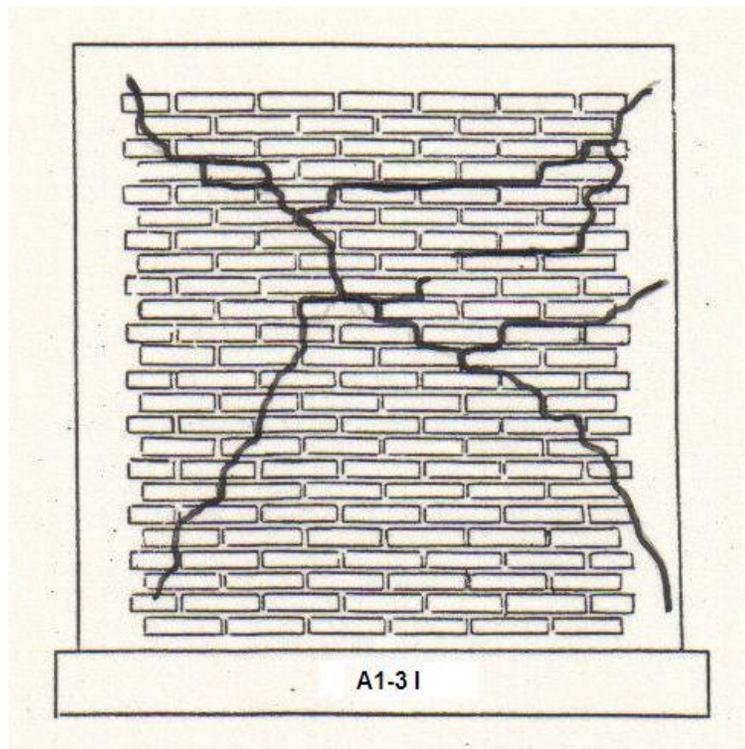


FIGURA 5.19 Muro A1-3 Agrietamiento Final Ensayo Muro Sano

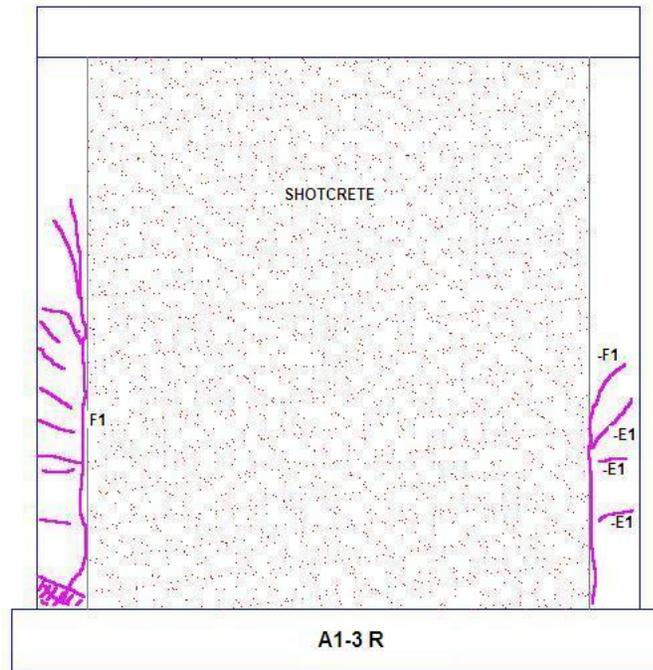


FIGURA 5.20 Muro A1-3 Agrietamiento Final Muro Reparado (Cara Frontal)

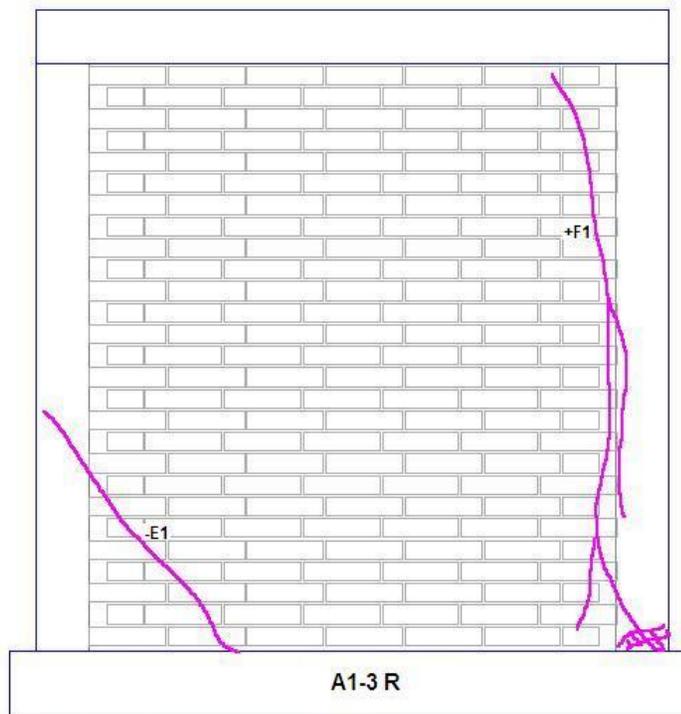


FIGURA 5.21 Muro A1-3 Agrietamiento Final Muro Reparado (Cara Posterior)

5.3.4 MURO A1-4

5.3.4.1 RESUMEN DE RESULTADOS EXPERIMENTALES

A continuación, se presenta el resumen de resultados obtenidos en los ensayos en condición sana y reparada, para el muro A1-4:

TABLA 5.4 RESULTADOS EXPERIMENTALES

MURO: A1-4 TIPO LADRILLO: REJILLA DIMENSIONES: 2.40X2.40														
FECHA DE ENSAYO			MURO SANO						MURO REPARADO					
NIVEL CARGA VERTICAL (kg/cm ²)			04-dic-89						15-jun-90					
NIVEL DE DAÑO			SEVERO						SHOTCRETE MALLA 1 CARA 8 TACOS DE MORTERO					
CARACTERISTICAS									DEMOLICION/REPOSICION 50 cm PILAR DERECHO					
TIPO DE FALLA PREDOMINANTE			CORTE						FLEXION					
CARGA MAX.	CICLO		D						G					
	VALOR		17,4						31,8					
CICLOS (+)	RIGIDEZ INICIAL (t/cm)		103,43						58,86					
	RIGIDEZ FINAL (t/cm)		10,52						12,42					
	RECUP. RIGIDEZ (%)								57%					
CICLOS (-)	RIGIDEZ INICIAL (t/cm)		102,47						62,48					
	RIGIDEZ FINAL (t/cm)		12,55						6,61					
	RECUP. RIGIDEZ (%)								61%					
CICLOS			CARGA MAX (t)	CARGA CARGA MAX	DESPLAZAMIENTO (mm)	RIGIDEZ SECANTE (t/cm)	K / K ₀ (%)	COMPORTAMIENTO	CARGA (t)	CARGA CARGA MAX	DESPLAZAMIENTO (mm)	RIGIDEZ SECANTE (t/cm)	K / K ₀ (%)	COMPORTAMIENTO
1 mm	A+	9,08	0,56	0,88	103,43	100%	EL	5,80	0,35	1,01	58,86	57%	EL	
	A-	8,96	0,48	0,71	102,47	100%	EL	5,10	0,28	0,66	62,48	61%	EL	
	A+	9,2	5,03	0,88	78,93			5,80	5,03	1,05	46,26		EL	
3 mm	A-	10,01	4,18	0,64	108,67			5,10	4,18	0,71	58,56		EL	
	B+	15,51	0,95	2,61	53,39	52%	GD	12,40	0,76	2,73	46,44	45%	EL	
	B-	15,87	0,86	2,36	49,50	48%	FF	11,80	0,64	2,02	56,15	55%	EL	
	B+	14,56	0,89	2,48	50,66	49%		12,40	0,76	2,71	39,56		EL	
	B-	15,17	0,82	2,20	51,32	50%		11,80	0,64	1,97	61,98		EL	
	B+	14,43	0,88	2,65	46,70	45%		12,40	0,76	2,89	39,64		EL	
6 mm	B-	15,41	0,83	2,42	48,13	47%		11,80	0,64	2,06	52,87		EL	
	C+	16,36	1,00	5,58	26,12	25%	GD	18,80	1,15	5,38	31,79	31%	EL	
	C-	18,5	1,00	5,02	24,55	24%	GD	17,90	0,97	4,72	35,39	35%	EL	
	C+	14,92	0,91	5,83	20,94	20%		18,80	1,15	5,30	32,81			
	C-	16,94	0,92	4,93	47,82	47%		17,70	0,96	4,69	35,80			
	C+	13,97	0,85	5,81	20,51	20%		18,60	1,14	5,53	32,30			
9 mm	C-	16,48	0,89	5,06	45,22	44%		17,80	0,96	4,75	35,23			
	D+	15,63	0,96	8,83	15,18	15%	GD	24,40	1,49	8,19	28,15	27%	FF	
12 mm	D-	17,31	1,06	7,68	14,00	14%	GD	22,40	1,21	7,32	29,14	28%	FF	
	E+							28,30	1,73	10,97	24,72	24%	FF	
15 mm	E-							26,10	1,41	9,84	24,28	24%	FF	
	F+							28,80	1,76	13,46	19,68	19%	FF	
18 mm	F-							24,20	1,31	13,25	16,51	16%	FF	
	G+							35,30	2,16	25,48	12,42			
	G-							28,31	1,53	32,14	6,61			

5.3.4.2 GRAFICOS DE HISTERESIS

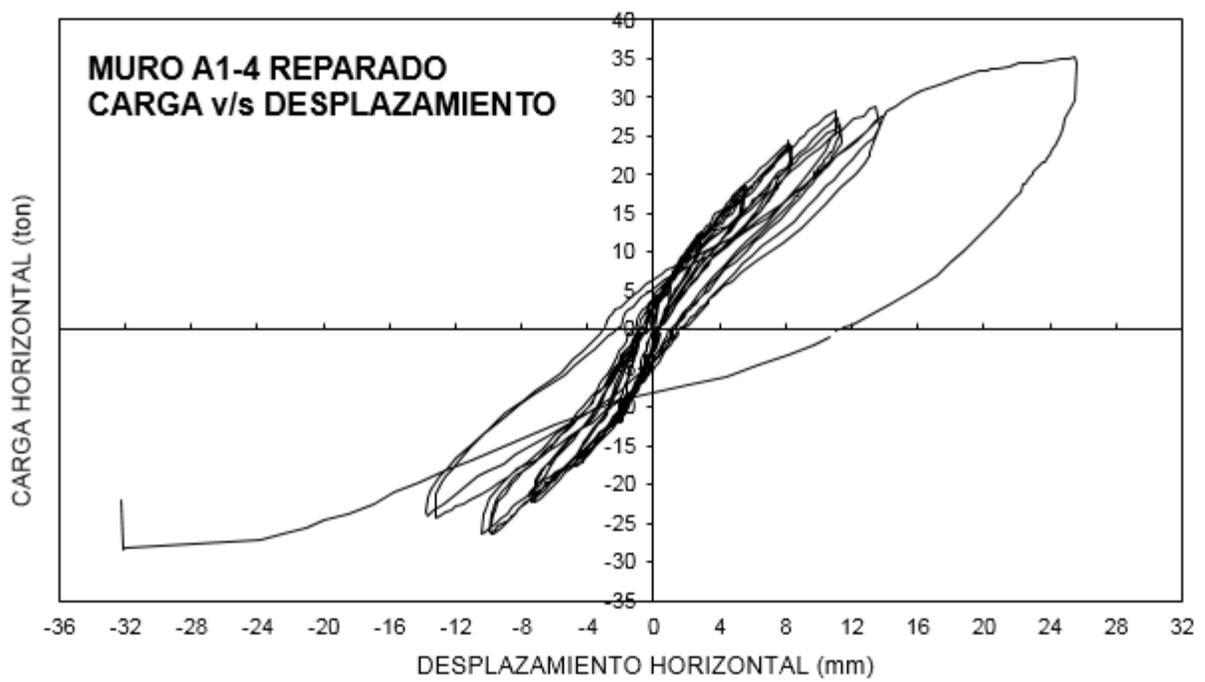
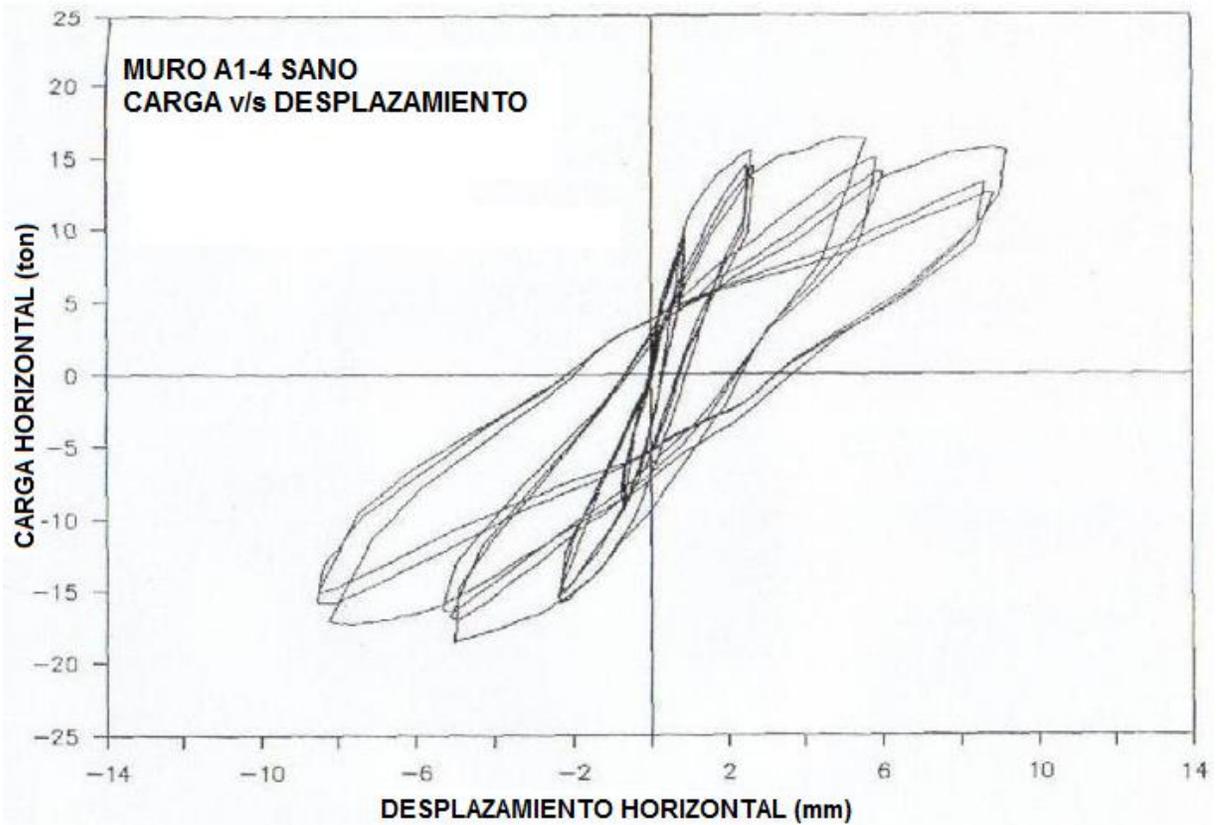


FIGURA 5.22 GRAFICOS DE HISTERESIS

5.3.4.3 CARGAS MAXIMAS

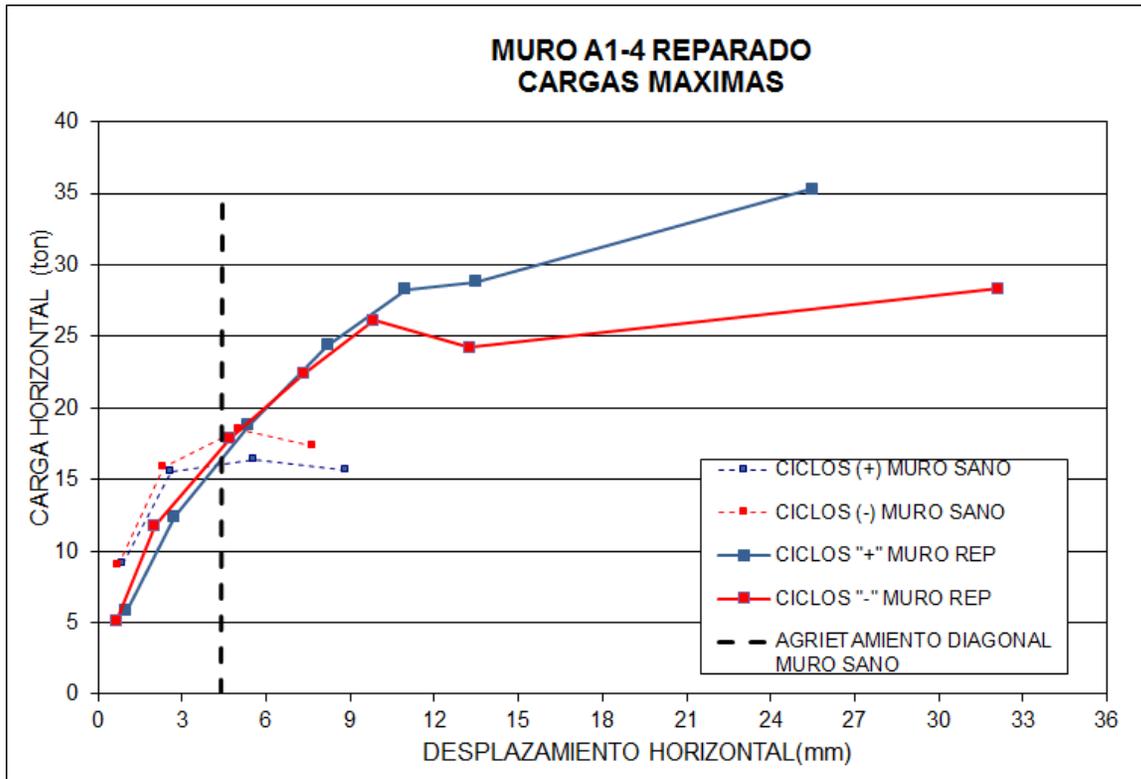


FIGURA 5.23 Muro A1-4 Reparado – Cargas Máximas

5.3.4.4 EVOLUCION DE RIGIDEZ SECANTE

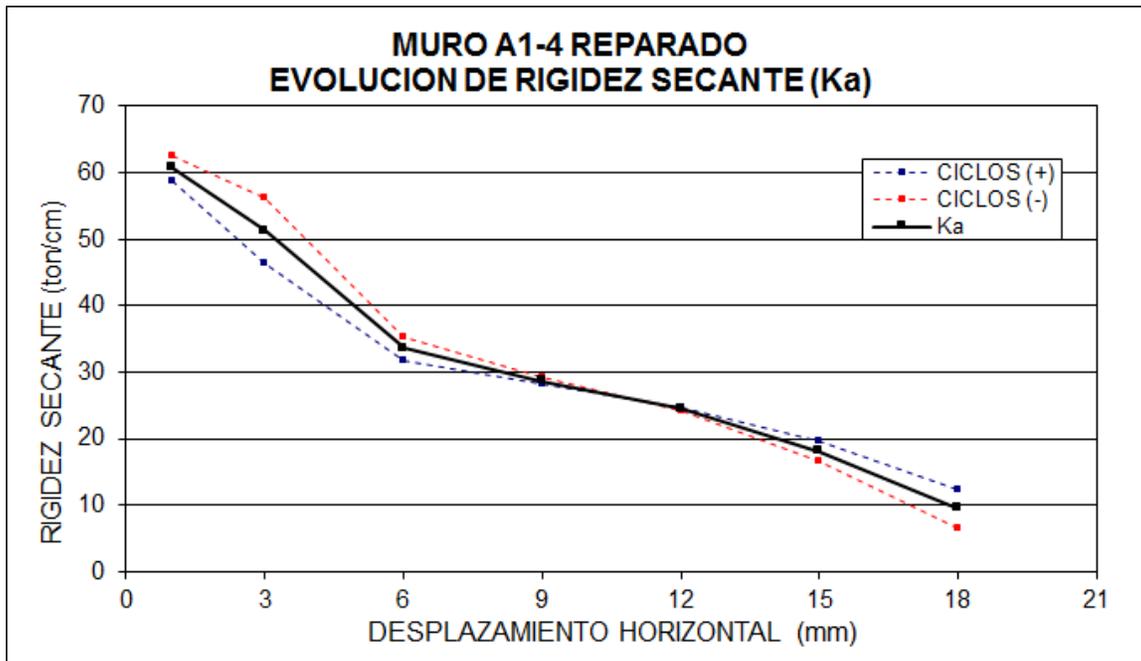


FIGURA 5.24 EVOLUCION DE RIGIDEZ SECANTE MURO REPARADO

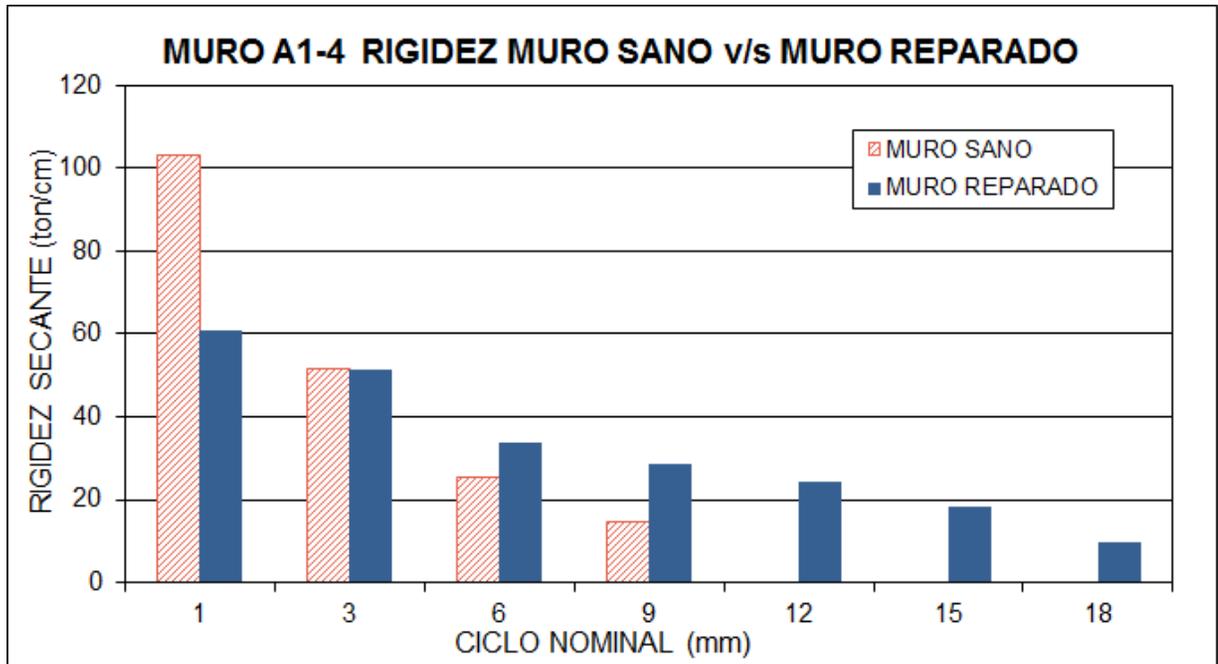


FIGURA 5.25 RIGIDEZ MURO SANO v/s MURO REPARADO

5.3.4.5 ESQUEMAS DE AGRIETAMIENTO

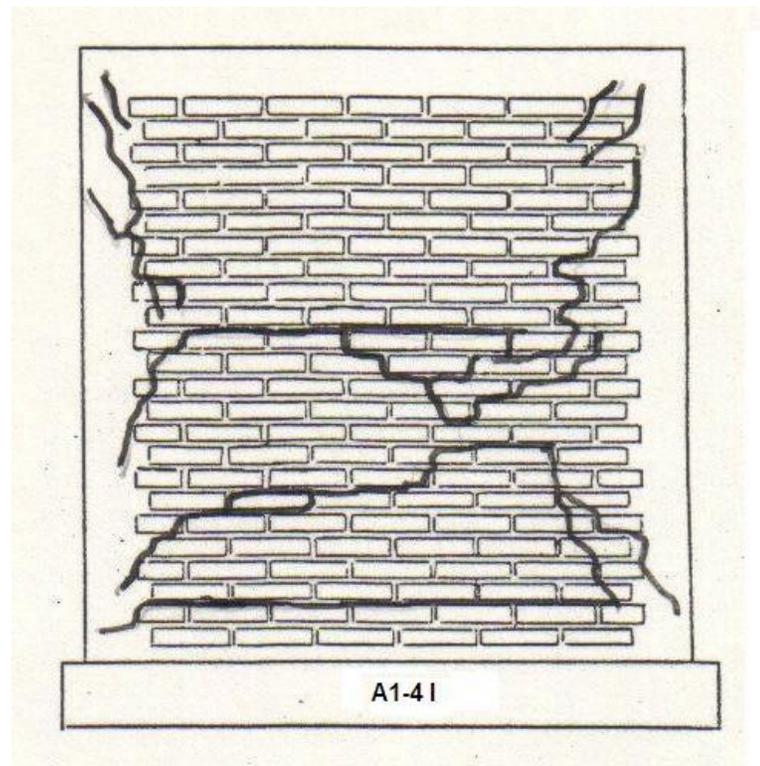


FIGURA 5.26 Muro A1-4 - Agrietamiento Final Ensayo Muro Sano

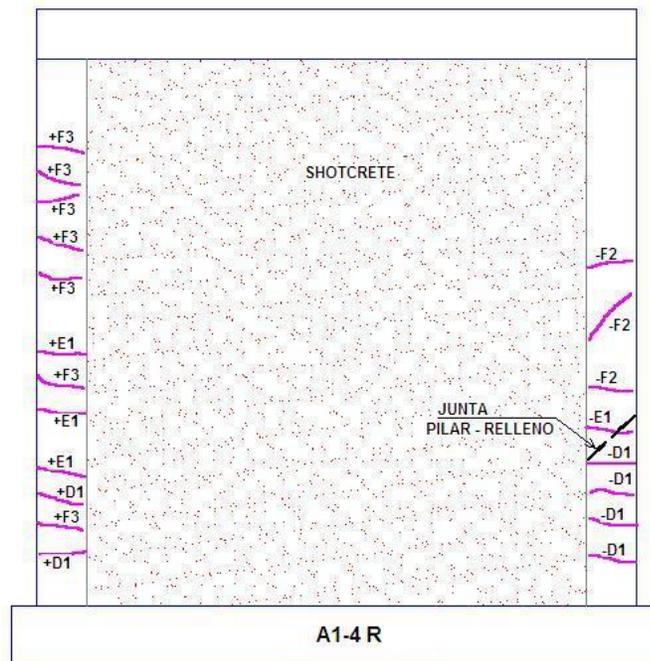


FIGURA 5.27 Muro A1-4 Agrietamiento Final Muro Reparado (Cara Frontal)

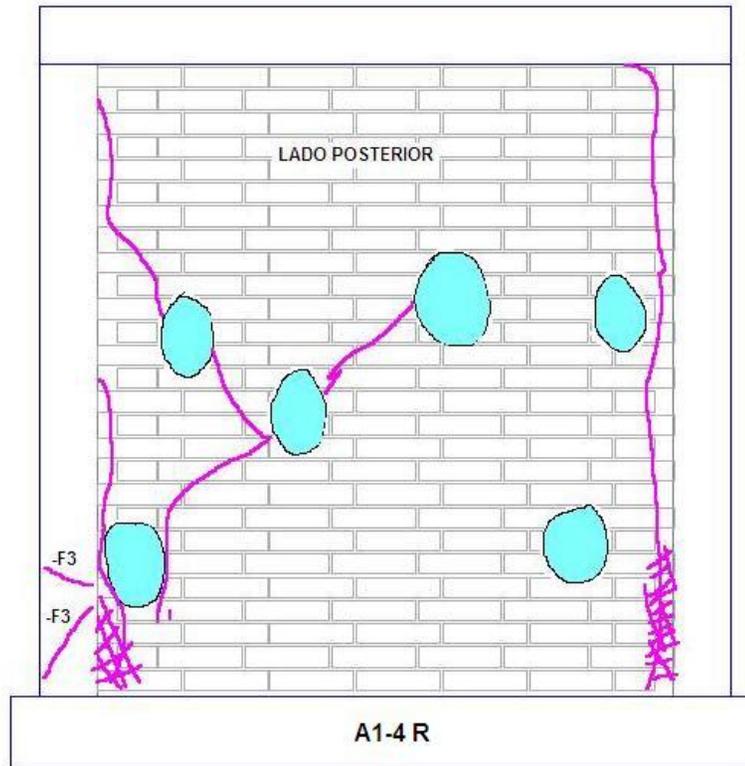


FIGURA 5.28 Muro A1-4 Agrietamiento Final Muro Reparado (Cara Posterior)

5.3.5 MURO A1-5

5.3.5.1 RESUMEN DE RESULTADOS EXPERIMENTALES

A continuación, se presenta el resumen de resultados obtenidos en los ensayos en condición sana y reparada, para el muro A1-5:

TABLA 5.5 RESULTADOS EXPERIMENTALES

MURO: A1-5 (A2 -Herrera)														
TIPO LADRILLO: REJILLA														
DIMENSIONES: 2.40X2.40														
FECHA DE ENSAYO		MURO SANO						MURO REPARADO						
NIVEL CARGA VERTICAL (kg/cm ²)		17-nov-89						26-jun-90						
NIVEL DE DAÑO		4						4						
CARACTERISTICAS		SEVERO						SHOTCRETE MALLA 2 CARAS						
TIPO DE FALLA PREDOMINANTE		CORTE						FLEXION						
CARGA MAX.	CICLO	D						G						
	VALOR	19,9						37,2						
CICLOS (+)	RIGIDEZ INICIAL (t/cm)	126,30						81,46						
	RIGIDEZ FINAL (t/cm)	12,82						14,83						
	RECUP. RIGIDEZ (%)							64%						
CICLOS (-)	RIGIDEZ INICIAL (t/cm)	93,98						78,80						
	RIGIDEZ FINAL (t/cm)	12,81						10,04						
	RECUP. RIGIDEZ (%)							84%						
CICLOS		CARGA MAX (t)	CARGA/CARGA MAX	DESPLAZAMIENTO (mm)	RIGIDEZ SECANTE (t/cm)	K / K ₀ (%)	COMPORTAMIENTO	CARGA (t)	CARGA/CARGA MAX	DESPLAZAMIENTO (mm)	RIGIDEZ SECANTE (t/cm)	K / K ₀ (%)	COMPORTAMIENTO	
1 mm	A+	9,38	0,46	0,71	126,30	100%	EL	7,25	0,35	0,85	81,46	64%	EL	
	A-	7,62	0,37	0,64	93,98	100%	EL	7,25	0,38	0,86	78,80	62%	EL	
	A	9	0,44	0,87	110,96			6,74	5,03	0,79	71,70	57%	EL	
3 mm	A-	7,62	0,37	0,66	95,22			7,00	4,18	0,90	88,81	70%	EL	
	B+	17,11	0,83	1,96	98,83	77%	FC	14,22	0,69	2,82	49,20	39%	EL	
	B-	15,12	0,74	1,82	84,15	68%		15,22	0,80	2,75	54,95	44%	EL	
	B+	17,62	0,86	2,15	78,29	62%		14,48	0,71	2,78	50,10	40%		
	B-	15,12	0,74	1,88	84,03	68%		14,48	0,76	2,67	57,23	45%		
	B+	16,75	0,82	2,12	78,79	62%			0,00					
6 mm	B-	15,12	0,74	1,88	83,03	67%			0,00					
	C+	20,5	1,00	3,93	50,65	40%	GD + FF	23,18	1,13	5,63	40,38	32%	FF	
	C-	18,99	0,93	5,22	24,94	27%	GD + FF	22,70	1,20	5,14	43,57	34%	FF	
	C+	17	0,83	5,40	24,69	20%		23,18	1,13	5,80	38,06	30%		
	C-	17,87	0,87	5,00	27,67	29%		21,71	1,14	5,06	44,49	35%		
	C+	16,49	0,80	5,58	24,48	19%		22,70	1,11	5,74	37,46	30%		
9 mm	C-	17,23	0,84	4,96	27,88	30%		21,45	1,13	5,21	42,31	33%		
	D+	18,25	0,89	7,18	21,92	17%	GD + FF	29,19	1,42	8,46	33,51	27%	FF	
12 mm	D-	19,38	0,95	6,01	21,90	23%	GD + FF	28,42	1,50	8,11	34,87	28%	FF	
	E+							31,43	1,53	10,79	27,52	22%	FF	
15 mm	E-							30,18	1,59	10,65	27,21	22%	FF	
	F+							33,41	1,63	13,55	21,61	17%	FF	
18 mm	F-							30,18	1,59	13,28	21,02	17%	FF	
	G+							39,90	1,95	23,17	14,83	12%		
	G-							34,40	1,81	28,53	10,04	8%		

5.3.5.2 GRAFICOS DE HISTERESIS

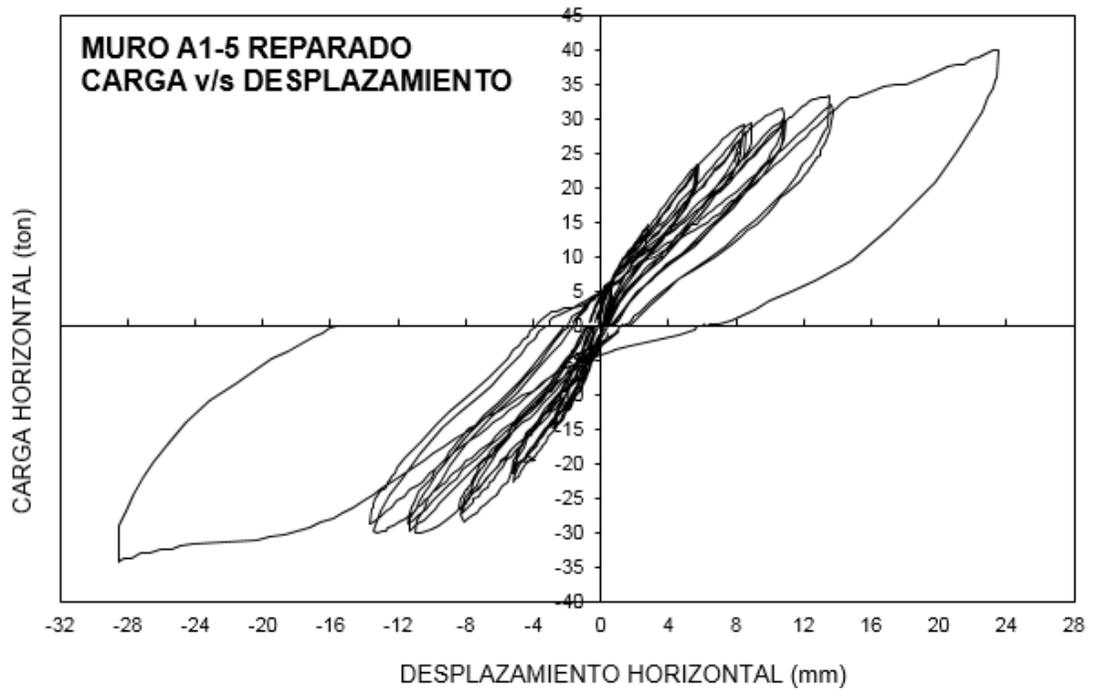
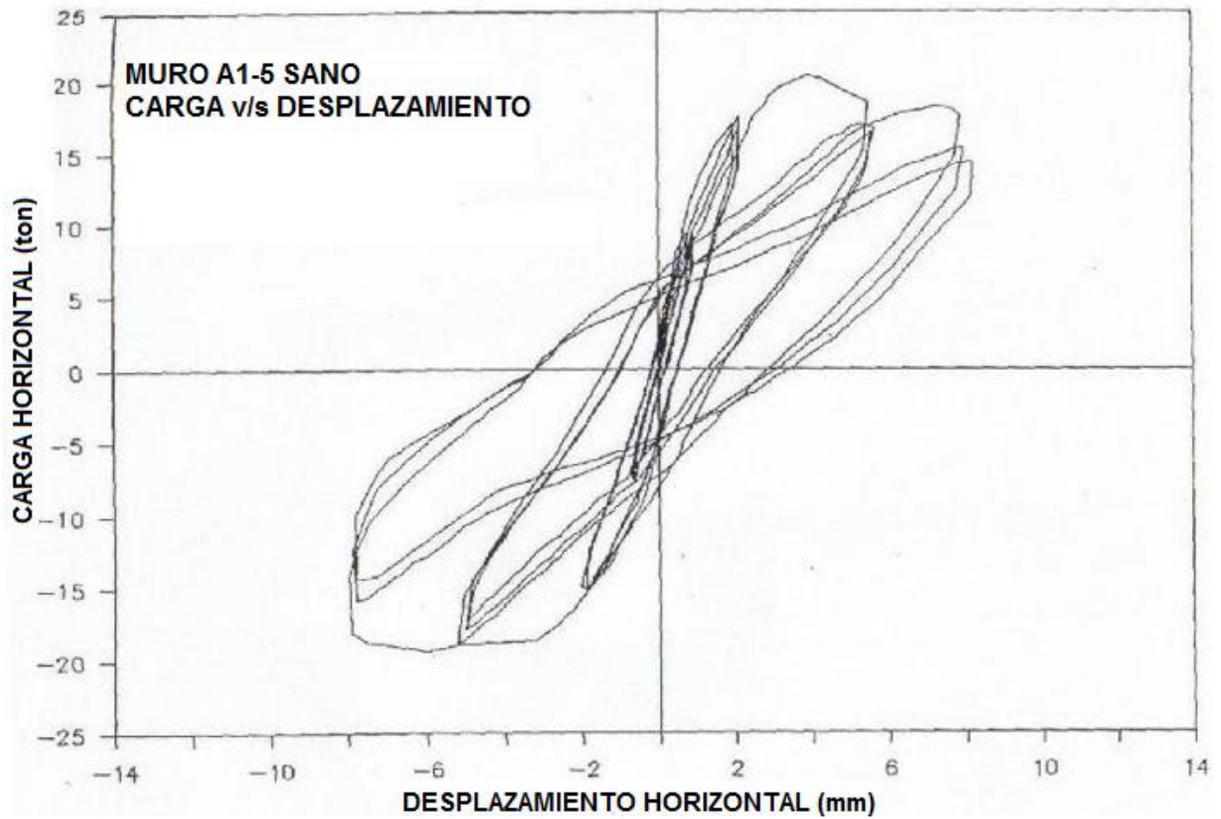


FIGURA 5.29 GRAFICOS DE HISTERESIS

5.3.5.3 CARGAS MAXIMAS

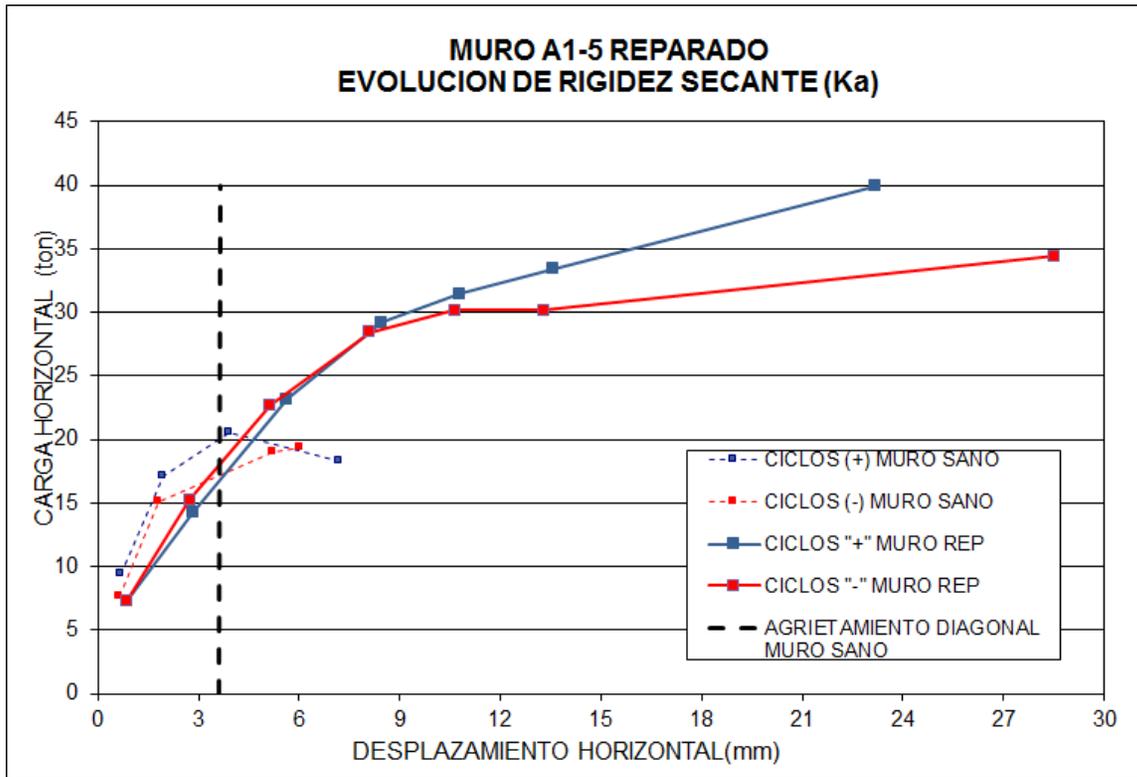


FIGURA 5.30 Muro A1-5 Reparado – Cargas Máximas

5.3.5.4 EVOLUCION DE RIGIDEZ SECANTE

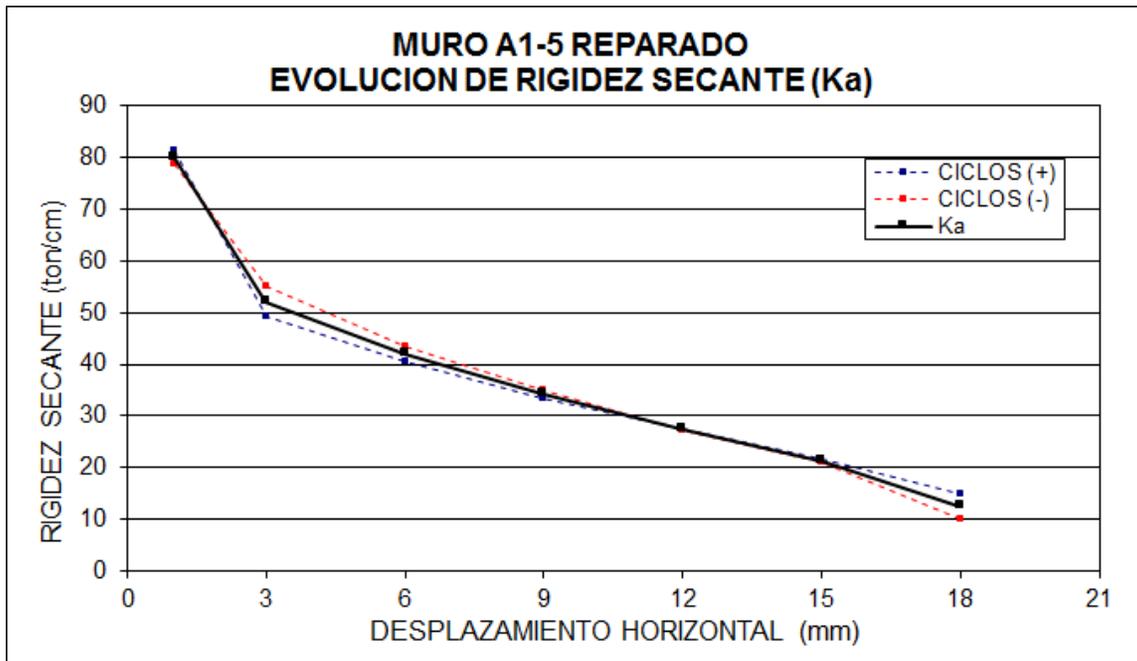


FIGURA 5.31 EVOLUCION DE RIGIDEZ SECANTE MURO REPARADO

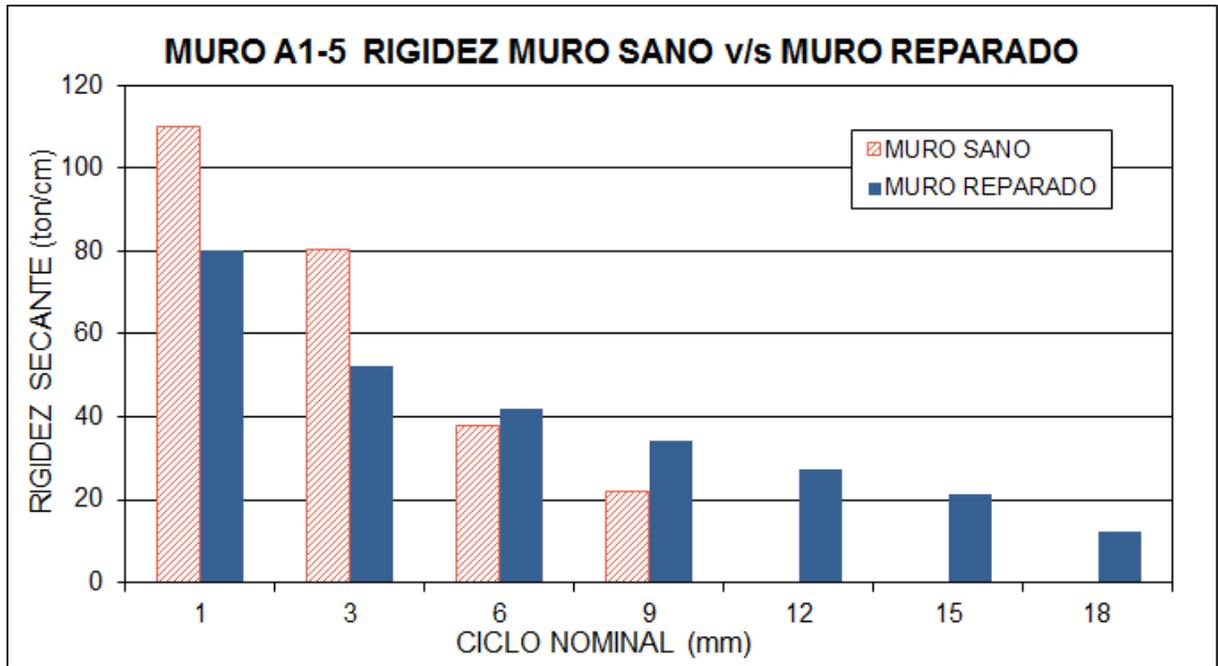


FIGURA 5.32 RIGIDEZ MURO SANO v/s MURO REPARADO

5.3.5.5 ESQUEMAS DE AGRIETAMIENTO

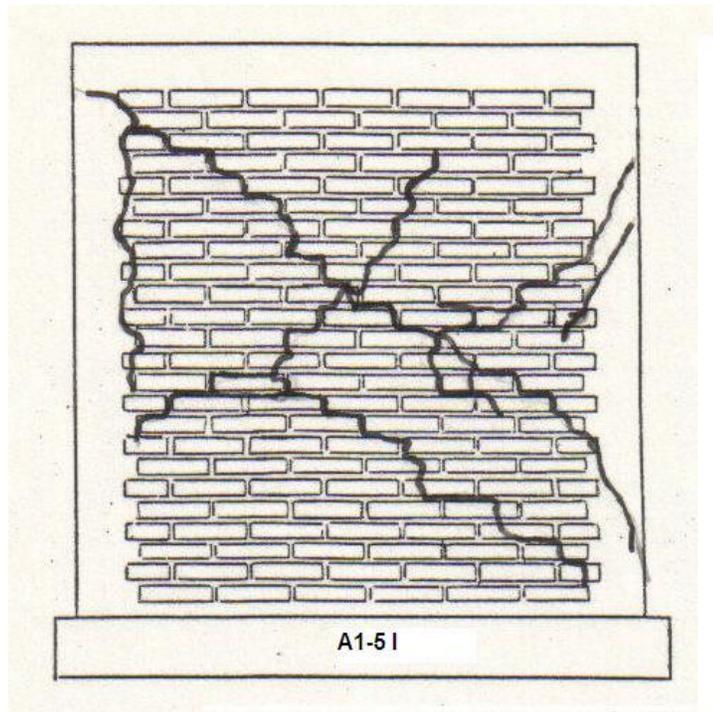


FIGURA 5.33 Muro A1-5 Agrietamiento Final Ensayo Muro Sano

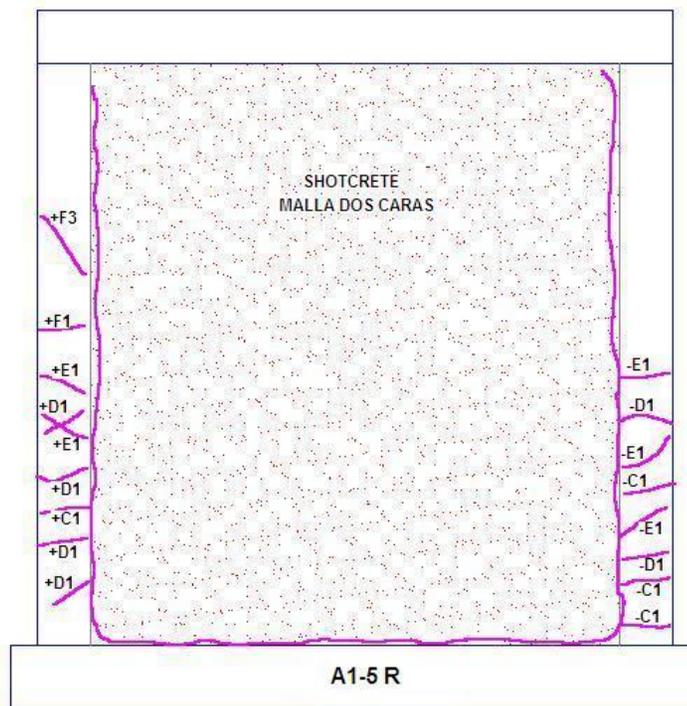


FIGURA 5.34 Muro A1-5 Agrietamiento Final Muro Reparado (Cara Frontal)

