



UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS.  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL.

# **ESTIMACIÓN ANALÍTICA DE LA RESISTENCIA AL CORTE DE MUROS DE ALBAÑILERÍA CONFINADA MEDIANTE EL MODELO CRISAFULLI**

**MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

FRANCISCO JAVIER CABEZAS MOLINA.

## **PROFESORES GUIA:**

MAXIMILIANO ASTROZA INOSTROZA.  
LEONARDO MASSONE SANCHEZ.

## **PROFESORES DE COMISION:**

AUGUSTO HOLMBERG FUENZALIDA.  
GILBERTO LEIVA HENRIQUEZ.

**SANTIAGO DE CHILE**

**MARZO 2011**

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR AL  
TITULO DE INGENIERO CIVIL  
POR: FRANCISCO CABEZAS M.  
FECHA: 28-03- 2011  
PROF. GUÍA: Sr. MAXIMILIANO ASTROZA I.  
Sr. LEONARDO MASSONE S.

## **ESTIMACIÓN ANALÍTICA DE LA RESISTENCIA AL CORTE DE MUROS DE ALBAÑILERÍA CONFINADA MEDIANTE EL MODELO DE CRISAFULLI**

El objetivo específico de esta memoria es analizar la posibilidad de utilizar el modelo propuesto por Crisafulli para determinar la resistencia al corte de muros de albañilería confinada, aplicándolo a una muestra de 22 muros sometidos a una fuerza lateral alternada aplicada en forma cuasi-estática en ensayos realizados en Chile entre los años 1987 y 2009.

El modelo de Crisafulli se basa en un modelo macro del tipo puntal-tensor y en la teoría de falla propuesta por Mann y Müller con la que se establece la capacidad resistente del puntal de compresión que representa la presencia del paño de albañilería.

De los resultados obtenidos al aplicar el modelo se comprueba que se obtiene una buena estimación de la carga de agrietamiento diagonal por corte del paño de albañilería cuando no hay aplicada una carga vertical externa, resultando el valor promedio de la relación entre la carga calculada y la carga experimental igual a 0,92 con un coeficiente de variación de 0,16. En el caso de los muros sometidos a una carga vertical, el modelo subestima el valor de la resistencia al corte de los muros, debido a que no incluye el efecto benéfico de la fuerza axial de compresión sobre esta resistencia, entregando una relación entre carga calculada y carga experimental igual a 0,55.

Teniendo en cuenta este último resultado, en esta memoria se propone una modificación del modelo de Crisafulli, la cual se relaciona con: (a) el ancho del puntal en compresión cuando está presente la carga vertical de compresión, (b) la distribución de la carga vertical en la sección transversal del muro, y (c) la reducción de la resistencia a la compresión de la albañilería debido a la inclinación del puntal de compresión con respecto a la junta horizontal de mortero. Con el Modelo Modificado se logra mejorar la estimación de la resistencia al corte de los muros ensayados con carga vertical, resultando el valor promedio de la relación entre la carga calculada y la carga experimental igual a 0,68 con un coeficiente de variación de 0,13.

Otra bondad del modelo es la posibilidad de identificar el modo de falla que controla la resistencia al corte, comprobándose teóricamente que predominan las fallas por adherencia y tracción diagonal, que la falla por compresión diagonal queda descartada salvo en aquellos muros construidos con unidades con baja resistencia a la compresión y que en los muros con esbeltez igual a 2 la falla está controlada por la fluencia de las armaduras longitudinales de los pilares de confinamiento. Se observa que las predicciones tienen una buena coincidencia con los modos de falla observados en los ensayos con la excepción de los muros esbeltos en los cuales no es posible confirmar el modo de falla por fluencia a causa de la ausencia de instrumentación en la armadura.

Teniendo en cuenta los resultados de esta memoria, se recomienda continuar con esta investigación concentrándose en la determinación del ancho del puntal de compresión en función de la carga vertical aplicada y del coeficiente de reducción de la resistencia a la compresión en función de la orientación de la junta horizontal de mortero para muros con unidades con baja resistencia a la compresión o muros construidos con ladrillo fiscal.

## **AGRADECIMIENTOS**

Se agradece la colaboración de los profesores Maximiliano Astroza I. y Leonardo Massone S. por el constante apoyo, preocupación y disposición durante el desarrollo de esta memoria. También se agradece a los integrantes de la comisión, Augusto Holmberg F. y Gilberto Leiva H. por su buena disposición a participar en este proceso.

Agradezco a mis padres, Sandra y Pedro, por ser artífices tanto materiales como espirituales de este proceso, quienes siempre me ayudaron y animaron.

Y a Julio Basoalto y Eduardo Jerez, amigos desde Bachillerato, quienes me acompañaron e hicieron los días de clases o controles más agradables y fueron de gran ayuda en algún punto para completar esta memoria.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

	<b>Página</b>
Resumen	i
Agradecimientos	ii
Índice de contenidos	iii
Índice de Figuras	vi
Índice de diagramas	xiv
Índice de Tablas	xv
<b>Capítulo 1 Introducción</b>	<b>1</b>
1.1 Motivación	1
1.2 Objetivos del trabajo	2
1.3 Organización de la memoria	3
<b>Capítulo 2 Modelo de Crisafulli para determinar resistencia al corte de muros de albañilería confinada</b>	<b>5</b>
2.1 Introducción	5
2.2 Análisis de las fórmulas utilizadas en las normas de diseño.	5
2.3 Resistencia al corte de muros de albañilería confinada según el modelo de Crisafulli (1997).	7
2.3.1 Modelo puntal-tensor	8
2.3.2 Fuerza de compresión que resiste el paño de albañilería.	11
i. Estado de tensiones en el paño de albañilería	13
ii. Tensiones que actúan en la unidad.	14
iii. Modos de falla del paño de albañilería	15
iv. Envolvente de falla propuesta por Crisafulli.	18
2.3.3 Procedimiento para calcular la resistencia al corte de un muro de albañilería confinada	19
2.4 Conclusiones del capítulo	21
<b>Capítulo 3 Antecedentes experimentales</b>	<b>22</b>
3.1 Introducción	22
3.2 Datos experimentales	22
3.2.1 Disponibilidad de datos experimentales	24
3.2.2 Parámetros geométricos y mecánicos de los muros ensayados.	25
3.2.3 Determinación de los parámetros mecánicos sin información en los estudios experimentales de los muros	29
3.3 Estados límite de carga de los muros ensayados	35
3.3.1 Relación entre carga de agrietamiento diagonal y la carga máxima.	39
3.3.2 Relación entre la carga de agrietamiento experimental y la carga de agrietamiento diagonal usada por la norma chilena NCh2123.	40
3.3.3 Relación entre carga de agrietamiento diagonal experimental y resistencia al corte admisible de la norma NCh2123.	41
3.3.4 Relación entre carga máxima experimental y resistencia al corte admisible de la norma NCh2123.	42
3.4 Conclusiones del Capítulo	43

	<b>Página</b>
<b>Capítulo 4 Aplicación del Modelo de Crisafulli</b>	<b>44</b>
4.1 Introducción	44
4.2 Aplicación del Modelo de Crisafulli	44
4.2.1 Trazado de la envolvente de las curvas de falla	44
4.2.2 Determinación de la resistencia a la compresión del puntal equivalente y modo de falla que controla	50
4.2.3 Resistencia al corte de los muros de albañilería confinada según el Modelo de Crisafulli.	51
4.3 Análisis de sensibilidad de los resultados entregados por el modelo de Crisafulli.	54
4.3.1 Adherencia unitaria	54
4.3.2 Coeficiente de fricción mortero-unidad.	55
4.3.3 Resistencia a la tracción de la unidad.	56
4.4 Comparación con otros modelos de estimación de resistencia al corte.	58
4.5 Análisis de resultados al aplicar el modelo de Crisafulli	62
4.6 Conclusiones del capítulo	63
<b>Capítulo 5 Modificaciones al Modelo de Crisafulli</b>	<b>64</b>
5.1 Introducción	64
5.2 Modificaciones al Modelo de Crisafulli	64
5.2.1 Falla por compresión diagonal	64
5.2.2 Efecto de la carga vertical sobre la resistencia de los muros	67
5.3 Aplicación del modelo Modificado	70
5.3.1 Envolturas de falla	70
5.3.2 Cálculo de resistencia al corte de los muros de albañilería confinada según el Modelo Modificado.	75
5.4 Análisis de sensibilidad de los resultados entregados por el Modelo Modificado.	79
5.5 Comparación del modelo con respecto a otros modelos.	81
5.6 Comparación entre los resultados obtenidos con el Modelo Modificado y los resultados experimentales.	83
5.7 Conclusiones del capítulo	91
<b>Capítulo 6 Conclusiones</b>	<b>93</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>97</b>
<b>Anexo A Aplicación de Modelo de Crisafulli y Modelo Modificado (tablas)</b>	<b>100</b>
A.1 Aplicación del Modelo de Crisafulli (1997)	100
A.2 Aplicación del Modelo de Modificado	102
<b>Anexo B Análisis del efecto de la distribución de la carga vertical sobre los elementos del muro de albañilería confinada</b>	<b>106</b>
B.1 Carga vertical en el paño de albañilería y en los pilares de confinamiento	106
B.2 Cálculo de las cargas verticales utilizando los tres criterios.	108
B.3 Comparación de los métodos y discusión de los resultados	112

	<b>Página</b>
<b>Anexo C Impacto de los parámetros experimentales en la estimación de la resistencia al corte con el Modelo de Crisafulli (1997)</b>	114
C.1 Introducción	114
C.2 Impacto de la variación de los índices de resistencia del modelo de Crisafulli	114
C.3 Comentarios	131
<b>Anexo D Modelos para calcular la resistencia al corte</b>	132
D.1 Modelo de Stafford Smith y Riddington (1978)	132
D.2 Modelo de Calvi (1992)	136
D.3 Modelo de Mann y Müller (1982)	141
D.4 Estimación basada en la expresión utilizada en la Norma Chilena Nch2123 (2003)	154
<b>Anexo E Comportamiento experimental de muros analizados</b>	156
<b>Anexo F Interpretación de gráficos de caja (“boxplot”)</b>	179

## ÍNDICE DE FIGURAS

		<b>Página</b>
Figura 1.1	Modelos de estimación al corte propuestos por (a) Leuchars y Scrivener, (b) Syrmakesis y Vratsanou. (Crisafulli, 1997)	2
Figura 2.1	Envolvente de falla del modelo de Mann y Müller	7
Figura 2.2	Mecanismo de reticulado equivalente en un marco de hormigón relleno con mampostería (Crisafulli, 2002)	8
Figura 2.3	Distribución de tensiones en la albañilería, luego de la separación del marco con el panel. (Crisafulli, 2002)	9
Figura 2.4	Distribución de tensiones principales a lo largo de la diagonal de un panel de albañilería confinada, sometida a fuerzas laterales. (Crisafulli, 1997)	9
Figura 2.5	(a) Patrón de agrietamiento en estado último de muro de albañilería confinada (Diez, 1987), (b) Patrón de agrietamiento en estado último de un “ <i>infill wall</i> ” (Haider, 1995)	10
Figura 2.6	Equilibrio en nudo superior de muro de albañilería confinada modelado como un modelo puntal-tensor.	10
Figura 2.7	Fallas en albañilería confinada (a) Falla por agrietamiento escalonado o adherencia, (b) Deslizamiento horizontal, (c) Tracción diagonal, (d) Aplastamiento de esquinas comprimidas. (Crisafulli, 1997)	12
Figura 2.8	Representación de tensiones principales en el paño de albañilería	13
Figura 2.9	(a) Estado de tensiones actuando sobre un corte de panel de albañilería según las consideraciones de Mann y Müller. (b) Estado de tensiones actuando sobre una unidad de albañilería según las consideraciones del modelo de Mann y Müller. (Crisafulli, 1997)	14
Figura 2.10	Circulo de Mohr en caso falla por tracción diagonal.	17
Figura 2.11	Ejemplo de la determinación de la envolvente de resistencia en función de la inclinación $\theta$ . (Crisafulli, 2002)	19
Figura 3.1	Ensayo de un muro de albañilería confinada sin dispositivo de aplicación de carga vertical (Ogaz, 2004)	23
Figura 3.2	Tipos de unidades empleadas. (a) Bloque de hormigón, (b) ladrillo cerámico, (c) ladrillo artesanal o fiscal.	24
Figura 3.3	Adherencia en función de la cantidad de cal en un metro cúbico de mortero con 300 kg de cemento.	31
Figura 3.4	Fuerza de agrietamiento horizontal en los muros de albañilería confinada ensayados.	36
Figura 3.5	Fuerza de agrietamiento diagonal en el paño de albañilería en los muros de albañilería confinada ensayados	36
Figura 3.6	Fuerza máxima en los muros de albañilería confinada ensayados.	37
Figura 3.7	Razón entre la carga máxima y la carga de agrietamiento diagonal para los muros seleccionados.	39

		<b>Página</b>
Figura 3.8	Razón entre la carga de agrietamiento diagonal determinada con la Ecuación 3.3 y la fuerza de agrietamiento diagonal	40
Figura 3.9	Fuerza de corte admisible según Norma Chilena y carga de agrietamiento experimental.	41
Figura 3.10	Fuerza de corte admisible según Norma Chilena y carga de máxima experimental.	42
Figura 3.11	Razón entre carga última experimental y resistencia al corte admisible por norma.	42
Figura 4.1	Envolvente de falla para los muros de la serie MRG y MRE. Muros construidos con unidades de ladrillo cerámico del tipo Titán Liviano y con un mortero de dosificación 1: ½: 4.	45
Figura 4.2	Envolvente de falla para los muros de la serie A. Muros construidos con unidades de ladrillo cerámico del tipo Titán Liviano y con un mortero de dosificación 1: ½: 4.	46
Figura 4.3	Envolvente de falla para los muros de la serie B. Muros construidos con unidades de ladrillos “chonchon” o “fiscal” y con un mortero de dosificación 1: ½: 4.	46
Figura 4.4	Envolvente de falla para los muros de la serie C11. Muros construidos con unidades de bloque de hormigón Tipo A (alta resistencia) y con un mortero de dosificación 1: ½: 4.	47
Figura 4.5	Envolvente de falla para los muros de la serie C12. Muros construidos con unidades de bloque de hormigón Tipo B (corriente) y con un mortero de dosificación 1: ½: 4.	47
Figura 4.6	Envolvente de falla para los muros de la serie MV. Muros construidos con unidades de ladrillo cerámico similares al tipo Titán Liviano y con un mortero de dosificación en peso de 1: ¼ : 2	48
Figura 4.7	Envolvente de falla para los muros de la serie MLC. Muros construidos con unidades de ladrillo cerámico tipo Gran Titán y con un mortero “A14 albañil pega M10”.	48
Figura 4.8	Envolvente de falla para los muros de la serie MBH. Muros construidos con unidades de bloques de hormigón Tipo A (alta resistencia) y un mortero “A14 albañil pega M10”.	49
Figura 4.9	Resistencia a la compresión del puntal de compresión equivalente, $f_{m\theta}$ , para cada muro ensayado.	49
Figura 4.10	Resistencia al corte de los muros ensayados sin carga vertical según el modelo de Crisafulli.	52
Figura 4.11	Razón entre la resistencia al corte calculada con el modelo de Crisafulli y la carga de agrietamiento diagonal de los muros ensayados sin carga vertical.	52
Figura 4.12	Resistencia al corte de muros ensayados con carga vertical según el modelo de Crisafulli.	53
Figura 4.13	Razón entre resistencia al corte calculada según el modelo de Crisafulli y la carga de agrietamiento diagonal de los muros ensayados con carga vertical.	53
Figura 4.14	Efecto de la adherencia unitaria $\tau_0$ en la estimación de la resistencia al corte utilizando el modelo de Crisafulli (1997)	54
Figura 4.15	Efecto del coeficiente de fricción $\mu$ , en la estimación de la resistencia al corte de muros utilizando el modelo Crisafulli (1997)	55

		<b>Página</b>
Figura 4.16	Efecto de la resistencia a la tracción de la unidades de ladrillo de bloque, en la estimación de la resistencia al corte de muros utilizando el modelo Crisafulli (1997)	56
Figura 4.17	Efecto de la resistencia a la tracción de la unidades de ladrillo cerámico maciza, en la estimación de la resistencia al corte de muros utilizando el modelo Crisafulli (1997)	57
Figura 4.18	Efecto de la resistencia a la tracción de la unidades de ladrillo cerámico con huecos, en la estimación de la resistencia al corte de muros utilizando el modelo Crisafulli (1997)	58
Figura 4.19	Efecto del modelo utilizado en la estimación de la resistencia corte de los muros de albañilería confinada: Muros sin carga vertical aplicada.	59
Figura 4.20	Efecto del modelo utilizado en la estimación de la resistencia al corte de los muros de albañilería confinada: Muros con carga vertical aplicada.	60
Figura 4.21	Comparación de modelos para estimar modo de falla en los muros ensayados.	61
Figura 5.1	Probetas ensayadas por Hamid y Drysdale (1978)	65
Figura 5.2	Variación de la razón $f_{m\theta}/f'_m$ en función del ángulo $\theta$ (Marín, 2009)	65
Figura 5.3	Modelo puntal-tensor para determinar la resistencia al corte.	67
Figura 5.4	Envolvente de falla para los muros de la serie MRG y MRE. Muros construidos con unidades de ladrillo cerámico tipo Titán Liviano y con un mortero de dosificación 1: ½: 4. (Se incluye falla por compresión diagonal)	70
Figura 5.5	Envolvente de falla para los muros de la serie A. Muros construidos con unidades de ladrillo cerámico tipo Titán Liviano y con un mortero de dosificación 1: ½: 4. (Se incluye falla por compresión diagonal)	71
Figura 5.6	Envolvente de falla para los muros de la serie B. Muros construidos con unidades de ladrillos “chonchon” o “fiscal” y con un mortero de dosificación 1: ½: 4. (Se incluye falla por compresión diagonal)	71
Figura 5.7	Envolvente de falla para los muros de la serie C11. Muros construidos con unidades de bloque de hormigón Tipo A (alta resistencia) y con un mortero de dosificación 1: ½: 4. (Se incluye falla por compresión diagonal)	72
Figura 5.8	Envolvente de falla para los muros de la serie C12. Muros construidos con unidades de bloque de hormigón Tipo B (corrientes) y con un mortero de dosificación 1: ½: 4. (Se incluye falla por compresión diagonal)	72
Figura 5.9	Envolvente de falla para los muros de la serie MV. Muros construidos con unidades de ladrillo cerámico similares al tipo Titán Liviano y con un mortero de dosificación en peso de 1: ¼: 2. (Se incluye falla por compresión diagonal)	73
Figura 5.10	Envolvente de falla para los muros de la serie MLC. Muros construidos con unidades de ladrillo cerámico tipo Gran Titán y con un mortero “A14 albañil pega M10”. (Se incluye falla por compresión diagonal)	73
Figura 5.11	Envolvente de falla para los muros de la serie MBH. Muros construidos con unidades de bloques de hormigón Tipo A (alta resistencia) y con un mortero “A14 albañil pega M10”. (Se incluye falla por compresión diagonal)	74

		<b>Página</b>
Figura 5.12	Comparación de la resistencia al corte estimada de los muros ensayados con carga vertical aplicada (carga vertical distribuida uniformemente).	76
Figura 5.13	Razón entre la resistencia al corte teórica y la carga de agrietamiento diagonal de los muros ensayados con carga vertical. Modelo de Crisafulli y Modelo Modificado (carga vertical distribuida uniformemente).	77
Figura 5.14	Comparación de la resistencia al corte estimada de los muros ensayados con carga vertical aplicada (el 100% de la carga vertical actúa sobre el panel de albañilería)	78
Figura 5.15	Razón entre la resistencia al corte teórica y la carga de agrietamiento diagonal de los muros ensayados con carga vertical. Modelo de Crisafulli y Modelo Modificado (el 100% de la carga vertical actúa sobre el panel de albañilería)	78
Figura 5.16	Efecto de la carga vertical sobre el promedio de la estimación de la resistencia utilizando el modelo de Crisafulli y el Modelo Modificado con carga vertical distribuida uniformemente.	79
Figura 5.17	Efecto de la unidad utilizada en la construcción de los muros en el promedio la estimación de la resistencia al corte utilizando el modelo de Crisafulli y el Modelo Modificado con carga vertical distribuida uniformemente.	80
Figura 5.18	Efecto de la esbeltez del muro sobre el promedio de la estimación de la resistencia utilizando el modelo de Crisafulli y el Modelo Modificado con carga vertical distribuida uniformemente.	81
Figura 5.19	Efecto del modelo utilizado en la estimación de la resistencia al corte de los muros de albañilería confinada. Muros sin carga vertical aplicada.	81
Figura 5.20	Efecto del modelo utilizado en la estimación de la resistencia al corte de los muros de albañilería confinada. Muros con carga vertical aplicada.	82
Figura 5.21	Carga lateral necesaria para generar una falla por compresión diagonal del paño de albañilería y por fluencia del refuerzo longitudinal de acero utilizando el Modelo Modificado con carga vertical distribuida uniformemente.	84
Figura 5.22	Razón entre la carga lateral necesaria para generar una falla por compresión diagonal del paño de albañilería y la fluencia del refuerzo longitudinal de acero utilizando el Modelo Modificado con carga vertical distribuida uniformemente.	84
Figura 5.23	Comparación entre la resistencia al corte cuando controla la falla por compresión diagonal del paño de albañilería según el Modelo Modificado con carga vertical distribuida uniformemente y la carga máxima alcanzada en el ensayo de los muros.	85
Figura 5.24	Razón entre la carga lateral que generar una falla por compresión diagonal en el paño de albañilería de acuerdo al Modelo Modificado con carga vertical distribuida uniformemente y la resistencia lateral última experimental de los muros ensayados.	85
Figura 5.25	Comparación de la fuerza lateral necesaria para generar la fluencia del refuerzo longitudinal de acero del pilar en tracción de acuerdo al Modelo Modificado con carga vertical distribuida uniformemente y la carga última experimental alcanzada en el ensayo de los muros	86
Figura 5.26	Razón entre la fuerza lateral necesaria para generar la fluencia del refuerzo longitudinal de acero del pilar en tracción de acuerdo al Modelo Modificado con carga vertical distribuida uniformemente y la carga última experimental alcanzada en el ensayo de los muros.	87

		<b>Página</b>
Figura 5.27	Comparación de la carga lateral necesaria para generar una falla por agrietamiento diagonal del paño de albañilería, por adherencia o tracción diagonal, y la carga que produce la fluencia en la armadura longitudinal de refuerzo del pilar en tracción determinadas con el Modelo Modificado con carga vertical distribuida uniformemente.	88
Figura 5.28	Razón entre la carga que produce la fluencia en la armadura longitudinal de refuerzo del pilar en tracción y la carga lateral necesaria para generar una falla por agrietamiento diagonal del paño de albañilería, por adherencia o tracción diagonal, determinadas con el Modelo Modificado con carga vertical distribuida uniformemente.	88
Figura 5.29	Comparación entre las cargas de agrietamiento diagonal, experimental y teórica, con la carga teórica que produce la fluencia en el refuerzo longitudinal de acero del pilar en tracción. Las cargas teóricas se determinan con el Modelo Modificado con carga vertical distribuida uniformemente.	89
Figura 5.30	Razón entre la carga teórica que produce la fluencia en el refuerzo longitudinal de acero del pilar en tracción determinada con el Modelo Modificado con carga vertical distribuida uniformemente y la carga de agrietamiento diagonal experimental.	90
Figura B.1	Distribución porcentual de carga vertical entre los elementos de la sección transversal de los muros de albañilería confinada ensayados.	109
Figura B.2	Estimación de la resistencia al corte de los muros ensayados con carga vertical con el Modelo Modificado utilizando el Criterio 1 con una razón $n=n_1$ .	110
Figura B.3	Estimación de la resistencia al corte de los muros ensayados con carga vertical con el Modelo Modificado utilizando el Criterio 1 con una razón $n=n_2$ .	111
Figura B.4	Razón entre la resistencia lateral estimada mediante el Modelo y la resistencia lateral experimental, utilizando distintos criterios de distribución de fuerza vertical sobre la sección del muro de albañilería confinada.	112
Figura C.1	Resistencia al corte de los muros de albañilería confinada según el Modelo de Crisafulli (1997). Efecto de la variación de la adherencia unitaria $\tau_0$ .	115
Figura C.2	Razón entre la resistencia al corte del muro de albañilería confinada determinada con el modelo de Crisafulli (1997) y la carga de agrietamiento por corte obtenida en los ensayos. Efecto de la variación de la adherencia unitaria $\tau_0$ .	115
Figura C.3	Resistencia al corte de los muros de albañilería confinada según el modelo de Crisafulli (1997). Efecto de la variación del coeficiente de fricción mortero-unidad $\mu$ .	119
Figura C.4	Razón entre la resistencia al corte del muro de albañilería confinada determinada con el modelo de Crisafulli (1997) y la carga de agrietamiento por corte diagonal obtenida en los ensayos. Efecto de la variación del coeficiente de fricción mortero-unidad $\mu$ .	119
Figura C.5	Resistencia al corte de los muros de albañilería confinada según el Modelo de Crisafulli (1997). Efecto de la variación de la resistencia a la tracción del bloque de hormigón.	123
Figura C.6	Razón entre la resistencia al corte del muro de albañilería confinada determinada con el modelo de Crisafulli (1997) y la carga de agrietamiento por corte diagonal obtenida en los ensayos. Efecto de la variación de la resistencia a la tracción del bloque de hormigón.	124

		<b>Página</b>
Figura C.7	Razón entre la resistencia al corte del muro de albañilería confinada determinada con el modelo de Crisafulli (1997) y la carga de agrietamiento por corte diagonal obtenida en los ensayos Efecto de la variación de la resistencia a la tracción de la unidad cerámica maciza.	126
Figura C.8	Resistencia al corte de los muros de albañilería confinada según el Modelo de Crisafulli (1997). Efecto de la variación de la resistencia a la tracción de las unidades cerámicas con huecos.	128
Figura C.9	Razón entre la resistencia al corte del muro de albañilería confinada determinada con el modelo de Crisafulli (1997) y la carga de agrietamiento por corte diagonal obtenida en los ensayos. Efecto de la variación de la resistencia a la tracción de las unidades cerámicas con huecos.	128
Figura D.1	Resistencia al corte de los muros de albañilería confinada ensayados sin carga vertical, según el modelo de Stafford Smith y Riddington (1978)	134
Figura D.2	Razón entre la estimación de la resistencia al corte de los muros de albañilería confinada ensayados sin carga vertical según el modelo de Stafford Smith y Riddington (1978), y la carga de agrietamiento diagonal primario experimental en el muro.	134
Figura D.3	Resistencia al corte de los muros de albañilería confinada ensayados con carga vertical, según el modelo de Stafford Smith y Riddington (1978)	135
Figura D.4	Razón entre la estimación de la resistencia al corte de los muros de albañilería confinada ensayados con carga vertical según el modelo de Stafford Smith y Riddington (1978), y la carga de agrietamiento diagonal primario experimental en el muro.	136
Figura D.5	Resistencia al corte de los muros de albañilería confinada ensayados sin carga vertical, según el modelo de Calvi (1992)	138
Figura D.6	Razón entre la estimación de la resistencia al corte de los muros de albañilería confinada ensayados sin carga vertical según el modelo de Calvi (1992), y la carga de agrietamiento diagonal primario experimental en el muro.	139
Figura D.7	Resistencia al corte de los muros de albañilería confinada ensayados con carga vertical, según el modelo de Calvi (1992)	140
Figura D.8	Razón entre la estimación de la resistencia al corte de los muros de albañilería confinada ensayados con carga vertical según el modelo de Calvi (1992), y la carga de agrietamiento diagonal primario experimental en el muro.	140
Figura D.9	(a) Estado de tensiones actuando sobre una porción del paño de albañilería según Mann y Müller. (b) Estado de tensiones actuando sobre una unidad de albañilería según el modelo de Mann y Müller. (Crisafulli, 1997)	141
Figura D.10	Distribución de tensión tangencial en muros de albañilería (Mann y Muller, 1982).	144
Figura D.11	Envoltentes de falla aplicando el modelo de Mann y Müller (1982) a los muros ensayados.	145
Figura D.12	Resistencia al corte de los muros de albañilería confinada ensayados sin carga vertical según el modelo de Mann y Müller (1982)	147
Figura D.13	Razón entre la resistencia al corte de los muros de albañilería confinada ensayados sin carga vertical según el modelo de Mann y Müller (1982) y la carga de agrietamiento diagonal primario experimental del muro.	147