5.3.6 MURO A2

5.3.6.1 RESUMEN DE RESULTADOS EXPERIMENTALES

A continuación, se presenta el resumen de resultados obtenidos en los ensayos en condición sana y reparada, para el muro A2:

TABLA 5.6 RESULTADOS EXPERIMENTALES

MURO: A2 TIPO LADRILLO: REJILLA DIMENSIONES: 2.40X2.40													
FECHA DE ENSAYO		MURO SANO						MURO REFORZADO					
NIVEL CARGA VERTICAL (kg/cm ²)								30-abr-90					
NIVEL DE DAÑO								4					
CARACTERISTICAS								SHOTCRETE					
								MALLA 1 CARA					
TIPO DE FALLA PREDOMINANTE								FLEXION					
CARGA MAX.	CICLO							F					
	VALOR	0.0						29.7					
CICLOS (+)	RIGIDEZ INICIAL (t/cm)							36.43					
	RIGIDEZ FINAL (t/cm)							17.38					
	RECUP. RIGIDEZ (%)												
CICLOS (-)	RIGIDEZ INICIAL (t/cm)							45.29					
	RIGIDEZ FINAL (t/cm)							16.39					
	RECUP. RIGIDEZ (%)												
CICLOS		CARGA MAX (t)	CARGA/CARGA MAX	DESPLAZAMIENTO (mm)	RIGIDEZ SECANTE (t/cm)	K / KI (%)	COMPORTAMIENTO	CARGA (t)	CARGA/CARGA MAX	DESPLAZAMIENTO (mm)	RIGIDEZ SECANTE (t/cm)	K / KI (%)	COMPORTAMIENTO
1 mm	A+							3.50		0.89	36.43		
	A-							4.60		1.02	45.29		
	A+							3.40		0.84	29.10		
3 mm	A-							4.50		1.31	34.36		
	B+							8.70		2.83	30.32		
	B-							8.10		2.79	27.39		
	B+							8.40		2.90	29.51		
	B-							8.40		2.87	26.71		
6 mm	B+												
	B-												
	C+							14.90		5.62	27.94		
	C-							14.50		5.52	22.83		
	C+							14.90		5.83	26.83		
9 mm	C-							14.50		5.42	22.76		
	C+												
	C-												
12 mm	D+							20.90		8.33	26.03		
	D-							19.60		7.91	21.82		
15 mm	E+							25.90		11.07	24.03		
	E-							24.00		10.17	20.00		
18 mm	F+							31.00		14.72	18.54		FF + FC
	F-							28.40		14.53	16.77		FF + FC
	G+												
	G-												

5.3.6.2 GRAFICOS DE HISTERESIS

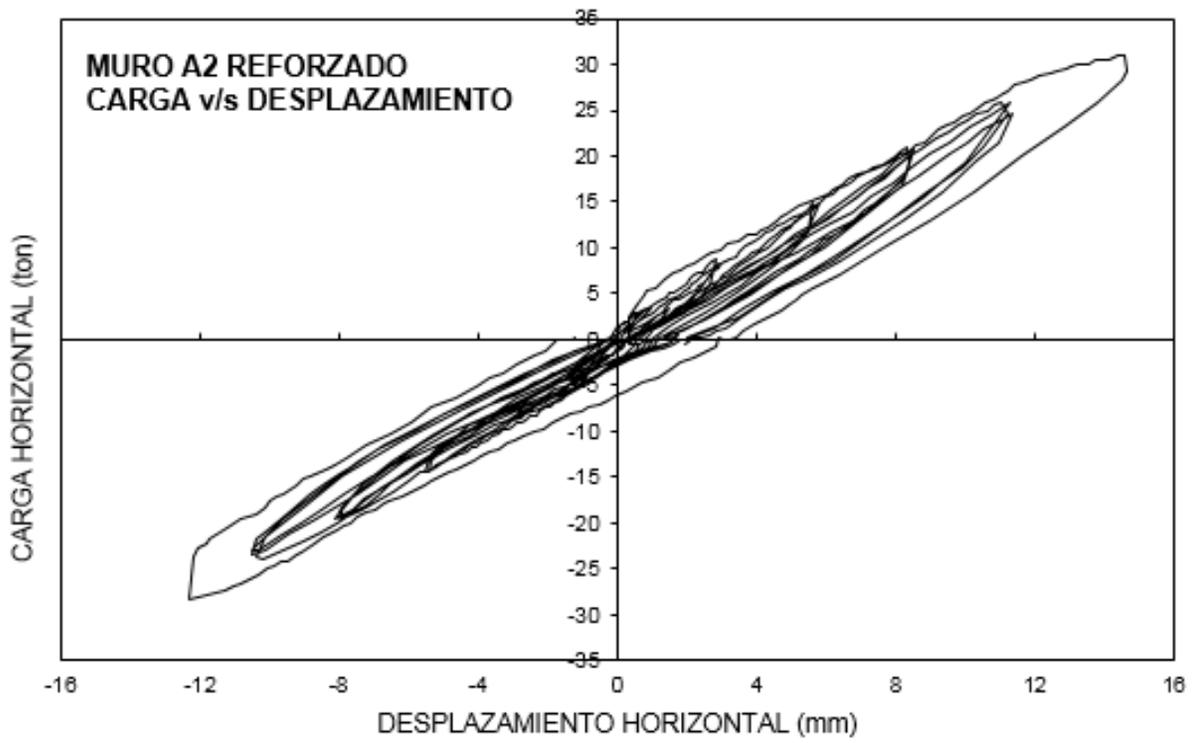


FIGURA 5.35 GRAFICOS DE HISTERESIS

5.3.6.3 CARGAS MAXIMAS

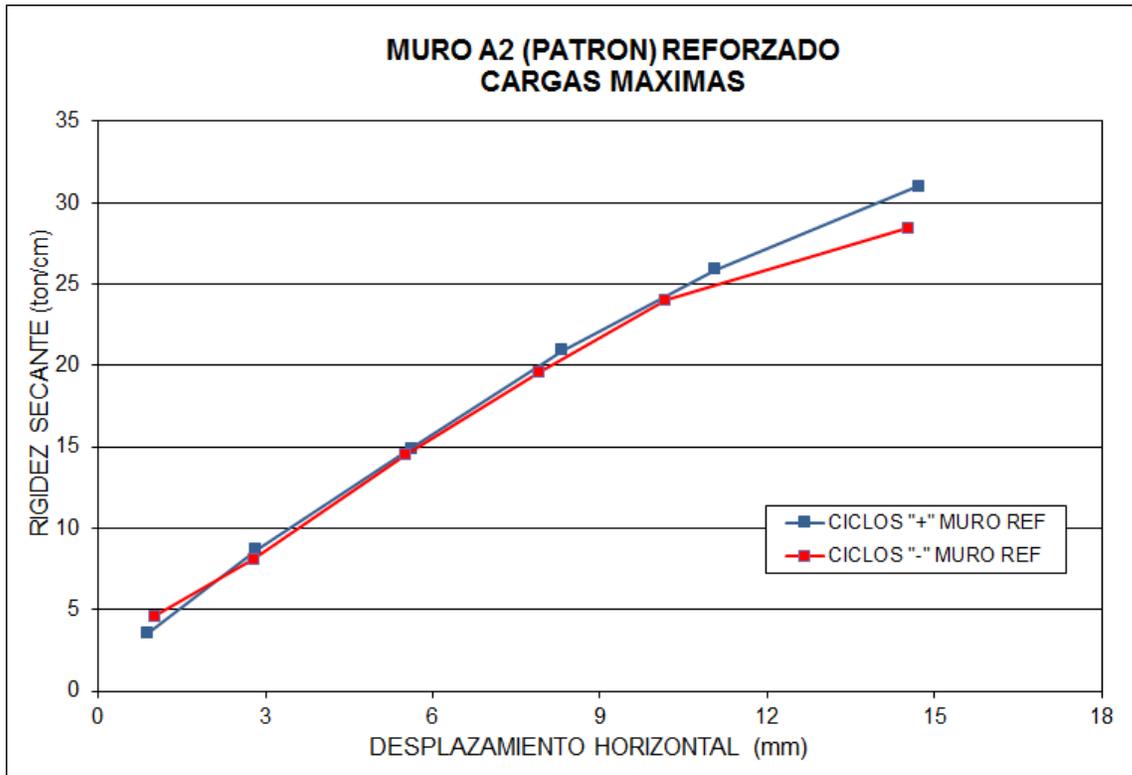


FIGURA 5.36 Muro A2 Reforzado – Cargas Máximas

5.3.6.4 EVOLUCION DE RIGIDEZ SECANTE

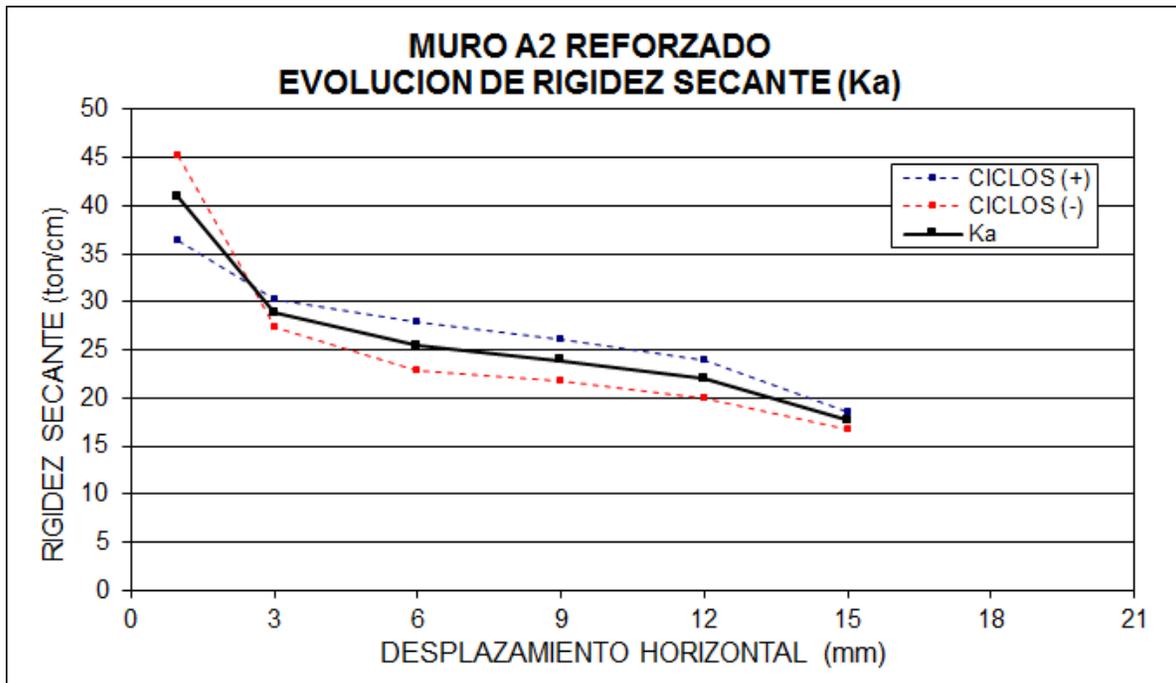


FIGURA 5.37 EVOLUCION DE RIGIDEZ SECANTE MURO REPARADO

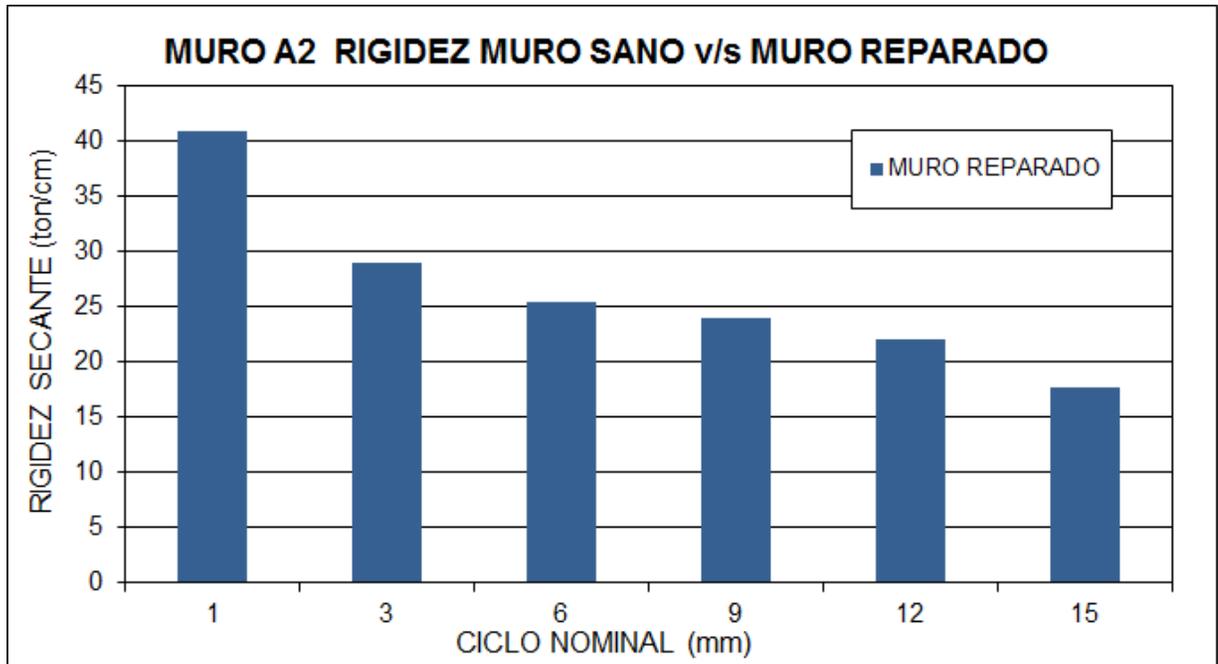


FIGURA 5.38 RIGIDEZ MURO REFORZADO

5.3.6.5 ESQUEMAS DE AGRIETAMIENTO

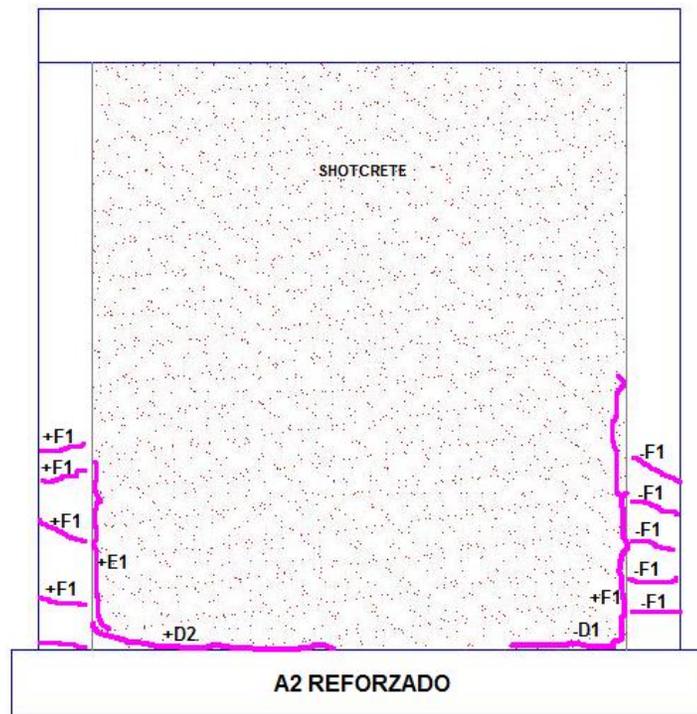


FIGURA 5.39 Muro A2 Agrietamiento Final Muro Reforzado (Cara Frontal)

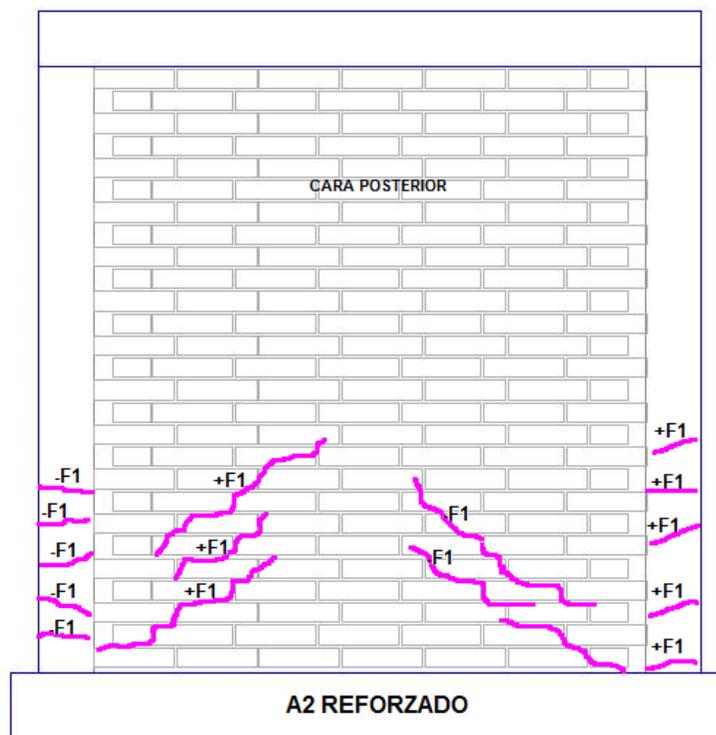


FIGURA 5.40 Muro A2 Agrietamiento Final Muro Reforzado (Cara Posterior)

5.3.7 MURO B1-1

5.3.7.1 RESUMEN DE RESULTADOS EXPERIMENTALES

A continuación, se presenta el resumen de resultados obtenidos en los ensayos en condición sana y reparada, para el muro B1-1:

TABLA 5.7 RESULTADOS EXPERIMENTALES

MURO: B1-1														
TIPO LADRILLO: LADRILLO HECHO A MANO (FISCAL)														
DIMENSIONES: 2.40X2.40														
FECHA DE ENSAYO		MURO SANO						MURO REPARADO						
NIVEL CARGA VERTICAL (kg/cm ²)		18-oct-89						17-may-90						
NIVEL DE DAÑO		0						0						
CARACTERISTICAS		LEVE						ESTUCO MALLA 1 CARA 4 TACOS DE MORTERO						
TIPO DE FALLA PREDOMINANTE		CORTE						FLEXION						
CARGA MAX.	CICLO	C						F						
	VALOR	6,1						17,7						
CICLOS (+)	RIGIDEZ INICIAL (t/cm)	37,81						29,83						
	RIGIDEZ FINAL (t/cm)	5,60						4,22						
	RECUP. RIGIDEZ (%)	79%						79%						
CICLOS (-)	RIGIDEZ INICIAL (t/cm)	24,84						20,87						
	RIGIDEZ FINAL (t/cm)	5,81						7,33						
	RECUP. RIGIDEZ (%)	84%						84%						
CICLOS		CARGA MAX (t)	CARGA/CARGA MAX	DESPLAZAMIENTO (mm)	RIGIDEZ SECANTE (t/cm)	K / K _i (%)	COMPORTAMIENTO	CARGA (t)	CARGA/CARGA MAX	DESPLAZAMIENTO (mm)	RIGIDEZ SECANTE (t/cm)	K / K _i (%)	COMPORTAMIENTO	
1 mm	A+	3,92	0,74	0,99	37,81	100%		3,14	0,59	1,05	29,83	79%	EL	
	A-	3	0,49	1,16	24,84	100%		2,43	0,40	0,93	18,66	75%	EL	
3 mm	A+	4,05	5,03	0,93	33,24	56%	FC + GD	2,90	5,03	1,02	25,53	68%	EL	
	A-	2,41	4,18	0,93	21,22			1,93	4,18	0,80	20,87	84%	EL	
	B+	6,02	1,13	2,45	21,20			56%	5,57	1,04	3,17	17,02	45%	EL
	B-	5,21	0,85	2,74	13,68			55%	4,85	0,79	2,31	15,32	62%	EL
	B+	4,29	0,80	2,81	12,65			33%	5,35	1,00	3,38	16,40	43%	EL
	B-	4,62	0,75	2,74	12,85			52%	4,36	0,71	2,05	15,84	64%	EL
6 mm	B+	4,29	0,80	3,07	11,75	31%	GD	5,57	1,04	3,52	16,86	45%	EL	
	B-	4,74	0,77	2,89	13,37	54%		4,13	0,67	2,05	14,95	60%	EL	
	C+	5,33	1,00	6,09	7,92	21%		8,74	1,64	6,08	14,77	39%	EL	
	C-	6,14	1,00	6,13	7,64	31%		7,52	1,23	4,62	13,06	53%	EL	
	C+	4,74	0,89	6,00	5,60	15%		8,98	1,69	6,30	13,88	37%	EL	
	C-	4,29	0,70	5,80	5,81	23%		7,28	1,19	5,22	11,85	48%	EL	
9 mm	C+					0%	GD	8,49	1,59	6,66	12,35	33%	EL	
	C-					0%		7,03	1,14	5,39	11,22	45%	EL	
	D+							11,41	2,14	9,73	11,53	30%	EL	
	D-							9,95	1,82	8,50	9,94	40%	EL	
12 mm	E+						GD	13,34	2,50	12,84	10,07	27%	FF	
	E-							11,66	1,90	11,39	8,62	35%	FF	
15 mm	F+						GD	14,80	2,78	15,18	9,42	25%	FF	
	F-							12,87	2,10	13,96	7,76	31%	FF	
18 mm	G+						GD	17,70	3,32	40,75	4,22	11%	FF	
	G-													

5.3.7.2 GRAFICOS DE HISTERESIS

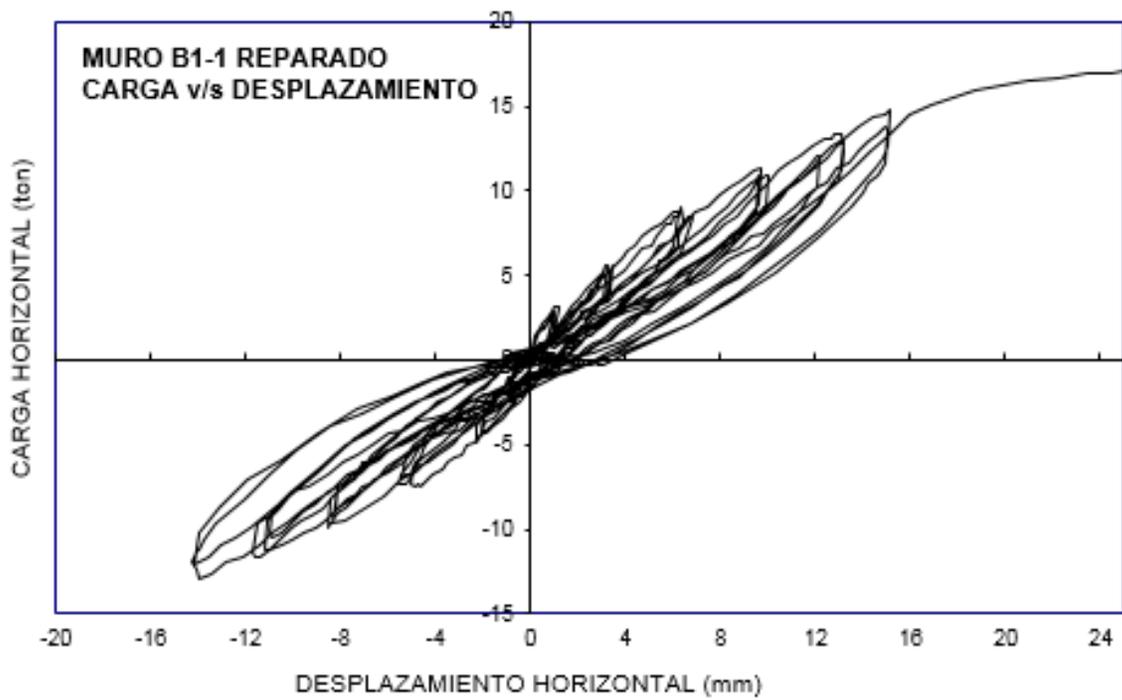
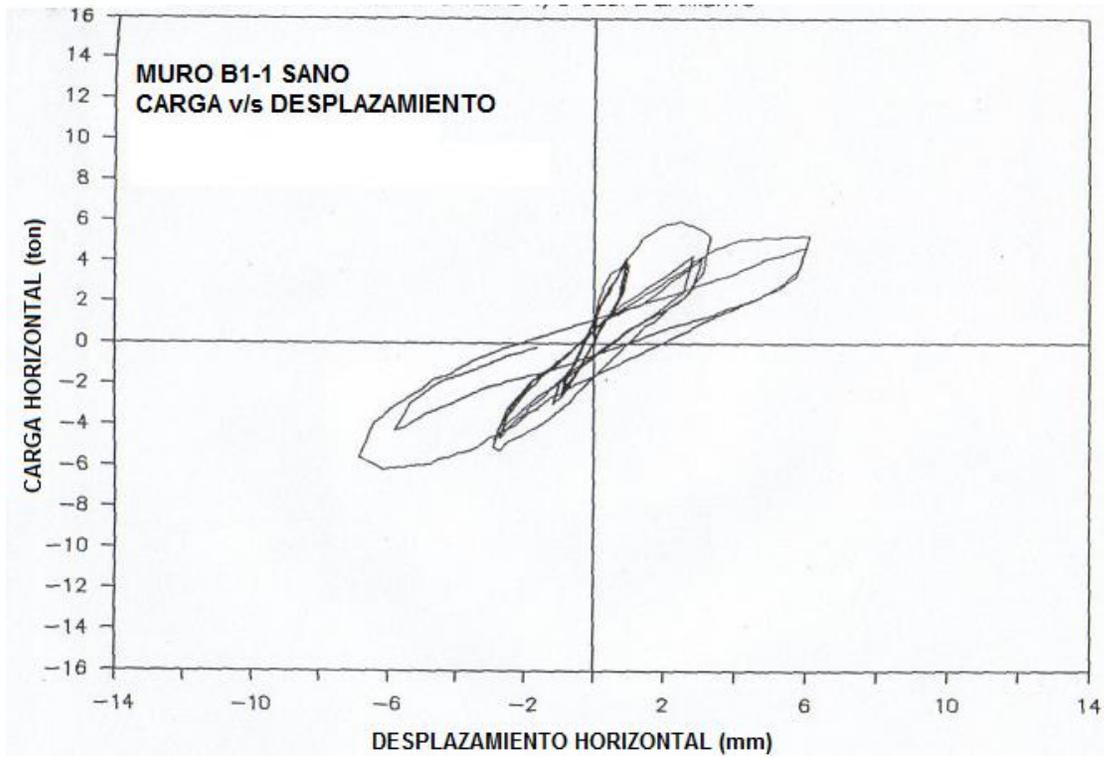


FIGURA 5.41 GRAFICOS DE HISTERESIS

5.3.7.3 CARGAS MAXIMAS

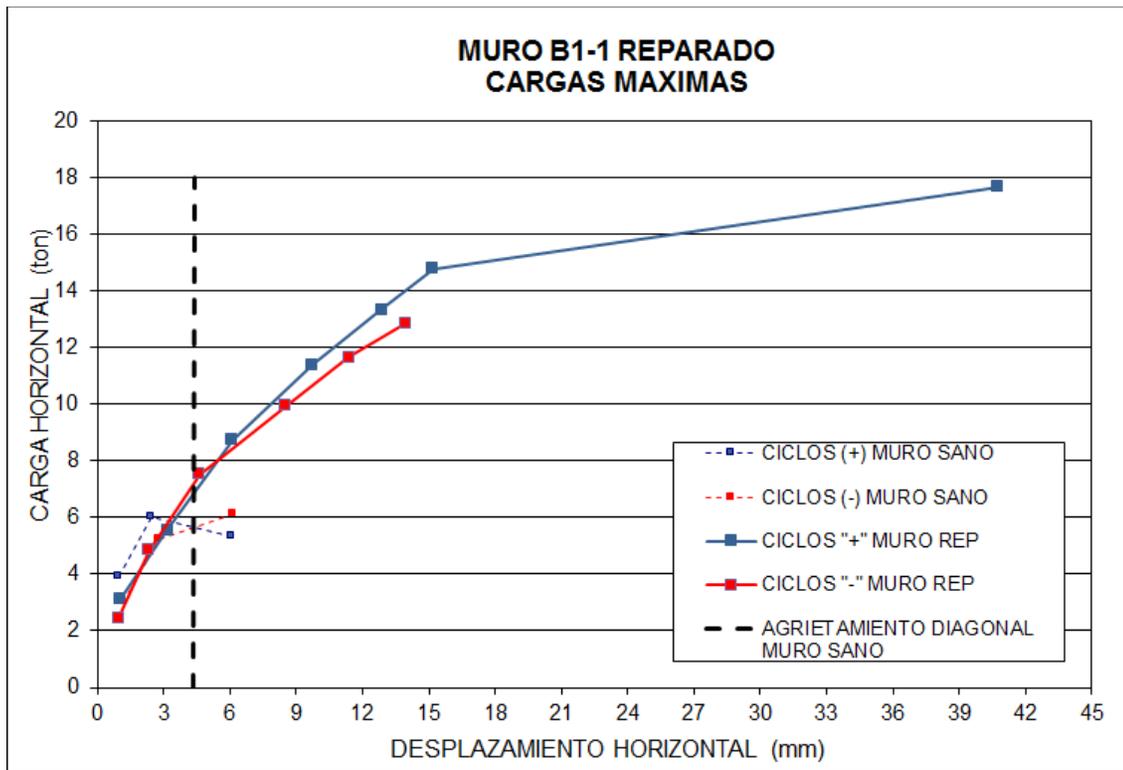


FIGURA 5.42 Muro B1-1 Reparado – Cargas Máximas

5.3.7.4 EVOLUCION DE RIGIDEZ SECANTE

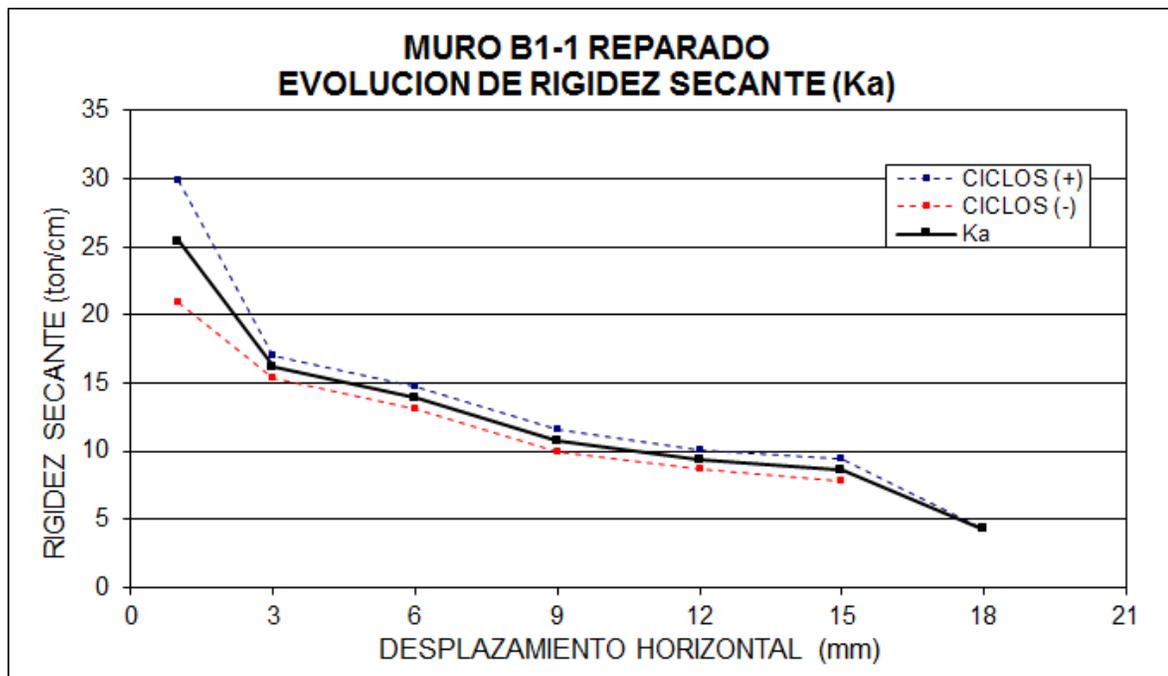


FIGURA 5.43 EVOLUCION DE RIGIDEZ SECANTE MURO REPARADO

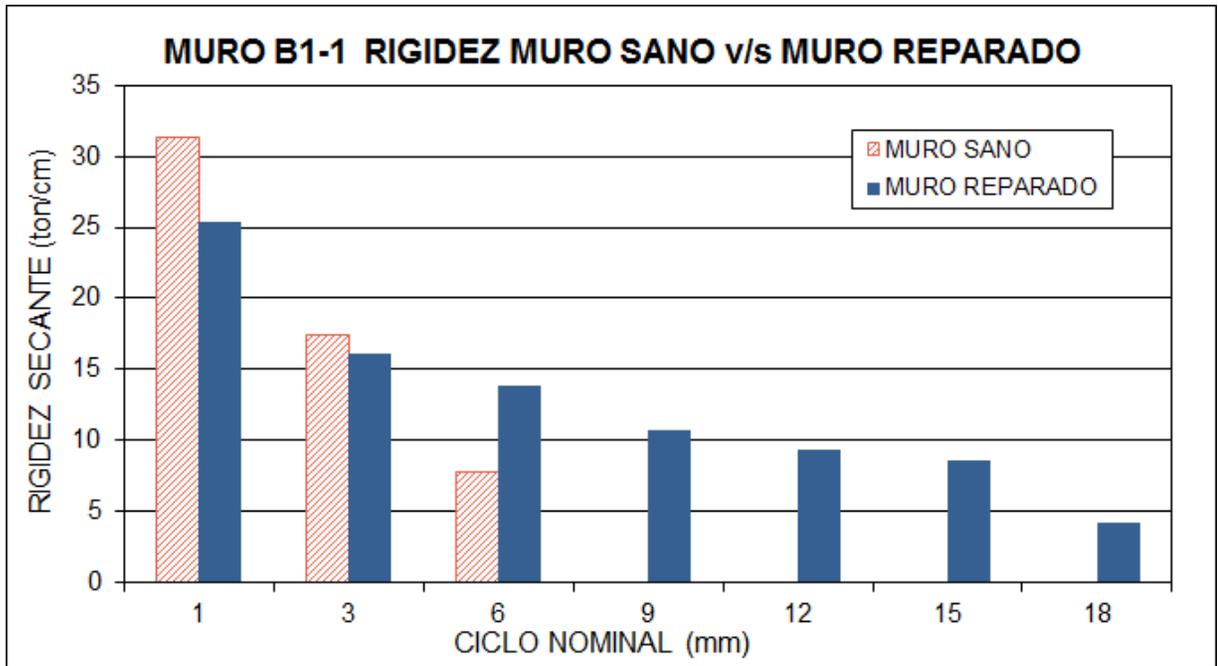


FIGURA 5.44 RIGIDEZ MURO SANO v/s MURO REPARADO

5.3.7.5 ESQUEMAS DE AGRIETAMIENTO

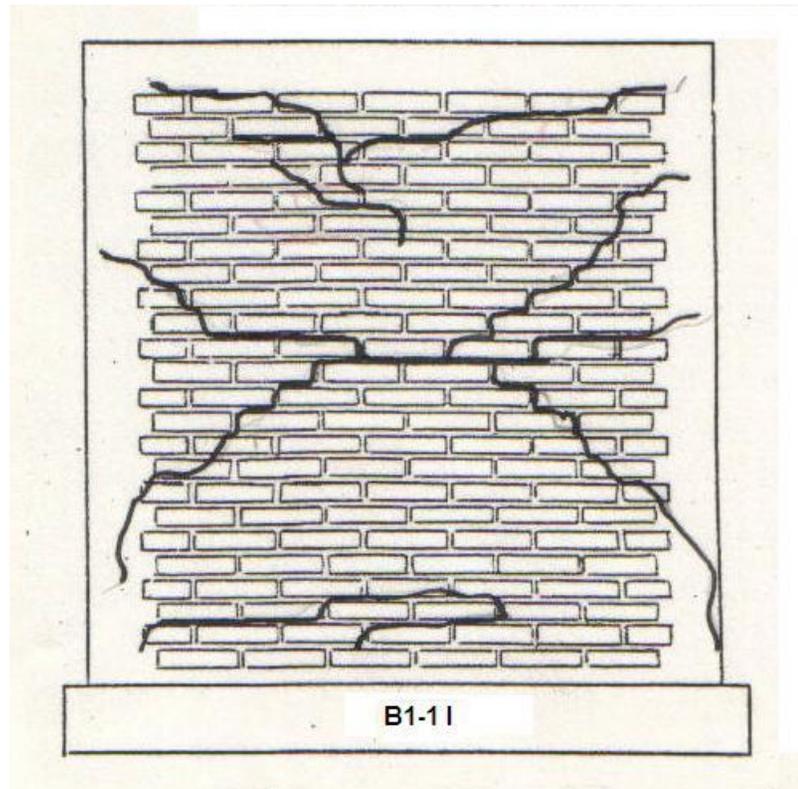


FIGURA 5.45 Muro B1-1 Agrietamiento Final Ensayo Muro Sano

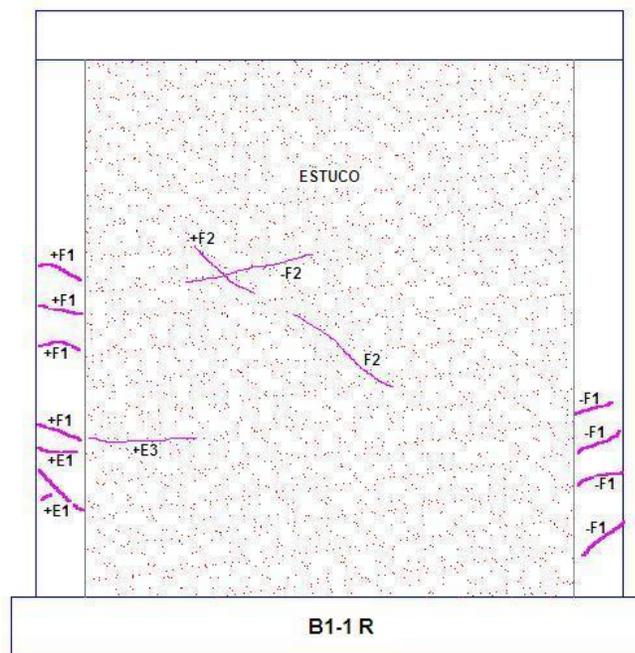


FIGURA 5.46 Muro B1-1 Agrietamiento Final Muro Reparado (Cara Frontal)

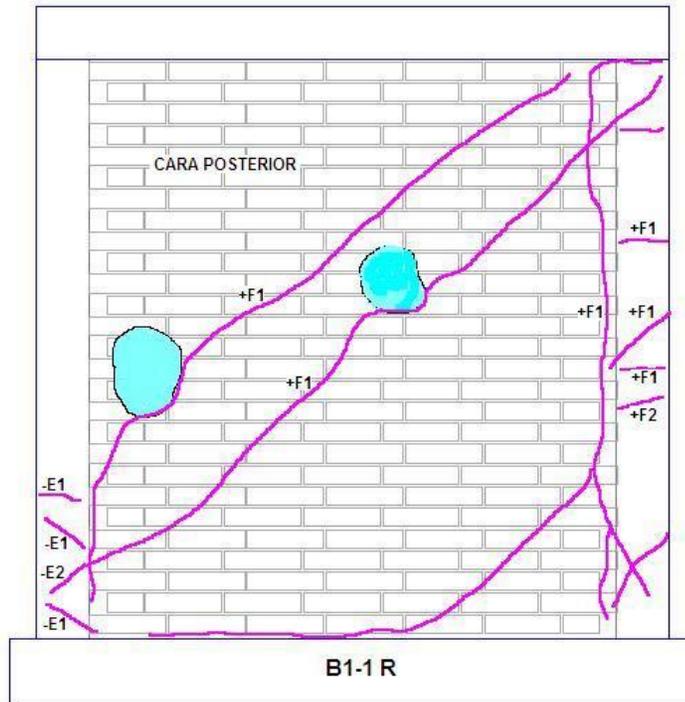


FIGURA 5.47 Muro B1-1 Agrietamiento Final Muro Reparado (Cara Posterior)

5.3.7.6 FOTOGRAFIAS

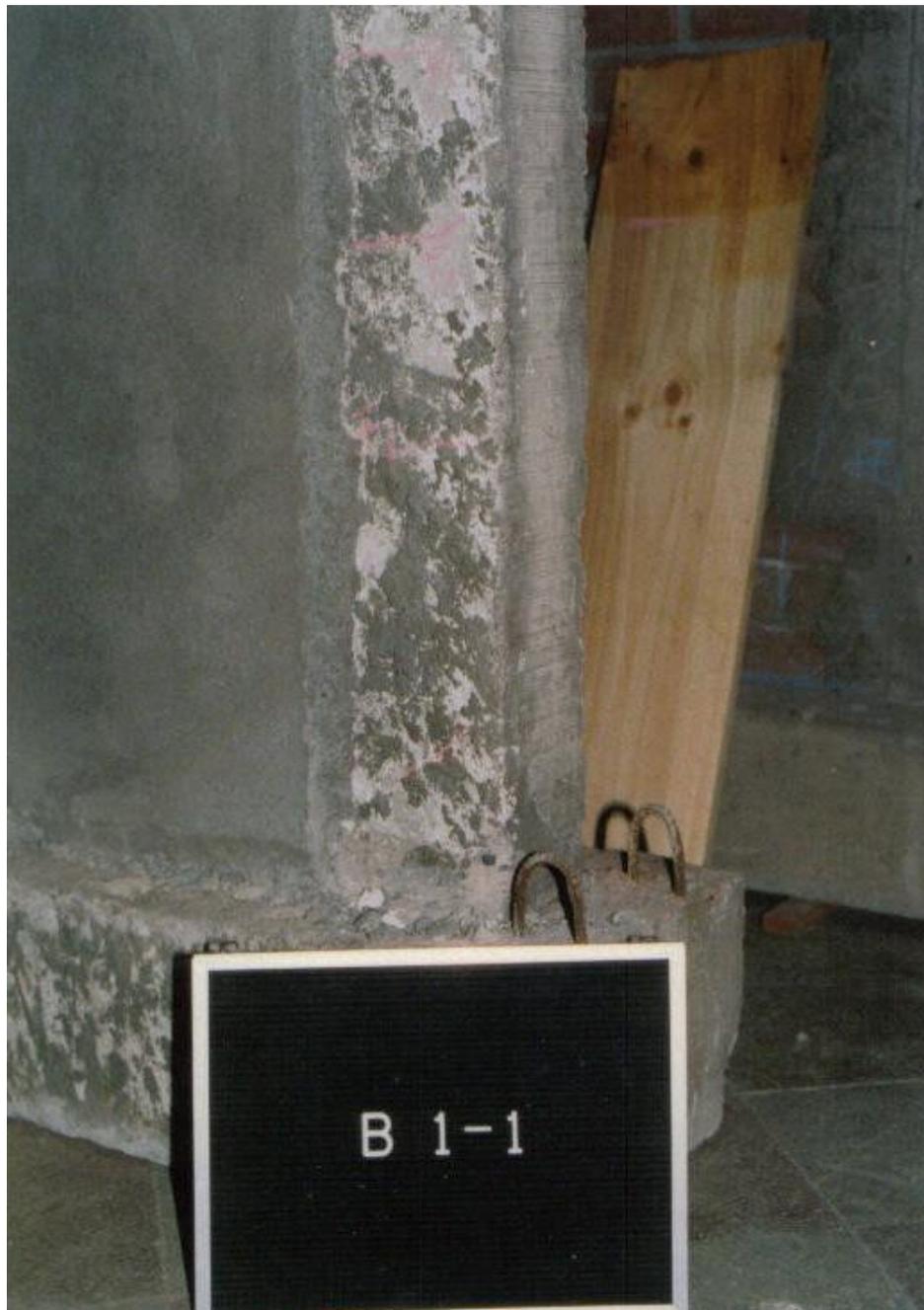


Foto 5.7

5.3.8 MURO B1-2

En el estudio de E. Herrera la denominación de este muro es B2.

5.3.8.1 RESUMEN DE RESULTADOS EXPERIMENTALES

A continuación, se presenta el resumen de resultados obtenidos en los ensayos en condición sana y reparada, para el muro B1-2:

TABLA 5.8 RESULTADOS EXPERIMENTALES

MURO: B1-2 (B2 Herrera)														
TIPO LADRILLO: LADRILLO HECHO A MANO (FISCAL)														
DIMENSIONES: 2.40X2.40														
FECHA DE ENSAYO			MURO SANO					MURO REPARADO						
NIVEL CARGA VERTICAL (kg/cm ²)			23-ene-90					17-may-90						
NIVEL DE DAÑO			SEVERO					REEMPLAZO ALBAÑILERIA						
CARACTERISTICAS			UNION ALBAÑILERIA - PILAR : SIN ENDENTAR					ESCALERILLAS						
TIPO DE FALLA PREDOMINANTE			CORTE					FLEXION						
CARGA MAX.	CICLO		E					G						
	VALOR		12,0					15,7						
CICLOS (+)	RIGIDEZ INICIAL (t/cm)		29,50					52,50						
	RIGIDEZ FINAL (t/cm)		6,87					7,57						
	RECUP. RIGIDEZ (%)							178%						
CICLOS (-)	RIGIDEZ INICIAL (t/cm)		24,26					42,84						
	RIGIDEZ FINAL (t/cm)		6,04					4,37						
	RECUP. RIGIDEZ (%)							177%						
CICLOS			CARGA MAX (t)	CARGA/CARGA MAX	DESPLAZAMIENTO (mm)	RIGIDEZ SECANTE (t/cm)	K / K ₀ (%)	COMPORTAMIENTO	CARGA (t)	CARGA/CARGA MAX	DESPLAZAMIENTO (mm)	RIGIDEZ SECANTE (t/cm)	K / K ₀ (%)	COMPORTAMIENTO
1 mm	A+	3,09	0,26	1,05	29,50	100%	EL	4,60	0,39	0,83	35,66			EL
	A-	3,82	0,36	1,15	24,26	100%	EL	4,37	0,43	0,85	38,67			EL
	A+	2,96	5,03	0,83	34,81	118%	EL	4,83	0,32	0,98	52,50	100%		EL
3 mm	A-	3,82	4,18	1,00	26,81	110%	EL	4,37	0,34	0,78	42,84	100%		EL
	B+	6,68	0,56	2,78	24,17	82%	EL	9,40	0,79	2,64	34,81	66%		EL
	B-	6,81	0,84	2,79	17,59	72%	EL	8,70	0,86	2,44	28,71	67%		EL
6 mm	B+	6,56	0,55	2,82	22,40	76%		9,16	0,77	2,67	30,84	59%		
	B-	6,81	0,84	2,89	17,39	72%		8,70	0,86	2,43	29,19	68%		
	B+	6,56	0,55	2,97	21,84	74%								
9 mm	B-	6,94	0,65	3,09	16,88	70%								
	C+	9,8	0,82	5,73	17,16	56%	FC	13,4	1,13	5,81	21,82	42%		EL
	C-	9,17	0,86	5,48	12,11	50%	FC	11,72	1,15	5,04	18,14	42%		EL
12 mm	C+	9,04	0,76	5,60	14,71	50%		12,67	1,06	5,96	18,15	36%		
	C-	8,68	0,81	5,63	15,53	64%		11,25	1,11	5,55	15,98	37%		
	C+	9,04	0,76	5,68	14,40	49%		12,2	1,03	6,1	18,46	35%		
15 mm	C-	8,18	0,77	5,62	10,97	45%		11,01	1,08	5,82	15,29	36%		
	D+	11,9	1,00	8,76	12,67	43%	FC	14,3	1,20	8,24	15,33	29%		GD
	D-	10,15	0,95	8,43	9,03	37%	FC	12,84	1,27	8,33	11,91	28%		GD
18 mm	E+	11,9	1,00	11,12	10,03	34%	GD	15,02	1,26	11,73	11,04	21%		GD
	E-	10,66	1,00	11,25	6,69	0,28		13,58	1,34	11,15	9,21	22%		GD
	F+							15,6	1,31	14,65	9,12	17%		GD
18 mm	F-							14,63	1,44	14,3	7,52	18%		GD
	G+							15,6	1,31	17,37	7,57	14%		GD
	G-							15,85	1,33	24,84	4,37	10%		GD

5.3.8.2 GRAFICOS DE HISTERESIS

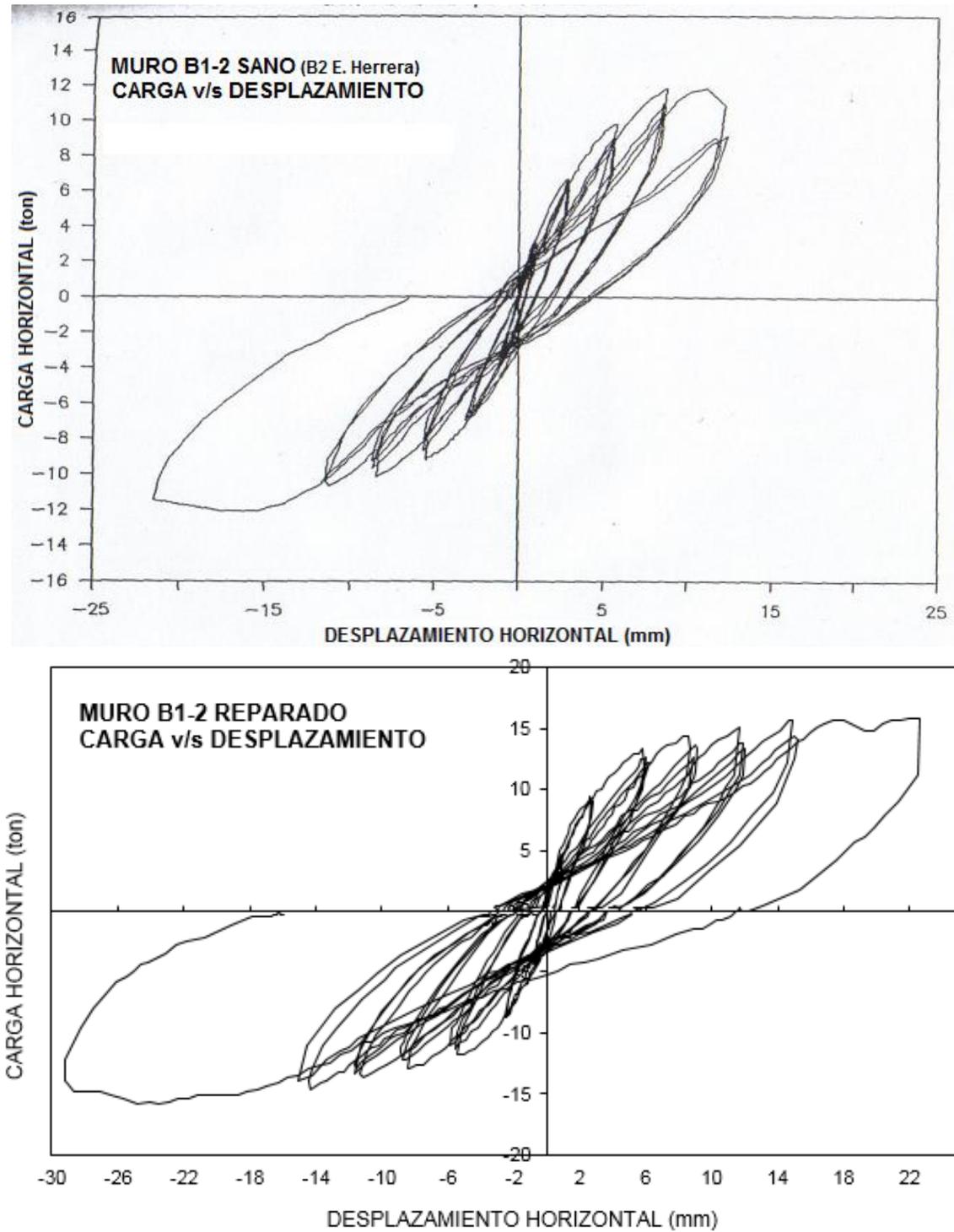


FIGURA 5.48 GRAFICOS DE HISTERESIS

5.3.8.3 CARGAS MAXIMAS

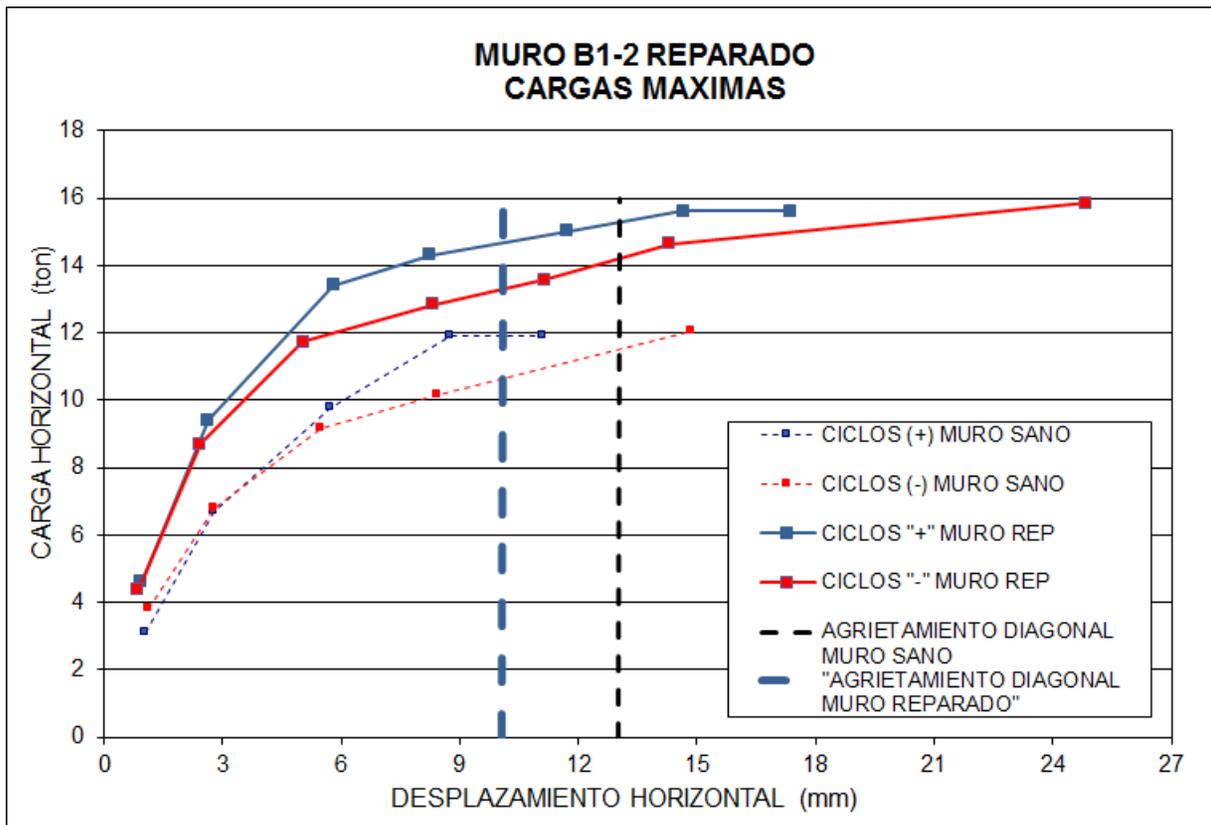


FIGURA 5.49 Muro B1-2 Reparado – Cargas Máximas

5.3.8.4 EVOLUCION DE RIGIDEZ SECANTE

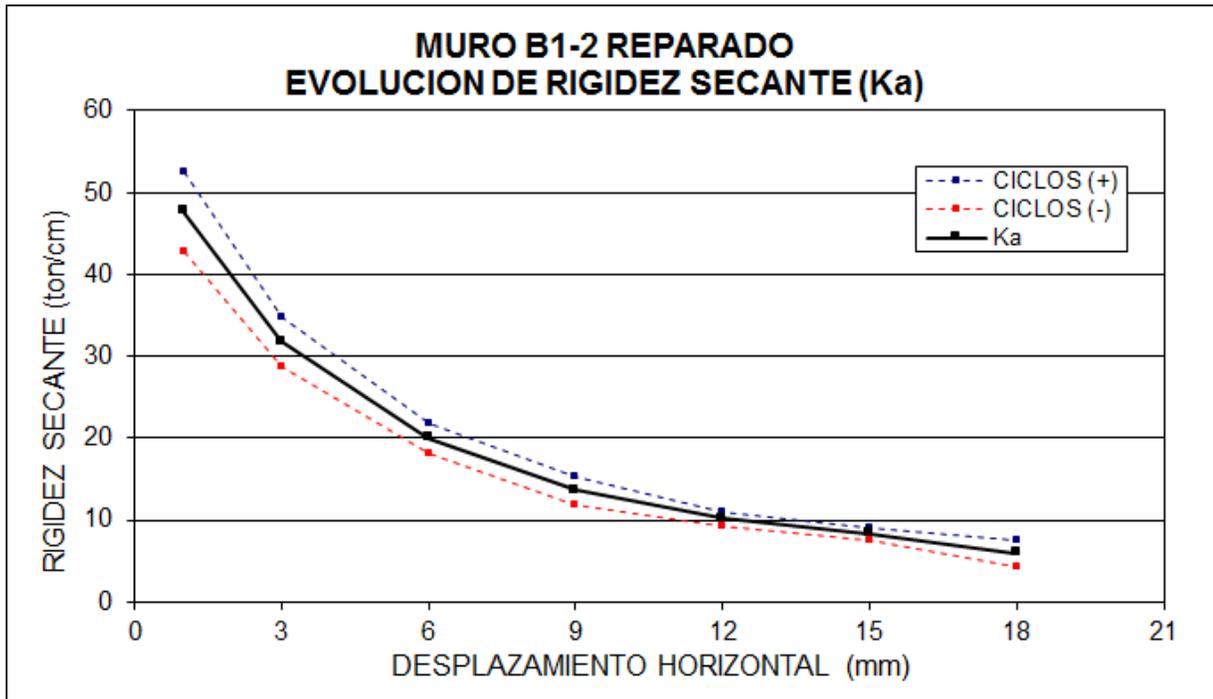


FIGURA 5.50 EVOLUCION DE RIGIDEZ SECANTE MURO REPARADO

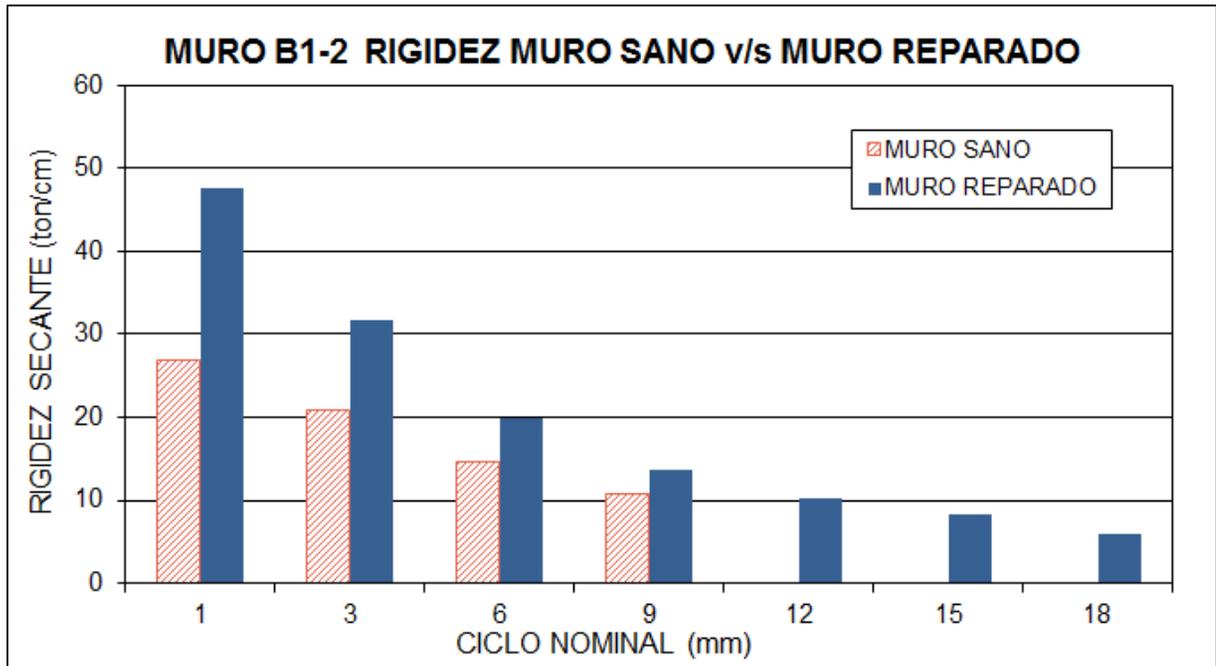


FIGURA 5.51 RIGIDEZ MURO SANO v/s MURO REPARADO

5.3.8.5 ESQUEMAS DE AGRIETAMIENTO

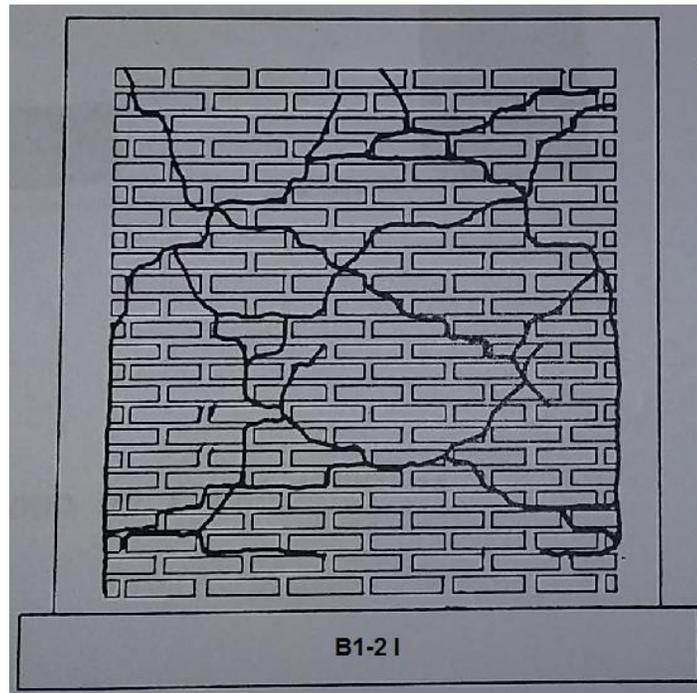


FIGURA 5.52 Muro B1-2 Agrietamiento Final Ensayo Muro Sano

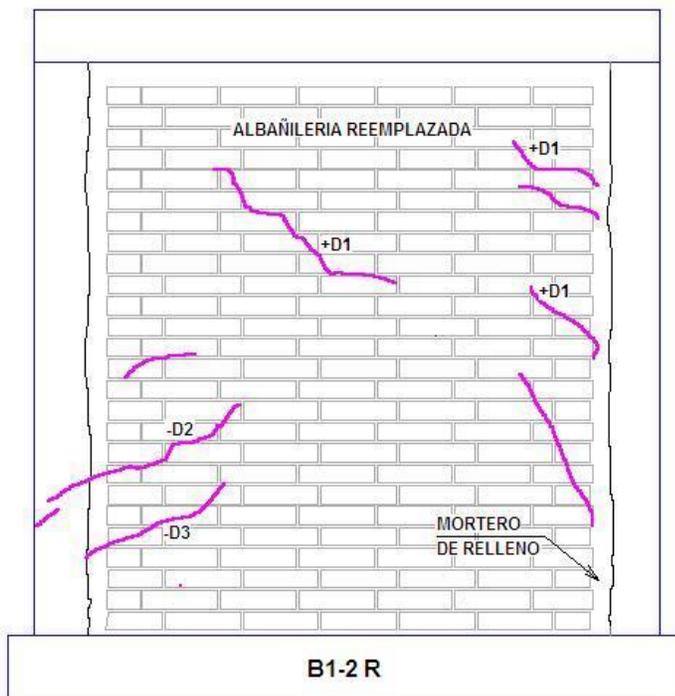


FIGURA 5.53 Muro B1-2 Agrietamiento Final Muro Reparado (Cara Frontal)

5.3.8.6 FOTOGRAFIAS

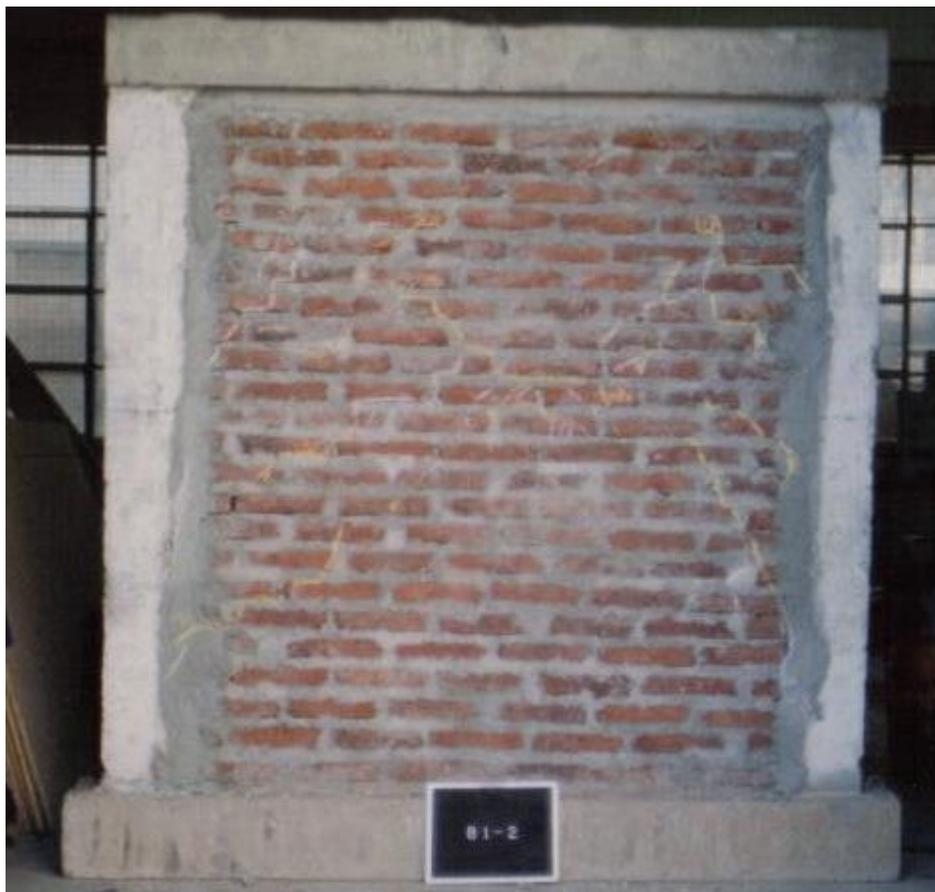


Foto 5.8 Cara Frontal



Foto 5.9 Detalle



Foto 5.10 Detalle

5.3.9 MURO B1-3

5.3.9.1 RESUMEN DE RESULTADOS EXPERIMENTALES

A continuación, se presenta el resumen de resultados obtenidos en los ensayos en condición sana y reparada, para el muro B1-3:

TABLA 5.9 RESULTADOS EXPERIMENTALES

MURO: B1-3 TIPO LADRILLO: LADRILLO HECHO A MANO (FISCAL) DIMENSIONES: 2.40X2.40													
FECHA DE ENSAYO		MURO SANO 13-nov-89					MURO REPARADO 29-may-90						
NIVEL CARGA VERTICAL (kg/cm ²)		4					4						
NIVEL DE DAÑO CARACTERISTICAS		LEVE					SHOTCRETE MALLA 1 CARA 3 TACOS DE MORTERO						
TIPO DE FALLA PREDOMINANTE		CORTE					FLEXION						
CARGA MAX.	CICLO	C					G						
	VALOR	11,3					26,0						
CICLOS (+)	RIGIDEZ INICIAL (t/cm)	39,97					58,82						
	RIGIDEZ FINAL (t/cm)	14,22					10,24						
	RECUP. RIGIDEZ (%)	147%					147%						
CICLOS (-)	RIGIDEZ INICIAL (t/cm)	30,84					50,00						
	RIGIDEZ FINAL (t/cm)	11,77					8,14						
	RECUP. RIGIDEZ (%)	162%					162%						
CICLOS		CARGA MAX (t)	CARGA/CARGA MAX	DESPLAZAMIENTO (mm)	RIGIDEZ SECANTE (t/cm)	K / K _i (%)	COMPORTAMIENTO	CARGA (t)	CARGA/CARGA MAX	DESPLAZAMIENTO (mm)	RIGIDEZ SECANTE (t/cm)	K / K _i (%)	COMPORTAMIENTO
1 mm	A+	4,53	0,40	1,13	39,97	100%	EL	5,00	5,00	0,92	58,82	100%	EL
	A-	4,64	0,42	0,93	30,84	100%	EL	3,90	3,90	0,74	50,00	100%	EL
	A+	3,56	0,31	1,00	37,64			5,30	0,23	0,92	52,48	89%	EL
3 mm	A-	4,53	0,41	0,88	34,80			3,90	0,22	0,77	57,35	115%	EL
	B+	7,99	0,70	2,78	29,91	75%	FC	10,90	10,90	2,84	35,86	61%	EL
	B-	7,99	0,72	3,07	19,70	64%	FC	10,60	10,60	3,61	32,52	65%	EL
	B+	8,21	0,72	2,85	24,72	62%		10,90	10,90	2,70	33,85	58%	EL
	B-	7,44	0,67	3,04	20,32	66%		8,60	8,60	2,53	36,13	72%	EL
	B+	8,21	0,72	2,86	24,61	62%							
6 mm	B-	7,77	0,70	3,32	20,20	66%							EL
	C+	11,44	1,00	5,92	17,75	44%	GD	16,40	16,40	5,49	27,15	46%	EL
	C-	11,11	1,00	5,95	12,51	41%	GD	14,00	14,00	5,38	25,88	52%	EL
	C+	10,78	0,94	5,87	14,77	37%		15,50	15,50	5,43	25,92	44%	EL
	C-	10,78	0,97	6,33	11,93	39%							EL
	C+	10,58	0,92	6,05	14,22	36%		15,50	15,50	5,61	25,24	43%	EL
9 mm	C-	10,25	0,92	6,14	11,77	38%		13,60	13,60	5,46	24,82	50%	EL
	D+							20,50	20,50	8,30	23,92	41%	EL
12 mm	D-							17,90	17,90	7,83	22,23	44%	EL
	E+							23,20	23,20	11,35	19,50	33%	FF
15 mm	E-							20,70	20,70	10,52	18,43	37%	FF
	F+							24,50	24,50	14,93	15,34	26%	FF
18 mm	F-							22,00	22,00	13,10	15,79	32%	FF
	G+							27,00		25,19	10,24	17%	
	G-							25,00		24,74	8,14	16%	

5.3.9.2 GRAFICOS DE HISTERESIS

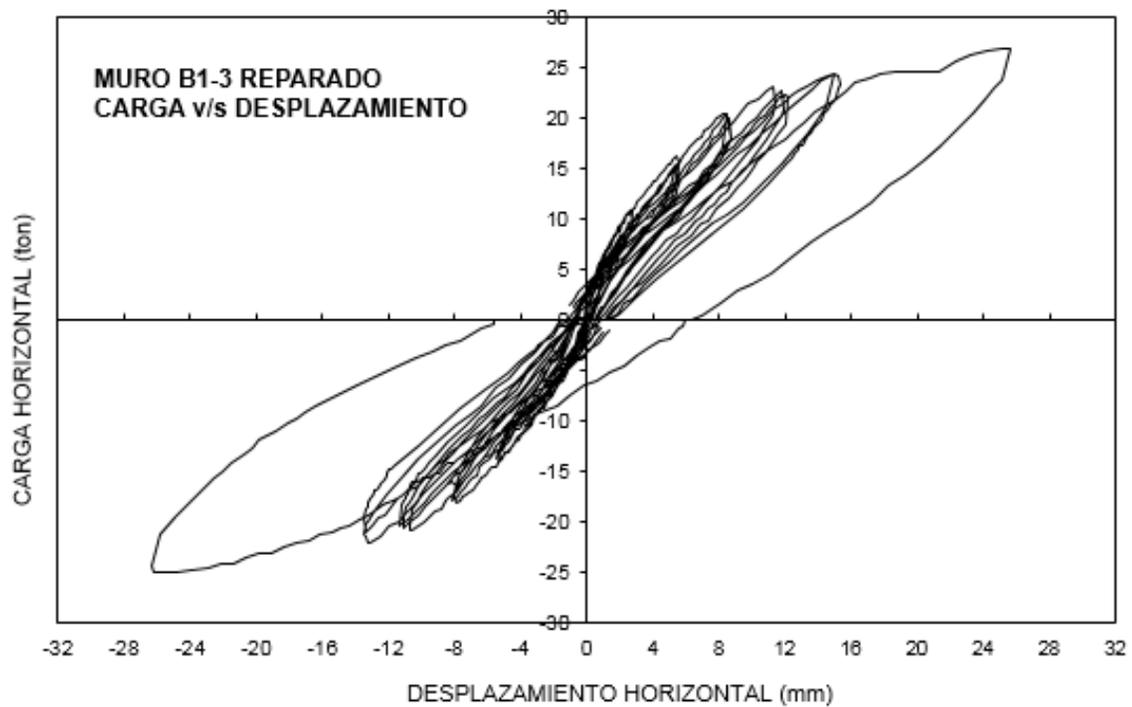
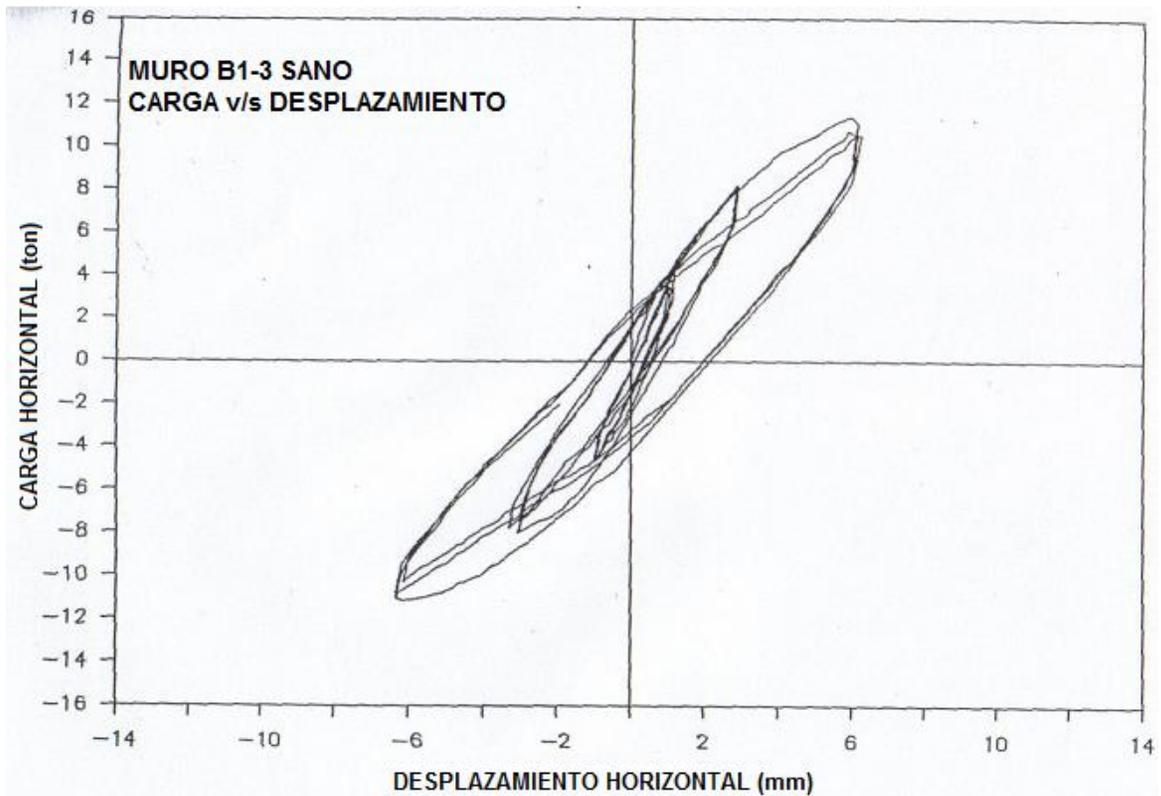


FIGURA 5.54 GRAFICOS DE HISTERESIS

5.3.9.3 CARGAS MAXIMAS

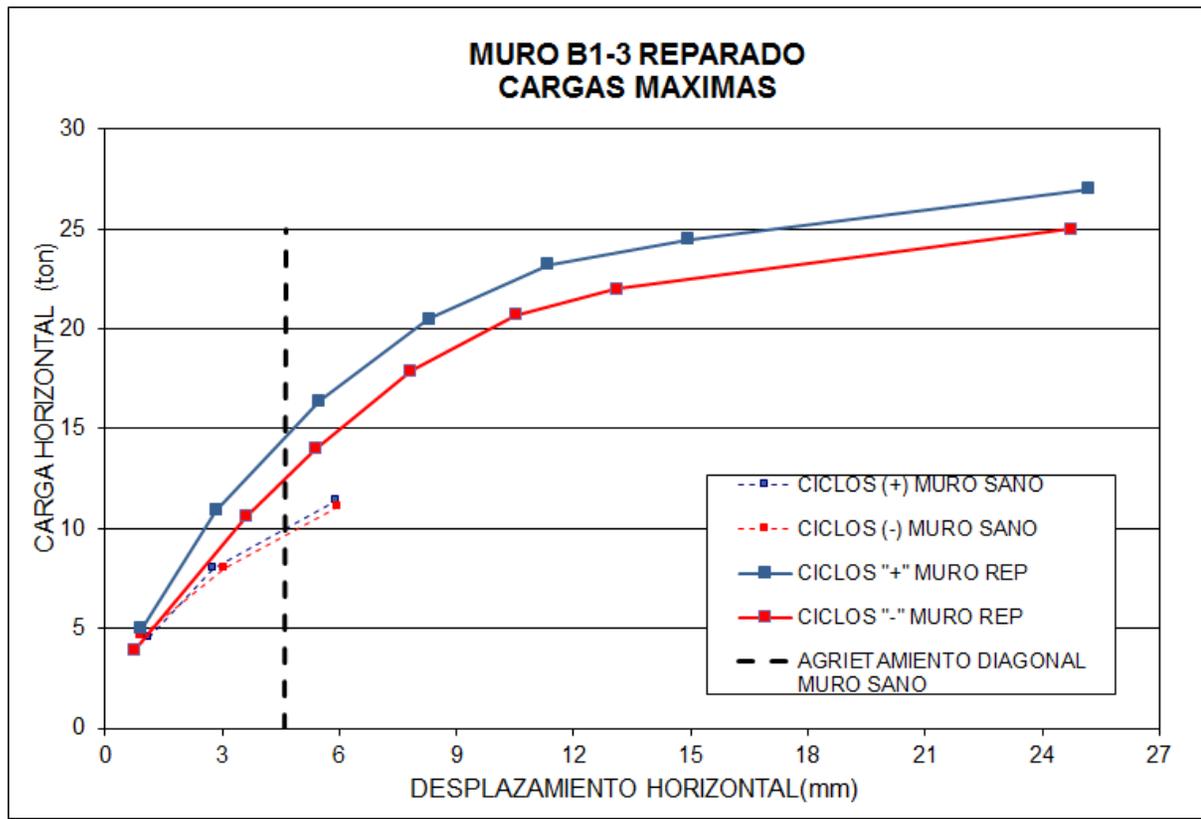


FIGURA 5.55 Muro B1-3 Reparado – Cargas Máximas

5.3.9.4 EVOLUCION DE RIGIDEZ SECANTE

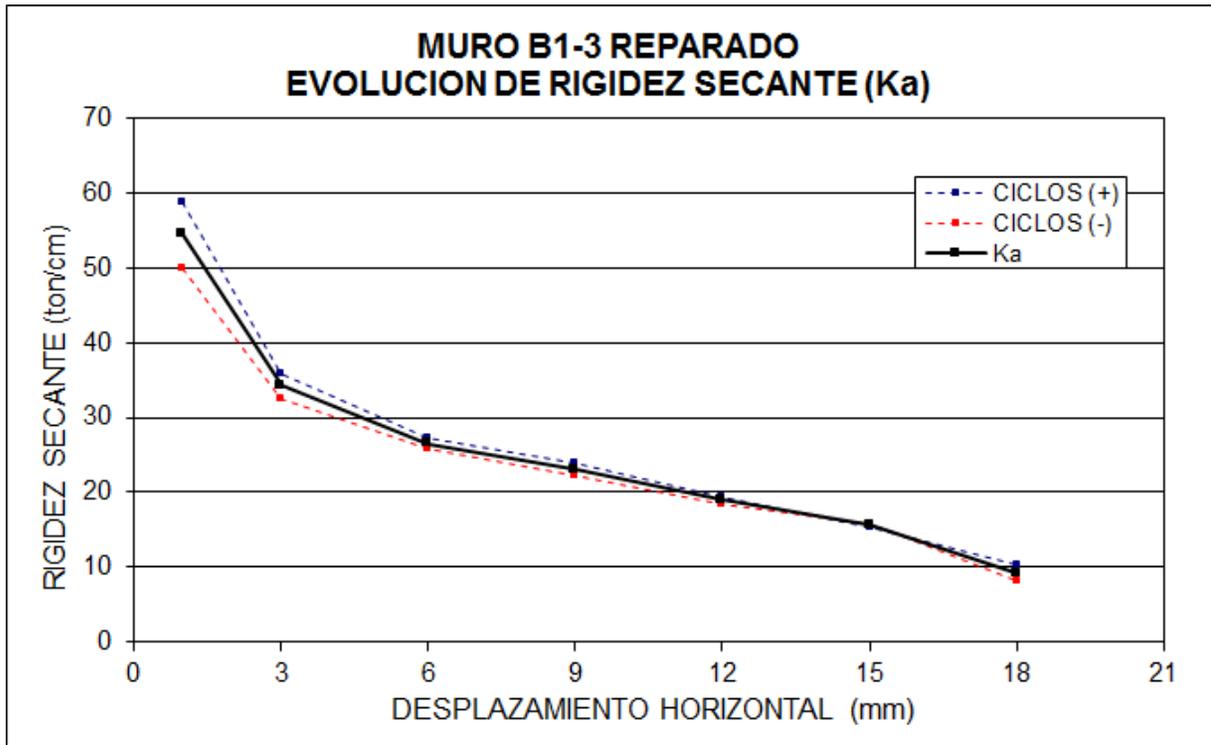


FIGURA 5.56 EVOLUCION DE RIGIDEZ SECANTE MURO REPARADO

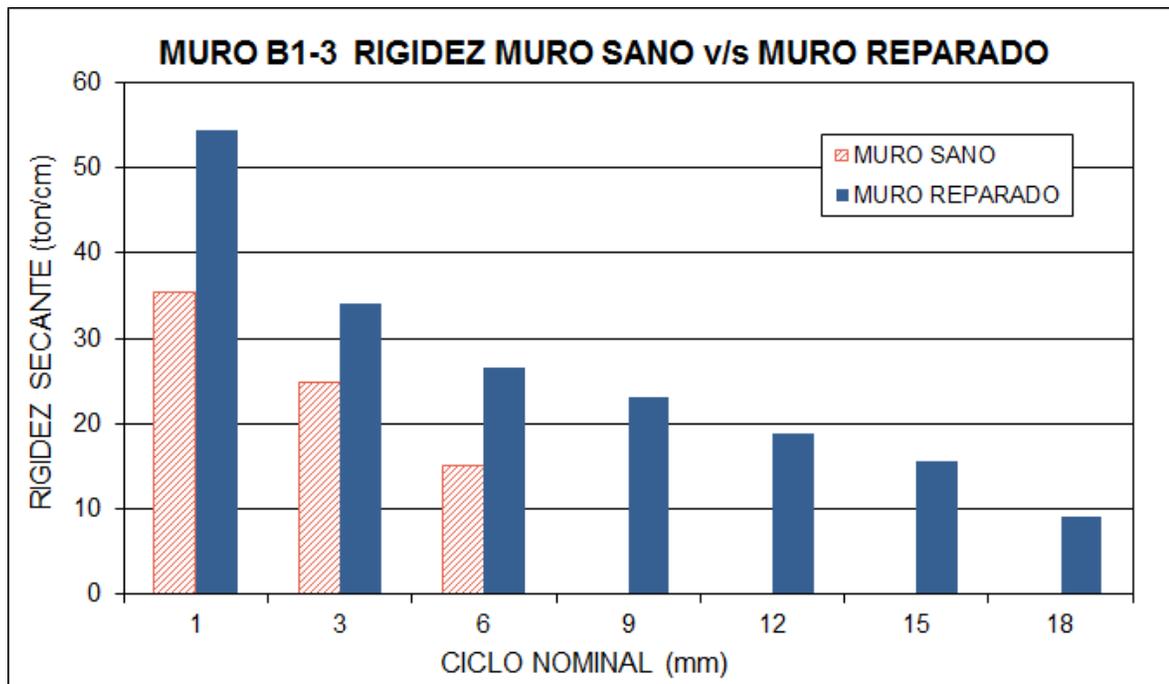


FIGURA 5.57 RIGIDEZ MURO SANO v/s MURO REPARADO

5.3.9.5 ESQUEMAS DE AGRIETAMIENTO

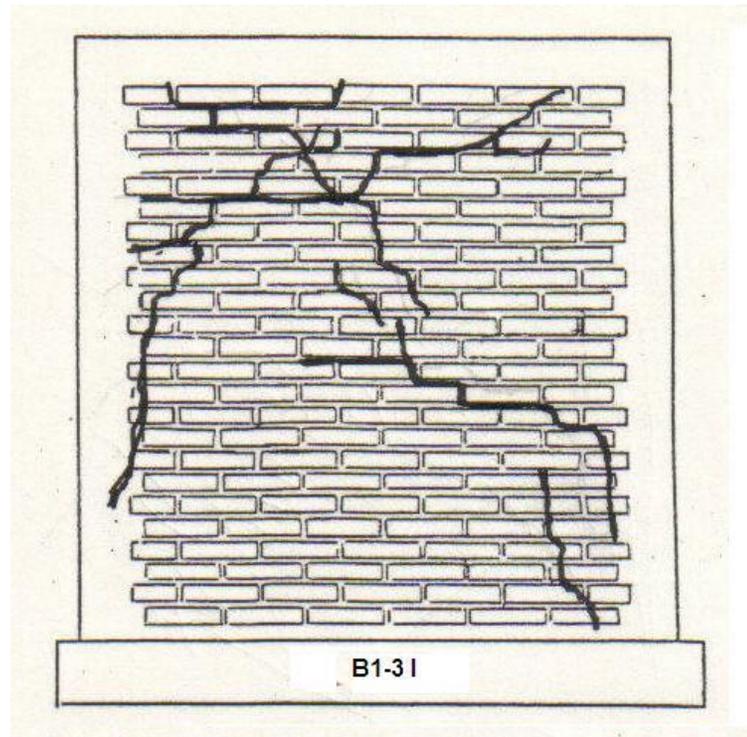


FIGURA 5.58 Muro B1-3 Agrietamiento Final Ensayo Muro Sano

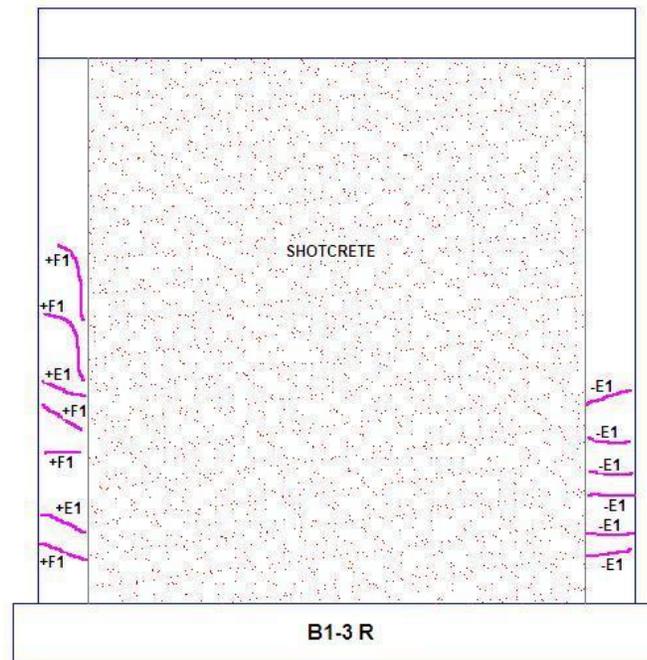


FIGURA 5.59 Muro B1-3 Agrietamiento Final Muro Reparado (Cara Frontal)

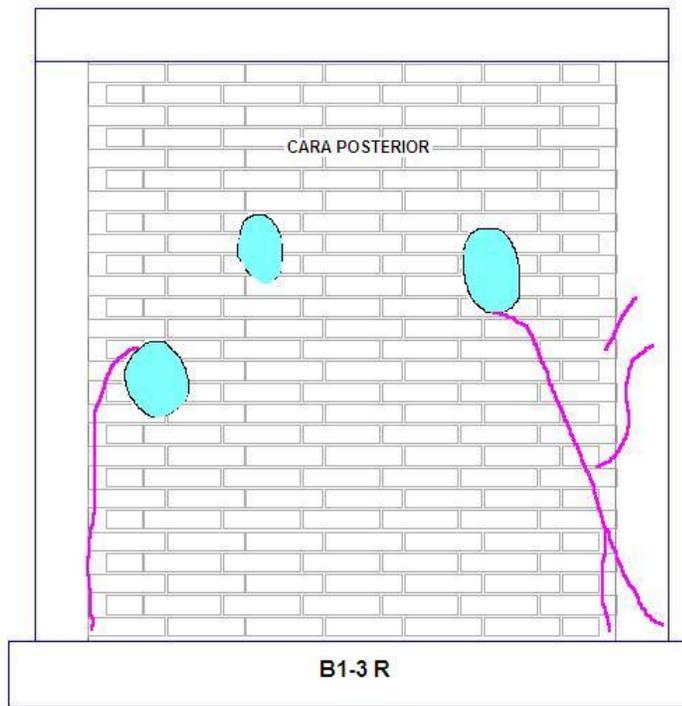


FIGURA 5.60 Muro B1-3 Agrietamiento Final Muro Reparado (Cara Posterior)

5.3.10 MURO B1-4

5.3.10.1 RESUMEN DE RESULTADOS EXPERIMENTALES

A continuación, se presenta el resumen de resultados obtenidos en los ensayos en condición sana y reparada, para el muro B1-4:

TABLA 5.10 RESULTADOS EXPERIMENTALES

MURO: B1-4 TIPO LADRILLO: LADRILLO HECHO A MANO (FISCAL) DIMENSIONES: 2.40X2.40																	
FECHA DE ENSAYO		MURO SANO 11-dic-89						MURO REPARADO 7-jun-90									
NIVEL CARGA VERTICAL (kg/cm ²)		4						6									
NIVEL DE DAÑO CARACTERISTICAS		SEVERO						SHOTCRETE MALLA 1 CARA 6 TACOS DE MORTERO									
TIPO DE FALLA PREDOMINANTE		CORTE						FLEXION									
CARGA MAX.		CICLO		E						CICLO		G					
		VALOR		14,7						VALOR		30,4					
CICLOS (+)	RIGIDEZ INICIAL (t/cm)		54,02						53,93								
	RIGIDEZ FINAL (t/cm)		8,44						11,94								
	RECUP. RIGIDEZ (%)		100%						100%								
CICLOS (-)	RIGIDEZ INICIAL (t/cm)		39,93						43,19								
	RIGIDEZ FINAL (t/cm)		9,86						8,84								
	RECUP. RIGIDEZ (%)		108%						108%								
CICLOS		CARGA MAX (t)	CARGA/CARGA MAX	DESPLAZAMIENTO (mm)	RIGIDEZ SECANTE (t/cm)	K / Kg (%)	COMPORTAMIENTO	CARGA (t)	CARGA/CARGA MAX	DESPLAZAMIENTO (mm)	RIGIDEZ SECANTE (t/cm)	K / Kg (%)	COMPORTAMIENTO				
1 mm	A+	6,34	0,42	1,21	54,02	100%	EL	4,80	0,32	0,82	53,93	100%	EL				
	A-	4,54	0,32	0,77	39,93	100%	EL	3,80	0,27	0,83	35,51	82%	EL				
3 mm	A+	6,1	5,03	0,89	57,43	106%	FC	4,81	5,03	0,94	48,93	91%	EL				
	A-	6,34	4,18	1,39	41,91	105%		4,06	4,18	0,87	43,19	100%	EL				
	B+	11,25	0,74	2,70	36,50	68%	FC	10,00	0,66	2,71	37,45	69%	EL				
	B-	9,81	0,69	2,76	29,57	74%	FC	8,26	0,58	2,52	27,17	63%	EL				
	B+	11	0,72	2,56	32,82	61%		10,26	0,68	2,73	38,57	72%					
	B-	9,32	0,65	2,82	29,84	75%		8,26	0,58	2,46	30,71	71%					
6 mm	B+	10,64	0,70	2,53	31,79	59%											
	B-	8,86	0,62	2,68	29,39	74%											
	C+	12,81	0,84	5,19	20,61	38%	GD	15,40	1,01	5,29	28,57	53%	EL				
	C-	12,56	0,88	4,71	20,94	52%	GD	14,88	1,04	5,35	24,80	57%	EL				
	C+	12,69	0,83	5,64	16,22	30%		15,66	1,03	5,39	27,91	52%					
	C-	11,12	0,78	5,75	17,02	43%		13,62	0,96	5,37	23,20	54%					
9 mm	C+	12,44	0,82	5,59	16,20	30%		15,14	1,00	5,41	26,61	49%					
	C-	10,64	0,75	5,75	16,75	42%		13,39	0,94	5,55	22,02	51%					
	D+	14,71	0,97	8,48	13,80	26%	GD	19,43	1,28	8,79	21,19	39%	EL				
	D-	13,15	0,92	8,42	13,53	34%	GD	17,00	1,19	8,04	18,70	43%	EL				
	E+	15,2	1,00	11,06	10,25	19%	GD	22,50	1,48	10,76	20,27	38%	FF				
	E-	14,25	0,94	11,92	10,26	0,26	GD	19,51	1,37	10,49	16,55	38%	FF				
15 mm	F+							25,00	1,64	13,70	16,59	31%	FF				
	F-							22,27	1,56	14,02	14,09	33%	FF				
18 mm	G+							31,67	2,08	24,99	11,94	22%	FF				
	G-							29,20	2,05	26,86	8,84	20%	FF				