		<b>Página</b>
Figura D.14	Resistencia al corte de los muros de albañilería confinada ensayados con carga vertical según el modelo de Mann y Müller (1982)	148
Figura D.15	Razón entre la resistencia al corte de los muros de albañilería confinada ensayados con carga vertical según el modelo de Mann y Müller (1982) y la carga de agrietamiento diagonal primario experimental del muro.	148
Figura D.16	Aumento de las tensiones normales sobre la superficie de asiento de las unidades. Distribución obtenida mediante un modelo de elementos finitos. (Crisafulli-1997)	149
Figura D.17	Distribución de tensiones en las unidades. A la izquierda se muestra una distribución general de tensiones. A la derecha se muestra una distribución linealizada de las tensiones. (Crisafulli-1997)	149
Figura D.18	Resistencia al corte de los muros de albañilería confinada ensayados sin carga vertical según el modelo de Mann y Müller Modificado (1997)	152
Figura D.19	Razón entre la resistencia al corte de los muros de albañilería confinada ensayados sin carga vertical según el modelo de Mann y Müller Modificado (1997) y la carga de agrietamiento diagonal primario experimental del muro.	152
Figura D.20	Resistencia al corte de los muros de albañilería confinada ensayados con carga vertical según el modelo de Mann y Müller Modificado (1997)	153
Figura D.21	Razón entre la resistencia al corte de los muros de albañilería confinada ensayados con carga vertical según el modelo de Mann y Müller Modificado (1997) y la carga de agrietamiento diagonal primario experimental del muro.	153
Figura D.22	Razón entre la resistencia al agrietamiento diagonal calculada mediante la expresión empírica propuesta por la norma NCh2321 y la carga de agrietamiento diagonal primario de los ensayos.	154
Figura E.1	Curva carga-deformación para el muro MGR 1	156
Figura E.2	Estado agrietado de muro MRG1 (Diez, 1987)	157
Figura E.3	Curva carga-deformación para el muro MRG2	157
Figura E.4	Estado agrietado del muro MRG2 (Diez, 1987)	158
Figura E.5	Curva carga-deformación para el muro MRE 1	158
Figura E.6	Estado agrietado de muro MRE1 (Diez, 1987)	159
Figura E.7	Curva carga-deformación para el muro MRE2	159
Figura E.8	Estado agrietado de muro MRE2 (Diez, 1987)	160
Figura E.9	Curva carga-deformación para el muro A11	160
Figura E.10	Estado agrietado del muro A11 (Herrera, 1992)	161
Figura E.11	Curva carga-deformación para el muro A12	161
Figura E.12	Estado agrietado de muro A12 (Herrera, 1992)	162

	<b>Página</b>	
Figura E.13	Curva carga-deformación para el muro A13	162
Figura E.14	Estado agrietado del muro A13 (Herrera, 1992)	163
Figura E.15	Curva carga-deformación para el muro A14	163
Figura E.16	Estado agrietado de muro A14 (Herrera, 1992)	164
Figura E.17	Curva carga-deformación para el muro A2	164
Figura E.18	Estado agrietado de muro A2 (Herrera, 1992)	165
Figura E.19	Curva carga-deformación para el muro B11	165
Figura E.20	Estado agrietado del muro B11 (Herrera, 1992)	166
Figura E.21	Curva carga-deformación para el muro B12	166
Figura E.22	Estado agrietado del muro B12 (Herrera, 1992)	167
Figura E.23	Curva carga-deformación para el muro B13	167
Figura E.24	Estado agrietado del muro B13 (Herrera, 1992)	168
Figura E.25	Curva carga-deformación para el muro B14	168
Figura E.26	Estado agrietado del muro B14 (Herrera, 1992)	169
Figura E.27	Curva carga-deformación para el muro B2	169
Figura E.28	Estado agrietado del muro B2 (Herrera, 1992)	170
Figura E.29	Curva carga-deformación para el muro C11 (Muñoz, 1992)	170
Figura E.30	Estado final del muro C11 (Muñoz, 1992)	171
Figura E.31	Curva carga-deformación para el muro C12 (Muñoz, 1992)	171
Figura E.32	Estado final del muro C12 (Muñoz, 1992)	172
Figura E.33	Curva carga-deformación para el muro MV1 (Galleguillos y Valenzuela, 2009)	172
Figura E.34	Estado final de muro MV1 (Galleguillos y Valenzuela, 2009)	173
Figura E.35	Curva carga-deformación para el muro MV3 (Galleguillos y Valenzuela, 2009)	173
Figura E.36	Estado final de muro MV3 (Galleguillos y Valenzuela, 2009)	174
Figura E.37	Curva carga v/s deformación lateral en muro MLC-T1-01 (Ogaz, 2004)	174
Figura E.38	Vista general del estado final de daños del muro MLC-T1-01 (Ogaz, 2004)	175
Figura E.39	Curva carga v/s deformación lateral en muro MLC-T1-02 (Ogaz, 2004)	175
Figura E.40	Vista general del estado final de daños del muro MLC-T1-02 (Ogaz, 2004)	176

		<b>Página</b>
Figura E.41	Curva carga-deformación lateral muro MBH-T1-01 (Ogaz, 2004)	176
Figura E.42	Vista general del estado final de daños del muro MBH-T1-01	177
Figura E.43	Curva carga v/s deformación lateral en muro MBH-T1-02 (Ogaz, 2004)	177
Figura E.44	Vista general del estado final de daños del muro MBH-T1-02 (Ogaz, 2004)	178
Figura F.1	Interpretación de gráficos de caja (“ <i>boxplot</i> ”)	179

## ÍNDICE DE DIAGRAMAS

		<b>Página</b>
Diagrama 2.1	Modos de falla observados en paños de albañilería confinada (Crisafulli, 1997)	11
Diagrama 2.2	Método propuesto para el cálculo de la resistencia al corte de un muros de albañilería confinada	20
Diagrama 4.1	Pasos para calcular la resistencia al corte según modelo de Crisafulli.	51
Diagrama 5.1	Estimación de la resistencia al corte, Modelo Modificado.	76

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Página</b>	
Tabla 1.1	Estudios experimentales de muros de albañilería confinada sometida a carga lateral alternada.	3
Tabla 3.1	Disponibilidad de datos experimentales para la construcción de las envolventes de falla usadas en el modelo de Crisafulli.	25
Tabla 3.2	Propiedades de muros ensayados.	26
Tabla 3.3	Propiedades geométricas y de refuerzos de muros de albañilería confinada.	27
Tabla 3.4	Propiedades mecánicas de los materiales.	28
Tabla 3.5	Resistencia a la tracción de la unidad en unidades cerámicas.	29
Tabla 3.6	Resistencia a la tracción de la unidad de bloques de hormigón.	29
Tabla 3.7	Ensayos de tripletas con las características de las series MRE, MRG y A.(Fernández et. al, 1986)	30
Tabla 3.8	Dosificación de morteros en $\text{kg/m}^3$ de cada componente. Cal hidratada. (Bustos y Margery, 1996)	30
Tabla 3.9	Resultados de resistencia a la adherencia al cizalle para tripletas con traslapo parcial de ladrillos artesanales con mortero con cal hidratada. (Bustos y Margery, 1996)	31
Tabla 3.10	Equivalencias entre dosificación de mortero en volumen y peso (Fernández et al.).	32
Tabla 3.11	Ensayos de tripletas (Fernández et. al, 1986)	32
Tabla 3.12	Ensayos de tripletas con características de la serie MLC.	32
Tabla 3.13	Resistencias de los morteros de obra curados en condiciones normales. Morteros de ensayos de Fernández et al. (Mortero 1 al 3) y mortero ensayado por Ogaz (mortero 4). Fluidez de 130%.	33
Tabla 3.14	Prismas contruidos con unidades Titán Liviano y morteros con una alta dosificación de cemento (Parada, 1986; Fernández, 1986).	34
Tabla 3.15	Parámetros para la construcción del modelo de Crisafulli.	35
Tabla 3.16	Modo de falla correspondiente a cada muro ensayado.	37
Tabla 3.17	Resistencias y deformaciones asociadas a cada muro ensayado.	38
Tabla 3.18	Razón entre la carga máxima y la carga de agrietamiento obtenida en distintos estudios experimentales (recopilados por Crisafulli, 1997)	39
Tabla 4.1	Resistencia a la compresión del puntal de compresión equivalente y modo de falla del paño de albañilería de los muros ensayados según el modelo de Crisafulli (1997).	50
Tabla 4.2	Análisis estadístico de los resultados obtenidos con los modelos para determinar la resistencia al corte en muros ensayados sin carga axial aplicada.	59
Tabla 4.3	Análisis estadístico de los resultados obtenidos con los modelos para determinar la resistencia al corte en muros ensayados con carga vertical aplicada.	60

	<b>Página</b>	
Tabla 4.4	Modo de falla estimado por cada modelo para los muros ensayados.	61
Tabla 5.1	Resultado del ensayo de probetas construidas con bloques huecos de hormigón sin relleno de los huecos (Hamid y Drysdale, 1978)	65
Tabla 5.2	Resistencia a la compresión de la albañilería considerando la inclinación del puntal de compresión equivalente para los muros ensayados.	66
Tabla 5.3	Resistencia a la compresión del puntal de compresión equivalente ( $f'_{m\theta}$ ) y modo de falla que controla esta resistencia según el Modelo Modificado.	75
Tabla 5.4	Análisis estadístico de los resultados de los modelos para determinar la resistencia al corte de los muros de albañilería confinada ensayados con carga vertical.	82
Tabla 5.5	Resistencia al corte de muros de albañilería confinada, según el modo de falla (Modelo Modificado con carga vertical distribuida uniformemente).	83
Tabla A.1	Resistencia a la compresión del puntal de compresión equivalente y modo de falla del paño de albañilería de los muros ensayados según el modelo de Crisafulli	100
Tabla A.2	Área de puntal de compresión equivalente y Resistencia a la compresión del puntal.	101
Tabla A.3	Resistencia al corte de los muros ensayados sin carga vertical utilizando el modelo de Crisafulli (1997).	101
Tabla A.4	Resistencia al corte de los muros ensayados con carga vertical utilizando el modelo de Crisafulli (1997).	102
Tabla A.5	Resistencia a la compresión del puntal de compresión equivalente y modo de falla del paño de albañilería de los muros ensayados según el Modelo Modificado	102
Tabla A.6	Efecto de la carga vertical en la fuerza de fluencia del tensor.	103
Tabla A.7	Área de puntal de compresión equivalente y resistencia a la compresión del puntal.	103
Tabla A.8	Estimación de la resistencia al corte de los muros ensayados con carga vertical con el Modelo Modificado.	104
Tabla A.9	Efecto de la carga vertical en la fuerza de fluencia del tensor.	104
Tabla A.10	Área de puntal de compresión equivalente y resistencia a la compresión del puntal.	105
Tabla A.11	Estimación de la resistencia al corte de los muros ensayados con carga vertical con el Modelo Modificado.	105
Tabla B.1	Razones entre los módulos de elasticidad	108
Tabla B.2	Cargas verticales según Criterio 1. Razón de módulos $n = n_1$ .	108
Tabla B.3	Cargas verticales según Criterio 1. Razón de módulos $n = n_2$ .	109
Tabla B.4	Resistencia al corte de los muros ensayados con carga vertical con el Modelo Modificado utilizando el Criterio 1 con una razón $n=n_1$ .	110

	<b>Página</b>	
Tabla B.5	Estimación de la resistencia al corte de los muros ensayados con carga vertical con el Modelo Modificado utilizando el Criterio 1 con una razón $n=n_2$ .	111
Tabla C.1	Tensiones para cada modo de falla según el Modelo de Crisafulli (1997). Efecto de la variación de la adherencia unitaria.	116
Tabla C.2	Modo de falla que controla según el Modelo de Crisafulli (1997) y resistencia a la compresión del puntal. Efecto de la variación de la adherencia unitaria.	116
Tabla C.3	Resistencia lateral de muros de albañilería confinada según el Modelo de Crisafulli (1997), cuando se considera una adherencia unitaria igual a $0,8\tau_o$ .	117
Tabla C.4	Resistencia lateral de muros de albañilería confinada según el Modelo de Crisafulli (1997), cuando se considera una adherencia unitaria igual a $1,0\tau_o$ .	117
Tabla C.5	Resistencia lateral de muros de albañilería confinada según el Modelo de Crisafulli (1997), cuando se considera una adherencia unitaria igual a $1,2\tau_o$ .	118
Tabla C.6	Tensiones para cada modo de falla según el Modelo de Crisafulli (1997). Efecto de la variación del coeficiente de fricción mortero-unidad.	120
Tabla C.7	Modo de falla que controla según el Modelo de Crisafulli (1997) y resistencia a la compresión del puntal. Efecto de la variación del coeficiente de fricción mortero-unidad.	120
Tabla C.8	Resistencia de muros de albañilería confinada según el Modelo de Crisafulli (1997), cuando se considera coeficiente de fricción mortero-unidad igual a 0,6.	121
Tabla C.9	Resistencia de muros de albañilería confinada según el Modelo de Crisafulli (1997), cuando se considera coeficiente de fricción mortero-unidad igual a 0,7	121
Tabla C.10	Resistencia de muros de albañilería confinada según el Modelo de Crisafulli (1997), cuando se considera coeficiente de fricción mortero-unidad igual a 0,8	122
Tabla C.11	Resistencia de muros de albañilería confinada según el Modelo de Crisafulli (1997), cuando se considera coeficiente de fricción mortero-unidad igual a 0,9.	122
Tabla C.12	Tensiones para cada modo de falla según el Modelo de Crisafulli (1997). Efecto de la variación de la resistencia a la tracción del bloque de hormigón	124
Tabla C.13	Modo de falla que controla según el Modelo de Crisafulli (1997) y resistencia a la compresión del puntal. Efecto de la variación de la resistencia a la tracción del bloque de hormigón.	124
Tabla C.14	Resistencia de muros de albañilería confinada según el Modelo de Crisafulli (1997), cuando considera una resistencia a la tracción de la unidad igual al 8% de la resistencia a la compresión de la unidad (bloques).	125
Tabla C.15	Resistencia de muros de albañilería confinada según el Modelo de Crisafulli (1997), cuando se considera una resistencia a la tracción de la unidad igual al 12 y 16% de la resistencia a la compresión de la unidad (bloques).	125
Tabla C.16	Tensiones para cada modo de falla según el Modelo de Crisafulli (1997). Efecto de la variación de la resistencia a la tracción de la unidad cerámica maciza.	126
Tabla C.17	Modo de falla que controla según el Modelo de Crisafulli (1997) y resistencia a la compresión del puntal. Efecto de la variación de la resistencia a la tracción de la unidad cerámica maciza.	126

	<b>Página</b>	
Tabla C.18	Resistencia de muros de albañilería confinada según el Modelo de Crisafulli (1997), cuando se considera una resistencia a la tracción de la unidad igual al 7, 9 y 11% de la resistencia a la compresión de la unidad (cerámica maciza)	127
Tabla C.19	Tensiones para cada modo de falla según el Modelo de Crisafulli (1997). Efecto de la variación de la resistencia a la tracción de la unidad cerámica con huecos.	129
Tabla C.20	Modo de falla que controla según el Modelo de Crisafulli (1997) y resistencia a la compresión de puntal. Efecto de la variación de la resistencia a la tracción de la unidad cerámica con huecos.	129
Tabla C.21	Resistencia de muros de albañilería confinada según el Modelo de Crisafulli (1997) cuando se considera una resistencia a la tracción de la unidad igual al 3% de la resistencia a la compresión de la unidad. (Unidad cerámica con huecos)	130
Tabla C.22	Resistencia de muros de albañilería confinada según el Modelo de Crisafulli (1997) cuando se considera una resistencia a la tracción de la unidad igual al 3% de la resistencia a la compresión de la unidad. (Unidad cerámica con huecos)	130
Tabla C.23	Resistencia de muros de albañilería confinada según el Modelo de Crisafulli (1997) cuando se considera una resistencia a la tracción de la unidad igual al 3% de la resistencia a la compresión de la unidad. (Unidad cerámica con huecos)	131
Tabla D.1	Estimación de la resistencia lateral de muros de albañilería confinada sin carga vertical, utilizando el Modelo de Stafford Smith y Riddington (1978)	133
Tabla D.2	Estimación de la resistencia lateral de muros de albañilería confinada con carga vertical, utilizando el Modelo de Stafford Smith y Riddington (1978)	135
Tabla D.3	Estimación de la resistencia lateral de muros de albañilería confinada sin carga vertical, utilizando el Modelo de Calvi (1992)	138
Tabla D.4	Estimación de la resistencia lateral de muros de albañilería confinada con carga vertical, utilizando el Modelo de Calvi (1992)	139
Tabla D.5	Aplicación del modelo de Mann y Müller (1982) a muros ensayados en Chile sin carga vertical aplicada.	146
Tabla D.6	Aplicación del modelo de Mann y Müller (1982) a muros ensayados en Chile con carga vertical aplicada.	146
Tabla D.7	Aplicación del modelo de Mann y Müller Modificado (1997) a muros ensayados en Chile sin carga vertical aplicada.	151
Tabla D.8	Aplicación del modelo de Mann y Müller Modificado (1997) a muros ensayados en Chile con carga vertical aplicada.	151
Tabla D.9	Estimación de la resistencia lateral de muros de albañilería confinada utilizando la expresión recomendada por NCh2123.(2003)	155

# CAPITULO 1

## INTRODUCCIÓN

### 1.1 Motivación

La albañilería ha sido y es uno de los materiales más utilizados en Latinoamérica y en Chile en particular, en la construcción de viviendas del tipo unifamiliar de uno o dos pisos y de edificios del tipo multifamiliar de baja altura, no más de cuatro pisos, para familias de bajos ingresos.

Sin embargo, la albañilería es un material cuyo conocimiento no se encuentra a la altura del desarrollo que se encuentran otros materiales tradicionales usados en la construcción de edificios, como es el caso del hormigón o el acero. Este déficit se manifiesta en temas relacionados tanto con la tecnología del material como con el diseño estructural de los elementos que forman la estructura resistente de un edificio de albañilería (Astroza, 2008).

Probablemente esta situación se debe a que la albañilería ha sido usada en los últimos 60 años de preferencia en los países en desarrollo donde los recursos asignados para desarrollar investigación experimental son escasos. Esta situación se agudiza si se considera que la albañilería se caracteriza por ser un material con variabilidad en sus propiedades, que se caracteriza por ser un material no homogéneo, no isótropo, no lineal, no elástico y con un déficit en el conocimiento de su tecnología debido a que su estudio no ha sido incorporado en los programas curriculares de muchas carreras de Ingeniería Civil, tanto en Chile como en el extranjero.

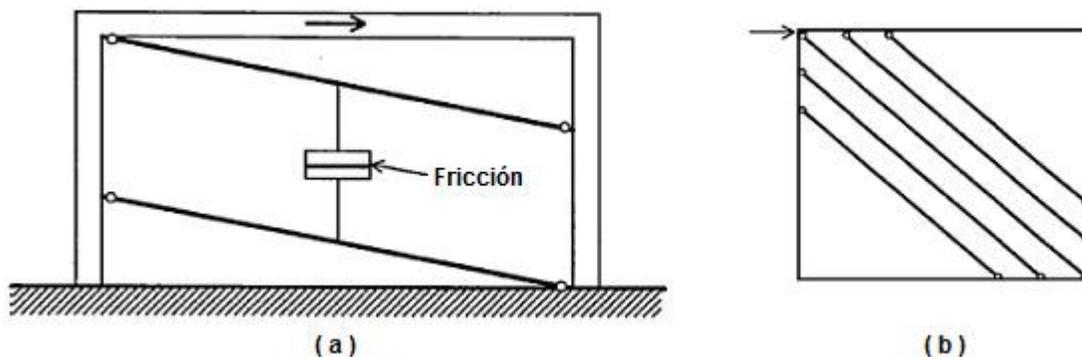
La situación descrita junto con el uso de una mano de obra no calificada en la construcción de edificios de albañilería han hecho que el comportamiento sísmico observado en los edificios de albañilería de uso habitacional no haya sido del todo satisfactorio, un ejemplo de ello fue lo que ocurrió en Chile en el terremoto del 3 de marzo de 1985 con los edificios de *albañilería armada* construidos en la Región Metropolitana debido a la falta de una norma de diseño y cálculo para este tipo de edificio (Astroza, 2008).

Dentro de esta realidad y a pesar de los problemas destacados, en los países en vías de desarrollo ubicados en zonas de alta y severa sismicidad se ha podido comprobar que los edificios de *albañilería confinada* han sido una solución sísmicamente segura.

Como parte de las características de los edificios de albañilería reforzada, se debe destacar que el sistema estructural está formado por *muros* poco esbeltos, cuyo comportamiento sísmico está controlado por la falla de corte. Frente a esta situación surge la necesidad de contar, entre otras, con un modelo racional para determinar la resistencia al corte de los muros de albañilería confinada de modo de levantar las limitaciones, y por lo mismo las incertidumbres, que introduce el uso de fórmulas empíricas en el diseño al corte de estos muros como ocurre actualmente. El planteamiento de un modelo teórico levantará la dependencia de las fórmulas empíricas con los resultados de los muros que han sido ensayados.

En la búsqueda de este modelo teórico, Crisafulli (1997) ha propuesto un modelo para determinar la resistencia al corte de muros de albañilería confinada basándose en el modelo de falla de un panel o paño de albañilería desarrollado por Mann y Müller (1982) y en un macro modelo del tipo puntal-tensor. Dentro de las características de este modelo se destaca la determinación de la resistencia del panel de albañilería de acuerdo con un criterio que utiliza las propiedades geométricas y mecánicas del muro y de los materiales respectivamente, el cual es capaz de representar una falla por adherencia en la junta de mortero y una falla de agrietamiento por tracción diagonal controlada por la capacidad resistente de las unidades.

El uso de un modelo puntal-tensor como el que propone Crisafulli (1997) representa una alternativa racional para la estimación de la resistencia al corte de este tipo de muros y se diferencia de modelos similares por presentar un método simple para su aplicación. Dentro de estos métodos similares, es posible observar el modelo propuesto por Leuchars y Scrivener (Crisafulli, 1997) o el modelo propuesto por Syrmakesis y Vratsanou (Crisafulli, 1997) donde el uso de un conjunto de puntales para representar la respuesta en la albañilería lleva a aumentar considerablemente la complejidad del problema.



**Figura 1.1** Modelos de estimación al corte propuestos por (a) Leuchars y Scrivener, (b) Syrmakesis y Vratsanou. (Crisafulli, 1997)

## 1.2 Objetivos del trabajo

El objetivo de este trabajo es aplicar el modelo teórico propuesto por Crisafulli (1997) para determinar la resistencia al corte de muros de albañilería confinada cuando su comportamiento esta controlado por la falla de corte.

Para lograr el objetivo, se aplica el método desarrollado por Crisafulli a una serie de muros de albañilería confinada sin aberturas ensayados en Chile entre los años 1987 y 2009. Esto con el fin de comparar la resistencia obtenida al utilizar el modelo con la *resistencia* obtenida en los ensayos. En la Tabla 1.1 se detallan los estudios experimentales utilizados.

Los resultados entregados por el ensayo de cada muro, permiten conocer la resistencia al corte de los muros y hacer un análisis crítico de la aplicación del modelo.

**Tabla 1.1** Estudios experimentales de muros de albañilería confinada sometida a carga lateral alternada.

Año	Título	Autor
2009	“Estudio experimental de muros de albañilería confinada a escala natural sometidos a carga cíclica	P. Gallegillos y C. Valenzuela
2004	“Estudio experimental de muros de albañilería con aberturas y cuantía reducida de refuerzo sujetos a carga lateral alternada”	O. Ogaz
1992	“Estudio experimental del comportamiento de muros de albañilería de bloques de hormigón sometidos a carga lateral alternada”	W. Muñoz
1992	“Efecto de la carga vertical en el comportamiento de muros de albañilería reforzada sometidos a carga lateral alternada”	E. Herrera
1987	“Estudio experimental de muros de albañilería sometidos a carga lateral”	J. Diez

Los resultados entregados por el ensayo de cada muro, permiten conocer la resistencia al corte del muro y hacer un análisis crítico de la aplicación del modelo teniendo en cuenta los efectos de variables como son:

- La esbeltez del muro
- La presencia de carga vertical
- El tipo de unidad utilizada en la construcción del panel de albañilería.

### 1.3 Organización de la memoria

La memoria se organiza en seis capítulos cuyo contenido es el siguiente:

- I. Capítulo 2:** En este capítulo se entrega un análisis de las expresiones de diseño utilizadas actualmente y los antecedentes teóricos relacionados con el modelo de Crisafulli (1997).
- II. Capítulo 3:** En este capítulo se describen los muros ensayados en Chile que se utilizan en esta memoria, entregando las propiedades mecánicas y geométricas para la aplicación del modelo de Crisafulli. Se hace un análisis de las incertidumbres asociadas a estos datos.

También se entregan las resistencias obtenidas mediante el ensayo de cada muro y una comparación con la estimación de la resistencia al corte propuesta en la normativa vigente.

- III. Capítulo 4:** En este capítulo se presentan los resultados que se desprenden de la aplicación del Modelo de Crisafulli y su comparación con distintos métodos de estimación.

**IV. Capítulo 5:** Como resultado del capítulo 4, se proponen modificaciones al Modelo de Crisafulli (1997), las cuales son aplicadas a los muros ensayados.

**V. Capítulo 6:** En este capítulo se presentan las conclusiones que se pueden extraer de este trabajo.

**VI. Anexos:** Se adjunta la siguiente información:

- Anexo A: Aplicación del Modelo de Crisafulli y Modelo Modificado (Tablas).
- Anexo B: Análisis del efecto de la distribución de la carga vertical sobre los elementos del muro de albañilería confinada
- Anexo C: Impacto de los parámetros experimentales en la estimación de la resistencia al corte con el Modelo de Crisafulli (1997)
- Anexo D: Modelos para calcular la resistencia al corte
- Anexo E: Información experimental sobre los muros analizados.
- Anexo F: Interpretación de gráficos de caja (“boxplot”).

## CAPITULO 2

### MODELO DE CRISAFULLI PARA DETERMINAR RESISTENCIA AL CORTE DE MUROS DE ALBAÑILERÍA CONFINADA.

#### 2.1 Introducción

El capítulo se divide en dos partes. En la primera, se analizan las fórmulas utilizadas en la normas de diseño estructural de muros de albañilería confinada con el propósito de destacar la necesidad de desarrollar un modelo teórico para determinar la resistencia al corte y levantar limitaciones propias de este tipo de fórmulas.

En la segunda parte se presenta el modelo teórico propuesto por Crisafulli (1997) para determinar la resistencia al corte de muros de albañilería confinada, con el propósito de destacar sus fundamentos y las limitaciones del mismo.

Como complemento al contenido de este capítulo se entrega el Anexo D en el cual se incluyen otros modelos teóricos propuestos para estimar la resistencia al corte de muros de albañilería utilizando un modelo del tipo puntal-tensor.

#### 2.2 Análisis de las fórmulas utilizadas en las normas de diseño.

Los edificios de albañilería por su configuración y estructuración, en condiciones normales de carga están sometidos principalmente a fuerzas axiales provenientes de la acción de las cargas muertas y de la sobrecarga de uso. La aparición de otras solicitaciones, fuerza de corte y momento de flexión, se producen por la acción sísmica y resultan determinantes en el diseño de los edificios de albañilería ubicados en zonas de alta sismicidad.

El bajo desarrollo de la investigación experimental en el tema y por lo mismo de un diseño racional, han sido uno de los factores que han contribuido a que se produzcan daños severos durante los terremotos ocurridos en los últimos 60 años (Astroza, 2008).

Con el propósito de mejorar esta situación y racionalizar el diseño, en los últimos años se han redactado normas de diseño y cálculo para edificios de albañilería confinada estableciendo tanto las propiedades que deben tener los materiales como las disposiciones y limitaciones de diseño para determinar la rigidez y resistencia y garantizar la capacidad de deformación de los muros más allá de los niveles de resistencia. Dentro de estas disposiciones, una de la más importante es la relacionada con la determinación de la resistencia al corte de los muros considerando que su comportamiento sísmico está controlado por esta capacidad resistente.

En la actualidad, las expresiones para calcular la resistencia al corte recomendadas en las normas de diseño tienen un carácter *racional-empírico* y por lo mismo está restringido su uso a las propiedades de los materiales utilizados y a las condiciones en que se han realizado los ensayos de los estudios experimentales. La utilización de estas fórmulas en situaciones que escapan de estas restricciones, conlleva la necesidad de generar un modelo *racional-teórico* que permita levantar las

restricciones considerando las propiedades mecánicas básicas y la geometría tanto de la unidad de albañilería como del mortero y las características geométricas del muro.

En la actualidad varias normas latinoamericanas de albañilería confinada como la Chilena, Mexicana, Argentina o Peruana utilizan una fórmula como la ecuación 2.1 para calcular la resistencia al corte de un muro de albañilería.

$$V_u = (\alpha \cdot \beta \cdot \tau_m + \gamma \cdot f_n) \cdot A_{mb} \quad (2.1)$$

Donde:

- $\tau_m$  : Resistencia básica de corte.
- $\alpha, \beta, \gamma$  : Constantes de tipo empírico.
- $\alpha$  : Factor de ajuste por condiciones de ensaye.
- $\beta$  : Factor que considera el efecto de la razón de aspecto del paño de albañilería.
- $\gamma$  : Factor que considera el efecto de la carga de compresión axial sobre el muro.
- $f_n$  : Tensión axial debido a la carga de compresión axial, medida sobre el área de la sección transversal del muro.

En esta expresión, los parámetros  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\varphi$ , son determinados mediante un análisis de regresión de los datos experimentales, lo cual limita el campo de aplicación de estas fórmulas por las razones destacadas en los párrafos anteriores. Expresiones de este tipo se encuentran en varias normas de diseño, un ejemplo de ello son:

- Norma Peruana (2009):

$$V_u = (0.5 \cdot \beta \cdot \tau_m + 0.23 \cdot f_n) \cdot A_{mb} \quad (2.2)$$

- Norma Chilena (INN, 2003).

La norma chilena utiliza un esfuerzo de corte admisible el cual corresponde al 50% de la resistencia al corte, estimada esta última con una fórmula del tipo de la ecuación 2.1

$$V_u = (0.45 \cdot \tau_m + 0.23 \cdot f_n) \cdot A_{mb} \quad (2.3)$$

El uso de esta fuerza de corte admisible, intenta asegurar que el comportamiento del edificio se mantenga en el rango lineal elástico ante las acciones sísmicas que establece la norma NCh433 (INN, 1996), evitando el agrietamiento del paño de albañilería para este nivel de demanda sísmica.

Uno de los problemas asociados con este tipo de fórmula tiene relación con el término que considera el efecto de la fuerza axial de compresión ( $f_n$ ), el cual representa el efecto en el estado de tensiones más que el efecto de la fricción en las juntas de mortero. Otra limitación de este tipo de fórmula, es que con ellas no es posible identificar cual es el modo de falla que controla la resistencia

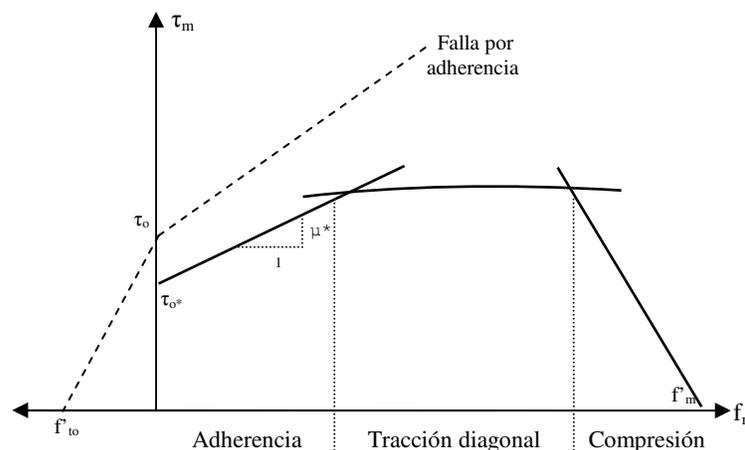
al corte; este modo puede corresponder a una falla por: *adherencia, tracción diagonal o compresión diagonal*.

En relación con el efecto de la geometría del muro, los antecedentes experimentales disponibles para cuantificarla son escasos y sólo se puede destacar que el factor  $\phi$ , decrece a medida la esbeltez del paño de albañilería,  $h_m/L_m$ , aumenta (Crisafulli, 1997). Debido a la falta de resultados experimentales, la norma chilena ha considerado que este factor es igual a 1.0, lo cual es aceptable, según la evidencia experimental, cuando los muros tienen una esbeltez (razón altura/longitud) entre 0.5 y 1.0, como ocurre normalmente. Esta situación puede cambiar en la medida que los diseños arquitectónicos eliminen los elementos de acoplamiento entre muros como son los alfeizares o antepechos de albañilería.

### 2.3 Resistencia al corte de muros de albañilería confinada según el modelo de Crisafulli (1997).

El modelo propuesto por Crisafulli (1997) entrega un marco teórico para calcular la resistencia al corte de un muro de albañilería confinada construido con un paño de albañilería sin armadura de refuerzo en su interior. Con este propósito se utiliza un modelo macro del tipo puntal-tensor y una teoría de falla, basada en el trabajo de Mann y Müller (1982), con la que se establece la capacidad resistente del puntal de compresión que representa la presencia del paño de albañilería.

Entre las bondades del modelo, al utilizar como base el modelo de Mann y Müller (1982) se encuentra la posibilidad de considerar los distintos modos de falla del paño de albañilería, ver Figura 2.1, y el uso de ecuaciones teóricas relacionadas con el estado de tensiones que permiten determinar la resistencia al corte para cada modo de falla. Con este último propósito se usa un modelo puntal-tensor simple del muro el cual integra el efecto del marco de hormigón armado y del paño de albañilería.



**Figura 2.1** Envolvente de falla del modelo de Mann y Müller

### 2.3.1 Modelo puntal-tensor

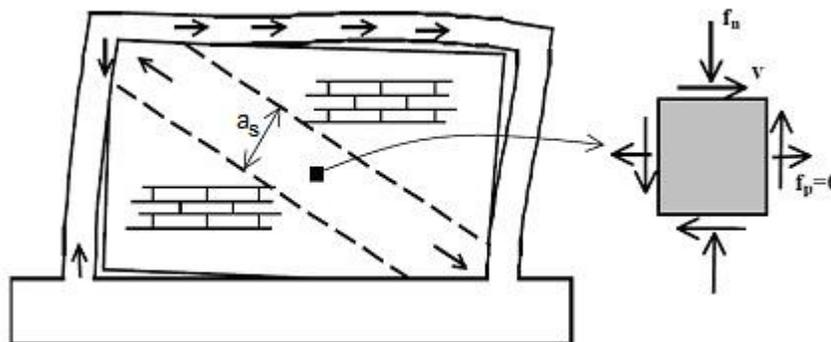
Crisafulli (1997) propone un modelo del tipo macro para la estimación de la resistencia de los muros, el cual asume es posible modelar el paño de albañilería mediante un puntal, el cual es suficiente para representar en forma global el comportamiento del muro. La resistencia a la compresión del puntal equivalente determina la capacidad del paño de albañilería de resistir la fuerza de corte que actúa *en el momento que se agrieta* el paño de albañilería.

La modelación del paño de albañilería como un puntal es un modelo comúnmente usado en el cálculo tanto de la rigidez como de la resistencia a cargas laterales de muros de albañilería enmarcados por elementos de hormigón armado. Distintos autores como Zarnic y Tomazevic, Schmitt, Chrysostomou, Syrmaneksis y Vratsanou, han propuesto modelos de este tipo, como lo reporta Crisafulli (1997).

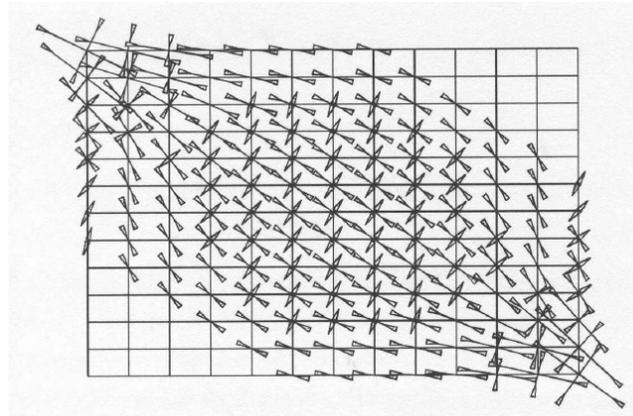
La idea de representar el paño de albañilería como un puntal, proviene del comportamiento observado en los marcos de hormigón armado rellenos con paneles de mampostería, cuya secuencia de construcción se caracteriza por construir primero el marco de hormigón y luego el paño de albañilería, muros denominados “*infill walls*”

Experimentalmente se ha observado que el comportamiento de este tipo de muros está controlado por la baja integración entre el paño de mampostería y el marco de hormigón cuando son sometidos a fuerzas laterales.

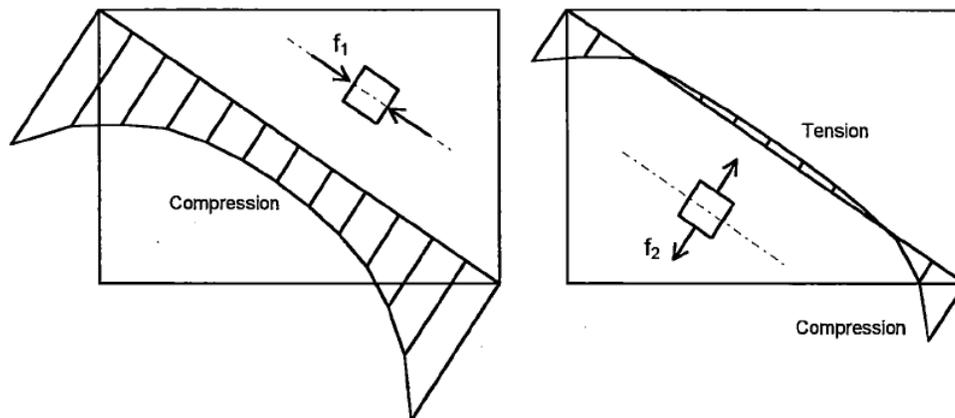
En una descripción de este comportamiento, se puede destacar una primera etapa con deformaciones pequeñas, en la cual el comportamiento del muro está controlado por el paño de albañilería, la respuesta es prácticamente lineal y elástica. A medida que aumentan las deformaciones del muro, se observa la aparición de grietas en el encuentro entre el marco y panel, con lo cual el paño de albañilería reduce la zona de contacto con el marco de confinamiento, como se muestra en la Figura 2.2, y se produce una redistribución del estado de tensiones, produciéndose una concentración de estas en la diagonal del muro (ver Figura 2.3 y 2.4), lo cual demuestra y refuerza la idea de modelar el paño de albañilería como un puntal.



**Figura 2.2** Mecanismo de reticulado equivalente en un marco de hormigón relleno con mampostería (Crisafulli, 2002)



**Figura 2.3** Distribución de tensiones en la albañilería, luego de la separación del marco con el panel. (Crisafulli, 2002)

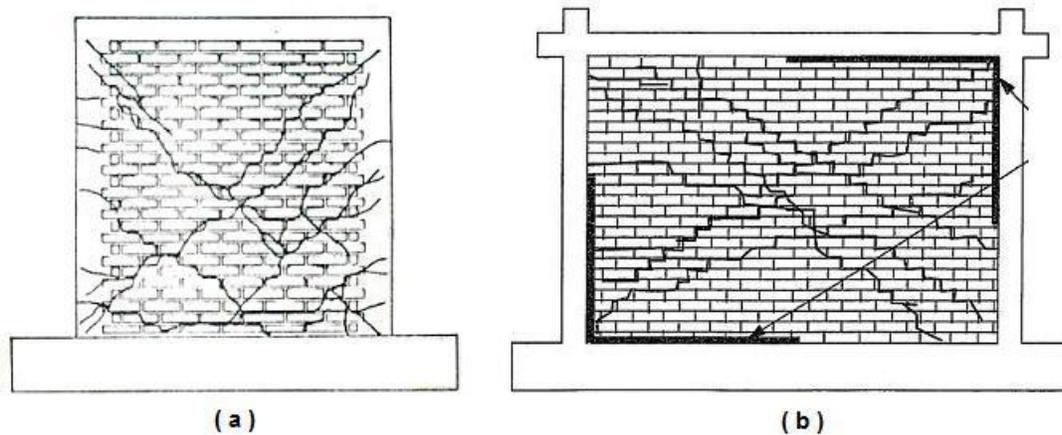


**Figura 2.4** Distribución de tensiones principales a lo largo de la diagonal de un panel de albañilería confinada, sometida a fuerzas laterales. (Crisafulli, 1997)

De la distribución de tensiones de la Figura 2.4 se observa que la tensión principal de compresión ( $f_1$ ) presenta valores crecientes en las esquinas y la tensión principal ( $f_2$ ) presenta bajos valores de tracción en el centro y mayores valores de compresión en la zona de las esquinas.

Teniendo en cuenta la magnitud que alcanzan las tensiones principales en el centro del paño, es posible despreciar la contribución de la diagonal en tracción considerando que la razón entre las tensiones principales de compresión y tracción en la región central del paño de albañilería es del orden de 7 a 10 veces (Crisafulli, 1997). Resultados similares a los obtenidos por Crisafulli obtuvo Riddington y Stafford Smith (1977), entregando relaciones del orden de 6.7 a 11.5 veces.

En el caso de los muros de albañilería confinada, el método de construcción difiere de los “*infill walls*”, debido a que el marco de hormigón se construye después del paño de albañilería, se consigue una mayor integración entre el marco de hormigón armado y el paño de albañilería. Por esta razón, es difícil ver una separación entre el marco y el paño aún cuando se alcancen niveles de deformación cercanos al colapso (Diez, 1987). A pesar de esto, el modelo se ha aplicado tanto a albañilería confinada como a marcos de hormigón rellenos con albañilería (Crisafulli, 2002).



**Figura 2.5** (a) Patrón de agrietamiento en estado último de muro de albañilería confinada (Diez, 1987), (b) Patrón de agrietamiento en estado último de un “infill wall” (Haider, 1995)

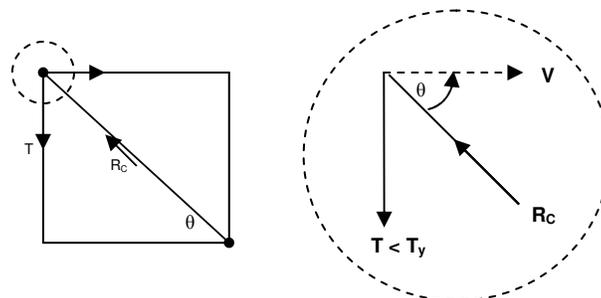
Considerando las condiciones de equilibrio en el nudo superior del modelo puntal-tensor, ver Figura 2.6, es posible estimar la resistencia al corte del muro, utilizando las siguientes ecuaciones:

$$V_c = R_c \cdot \cos \theta \quad (2.4)$$

$$T = R_c \cdot \sin \theta \leq T_y \quad (2.5)$$

$$T_y = A_{sl} \cdot f_y \quad (2.6)$$

- Donde
- $V_c$  : Resistencia al corte del paño de albañilería.
  - $R_c$  : Fuerza de compresión de falla en el puntal equivalente.
  - $\theta$  : ángulo que forma la diagonal del paño de albañilería con la horizontal.
  - $T$  : Fuerza de tracción en el tensor.
  - $T_y$  : Fuerza de fluencia en el tensor.
  - $A_{sl}$  : Armadura longitudinal del pilar de hormigón armado.
  - $f_y$  : Tensión de fluencia de la armadura longitudinal del paño.



**Figura 2.6** Equilibrio en nudo superior de muro de albañilería confinada modelado como un sistema puntal-tensor.

Donde la fuerza de tracción en el pilar de hormigón armado que actúa como tensor ( $T$ ) no puede sobrepasar la fuerza que hace fluir el refuerzo longitudinal de acero del pilar, resultado un

valor límite para la fuerza de corte que soporta el muro. Esta resistencia por fluencia de la armadura se calcula según la ecuación 2.7:

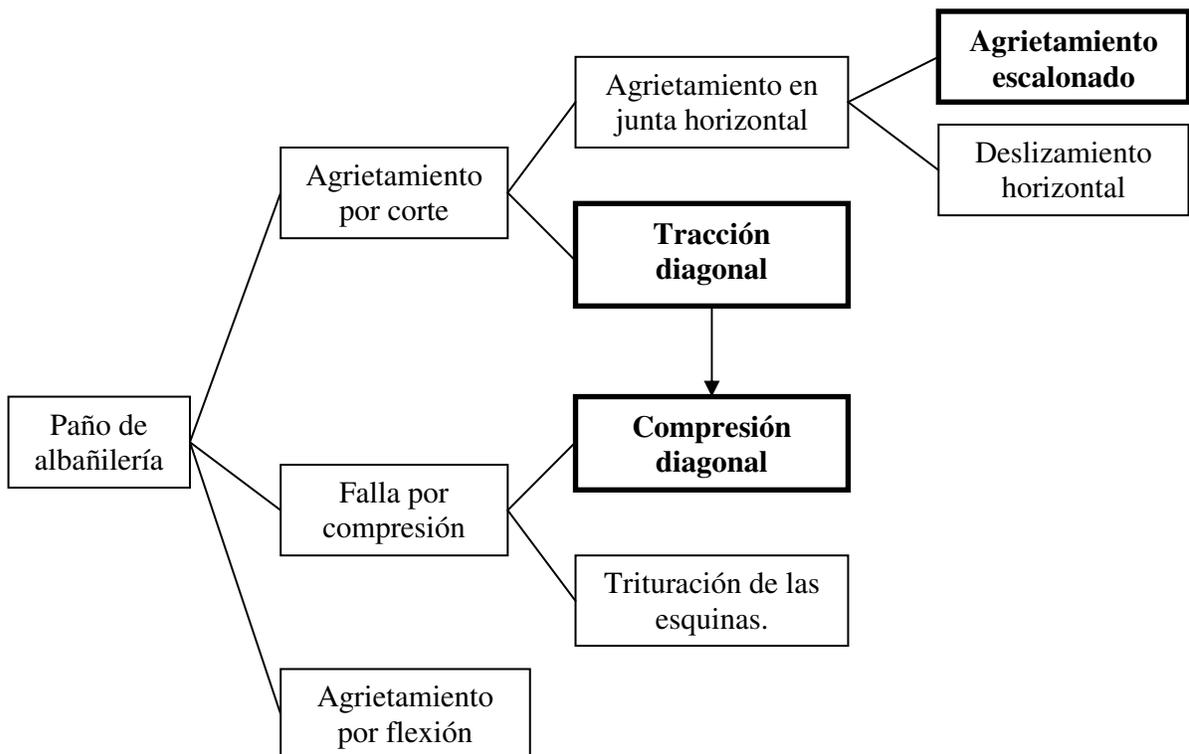
$$V_y = \frac{T_y}{\tan \theta} \quad (2.7)$$

Finalmente, la resistencia al corte del muro queda determinada por el menor valor entre  $V_c$  y  $V_y$ , dependiendo si controla el agrietamiento en el paño de albañilería o la fluencia del acero en el pilar, respectivamente.

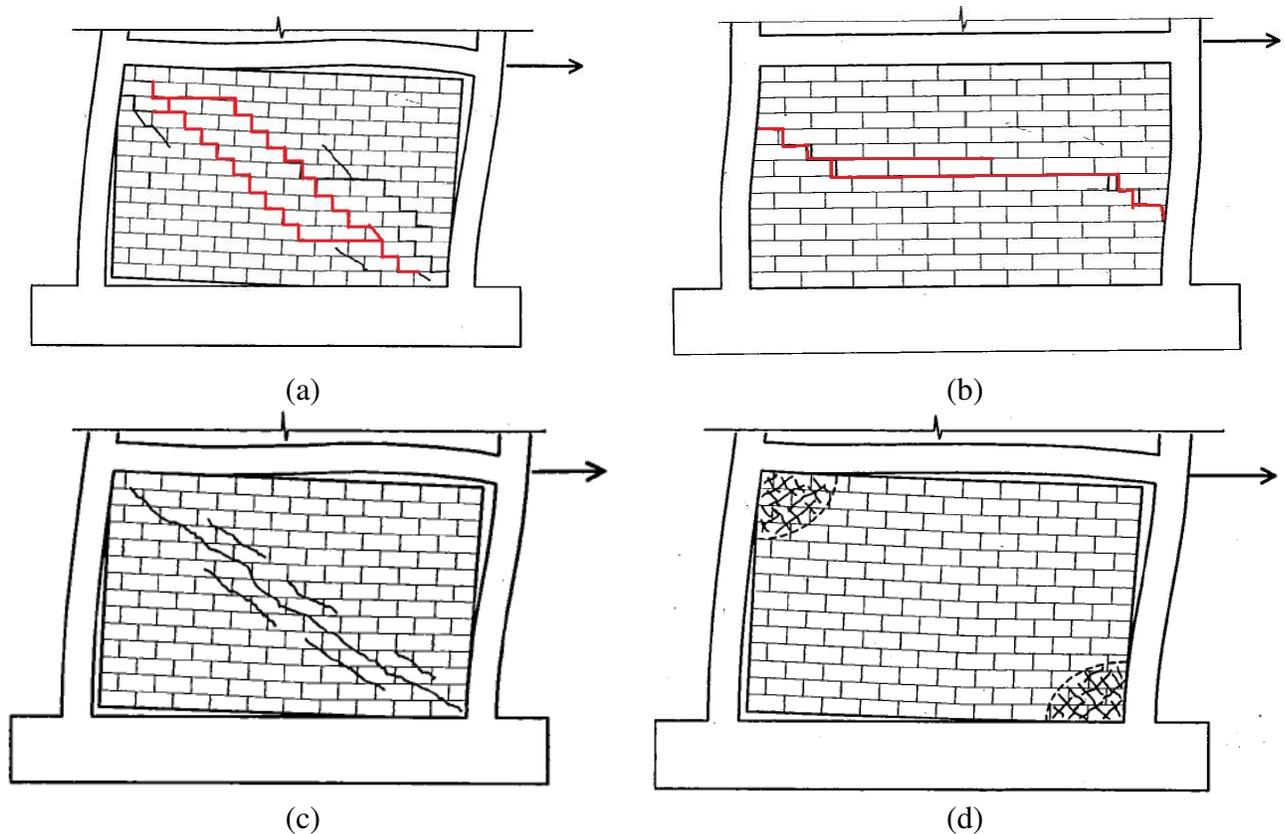
De las ecuaciones anteriores se observa que es necesario calcular la fuerza de compresión que resiste el paño de albañilería para poder determinar la fuerza de corte que resiste el muro de albañilería confinada.

### 2.3.2 Fuerza de compresión que resiste el paño de albañilería.

Entre los probables tipos de falla que se pueden generar en un paño de albañilería (ver diagrama 2.1), la mayor parte de las fallas que se observan en albañilería confinada, corresponden a las generadas por fuerzas de corte actuando en el muro. En la figura 2.7 es posible observar un esquema de fallas generadas por corte.



**Diagrama 2.1** Modos de falla observados en paños de albañilería confinada (Crisafulli, 1997)



**Figura 2.7** Fallas en albañilería confinada (a) Falla por agrietamiento escalonado o adherencia, (b) Deslizamiento horizontal, (c) Tracción diagonal, (d) Aplastamiento de esquinas comprimidas. (Crisafulli, 1997)

Aceptando que la resistencia al corte de un muro de albañilería confinada corresponde al estado límite de agrietamiento del paño, esta resistencia está determinada por la fuerza de compresión que es capaz de desarrollar el puntal equivalente cuando se produce el agrietamiento del paño.

Esta fuerza de compresión puede calcularse con la fórmula propuesta por Decanini y Fantin (1986) para los cuatro modos de falla que pueden producirse en el paño: *Tracción diagonal*, *Adherencia en las juntas de mortero*, *Aplastamiento de las esquinas comprimidas* y *Compresión diagonal* (ver Diagrama 2.1), resultando:

$$R_c = f'_{m\theta} \cdot A_{ms} \quad (2.8)$$

donde:

- $A_{ms}$  : área del puntal de compresión, y
- $f'_{m\theta}$  : Resistencia a la compresión del puntal de compresión orientado en un ángulo  $\theta$  con la horizontal para los distintos modos de falla del paño de albañilería. En la ecuación 2.8, la tensión de compresión se considera positiva.

La resistencia al corte y el modo de falla del muro de albañilería queda determinada por el menor valor de  $f'_{m\theta}$ . Como se observa en la ecuación 2.8, la expresión para calcular la resistencia a la compresión del puntal que representa la capacidad del paño de albañilería es independiente del tipo de falla, lo cual la hace utilizable en cualquier muro que pueda ser modelado como un puntal.

De los modos de falla de un paño de albañilería por corte, sólo el de deslizamiento a través de la junta horizontal no puede ser analizado con este modelo, debido a que este tipo de falla se encuentra asociada a un comportamiento que no es posible modelar mediante un macromodelo de un solo puntal (Crisafulli, 1997).

En relación con el ancho de puntal que se debe utilizar para calcular el área del puntal de compresión, los análisis realizados (reportados por Crisafulli, 1997) muestran que existe una buena coincidencia entre los valores experimentales y los teóricos, cuando se utiliza el ancho de puntal propuesto por Paulay y Priestley (1992) de un cuarto del valor de la longitud de la diagonal del paño de albañilería, con lo cual se obtiene:

$$A_{ms} = a_s \cdot t = 0,25 \cdot d_m \cdot t \quad (2.9)$$

Donde:

$a_s$	:	ancho de puntal
$t$	:	espesor del paño de albañilería.
$d_m$	:	largo de la diagonal del paño de albañilería.

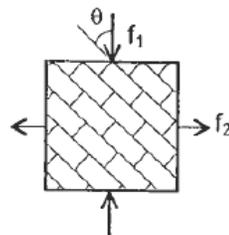
### i. Estado de tensiones en el paño de albañilería

Para establecer las tensiones normales y tangenciales que actúan en el paño de albañilería en función de las tensiones principales ( $f_1$ ,  $f_2$ ) y del ángulo ( $\theta$ ) de la normal del plano donde actúa la tensión principal de compresión respecto a la junta horizontal de mortero, ver Figura 2.8, se utilizan las expresiones propuestas por Dhanasekar (1985, reportado por Crisafulli, 1997):

$$f_n = f_1 \cdot \sin^2 \theta + f_2 \cdot \cos^2 \theta \quad (2.10)$$

$$f_p = f_1 \cdot \cos^2 \theta + f_2 \cdot \sin^2 \theta \quad (2.11)$$

$$\tau = -(f_1 - f_2) \cdot \sin \theta \cdot \cos \theta \quad (2.12)$$



**Figura 2.8** Representación de tensiones principales en el paño de albañilería (Crisafulli, 1997).

Para los efectos de establecer el modelo, Crisafulli (1997) realiza las siguientes consideraciones:

- $f_1$  es la tensión principal de compresión ( $> 0$ ).
- $f_2$  es despreciable dado que la razón entre  $\frac{f_1}{f_2} = 7a10$ .
- La tensión normal  $f_p$  no actúa, considerando los supuesto del modelo de Mann y Muller (1982), y
- $\theta = \theta_m$ , inclinación de la diagonal del paño de albañilería respecto a la horizontal.

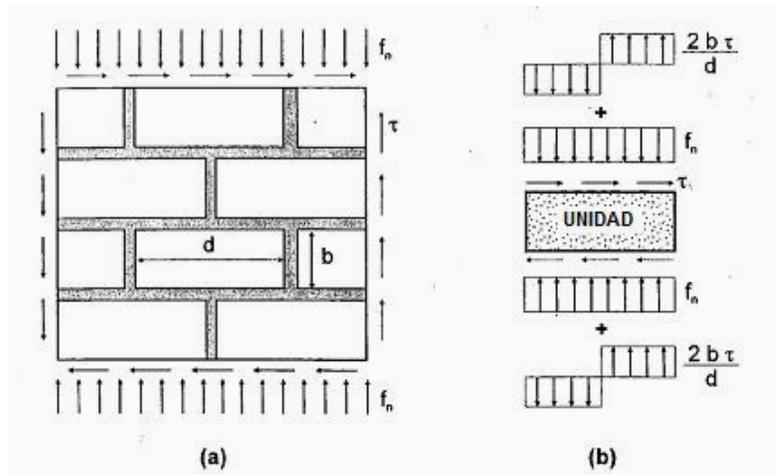
Utilizando las consideraciones anteriores, la tensión normal y tangencial que actúan en el muro quedan expresadas por las ecuaciones siguientes:

$$\tau = f_1 \cdot \sin \theta \cdot \cos \theta \quad (2.13)$$

$$f_n = f_1 \cdot \sin^2 \theta \quad (2.14)$$

## ii. Tensiones que actúan en la unidad.

Según Mann y Müller (1982) si se aísla una unidad de albañilería del paño, como la unidad mostrada en la Figura 2.9b, es posible aceptar que sobre la cara superior e inferior de la unidad de albañilería actúa una tensión normal  $\sigma_{xx}$  y una tensión tangencial  $\tau = \tau_{yx}$ ; mientras que en las caras laterales de la unidad actúan una tensión normal  $\sigma_{yy} = 0$  y una tensión tangencial  $\tau_{xy} = 0$  si se acepta que por la calidad de la mano de obra las juntas verticales de mortero son incapaces de transmitir las tensiones tangenciales y las tensiones normales en la dirección horizontal son generalmente de magnitud despreciable.