5.3.10.2 GRAFICOS DE HISTERESIS

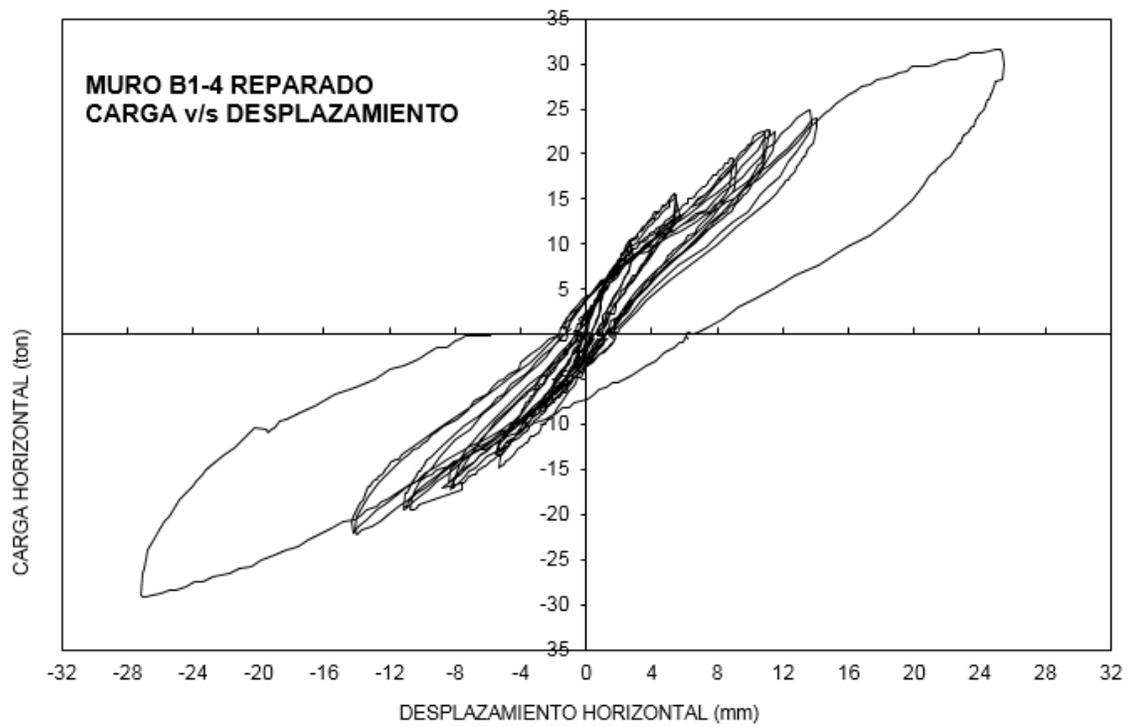
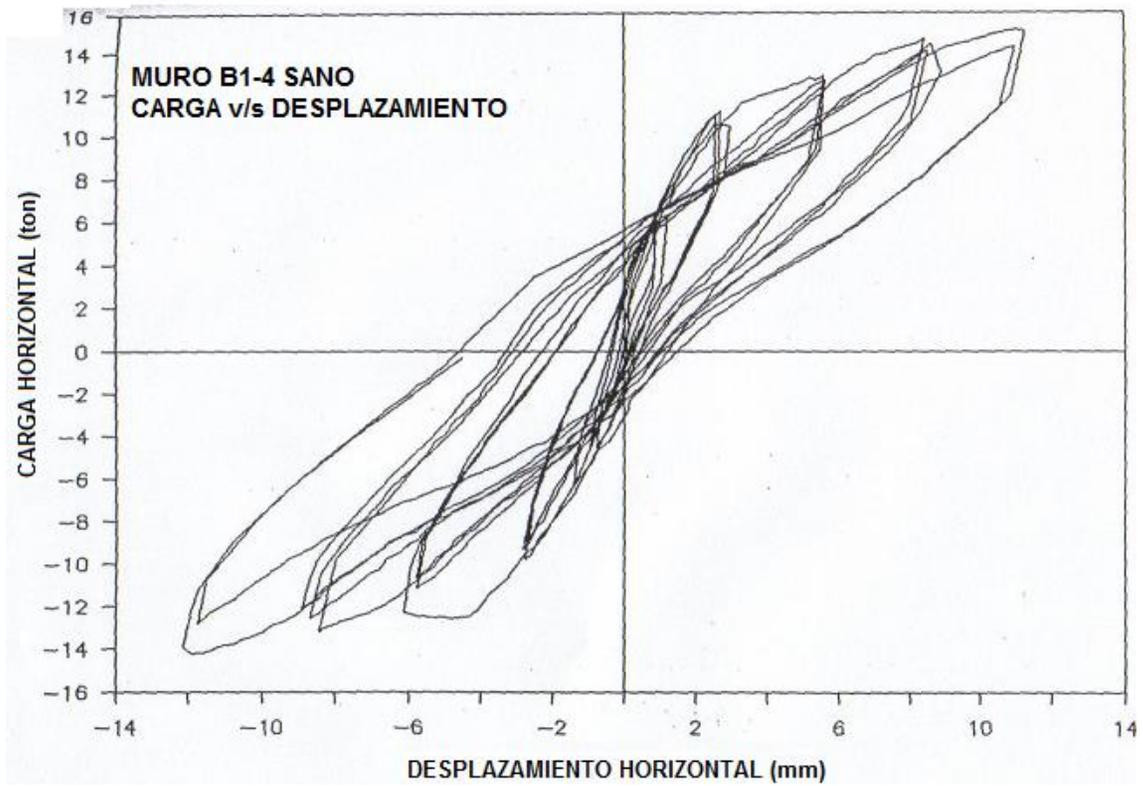


FIGURA 5.61 GRAFICOS DE HISTERESIS

5.3.10.3 CARGAS MAXIMAS

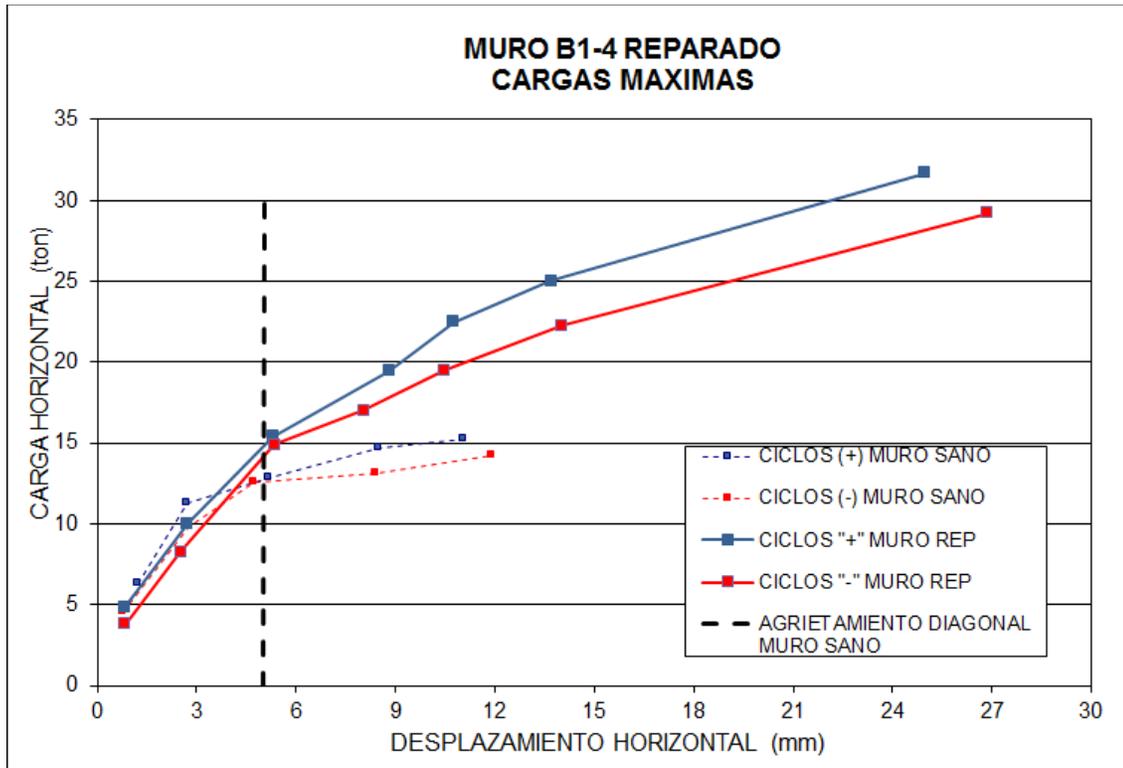


FIGURA 5.62 Muro B1-4 Reparado – Cargas Máximas

5.3.10.4 EVOLUCION DE RIGIDEZ SECANTE

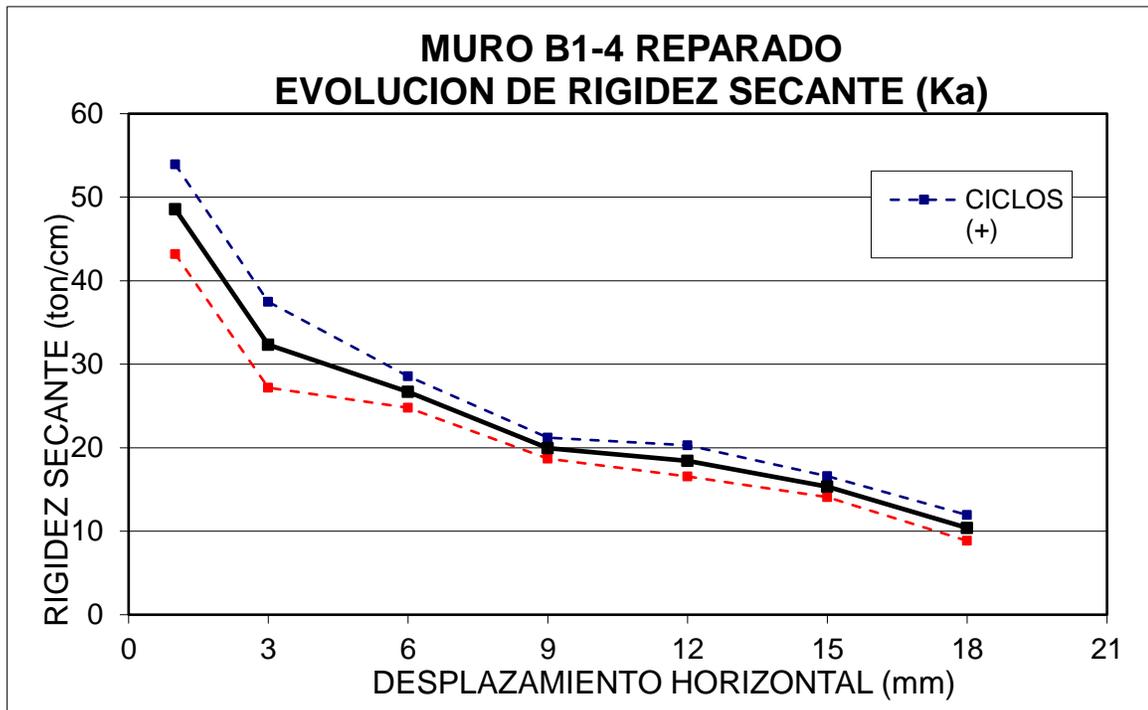


FIGURA 5.63 EVOLUCION DE RIGIDEZ SECANTE MURO REPARADO

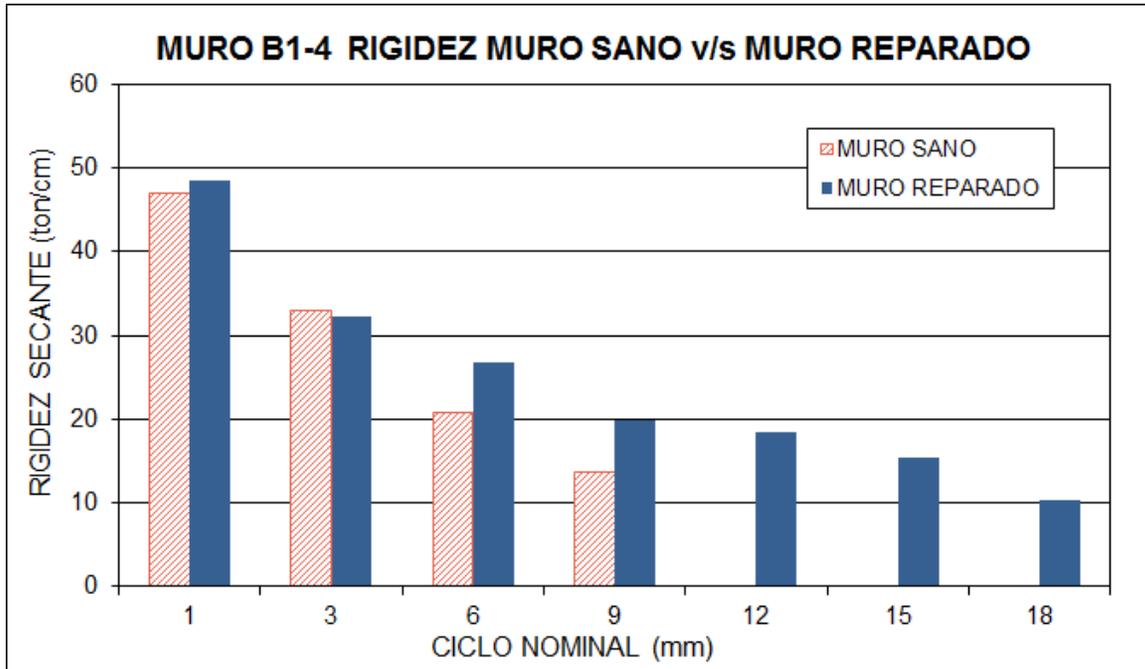


FIGURA 5.64 RIGIDEZ MURO SANO v/s MURO REPARADO

5.3.10.5 ESQUEMAS DE AGRIETAMIENTO

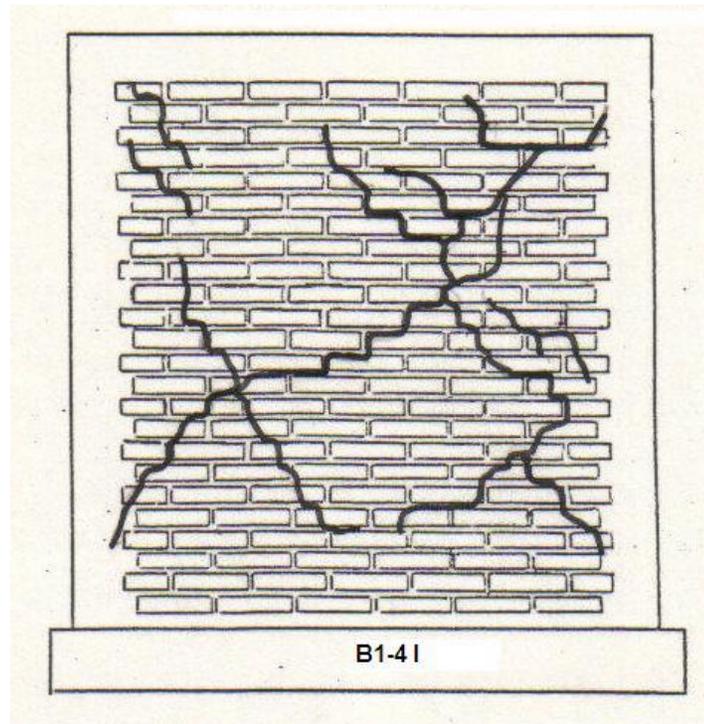


FIGURA 5.65 Muro B1-4 Agrietamiento Final Ensayo Muro Sano

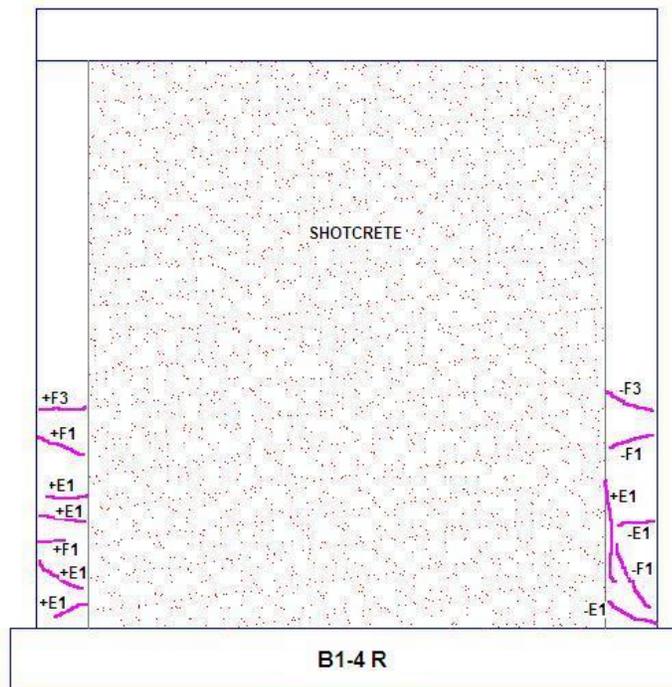


FIGURA 5.66 Muro B1-4 Agrietamiento Final Muro Reparado (Cara Frontal)

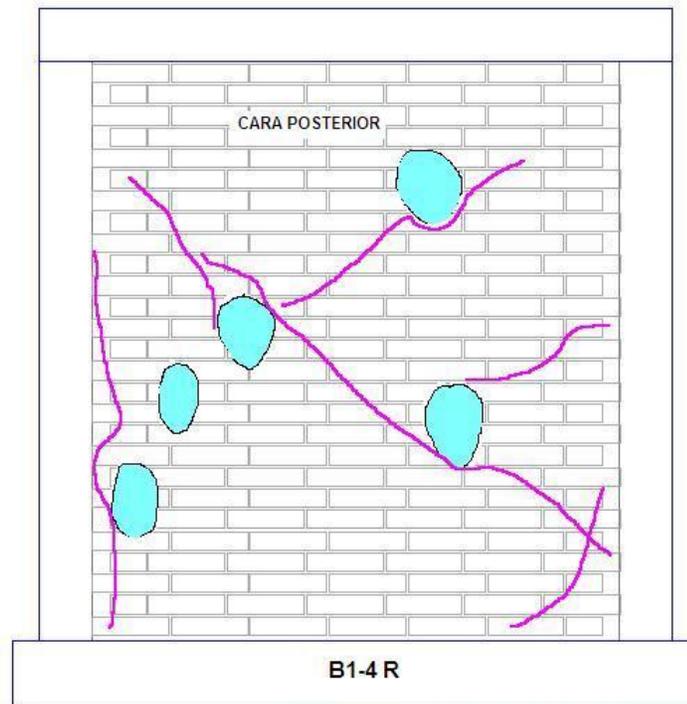


FIGURA 5.67 Muro B1-4 Agrietamiento Final Muro Reparado (Cara Posterior)

5.3.11 MURO B1-5

En el estudio de E. Herrera la denominación de este muro es B1-2.

5.3.11.1 RESUMEN DE RESULTADOS EXPERIMENTALES

A continuación, se presenta el resumen de resultados obtenidos en los ensayos en condición sana y reparada, para el muro B1-5:

TABLA 5.11 RESULTADOS EXPERIMENTALES

MURO: B1-5 (B1-2 Herrera)														
TIPO LADRILLO: LADRILLO HECHO A MANO (FISCAL)														
DIMENSIONES: 2.40X2.40														
FECHA DE ENSAYO			MURO SANO						MURO REPARADO					
NIVEL CARGA VERTICAL (kg/cm ²)			20-dic-89						22-jun-90					
NIVEL DE DAÑO			SEVERO						SHOTCRETE					
CARACTERISTICAS									MALLA 2 CARAS					
TIPO DE FALLA PREDOMINANTE			CORTE						FLEXION					
CARGA MAX.	CICLO		E						F					
	VALOR		12,6						26,7					
CICLOS (+)	RIGIDEZ INICIAL (t/cm)		49,82						84,29					
	RIGIDEZ FINAL (t/cm)		8,11						0,00					
	RECUP. RIGIDEZ (%)								169%					
CICLOS (-)	RIGIDEZ INICIAL (t/cm)		30,20						73,26					
	RIGIDEZ FINAL (t/cm)		5,54						0,00					
	RECUP. RIGIDEZ (%)								243%					
CICLOS			CARGA MAX (t)	CARGA/CARGA MAX	DESPLAZAMIENTO (mm)	RIGIDEZ SECANTE (t/cm)	K / K _i (%)	COMPORTAMIENTO	CARGA (t)	CARGA/CARGA MAX	DESPLAZAMIENTO (mm)	RIGIDEZ SECANTE (t/cm)	K / K _i (%)	COMPORTAMIENTO
1 mm	A+	4,39	0,36	0,92	49,82	100%	EL	5,90	0,49	0,74	84,29	100%	EL	
	A-	3,79	0,29	0,95	30,20	100%	EL	6,30	0,50	0,77	73,26	100%	EL	
3 mm	A+	4,39	5,03	0,89	40,19	81%	EL	6,00	5,03	0,74	78,95	94%	EL	
	A-	3,42	4,18	0,92	24,37	81%	EL	6,30	4,18	0,82	72,41	99%	EL	
	B+	8,99	0,74	2,54	29,21	59%	EL	12,00	0,99	2,68	44,28	53%	EL	
	B-	7,56	0,58	2,70	23,77	79%	EL	13,40	1,25	2,23	57,76	79%	EL	
	B+	8,77	0,72	2,55	31,83	64%		12,20	1,00	2,78	41,78	50%		
	B-	7,56	0,58	2,79	22,79	75%		13,30	1,24	2,29	55,88	76%		
6 mm	B+				18,81	38%								
	B-				15,93	53%								
	C+	12,41	1,02	5,50	18,81	38%	FC	18,90	1,55	5,39	35,26	42%	EL	
	C-	11,2	0,86	5,20	15,93	53%	FC	20,30	1,90	4,77	39,11	53%	EL	
	C+	11,79	0,97	5,50	18,32	37%		18,90	1,55	5,61	33,69	40%		
	C-	11,07	0,85	5,75	14,85	49%		20,60	1,93	4,97	38,50	53%		
9 mm	C+	11,2	0,92	5,60	17,67	35%		18,80	1,55	5,56	34,24	41%		
	C-	10,46	0,80	5,51	14,27	47%		19,60	1,83	4,76	38,58	53%		
	D+	11,79	0,97	6,82	15,06	30%	GD	23,00	1,89	8,00	27,38	32%	EL	
	D-	13,01	1,00	8,58	10,15	34%	GD	25,00	2,34	9,32	25,48	35%	EL	
	E+	12,16	1,00	10,43	8,82	18%	GD	25,00	2,06	10,63	23,23	28%	FF	
	E-	10,7	0,82	11,13	5,70	0,19	GD	25,60	2,39	10,51	21,28	29%	FF	
15 mm	F+							26,70	2,20	13,28	19,10	23%	FF	
	F-							26,70	2,50	13,91	16,30	22%	FF	
18 mm	G+							35,18	1,41	23,77	13,64	16%		
	G-							29,20	1,17	27,19	10,30	12%		

5.3.11.2 GRAFICOS DE HISTERESIS

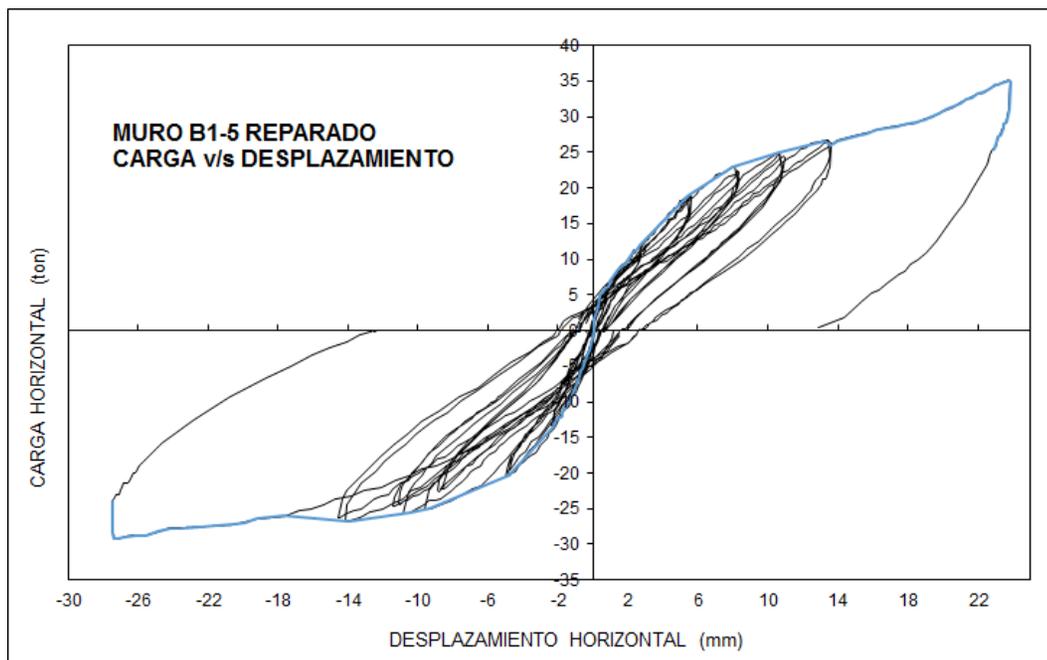
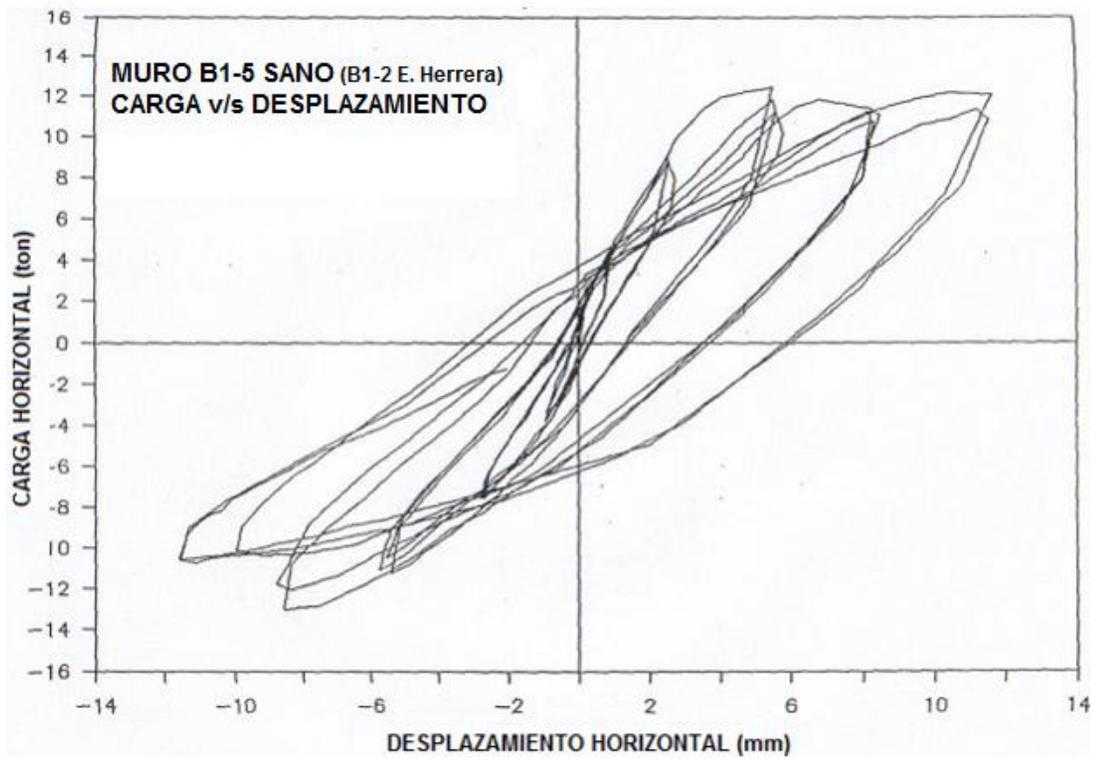


FIGURA 5.68 GRAFICOS DE HISTERESIS

5.3.11.3 CARGAS MAXIMAS

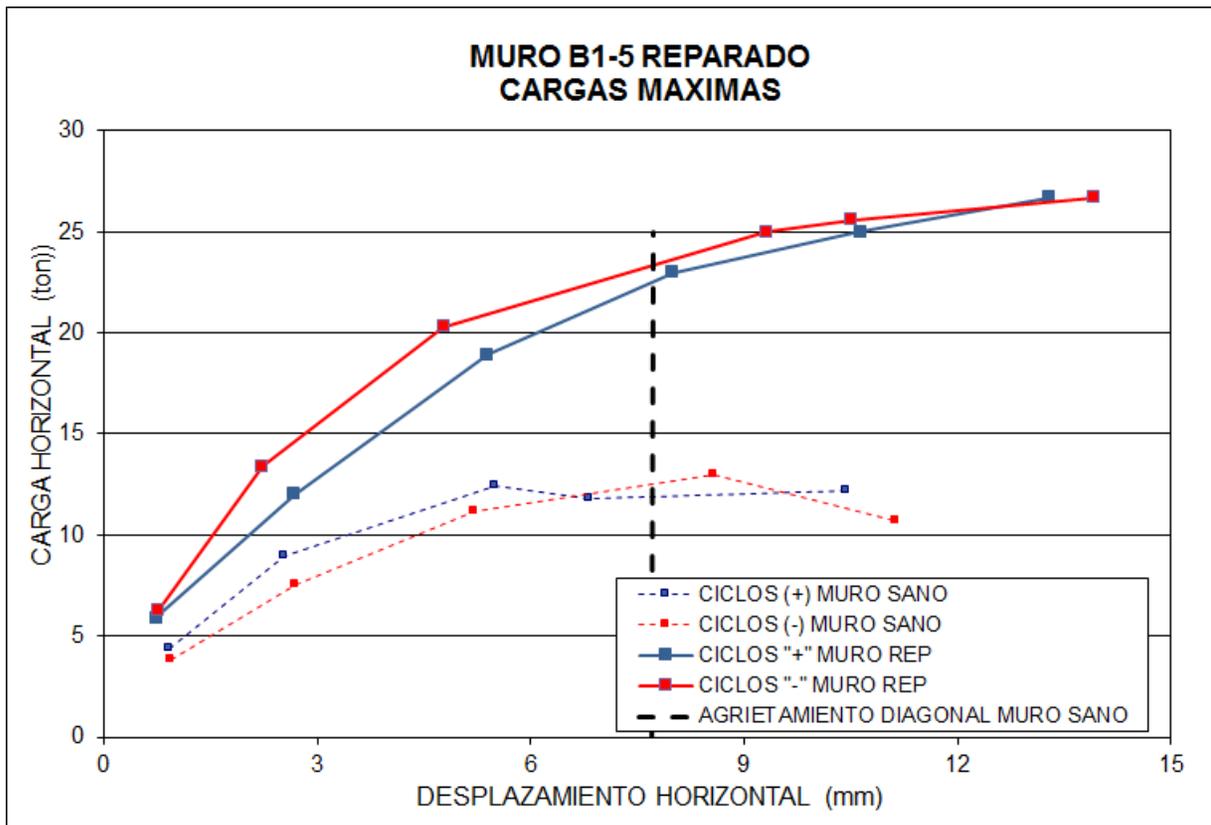


FIGURA 5.69 Muro B1-5 Reparado – Cargas Máximas

5.3.11.4 EVOLUCION DE RIGIDEZ SECANTE

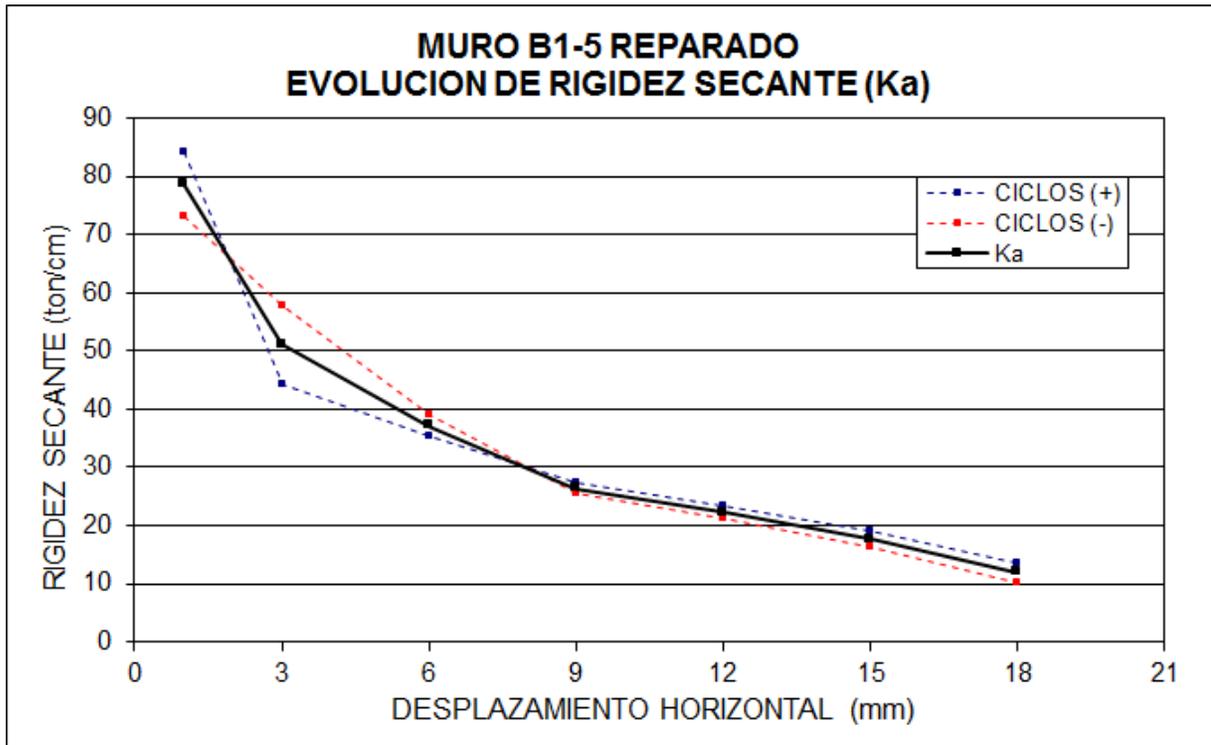


FIGURA 5.70 EVOLUCION DE RIGIDEZ SECANTE MURO REPARADO

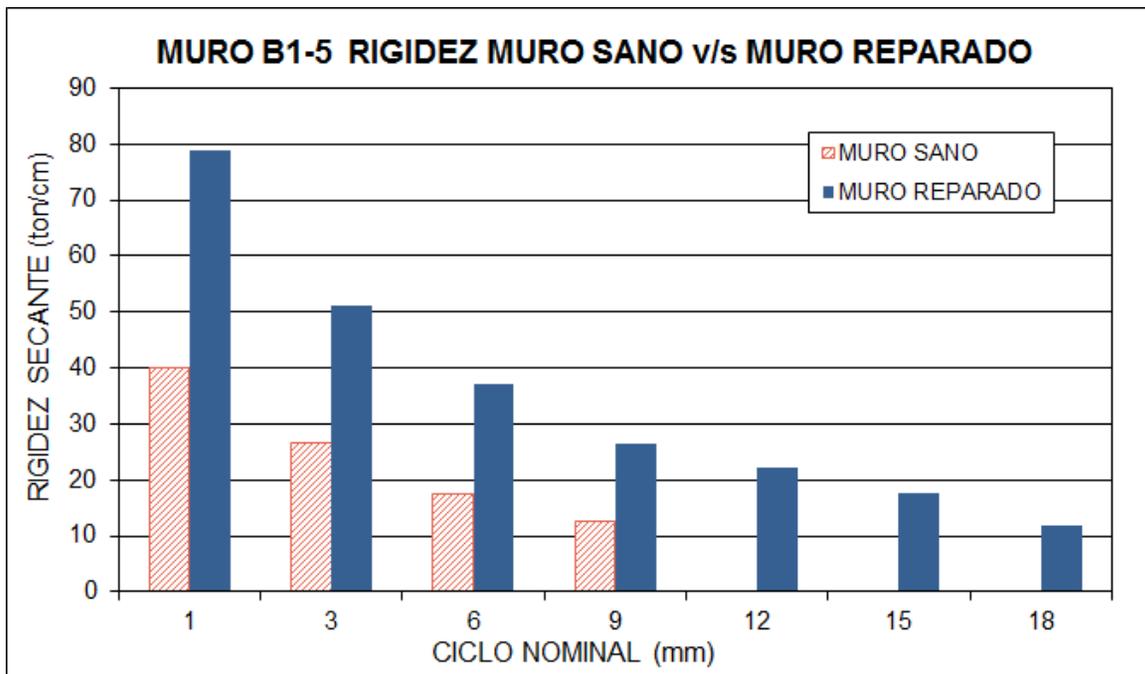


FIGURA 5.71 RIGIDEZ MURO SANO v/s MURO REPARADO

5.3.11.5 ESQUEMAS DE AGRIETAMIENTO

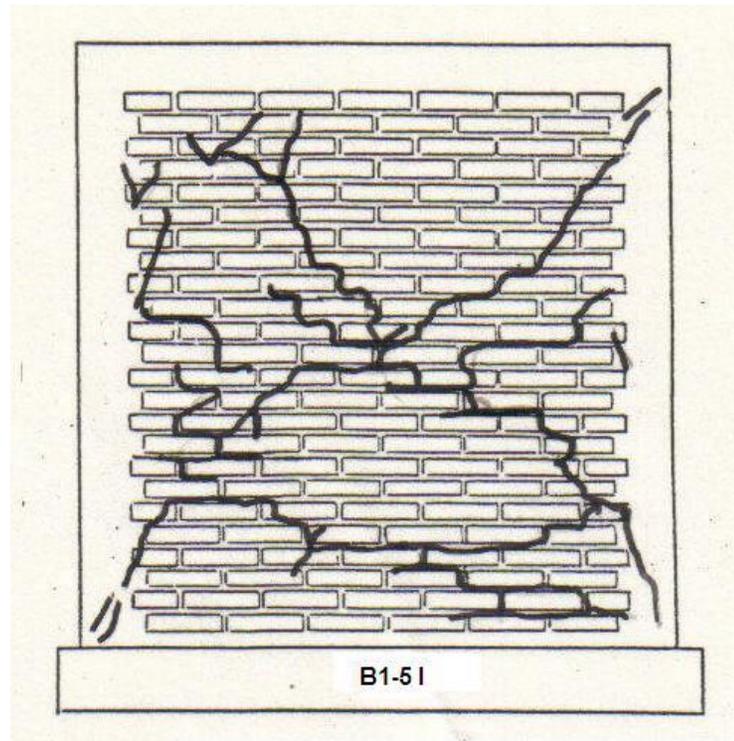


FIGURA 5.72 Muro B1-5 Agrietamiento Final Ensayo Muro Sano

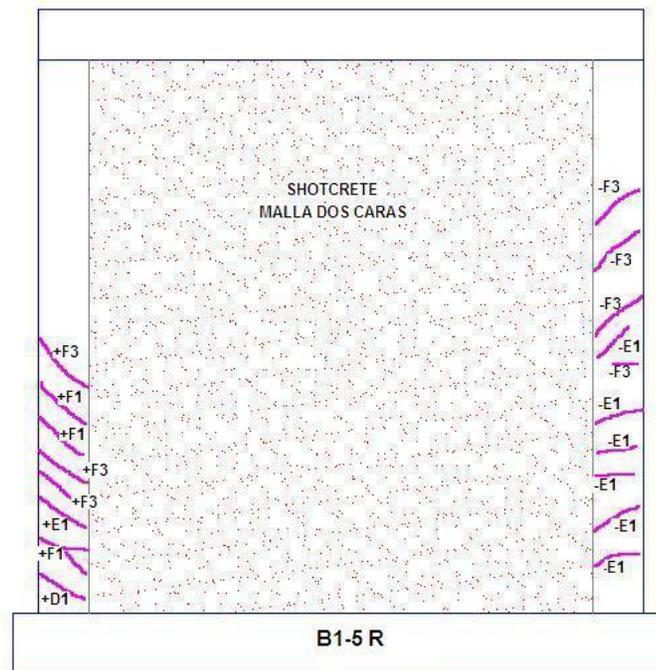


FIGURA 5.73 Muro B1-5 Agrietamiento Final Muro Reparado (Cara Frontal)

5.3.12 MURO B2

5.3.12.1 RESUMEN DE RESULTADOS EXPERIMENTALES

A continuación, se presenta el resumen de resultados obtenidos en los ensayos en condición sana y reparada, para el muro B2:

TABLA 5.12 RESULTADOS EXPERIMENTALES

MURO: B2 TIPO LADRILLO: LADRILLO HECHO A MANO (FISCAL) DIMENSIONES: 2.40X2.40													
FECHA DE ENSAYO		MURO SANO					MURO REFORZADO 11-abr-90						
NIVEL CARGA VERTICAL (kg/cm ²)							4						
NIVEL DE DAÑO							SHOTCRETE						
CARACTERISTICAS							MALLA 1 CARA						
TIPO DE FALLA PREDOMINANTE							FLEXION						
CARGA MAX.	CICLO						F						
	VALOR						27,1						
CICLOS (+)	RIGIDEZ INICIAL (t/cm)						90,97						
	RIGIDEZ FINAL (t/cm)						18,04						
	RECUP. RIGIDEZ (%)												
CICLOS (-)	RIGIDEZ INICIAL (t/cm)						85,06						
	RIGIDEZ FINAL (t/cm)						19,90						
	RECUP. RIGIDEZ (%)												
CICLOS		CARGA MAX (t)	CARGA CARGA MAX	DESPLAZAMIENTO (mm)	RIGIDEZ SECANTE (t/cm)	K / K _i (%)	COMPORTAMIENTO	CARGA (t)	CARGA CARGA MAX	DESPLAZAMIENTO (mm)	RIGIDEZ SECANTE (t/cm)	K / K _i (%)	COMPORTAMIENTO
1 mm	A+							7,59	0,26	0,96	70,30	87%	EL
	A-							6,84	0,28	0,80	85,06	100%	EL
	A+							8,22	0,28	0,90	90,97	100%	EL
3 mm	A-							6,62	0,27	0,83	80,08	94%	EL
	B+							15,79	0,53	2,58	61,08	67%	EL
	B-							13,96	0,57	2,48	56,26	66%	EL
	B+							15,44	0,52	2,53	60,97	67%	
6 mm	B-							13,84	0,56	2,49	55,58	65%	
	B+							15,19	0,51	2,54	59,84	66%	
	B-							14,09	0,57	2,58	54,52	64%	
	C+							22,16	0,75	5,01	44,26	49%	EL
	C-							19,23	0,78	4,48	42,92	50%	EL
	C+							21,31	0,72	5,25	40,57	45%	
	C-							19,58	0,80	4,77	41,07	48%	
9 mm	C+							20,81	0,70	5,24	39,73	44%	
	C-							19,11	0,78	4,68	40,80	48%	
	D+							25,70	0,87	8,17	31,47	35%	FF
12 mm	D-							22,91	0,93	6,99	32,79	39%	FF
	E+							27,68	0,93	11,87	23,32	26%	FF + FC
15 mm	E-							23,88	0,97	9,46	25,24	30%	FF + FC
	F+							29,62	1,00	15,23	19,45	21%	FF + FC
18 mm	F-							24,60	1,00	12,05	20,42	24%	FF + FC
	G+												
	G-												