**Figura 2.9** (a) Estado de tensiones actuando sobre un corte de panel de albañilería según las consideraciones de Mann y Müller. (b) Estado de tensiones actuando sobre una unidad de albañilería según las consideraciones del modelo de Mann y Müller. (Crisafulli, 1997)

Teniendo en cuenta las tensiones que actúan sobre la unidad de albañilería, para que se cumplan la condición de equilibrio, se debe tener un par de fuerzas que produzcan un momento

sobre la unidad. Según Mann y Müller, este par de fuerzas produce una tensión de compresión y de tracción las que se distribuyen uniformemente en cada mitad de la unidad, con el respectivo aumento o disminución de las tensiones normales que actúan sobre la unidad,  $f_n$ .

Por lo anterior, las tensiones normales que actúan sobre la unidad de albañilería, es posible calcularlas mediante las ecuaciones siguientes:

$$f_{n1} = f_n + \tau \cdot \frac{2 \cdot b}{d} \quad (2.15)$$

$$f_{n2} = f_n - \tau \cdot \frac{2 \cdot b}{d} \quad (2.16)$$

Donde

b	: Altura de la unidad de albañilería.
d	: Longitud de la unidad de albañilería.
$f_n$	: Tensión normal actuando en la sección transversal del muro.
$\tau$	: Tensión tangencial debido a la fuerza de corte que actúa en el muro.

Para los efectos de aplicar estas ecuaciones se debe considerar que las tensiones normales de compresión son positivas.

Según Crisafulli (1997) el hecho de considerar una distribución uniforme de las tensiones que produce el par de fuerzas, significa aceptar un comportamiento plástico en la unidad, lo cual está lejos de la realidad cuando se tiene un material frágil como son los usados en la fabricación de las unidades de albañilería. Por ello, Crisafulli (1997) propone considerar que las tensiones producidas por el par de fuerzas se distribuyen en forma lineal con la línea neutra ubicada en el centro de la unidad. Teniendo en cuenta esta modificación, las ecuaciones 2.15 y 2.16 quedan expresadas como:

$$f_{n1} = f_n + \tau \cdot \frac{1,5 \cdot b}{d} \quad (2.17)$$

$$f_{n2} = f_n - \tau \cdot \frac{1,5 \cdot b}{d} \quad (2.18)$$

Mayor información y aplicación del Modelo de Mann y Müller en el ANEXO D de esta memoria.

### iii. Modos de falla del paño de albañilería

#### a) Falla por Adherencia (Criterio de Mohr-Coulumb)

Cuando actúan fuerzas normales pequeñas sobre el muro, es posible observar que la falla del paño de albañilería se produce por un agrietamiento a través de las juntas de mortero, generando un patrón de agrietamiento escalonado. Este tipo de falla se puede asociar a la fricción y adherencia existente entre el mortero y la unidad.

Un criterio que representa esta situación es el criterio de Mohr-Coulumb, el cual explica satisfactoriamente el comportamiento de materiales frágiles como roca, unidades de albañilería,

hormigón y suelos. Este criterio establece que mientras mayor sea la compresión aplicada sobre la superficie de falla, mayor es la resistencia al corte. Por lo tanto, la falla está asociada a la menor tensión normal que actúa sobre la unidad de albañilería en el modelo de Mann y Müller (1982), es decir,  $f_n = f_{n2}$ , resultando que la tensión tangencial máxima que puede actuar es:

$$\tau = \tau_o + \mu \cdot f_{n2} \quad (2.19)$$

Donde:  $\tau_o$  : Adherencia unitaria  
 $\mu$  : Coeficiente de fricción mortero-unidad.

Esta modelación explicaría el patrón escalonado de agrietamiento que es posible observar, considerando que la falla por adherencia del mortero se propaga a través de las juntas verticales que poseen baja resistencia y por la mitad de la unidad sometida a la menor tensión normal de compresión.

Reemplazando la ecuación 2.18 en la ecuación 2.19 y reorganizando los términos, se obtiene el conjunto de ecuaciones siguiente:

$$\tau = \tau_o^* + \mu^* f_n \quad (2.20)$$

Donde: 
$$\tau_o^* = \frac{\tau_o}{1 + \mu \frac{1.5 \cdot b}{d}} \quad (2.21)$$

$$\mu^* = \frac{\mu}{1 + \mu \frac{1.5 \cdot b}{d}} \quad (2.22)$$

Si se considera que la tensión principal de compresión  $f_1$  es la capacidad resistente del puntal que representa al paño de albañilería en el estado limite, entonces  $f_1 = f'_{m\theta}$ .

Reemplazando las ecuaciones 2.13 y 2.14 en la ecuación de Mohr-Coulumb modificada (Ecuación 2.20), se obtiene la resistencia del puntal de compresión, resultando:

$$\tau = \tau_o^* + \mu^* f_n$$

$$f_1 \cdot \sin \theta \cdot \cos \theta = \tau_o^* + \mu^* f_1 \cdot \sin^2 \theta$$

$$f'_{m\theta} = \frac{\tau_o^*}{\sin \theta \cdot (\cos \theta - \mu^* \sin \theta)} \quad (2.23)$$

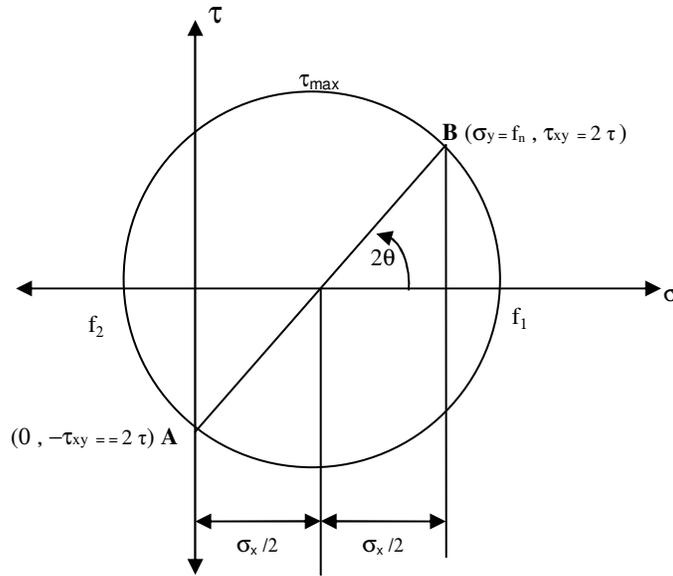
Donde  $\theta$ : ángulo de inclinación del puntal de compresión con respecto a la horizontal.  
 La tensión de compresión se considera positiva.

**b) Falla por tracción diagonal (Criterio de Rankine).**

El agrietamiento de las unidades puede ser un proceso generado tanto por las tensiones de corte como de compresión actuando sobre la unidad, ver Figura 2.9b. Si se analizan las tensiones principales, se observa una dirección donde solo existen tensiones de compresión y de tracción en la unidad. Considerando que la resistencia a la tracción de las unidades es baja, las unidades fallaran cuando la tensión principal de tracción iguale a la resistencia a la tracción de la unidad. Esta última condición se basa en el criterio formulado por Rankine.

Para aplicar este criterio se considera el estado de tensiones que actúa en el centro de una unidad del paño de albañilería, donde:

$$f_n = \sigma_y, f_p = \sigma_x = 0 \text{ y } \tau_{xy} = \tau_{yx} = 2 \cdot \tau$$



**Figura 2.10** Círculo de Mohr en caso falla por tracción diagonal.

Por un análisis con el círculo de Mohr, ver Figura 2.10, la tensión principal de tracción en la unidad, queda determinada por la ecuación:

$$f_2 = -f'_{tb} = \frac{f_n}{2} - \left[ \left( \frac{f_n}{2} \right)^2 + (2 \cdot \tau)^2 \right]^{1/2} \quad (2.24)$$

Donde  $f'_{tb}$  = resistencia a la tracción de la unidad de albañilería.

Y la tensión tangencial del muro por:

$$\tau_m = \frac{f'_{tb}}{2} \cdot \left[ 1 + \frac{f_n}{f'_{tb}} \right]^{1/2} \quad (2.25)$$

Si se realiza una expansión polinomial de la raíz cuadrada de la ecuación 2.25, la tensión de corte resistente queda definida por la expresión:

$$\tau_m = \frac{f'_{tb}}{2} \cdot \left( 1 + 0,27 \frac{f'_n}{f'_{tb}} \right) \quad (2.26)$$

Al igual que en el caso de falla por adherencia, se considera que la tensión  $f_l$  es la resistencia a la compresión del puntal que representa al paño de albañilería, es decir,  $f_l = f'_{m\theta}$ .

Reemplazando (2.13) y (2.14) en la ecuación de resistencia al corte por tracción diagonal (ecuación 2.26), se obtiene para una falla por tracción diagonal que la resistencia del puntal de compresión de albañilería está dada por la ecuación siguiente:

$$f'_{m\theta} = \frac{f'_{tb}}{\sin \theta \cdot (2 \cdot \cos \theta - 0,27 \cdot \sin \theta)} \quad (2.27)$$

Donde:  $\theta =$  ángulo de inclinación del puntal respecto a la horizontal.

### c) **Falla por compresión en el puntal diagonal (Crisafulli)**

Según Crisafulli, en este caso existen dos mecanismos de falla:

- Compresión biaxial (desintegración de las esquinas).
- Falla en la diagonal cargada.

Debido a que el modelo de análisis genera una resistencia de compresión de la diagonal cargada y la carga axial que actúa en el puntal no actúa en forma perpendicular con las juntas del mortero, este tipo de falla debe ser tratada de manera distinta a los anteriores modos de falla analizados. Por ello, Crisafulli propone una modificación de la tensión de compresión resistente de la albañilería en función de la inclinación de la carga principal, en este caso:

$$f'_{m\theta} = C_\theta \cdot f'_m \quad (2.28)$$

donde:  $C_\theta =$  coeficiente de reducción.

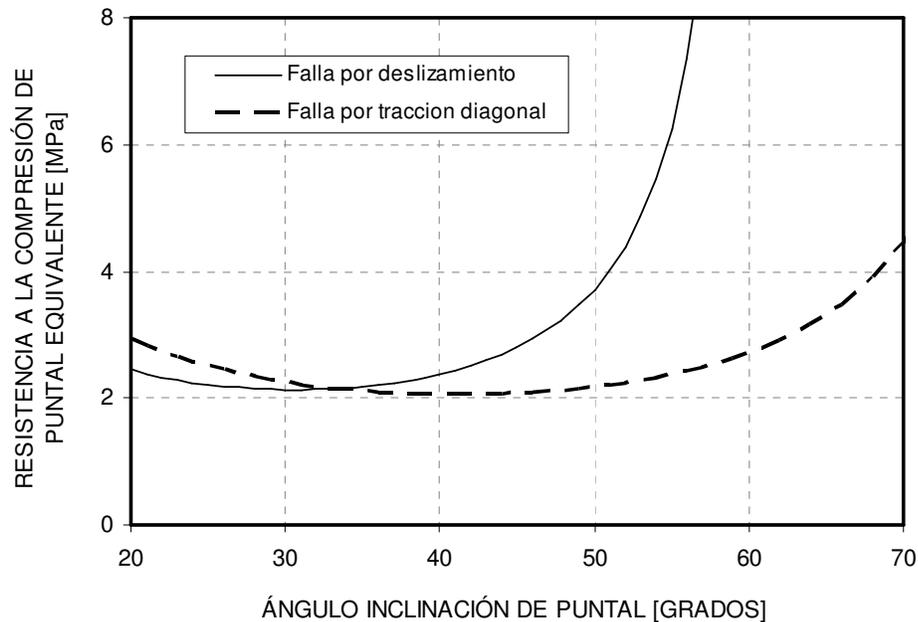
La manera de obtener el coeficiente  $C_\theta$  es del ensayo de paneles sometidos a una carga diagonal, que mantengan la inclinación  $\theta$ . Por lo tanto, es una variable empírica que complica el análisis.

### iv. **Envolvente de falla propuesta por Crisafulli.**

Las ecuaciones 2.23, 2.27 y 2.28, permiten establecer una envolvente de falla en función del ángulo  $\theta$  a partir de la cual es posible determinar la resistencia del puntal de compresión de un muro de albañilería confinada. A partir de esta resistencia se puede encontrar la fuerza lateral que genera la falla en el puntal de compresión considerando las propiedades geométricas del muro y las propiedades mecánicas de los materiales. Además la envolvente de falla permite realizar una predicción respecto al modo de falla.

Resultados analíticos obtenidos con este modelo han sido comparados con datos experimentales observándose una buena correlación (Crisafulli, 1997).

Si bien, no existe un buen conocimiento del parámetro  $C_\theta$  que describe el modo de falla por compresión diagonal, la ocurrencia de este tipo de falla es muy baja como lo describe Crisafulli (1997 y 2002). Con este antecedente y considerando las limitaciones de diseño que imponen las normas, Crisafulli propone que es posible definir el comportamiento de un muro sólo con las ecuaciones de falla por adherencia y por tracción diagonal (ver Figura 2.11).



**Figura 2.11** Ejemplo de la determinación de la envolvente de resistencia en función de la inclinación  $\theta$ . (Crisafulli, 2002)

Según Crisafulli, los valores límite del ángulo de inclinación del puntal de compresión, quedan determinados por las limitaciones de las normas de diseño, las cuales fijan dimensiones máximas y mínimas para los paños de albañilería. Teniendo en cuenta estas limitaciones, el valor del ángulo  $\theta$  generalmente varía entre:  $25^\circ < \theta < 60^\circ$ .

### 2.3.3 Procedimiento para calcular la resistencia al corte de un muro de albañilería confinada

Para calcular la resistencia al corte de un muro de albañilería confinada se deben realizar los pasos siguientes:

1. Formular de un modelo de análisis del muro mediante un reticulado equivalente.  
Parámetros de entrada:  $L$ ,  $h$ ,  $L_m$ ,  $h_m$ ,  $t$ ,  $w$ .
2. Determinar la resistencia del puntal o biela de compresión,  $f_{m\theta}$ , para cada tipo de falla.  
Datos de entrada:

- a) Propiedades mecánicas de las unidades:  $\nu_o, \mu, f'_{tb}, f'_m$ . Valores que se obtienen de ensayos a menor escala como son los ensayos de muretes, tripletas etc.
  - b) Propiedades geométricas de las unidades:  $b, d$
  - c) Propiedades geométricas del muro:  $h, L, \theta$ .
3. Adoptar el menor valor de resistencia del puntal  $f'_{m\theta}$  determinando el modo de falla que controla. Si la falla es por tracción diagonal, también debe analizarse la resistencia por falla a compresión.

4. Calcular resistencia de biela o puntal de compresión,  $R_c$ .

$$R_c = f'_{m\theta} \cdot A_{ms}$$

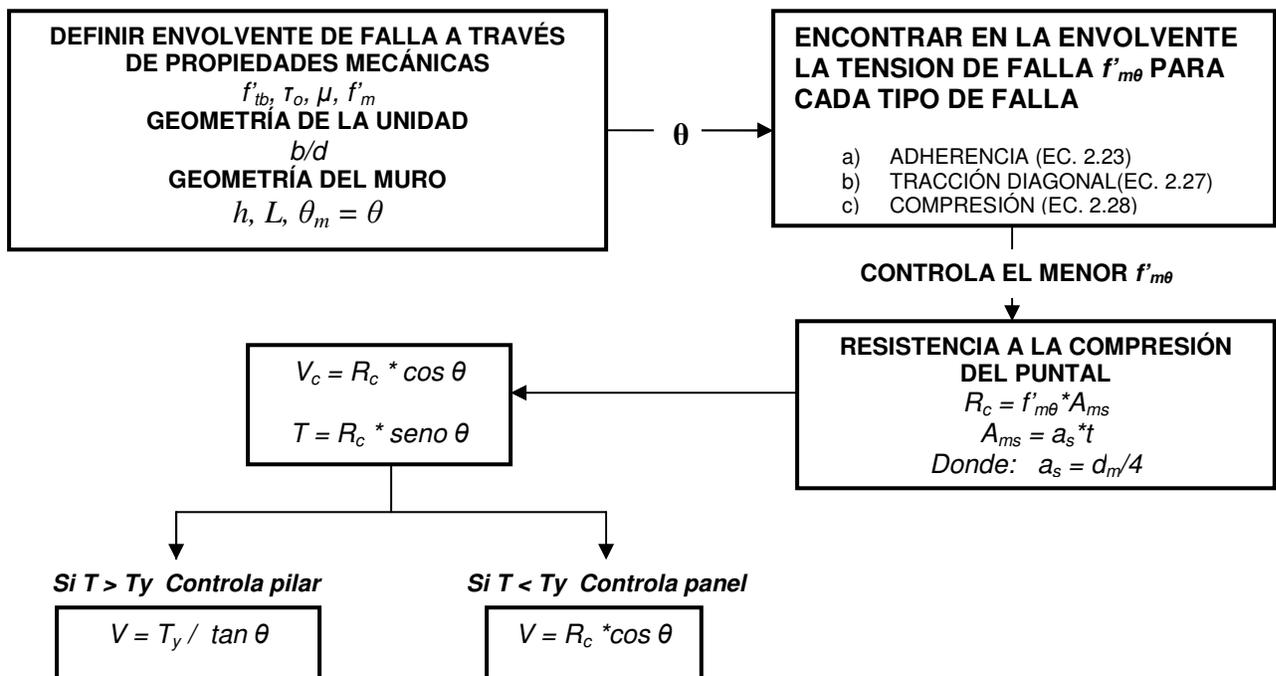
5. Determinar la resistencia lateral del muro de albañilería confinada, como la fuerza requerida para desarrollar la resistencia a compresión de la biela o puntal de compresión,  $R_c$ .

$$V_c = R_c \cdot \cos \theta$$

6. Verificar que el marco pueda resistir la fuerza que se obtienen cuando actúa  $V_c$ . De lo contrario, la capacidad resistente queda definida por la fluencia de las armaduras longitudinales del pilar de hormigón armado que actúa como tensor.

Verificar que  $T = V_c \times \tan(\theta) < T_y$

Los pasos descritos se pueden representar como se indica en el Diagrama 2.2



**Diagrama 2.2** Método propuesto para el cálculo de la resistencia al corte de un muros de albañilería confinada.

## 2.4 Conclusiones del capítulo

- Crisafulli propone un modelo teórico para calcular la resistencia al corte de un muro de albañilería confinada el cual posee algunas incertidumbres, como son: el *ancho del puntal de compresión* y el *factor de modificación de la resistencia a la compresión por efecto de la inclinación del puntal*,  $C_0$ . A pesar de estas incertidumbres, el modelo es atractivo debido a que es un modelo simple al utilizar parámetros que pueden ser obtenidos de ensayos sencillos como son el ensayo de tripletas a corte directo, de unidades a tracción y de prismas o muretes de albañilería a compresión.
- La utilización del modelo de Mann & Müller para el paño de albañilería, permite hacer un análisis de los tres modos de falla - adherencia, tracción diagonal y compresión diagonal - que pueden ocurrir en él cuando la capacidad resistente está controlada por la fuerza de corte, correspondiendo la capacidad resistente a la del modo de falla con menor resistencia. Esto último marca la diferencia entre el modelo de Crisafulli y las fórmulas empíricas que utilizan las normas de diseño y cálculo, las cuales no identifican el modo de falla que controla.
- Si bien el modo de falla de compresión diagonal es un modo que no ocurre frecuentemente en los muros de albañilería confinada construidos en el país, no se puede desestimar la posibilidad de que ocurra cuando se utilizan unidades de albañilería de fabricación artesanal y de baja resistencia. Esta posibilidad obliga a reunir más antecedentes experimentales para cuantificar el efecto de la inclinación de la fuerza de compresión con respecto a la junta horizontal de mortero en la resistencia a la compresión de la albañilería.

## CAPITULO 3

### ANTECEDENTES EXPERIMENTALES

#### 3.1 Introducción

En este capítulo se entregan los antecedentes experimentales necesarios para determinar la resistencia al corte de un muro de albañilería confinada con el modelo propuesto por Crisafulli. Además se entregan las cargas de primera grieta horizontal, de agrietamiento diagonal y máxima, obtenidas de los ensayo de 22 muros de albañilería confinada construidos con materiales nacionales. La carga de agrietamiento diagonal es el valor de comparación con la resistencia al corte obtenido con el modelo propuesto por Crisafulli.

Además se comparan las cargas de agrietamiento diagonal y la carga máxima con la ecuación de origen empírico que determina la carga de agrietamiento diagonal que está implícita en las disposiciones de diseño de la norma chilena NCh2123 (2003) con el propósito de poder identificar sus debilidades.

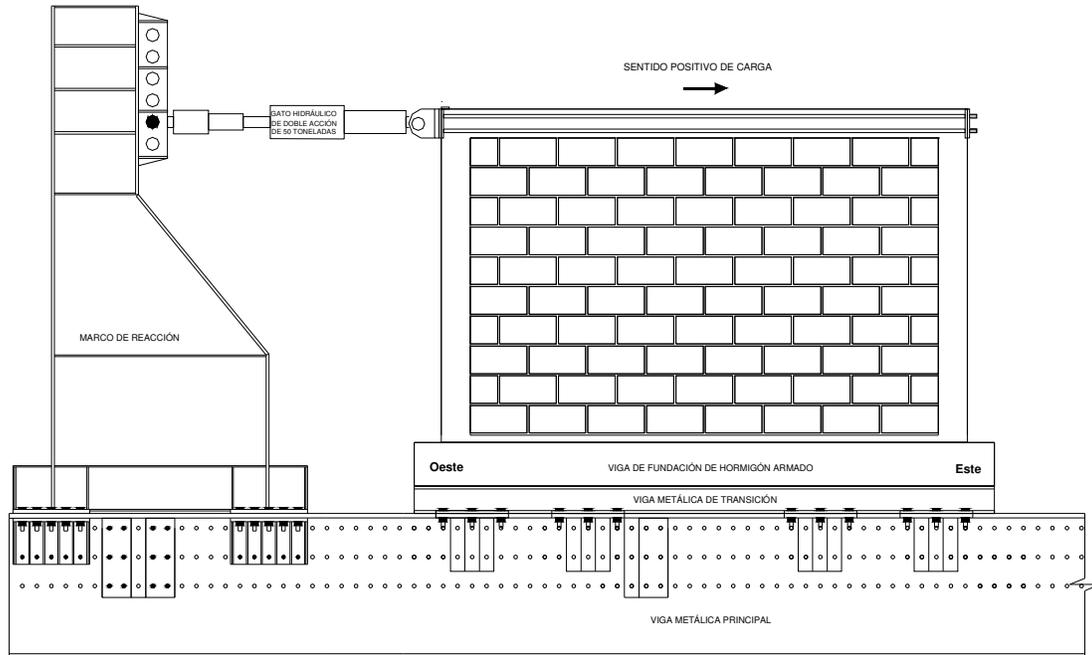
Como se podrá apreciar en el desarrollo de este Capítulo algunos de los parámetros que se requieren para aplicar el modelo de Crisafulli no fueron determinados cuando se realizaron los programas de ensayos de los muros. Esta situación obliga a estimarlos de manera indirecta, detallándose en este Capítulo la forma en que esto se hizo.

La información experimental que se entrega corresponde a: tipo de ensayo, dimensiones de los muros ensayados y propiedades los materiales (unidades, mortero y albañilería). Además se entrega para cada muro la carga de primera grieta horizontal, de agrietamiento diagonal y máxima alcanzada durante el ensayo, y modo de falla observado.

#### 3.2 Datos experimentales

Los datos experimentales reunidos corresponden a 22 muros de albañilería confinada ensayados en voladizo sin armadura horizontal distribuida en el paño, los cuales fueron sometidos a cargas laterales alternadas con o sin presencia de carga vertical. Los muros fueron ensayados en Chile entre los años 1987 y 2009 y representan la calidad de los materiales y de la mano de obra existente en el país.

El montaje experimental difiere levemente en cada serie de ensayos, en algunos se agrega un dispositivo adicional que permite aplicar la carga vertical sobre el muro. Un ejemplo del montaje experimental utilizado se muestra en la Figura 3.1 el cual corresponde al montaje utilizado por Ogaz (2004).



**Figura 3.1** Ensayo de un muro de albañilería confinada sin dispositivo de aplicación de carga vertical (Ogaz, 2004)

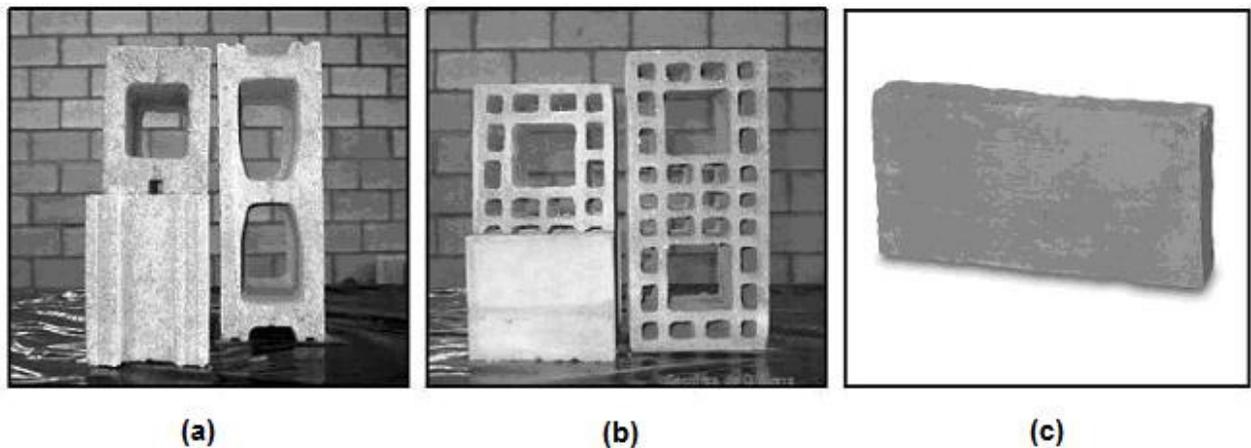
Teniendo en cuenta las características del ensayo y de las unidades de albañilería utilizadas en la construcción de los muros, es posible agrupar los 22 muros en 8 series, las cuales permiten presentar de mejor forma los resultados de este estudio. Las series corresponden a las siguientes:

- **Serie MRG:** Dos muros construidos con ladrillos cerámicos tipo rejilla y esbeltez igual a 1.0, ensayados por Diez (1987).
- **Serie MRE:** Dos muros construidos con ladrillos cerámicos tipo rejilla y esbeltez igual a 2.0, ensayados por Diez (1987).
- **Serie A:** Cinco muros construidos con ladrillos cerámicos tipo rejilla y esbeltez igual a 1.0. Se ensayan 4 muros con carga vertical, uno de estos muros no posee unión “endentada” o trabada entre el marco de hormigón armado y el paño de albañilería. Muros ensayados por Herrera (1992).
- **Serie B:** Cinco muros construidos con ladrillos cerámicos macizos del tipo artesanal, comúnmente conocidos como ladrillo “fiscal” o “chonchón”, de esbeltez igual a 1.0. Se ensayan 4 muros con carga vertical, uno de estos muros no posee unión “endentada” o trabada entre el marco de hormigón armado y el paño de albañilería. Muros ensayados por Herrera (1992).
- **Serie C11:** Un muro construido con bloques huecos de hormigón Tipo A (alta resistencia), sin relleno total de huecos ni armadura distribuida horizontal ni

verticalmente. El muro posee una esbeltez igual a 1.0. Muro ensayados con carga vertical por Muñoz (1992).

- **Serie C12:** Un muro construido con bloques huecos de hormigón Tipo B (corriente), sin relleno de huecos ni armadura distribuida horizontal ni verticalmente. El muro posee una esbeltez igual a 1.0. Muro ensayados con carga vertical por Muñoz (1992).
- **Serie MV:** Dos muros construidos con ladrillos cerámicos tipo rejilla y esbeltez igual a 1,03. Los muros difieren en las dimensiones de sus pilares, por lo tanto, el largo del panel de albañilería y el ángulo que forma la diagonal con la horizontal, es distinto en cada muro. Ensayos de Galleguillos y Valenzuela (2009).
- **Serie MLC:** Dos muros construidos con ladrillos cerámicos tipo rejilla con huecos y de esbeltez igual a 0,62. Muros ensayados sin carga vertical por Ogaz (2004).
- **Serie MBH:** Dos muros construidos con bloques huecos de hormigón Tipo A (alta resistencia) sin relleno de huecos y esbeltez igual a 0,61. Muros ensayados sin carga vertical externa por Ogaz (2004).

En la Figura 3.2 se muestran las unidades con las cuales se construyeron los muros.



**Figura 3.2** Tipos de unidades empleadas. (a) Bloque de hormigón, (b) ladrillo cerámico, (c) ladrillo artesanal o fiscal.

### 3.2.1 Disponibilidad de datos experimentales

La información necesaria para aplicar el método propuesto por Crisafulli es aquella que permite construir las envolventes de falla y establecer el ancho del puntal de compresión que modela la capacidad del paño de albañilería. Considerando la información proporcionada por los estudios experimentales de las distintas series, los datos disponibles y no disponibles se destacan en la Tabla 3.1.

**Tabla 3.1** Disponibilidad de datos experimentales para la construcción de las envolventes de falla usadas en el modelo de Crisafulli.

Autor	Serie	$\theta$	b/d	$\tau_o$	$\mu$	$f'_{tb}$	$f'_m$
Diez	MRG	✓	✓	S/I	S/I	S/I	✓
Diez	MRE	✓	✓	S/I	S/I	S/I	✓
Herrera	A	✓	✓	S/I	S/I	S/I	✓
Herrera	B	✓	✓	S/I	S/I	S/I	✓
Muñoz	C <sub>11</sub>	✓	✓	S/I	S/I	S/I	✓
Muñoz	C <sub>12</sub>	✓	✓	S/I	S/I	S/I	✓
Galleguillos	MV	✓	✓	S/I	S/I	S/I	S/I
Ogaz	MLC	✓	✓	S/I	S/I	S/I	✓
Ogaz	MBH	✓	✓	S/I	S/I	S/I	✓

Donde:

✓ : Dato experimental disponible  
 S/I : Sin información experimental.

La forma en que se obtuvo los parámetros experimentales de los cuales no se disponga de información se detalla en el punto 3.2.3, entre ellos se destaca la adherencia unitaria, el coeficiente de fricción mortero-unidad y la resistencia a la tracción de la unidad, cuyos ensayos de obtención (tripleas a corte directo con carga axial aplicada y ensayo de tensión directa) no fueron considerados en el programa experimental de cada serie.

### 3.2.2 Parámetros geométricos y mecánicos de los muros ensayados.

En esta sección se detallan las propiedades geométricas de cada muro, tanto del paño de albañilería como de los elementos de confinamiento de hormigón (ver Tabla 3.2 y 3.3). Además se entregan las propiedades de los materiales y albañilería, las que se obtuvieron de ensayos de prismas, muretes, cubos, etc. ver Tabla 3.4.

**Tabla 3.2.** Propiedades de muros ensayados.

Autor	Serie	Muros	Esbeltez $\lambda$	TIPO DE ENSAYO			UNIDADES		Mortero	Conexión
				Tipo de ensayo	Nivel de daño	Solicitación axial [kN]	Unidad	Comercial		
Diez (1987)	MR	MRG1	1	Voladizo	Severo	0	Cerámica/Rejilla	Titán Liviano	1 : ½ :4	E
		MRG2	1	Voladizo	Severo	0	Cerámica/Rejilla	Titán Liviano	1 : ½ :4	E
Diez (1987)	ME	MRE1	2	Voladizo	Severo	0	Cerámica/Rejilla	Titán Liviano	1 : ½ :4	E
		MRE2	2	Voladizo	Severo	0	Cerámica/Rejilla	Titán Liviano	1 : ½ :4	E
Herrera (1992)	A	A11	1	Voladizo	Leve	0	Cerámica/Rejilla	Titán Liviano	1 : ½ :4	E
		A12	1	Voladizo	Severo	80	Cerámica/Rejilla	Titán Liviano	1 : ½ :4	E
		A13	1	Voladizo	Leve	160	Cerámica/Rejilla	Titán Liviano	1 : ½ :4	E
		A14	1	Voladizo	Severo	160	Cerámica/Rejilla	Titán Liviano	1 : ½ :4	E
		A2	1	Voladizo	Severo	80	Cerámica/Rejilla	Titán Liviano	1 : ½ :4	S/E
Herrera (1992)	B	B11	1	Voladizo	Leve	0	Fiscal/Artesanal	Fiscal Princesa	1 : ½ :4	E
		B12	1	Voladizo	Severo	160	Fiscal/Artesanal	Fiscal Princesa	1 : ½ :4	E
		B13	1	Voladizo	Leve	160	Fiscal/Artesanal	Fiscal Princesa	1 : ½ :4	E
		B14	1	Voladizo	Severo	160	Fiscal/Artesanal	Fiscal Princesa	1 : ½ :4	E
		B2	1	Voladizo	Severo	80	Fiscal/Artesanal	Fiscal Princesa	1 : ½ :4	S/E
Muñoz (1992)	C11	C11	1	Voladizo	Severo	140	Bloque Tipo A		1 : ½ :4	E
	C12	C12	1	Voladizo	Severo	140	Bloque Tipo B		1 : ½ :4	E
Galleguillos (2009)	MV	MV1	1,03	Voladizo	Leve	0	MqHv / Rejilla	Princesa	1: ¼: 2	E
		MV3	1,03	Voladizo	Leve	0	MqHv / Rejilla	Princesa	1: ¼: 2	E
Ogaz (2004)	MLC	MLC-T1-01	0,62	Voladizo	Severo	0	Ceramica/Rejilla	Gran Titan	A14	E
		MLC-T1-02	0,62	Voladizo	Severo	0	Ceramica/Rejilla	Gran Titan	A14	E
Ogaz (2004)	MBH	MHB-T1-01	0,61	Voladizo	Severo	0	Bloque tipo A	Domenico EC-15	A14	E
		MHB-T1-02	0,61	Voladizo	Severo	0	Bloque tipo A	Domenico EC-15	A14	E

Donde:

El nivel de daño severo se refiere a un desplazamiento de 1/200 de la altura del muro. Mientras que el nivel de daño leve se refiere a aplicar carga hasta el agrietamiento diagonal del panel de albañilería ya sea por falla por adherencia o tracción diagonal.

E : muro con conexión panel-marco endentada

S/E : muros sin conexión panel-marco endentada

**Tabla 3.3** Propiedades geométricas y de refuerzos de muros de albañilería confinada.

Muros	Panel de albañilería y marco						Pilar		Pilar			Cadena		Cadena		
	L <sub>m</sub>	h <sub>m</sub>	h <sub>p</sub>	h <sub>c</sub>	d <sub>m</sub>	t	Longitudinal		Transversal			Longitudinal		Transversal		
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	Acero	Tipo	zc	zn	Tipo	Acero	Tipo	zc	zn	Tipo
MRG1	2000	2200	200	200	2973	139,2	4φ12	A63-42H	Eφ8@12	Eφ6@20	A44-28H	4φ12	A44-28H	Eφ6@12	Eφ6@20	A44-28H
MRG2	2000	2200	200	200	2973	139,2	4φ12	A63-42H	Eφ8@12	Eφ6@20	A44-28H	4φ12	A44-28H	Eφ6@12	Eφ6@20	A44-28H
MRE1	800	2200	200	200	2341	139,2	4φ12	A63-42H	Eφ8@12	Eφ6@20	A44-28H	4φ12	A44-28H	Eφ6@10	*	A44-28H
MRE2	800	2200	200	200	2341	139,2	4φ12	A63-42H	Eφ8@12	Eφ6@20	A44-28H	4φ12	A44-28H	Eφ6@10	*	A44-28H
A11	2000	2200	200	200	2973	140,3	4φ12	A63-42H	Eφ8@12	Eφ6@20	A44-28H	4φ12	A63-42H	Eφ6@10	Eφ6@20	A44-28H
A12	2000	2200	200	200	2973	140,3	4φ12	A63-42H	Eφ8@12	Eφ6@20	A44-28H	4φ12	A63-42H	Eφ6@10	Eφ6@20	A44-28H
A13	2000	2200	200	200	2973	140,3	4φ12	A63-42H	Eφ8@12	Eφ6@20	A44-28H	4φ12	A63-42H	Eφ6@10	Eφ6@20	A44-28H
A14	2000	2200	200	200	2973	140,3	4φ12	A63-42H	Eφ8@12	Eφ6@20	A44-28H	4φ12	A63-42H	Eφ6@10	Eφ6@20	A44-28H
A2	2000	2200	200	200	2973	140,3	4φ12	A63-42H	Eφ8@12	Eφ6@20	A44-28H	4φ12	A63-42H	Eφ6@10	*	A44-28H
B11	2000	2200	200	200	2973	156	4φ10	A63-42H	Eφ6@10	Eφ6@20	A44-28H	4φ10	A63-42H	Eφ6@10	Eφ6@20	A44-28H
B12	2000	2200	200	200	2973	156	4φ10	A63-42H	Eφ6@10	Eφ6@20	A44-28H	4φ10	A63-42H	Eφ6@10	Eφ6@20	A44-28H
B13	2000	2200	200	200	2973	156	4φ10	A63-42H	Eφ6@10	Eφ6@20	A44-28H	4φ10	A63-42H	Eφ6@10	Eφ6@20	A44-28H
B14	2000	2200	200	200	2973	156	4φ10	A63-42H	Eφ6@10	Eφ6@20	A44-28H	4φ10	A63-42H	Eφ6@10	Eφ6@20	A44-28H
B2	2000	2200	200	200	2973	156	4φ10	A63-42H	Eφ6@10	Eφ6@20	A44-28H	4φ10	A63-42H	Eφ6@10	Eφ6@20	A44-28H
C11	2000	2200	200	200	2973	139,9	4φ10	A63-42H	Eφ6@10	Eφ6@20	A44-28H	4φ10	A63-42H	Eφ6@10	Eφ6@20	A44-28H
C12	2000	2200	200	200	2973	139,9	4φ10	A63-42H	Eφ6@10	Eφ6@20	A44-28H	4φ10	A63-42H	Eφ6@10	Eφ6@20	A44-28H
MV1	2020	1800	200	250	2706	140	4φ12	A63-42H	Eφ6@10	Eφ6@20	A44-28H	4φ10	A44-28H	Eφ6@10	Eφ6@20	A44-28H
MV3	2020	1600	300	250	2577	140	4φ12	A63-42H	Eφ6@10	*	A44-28H	4φ10	A44-28H	Eφ6@10	*	A44-28H
MLC-T1-01	3250	2050	200	200	3843	140	4φ10	A63-42H	Eφ6@15	Eφ6@15	A63-42H	4φ10	A63-42H	Eφ6@15	Eφ6@15	A63-42H
MLC-T1-02	3250	2050	200	200	3843	140	4φ10	A63-42H	Eφ6@15	Eφ6@15	A63-42H	4φ10	A63-42H	Eφ6@15	Eφ6@15	A63-42H
MHB-T1-01	3200	2000	200	200	3774	140	4φ10	A63-42H	Eφ6@15	Eφ6@15	A63-42H	4φ10	A63-42H	Eφ6@15	Eφ6@15	A63-42H
MHB-T1-02	3200	2000	200	200	3774	140	4φ10	A63-42H	Eφ6@15	Eφ6@15	A63-42H	4φ10	A63-42H	Eφ6@15	Eφ6@15	A63-42H

Donde:

zc : zona crítica l = 60 cm, a partir de cada esquina.

zn : zona normal, comprendida entre ambas zonas críticas.

dm : largo de la diagonal del paño de albañilería

**Tabla 3.4** Propiedades mecánicas de los materiales.

Serie de muros.	Unidades					Hormigón			Mortero	Albañilería			
	Tipo unidades.	b	D	t	f <sub>p</sub>	f <sub>c</sub> '	f <sub>t</sub> '	E <sub>c</sub>	R <sub>28</sub>	f <sub>m</sub> ' (1)	E	τ <sub>m</sub>	G
		[mm]	[mm]	[mm]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
MRG1	Titán Liviano	70,4	286,6	139,2	30,56	29,1	3	20790	25,41	13,76	8031,6	1,056	1566
MRG2	Titán Liviano	70,4	286,6	139,2	30,56	31,4	3,1	21348	21,48	13,76	8031,6	1,056	1566
MRE1	Titán Liviano	70,4	286,6	139,2	30,56	24,1	3	20699	26,76	13,76	8031,6	1,056	1566
MRE2	Titán Liviano	70,4	286,6	139,2	30,56	25,37	3,1	21348	22,75	13,76	8031,6	1,056	1566
A11	Titán Liviano	70,2	287,6	140,3	25,87	27,7	3,3	22536	22,7	12,2	5690,4	0,8	1261,1
A12	Titán Liviano	70,2	287,6	140,3	25,87	42,7	4,1	29042	25,3	12,2	5690,4	0,8	1261,1
A13	Titán Liviano	70,2	287,6	140,3	25,87	27,7	3,3	22536	24,3	12,2	5690,4	0,8	1261,1
A14	Titán Liviano	70,2	287,6	140,3	25,87	40,6	4	28222	23,9	12,2	5690,4	0,8	1261,1
A2	Titán Liviano	70,2	287,6	140,3	25,87	27,8	3,3	22585	29,3	12,2	5690,4	0,8	1261,1
B11	Chonchon	64	302,5	156	8,44	20,7	2,8	19248	24,9	2,37	347,8	0,235	230
B12	Chonchon	64	302,5	156	8,44	20,7	2,8	19248	24,3	2,37	347,8	0,235	230
B13	Chonchon	64	302,5	156	8,44	28,6	3,3	22978	22,1	2,37	347,8	0,235	230
B14	Chonchon	64	302,5	156	8,44	42,7	4,1	29042	25,9	2,37	347,8	0,235	230
B2	Chonchon	64	302,5	156	8,44	43,3	4,1	29273	23,7	2,37	347,8	0,235	230
C11	Bloque A	190,8	389,9	139,9	21,5	39,1	3,9	27803	35,63	9,12	6136,8	0,71	1551,2
C12	Bloque B	189,7	392,4	139,9	10,62	39,0	3,9	27803	34,19	7,17	7488,7	0,707	1531,6
MV1	MqHv	70	290	140	19,8	28,3	3,3	22832	25,3	*	*	0,632	*
MV3	MqHv	70	290	140	19,8	28,3	3,3	22832	25,3	*	*	0,632	*
MLC-T1-01	Gran Titán	115	291	141	25,9	23,9	3	20683	18,87	6,89	4849	0,55	528
MLC-T1-02	Gran Titán	115	291	141	25,9	23,9	3	20683	18,87	6,89	4849	0,55	528
MBH-T1-01	Bloque A	189	392	140	16,13	23,9	3	20683	18,87	6,04	7114	0,49	618
MBH-T1-02	Bloque A	189	392	140	16,13	23,9	3	20683	18,87	6,04	7114	0,49	618

(1) medida sobre el área bruta.

### 3.2.3 Determinación de los parámetros mecánicos sin información en los estudios experimentales de los muros

#### a) Resistencia a la tracción de la unidad, $f'_{tb}$ .

- i. *Ladrillos cerámicos*: Es posible hacer una estimación de esta resistencia como un porcentaje de la resistencia a la compresión de la unidad. Francis et al. (1971) encontraron en ensayos del tipo “*splitting test*” que la resistencia a la tracción de la unidad es cercana al 9% y 5% de la resistencia a la compresión para unidades sólidas y con huecos, respectivamente. Considerando que se conoce la resistencia a la compresión de la unidad, en la Tabla 3.5 se estima la resistencia a la tracción de la unidad usando los porcentajes destacados anteriormente.

**Tabla 3.5** Resistencia a la tracción de la unidad en unidades cerámicas.

Serie	Tipo de unidad	Resistencia a la compresión $f_p$ [MPa]	Resistencia a la tracción $f_{tb}$ [MPa]
MRE / MRG	Hueca	30,5	1,525
A	Hueca	25,9	1,295
B	Sólida	8,4	0,759
MV	Hueca	19,8	0,99
MLC	Hueca	25,9	1,295

Por otra parte, es frecuente encontrar en la literatura (incluyendo la tesis de Crisafulli) que la resistencia a la tracción de la unidad puede considerarse igual a un 10% de la resistencia a la compresión de la unidad, independientemente que la unidad posea o no huecos. En particular, para los efectos del estudio se usaran los valores determinados con las recomendaciones de Francis et al. (1971), considerando que las resistencias a la compresión de las unidades se ajustan mejor a las resistencias de las unidades nacionales.

- ii. *Bloques de hormigón*: La razón entre la tensión de la unidad (realizando un *splitting test*) y la resistencia a la compresión varía entre 0,08 y 0,16 (Drysdale and Hamid, 2008). Para los efectos de este estudio se ha considerado el valor medio entre estos dos porcentajes, es decir un 12% de la resistencia a la compresión, con lo cual resultan los valores de la Tabla 3.6.

**Tabla 3.6** Resistencia a la tracción de la unidad de bloques de hormigón.

Serie	Resistencia a la compresión $f_p$ [MPa]	Resistencia a la tracción $f_{tb}$ [MPa]
C11	21,50	2,580
C12	10,62	1,274
MBH	16,13	1,936

**b) Adherencia unitaria,  $\tau_o$**

Nuevamente la estimación de este parámetro se realiza en forma separada para las unidades cerámicas y los bloques huecos de hormigón.

*i. Ladrillos cerámicos*

Para los muros de las series MRG, MRE y A, construidos con ladrillos cerámicos tipo rejilla de nombre comercial Titán Liviano y con un mortero de dosificación 1 : ½ : 4, es posible utilizar los resultados obtenidos del ensayo de tripletas sometidas a corte directo (Fernández et al., 1986) teniendo en cuenta que las tripletas fueron construidas con la misma unidad y dosificación de mortero. Los resultados obtenidos por Fernández et al. (1986) se entregan en la Tabla 3.7, en la cual se destaca el valor considerado para los efectos de este estudio.

**Tabla 3.7** Ensayos de tripletas con las características de las series MRE, MRG, A. (Fernández et. al, 1986)

Serie	Probeta	Mortero (volumen)	Unidad	$\tau_o$ [ MPa ]	$\tau_o$ (promedio) [ MPa ]	$\sigma$ [ MPa ]	C.V [ % ]	Falla
2	P4	1 : 1 : 3	Titán Liviano	0,541	0,451	0,086	19,1	FU
	P5			0,418				FU
	P6			0,394				AJS
3	<b>P7</b>	<b>1 : ½ : 4</b>	<b>Titán Liviano</b>	<b>0,456</b>	<b>0,405</b>	<b>0,073</b>	<b>18</b>	<b>AJS</b>
	<b>P8</b>			<b>0,333</b>				<b>AJS</b>
	<b>P9</b>			<b>0,425</b>				<b>AJS</b>
4	P10	1 : ¼ : 3 ¾	Titán Liviano	0,425	0,466	0,048	10,3	AJS
	P11			0,466				AJS
	P12			0,507				AJS

Donde:

- AJS: Falla de adherencia en las juntas (interfase superior)
- AJI: Falla por adherencia en las juntas (interfase inferior).
- FU: Falla de las unidades por corte o compresión.
- $\tau_o = Q/2A$  Resistencia de adherencia al corte
- $\sigma$ : desviación estándar de la serie
- C.V: Coeficiente de variación de la serie.

Para los muros de la serie B, construidos con ladrillos cerámicos artesanales, conocidos comúnmente como ladrillo “chonchón” o “fiscal”, se presenta una considerable variación de los valores de la adherencia. Teniendo en cuenta esto como antecedente, para los efectos del estudio se han usado los resultados de los ensayos de tripletas realizados por Bustos y Margery (1996) en probetas sometidas a corte directo y con una dosificación del mortero como las indicadas en la Tabla 3.8, y para la cual se obtienen los valores de adherencia de la Tabla 3.9.

**Tabla 3.8** Dosificación de morteros en kg/m<sup>3</sup> de cada componente. Cal hidratada. (Bustos y Margery, 1996)

	M2	M8	<b>M9</b>	M10
Cemento, C	300	300	<b>300</b>	300
Cal, K	0	50	<b>100</b>	150
Arena, A	1469	1425	<b>1373</b>	1294

El mortero utilizado en la serie B es similar al mortero M9.

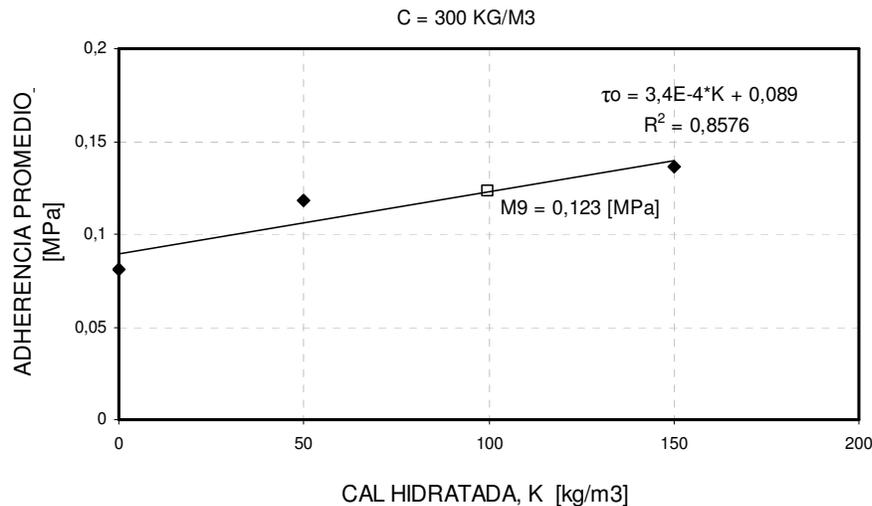
**Tabla 3.9** Resultados de resistencia a la adherencia al cizalle para tripletas con traslapeo parcial de ladrillos artesanales con mortero con cal hidratada. (Bustos y Margery, 1996)

Mortero	Resistencia a la adherencia [MPa]				C.V
	Probeta A	Probeta B	Probeta C	Promedio	
M2	0,106	0,071	0,067	0,081	0,26
M8	0,105	0,152	0,098	0,118	0,25
M9	0,138	0,04	-	0,089	0,78
M10	0,189	0,092	0,128	0,136	0,36

Debido a la alta variabilidad que presentan los valores de la Tabla 3.9, en especial para la dos probetas ensayadas con mortero M9, no es posible aplicar el valor entregado por la probetas con mortero M9 como adherencia unitaria de la serie B.

En cambio, como el contenido de cemento se mantiene constante ( $300 \text{ kg/m}^3$ ) y el contenido de arena sufre pequeñas modificaciones se puede encontrar una relación entre el contenido de cal y la adherencia unitaria de cada mortero.

Dicha relación se ha determinado interpolando en forma lineal entre los valores de adherencia unitaria promedio de los morteros M2, M8 y M10 y su contenido de cal, resultando un valor de la adherencia para usar en la serie B igual a  $\tau_o = 0,123 \text{ MPa}$ , ver Figura 3.3



**Figura 3.3** Adherencia en función de la cantidad de cal en un metro cúbico de mortero con 300 kg de cemento.

Para los muros de la serie MV, si bien no se indica el nombre comercial de la unidad tipo rejilla utilizada, por la clasificación se acepta que son similares a las unidades “Titán Liviano”. En relación con la dosificación en peso del mortero, ésta es bastante poco común (1: 1/4: 2) por el alto porcentaje de cemento utilizado en la mezcla. Conociendo las propiedades mecánicas del mortero y asumiendo que la unidad es del tipo “Titán Liviano” o similar, se utiliza la expresión propuesta por Fernández et al. (1986) para determinar la resistencia de adherencia:

$$\tau_o = -2,54 + 1,4 \cdot \ln(M) \tag{3.1}$$

donde: 
$$M = R_{C\_ASTM} \cdot Retentividad / 100 \quad (3.2)$$

Considerando que el mortero utilizado en la serie MV tiene una resistencia a la compresión de 253 kg/cm<sup>2</sup> y que la dosificación asegura una retentividad del al menos 70%, al utilizar las ecuaciones 3.2 y 3.1 se obtiene una adherencia para los muros de la serie MV igual a 4,71 kg/cm<sup>2</sup> ó 0,471 MPa. Para verificar este resultado, se buscaron resultados de ensayos de tripletas con una dosificación similar, como es la dosificación de mortero N° 1 de la Tabla 3.10, según Fernández et al. (1986) para este mortero se obtiene la resistencia de adherencia destacada en la Tabla 3.11,  $\tau_o = 0,47$  MPa, la cual se utilizará para los muros de la serie MV.

**Tabla 3.10** Equivalencias entre dosificación de mortero en volumen y peso (Fernández et al.).

Mortero N°	Dosificación en volumen			Dosificación en peso		
	Cemento	Cal	Arena	Cemento	Cal	Arena
<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>2,89</b>
2	1	0,5	3	1	0,3	2,89
3	1	1	3	1	0,59	2,89
4	1	0	4	1	0	3,86
5	1	0,5	4	1	0,3	3,86
6	1	1	4	1	0,59	3,86
7	1	1	6	1	0,59	5,79

**Tabla 3.11** Ensayos de tripletas (Fernández et. al, 1986)

Serie	Probeta	Mortero (volumen)	Unidad	$\tau_o$ [ MPa ]	$\tau_o$ (prom) [ MPa ]	$\sigma$ [ MPa ]	C.V [ % ]	Falla
1	P1	1 : 0 : 3	Titán Liviano	0,493	0,47	0,3	6,4	AJS
	P2			0,474				AJS
	P3			0,443				AJI

Para los muros de la serie MLC, en los cuales se utilizaron unidades “Gran Titán” y un mortero de fábrica premezclado denominado “A14 pega albañilería M10” de la empresa “Presec S.A” en su construcción, se buscó una unidad similar en cuanto a porcentaje de huecos y resistencia entre los ensayos realizados por Fernández et al. (1986), la cual resultó ser la unidad “Hércules” para la cual se obtienen resistencia de adherencia como las indicadas en la Tabla 3.12.

**Tabla 3.12** Ensayos de tripletas con características de la serie MLC.

Serie	Probeta	Mortero (volumen)	Unidad	$\tau_o$ [ MPa ]	$\tau_o$ (prom) [ MPa ]	$\sigma$ [ MPa ]	C.V [ % ]	FALLA
2	<b>P19</b>	1 : ¼ : 3 ¾	<b>Hércules</b>	<b>0,536</b>	<b>0,56</b>	<b>0,036</b>	<b>6,4</b>	<b>AJS</b>
	<b>P20</b>			<b>0,548</b>				<b>AJI</b>
	<b>P21</b>			<b>0,597</b>				<b>AJS</b>
3	P22	1 : 1 : 6	Hércules	0,536	0,542	0,007	1,3	AJS
	P23			0,542				AJS
	P24			0,548				AJS

Para determinar la adherencia se optó por la dosificación de mortero con las características más cercanas a las del mortero usado en la construcción de los muros, que en este caso fue la dosificación de la serie 2 de la tabla 3.13, es decir, 1: ¼: 3 ¾.

**Tabla 3.13** Resistencias de los morteros de obra curados en condiciones normales. Morteros de ensayos de Fernández et al. (Mortero 1 al 3) y mortero ensayado por Ogaz (mortero 4). Fluides de 130%.

Nº	Dosificación (volumen)	Densidad [ Tf / m <sup>3</sup> ]	ASTM Compresión [ MPa ]	RILEM Compresión [ MPa ]	Flexo tracción [ MPa ]	σ [ MPa ]
2	1: ¼ : 3 ¾	2,3	21,39	20,59	5,17	
3	1 : 1 : 6	2,3	10,33	10,13	3,05	
4	A14			18,87	5,12	4,32

A partir de estas consideraciones, se estima aceptable considerar que la adherencia de los muros de la serie MLC es igual a 0,56 MPa.

ii. *Bloques de hormigón.*

Las características de las unidades de bloques huecos de hormigón utilizadas en las tres series de muros ensayados son similares respecto a la geometría y las unidades utilizadas. En relación con el mortero, se puede observar en la Tabla 3.13 que el mortero “A14 pega albañilería M10” es de propiedades similares al mortero 1: ½: 4.