5.3.12.2 GRAFICOS DE HISTERESIS

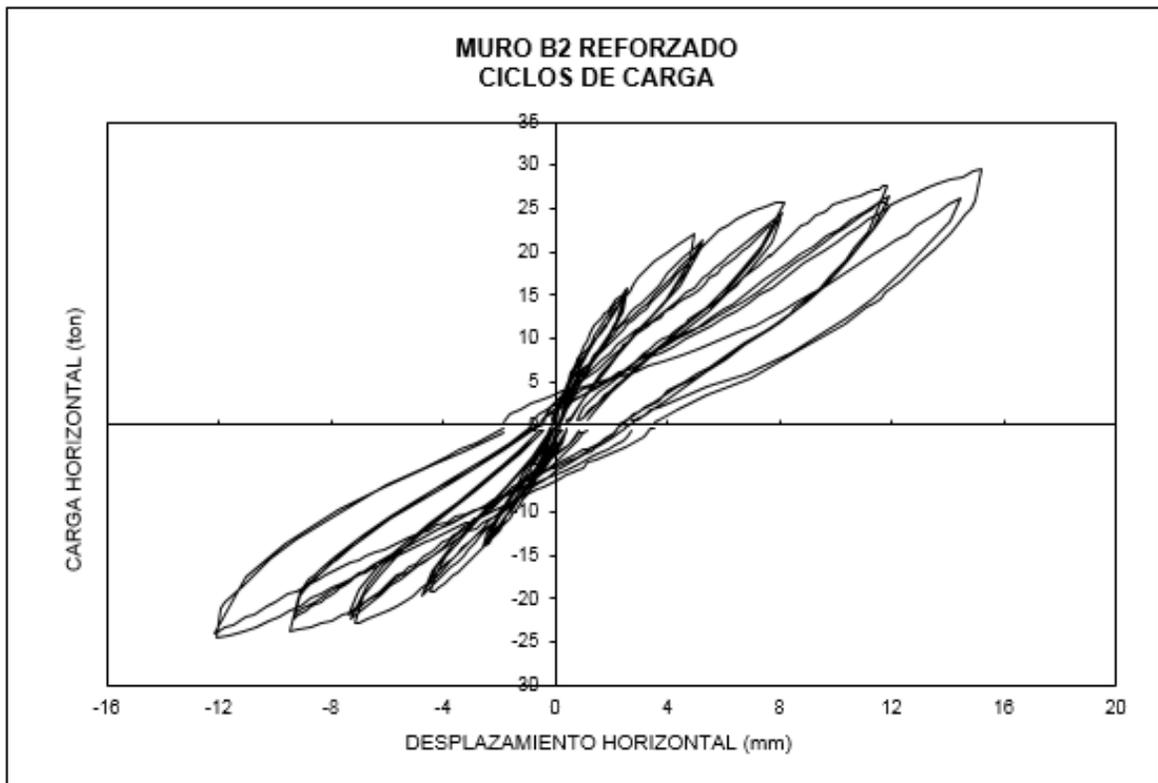


FIGURA 5.74 GRAFICOS DE HISTERESIS

5.3.12.3 CARGAS MAXIMAS

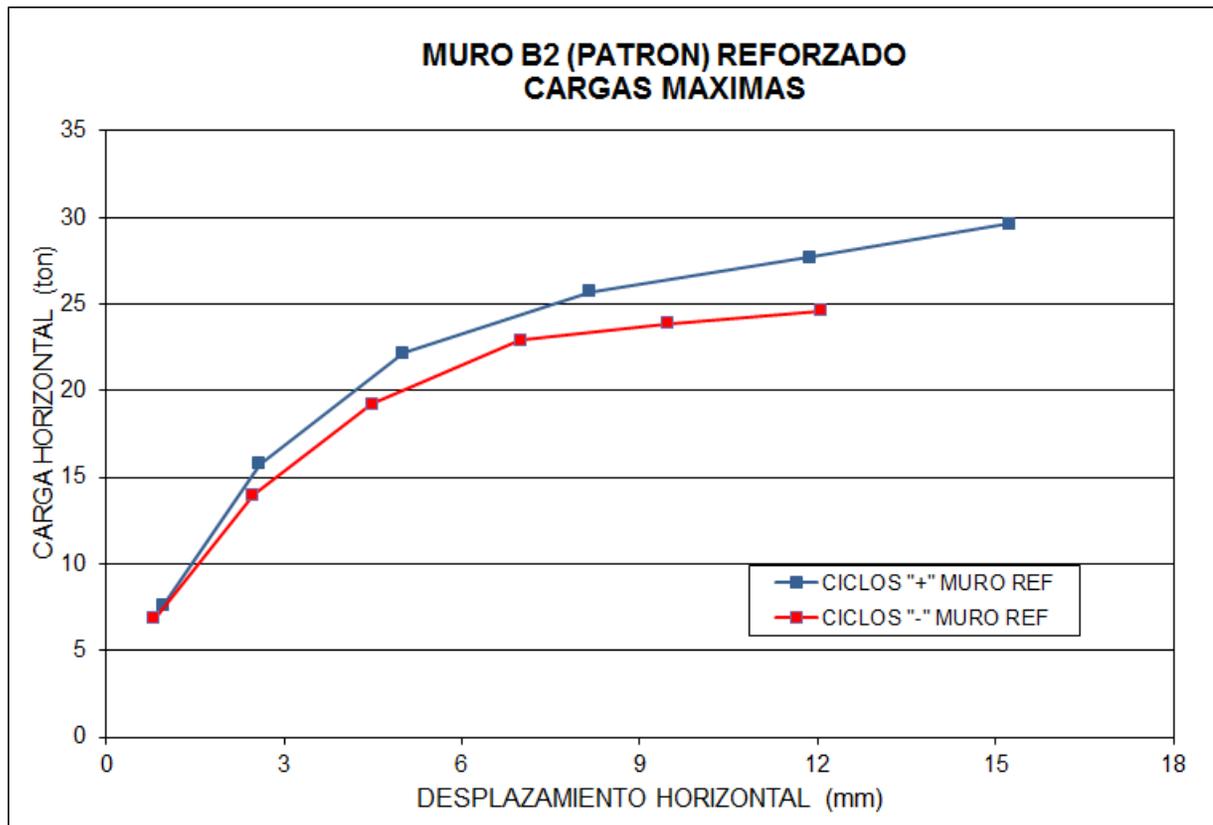


FIGURA 5.75 Muro B2 Reforzado – Cargas Máximas

5.3.12.4 EVOLUCION DE RIGIDEZ SECANTE

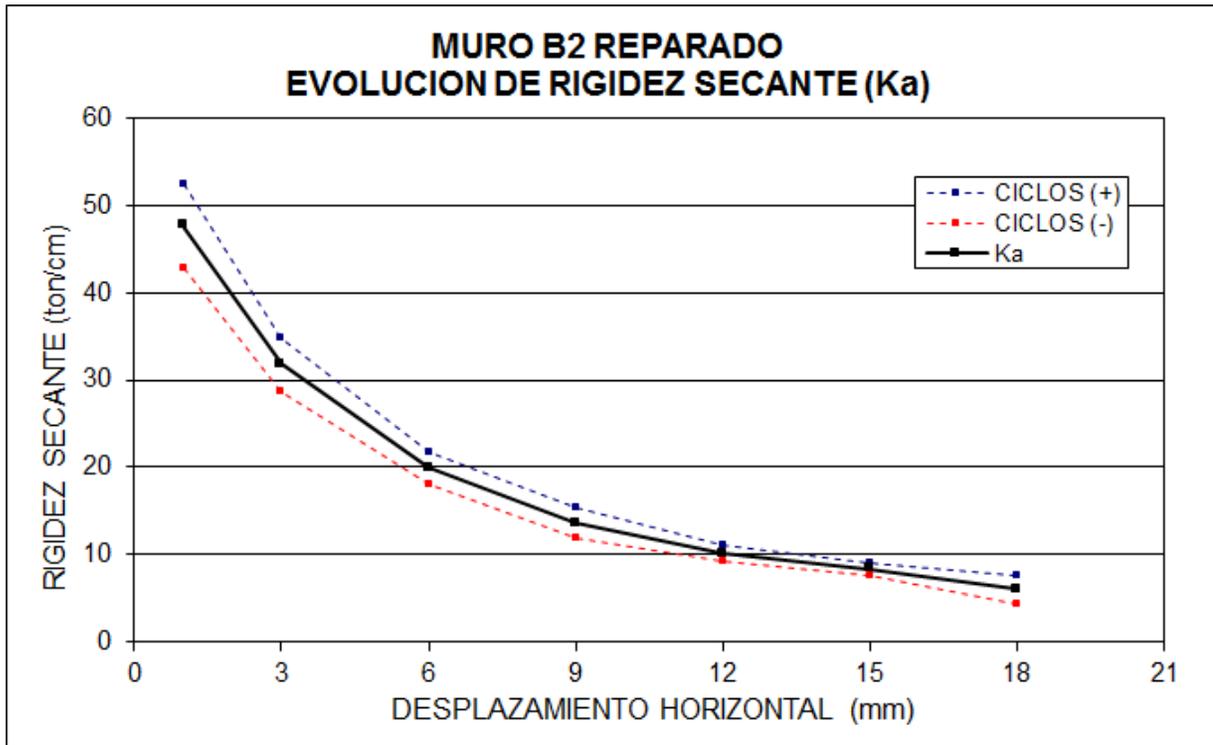


FIGURA 5.76 EVOLUCION DE RIGIDEZ SECANTE MURO REFORZADO

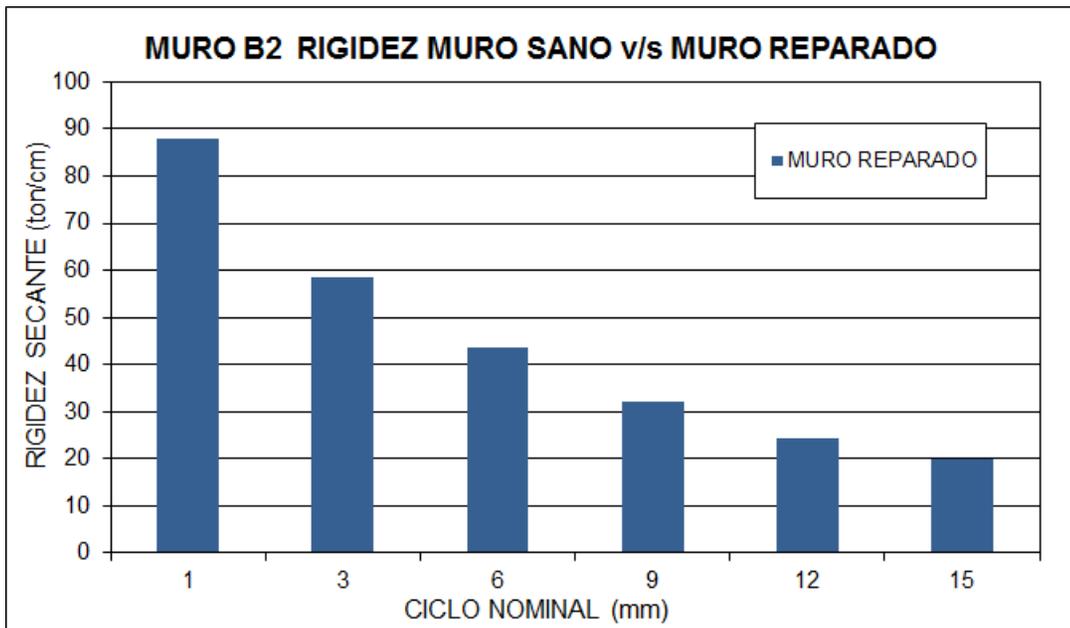


FIGURA 5.77 RIGIDEZ MURO SANO v/s MURO REPARADO

5.3.12.5 ESQUEMAS DE AGRIETAMIENTO

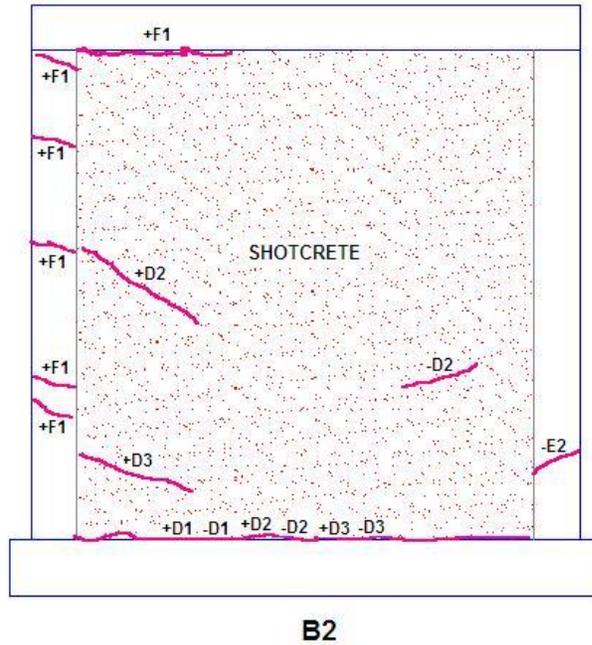


FIGURA 5.78 Muro B2 Agrietamiento Final Muro Reforzado (Cara Frontal)

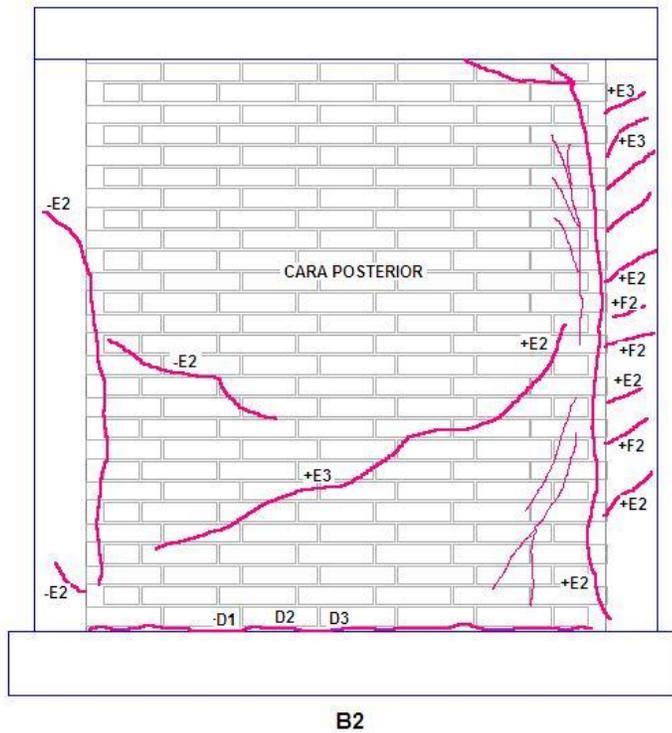


FIGURA 5.79 Muro B2 Agrietamiento Final Muro Reforzado (Cara Posterior)

5.3.12.6 FOTOGRAFIAS

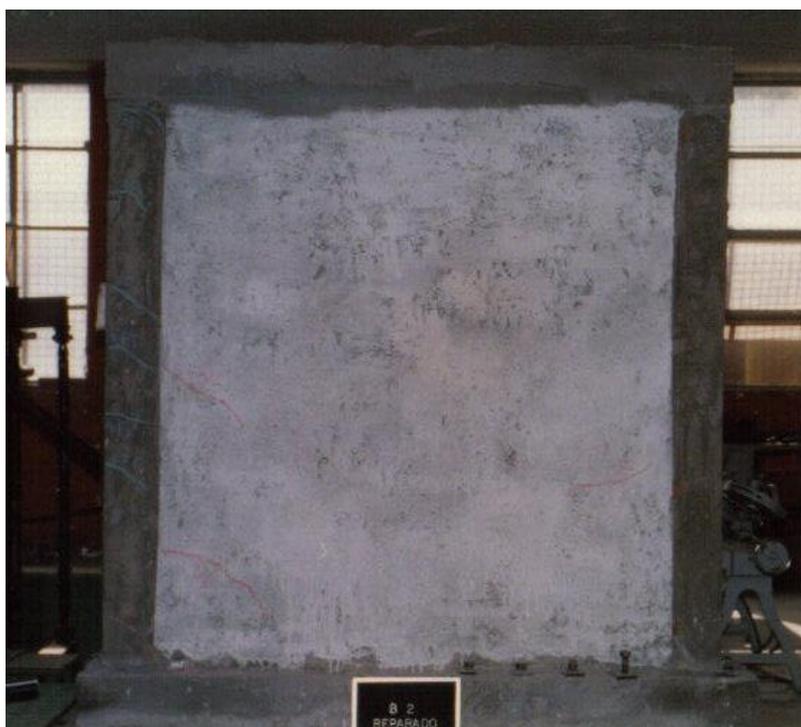


Foto 5.11



Foto 5.12



Foto 5.13

6 ANALISIS DE RESULTADOS

6.1 INTRODUCCION

El análisis de los resultados experimentales obtenidos está orientado a la evaluación y calificación de las reparaciones efectuadas en los muros de albañilería de ladrillos, desde los siguientes puntos de vista:

- i. Análisis de las reparaciones comparando los resultados experimentales obtenidos en los ensayos de muros en su condición original (rigidez, cargas máximas, comportamiento carga-deformación y energía de deformación), con los resultados obtenidos en los ensayos de muros reparados.
- ii. Análisis del comportamiento de los muros reparados con el propósito de determinar los efectos de algunas variables involucradas en la reparación. Las variables analizadas son: tipo de reparación (estuco, shotcrete, reemplazo del paño de albañilería) y niveles de carga vertical aplicados en ensayo de muros reparados.

Además, el comportamiento de muros reparados se compara con el de los muros reforzados A2 y B2, a los cuales, sin que antes hayan sido ensayados en condición sana, se les ha aplicado un enchape de shotcrete armado igual al usado en las reparaciones de otros muros.

6.2 EVALUACION DEL COMPORTAMIENTO DE LOS MUROS

En el análisis del comportamiento de muros sanos (Herrera, 1990, Ref. 1) se consideraron como niveles característicos de la resistencia, los correspondientes a los siguientes niveles de carga lateral:

a) Carga de primera grieta de flexión.

La carga de primera grieta de flexión corresponde a aquella en que se producen las primeras grietas horizontales visibles en zonas traccionadas de los muros. Estas grietas se presentan tempranamente en los muros sin carga vertical, mientras que sólo se presentan frente a niveles de deformación mayores en aquellos muros sometidos a carga vertical durante el ensayo.

b) Carga de primera grieta de corte

Este estado corresponde al comienzo del agrietamiento diagonal del paño de albañilería. Se caracteriza por la disminución de rigidez del muro, posible de ser observada en las curvas de comportamiento de carga v/s desplazamiento horizontal.

c) Carga de agrietamiento diagonal.

La carga de agrietamiento diagonal se definió como aquel nivel de carga para el cual se formaba una grieta diagonal bien definida, la que comprometía la totalidad del paño de albañilería.

6.2.1 PRIMERA GRIETA DE FLEXIÓN

La carga de primera grieta de flexión se incluye en el análisis debido a que, en algunos de los ensayos a muros sanos, su aparición se verificó antes que la primera grieta de corte.

TABLA 6.1 PRIMERA GRIETA DE FLEXION MUROS SANOS

MURO	UNIDAD	CARGA VERTICAL MURO SANO		CARGA HORIZ. (ton)		DESP. HORIZ. (mm)		TENSION DE CORTE (kg/cm2)		DISTORSION ANG. (%)	
		(ton)	(kg/cm2)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)
A1-1	REJILLA	0	0	8,3	7,8	2,25	2,44	2,47	2,32	0,094%	0,102%
A1-2	REJILLA	8	2	15	17	8,12	7,88	4,46	5,06	0,338%	0,328%
A1-3	REJILLA	16	4	N.O.	N.O.	N.O.	N.O.	N.O.	N.O.	N.O.	N.O.
A1-4	REJILLA	16	4	12	13	1,25	1,38	3,57	3,87	0,052%	0,058%
A1-5	REJILLA	16	4	N.O.	N.O.	N.O.	N.O.	N.O.	N.O.	N.O.	N.O.
A2	REJILLA										
B1-1	CHONCHON	0	0	N.O.	N.O.	N.O.	N.O.	N.O.	N.O.	N.O.	N.O.
B1-2	CHONCHON (S.E.)	8	2	11	10,2	8,76	8,43	3,31	2,82	0,365%	0,351%
B1-3	CHONCHON	16	4	N.O.	N.O.	N.O.	N.O.	N.O.	N.O.	N.O.	N.O.
B1-4	CHONCHON	16	4	N.O.	N.O.	N.O.	N.O.	N.O.	N.O.	N.O.	N.O.
B1-5	CHONCHON	16	4	N.O.	N.O.	N.O.	N.O.	N.O.	N.O.	N.O.	N.O.
B2	CHONCHON										

DISTORSION ANGULAR = DESP. HORIZ / ALTURA MURO

N.O.: En estos muros no se observó aparición de grietas de flexión

S.E.: Muro construido sin endentado entre albañilería y pilar

De estos resultados se desprenden dos observaciones:

- 1) El nivel de carga vertical aplicado en el ensayo retarda la aparición de grietas de flexión, las que se observan para cargas y desplazamientos mayores que cuando no hay presencia de carga vertical, resultado concordante con el hecho de que, frente a carga vertical, las fuerzas de tracción vertical que potencialmente causan el agrietamiento de los pilares se ven atenuadas por la carga vertical que se aplica en forma distribuida sobre el muro.
- 2) Hay mayor incidencia de aparición de grietas por flexión en los muros de la serie “A” (rejilla con huecos)

Sin perjuicio de lo anterior, desde el punto de vista de las reparaciones la importancia que se asigna a estas observaciones es acotada, por lo tanto, no se toma en cuenta en el análisis comparativo. Como se indicó en el capítulo 4, el criterio con el que se diseñaron estructuralmente los muros forzaba la falla por corte antes que la falla por flexión, y la aparición de fisuras de flexión antes de las manifestaciones de falla por corte sólo se enmarcan dentro del rango de comportamiento elástico de los elementos de confinamiento (pilares y cadena), que son propias del comportamiento del hormigón armado y no comprometen en los ciclos de desplazamiento pequeño, a los parámetros de resistencia de los muros.

6.2.2 CARGA DE PRIMERA GRIETA DE CORTE

Se analiza el comportamiento de los muros desde el punto de vista de esta carga, examinando el efecto sobre ella que tienen la carga vertical y el tipo de unidad. En la siguiente tabla pueden observarse los resultados experimentales del ensayo de muros en condición sana:

TABLA 6.2 PRIMERA GRIETA DE CORTE MUROS SANOS

MURO	UNIDAD	CARGA VERTICAL MURO SANO		CARGA HORIZ. (ton)		DESP. HORIZ. (mm)		TENSION DE CORTE (kg/cm ²)		DISTORSION ANG. (%)	
		(ton)	(kg/cm ²)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)
A1-1	REJILLA	0	0	11,6	12,8	3,57	5,67	3,44	3,80	0,149%	0,236%
A1-2	REJILLA	8	2	18,8	19,3	8,33	10,00	5,35	5,74	0,347%	0,417%
A1-3	REJILLA	16	4	16,5	16,5	4,26	4,63	4,91	4,91	0,178%	0,193%
A1-4	REJILLA	16	4	14,4	15,4	2,65	2,41	4,30	4,60	0,110%	0,100%
A1-5	REJILLA	16	4	20,5	18,6	3,93	3,23	6,10	5,54	0,164%	0,135%
A2	REJILLA										
B1-1	CHONCHON	0	0	5,3	4,4	1,48	1,74	1,48	1,21	0,062%	0,073%
B1-2	CHONCHON (S.E.)	8	2	9,8	9,2	5,73	5,49	2,72	2,55	0,239%	0,229%
B1-3	CHONCHON	16	4	8,2	8,0	2,86	3,07	2,28	2,22	0,119%	0,128%
B1-4	CHONCHON	16	4	11,0	9,8	2,56	2,76	3,06	2,72	0,107%	0,115%
B1-5	CHONCHON	16	4	11,4	11,1	3,59	5,74	3,16	3,08	0,150%	0,239%
B2	CHONCHON										

DISTORSION ANGULAR = DESP. HORIZ / ALTURA MURO

S.E.: Muro construido sin endentado entre albañilería y pilar

Al revisar los valores de la tabla anterior se puede observar lo siguiente:

- 1) Hay un efecto de la carga vertical aplicada sobre las cargas ante las cuales se produce la primera grieta de corte. En efecto, puede notarse que los valores más bajos de carga horizontal se obtienen para los muros A1-1 y B1-1, no sometidos a carga vertical. Mientras tanto, en presencia de carga vertical en el rango aplicado (entre 2 y 4 kg/cm²), no es posible detectar

que exista una relación entre la magnitud de la carga vertical y la de la carga de primera grieta de flexión, dada la dispersión de los resultados encontrados.

- 2) Comparando los resultados para los dos tipos de unidad de ladrillo utilizadas, se observa que la primera grieta de corte ocurre para niveles superiores de deformación en los casos de muros de ladrillo tipo rejilla, llegando según lo observado durante el ensayo, prácticamente a coincidir las cargas de primera grieta para este tipo de unidad, con las de agrietamiento diagonal, que definen la condición última de resistencia. Por su parte, la respuesta mostrada por los muros hechos con unidades artesanales (chonchón) evidencia que, en éstos, la primera grieta diagonal ocurre para niveles de deformación menores y muy anteriores a la condición última de resistencia.

6.2.3 AGRIETAMIENTO DIAGONAL Y CARGAS MÁXIMAS

El fenómeno de agrietamiento diagonal es de interés ya que, en el diseño de muros de albañilería de ladrillos cerámicos, éste representa el nivel de resistencia máxima a ser considerado en el cálculo.

Por lo anterior, para estudiar el comportamiento de las técnicas de reparación, será importante contar con el registro de los parámetros de resistencia última entregados por los ensayos de muros sanos, correspondientes al agrietamiento diagonal, de tal forma que la evaluación de las reparaciones sea entre otros factores, referida a esos patrones.

El comportamiento de las reparaciones referido al agrietamiento diagonal se abordará a través de dos ejes de análisis:

- 1) Comparación de cargas horizontales desarrolladas por los muros sanos y reparados, para los niveles de deformación correspondientes al agrietamiento diagonal, resultantes de los ensayos a muros sanos.
- 2) Análisis del comportamiento posterior al de agrietamiento diagonal de muros sanos, etapa en la que se ha registrado en los ensayos, gran disimilitud entre las respuestas de carga y deformación mostradas por muros sanos y reparados.

6.2.3.1 AGRIETAMIENTO DIAGONAL

Las cargas y deformaciones determinados para el agrietamiento diagonal resultante de los ensayos a muros sanos, se han obtenido del estudio realizado por E. Herrera (Ref. 1) y se muestran en la Tabla 6.3 y Figura 6.1.

TABLA 6.3 VALORES DE AGRIETAMIENTO DIAGONAL MUROS SANOS

MURO	UNIDAD	CARGA VERT. MURO SANO		CARGA HORIZ. (ton)			DESP. HORIZ. (mm)			TENSION DE CORTE (kg/cm ²)		DISTORSION ANGULAR (%)	
		(ton)	(kg/cm ²)	(+)	(-)	PROM.	(+)	(-)	PROM.	(+)	(-)	(+)	(-)
A1-1	REJILLA	0	0	13,2	14,6	13,9	5,06	8,60	6,8	3,93	4,35	0,21%	0,36%
A1-2	REJILLA	8	2	18,0	19,3	18,7	8,33	10,00	9,2	5,36	5,74	0,35%	0,42%
A1-3	REJILLA	16	4	16,5	18,0	17,2	4,26	4,63	4,4	4,91	5,35	0,18%	0,19%
A1-4	REJILLA	16	4	16,4	18,5	17,5	4,93	3,80	4,4	4,88	5,51	0,21%	0,16%
A1-5	REJILLA	16	4	20,5	18,6	19,6	3,93	3,23	3,6	6,10	5,54	0,16%	0,13%
A2	REJILLA												
B1-1	CHONCHON	0	0	6,0	6,2	6,1	2,45	6,13	4,3	1,67	1,72	0,10%	0,26%
B1-2	CHONCHON (S.E.)	8	2	11,9	12,0	12,0	11,12	14,87	13,0	3,31	3,33	0,46%	0,62%
B1-3	CHONCHON	16	4	11,4	11,1	11,3	4,43	4,67	4,6	3,18	3,09	0,18%	0,19%
B1-4	CHONCHON	16	4	12,8	12,6	12,7	5,19	4,78	5,0	3,56	3,50	0,22%	0,20%
B1-5	CHONCHON	16	4	11,8	13,0	12,4	6,82	8,58	7,7	3,28	3,61	0,28%	0,36%
B2	CHONCHON												

DISTORSION ANGULAR = DESP. HORIZ / ALTURA MURO

S.E.: Muro construido sin endentado entre albañilería y pilar

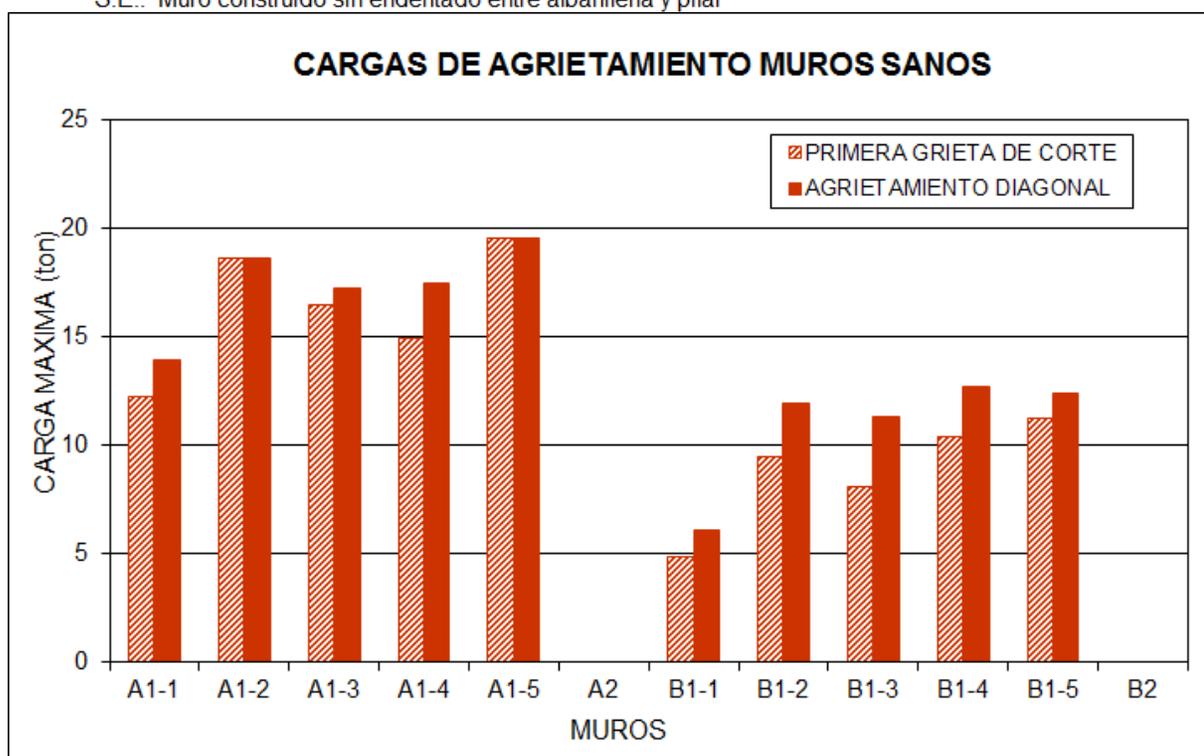


FIGURA 6.1 CARGAS DE AGRIETAMIENTO MUROS SANOS

Del registro de carga horizontal v/s desplazamiento horizontal de los ensayos a muros reparados, se han obtenido para cada muro, las cargas correspondientes a la deformación experimentada por los muros sanos al ocurrir el agrietamiento diagonal. De esta forma, para un mismo nivel de desplazamiento horizontal, que en este caso representa al estado límite de muros en condición sana, es posible apreciar el desempeño en este punto crítico, de las reparaciones aplicadas.

Los datos así obtenidos se presentan en la TABLA 6.4. Además, se muestran gráficamente en la FIGURA 6.2 y en la FIGURA 6.3 y, a modo de referencia, se incluyen también las cargas máximas que los muros reparados desarrollan con posterioridad al nivel analizado.

Se observa que, en general, las cargas exhibidas por los muros reparados para esas deformaciones características, se encuentran muy cercanas en magnitud a las cargas desarrolladas por los muros sanos, aunque con leve tendencia a un aumento de la resistencia para el caso de los muros de la serie "B" (ladrillo chonchón), como puede observarse al comparar en la tabla, los índices de recuperación de resistencia de las dos series de muros.

Sin perjuicio de esas apreciaciones, se tiene presente en el análisis la existencia de otros factores que pueden tener efecto sobre los resultados, dados principalmente por las diferencias en el grado de deterioro inducido en los muros, en las técnicas de reparación aplicadas, y en el nivel de carga vertical utilizado, factores que se analizan por separado más adelante.

TABLA 6.4 COMPARACION DE CARGAS PARA NIVELES DE AGRIETAMIENTO DIAGONAL

MURO	MUROS SANOS	MUROS REPARADOS					INDICE RECUPERACION
		(+)		(-)		CARGA PROM.	
	CAD	CICLO	CARGA	CICLO	CARGA		(ton)
	(ton)		(ton)		(ton)	(ton)	(6) / (1)
A1-1	13,90	C	10,70	E	14,44	12,57	90%
A1-2	18,65	D	19,73	E	19,24	19,49	104%
A1-3	17,20	C	14,75	D	17,99	16,37	95%
A1-4	17,50	C	18,49	D	18,02	18,26	104%
A1-5	19,55	C	17,97	D	21,20	19,59	100%
A2							
PROMEDIO SERIE "A"							99%
B1-1	6,10	B	4,60	D	7,99	6,30	103%
B1-2	11,95	E	14,79	F	13,88	14,34	120%
B1-3	11,30	D	16,54	D	15,31	15,93	141%
B1-4	12,70	C	15,17	C	13,88	14,53	114%
B1-5	12,40	D	21,28	D	24,51	22,90	185%
B2							
PROMEDIO SERIE "B"							133%

CAD: CARGA DE AGRIETAMIENTO DIAGONAL

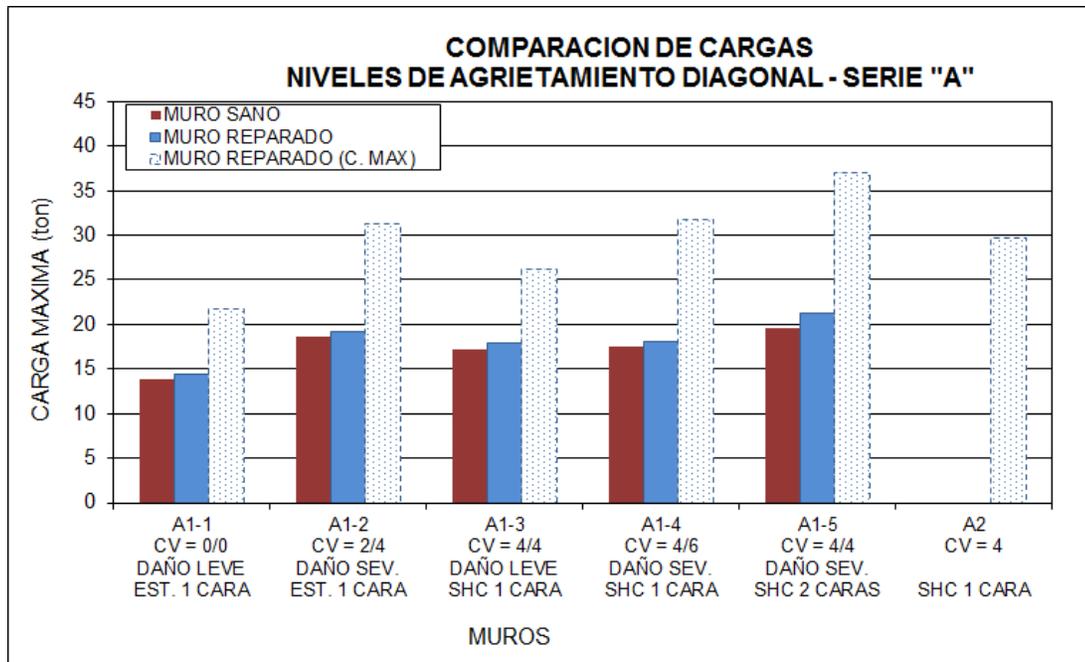


FIGURA 6.2 CARGAS NIVEL DE AGRIETAMIENTO DIAGONAL – SERIE “A”

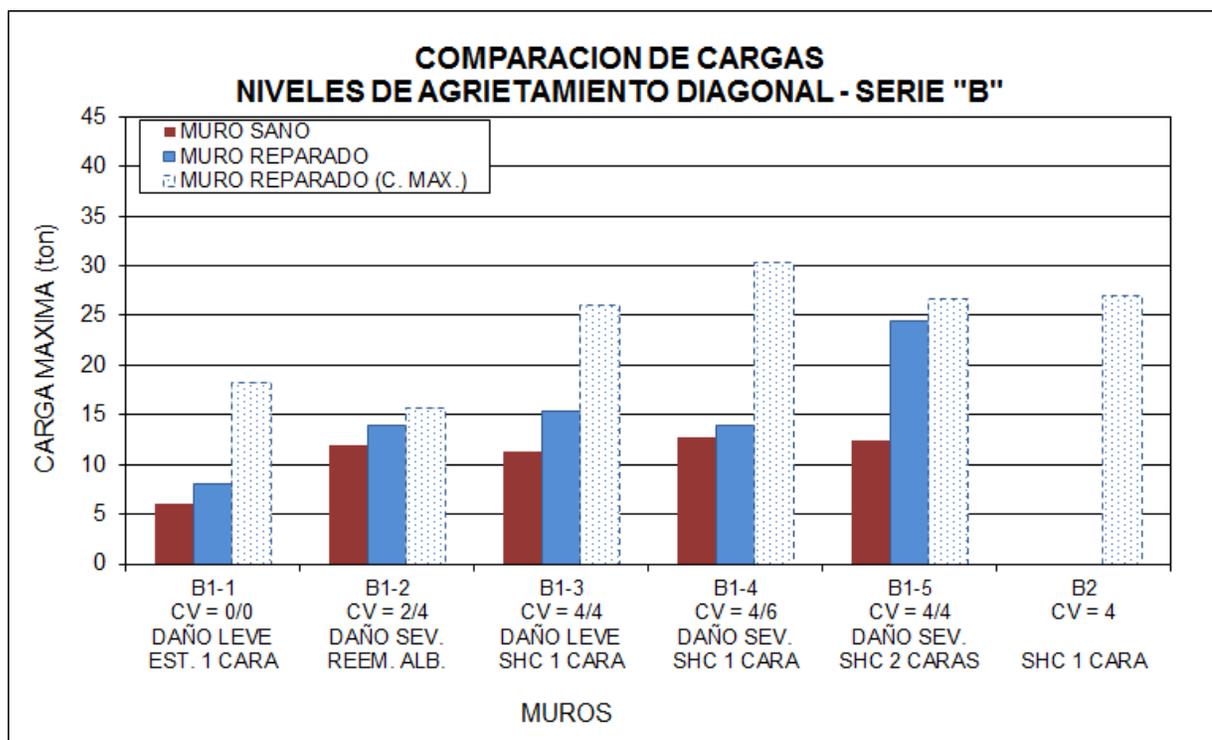


FIGURA 6.3 CARGAS NIVEL DE AGRIETAMIENTO DIAGONAL – SERIE “B”

6.2.3.2 ANÁLISIS DE LAS CARGAS MÁXIMAS

En la TABLA 6.5 y figuras 6.6, 6.7 y 6.8, se muestran las cargas máximas resultantes de los ensayos a muros reparados, comparadas con las cargas de agrietamiento diagonal y las cargas máximas resultantes de los ensayos a muros sanos.

También se presentan las tablas 6.6 a 6.17 y las figuras 6.9 a 6.20, que muestran las cargas máximas desarrolladas para cada ciclo por cada uno de los muros, en condición sana y reparada.

Del análisis de estos datos, resultan las siguientes observaciones generales:

1) Muros reparados con enchape armado de estuco o shotcrete

- Independientemente de las diferencias en el grado de deterioro inducido en los ensayos a muros sanos, la carga máxima desplegada por los muros reparados es significativamente superior a la máxima resistida por los muros sanos.
- En los muros reparados, se observa en general una tendencia creciente de la resistencia a la carga horizontal a medida que aumenta la deformación, tendencia que está presente en todo el amplio rango de deformación estudiado, sin presentarse una caída de la capacidad de carga.
- Asociado con el aumento de resistencia se observa un mayor deterioro de los pilares de hormigón, manifestado a través de fallas por compresión a nivel de la base y por la aparición de grietas en las zonas traccionadas.
- En niveles de deformación altos, correspondientes a desplazamientos horizontales superiores a 6 mm, se observa también la falla y deterioro progresivo en el contacto entre la albañilería original y los pilares, donde ocurren desplazamientos relativos visibles y gran fracturación y desprendimiento de material.
- El comportamiento anterior es diferente del observado en los ensayos a muros sanos, en los cuales la resistencia máxima estuvo determinada por la ocurrencia del agrietamiento diagonal, mientras que el comportamiento posterior al agrietamiento diagonal evidenció un deterioro progresivo del paño de albañilería y una pérdida significativa de resistencia a cargas horizontales.
- En los ensayos a muros reparados, tanto en la observación visual como en el análisis posterior de los registros de datos, la respuesta del conjunto albañilería – enchape armado es monolítica, no llegando a manifestarse en ninguno de los casos donde se aplicó esta técnica de reparación, evidencia de una falla general por esfuerzo de corte.

La diferente respuesta mecánica observada en los ensayos a muros reparados con respecto a la observada en aquellos realizados a muros sanos, es concordante con el cambio del tipo de falla predominante que experimentan los muros al comparar ambos ensayos. En efecto, mientras la falla de los muros sanos ocurre en todos los casos asociada con el agrietamiento diagonal por corte en el paño de albañilería (como fue previsto en el cálculo estructural), en el caso de los muros reparados, el comportamiento típico evidencia una resistencia significativamente mayor del paño reparado frente al esfuerzo de corte, y un mayor trabajo de los elementos de confinamiento en niveles altos de

deformación, los que se ven sometidos a solicitaciones que superan a las utilizadas para el cálculo estructural y dan lugar a fallas de compresión del hormigón en la base de pilares, y a fluencia de armaduras de pilares traccionados. Ambos efectos son evidencia de que la falla predominante de los muros reparados es por flexión.

2) Muro reparado mediante reemplazo del paño de albañilería

- Tal como puede observarse en la TABLA 6.5 y en la FIGURA 6.7, hay un incremento en la carga máxima resistida por el muro reparado, que alcanza a un 31% sobre la carga de agrietamiento diagonal del muro sano.
- A diferencia de lo que se observó en los ensayos a muros sanos, no se aprecia en este muro reparado un deterioro acelerado luego de ocurrido el agrietamiento diagonal. Contrariamente, la tendencia de la carga con el desplazamiento horizontal se mantiene creciente hasta el límite de deformaciones impuesto en el ensayo. Este comportamiento refleja el efecto del refuerzo horizontal de escalerillas colocado como parte de la reparación, el cual es capaz de suplir la pérdida de capacidad resistente de la albañilería, luego del agrietamiento diagonal.
- En la FIGURA 6.4 puede observarse que la respuesta de carga – deformación del muro B1-2 es concordante con la que exhiben otros muros sometidos en condición sana a un programa similar de ensayo (B1-3, B1-4 y B1-5), con una carga vertical de 4 kg/cm². El mismo muro B1-2 en estado sano, ensayado con una carga vertical más baja (2 kg/cm²), muestra en su desempeño una inferior respuesta de resistencia que en el estado reparado, mientras que el muro B1-1, ensayado sin carga vertical, exhibe una curva aún más por debajo de las anteriores.
- Los resultados anteriores son una evidencia de que la reparación ejecutada restituyó plenamente la capacidad de respuesta original del muro frente a las solicitaciones horizontales hasta el punto de agrietamiento diagonal y que, para el segmento posterior al agrietamiento, otorgó al muro una capacidad adicional de resistencia y de disipación de energía, al compararla con la respuesta de muros sin refuerzo horizontal. De esta forma, el comportamiento frágil del muro original luego del agrietamiento diagonal es atenuado por el refuerzo de acero y modificado a uno de tipo dúctil en el muro reparado.
- Debido a la presencia de armaduras horizontales de refuerzo, el paño de albañilería mantuvo su monolitismo y si bien se produjo la falla por corte, la propagación y la abertura de las primeras grietas estuvieron restringidas, forzando en los ciclos más avanzados, la aparición de un patrón de agrietamiento con una distribución más homogénea sobre el paño de albañilería. Esto muestra que luego del agrietamiento diagonal, la reparación aplicada es capaz de provocar una redistribución de las tensiones en el paño, haciendo que otras áreas de éste se hagan colaborantes.

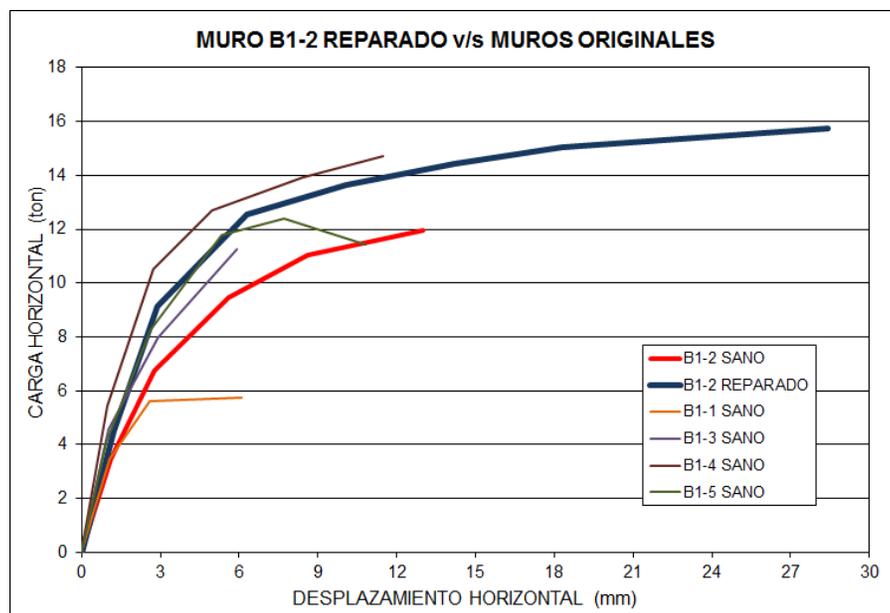


FIGURA 6.4 MURO B1-2 REPARADO V/S MUROS ORIGINALES

- No se observa en este caso deterioro significativo de la interface entre albañilería y los elementos de hormigón de confinamiento. Cabe resaltar que esta interface no contaba con endentado y, además, que el espacio entre la albañilería y los elementos de confinamiento fue relleno con el mismo mortero utilizado en la construcción de la albañilería.
- En la FIGURA 6.5 puede observarse el comportamiento del muro B1-2 reparado comparado con el de muros reparados con enchape armado. Hay una diferencia apreciable en la evolución posterior al agrietamiento diagonal, que aparentemente indica que la respuesta de este muro reparado sigue siendo determinada por la capacidad resistente del paño de albañilería, es decir la resistencia al corte, que se mantiene estable hasta el fin del ensayo, mientras los elementos de confinamiento conservan su integridad.