Teniendo en cuenta lo anterior, es posible caracterizar las tres series (C11, C12, MBH) con un solo valor de adherencia. Según Delfín et al. (1968) la adherencia de la albañilería construida con bloques huecos de hormigón como los utilizados en estas series y una dosificación del mortero similar es igual a  $\tau_0 = 0,38$  MPa, valor que es usado en este estudio.

c) **Coefficiente de fricción entre unidad y mortero,  $\mu$**

El valor del coeficiente de fricción ( $\mu$ ) queda determinado principalmente por el tipo de unidad. Algunos valores experimentales que se han obtenido para este coeficiente son:

- a)  $\mu = 0.8$  Ladrillos de rejilla de arcilla<sup>1</sup> con mortero en razón 1: ½ : 5. (Meli, 1971)
- b)  $\mu = 1.07$  Bloque de cemento sin relleno<sup>2</sup>, con mortero 1: ½ :4 (Hamid, 1979)
- c)  $\mu = 0.6$  Ladrillo sílico - calcáreo con estrías<sup>3</sup>, con una 1:1:4 (Gallegos, 1983)
- d)  $\mu = 0.7$  Bloque de cemento<sup>4</sup>, con mortero 1: ½ : 4 (Crisafulli, 1997)

<sup>1</sup> Meli, R., Reyes A. “Propiedades mecánicas de la mampostería” Instituto de ingeniería, Publicación N° 288 UNAM México, Julio 1971.

<sup>2</sup> Hamid et al. “Shear strength of concrete masonry joints” ASCE Journal of structural division Vol. 105(st7) Jul. 1979.

<sup>3</sup> Gallegos, H., Casabone, C. “Ensayo de corte directo de albañilerías” Colloquia’83 Stgo. Nov. 1983.

<sup>4</sup> Crisafulli, F.J. Op. Cit.

Por otra parte, en el trabajo de Fernández et al (1986) se hace el comentario siguiente: “El efecto de la carga perpendicular en la adherencia de la junta se desprecia ya que para un factor de fricción  $\mu = 0,8$  para una tensión normal aplicada  $\sigma = 0,12 \text{ kg/cm}^2$  se produce un incremento en la tensión de corte en promedio del orden de un 2,5%.”

Por lo tanto, si se considera el efecto de la fricción en la resistencia al corte,  $\tau$ , se puede aceptar que en ella el efecto de las variaciones que tiene el valor de  $\mu$  para un valor constante de la tensión normal no son considerables. Un análisis de la sensibilidad del modelo de Crisafulli cuando se varía el valor del coeficiente de fricción se entrega en el ANEXO C, comprobándose su reducido impacto en la determinación de la resistencia al corte de los muros de albañilería confinada.

Para los efectos de este estudio, los valores del coeficiente de fricción utilizados, según el tipo de unidad, son los siguientes:

- Ladrillos cerámicos  $\mu = 0,7$
- Bloques huecos de hormigón  $\mu = 0,8$

**d) Resistencia prismática de la serie MV,  $f'_m$**

Para esta serie de muros se conoce que el tipo de unidad utilizada es similar a los ladrillos Titán Liviano. Sin embargo, la dosificación en peso del mortero 1: ¼: 2, presenta un alto contenido de cemento si se compara con los morteros usados en las otras series de ensayos. No obstante, es posible comprobar experimentalmente que el efecto de utilizar morteros con altas proporciones de cemento en la resistencia a la compresión de la albañilería es limitar esta resistencia por la resistencia de la unidad (Parada, 1986).

Teniendo en cuenta lo anterior, es posible aproximar el valor de la resistencia prismática de la serie MV al de la resistencia a la compresión obtenida de los ensayos de prismas con unidades de ladrillo cerámico tipo Titán Liviano y dosificaciones con un alto porcentaje de cemento como las entregadas en la Tabla 3.14.

**Tabla 3.14** Prismas contruidos con unidades Titán Liviano y morteros con una alta dosificación de cemento (Parada, 1986; Fernández, 1986).

Fuente	Dosificación		$R_{28}$ Mortero [MPa]	$f'_m$ [MPa]	$E_m$ [MPa]	$\tau_m$ [MPa]	G [MPa]
	Peso	Volumen					
Serie MV	1 : 0,25 :2		27,2				
F. Parada	1: 0: 2,89	1: 0: 3	30,32	11,71	6562		
F. Parada	1: 0,3: 2,89	1: 1/2: 3	30,05	12,45	7062		
G. Fernández	1: 0: 2,89	1: 0: 3		10,12	4934	0,74	1049
<b>Valores promedio</b>				<b>11,43</b>	<b>6186</b>		

De la tabla 3.14 es posible comprobar que existen variaciones pequeñas entre las resistencias prismáticas cuando se comparan los prismas contruidos con la unidad Titán Liviano y morteros con altas resistencias. Por lo tanto, es posible aproximar la resistencia prismática de la serie MV al valor promedio de los prismas elaborados con unidad Titán Liviano y morteros con las dosificaciones indicadas en la Tabla 3.14, obteniendo un valor igual a  $f'_m = 11,43 \text{ MPa}$

Finalizada la estimación de los valores experimentales faltantes, se está en condiciones de aplicar el modelo de Crisafulli a las series de muros seleccionados utilizando los parámetros indicados en la Tabla 3.15.

**Tabla 3.15** Parámetros para la construcción del modelo de Crisafulli.

Serie	$\tau_o$ [MPa]	$\mu$ [ ]	$f'_{tb}$ [MPa]	$f'_m$ [MPa]
MRE – MRG	0,405	0,7	1,525	13,76
A	0,405	0,7	1,295	12,2
B	0,123	0,7	0,759	2,96
C11	0,380	0,8	2,580	9,12
C12	0,380	0,8	1,274	7,17
MV	0,471	0,7	0,990	11,4
MLC	0,560	0,7	1,295	6,89
MBH	0,380	0,8	1,936	6,04

### 3.3 Estados límite de carga de los muros ensayados

Para el análisis de la respuesta de los muros de albañilería confinada respecto de la fuerza lateral que se aplica en el ensayo, se han considerado tres estados de carga:

- *Carga de agrietamiento horizontal:* Fuerza para la cual se observan la primeras grietas visibles en las zonas en tracción de los muros, generalmente en los extremos inferiores de los pilares. Para esta carga se presenta el fin de rango elástico.
- *Carga de primera grieta de corte o de agrietamiento diagonal:* Corresponde a la fuerza en que se visualiza el patrón de agrietamiento que se mantendrá hasta el final del ensayo y que define el mecanismo de falla del muro.
- *Carga máxima:* Corresponde a la fuerza máxima aplicada en el ensayo.

El estado para el cual se aplica el modelo de Crisafulli corresponde a la *carga de primera grieta de corte o de agrietamiento diagonal*.

En las Figuras 3.4, 3.5 y 3.6 es posible ver gráficamente las fuerzas de estos tres estados de carga para cada muro de las diferentes series. En las Tablas 3.16 y 3.17 se entregan los valores utilizados para la construcción de estos gráficos y las deformaciones asociadas cada uno de los estados límites; en ellas también se incluye información relacionada con el modo de falla.

El modo de falla aparente fue determinado en base a información entregada por los autores de los ensayos en cuanto a la forma de las grietas que se generaron en el panel a ciertos niveles de carga y figuras donde es posible observar el estado agrietado y último de cada muro.

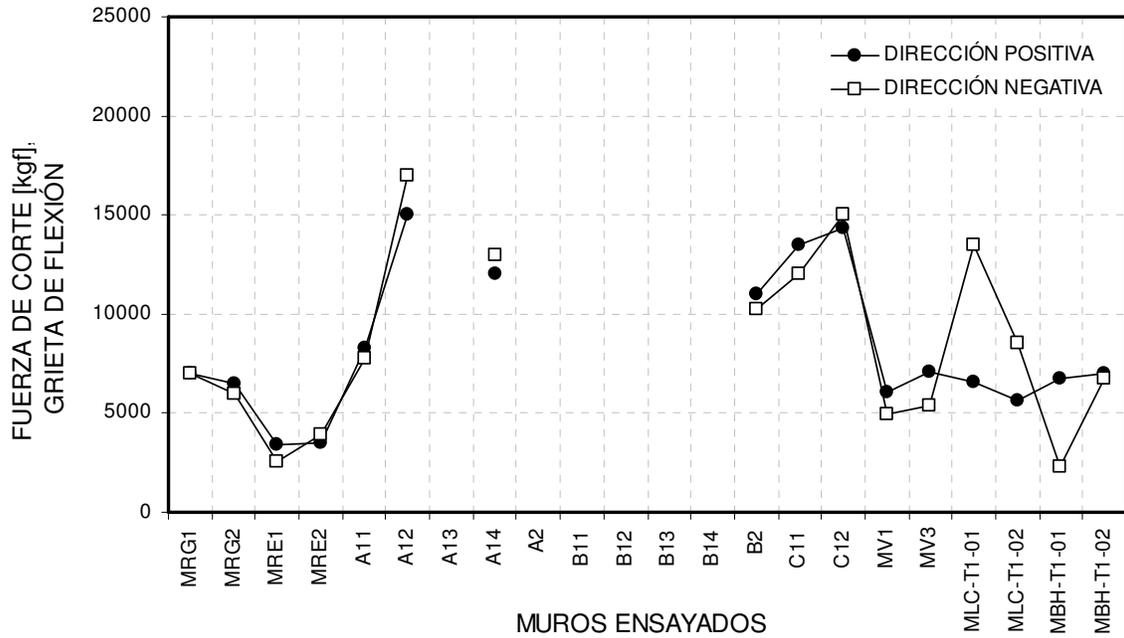


Figura 3.4 Fuerza de agrietamiento horizontal en los muros de albañilería confinada ensayados.

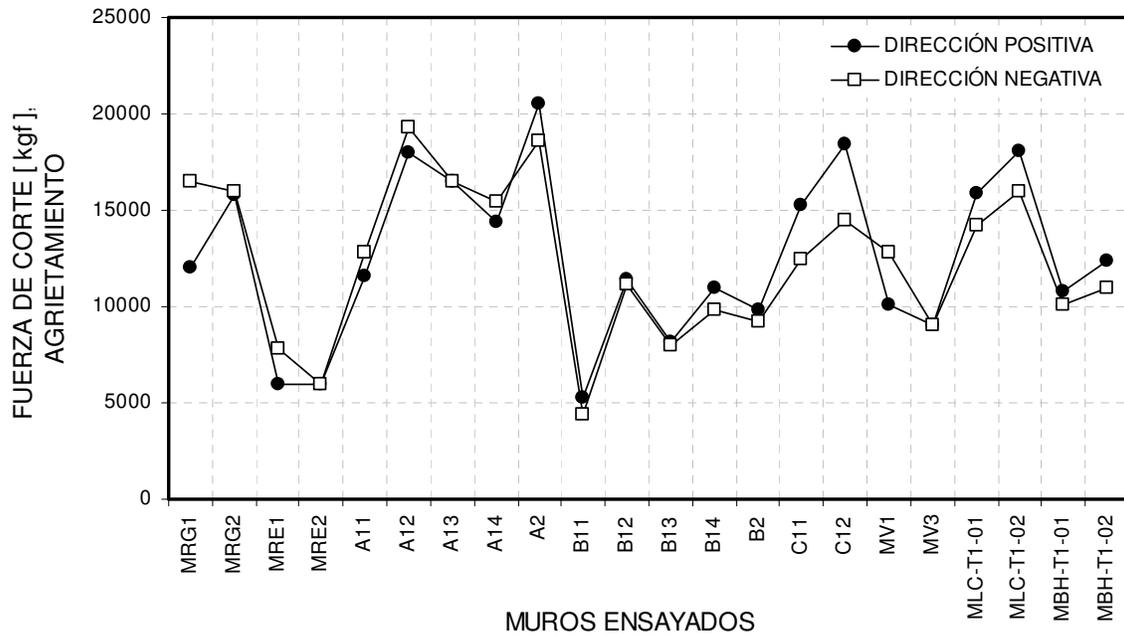


Figura 3.5 Fuerza de agrietamiento diagonal en el paño de albañilería en los muros de albañilería confinada ensayados.

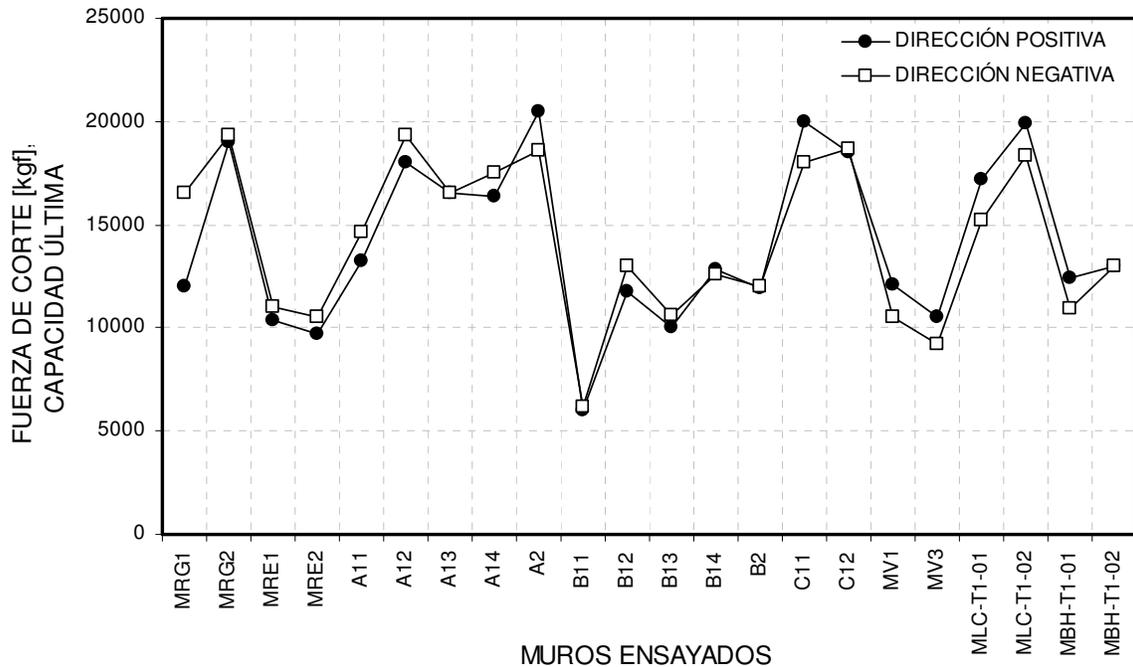


Figura 3.6 Fuerza máxima en los muros de albañilería confinada ensayados.

Tabla 3.16 Modo de falla correspondiente a cada muro ensayado.

Autor	Muro	N [kN]	$V_u/V_{ag}$ [ ]	Modo de falla
Diez	MRG1	0	1,00	Aparente falla por adherencia.
Diez	MRG2	0	1,20	Aparente falla por tracción diagonal.
Diez	MRE1	0	1,73	Aparente falla por tracción diagonal.
Diez	MRE2	0	1,62	Aparente falla por tracción diagonal.
Herrera	A <sub>11</sub>	0	1,14	Aparente falla por Adherencia
Herrera	A <sub>12</sub>	80	1,00	Aparente falla Tracción diagonal
Herrera	A <sub>13</sub>	160	1,00	Aparente falla Tracción diagonal
Herrera	A <sub>14</sub>	160	1,14	Aparente falla deslizamiento, luego adherencia
Herrera	A <sub>2</sub>	80	1,00	Aparente falla Tracción diagonal
Herrera	B <sub>11</sub>	0	1,36	Aparente falla por adherencia
Herrera	B <sub>12</sub>	160	1,06	Aparente falla mixta: Adherencia y tracción diagonal.
Herrera	B <sub>13</sub>	160	1,25	Aparente falla Tracción diagonal
Herrera	B <sub>14</sub>	160	1,29	Aparente falla adherencia
Herrera	B <sub>2</sub>	80	1,29	Aparente falla por adherencia
Muñoz	C <sub>11</sub>	140	1,44	Aparente falla por adherencia
Muñoz	C <sub>12</sub>	140	1,28	Aparente falla por tracción diagonal
Galleguillos	MV1	0	1,05	Aparente falla por tracción diagonal
Galleguillos	MV3	0	1,01	Aparente falla por tracción diagonal.
Ogaz	MBH-T1-01	0	1,08	Aparente falla por Adherencia
Ogaz	MBH-T1-02	0	1,18	Aparente falla por Adherencia
Ogaz	MLC-T1-01	0	1,07	Aparente falla por Adherencia
Ogaz	MLC-T1-02	0	1,14	Aparente falla por Adherencia

Donde:  $V_u$ : Carga lateral máxima (resistencia última)  
 $V_{ag}$ : Carga lateral de agrietamiento diagonal

**Tabla 3.17** Resistencias y deformaciones asociadas a cada muro ensayado.

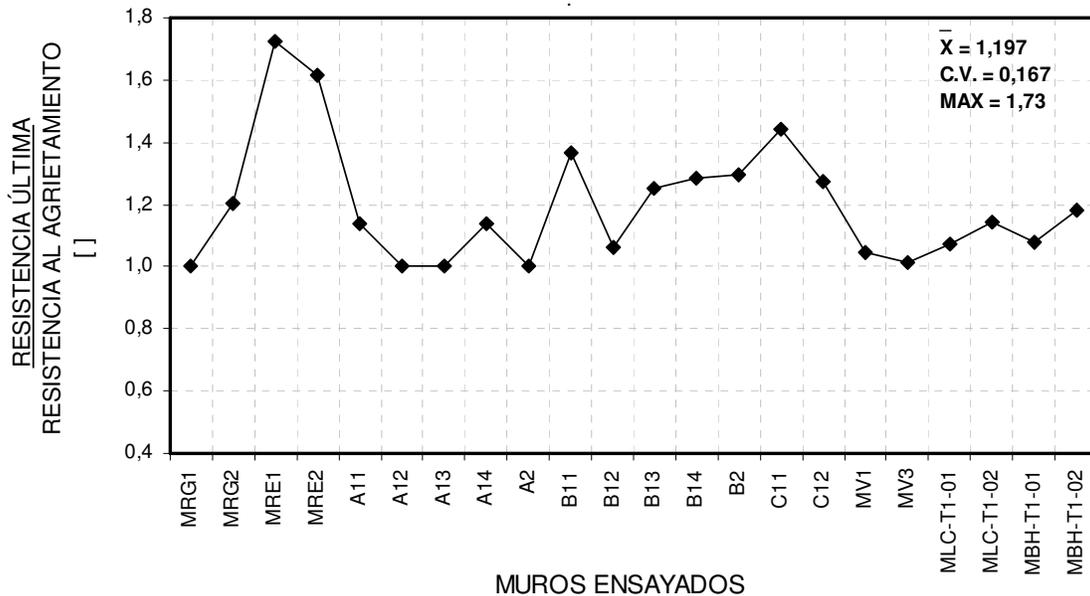
Muro	Agrietamiento horizontal						Agrietamiento diagonal						Capacidad máxima					
	Carga		Tensión de corte		Distorsión angular		Carga		Tensión de corte		Distorsión angular		Carga		Tensión de corte		Distorsión angular	
	[Kgf]		[kg / cm <sup>2</sup> ]		[ ‰ ]		[Kgf]		[kg / cm <sup>2</sup> ]		[ ‰ ]		[Kgf]		[kg / cm <sup>2</sup> ]		[ ‰ ]	
	→	←	→	←	→	←	→	←	→	←	→	←	→	←	→	←	→	←
MRG1	7000	7000	2,14	2,14	0,42	0,46	<b>12000</b>	<b>16500</b>	3,67	5,04	2,61	3,2	<b>12000</b>	<b>16500</b>	3,67	5,04	2,61	3,2
MRG2	6500	6000	1,99	1,83	0,33	0,12	<b>15800</b>	<b>16000</b>	4,83	4,89	2,86	1,74	<b>19000</b>	<b>19300</b>	5,81	5,9	7,26	2,9
MRE1	3400	2600	2,12	1,62	0,87	0,25	<b>6000</b>	<b>7850</b>	3,75	4,91	2,99	3,24	<b>10350</b>	<b>11030</b>	6,47	6,89	13	11,7
MRE2	3500	3900	2,19	2,44	0,66	0,95	<b>6000</b>	<b>6000</b>	3,75	3,75	2,2	2,41	<b>9700</b>	<b>10500</b>	6,06	6,56	9,88	9,59
A11	8300	7800	2,47	2,32	0,94	1,02	<b>11600</b>	<b>12800</b>	3,44	3,8	1,49	2,36	<b>13200</b>	<b>14600</b>	3,94	4,34	2,11	3,58
A12	15000	17000	4,46	5,06	3,38	3,28	<b>18000</b>	<b>19300</b>	5,35	5,74	3,47	4,17	<b>18000</b>	<b>19300</b>	5,35	5,74	3,47	4,17
A13	*	*	*	*	*	*	<b>16500</b>	<b>16500</b>	4,91	4,91	1,77	1,93	<b>16500</b>	<b>16500</b>	4,91	4,91	1,77	1,93
A14	12000	13000	3,57	3,87	0,52	0,58	<b>14400</b>	<b>15400</b>	4,3	4,6	1,11	1,01	<b>16400</b>	<b>17500</b>	4,89	5,21	2,05	1,58
A2	*	*	*	*	*	*	<b>20500</b>	<b>18600</b>	6,1	5,54	1,64	1,34	<b>20500</b>	<b>18600</b>	6,1	5,54	1,64	1,34
B11	*	*	*	*	*	*	<b>5300</b>	<b>4400</b>	1,48	1,21	0,62	0,72	<b>6000</b>	<b>6200</b>	1,67	1,71	1,02	2,56
B12	*	*	*	*	*	*	<b>11400</b>	<b>11100</b>	3,16	3,08	1,49	2,39	<b>11800</b>	<b>13000</b>	3,28	3,61	2,84	3,57
B13	*	*	*	*	*	*	<b>8200</b>	<b>8000</b>	2,28	2,22	1,19	1,28	<b>10000</b>	<b>10600</b>	2,78	2,94	1,85	1,95
B14	*	*	*	*	*	*	<b>11000</b>	<b>9800</b>	3,06	2,72	1,06	1,15	<b>12800</b>	<b>12600</b>	3,56	3,49	2,16	1,96
B2	11000	10200	3,31	2,82	3,65	3,51	<b>9800</b>	<b>9200</b>	2,72	2,55	2,39	2,28	<b>11900</b>	<b>12000</b>	3,31	3,34	4,63	6,21
C11	13500	12000	4,02	3,57	1,44	2,29	<b>15300</b>	<b>12500</b>	4,55	3,72	2,55	2,68	<b>20000</b>	<b>18000</b>	5,95	5,36	5,07	5,03
C12	14300	15000	4,26	4,46	1,27	2,38	<b>18400</b>	<b>14500</b>	5,48	4,32	2,06	2,89	<b>18500</b>	<b>18700</b>	5,51	5,57	3,88	6,13
MV1 <sup>(1)</sup>	6020	4960	1,96	1,61	0,48	0,55	<b>10072</b>	<b>12768</b>	3,27	3,36	2,1	3,6	<b>12120</b>	<b>10550</b>	3,94	3,43	2,08	2,65
MV3 <sup>(1)</sup>	7090	5410	2,3	1,76	0,64	0,47	<b>9055</b>	<b>9055</b>	2,94	2,94	1,3	1,2	<b>10540</b>	<b>9190</b>	3,42	2,98	1,62	1,53
MBH-T1-01	6700	2300	1,309	0,449	0,2	0,3	<b>10800</b>	<b>10100</b>	2,109	1,973	2,4	2,5	<b>12400</b>	<b>10900</b>	2,422	2,129	3,2	1,4
MBH-T1-02	7000	6700	1,367	1,309	0,3	0,2	<b>12400</b>	<b>11000</b>	2,422	2,149	2,8	6,5	<b>13000</b>	<b>13000</b>	2,539	2,539	4,7	2,8
MLC-T1-01	6600	13500	1,289	2,637	0,2	0,2	<b>15900</b>	<b>14200</b>	3,106	2,774	2,4	2,4	<b>17200</b>	<b>15200</b>	3,360	2,969	6,2	4,7
MLC-T1-02	5600	8500	1,094	1,660	0,2	0,2	<b>18100</b>	<b>16000</b>	3,535	3,125	3,7	3,4	<b>19900</b>	<b>18300</b>	3,887	3,574	6,5	6,1

Donde: → Sentido positivo de la carga      ← Sentido negativo de la carga

- (1) En el caso de la serie MV, las celdas correspondientes a primera grieta de flexión, corresponden al fin del rango elástico.  
 (2) Formación del patrón de agrietamiento en el caso de los muros MLC-T1, MBH-T1

### 3.3.1 Relación entre carga de agrietamiento diagonal y la carga máxima.

De los resultados experimentales de la Tabla 3.17 se puede obtener el valor de la razón entre la carga máxima y la carga de agrietamiento diagonal para cada muro, relación que se muestra gráficamente en la Figura 3.7.



**Figura 3.7** Razón entre la carga máxima y la carga de agrietamiento diagonal para los muros seleccionados.

Si se revisan los valores de la Figura 3.7 se observa que la razón  $V_u/V_{agr}$  se encuentra en el rango 1,0 y 1,73, lo que permite comprobar que luego de que se produce el agrietamiento diagonal, existe una resistencia residual que permite al muro resistir una mayor carga lateral, a pesar de la progresiva degradación de la rigidez. Resultados similares se obtienen en distintos programas experimentales, como por ejemplo la recopilación hecha por Crisafulli, la cual se entrega en la Tabla 3.18

**Tabla 3.18** Razón entre la carga máxima y la carga de agrietamiento obtenida en distintos estudios experimentales (recopilados por Crisafulli, 1997)

Referencia	No. de ensayos	Tipo de carga	$V_u/V_{ag}$
Govindan et al.	1	Cíclica	2.09
Klingner y Bertero	2	Cíclica	1.27 a 1.95
Meli	10	Cíclica	1.0 a 1.69
San Bartolomé	4	Monotónica	1.09 a 1.54
Sánchez et. al	3	Cíclica	1.0 a 1.41
Sánchez et. al	3	Cíclica	1.0 a 1.68
Yamín y García	8	Cíclica	1.01 a 1.29

### 3.3.2 Relación entre la carga de agrietamiento experimental y la carga de agrietamiento diagonal usada por la norma chilena NCh2123.

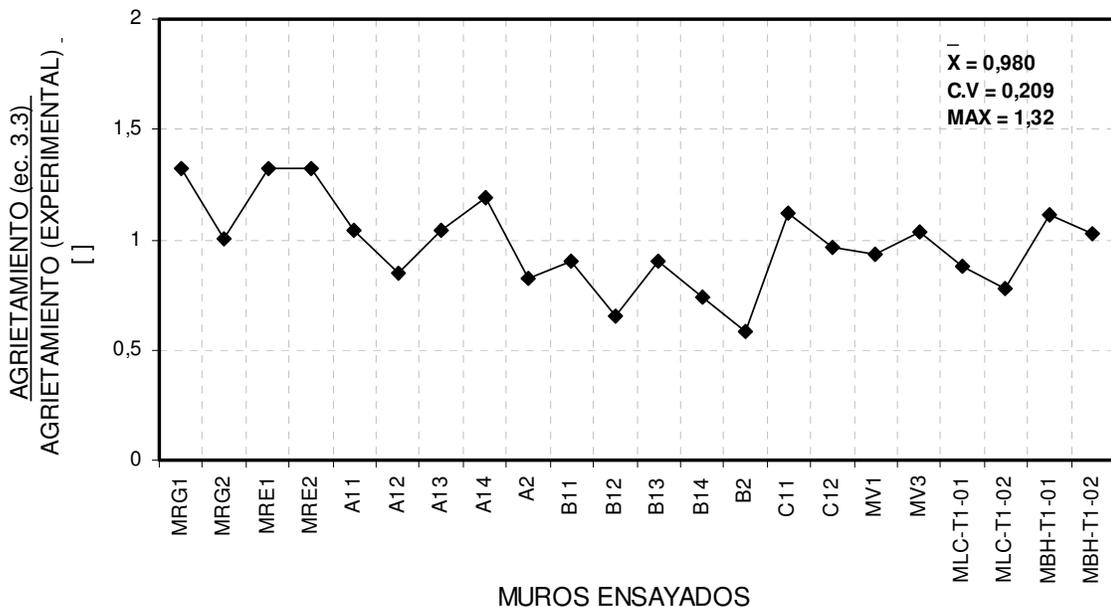
Para los efectos de establecer esta relación se ha utilizado la ecuación 3.3 de origen racional-empírico y que relaciona la resistencia básica al corte y la carga vertical que puede actuar sobre el muro para calcular la carga lateral que resiste el muro de albañilería confinada en el momento de agrietarse diagonalmente el paño de albañilería.

$$V_{ag} = 0.45 \cdot \tau_m \cdot A_{mb} + 0.23 \cdot N \quad (3.3)$$

Donde:  $\tau_m$ : resistencia básica de corte.  
 $A_{mb}$ : área bruta del muro incluyendo los pilares.  
 N: Fuerza axial aplicada sobre el muro.

Esta expresión ha sido utilizada por la norma chilena de albañilería confinada para determinar la ecuación que permite calcular la fuerza de corte admisible de un muro, considerando que la fuerza de corte admisible en el muro es aproximadamente un 50% de la carga de agrietamiento diagonal (Astroza, 2008).

La relación que resulta entre la carga de agrietamiento diagonal de los ensayos y el valor obtenido con la ecuación 3.3 se muestra gráficamente en la Figura 3.8.



**Figura 3.8** Razón entre la carga de agrietamiento diagonal determinada con la Ecuación 3.3 y la fuerza de agrietamiento diagonal

De la Figura 3.8 se puede observar que los resultados experimentales se relacionan de buena manera con la capacidad calculada con la ecuación 3.3, si se considera el valor promedio de la razón (igual a 0,980). Sin embargo, los datos presentan un coeficiente de variación del 20,9%, lo cual

refleja una dispersión importante de los datos debido al origen empírico de la expresión utilizada para calcular la fuerza de agrietamiento diagonal analíticamente.

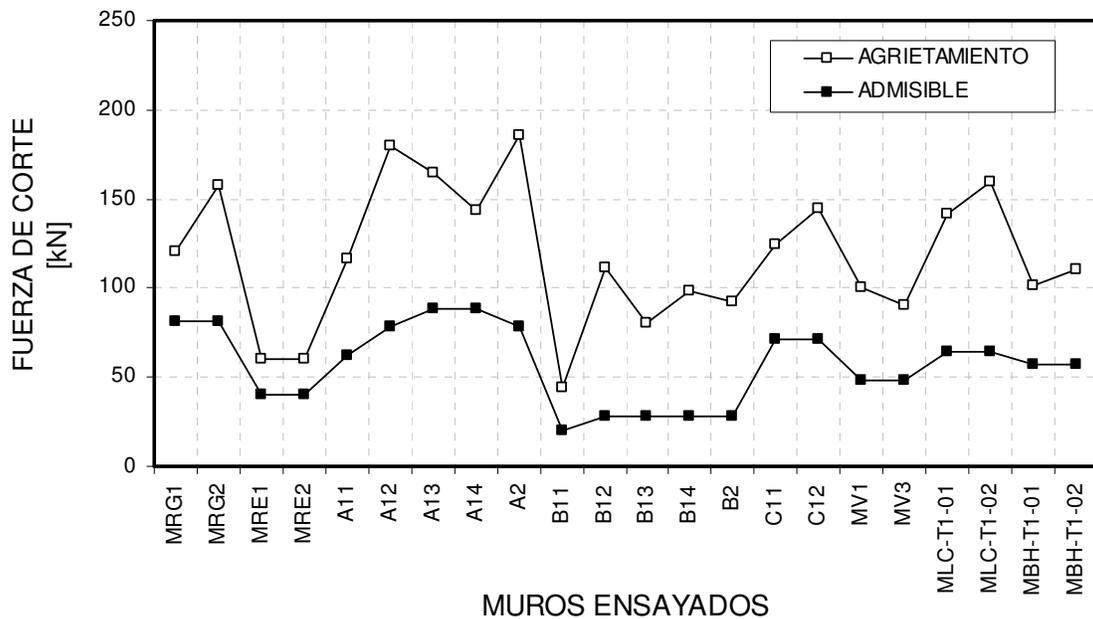
### 3.3.3 Relación entre carga de agrietamiento diagonal experimental y resistencia al corte admisible de la norma NCh2123.

Se calcula la fuerza de corte admisible ( $V_a$ ) con la ecuación recomendada por la norma NCh2123 (INN, 2003):

$$V_a = 0.23 \cdot \tau_m \cdot A_{mb} + 0.12 \cdot N \leq 0.35 \cdot \tau_m \cdot A_{mb} \quad (3.4)$$

Donde  $\tau_m$ : resistencia básica de corte.  
 $A_{mb}$ : área bruta del muro incluyendo los pilares.  
 N: Fuerza axial aplicada sobre el muro.

La aplicación de esta fórmula y su comparación con el valor experimental se muestra en el gráfico 3.9 y 3.10.



**Figura 3.9** Fuerza de corte admisible según Norma Chilena y carga de agrietamiento experimental.

De la Figura 3.9 es posible observar que para todos los muros, la fuerza de corte admisible está por debajo de la carga de agrietamiento experimental en el muro. Sin embargo, a pesar que en varios muros el valor de la razón entre estas dos fuerzas es mayor que 2, hay un número no despreciable de casos en que esta razón es menor que 2.0. Al igual que en la figura 3.7 se puede observar una alta variabilidad de los resultados.

Los resultados mostrados en las Figuras 3.8 y 3.9, justifican la búsqueda de modelos teóricos que permitan establecer expresiones para determinar la carga de agrietamiento diagonal de un muro de albañilería confinada y que reduzcan las incertezas y la variabilidad de los resultados.

### 3.3.4 Relación entre carga máxima experimental y resistencia al corte admisible de la norma NCh2123.

De forma similar al punto 3.3.3, realiza un análisis entre la carga máxima y la fuerza de corte admisible calculado de la ecuación (3.4) proveniente de la norma NCh2123 (INN, 2003). Entregando los siguientes resultados.

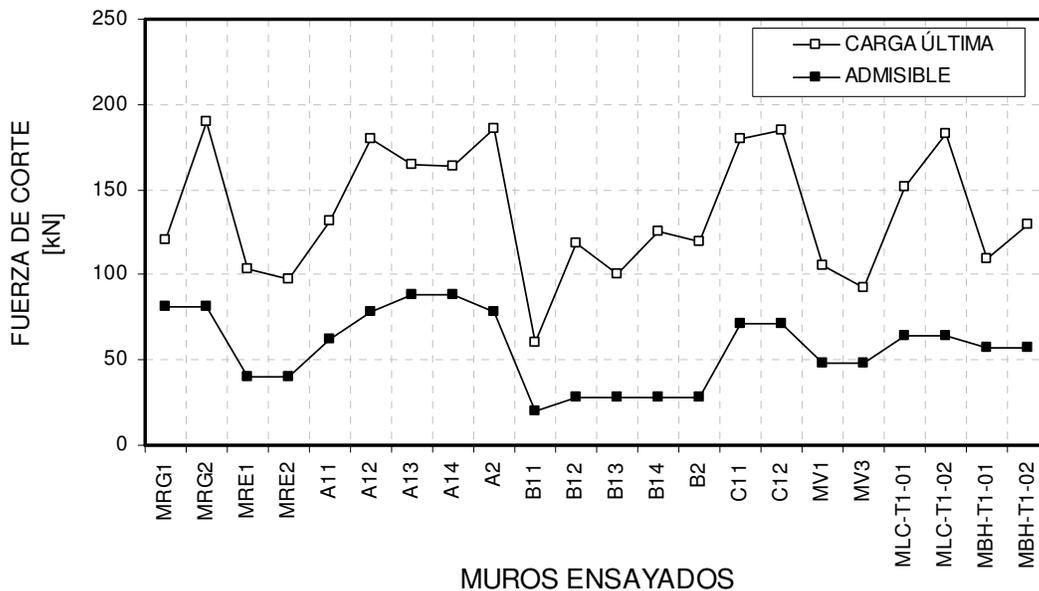


Figura 3.10 Fuerza de corte admisible según Norma Chilena y carga de máxima experimental.

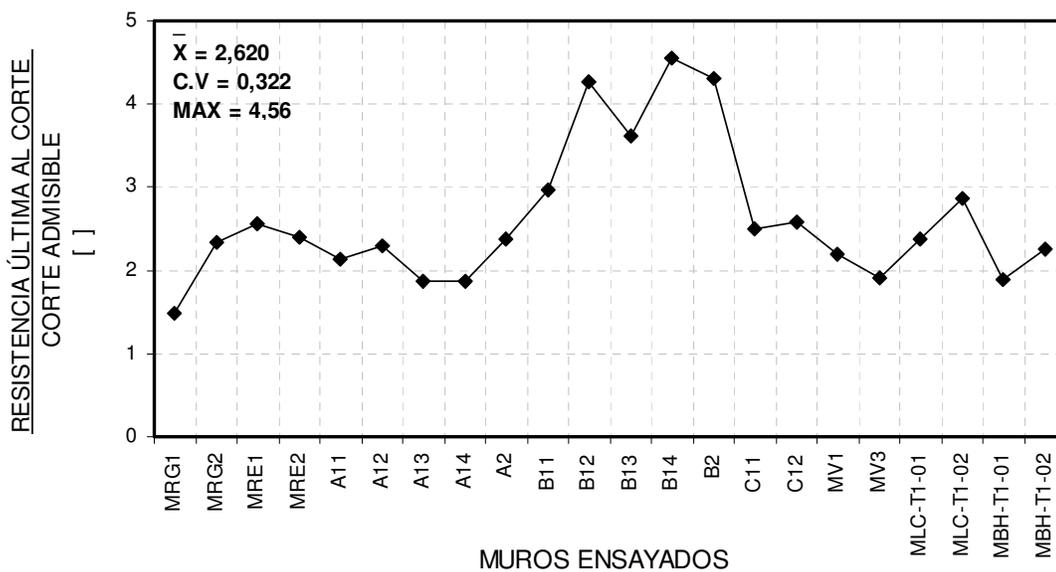


Figura 3.11 Razón entre carga última experimental y resistencia al corte admisible por norma.

De los resultados se observa que el corte admisible permite diseños seguros. Sin embargo, existe una alta variabilidad en los resultados entregados por la comparación entre el corte admisible teórico y la resistencia última experimental.

### **3.4 Conclusiones del capítulo**

- Los parámetros experimentales requeridos para aplicar el modelo de Crisafulli, como son: la adherencia unitaria, resistencia a la tracción de la unidad y coeficiente de fricción, debieron ser estimados indirectamente debido a que no se realizaron los ensayos requeridos para su determinación en los trabajos experimentales donde se ensayaron los muros de albañilería confinada. Esto genera una cuota de incertidumbre asociada con los datos básicos del modelo, la cual se analiza en el ANEXO C de este trabajo.
- De los resultados experimentales de los muros ensayados, se comprueba que el valor de la resistencia al corte que entrega el modelo de Crisafulli es razonables para los efectos de diseño, pero su variabilidad y el reducido número de muros ensayados obligan a continuar con su estudio para obtener un modelo de aplicación general para determinar la resistencia al corte de un muros de albañilería confinada.

## CAPITULO 4

### APLICACIÓN DEL MODELO DE CRISAFULLI

#### 4.1 Introducción

En este capítulo se aplica el modelo propuesto por Crisafulli a los 22 muros de albañilería confinada ensayados en Chile durante los años 1987-2009, cuyas propiedades fueron detalladas en el Capítulo 3 “Antecedentes experimentales”.

En la primera parte del este capítulo se entregan los resultados que se obtienen al aplicar el modelo propuesto por Crisafulli (1997, 2002) y para luego, en una segunda parte, con los resultados identificar algunas limitaciones del modelo en algunos aspectos que se consideran determinantes en la resistencia al corte de un muro de albañilería confinada.

#### 4.2 Aplicación del modelo de Crisafulli (1997)

La aplicación del modelo de Crisafulli es posible resumirla en los pasos indicados en el Diagrama 2.2, en él se pueden identificar tres etapas: *trazado de la envolvente de las curvas de falla*, *cálculo de la resistencia del puntal de compresión equivalente* y *cálculo de la resistencia al corte del muro*.

##### 4.2.1 Trazado de la envolvente de las curvas de falla

A partir de las ecuaciones 2.23 y 2.27 es posible trazar la envolvente que define la resistencia a la compresión del puntal de compresión equivalente que representa la presencia del paño de albañilería. Esta resistencia a la compresión está asociada con los diferentes modos de falla por corte que puede experimentar el paño de albañilería y es función de la inclinación de la diagonal del paño de albañilería, medida con respecto a la horizontal.

Resumiendo la información del Capítulo 2, se tiene:

a. Caso de falla de corte por adherencia:

$$f'_{m\theta} = \frac{\tau_o^*}{\sin \theta \cdot (\cos \theta - \mu^* \sin \theta)}$$

$$\text{Donde: } \tau_o^* = \frac{\tau_o}{1 + \mu \frac{1.5 \cdot b}{d}} \quad \mu^* = \frac{\mu}{1 + \mu \frac{1.5 \cdot b}{d}}$$

Donde:  $\tau_o$  : Adherencia unitaria.  
 $\mu$  : Coeficiente de fricción unidad-mortero  
 $\theta$  : Angulo de inclinación de la diagonal del paño de albañilería, respecto a la horizontal.

b. Caso de falla por tracción diagonal:

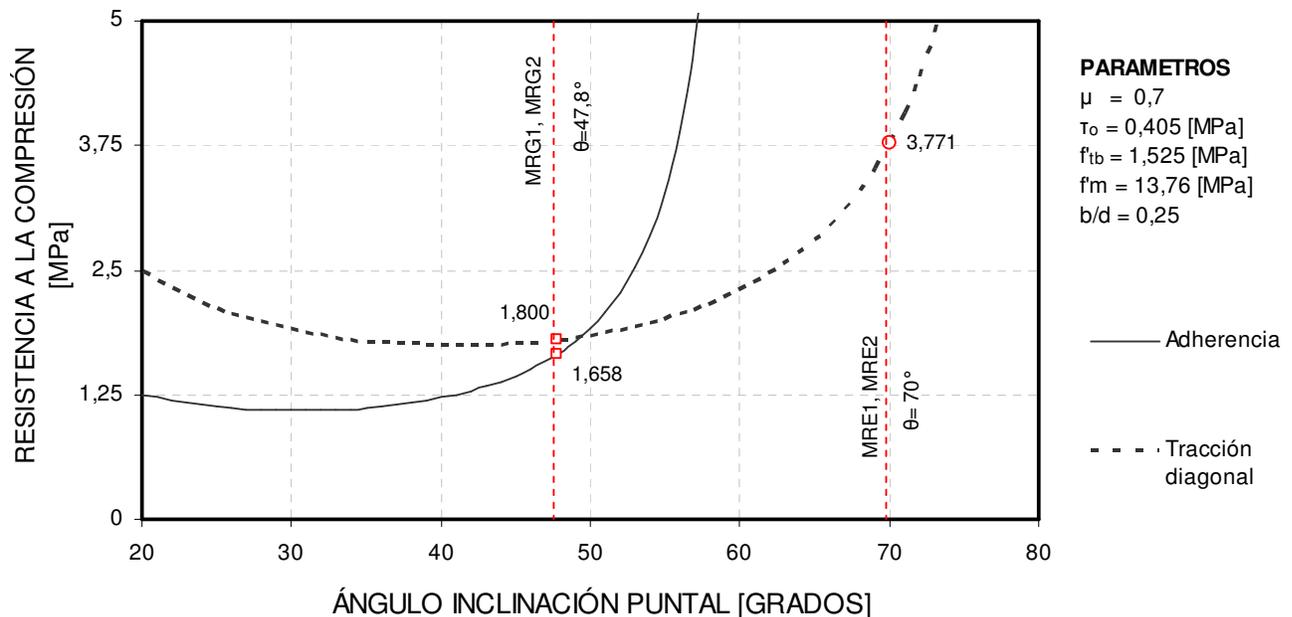
$$f'_{m\theta} = \frac{f'_{tb}}{\sin \theta \cdot (2 \cdot \cos \theta - 0.27 \cdot \sin \theta)}$$

Donde:

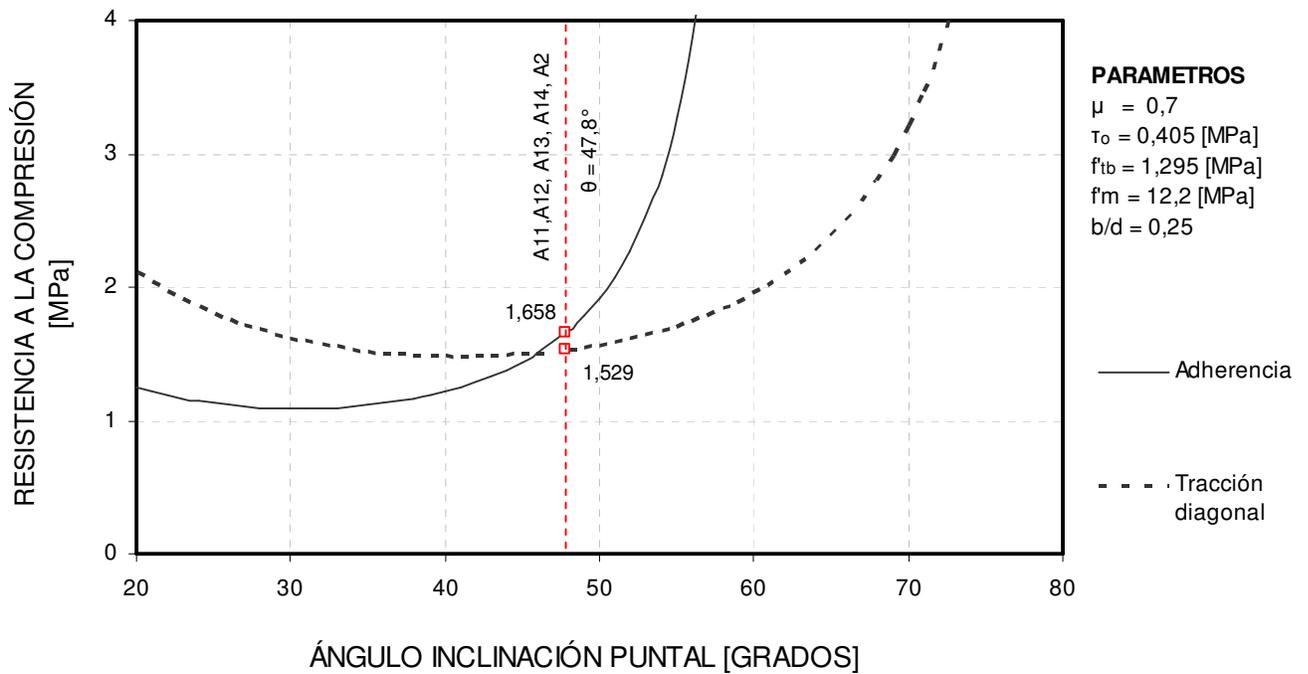
- $f'_{tb}$  : Resistencia a la tracción de la unidad.
- $\theta$  : Angulo de inclinación de la diagonal del paño de albañilería.

En el caso de una falla de corte por compresión diagonal, no se disponen de los datos experimentales necesarios para establecer la reducción de la resistencia prismática de la albañilería que recomienda Crisafulli debido a la inclinación de la fuerza axial en el puntal de compresión. Por lo que no es posible incluir este tipo de falla en la envolvente. Sin embargo, esta situación no es crítica para la aplicación del modelo de Crisafulli considerando que no se han observado fallas por compresión diagonal ni aplastamiento en los vértices de los muros de albañilería confinada ensayados. Las fallas observadas corresponden a agrietamiento diagonal del paño de albañilería, sean ellas por adherencia o tracción diagonal, lo que queda confirmado con los resultados obtenidos en el Capítulo 5 cuando se hacen las modificaciones para incluir la falla por compresión diagonal.

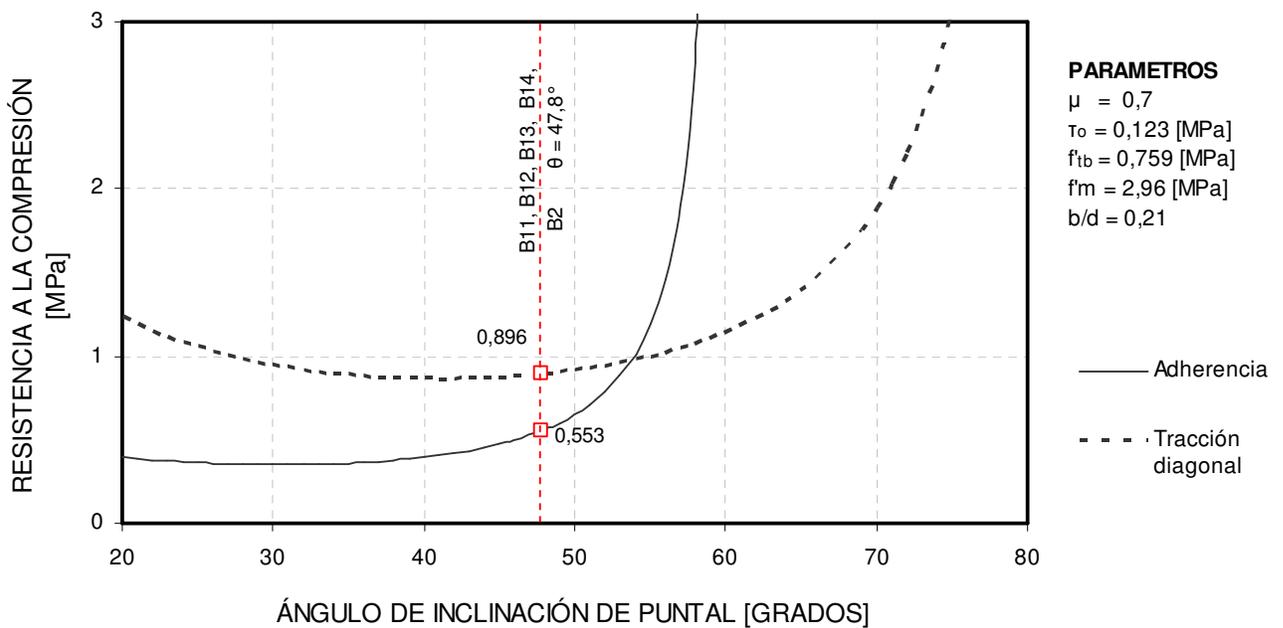
Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores, en las Figuras 4.1 a 4.8 se trazan 8 envolventes de la curvas de falla. Estas curvas permiten determinar la resistencia a la compresión de falla del puntal de compresión equivalente,  $f'_{m\theta}$ .



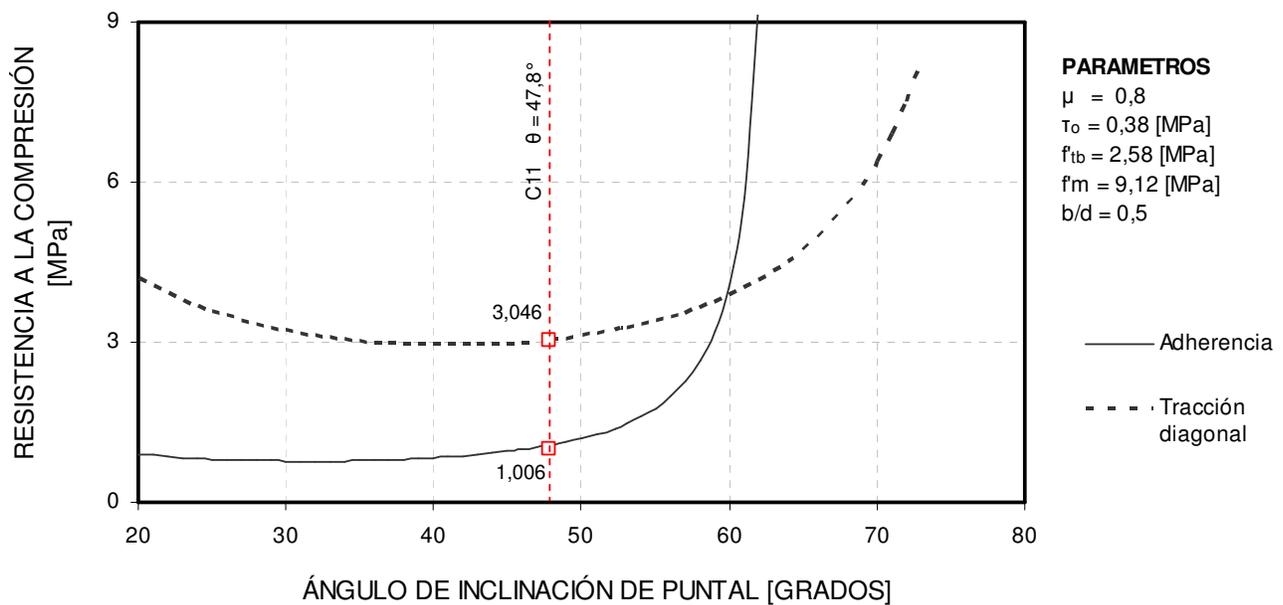
**Figura 4.1** Envolvente de falla para los muros de la serie MRG y MRE. Muros construidos con unidades de ladrillo cerámico del tipo Titán Liviano y con un mortero de dosificación 1: ½: 4.



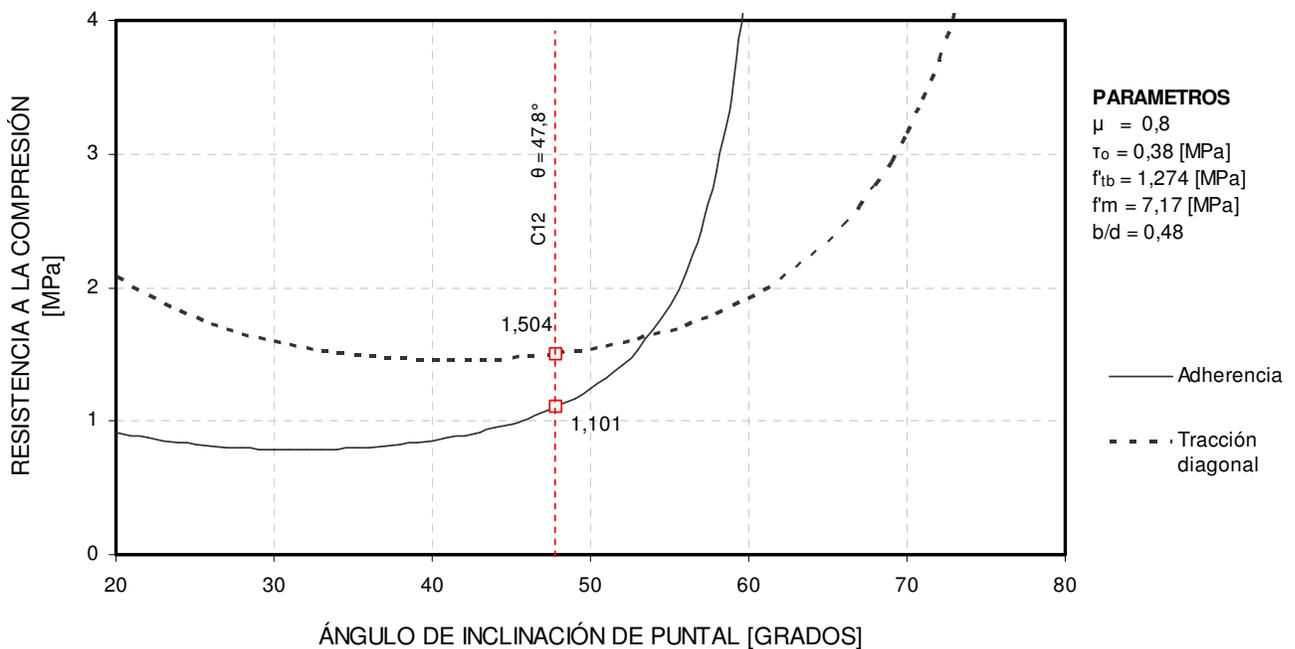
**Figura 4.2** Envoltente de falla para los muros de la serie A. Muros construidos con unidades de ladrillo cerámico del tipo Titán Liviano y con un mortero de dosificación 1: ½: 4.