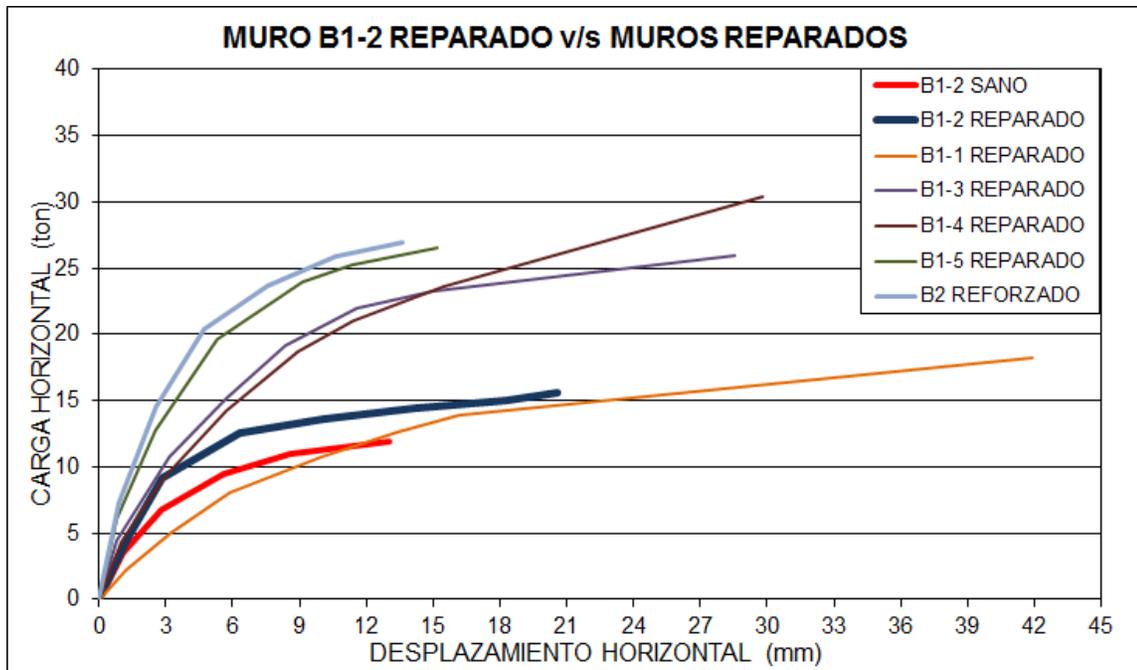


FIGURA 6.5 MURO B1-2 REPARADO V/S MUROS REPARADOS

En las tablas y figuras siguientes se muestran las cargas máximas por ciclo desplegadas por los muros reparados:

TABLA 6.5 CARGAS MAXIMAS

MURO	MURO SANO			MURO REP.		INDICE RECUPERACION (%)
	CICLO	GR. DIAG	C.MAX.	CICLO	C.MAX.	
		(ton)	(ton)	(ton)	(ton)	
A1-1	D	13,90	14,115	G	21,67	54%
A1-2	E	18,65	18,63	G	31,23	68%
A1-3	C	17,20	17,22	G	30,00	74%
A1-4	D	17,50	17,43	G	31,81	82%
A1-5	D	19,55	19,94	G	37,15	86%
A2	0		0	F	29,70	
PROMEDIO SERIE "A"						73%
B1-1	C	6,10	6,08	F	17,70	191%
B1-2	E	11,95	11,97	G	15,73	31%
B1-3	C	11,30	11,28	G	26,00	131%
B1-4	E	12,70	14,73	G	30,44	107%
B1-5	E	12,40	12,59	F	26,70	112%
B2				F	27,11	
PROMEDIO SERIE "B"						114%

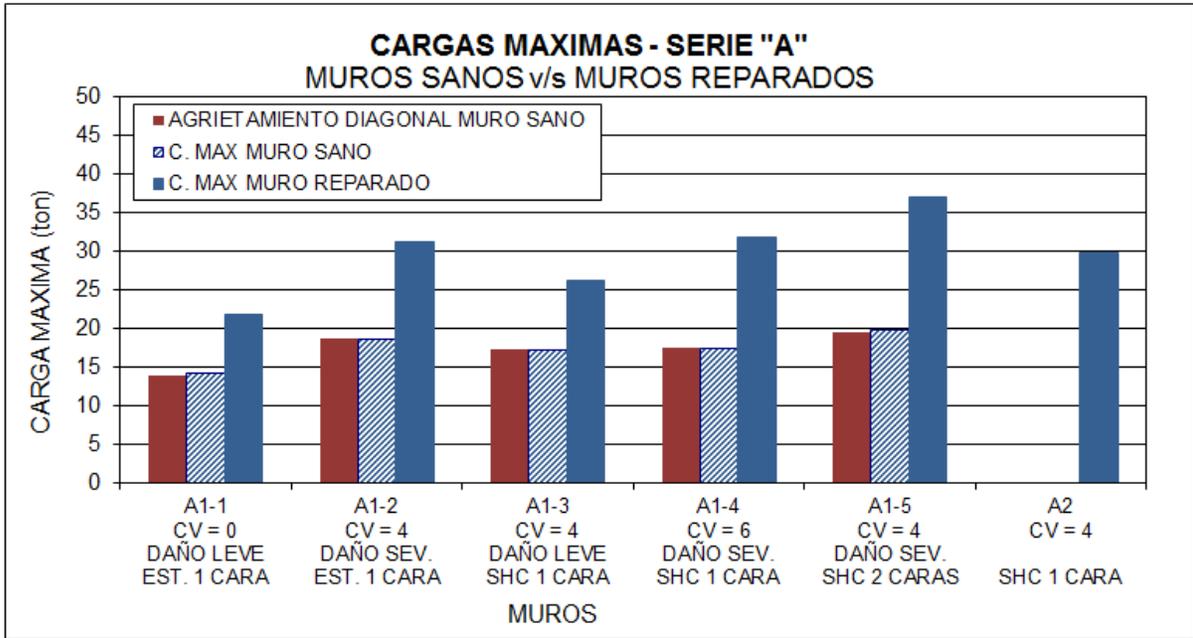


FIGURA 6.6 CARGAS MAXIMAS SERIE "A"

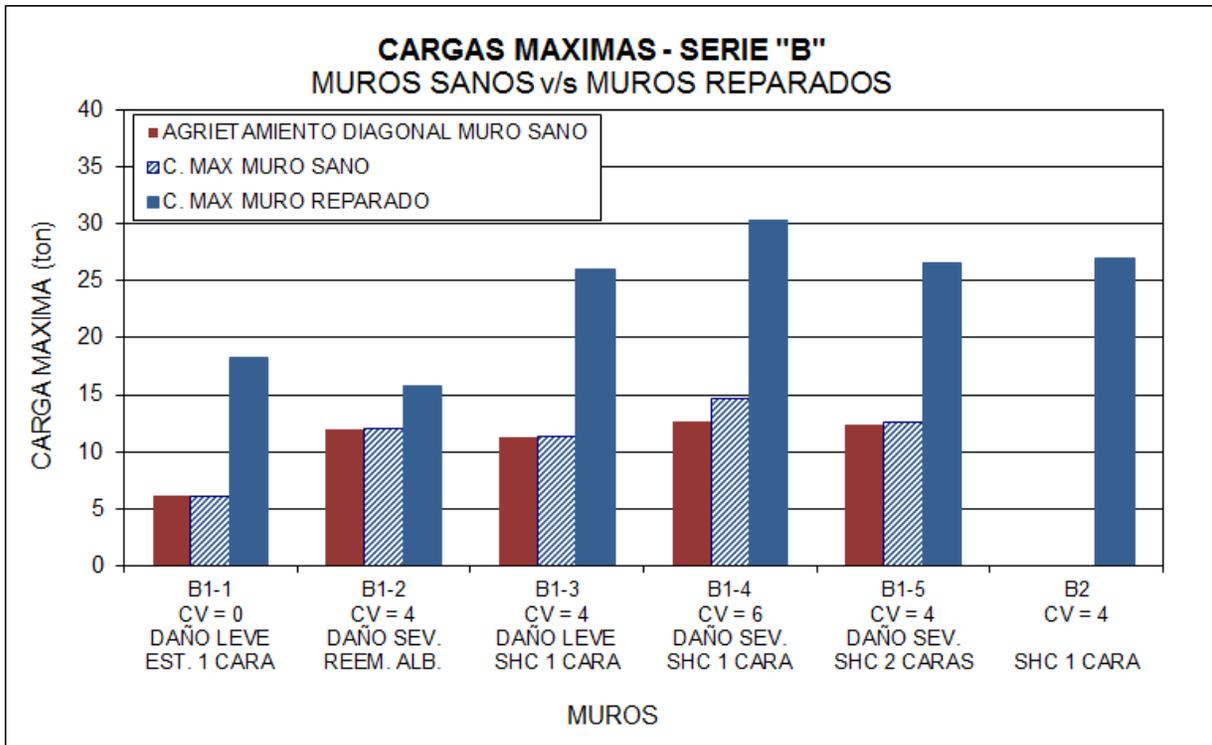


FIGURA 6.7 CARGAS MAXIMAS SERIE "B"

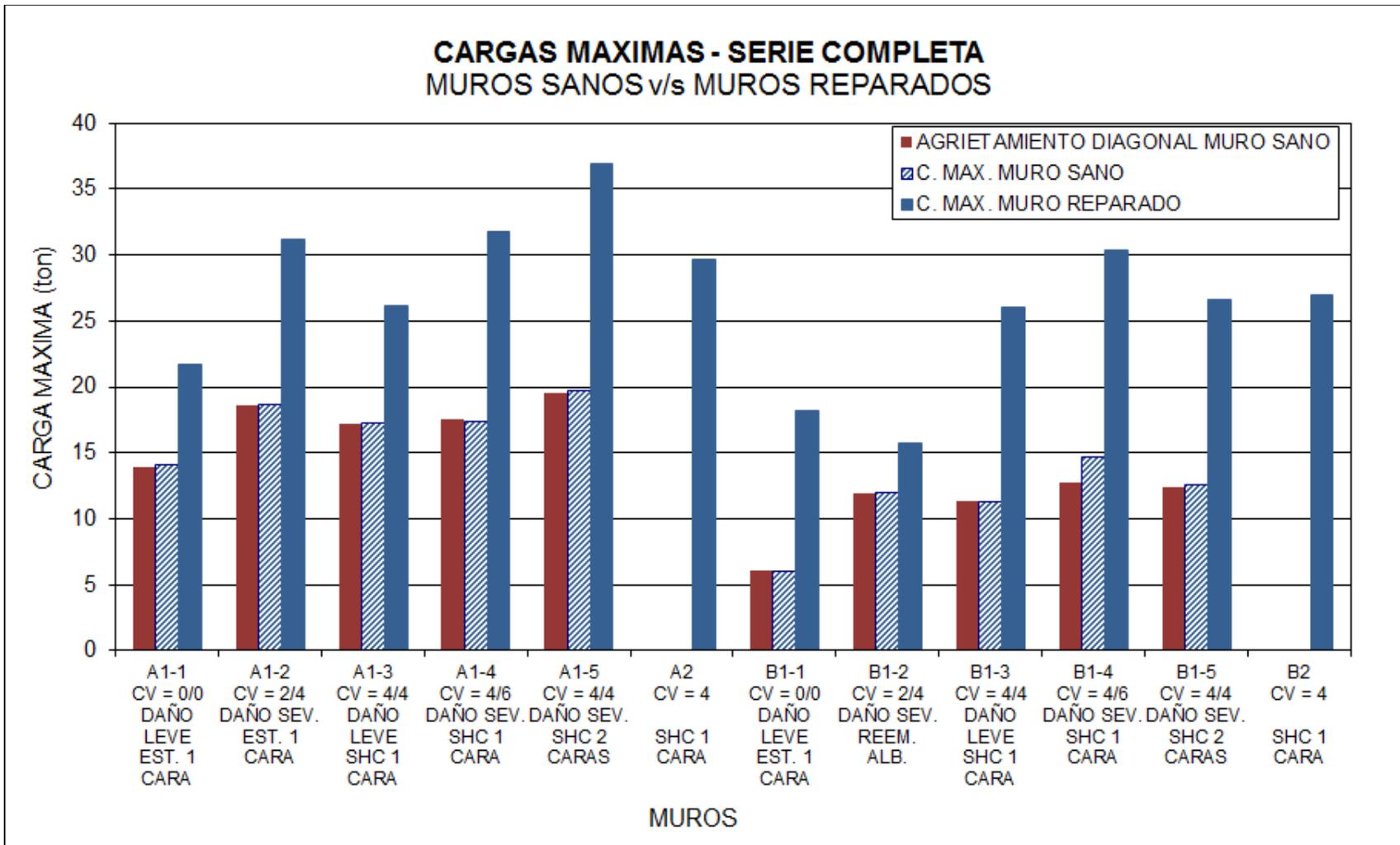


FIGURA 6.8 CARGAS MAXIMAS - SERIE COMPLETA

TABLA 6.6 MURO A1-1 – CARGAS MAXIMAS

A1-1 - CARGAS MAXIMAS									
Ciclo Nominal	(mm)	MURO SANO				MURO REPARADO			
		(+)		(-)		(+)		(-)	
		DESPL.	CARGA	DESPL.	CARGA	DESPL.	CARGA	DESPL.	CARGA
A	1	0,85	4,66	0,88	4,18	1,07	3,23	0,71	2,24
B	3	2,11	8,47	2,41	7,86	2,82	6,74	2,61	5,49
C	6	3,57	11,55	3,86	10,80	5,19	10,95	5,03	9,23
D	9	5,06	13,25	9,45	14,98	8,28	15,20	8,00	13,45
E	12	0,00	0,00	0,00	0,00	11,34	18,43	11,20	16,19
F	15	0,00	0,00	0,00	0,00	14,25	20,44	13,81	17,44
G	18	0,00	0,00	0,00	0,00	25,74	24,40	26,67	18,94

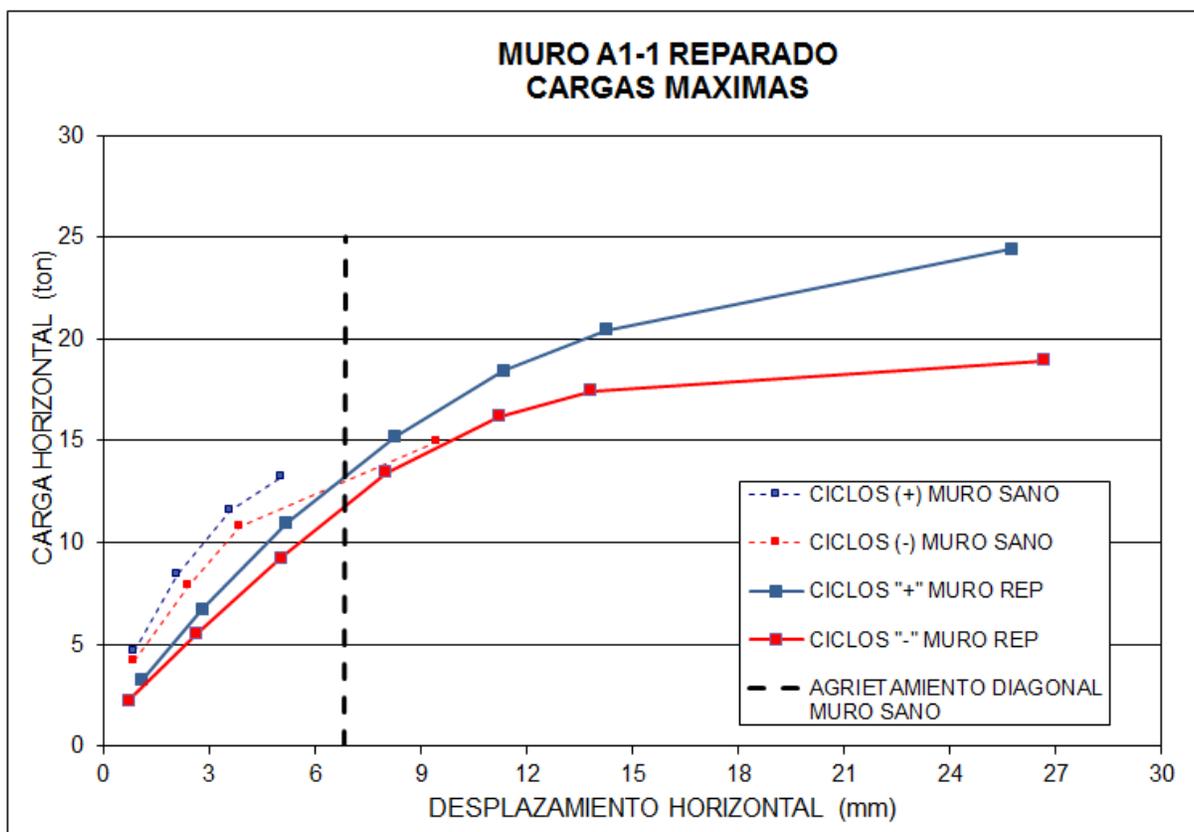


FIGURA 6.9 MURO A1-1 – CARGAS MAXIMAS

TABLA 6.7 MURO A1-2 – CARGAS MAXIMAS

A1-2 - CARGAS MAXIMAS									
Ciclo Nominal	(mm)	MURO SANO				MURO REPARADO			
		(+)		(-)		(+)		(-)	
		DESPL.	CARGA	DESPL.	CARGA	DESPL.	CARGA	DESPL.	CARGA
A	1	0,95	4,57	0,90	4,33	0,83	5,00	1,09	3,75
B	3	2,44	10,96	2,59	9,51	2,95	10,50	2,75	7,98
C	6	5,06	15,68	5,23	13,74	6,41	16,49	6,08	13,48
D	9	8,33	17,97	7,94	17,23	9,23	21,23	9,10	17,99
E	12	10,97	17,97	10,00	19,29	12,62	24,98	12,36	21,74
F	15	0,00	0,00	0,00	0,00	14,87	28,21	15,37	24,24
G	18	0,00	0,00	0,00	0,00	27,77	31,24	34,59	31,22

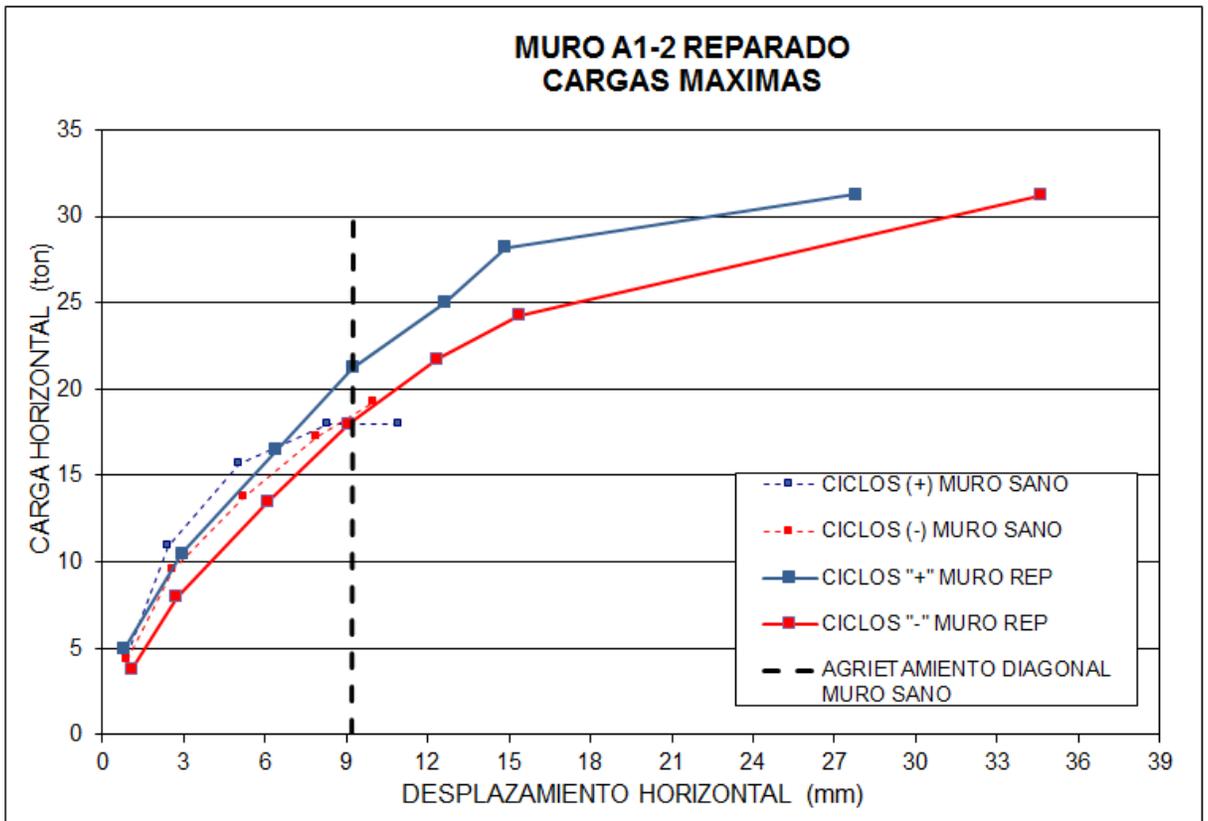


FIGURA 6.10 MURO A1-2 – CARGAS MAXIMAS

TABLA 6.8 MURO A1-3 – CARGAS MAXIMAS

A1-3 - CARGAS MAXIMAS									
Ciclo Nominal	(mm)	MURO SANO				MURO REPARADO			
		(+)		(-)		(+)		(-)	
		DESPL.	CARGA	DESPL.	CARGA	DESPL.	CARGA	DESPL.	CARGA
A	1	0,90	7,07	1,02	6,44	0,74	4,01	1,61	4,75
B	3	2,61	13,19	2,62	12,81	2,57	9,24	2,48	9,24
C	6	4,26	16,48	5,91	17,96	4,98	16,74	4,52	14,49
D	9	0,00	0,00	0,00	0,00	7,33	22,00	6,02	17,99
E	12	0,00	0,00	0,00	0,00	11,05	28,76	7,91	21,26
F	15	0,00	0,00	0,00	0,00	14,52	31,74	10,10	22,51
G	18	0,00	0,00	0,00	0,00	20,62	34,76	16,04	25,24

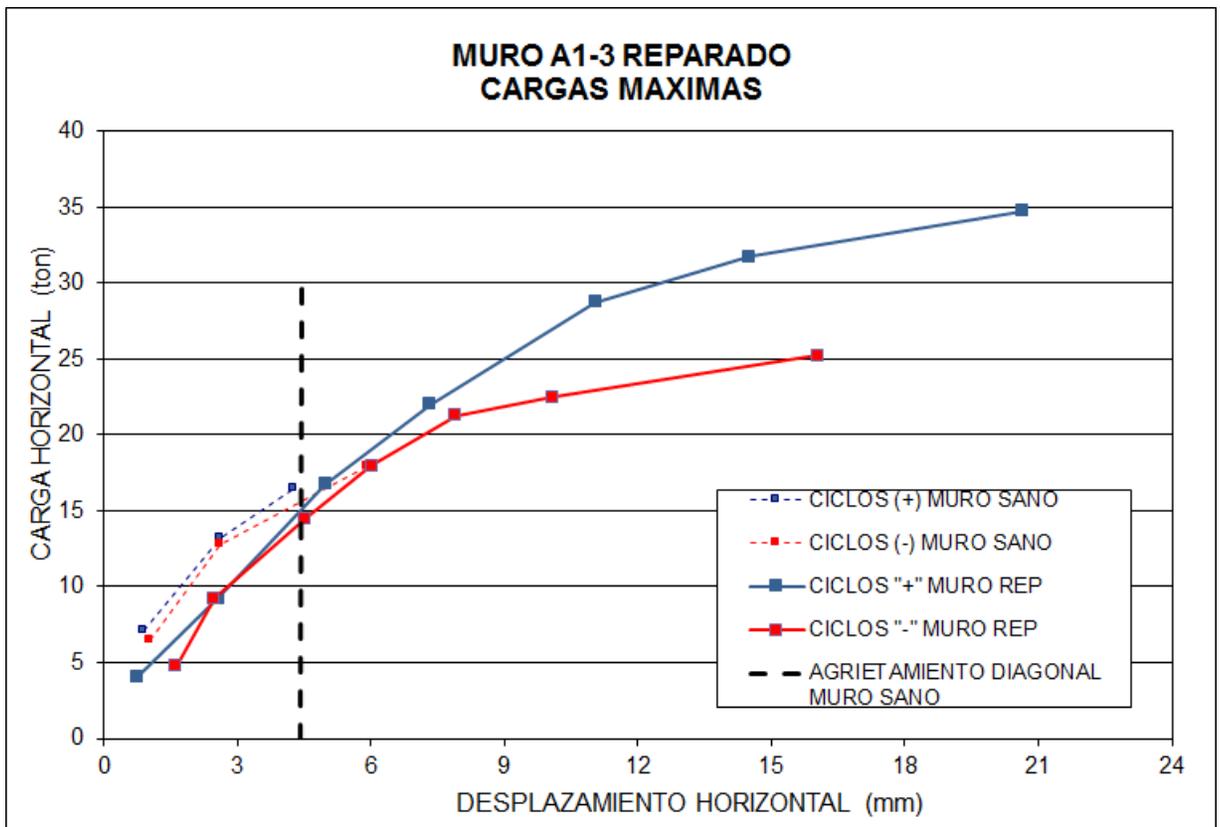


FIGURA 6.11 MURO A1-3 – CARGAS MAXIMAS

TABLA 6.9 MURO A1-4 – CARGAS MAXIMAS

A1-4 - CARGAS MAXIMAS									
Ciclo Nominal		MURO SANO				MURO REPARADO			
		(+)		(-)		(+)		(-)	
	(mm)	DESPL.	CARGA	DESPL.	CARGA	DESPL.	CARGA	DESPL.	CARGA
A	1	0,88	9,08	0,71	8,96	1,01	5,80	0,66	5,10
B	3	2,61	15,51	2,36	15,87	2,73	12,40	2,02	11,80
C	6	5,58	16,36	5,02	18,50	5,38	18,80	4,72	17,90
D	9	8,83	15,63	7,68	17,31	8,19	24,40	7,32	22,40
E	12	0,00	0,00	0,00	0,00	10,97	28,30	9,84	26,10
F	15	0,00	0,00	0,00	0,00	13,46	28,80	13,25	24,20
G	18	0,00	0,00	0,00	0,00	25,48	35,30	32,14	28,31

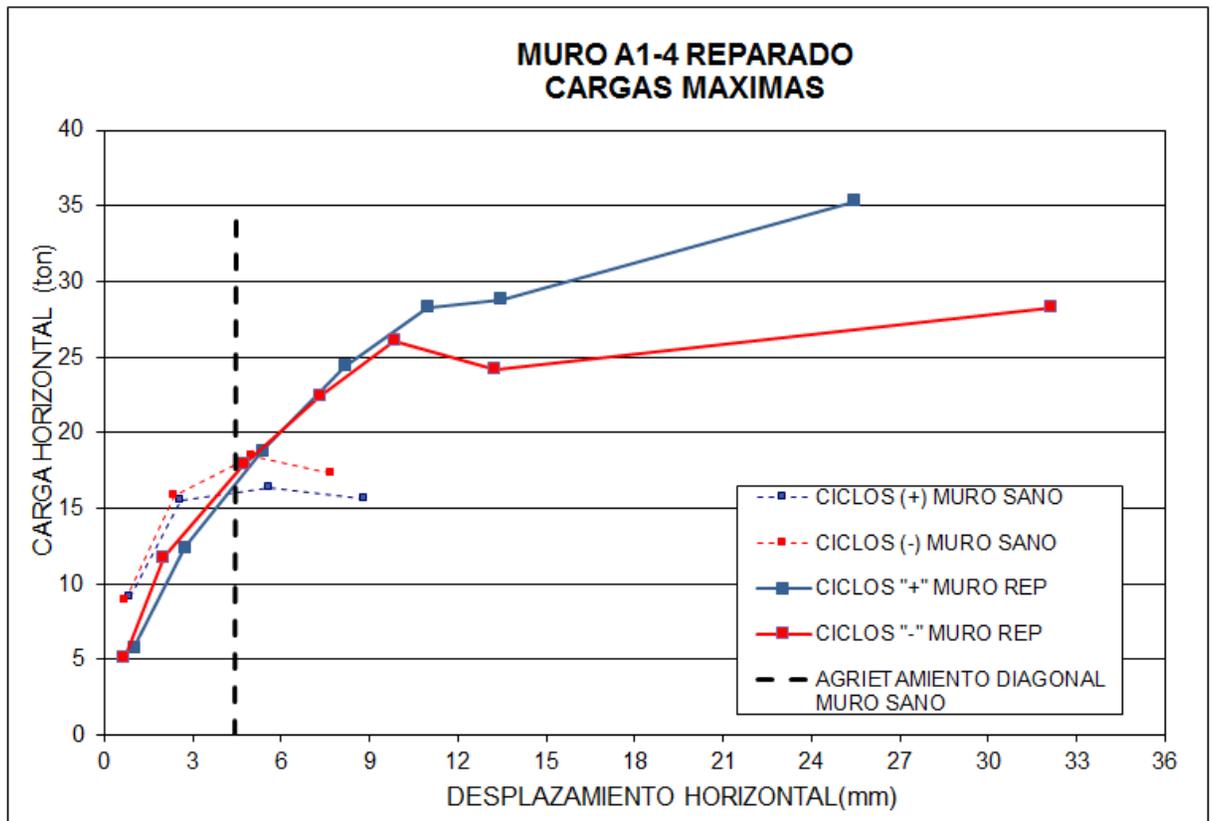


FIGURA 6.12 MURO A1-4 – CARGAS MAXIMAS

TABLA 6.10 MURO A1-5 – CARGAS MAXIMAS

A1-5 - CARGAS MAXIMAS									
Ciclo Nominal		MURO SANO				MURO REPARADO			
		(+)		(-)		(+)		(-)	
	(mm)	DESPL.	CARGA	DESPL.	CARGA	DESPL.	CARGA	DESPL.	CARGA
A	1	0,71	9,38	0,64	7,62	0,85	7,25	0,86	7,25
B	3	1,96	17,11	1,82	15,12	2,82	14,22	2,75	15,22
C	6	3,93	20,50	5,22	18,99	5,63	23,18	5,14	22,70
D	9	7,18	18,25	6,01	19,38	8,46	29,19	8,11	28,42
E	12	0,00	0,00	0,00	0,00	10,79	31,43	10,65	30,18
F	15	0,00	0,00	0,00	0,00	13,55	33,41	13,28	30,18
G	18	0,00	0,00	0,00	0,00	23,17	39,90	28,53	34,40

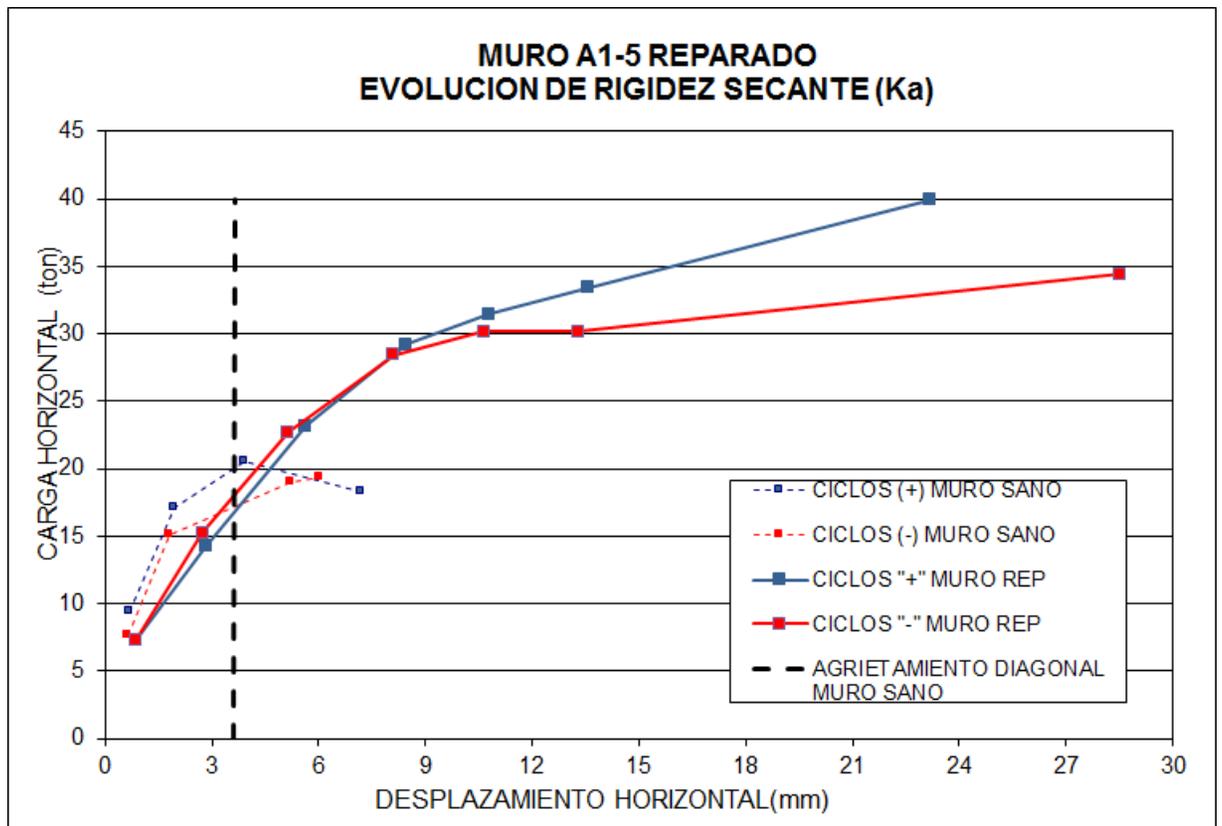


FIGURA 6.13 MURO A1-5 – CARGAS MAXIMAS

TABLA 6.11 MURO A2 – CARGAS MAXIMAS

A2 - CARGAS MAXIMAS									
Ciclo Nominal		MURO SANO				MURO REPARADO			
		(+)		(-)		(+)		(-)	
	(mm)	DESPL.	CARGA	DESPL.	CARGA	DESPL.	CARGA	DESPL.	CARGA
A	1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,89	3,50	1,02	4,60
B	3	0,00	0,00	0,00	0,00	2,83	8,70	2,79	8,10
C	6	0,00	0,00	0,00	0,00	5,62	14,90	5,52	14,50
D	9	0,00	0,00	0,00	0,00	8,33	20,90	7,91	19,60
E	12	0,00	0,00	0,00	0,00	11,07	25,90	10,17	24,00
F	15	0,00	0,00	0,00	0,00	14,72	31,00	14,53	28,40
G	18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

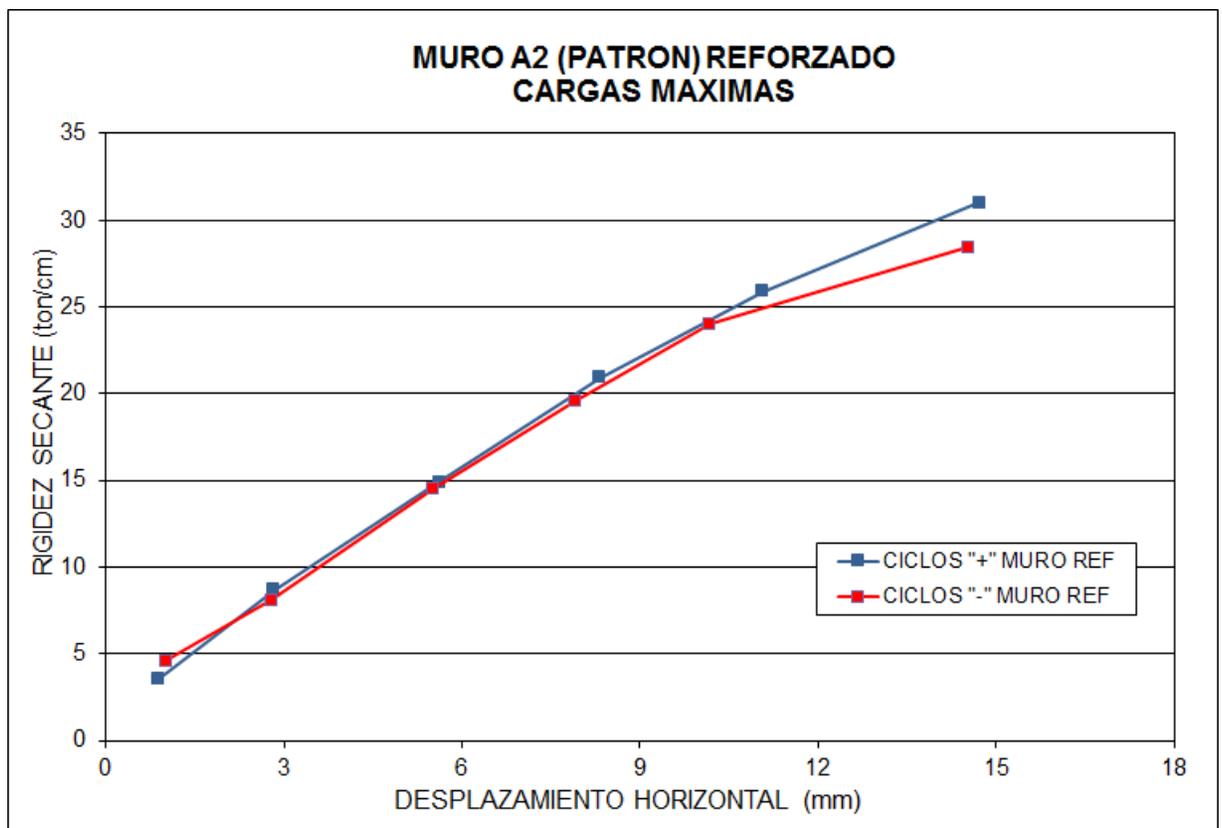


FIGURA 6.14 MURO A2 – CARGAS MAXIMAS

TABLA 6.12 MURO B1-1 – CARGAS MAXIMAS

B1-1 - CARGAS MAXIMAS									
Ciclo Nominal		MURO SANO				MURO REPARADO			
		(+)		(-)		(+)		(-)	
	(mm)	DESPL.	CARGA	DESPL.	CARGA	DESPL.	CARGA	DESPL.	CARGA
A	1	0,99	3,92	1,16	3,00	1,05	3,14	0,93	2,43
B	3	2,45	6,02	2,74	5,21	3,17	5,57	2,31	4,85
C	6	6,09	5,33	6,13	6,14	6,08	8,74	4,62	7,52
D	9	0,00	0,00	0,00	0,00	9,73	11,41	8,50	9,95
E	12	0,00	0,00	0,00	0,00	12,84	13,34	11,39	11,66
F	15	0,00	0,00	0,00	0,00	15,18	14,80	13,96	12,87
G	18	0,00	0,00	0,00	0,00	40,75	17,70	0,00	0,00

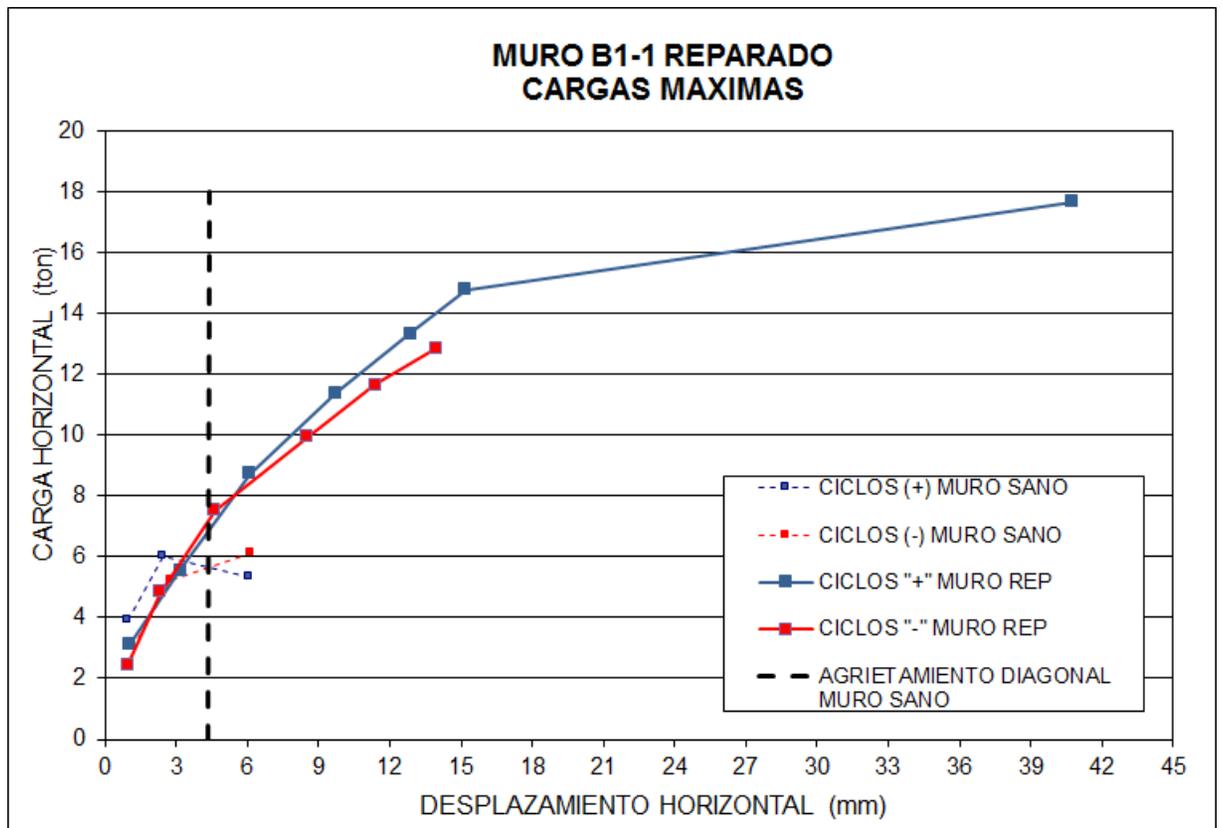


FIGURA 6.15 MURO B1-1 – CARGAS MAXIMAS

TABLA 6.13 MURO B1-2 – CARGAS MAXIMAS

B1-2 - CARGAS MAXIMAS									
Ciclo Nominal		MURO SANO				MURO REPARADO			
		(+)		(-)		(+)		(-)	
	(mm)	DESPL.	CARGA	DESPL.	CARGA	DESPL.	CARGA	DESPL.	CARGA
A	1	1,05	3,09	1,15	3,82	0,93	4,60	0,85	4,37
B	3	2,78	6,68	2,79	6,81	2,64	9,40	2,44	8,70
C	6	5,73	9,80	5,48	9,17	5,81	13,40	5,04	11,72
D	9	8,76	11,90	8,43	10,15	8,24	14,30	8,33	12,84
E	12	11,12	11,90	14,87	12,03	11,73	15,02	11,15	13,58
F	15	0,00	0,00	0,00	0,00	14,65	15,60	14,30	14,63
G	18	0,00	0,00	0,00	0,00	17,37	15,60	24,84	15,85

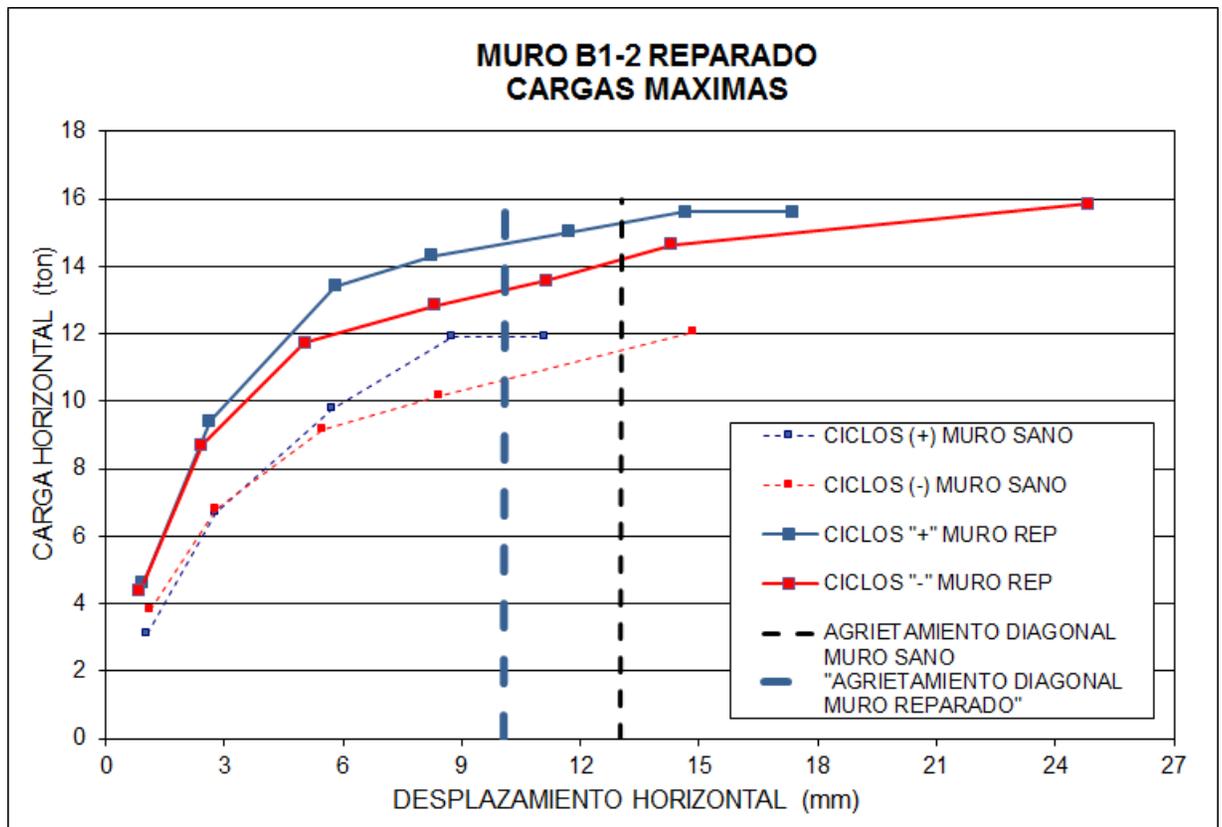


FIGURA 6.16 MURO B1-2 – CARGAS MAXIMAS

TABLA 6.14 MURO B1-3 – CARGAS MAXIMAS

B1-3 - CARGAS MAXIMAS									
Ciclo Nominal		MURO SANO				MURO REPARADO			
		(+)		(-)		(+)		(-)	
	(mm)	DESPL.	CARGA	DESPL.	CARGA	DESPL.	CARGA	DESPL.	CARGA
A	1	1,13	4,53	0,93	4,64	0,92	5,00	0,74	3,90
B	3	2,78	7,99	3,07	7,99	2,84	10,90	3,61	10,60
C	6	5,92	11,44	5,95	11,11	5,49	16,40	5,38	14,00
D	9	0,00	0,00	0,00	0,00	8,30	20,50	7,83	17,90
E	12	0,00	0,00	0,00	0,00	11,35	23,20	10,52	20,70
F	15	0,00	0,00	0,00	0,00	14,93	24,50	13,10	22,00
G	18	0,00	0,00	0,00	0,00	25,19	27,00	24,74	25,00

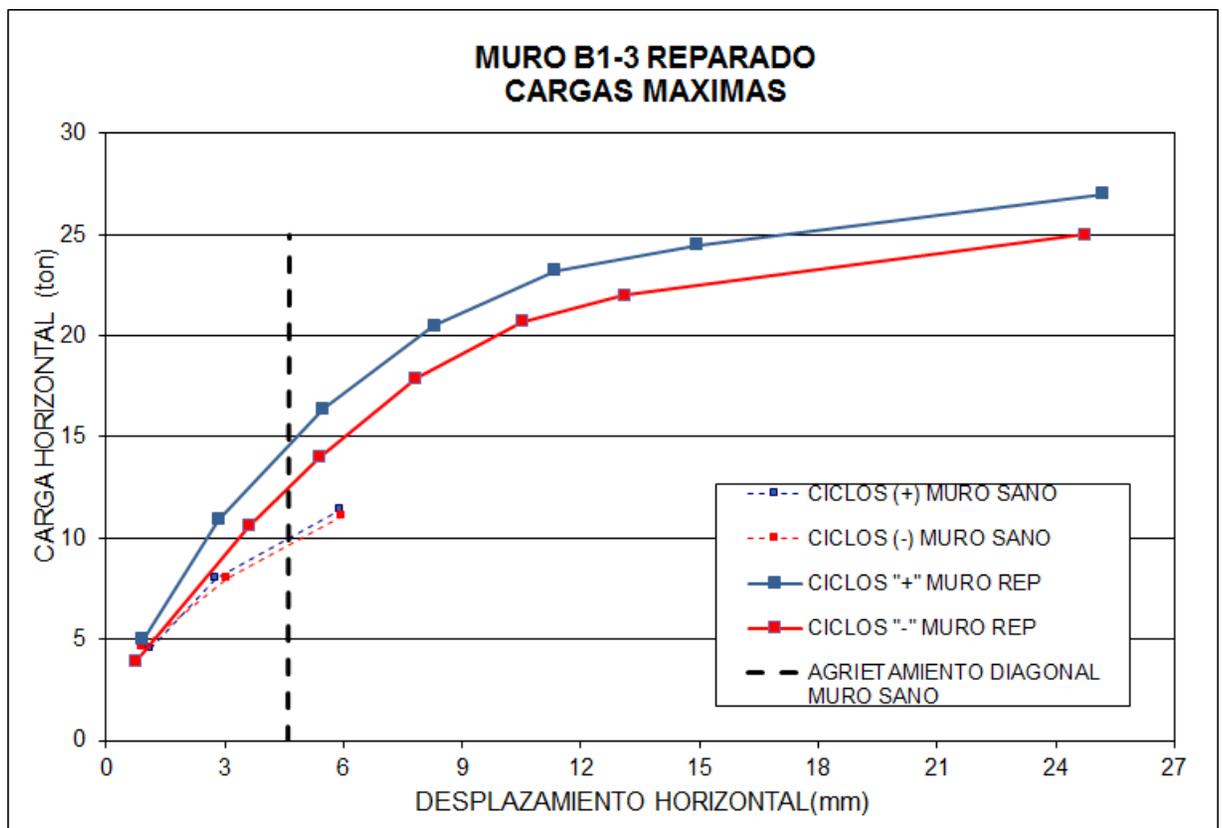


FIGURA 6.17 MURO B1-3 – CARGAS MAXIMAS

TABLA 6.15 MURO B1-4 – CARGAS MAXIMAS

B1-4 - CARGAS MAXIMAS									
Ciclo Nominal		MURO SANO				MURO REPARADO			
		(+)		(-)		(+)		(-)	
	(mm)	DESPL.	CARGA	DESPL.	CARGA	DESPL.	CARGA	DESPL.	CARGA
A	1	1,21	6,34	0,77	4,54	0,82	4,80	0,83	3,80
B	3	2,70	11,25	2,76	9,81	2,71	10,00	2,52	8,26
C	6	5,19	12,81	4,71	12,56	5,29	15,40	5,35	14,88
D	9	8,48	14,71	8,42	13,15	8,79	19,43	8,04	17,00
E	12	11,06	15,20	11,92	14,25	10,76	22,50	10,49	19,51
F	15	0,00	0,00	0,00	0,00	13,70	25,00	14,02	22,27
G	18	0,00	0,00	0,00	0,00	24,99	31,67	26,86	29,20

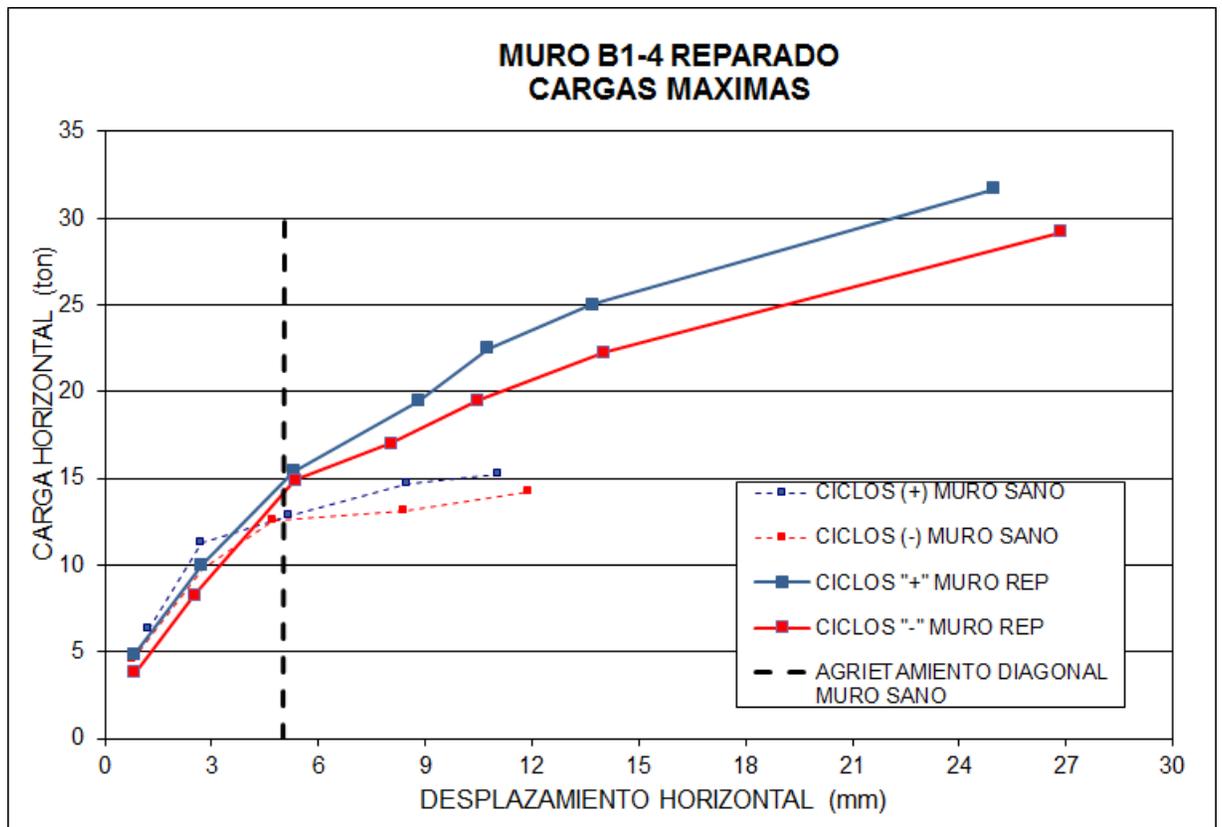


FIGURA 6.18 MURO B1-4 – CARGAS MAXIMAS

TABLA 6.16 MURO B1-5 – CARGAS MAXIMAS

B1-5 - CARGAS MAXIMAS									
Ciclo Nominal	(mm)	MURO SANO				MURO REPARADO			
		(+)		(-)		(+)		(-)	
		DESPL.	CARGA	DESPL.	CARGA	DESPL.	CARGA	DESPL.	CARGA
A	1	0,92	4,39	0,95	3,79	0,74	5,90	0,77	6,30
B	3	2,54	8,99	2,70	7,56	2,68	12,00	2,23	13,40
C	6	5,50	12,41	5,20	11,20	5,39	18,90	4,77	20,30
D	9	6,82	11,79	8,58	13,01	8,00	23,00	9,32	25,00
E	12	10,43	12,16	11,13	10,70	10,63	25,00	10,51	25,60
F	15	0,00	0,00	0,00	0,00	13,28	26,70	13,91	26,70
G	18	0,00	0,00	0,00	0,00	23,77	35,18	27,19	29,20

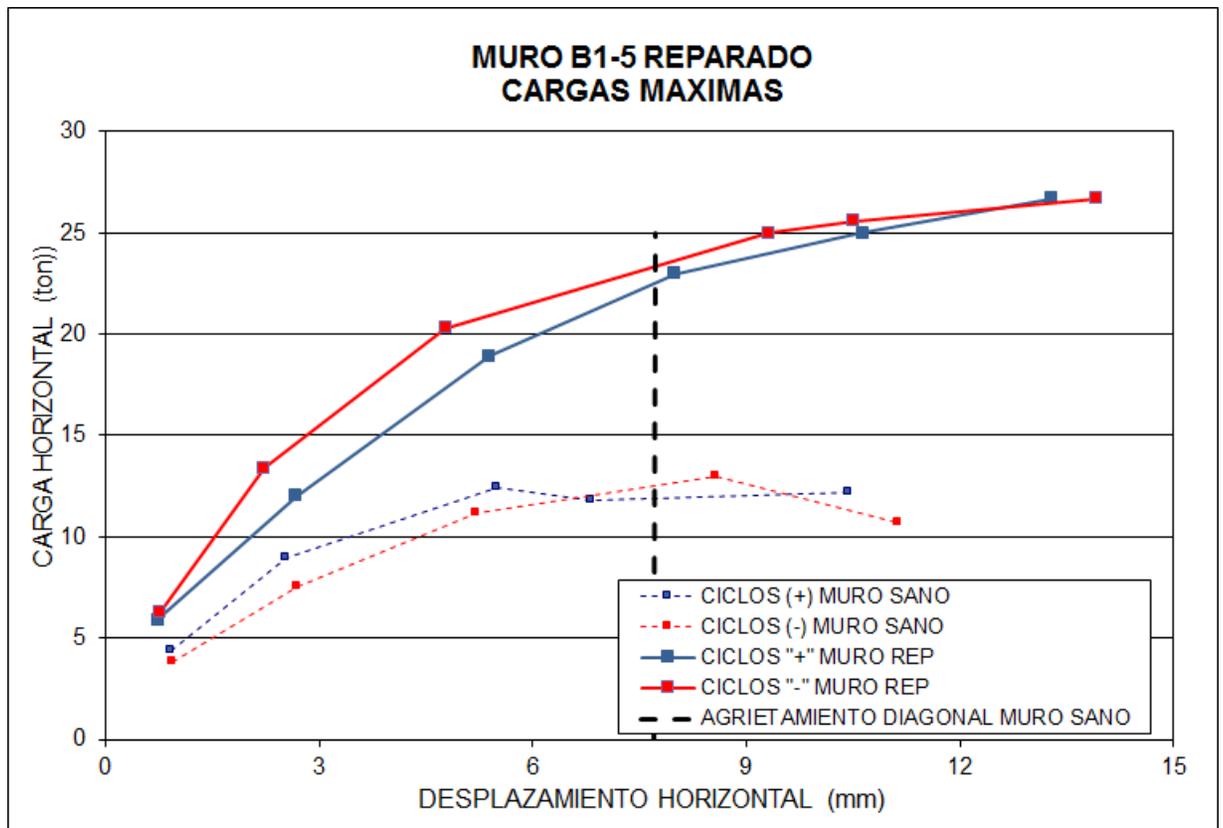


FIGURA 6.19 MURO B1-5 – CARGAS MAXIMAS

TABLA 6.17 MURO B2 – CARGAS MAXIMAS

B2 - CARGAS MAXIMAS									
Ciclo Nominal		MURO SANO				MURO REPARADO			
		(+)		(-)		(+)		(-)	
	(mm)	DESPL.	CARGA	DESPL.	CARGA	DESPL.	CARGA	DESPL.	CARGA
A	1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,96	7,59	0,80	6,84
B	3	0,00	0,00	0,00	0,00	2,58	15,79	2,48	13,96
C	6	0,00	0,00	0,00	0,00	5,01	22,16	4,48	19,23
D	9	0,00	0,00	0,00	0,00	8,17	25,70	6,99	22,91
E	12	0,00	0,00	0,00	0,00	11,87	27,68	9,46	23,88
F	15	0,00	0,00	0,00	0,00	15,23	29,62	12,05	24,60
G	18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

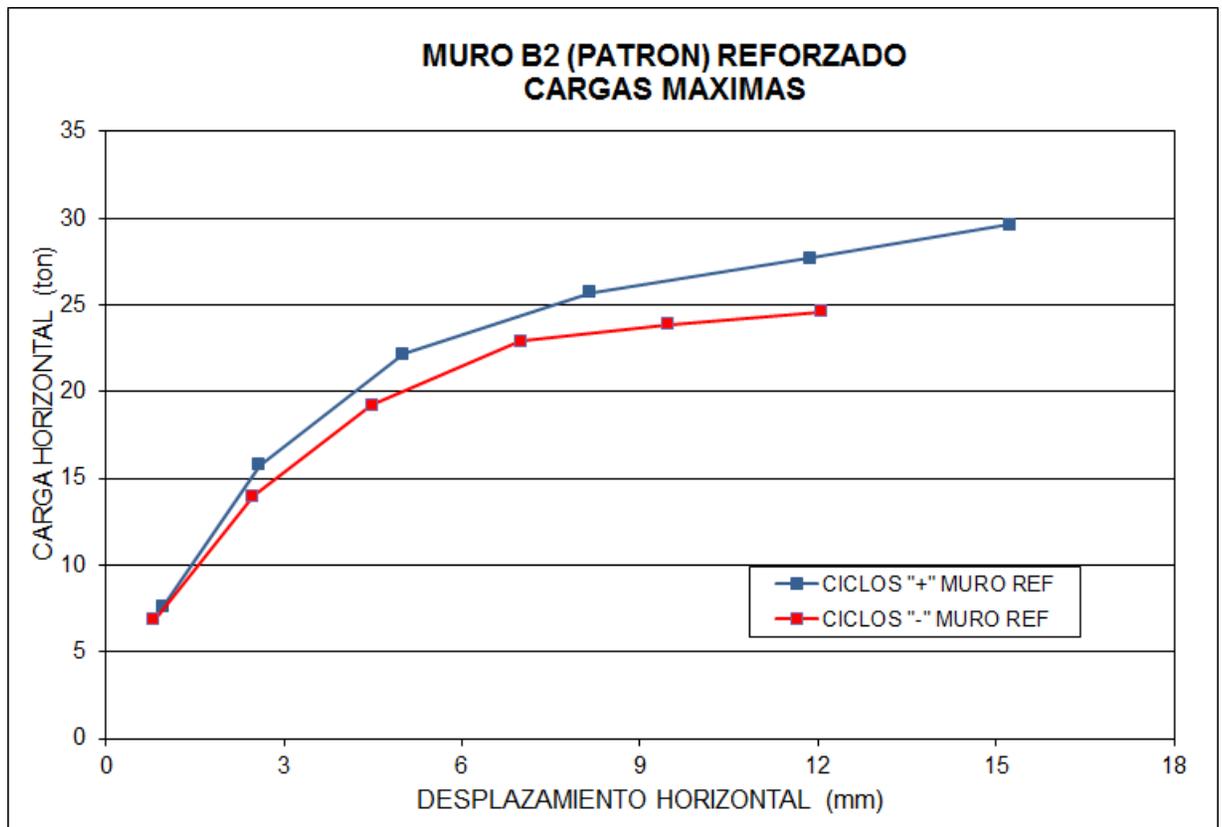


FIGURA 6.20 MURO B2 – CARGAS MAXIMAS

6.2.3.3 RESISTENCIA NOMINAL DE MUROS REPARADOS CON ENCHAPE ARMADO

En esta sección se realiza una aproximación teórica a la resistencia de los muros reparados mediante enchape de estuco o de shotcrete, resistencia que estará determinada por el menor valor entre la resistencia al corte del enchape y la resistencia a la falla global del muro por flexión.

Para la estimación de la resistencia al corte del enchape, se utilizará la teoría de diseño de hormigón armado descrita en la norma ACI 318, en que la resistencia nominal al corte de un elemento de hormigón armado está dada por:

$$V_n = V_C + V_S$$

Donde:

V_C : es la resistencia al corte proporcionada por el hormigón

V_S : es la resistencia al corte proporcionada por el acero

La fórmula aplicable en este caso para el cálculo de la resistencia nominal al corte del hormigón es:

$$V_C = \left(1 + \frac{N_u}{14A_g}\right) \frac{\sqrt{f'_c} b_w d}{6}$$

Con: f'_c : Resistencia especificada del hormigón (MPa)

N_u : Carga axial del elemento (m), carga vertical sobre el muro

A_g : Area gruesa del elemento de hormigón (m)

b_w : Ancho de la sección (m)

d : Altura útil de la sección (m)

con $\sqrt{f'_c}$ y $\frac{N_u}{A_g}$ expresados en MPa

Para el cálculo de la resistencia proporcionada por el acero se usa la fórmula:

$$V_S = \frac{A_s}{s} f_y d \leq \frac{2}{3} \sqrt{f'_c} b_w d$$

Con: A_s : Area de la armadura por corte

s : Espaciamiento de las armaduras

f_y : Tensión de fluencia del acero

Para el caso de un muro reparado con enchape armado de estuco o shotcrete, se adoptan los siguientes datos de entrada:

$f'_c = 30$ MPa, correspondiente a un valor típicamente usado en shotcrete para piscinas y que se considera conservador en el caso de las reparaciones aplicadas, dado el alto contenido de cemento de la dosificación establecida.

$b_w = 6$ cm, espesor medio de la capa de shotcrete aplicada

$b_w = 4$ cm, espesor de la capa de estuco aplicada

$d = 200$ cm, altura de la sección resistente al corte

$A_s = 0.138$ cm², área individual de la barra de acero

$s = 10$ cm, espaciamiento de armaduras de la malla ACMA

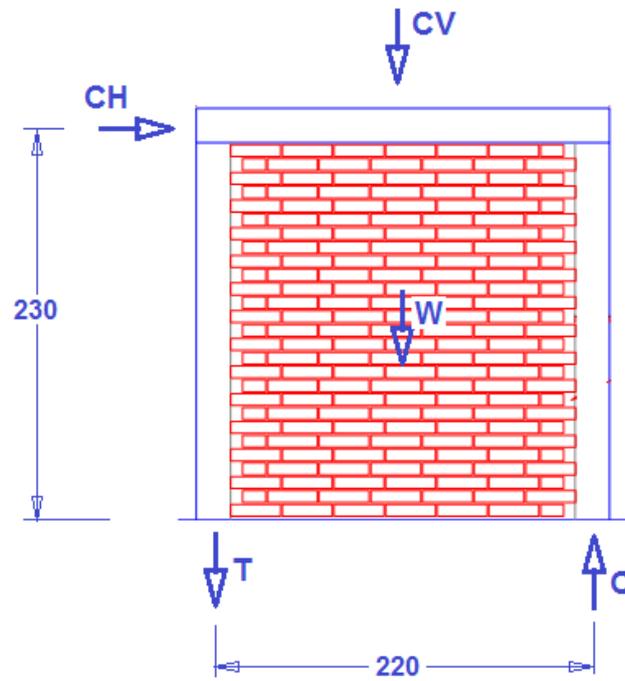
$f_y = 5000$ kg/cm²

Las cargas máximas teóricas resultantes se muestran en la TABLA 6.18.

TABLA 6.18 RESISTENCIA MAXIMA TEORICA - CORTE

	ESTUCO		SHOTCRETE 1 CARA		SHOTCRETE 2 CARAS
CARGA VERTICAL (ton)	0	8	8	12	12
V_c (ton)	7,30	7,64	11,46	11,73	22,92
V_s (ton)	13,80	13,80	13,80	13,80	27,60
V_n (ton)	21,10	21,44	25,26	25,53	50,52

Por su parte, la resistencia máxima para la falla global por flexión, se determina a partir del siguiente diagrama de cuerpo libre y los resultados se muestran en la TABLA 6.19:



$$CH = \frac{1}{230} \times (220 \times T + 110 \times (C_V + W))$$

TABLA 6.19 RESISTENCIA MAXIMA TEORICA - FLEXION

	REJILLA			CHONCHON		
	CV = 0	CV = 8	CV = 12	CV = 0	CV = 8	CV = 12
A_s	4,52 cm ²			3,14 cm ²		
f_y	4200 kg/cm ²			4200 kg/cm ²		
T	18,98 ton			13,19 ton		
PESO ESPECIFICO	2,2 ton/m ³			2,1 ton/m ³		
W	0,14 x 2,40 x 2,40 x 2,2			0,15 x 2,40 x 2,40 x 2,1		
	= 1,77 ton			= 1,90 ton		
CH (ton)	19,00	22,83	24,74	13,53	17,35	19,26

Comparando las resistencias máximas de corte y flexión de las tablas anteriores y haciendo prevalecer el mínimo valor para cada caso, resulta el siguiente gráfico.

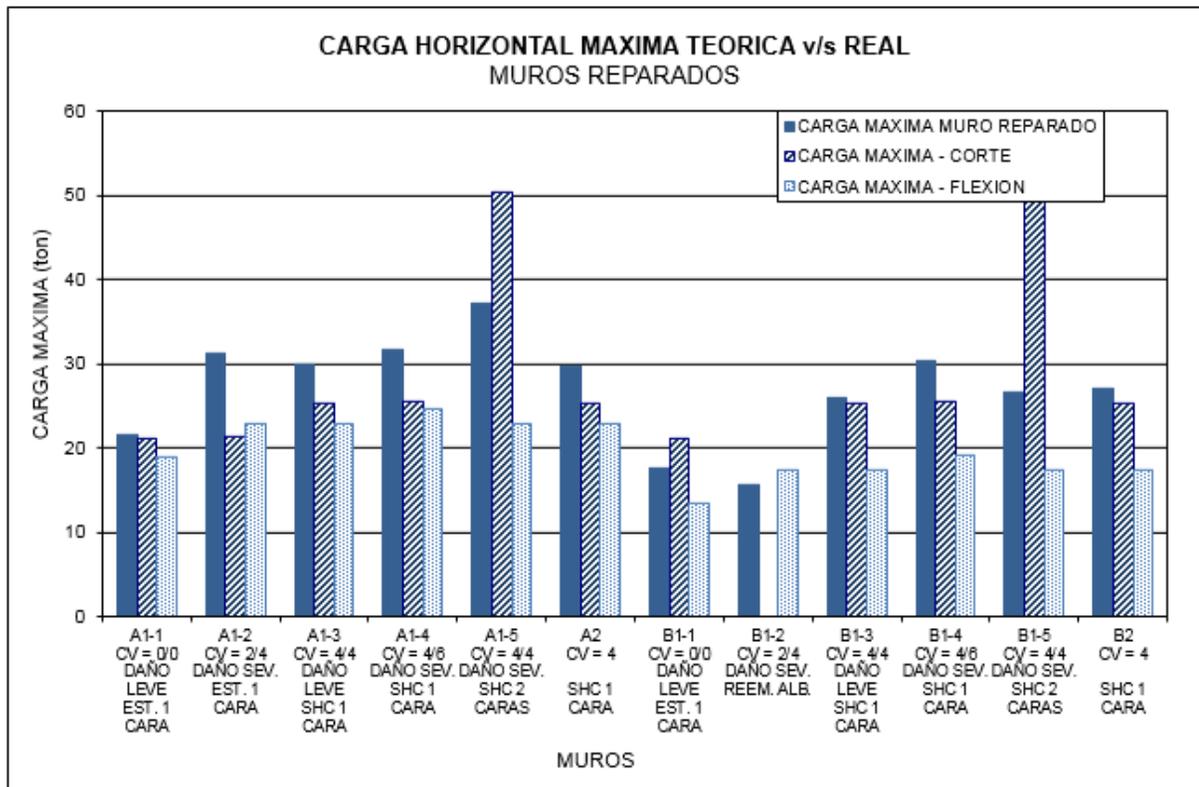


FIGURA 6.21 COMPARACION CON CARGAS MAXIMAS TEORICAS

Aunque en la mayoría de los casos las cargas teóricas máximas resultan inferiores a las cargas máximas reales aplicadas, en ninguno de los ensayos a muros reparados se manifestó en forma evidente una falla por corte del panel de refuerzo.

Este resultado es razonable considerando que los parámetros adoptados para la verificación teórica son valores típicos de cálculo, los cuales tienen implícitos los factores de seguridad del hormigón proyectado y de la armadura de refuerzo, que aseguran valores nominales de resistencia, pero que permiten esperar que el desempeño real sea superior.

Del mismo modo, la falla por flexión en todos los muros reparados mediante enchape armado se manifestó para valores algo superiores a los teóricos.

6.2.4 RIGIDEZ LATERAL

Uno de los parámetros importantes en el análisis del comportamiento de los muros es su rigidez lateral.

Para efectuar su evaluación y comparación con expresiones analíticas propuestas se utilizará la definición de rigidez lateral secante K_a , que se mide sobre la curva carga – deformación de un ciclo y que corresponde a la pendiente de la recta que une el fin del ciclo anterior con el punto de máxima carga del ciclo, según lo indicado en 5.2.

6.2.4.1 VALORES EXPERIMENTALES DE LA RIGIDEZ LATERAL

En la TABLA 6.20 se muestran los valores de rigidez característicos obtenidos de los ensayos a muros sanos y reparados, calculados como el valor promedio de las rigideces obtenidas en cada sentido de carga. Los valores corresponden a:

RI: Rigidez inicial del muro sano, proveniente del estudio realizado por E. Herrera (Ref. 1).

K-GD: Rigidez del muro sano medida en el nivel de agrietamiento diagonal.

KF: Rigidez residual del muro sano, obtenida del último ciclo de aplicación de carga del ensayo.

KR: Rigidez inicial del muro reparado o reforzado, correspondiente a los ciclos de 1 mm de desplazamiento horizontal.

Se observa que el índice de recuperación de rigidez del muro reparado en relación a la rigidez inicial del muro sano fluctúa entre 54% y 99% en los muros de la serie A, mientras que en los muros de la serie B la recuperación va desde 81% hasta 197%.

En ambas series, la mínima recuperación se produce en los casos de muros no sometidos a carga vertical.

TABLA 6.20 VALORES CARACTERISTICOS DE RIGIDEZ LATERAL

MURO	RIGIDEZ (ton/cm)				INDICE RECUP.
	KI	K-GD	KF	KR	
A1-1	47,9	18,1	12,9	26,0	54%
A1-2	45,2	18,1	11,5	44,7	99%
A1-3	63,1	31,7	19,1	37,9	60%
A1-4	102,9	28,9	11,5	60,7	59%
A1-5	110,1	43,4	12,7	80,1	73%
A2	0,0	0,0	0,0	40,9	
B1-1	31,3	14,4	5,7	25,4	81%
B1-2	26,9	8,0	6,5	47,7	177%
B1-3	35,4	17,3	13,0	54,4	154%
B1-4	47,0	20,8	9,1	48,6	103%
B1-5	40,0	12,6	6,8	78,8	197%
B2	0,0	0,0	0,0	88,0	

Gráficamente estos datos se representan en las figuras 6.21 y 6.22.

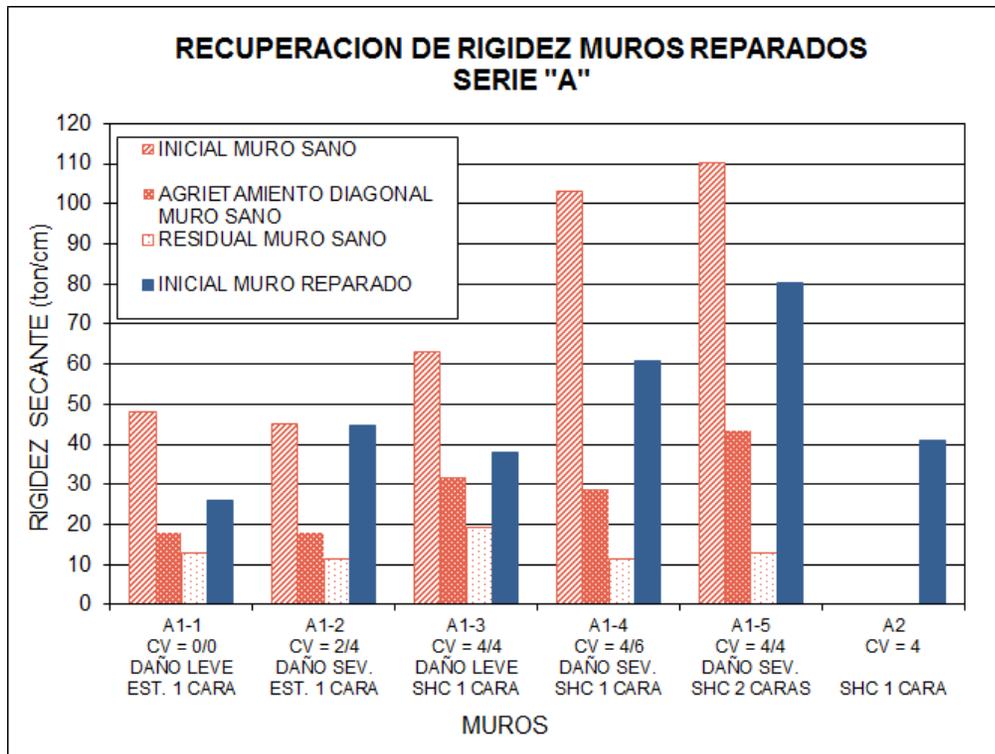


FIGURA 6.22 COMPARACION DE RIGIDECES – SERIE A

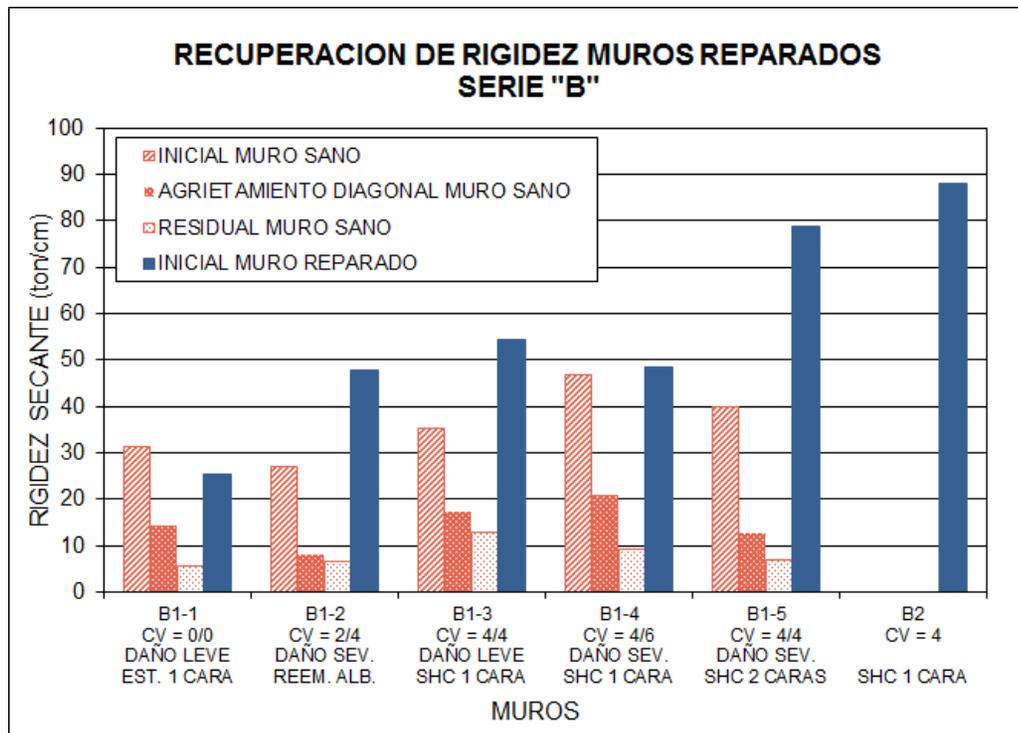


FIGURA 6.23 COMPARACION DE RIGIDECES – SERIE B

El estado último de un muro de albañilería está determinado por el agrietamiento diagonal y, por esa razón, se considera que también es de interés contar con una comparación del parámetro “rigidez

lateral” medida en ese punto característico. Ese ejercicio se presenta resumido en la TABLA 6.21; los datos de rigidez de muros reparados que en ella se presentan, han sido extraídos de las curvas de carga v/s desplazamiento horizontal y corresponden aproximadamente a rigideces medidas sobre la envolvente de las curvas de histéresis, evaluadas para los niveles de agrietamiento diagonal de los muros sanos.

Gráficamente, estos datos pueden ser visualizados en las figuras 6.24 a 6.33.

En la tabla y figuras puede notarse que el grado de recuperación de rigidez lateral en el nivel de agrietamiento diagonal de los muros sanos, es significativo, alcanzando valores cercanos al 100% en la totalidad de los muros de la serie A, y valores en general bastante superiores a 100% en los muros de la serie B, con excepción del muro B1-1.

TABLA 6.21 RIGIDEZ EN NIVEL DE GRIETA DIAGONAL

MURO	RIGIDEZ AGRIETAMIENTO		INDICE RECUP.
	MURO SANO	MURO REP.	
A1-1	18,1	16,3	90%
A1-2	18,1	19,1	106%
A1-3	31,7	30,0	95%
A1-4	28,9	28,6	99%
A1-5	43,4	41,3	95%
A2	0,0	0,0	
B1-1	14,4	13,5	93%
B1-2	8,0	13,6	169%
B1-3	17,3	23,1	134%
B1-4	20,8	26,7	128%
B1-5	12,6	26,4	210%
B2	0,0	0,0	

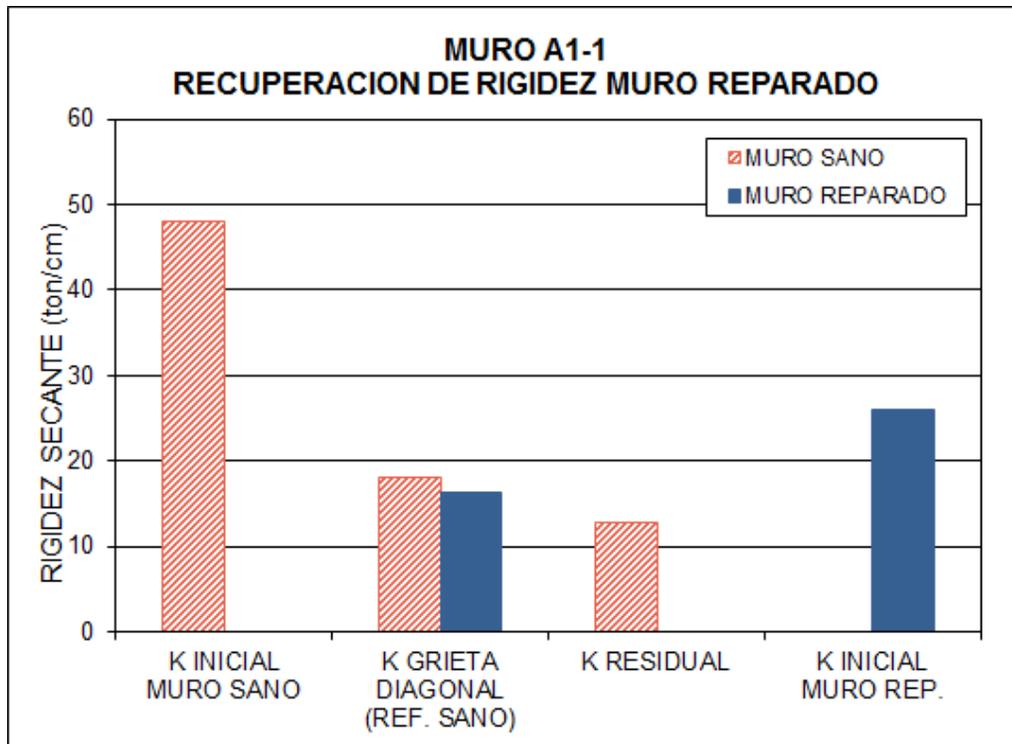


FIGURA 6.24 RIGIDEZ MURO A1-1

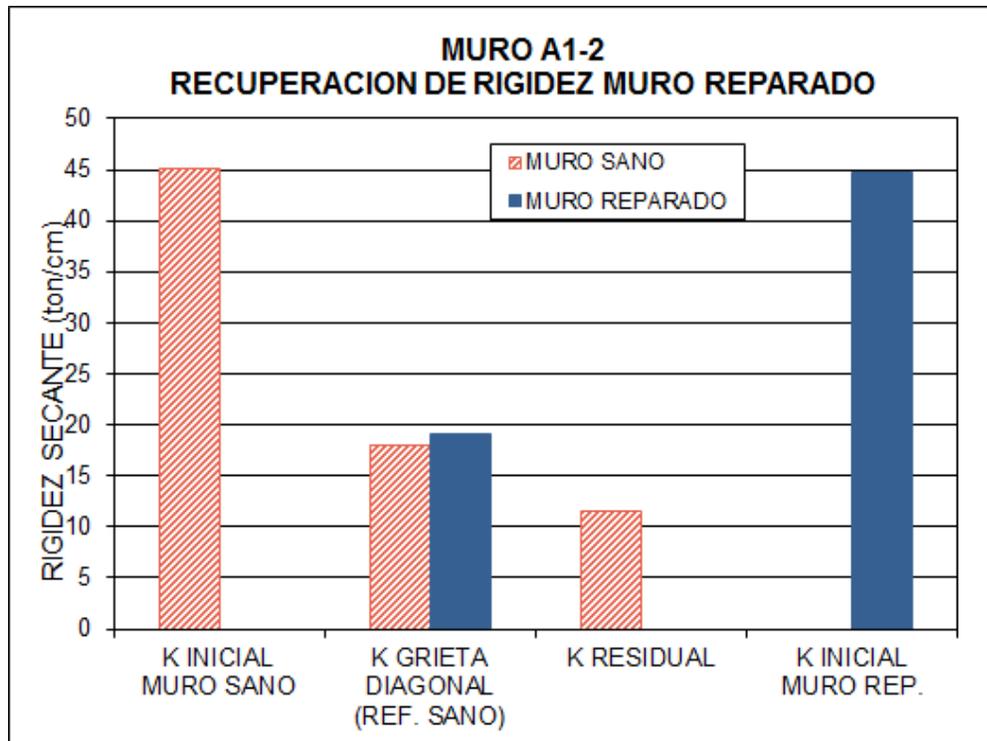


FIGURA 6.25 RIGIDEZ MURO A1-2

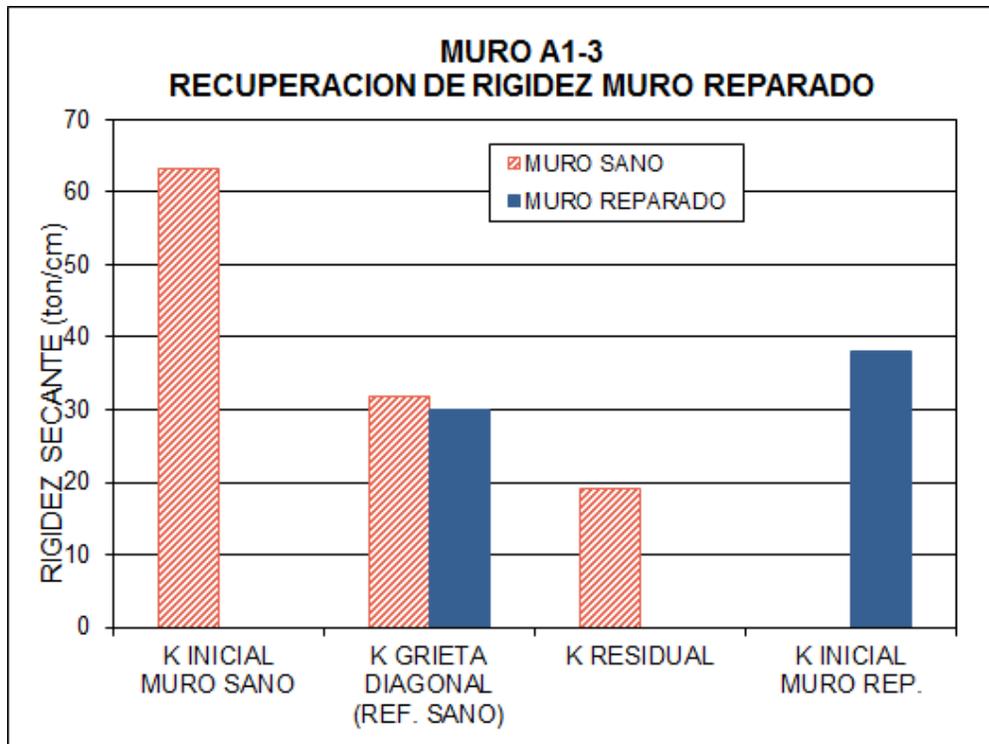


FIGURA 6.26 RIGIDEZ MURO A1-3

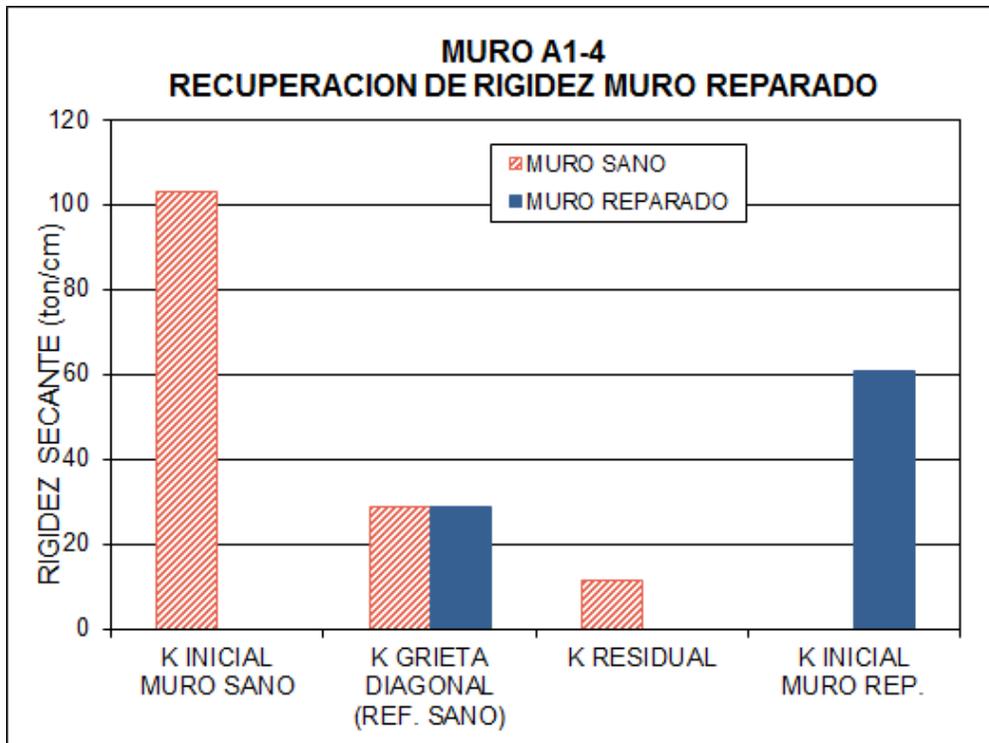


FIGURA 6.27 RIGIDEZ MURO A1-4

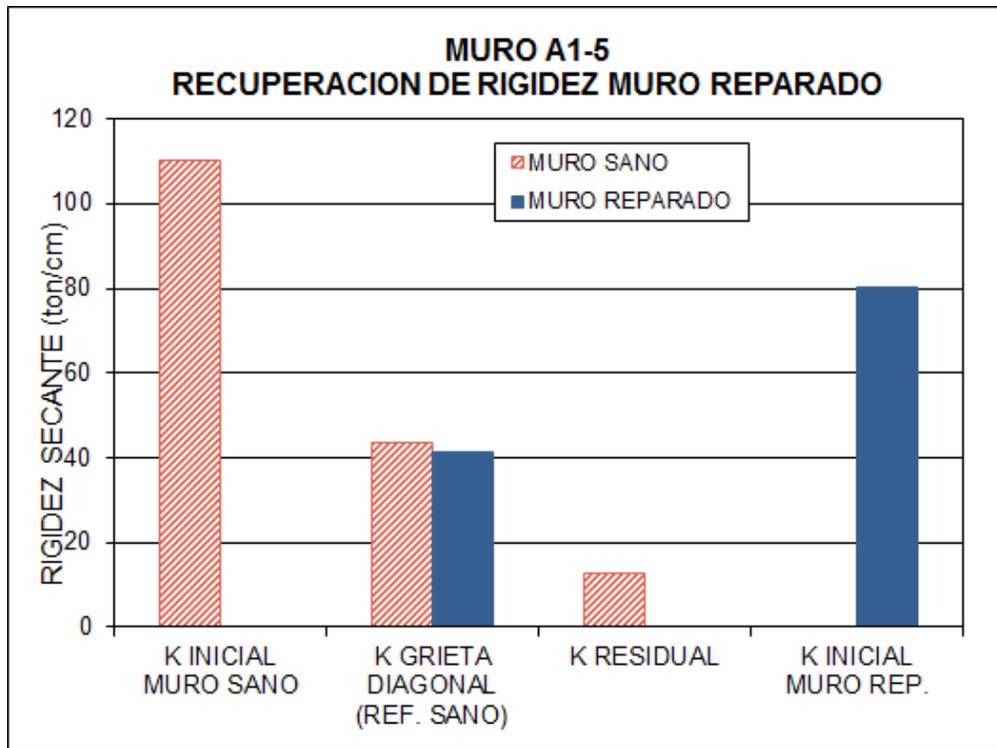


FIGURA 6.28 RIGIDEZ MURO A1-5

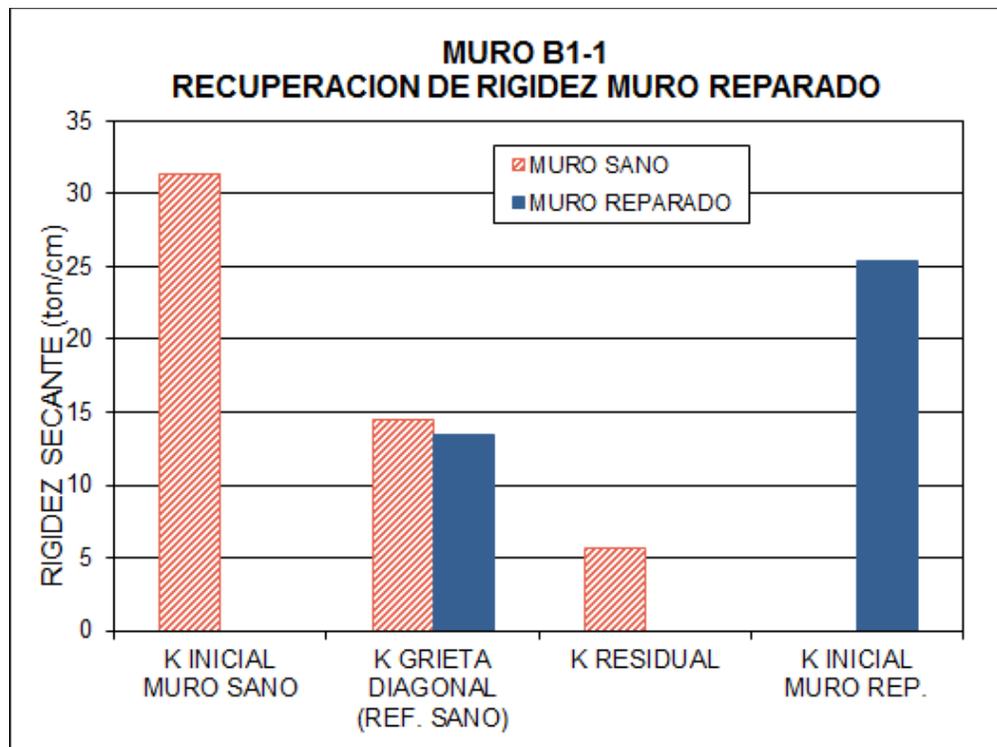


FIGURA 6.29 RIGIDEZ MURO B1-1

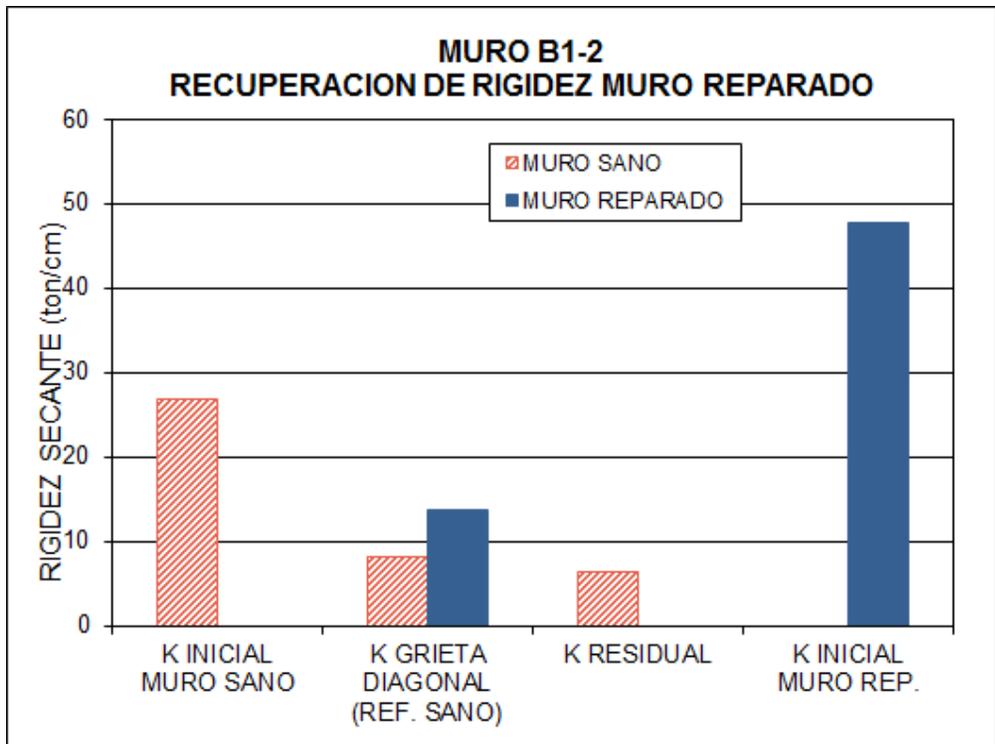


FIGURA 6.30 RIGIDEZ MURO B1-2

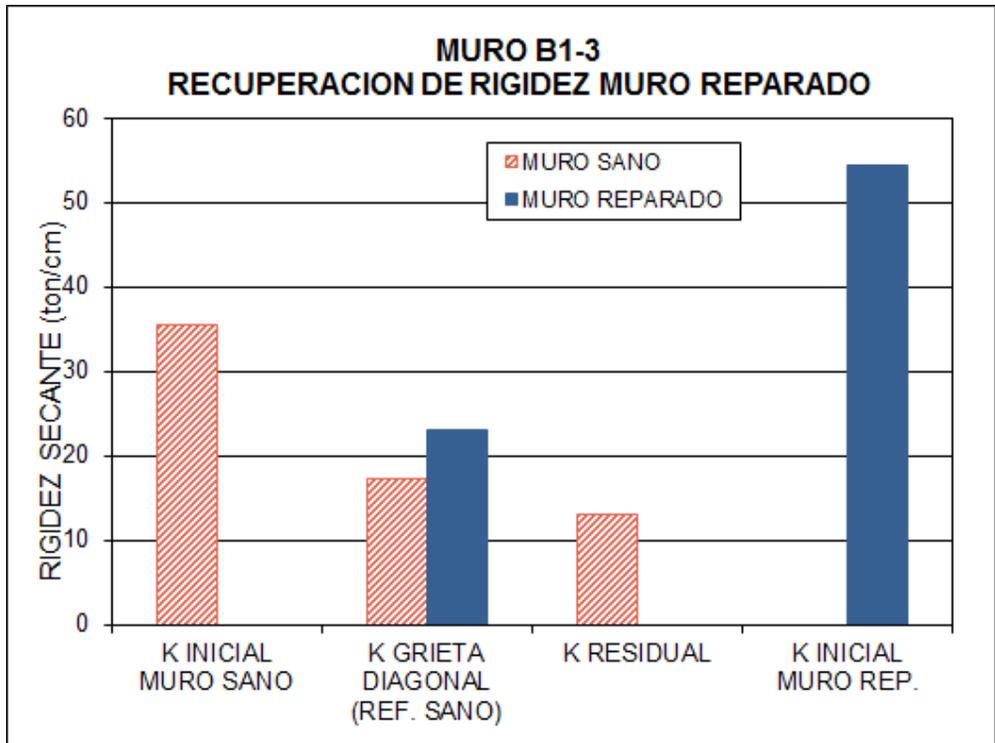


FIGURA 6.31 RIGIDEZ MURO B1-3

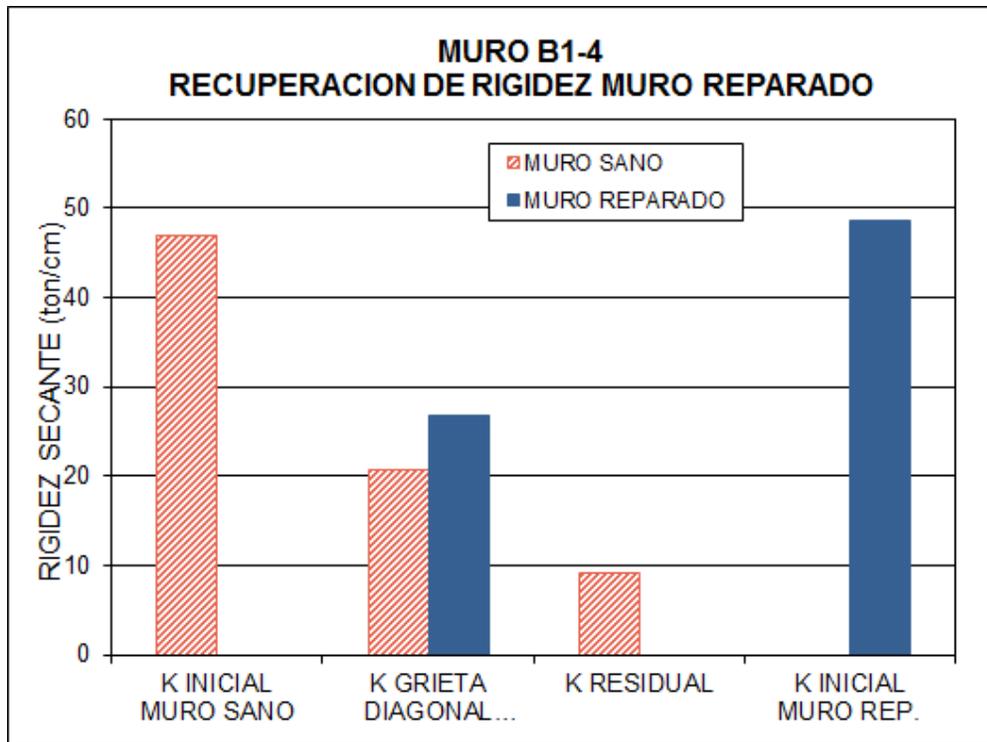


FIGURA 6.32 RIGIDEZ MURO B1-4

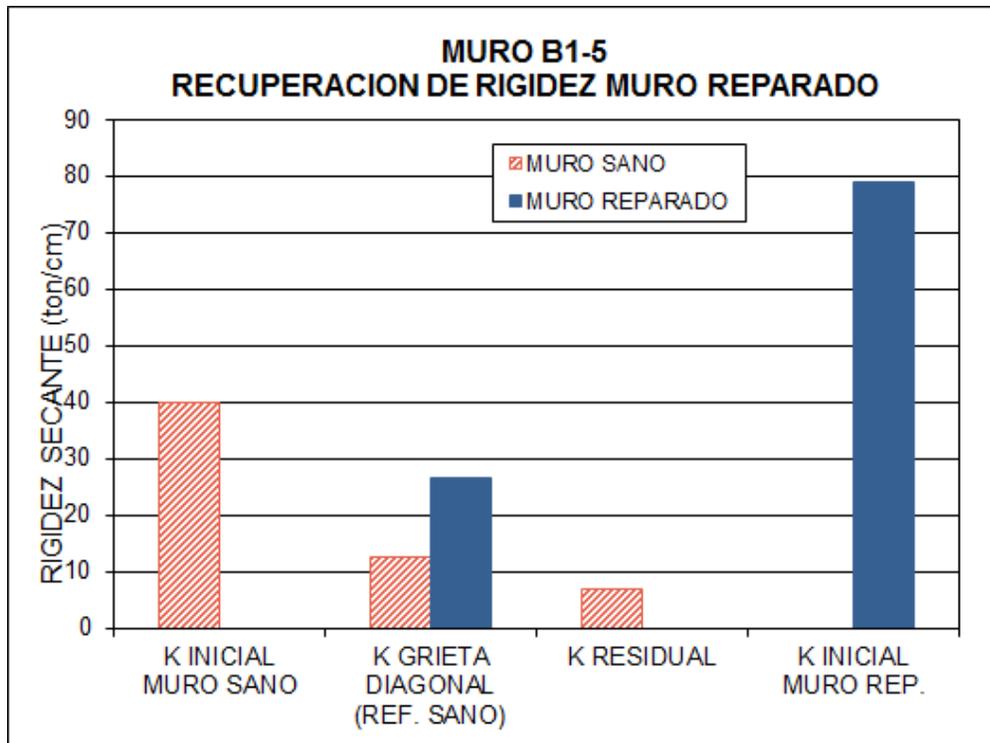


FIGURA 6.33 RIGIDEZ MURO B1-5

6.2.5 EFECTO DEL TIPO DE REPARACIÓN

A continuación, se hace una evaluación de la respuesta de los muros frente a las distintas técnicas de reparación aplicadas.

6.2.5.1 ENCHAPE ARMADO

Las reparaciones realizadas con enchape armado ya sea con estuco o con shotcrete, tienen un comportamiento bastante similar durante los ensayos, no detectándose en la respuesta una diferencia atribuible a un factor que no sea el correspondiente al del nivel de carga vertical aplicada. Esto queda claro al observar el gráfico de la FIGURA 6.34, donde se aprecia una tendencia creciente de la rigidez inicial con la carga vertical aplicada, mientras que no se observa un efecto manifiesto de otros factores, tales como el nivel de daño y el tipo de enchape utilizado.

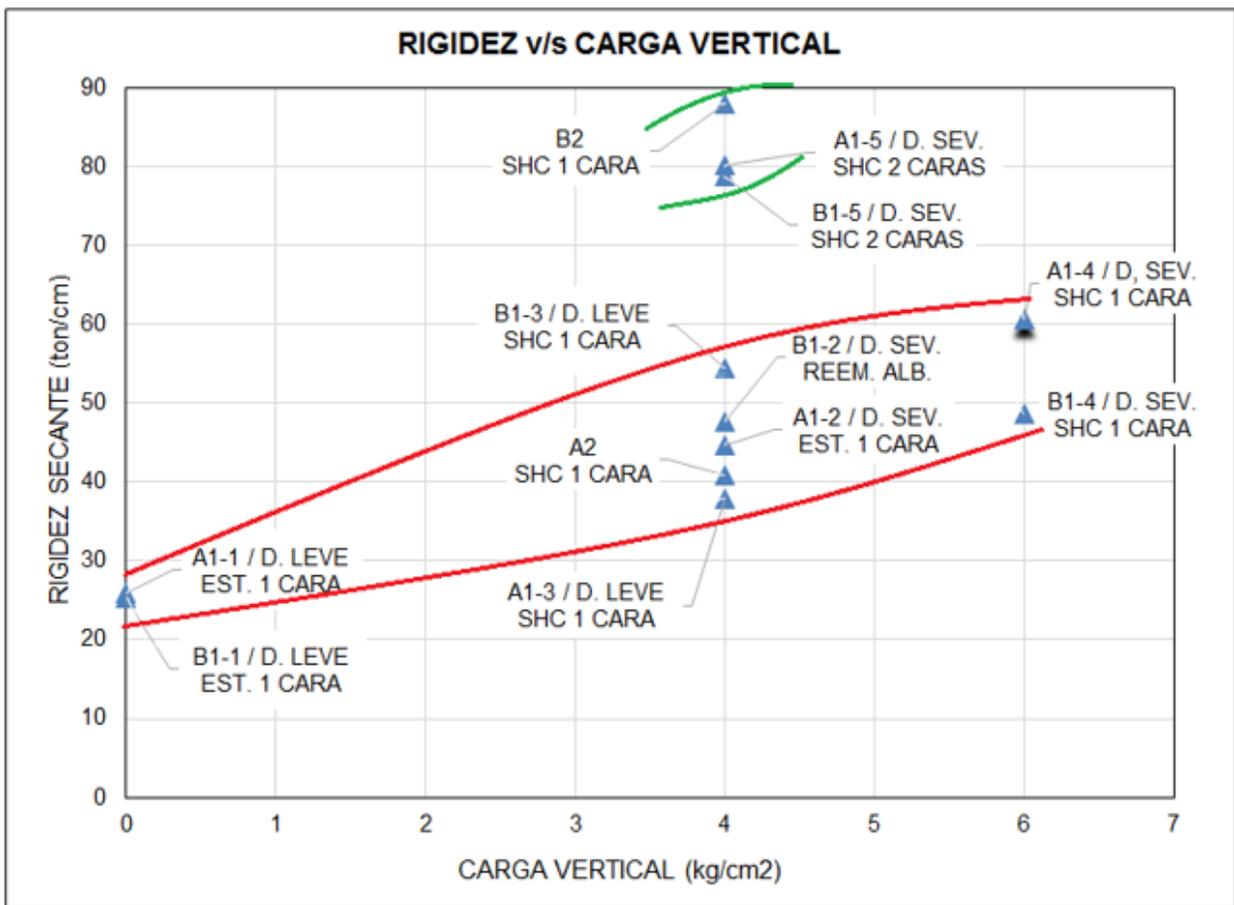


FIGURA 6.34 RIGIDEZ v/s CARGA VERTICAL

Por su parte, las cargas horizontales máximas aplicadas a los muros reparados tampoco muestran sensibilidad al tipo de enchape aplicado, tal como muestra el gráfico de la FIGURA 6.35, resultado esperable dado que el estado límite de los muros reparados está controlado por fallas de tracción y compresión de los pilares, que se asocian con una falla general por flexión, con un deterioro del paño reparado que resulta poco significativo.

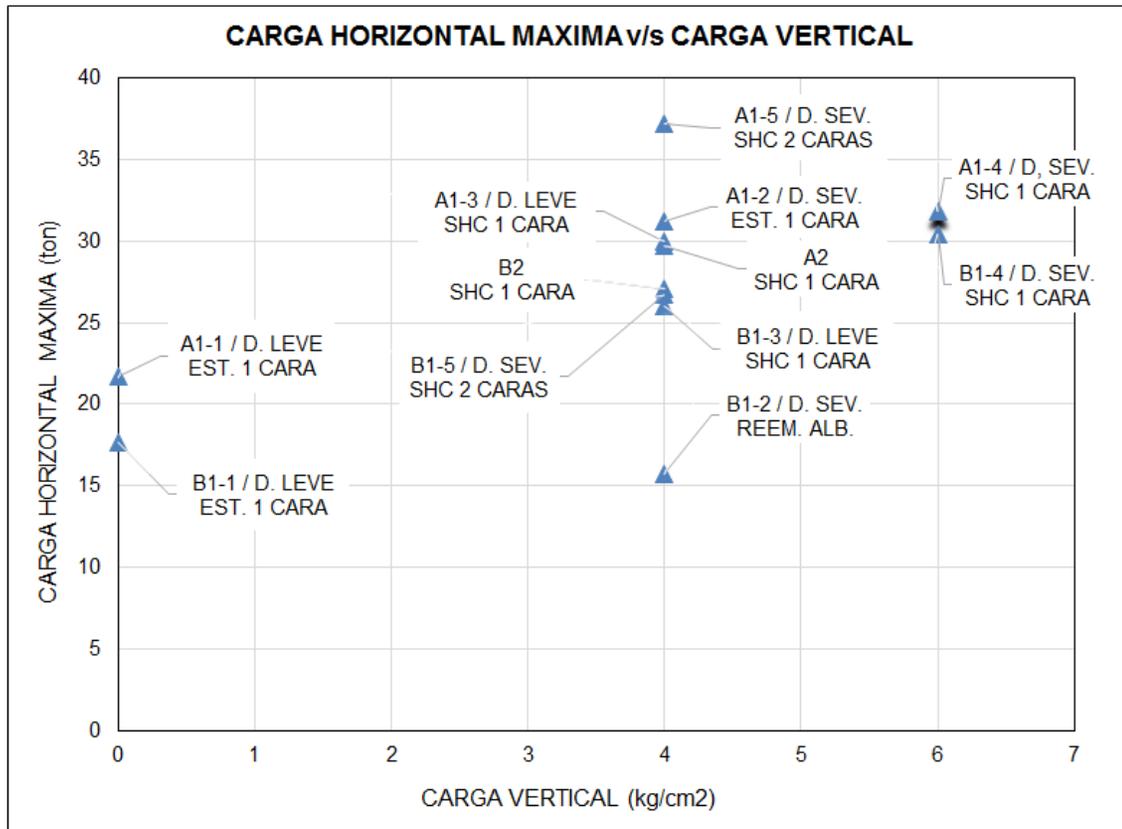


FIGURA 6.35 CARGA HORIZONTAL MAXIMA v/s CARGA VERTICAL

6.2.5.2 REEMPLAZO DEL PAÑO DE ALBAÑILERIA

Los resultados experimentales muestran que esta técnica de reparación tuvo un desempeño eficiente, logrando una rigidez y resistencia superiores a las del muro sano y, además, proveyendo al muro de una capacidad adicional de resistencia y de disipación de energía, con posterioridad al agrietamiento diagonal.

Un factor clave para este desempeño superior está dado por la armadura de refuerzo colocada en la reparación, la que una vez ocurrido el agrietamiento diagonal, fuerza a la redistribución de tensiones en el paño de albañilería, controlando de esta forma la falla frágil.

6.2.5.3 REPARACIONES LOCALES

Las reparaciones locales aplicadas corresponden a:

- Inserción de tacos de mortero en muros reparados con enchape armado
- Demolición y restitución local de hormigón en pilares dañados

En los ensayos a muros reparados estas soluciones locales mantuvieron su integridad, no observándose que hayan sufrido una particular degradación.

Ahora bien, para completar el análisis hay un factor que vale la pena destacar, que es el diferente nivel de idoneidad que estas dos técnicas poseen como método de reparación.

Por un lado, la reparación de pilares mediante demolición y reemplazo de hormigón constituye una técnica ampliamente estudiada y probada desde hace mucho tiempo en el extendido ámbito de las estructuras de hormigón armado. Lo mismo pasa con otras técnicas de reparación de hormigón que sin duda de haber sido aplicadas en este caso, hubiesen exhibido un desempeño eficiente.

Por su parte y a pesar del comportamiento satisfactorio exhibido en este estudio, la colocación de tacos de hormigón tiene algunos aspectos cuestionables que conviene tener presentes, tales como:

- Diferentes propiedades mecánicas del bloque de mortero con respecto al paño de albañilería, lo que redundaría en concentración de tensiones.
- La reparación realizada con un taco de mortero tiene efecto solo sobre una pequeña porción del paño, efecto que se ve anulado en cuanto una línea de falla encuentra una vía alternativa para su propagación.

En el estudio realizado, ninguno de estos factores afectó de una manera perceptible al comportamiento de las reparaciones. Sin embargo, la observación física de los muros durante y luego de los ensayos, tanto como el análisis numérico de los parámetros de resistencia y rigidez desplegados, permiten concluir que la ausencia de efectos asociables a la existencia de tacos de mortero responde principalmente a la capacidad que el enchape tuvo, para absorber y portar prácticamente sin colaboración, la carga externa aplicada. De esta forma, el trabajo al que fueron sometidos los tacos de mortero fue poco significativo.

6.2.5.4 EFECTO DE LA DENSIDAD DE ANCLAJES DE LA ARMADURA

Para estudiar este efecto sobre el comportamiento de los muros reparados con enchape armado, en uno de ellos la malla de refuerzo se fijó a la superficie de la albañilería usando una cantidad mínima de anclajes, suficientes sólo para la fijación de la malla durante la ejecución de la reparación.

El muro escogido es el A1-2, de la serie de albañilería de ladrillos hechos a máquina. La malla se fijó con un total de 9 anclajes distribuidos uniformemente en la superficie.

De esta forma, el tratamiento de la superficie de contacto en este caso está limitado a la imprimación con el puente de adherencia acrílico SIKA TOP 77, al igual que el resto de los muros.

El análisis del comportamiento del muro tanto durante el ensayo como a través de los parámetros de resistencia y rigidez estudiados analíticamente, no permite detectar respuestas diferenciadoras que puedan atribuirse a la particular debilidad impuesta a la interfaz entre este muro y su enchape.

Por otra parte, uno de los principales hallazgos de este trabajo de investigación fue el excelente comportamiento de la interfaz entre muro de albañilería y enchape, observándose en todos los casos gran monolitismo del par, hasta el límite de los rangos de desplazamiento impuestos.

Una comprobación de que este comportamiento fue extensivo a toda el área de interfaz, se tuvo en la etapa de demolición de los muros luego de los ensayos, en la que pudo explorarse en detalle esta superficie, verificándose que luego de la acción de un martillo neumático, los fragmentos de ladrillo en contacto con el enchape permanecieron solidarios a éste.

Así, el efecto que en esta experiencia la densidad de anclajes tiene sobre el desempeño del enchape armado, se considera nulo.

7 CONCLUSION

Se ha planteado como metodología de este trabajo de investigación, el estudio del comportamiento de soluciones de reparación de muros de albañilería de ladrillos frente a la variación de las modalidades de reparación y del nivel de la carga vertical, las que se estiman de importancia para los efectos de reforzar la teoría que permitirá que las reparaciones estudiadas puedan ser llevadas al campo de la aplicación práctica.

El estudio desarrollado ha arrojado resultados valiosos, cuyo alcance se relaciona tanto con la metodología experimental, como con la evidencia reunida a través de los ensayos, que permitirá dar soporte a la aplicación práctica de las técnicas de reparación estudiadas.

En relación con la metodología experimental, se estima que el sistema de ensayo planteado, que incorpora la carga vertical y una carga alternada horizontal, sumado a la utilización de materiales de uso ordinario en construcción y muros de dimensiones representativas de un caso real, logra reproducir en forma bastante cercana, condiciones de servicio reales de un muro estructural de albañilería sometido a cargas sísmicas; por lo tanto, se considera que también los resultados representan con un buen grado de confiabilidad al desempeño real.

Un aspecto que se tuvo bajo observación durante los ensayos fue el posible efecto de la asimetría de la reparación, cuando se usaba enchape por una sola cara, frente al que se esperaba la eventual ocurrencia de desplazamientos fuera del plano del muro, que pudieran producir alguna alteración del ensayo. Sin embargo, lo observado en todos los casos fue una evolución normal del ensayo, sin manifestación perceptible de alguna distorsión, por lo tanto, este efecto se descartó.

Respecto de los resultados relacionados con las reparaciones, se concluye lo siguiente:

A) Efecto del Tipo de Reparación

Todas las reparaciones estudiadas mostraron índices de recuperación significativos en los parámetros de resistencia y rigidez.

En el caso de los muros reparados con enchape, tanto de estuco armado como de shotcrete, para niveles de desplazamiento correspondientes al agrietamiento diagonal de los muros sanos, el índice de recuperación de resistencia es cercano a 100% en promedio para albañilería de ladrillo hecho a máquina, y cercano a 135% en promedio, para albañilería de ladrillo del tipo chonchón.

Al comparar las cargas máximas, el índice de recuperación alcanzado por los muros reparados con enchape llega a 173% en promedio para muros de ladrillo hecho a máquina, y a 235% en promedio para muros de ladrillo tipo chonchón.

La diferencia observada en la recuperación de resistencia de muros reparados, al comparar muros de ladrillo hecho a máquina con aquellos de unidad tipo chonchón, obedece a la modificación del tipo de falla predominante entre los ensayos a muros sanos y los ensayos a muros reparados. Dado que en los ensayos a muros reparados, la resistencia en niveles avanzados de desplazamiento está controlada por la capacidad de los pilares para resistir el par de fuerzas de flexión, la mayor resistencia mostrada por los muros de unidad hecha a máquina responde a la mayor cuantía de armadura involucrada en la absorción de ese par.

Por su parte, la reparación a base de reemplazo del paño de albañilería realizada sobre uno de los muros, mostró un índice de recuperación de resistencia, de 120% en el nivel de agrietamiento diagonal y de 131% en el nivel de resistencia máxima; incrementos que se atribuyen a la presencia del refuerzo horizontal de escalerillas de acero.

En relación con la rigidez horizontal, también se observa una importante recuperación en el nivel de pequeños desplazamientos, fluctuando en el rango entre 54% y 99% en los muros de la serie A, y entre 81% y 197%, en los muros de la serie B. En niveles de desplazamiento correspondientes a al agrietamiento diagonal, esta recuperación es cercana a 100% en todos los muros de la serie A, mientras que en la serie B la recuperación fluctúa entre 93% y 210%, observándose dependencia del nivel de carga vertical aplicado.

Se concluye que las técnicas seleccionadas para las reparaciones restituyen efectivamente las propiedades originales de resistencia y rigidez de los muros, y que en el caso de las reparaciones realizadas con enchape armado, el incremento de resistencia al corte aportado al paño es de una magnitud tal que el tipo de falla predominante, que en los muros sanos correspondía a la falla por corte de la albañilería, es reemplazado en los muros reparados por la falla de flexión.

Dado que las condiciones de cálculo de este tipo de muros son alteradas por el cambio del tipo de falla, se considera que este sería un efecto en general indeseable en una aplicación práctica y, por lo tanto, es un factor a estudiar en detalle. Una profundización del presente estudio, que considere por ejemplo una sensibilización del espesor del enchape, permitiría desarrollar el conocimiento faltante para establecer una técnica de reparación adecuadamente dimensionada, de forma tal de restituir en forma más exacta las propiedades originales de los muros y, en consecuencia, tener controlada la respuesta que exhibirán frente a un nuevo evento solicitante.

Por su parte, el reemplazo del paño de albañilería como técnica de reparación, demostró ser una solución de gran efectividad en la recuperación de las propiedades resistentes, pero, además, otorgó al muro una significativa capacidad post-agrietamiento que anuló el efecto de falla frágil de la albañilería.

Considerando la simplicidad de su ejecución al usar materiales y técnicas constructivas similares a las del muro original, sumada a los resultados anteriores, se estima que esta técnica de reparación está validada por el Estudio y representa una solución práctica que puede ser directamente aplicable a casos reales.

B) Efecto de la Carga Vertical

En los muros reparados, dado que la falla en el estado último es del tipo Flexión, es decir por giro global, en todos los casos, la carga vertical tiende a controlar los niveles de carga máxima alcanzada, llegando a resultados consistentes con la teoría.

No fue posible registrar efecto significativo de la carga vertical sobre la resistencia al corte de los muros reparados, dado que la aparición de la falla de flexión condicionó el perfil del patrón de agrietamiento.

C) Efecto del Tratamiento de la Interfaz entre Albañilería y Enchape

El comportamiento observado de la adherencia del enchape a la superficie de los muros es eficiente en todos los casos.

A través de una prueba en uno de los muros, se trató de visualizar algún efecto de la densidad de anclajes de la armadura de refuerzo del enchape, efecto que, de acuerdo a la observación del comportamiento mostrado por ese muro, no tuvo una manifestación perceptible.

D) Efecto del Nivel de Daño Inducido

No se detecta en las reparaciones realizadas, una relación con el nivel de daño impuesto a los muros sanos.

En el caso de las reparaciones con enchape, esto se explica por la gran capacidad mostrada por éste para absorber prácticamente sin colaboración de la estructura remanente de albañilería, las cargas impuestas durante los ensayos.

Por otra parte, el daño provocado en pilares también estuvo controlado, ya que fue en general recuperado a través de técnicas de reparación de hormigón, las que mostraron un desempeño efectivo.

E) Aplicación Práctica de las Soluciones Estudiadas

Las técnicas de reparación abordadas por este estudio constituyen opciones cuyo diseño y ejecución práctica son simples; por una parte, utilizan materiales convencionales ampliamente conocidos en la industria de la construcción y por otra, no requieren de personal ni equipamiento particularmente especializado para su aplicación.

En la actualidad se dispone de otras técnicas que reparación o de refuerzo, como por ejemplo aquellas a base de fibras poliméricas aplicadas sobre la superficie de una estructura. Sin perjuicio de que estas soluciones han mostrado un alto grado de efectividad, una de sus limitaciones radica en el grado de especialización de los recursos requeridos para su implementación, lo cual acota su potencial de aplicación en un grado masivo en una situación de emergencia.

Frente a la masividad del daño a estructuras que puede esperarse como consecuencia de un sismo futuro, especialmente en las zonas menos afectadas por sismos recientes de gran magnitud y donde aún existen estructuras con un alto grado de vulnerabilidad, cobra importancia la validación de técnicas de reparación con las características de las estudiadas aquí, que, luego de la ocurrencia de un sismo, puedan en un corto periodo de tiempo ser definidas e implementadas como solución efectiva para un significativo porcentaje de las edificaciones que hubiesen sufrido daño, especialmente en el ámbito habitacional.

Este estudio ha entregado resultados valiosos tanto respecto de la respuesta estructural, como de la forma de llevar a cabo una reparación efectiva; por lo tanto, se estima que un pequeño impulso adicional orientado a la normalización de estas técnicas a nivel de la industria, permitiría concretar el propósito original de esta investigación y sería de gran utilidad futura.

BIBLIOGRAFIA

1. Herrera, E. “Efecto de la Carga Vertical en el Comportamiento de Muros de Albañilería Reforzada Sometidos a Carga Lateral Alternada”. Memoria para optar al Título de Ingeniero Civil. U. de Chile, 1992.
2. Gómez, E.; Olivares, J. “Estudio Experimental de Reparación de Muros de Albañilería”, Publicación Revista del IDIEM. V.16 1977.
3. Águila, V. “Estudio Experimental de Sistemas de Reparación Para Elementos de Albañilería”. Memoria para optar al Título de Ingeniero Civil. U. de Chile, 1988.
4. Diez, J. “Estudio Experimental de Muros de Albañilería Sometidos a Carga Lateral Alternada”. Memoria para optar al Título de Ingeniero Civil, Universidad de Chile, 1987.
5. Torres, O. “Evaluación de Propiedades de Hormigones Sometidos a la Acción del Fuego”. Memoria para optar al Título de Ingeniero Civil, Universidad de Chile, 1984.
6. Lüders, C. “Análisis de Daños y Métodos de Recuperación Estructural”. Jornadas de Diseño Sismorresistente de Edificios. Centro Extensión Pontificia Universidad Católica de Chile, 1991.
7. Olivares, J. “Estudio Experimental de Reparación de Muros de Albañilería”. Memoria para optar al Título de Ingeniero Civil, Universidad de Chile, 1977.
8. Michelini, R., Olivencia, L., Forni, D., Maldonado, L. “Comportamiento ante Acciones Horizontales de Mamposterías Reparadas”, 4ª Jornadas Chilenas de Sismología e Ingeniería Antisísmica, Viña del Mar, Chile, Abril 1986.
9. Medrano, W., San Bartolomé, A. “Reparación en Muros de Albañilería Confinada, Estudio Experimental”. Pontificia Universidad Católica del Perú.
10. Kahn, L.F. “Shotcrete Retrofit for Unreinforced Brick Masonry”, Proceeding of the Eighth World Conference on Earthquake Engineering, Vol 1, July 21 – 28, 1984, San Francisco, California, USA.
11. Yokel, F. and Fattal, S.G. “Failure Hypothesis for Masonry Shear Walls”. Proceedings, ASCE, V. 102, ST3, Mar 1976.

12. Astroza, M, Delfín, F., Fernández, G. “Estudio Experimental de la Resistencia al Corte de la Albañilería con Unidades Cerámicas del Tipo Rejilla con Hueco”. 4^as Jornadas Chilenas de Sismología e Ingeniería Antisísmica, Viña del Mar, Chile, Abril 1986.
13. Pablo Alcaíno, Hernán Santa María. “Resistencia al Corte de Muros Reforzados Exteriormente con Fibras” XXXIII Jornadas Sudamericanas de Ingeniería Estructural. Santiago, Mayo 2008.

14. NORMAS CHILENAS

- NCh 158 Cemento. Ensayo de Flexión y Compresión de Mortero de Cemento
- NCh 163 Calidad y Composición Granulométrica de los Agregados Pétreos para Hormigones.
- NCh 171 Extracción de Muestras de Hormigón Fresco.
- NCh 429 Hormigón Armado
- NCh 1019 Determinación de la Docilidad de Hormigones.
- NCh 1037 Ensayo de Probetas Cúbicas y Cilíndricas de Hormigón.
- NCh 1116 Áridos para Mortero y Hormigones. Determinación de la Densidad Aparente.
- NCh 1239 Áridos para Morteros y Hormigones. Determinación de la Densidad Real, Neta y de la Absorción de Agua de las Arenas.
- NCh 1564 Hormigón. Determinación de la Densidad Aparente, del Rendimiento, del Contenido de Cemento y del Contenido de Aire del Hormigón Fresco.
- NCh 1928 Albañilería Armada. Requisitos para el Diseño y Cálculo.

15. NORMAS ASTM

- ASTM C67-80a Sampling and Testing Brick and Structure Clay Tile.
- ASTM C91-78 Masonry Cements.

- ASTM C109-80 Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (using 2 inch or 50 mm cube specimens)
- ASTM C144-76 Aggregate for Masonry Mortar.
- ASTM C230-68 Standard Specification for Flow Table for Use in Tests of Hydraulic Cement.
- ASTM C305-80a Mortar for Unit Masonry.
- ASTM C404-76 Aggregate for Masonry Grout.
- ASTM C476-80 Mortar and Grout for Reinforced Masonry.
16. ACI 506.2-77 Specification for Materials, Proportioning and Application of Shotcrete. ACI Manual of Concrete Practice, 1984, Part 5.
17. ACI 506-66 Recommended Practice for Shotcreting. ACI Manual of Concrete Practice, 1984, Part 5.

ANEXO A

RESULTADOS EXPERIMENTALES

RESULTADOS MURO A1-1 SANO

CV = 0 ton

CARGA P	DEF HORIZ X (mm)	CICLO	OBSERVACIONES	TENSION CORTE P/A (kg/cm ²)	DIST. ANGULAR 1/X/h	DEF. UNIT. DE CORTE σ	MODULO DE CORTE G (kg/cm ²)	RIGIDEZ SECANTE Ka (kg/cm)	RIGIDEZ ORIGEN Ko (kg/cm)
0,000	0,000								
4,659	0,846	A(1)		1,386	2837	0,000095	14638	55066	55066
0,000	0,149								
4,183	-0,876	A(-1)		1,245	-2740	-0,000092	-13514	-40807	-47748
0,250	-0,660								
0,125	-0,321								
5,034	0,873	A(2)		1,461	2749	0,000100	14633	41114	57666
0,000	0,206								
4,183	-0,876	A(-2)		1,245	-2740	-0,000084	-14802	-38657	-47748
0,000	-0,614								
5,159	0,922	A(3)		1,536	2603	0,000114	13460	33590	55960
0,376	0,419								
0,626	0,580								
4,183	-0,876	A(-3)		1,058	-2740	-0,000069	-15298	-24427	-47748
0,000	-0,485								
8,466	2,106	B(1)		2,520	1140	0,000206	12209	32673	40197
0,626	0,723								
0,250	0,548								
7,864	-2,411	B(-1)	1a Grieta flexión (-)	2,266	-995	-0,000206	-11003	-25732	-32619
0,000	-0,935								
8,215	2,246	B(2)	1a Grieta flexión (+)	2,445	1069	0,000218	11202	25825	36577
0,626	0,853								
0,125	0,482								
7,364	-2,327	B(-2)		2,154	-1031	-0,000193	-11149	-25768	-31644
0,125	-0,814								
8,215	2,261	B(3)		2,408	1061	0,000218	11038	26308	36334
0,000	0,675								
6,762	-2,238	B(-3)		2,013	-1072	-0,000180	-11203	-23215	-30216
0,125	-0,826								
11,546	3,569	C(1)	1a Grieta corte (+)	3,399	672	0,000537	6334	25986	32351
0,125	1,360								
10,795	-3,864	C(-1)		3,175	-621	-0,000452	-7018	-20424	-27937
0,125	-1,875								
10,570	3,793	C(2)		3,138	633	0,000655	4789	18603	28130
0,000	1,049								
10,544	-4,080	C(-2)		3,138	-588	-0,000468	-6710	-20558	-25844
0,125	-2,081								
10,920	3,763	C(3)		3,213	638	0,000730	4402	18472	29020
0,000	1,179								
10,194	-4,034	C(-3)		3,034	-595	-0,000479	-6333	-19554	-25270

RESULTADOS MURO A1-1
SANO CV = 0 ton

2/2

CARGA P (ton)	DEF HORIZ X (mm)	CICLO	OBSERVACIONES	TENSION CORTE P/A (kg/cm ²)	DIST. ANGULAR 1/X/h	DEF. UNIT. DE CORTE δ	MODULO DE CORTE G (kg/cm ²)	RIGIDEZ SECANTE Ka (kg/cm)	RIGIDEZ ORIGEN Ko (kg/cm)
0,125	-1,673								
13,249	5,057	D(1)	Agrietamiento	3,906	475	0,001085	3600	19501	26200
0,000	3,067		diagonal (+)						
12,773	-5,672	D(-1)		3,802	-423	-0,002040	-1864	-14616	-22519
0,125	-2,105								
9,818	6,625	D(2)		2,885	362	0,004021	717	11103	14820
0,000	2,468								
12,273	-6,086	D(-2)		3,653	-394	-0,002170	-1683	-14347	-20165
0,000	-2,228								
9,317	6,986	D(3)		2,773	344	0,004442	624	10112	13337
0,852	3,500								
0,977	-0,494								
14,978	-9,453	D(-3)	Agrietamiento	4,167	-254	-0,001568	-2657	-15628	-15845
0,000	-2,280		diagonal (-)						

RESULTADOS MURO A1-2 SANO

CV = 8 ton

2/2

CARGA P (ton)	DEF HORIZ X (mm)	CICLO	OBSERVACIONES	TENSION CORTE P/A (kg/cm ²)	DIST. ANGULAR 1/X/h	DEF. UNIT DE CORTE δ	MODULO DE CORTE G (kg/cm ²)	RIGIDEZ SECANTE Ka (kg/cm)	RIGIDEZ ORIGEN Ko (kg/cm)
-17,229 0,000	-7,936 -0,786	D(-1)	1a Grieta flexión (-)	-5,091	-302	-0,001766	2882	17474	21711
15,558 0,000	8,187 1,404	D(2)	1a Grieta flexión (+)	4,630	293	0,002304	2010	17339	19003
-16,640 0,000	-8,054 -0,843	D(-2)		-4,952	-298	-0,001612	3073	17593	20660
15,189 -0,713	8,065 1,095	D(3)		4,521	298	0,002291	1974	17051	18834
-16,271 0,713	-7,798 -0,551	D(-3)		-4,630	-308	-0,001567	2954	17495	20865
16,640 -1,450	10,968 1,775	E(1)		4,740	219	0,004674	1014	13826	15171
-19,294 0,467	-9,999 -2,642	E(-1)	Agrietamiento diagonal (-)	-5,311	-240	-0,002754	1928	15155	19296
17,008 -0,467	11,073 1,841	E(2)		4,923	217	0,009551	515	12061	15360
-15,189 0,590	-11,249 -2,131	E(-2)		-4,382	-213	-0,013910	315	11247	13503
16,885 -1,671	11,081 1,310	E(3)		4,850	217	0,010270	472	12334	15238
-15,189 -0,959	-11,249 -1,598	E(-3)		-4,023	-213	-0,014730	273	10764	13503

RESULTADOS MURO A1-4 SANO

1/2

CV = 16 ton

CARGA P	DEF HORIZ X (mm)	CICLO	OBSERVACIONES	TENSION CORTE P/A (kg/cm ²)	DIST. ANGULAR 1/X/h	DEF UNIT. DE CORTE σ	MODULO DE CORTE G (kg/cm ²)	RIGIDEZ SECANTE Ka (kg/cm)	RIGIDEZ ORIGEN Ko (kg/cm)
0,175	0,016								
9,08	0,877	A(1)		2,702	2737	-0,00021	-12441	103426	103535
-0,463	0,118								
-8,958	-0,711	A(-1)		-2,666	-3376	0,000183	-13741	102473	125992
3,456	0,152								
9,202	0,88	A(2)		2,739	2727	-0,00038	-4389	78929	104568
-2,264	0,07								
-10,012	-0,643	A(-2)		-2,980	-3733	0,000223	-10321	108668	155708
2,873	0,136								
9,543	0,853	A(3)		2,840	2814	-0,00015	-12809	93026	111876
-1,68	0,097								
-9,421	-0,731	A(-3)		-2,804	-3283	0,000163	-14059	93490	128878
2,02	0,08								
15,507	2,606	B(1)	1a Grieta	4,615	921	-0,00047	-8437	53393	59505
-1,68	0,512		flexión (+)						
-15,871	-2,355	B(-1)	1a Grieta	-4,724	-1019	0,000599	-7040	49498	67393
3,579	0,314		flexión (-)						
14,557	2,481	B(2)		4,332	967	-0,00052	-6283	50660	58674
-3,335	0,101								
-15,165	-2,204	B(-2)		-4,513	-1089	0,000451	-7803	51323	68807
3,456	0,303								
14,435	2,654	B(3)	1a Grieta	4,296	904	-0,00049	-6631	46699	54390
-2,264	0,314		de corte (+)						
-15,409	-2,417	B(-3)		-4,586	-993	0,000661	-5918	48133	63753
2,264	0,189								
16,358	5,584	C(1)	Agrietamiento	4,868	430	-0,00188	-2224	26124	29294
-1,314	1,978		diagonal						
-18,501	-5,023	C(-1)	Agrietamiento	-5,506	-478	0,004410	-1160	24549	36833
2,507	-0,094		diagonal (-)						
14,922	5,834	C(2)		4,441	411	-0,00400	-924	20943	25578
-1,558	-1,708								
-16,943	-4,925	C(-2)		-5,043	-487	0,004674	-980	47824	34402
1,314	-0,368								
13,972	5,805	C(3)		4,158	413	-0,00496	-758	20505	24069
-1,314	-1,704								
-16,48	-5,058	C(-3)		-4,905	-474	0,004972	-908	45218	32582
1,558	-0,433								
15,628	8,834	D(1)		4,651	272	-0,00705	-594	15183	17691
-2,386	2,984								
17,308	-7,677	D(-1)		-5,151	-313	0,007693	-577	13997	22545

RESULTADOS MURO A1-5 SANO

1/2

CV = 16 ton

CARGA P	DEF. HORIZ. X (mm)	CICLO	OBSERVACIONES	TENSION CORTE T (kg/cm ²)	DIST. ANGULAR 1/X/h	DEF. UNIT. DE CORTE δ	MODULO DE CORTE G (kg/cm ²)	RIGIDEZ SECANTE Ka (kg/cm)	RIGIDEZ ORIGEN Ko (kg/cm)
1,122	0,053								
9,382	0,707	A(1)		2,792	3395	0,000189	12986	126300	132702
-3,365	-0,184								
-7,623	-0,637	A(-1)		-2,269	-3768	-0,000073	17312	93982	119663
0,000	0,055								
8,999	0,866	A(2)		2,678	2771	0,000194	13783	110964	103917
-0,510	0,091								
-7,623	-0,656	A(-2)		-2,269	-3659	-0,000165	12795	95216	116197
0,127	0,058								
9,127	0,900	A(3)		2,716	2667	0,000202	13291	106879	101407
-0,612	0,076								
-7,750	-0,651	A(-3)		-2,307	-3687	-0,000164	12990	98186	119048
1,759	0,377								
17,106	1,962	B(1)		5,091	1223	0,000451	10138	96827	87187
-1,504	0,304								
-15,118	-1,818	B(-1)		-4,499	-1320	-0,000464	8736	64154	83155
0,994	0,030								
17,616	2,153	B(2)		5,243	1115	0,000586	8444	78293	81820
0,000	0,486								
-15,118	-1,875	B(-2)		-4,499	-1280	-0,000543	8281	64030	80627
1,377	0,165								
16,749	2,116	B(3)		4,985	1134	0,000550	8321	78793	79155
-1,504	0,285								
-15,118	-1,875	B(-3)		-4,499	-1280	-0,000469	8633	63025	80627
2,116	0,296								
20,497	3,925	C(1)	Agrietamiento diagonal (+)	6,100	611	0,001527	3581	50650	52221
-3,748	0,890								
-18,993	-5,223	C(-1)	Agrietamiento diagonal (-)	-5,653	-460	-0,005224	868	24939	36363
1,249	-0,982								
17,004	5,400	C(2)		5,061	444	0,006696	700	24687	31489
0,000	1,458								
-17,871	-5,000	C(-2)		-5,319	-480	-0,006454	824	27672	35742
1,632	-0,497								
16,494	5,575	C(3)		4,909	430	0,006889	642	24479	29586
-0,382	1,082								
-17,234	-4,962	C(-3)		-5,129	-484	-0,006307	795	27881	34731
1,504	-0,463								
18,253	7,178	D(1)		5,433	334	0,009552	522	21920	25429
0,000	2,840								
-19,375	-6,006	D(-1)		-5,766	-400	-0,013217	436	21903	32259

RESULTADOS MURO B1-2 SANO

CV = 8 ton

2/2

CARGA P (ton)	DEF HORIZ X (mm)	CICLO	OBSERVACIONES	TENSION CORTE T (kg/cm ²)	DIST. ANGULAR. 1/X/h	DEF. UNIT. DE CORTE δ	MODULO DE CORTE G (kg/cm ²)	RIGIDEZ SECANTE Ka (kg/cm)	RIGIDEZ ORIGEN Ko (kg/cm)
11,039	8,597	D(2)		3,285	279	0,001828	1760	11115	12841
-0,481	2,554								
-9,672	-8,666	D(-2)		-2,879	-277	-0,001612	1697	8191	11161
0,734	-0,695								
10,406	8,527	D(3)		3,097	281	0,001741	1653	10488	12204
-0,861	2,331								
-9,292	-8,653	D(-3)		-2,766	-277	-0,001500	1673	7676	10739
0,101	-0,647								
11,900	11,121	E(1)	Agrietamiento diagonal (+)	3,542	216	0,002071	1696	10026	10700
0,000	4,673								
-10,659	-11,251	E(-1)		-3,172	-213	-0,001392	2280	6694	9474
0,101	-1,059								
9,039	11,641	E(2)		2,690	206	0,002688	990	7038	7765
-0,127	4,442								
-10,406	-11,508	E(-2)		-3,097	-209	-0,002974	1029	6445	9043
0,000	-0,954								
9,166	12,391	E(3)		2,728	194	0,003726	732	6868	7397
-0,734	3,818								
-12,027	-14,873	E(-3)	Agrietamiento diagonal (-)	-3,579	-161	-0,003332	1009	6042	8086

RESULTADOS MURO B1-3 SANO

CV = 16 ton

CARGA P (ton)	DEF HORIZ X (mm)	CICLO	OBSERVACIONES	TENSION CORTE T (kg/cm ²)	DIST. ANGULAR 1/X/h	DEF. UNIT. DE CORTE ϵ	MODULO DE CORTE G (kg/cm ²)	RIGIDEZ SECANTE Ka (kg/cm)	RIGIDEZ ORIGEN Ko (kg/cm)
0,000	0,000								
4,532	1,134	A(1)		1,349	2116	0,000288	4678	39965	39965
-0,220	0,505								
-4,642	-0,929	A(-1)		-1,382	-2583	-0,000447	2944	30837	49968
0,000	0,053								
3,564	1,000	A(2)		1,061	2400	0,000246	4308	37635	35640
0,000	0,427								
-4,532	-0,875	A(-2)		-1,349	-2743	-0,000326	4132	34808	51794
0,000	0,107								
3,564	1,000	A(3)		1,061	2400	0,000224	4743	39910	35640
0,000	0,332								
-4,642	-0,968	A(-3)		-1,382	-2479	-0,000323	4284	35708	47955
0,000	0,107								
7,986	2,777	B(1)		2,377	864	0,000823	2889	29910	28758
-0,858	0,551								
-7,986	-3,067	B(-1)	1a Grieta de corte (-)	-2,377	-783	-0,000985	2153	19701	26038
0,000	-0,473								
8,206	2,847	B(2)		2,442	843	0,001032	2367	24717	28823
0,000	0,614								
-7,436	-3,044	B(-2)		-2,213	-788	-0,000947	2337	20328	24428
0,000	-0,473								
8,206	2,862	B(3)	1a Grieta de corte (+)	2,442	839	0,001026	2381	24606	28672
-0,550	0,241								
-7,766	-3,317	B(-3)		-2,311	-724	-0,000935	2298	20281	23413
0,000	-0,526								
11,440	5,921	C(1)	Agrietamiento diagonal (+)	3,405	405	0,003611	943	17745	19321
-1,738	1,501								
-11,110	-5,945	C(-1)	Agrietamiento diagonal (-)	-3,307	-404	-0,002994	932	12587	18688
0,968	-0,769								
10,780	5,873	C(2)		3,208	409	0,004045	722	14773	18355
-1,826	1,177								
-10,780	-6,330	C(-2)		-3,208	-379	-0,003132	851	11928	17030
1,078	-0,636								
10,582	5,048	C(3)		3,149	397	0,004018	704	14219	17497
-1,738	1,089								
-10,252	-6,144	C(-3)		-3,051	-391	-0,003119	812	11771	16686

RESULTADOS MURO B1-4 SANO

CV = 16 ton

2/2

CARGA P (ton)	DEF. HORIZ. X (mm)	CICLO	OBSERVACIONES	TENSION CORTE T (kg/cm ²)	DIST. ANGULAR 1/X/h	DEF. UNIT. DE CORTE x	MODULO DE CORTE G (kg/cm ²)	RIGIDEZ SECANTE Ka (kg/cm)	RIGIDEZ ORIGEN Ko (kg/cm)
14,465	8,691	D(2)		4,305	276	0,010823	375	12254	16644
-0,342	0,757								
-12,563	-8,684	D(-2)		-3,739	-276	-0,019088	191	12945	14466
1,073	-2,729								
14,124	8,574	D(3)		4,204	280	0,011726	331	11546	16473
-0,463	0,341								
-12,075	-8,871	D(-3)		-3,594	-271	-0,018123	191	12605	13612
0,707	-3,078								
15,197	11,059	E(1)		4,523	217	0,012846	336	10250	13742
-0,951	1,031								
-14,246	-11,916	E(-1)		-4,240	-201	-0,028029	141	10268	11955
1,781	-3,895								
14,343	10,9966	E(2)		4,269	218	0,016096	232	8436	13044
-0,585	0,672								
-12,807	-11,727	E(-2)		-3,812	-205	-0,026688	136	9857	10921

RESULTADOS MURO B1-5 SANO

CV = 16 ton

2/2

CARGA P (ton)	DEF HORIZ X (mm)	CICLO	OBSERVACIONES	TENSION CORTE T (kg/cm ²)	DIST. ANGULAR 1/X/b	DEF. UNIT. DE CORTE δ	MODULO DE CORTE G (kg/cm ²)	RIGIDEZ SECANTE Ka (kg/cm)	RIGIDEZ ORIGEN Ko (kg/cm)
12,164	10,434	E(1)		3,620	230	0,014621	240	8820	11658
-1,115	5,685								
-10,702	-11,132	E(-1)		-3,185	-216	-0,024663	116	5701	9614
0,620	-1,969								
11,322	11,228	E(2)		3,370	214	0,015793	202	8109	10083
-0,858	5,961								
-10,578	-11,570	E(-2)		-3,148	-207	-0,026116	111	5539	9143