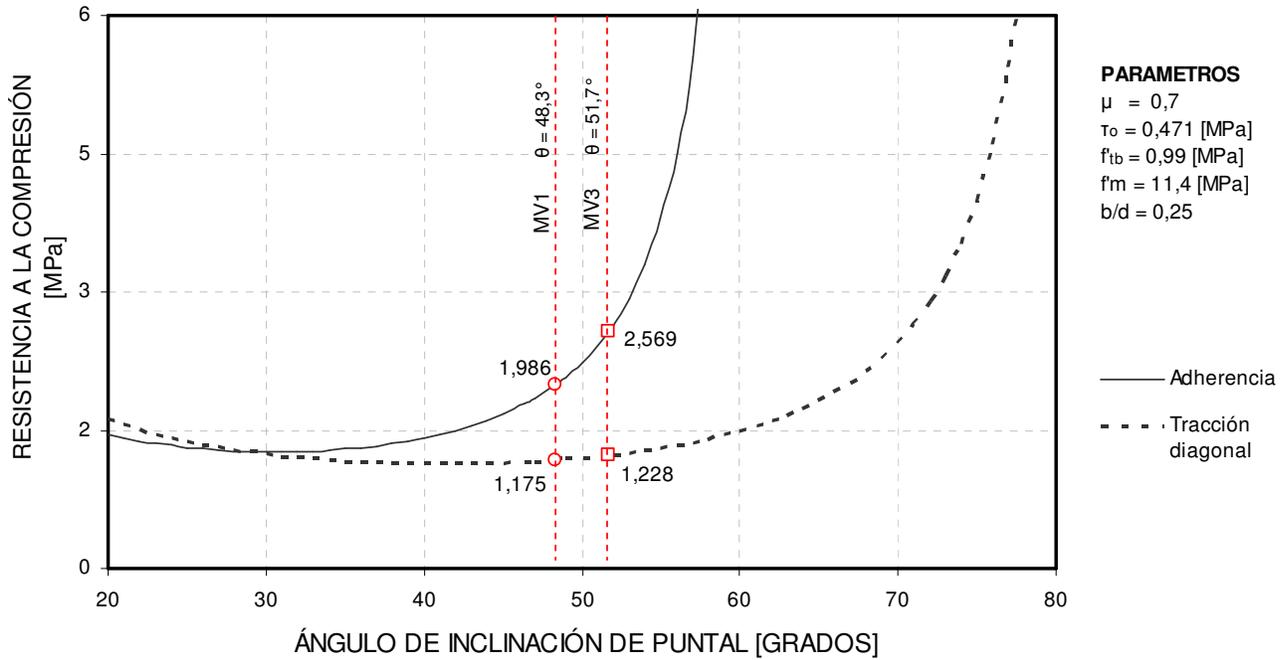
**Figura 4.3** Envoltente de falla para los muros de la serie B. Muros construidos con unidades de ladrillos “chonchon” o “fiscal” y con un mortero de dosificación 1: ½: 4.



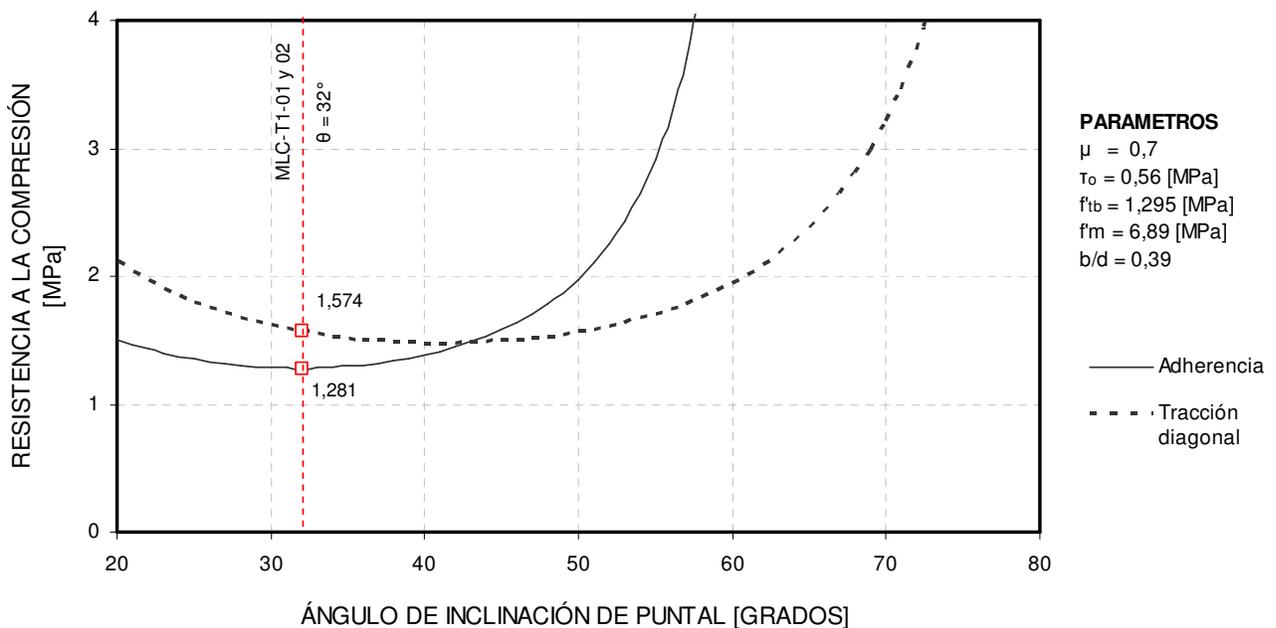
**Figura 4.4** Envoltente de falla para los muros de la serie C11. Muros construidos con unidades de bloque de hormigón Tipo A (alta resistencia) y con un mortero de dosificación 1: ½: 4.



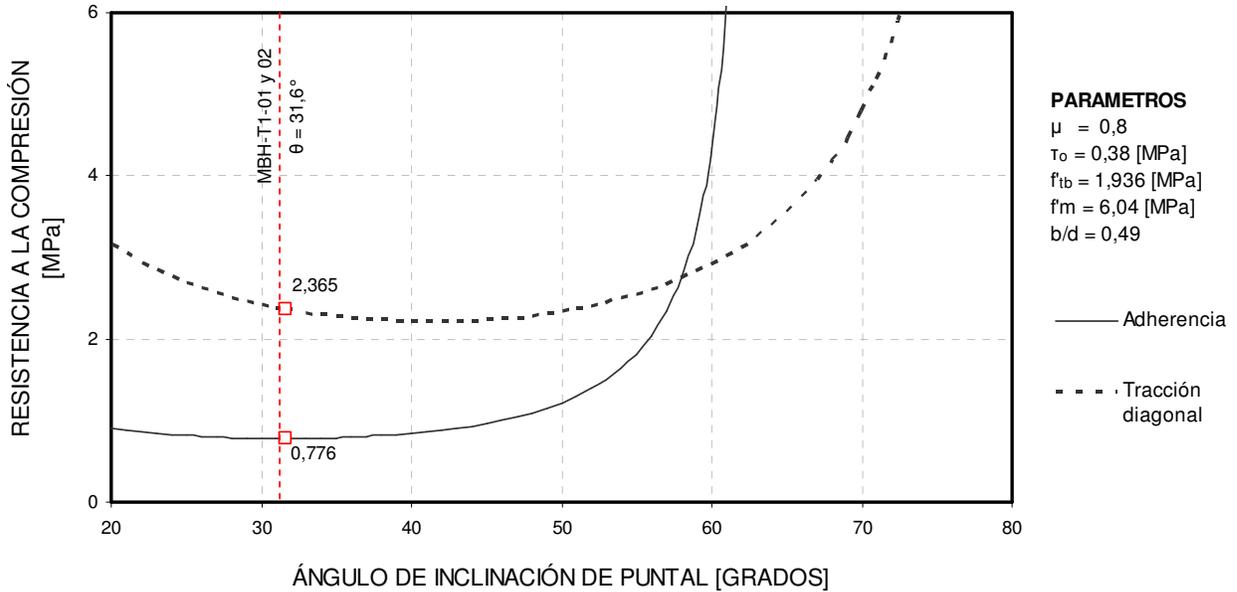
**Figura 4.5** Envoltente de falla para los muros de la serie C12. Muros construidos con unidades de bloque de hormigón Tipo B (corriente) y con un mortero de dosificación 1: ½: 4.



**Figura 4.6** Envoltura de falla para los muros de la serie MV. Muros construidos con unidades de ladrillo cerámico similares al tipo Titán Liviano y con un mortero de dosificación en peso de 1: ¼ : 2.

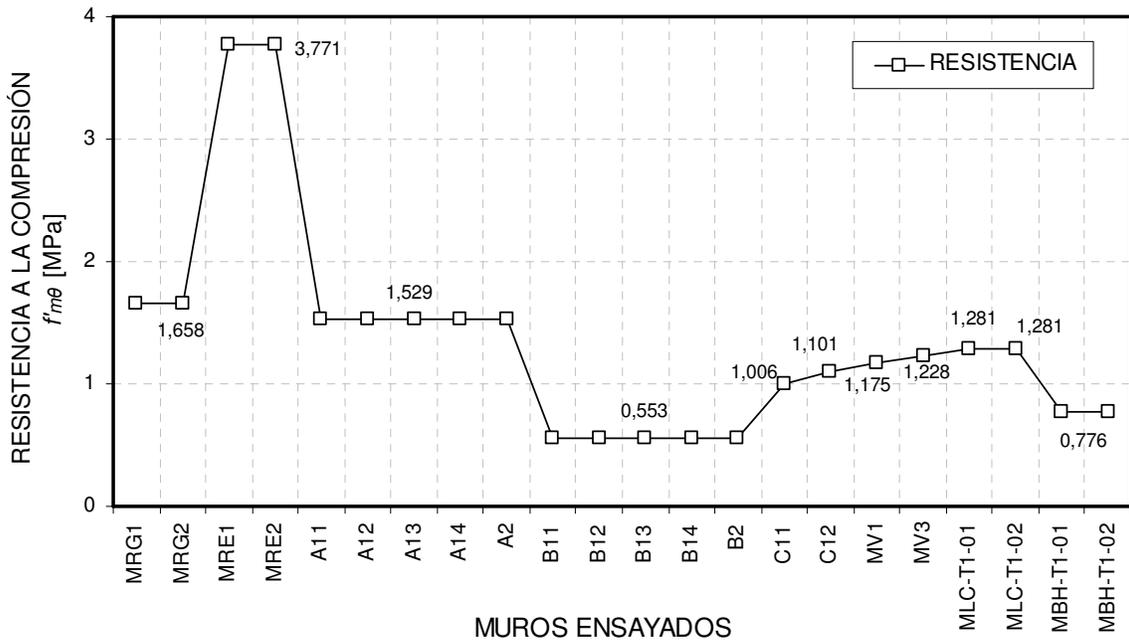


**Figura 4.7** Envoltura de falla para los muros de la serie MLC. Muros construidos con unidades de ladrillo cerámico tipo Gran Titán y con un mortero “A14 albañil pega M10”.



**Figura 4.8** Envolvente de falla para los muros de la serie MBH. Muros construidos con unidades de bloques de hormigón Tipo A (alta resistencia) y un mortero “A14 albañil pega M10”.

Conocido el ángulo  $\theta$  que forma la diagonal de cada paño de albañilería medido con la horizontal, es posible ingresar a la envolvente de falla y determinar el valor de la resistencia a la compresión del puntal equivalente asociado a los dos modos de falla de corte considerados, correspondiendo el menor valor de esta resistencia el que controla la capacidad del paño de albañilería (ver figura 4.9)



**Figura 4.9** Resistencia a la compresión del puntal de compresión equivalente,  $f'_{m\theta}$ , para cada muro ensayado.

#### 4.2.2 Determinación de la resistencia a la compresión del puntal de compresión equivalente y del modo de falla que controla

De las tensiones obtenidas de la envolvente de falla correspondiente a cada muro es posible calcular la tensión de falla y calcular la fuerza a la compresión que resiste el puntal equivalente antes de agrietarse. Estos valores se muestran en la tabla 4.1

**Tabla 4.1** Resistencia a la compresión del puntal de compresión equivalente y modo de falla del paño de albañilería de los muros ensayados según el modelo de Crisafulli (1997).

MURO	TENSIONES			MODOS DE FALLA		PROPIEDADES Y RESISTENCIA DEL PUNTAL			
	AD [MPa]	TD [MPa]	FALLA [MPa]	FALLA MODELO	FALLA EXP. (1)	$a_s$ (2) [mm]	t [mm]	$A_{ms}$ (3) [mm <sup>2</sup> ]	$R_c$ [kN]
MRG1	1,658	1,800	1,658	AD	AD	743	139,2	103468	171,55
MRG2	1,658	1,800	1,658	AD	TD	743	139,2	103468	171,55
MRE1	*	3,771	3,771	TD	TD	585	139,2	81465	307,20
MRE2	*	3,771	3,771	TD	TD	585	139,2	81465	307,20
A11	1,658	1,529	1,529	TD	AD	743	140,3	104285	159,45
A12	1,658	1,529	1,529	TD	TD	743	140,3	104285	159,45
A13	1,658	1,529	1,529	TD	TD	743	140,3	104285	159,45
A14	1,658	1,529	1,529	TD	AD	743	140,3	104285	159,45
A2	1,658	1,529	1,529	TD	TD	743	140,3	104285	159,45
B11	0,553	0,896	0,553	AD	AD	743	156	115955	64,12
B12	0,553	0,896	0,553	AD	TD + AD	743	156	115955	64,12
B13	0,553	0,896	0,553	AD	AD	743	156	115955	64,12
B14	0,553	0,896	0,553	AD	AD	743	156	115955	64,12
B2	0,553	0,896	0,553	AD	AD	743	156	115955	64,12
C11	1,006	3,046	1,006	AD	AD	743	139,9	103988	104,61
C12	1,101	1,504	1,101	AD	AD	743	139,9	103988	114,49
MV1	1,986	1,175	1,175	TD	TD	676	140	94697	111,27
MV3	2,569	1,228	1,228	TD	TD	644	140	90191	110,76
MLC-T1-01	1,281	1,574	1,281	AD	AD	961	140	132076	169,19
MLC-T1-02	1,281	1,574	1,281	AD	AD	961	140	132076	169,19
MBH-T1-01	0,776	2,365	0,776	AD	AD	943	140	135449	105,11
MBH-T1-02	0,776	2,365	0,776	AD	AD	943	140	135449	105,11

Donde:

AD: Falla por adherencia

TD: Falla por tracción

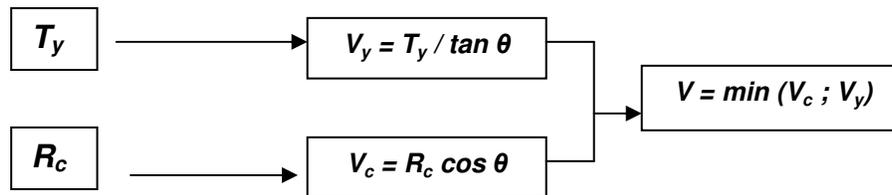
- (1) La falla aparente experimental es deducida de figuras y fotografías de estado agrietado de cada muro y reportes entregados por los autores en cada trabajo experimental.
- (2) La altura de puntal equivalente  $a_s = 0.25d_m$  (ver Tabla 3.3 para valor de diagonal)
- (3) El área del puntal equivalente se calculó con la ecuación 2.9

Si se realiza un conteo de los aciertos del modelo, es observable que el modelo, hasta este estado de desarrollo (trazado de envolventes), es capaz de predecir el modo de falla de un 77,3% por los muros analizados en este trabajo. En los casos donde el modelo no acierta, la tensión que genera una falla tanto de adherencia como tracción diagonal son valores cercanos, por lo tanto, el resultado podría estar siendo afectado por la variabilidad de los parámetros y el método con que fueron deducidos.

El estado de agrietamiento por corte, como los ciclos histeréticos correspondientes a cada muro incluido en este trabajo, es posible observarlo en el ANEXO E.

#### 4.2.3 Resistencia al corte de los muros de albañilería confinada según el modelo de Crisafulli. Comparación con valores de las cargas de agrietamiento diagonal experimental.

Como se ha destacado en el Capítulo 2, los pasos para calcular la resistencia al corte de un muro de albañilería confinada son los indicados en el Diagrama 4.1.



**Diagrama 4.1** Pasos para calcular la resistencia al corte según Modelo de Crisafulli.

Los términos que aparecen en este diagrama tiene el significado siguiente:

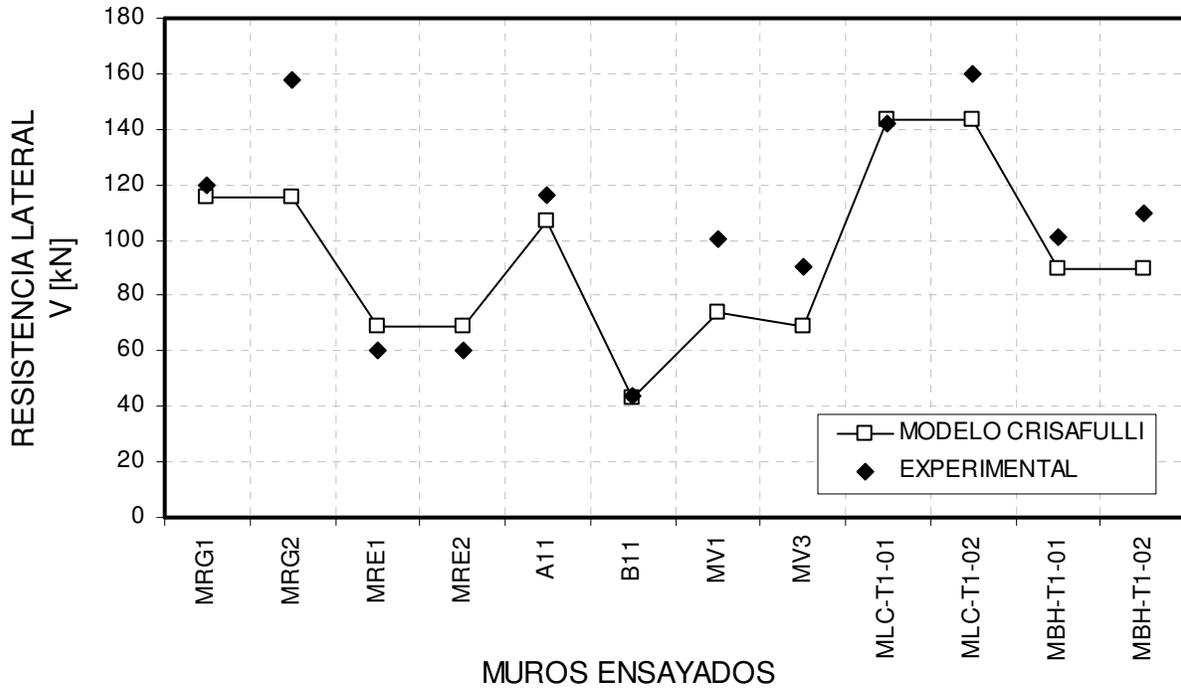
- $T_y$ : Fuerza de tracción necesaria para hacer fluir la armadura longitudinal del pilar,
- $V_y$ : Resistencia al corte cuando la armadura longitudinal del pilar que funciona como tensor fluye, y
- $V_c$ : Resistencia al corte cuando se produce la falla en el paño de albañilería.

Para un mejor análisis de los resultados, el cálculo de la resistencia al corte ha sido separado en dos grupos:

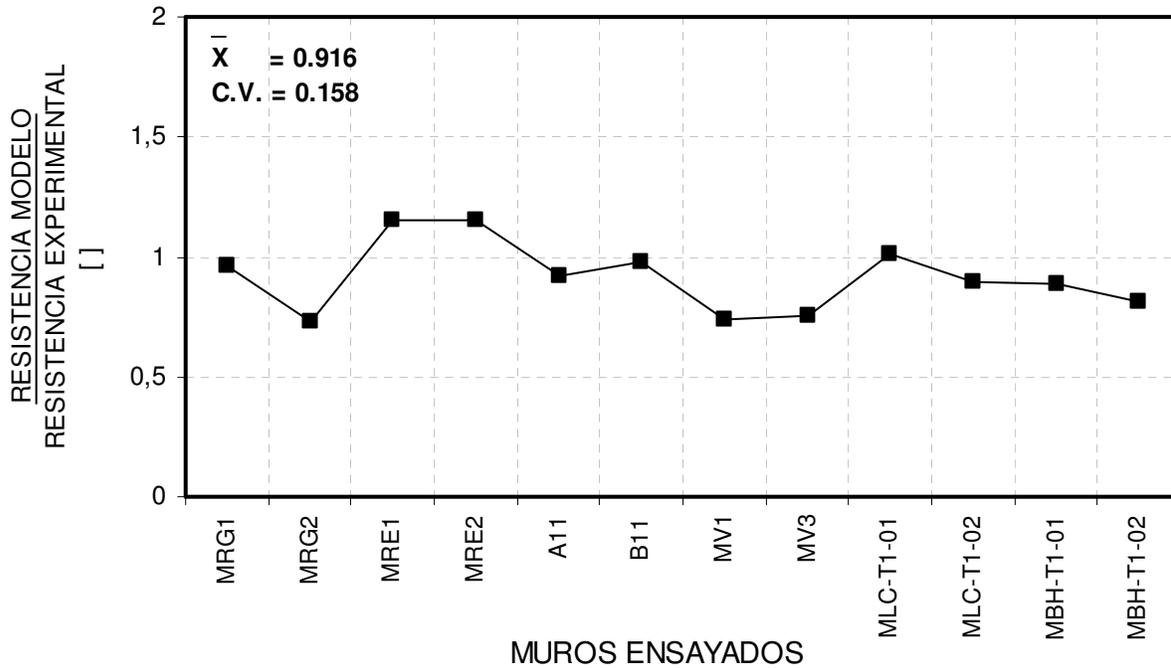
- Muros sin carga vertical aplicada, sólo actúa el peso propio
- Muros con carga vertical aplicada.

En las Figuras 4.10 y 4.11 se muestran la resistencia al corte obtenida con el modelo propuesto por Crisafulli y la razón entre esta resistencia y la carga de agrietamiento diagonal experimental de los muros ensayados sin carga vertical. La misma información se entrega en las Figura 4.12 y 4.13 para el caso de muros ensayados con carga vertical.

El detalle del cálculo de estas resistencias se entrega en el ANEXO A.



**Figura 4.10** Resistencia al corte de los muros ensayados sin carga vertical según el Modelo de Crisafulli.



**Figura 4.11** Razón entre la resistencia al corte calculada con el modelo de Crisafulli y la carga de agrietamiento diagonal de los muros ensayados sin carga vertical.

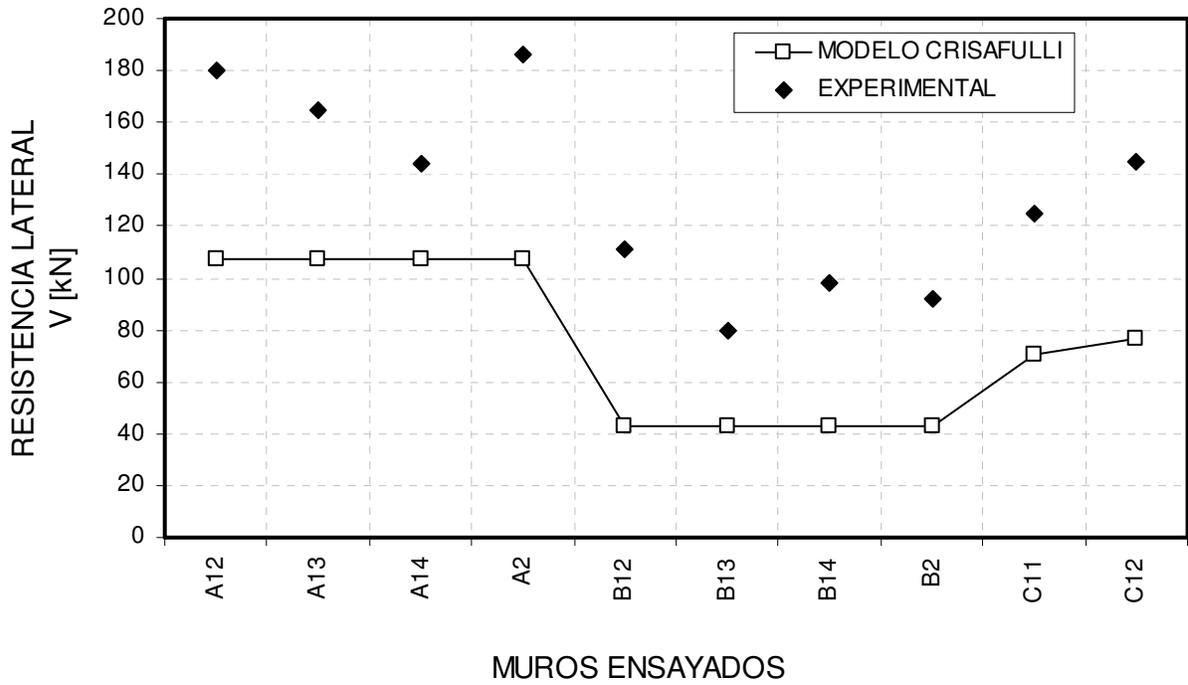


Figura 4.12 Resistencia al corte de muros ensayados con carga vertical según el modelo de Crisafulli.

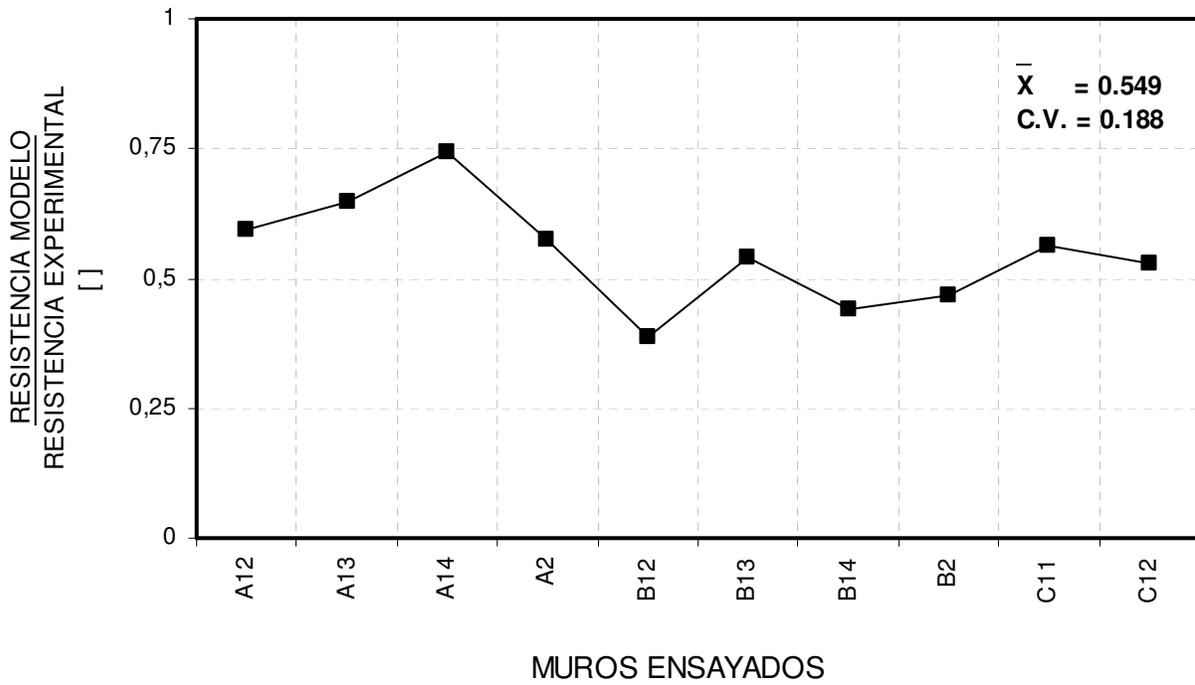


Figura 4.13 Razón entre resistencia al corte calculada según el modelo de Crisafulli y la carga de agrietamiento diagonal de los muros ensayados con carga vertical.

De los resultados, se debe destacar que los muros MRE1 y MRE2 son muros cuya capacidad se encuentra limitada por la fluencia de la armadura en los pilares, lo cual es común de observar en muros esbeltos. Sin embargo, al construir la envolvente de falla el modelo estima una falla en el paño de albañilería por tracción diagonal, la cual es posible de observar en los ensayos (Diez, 1987).

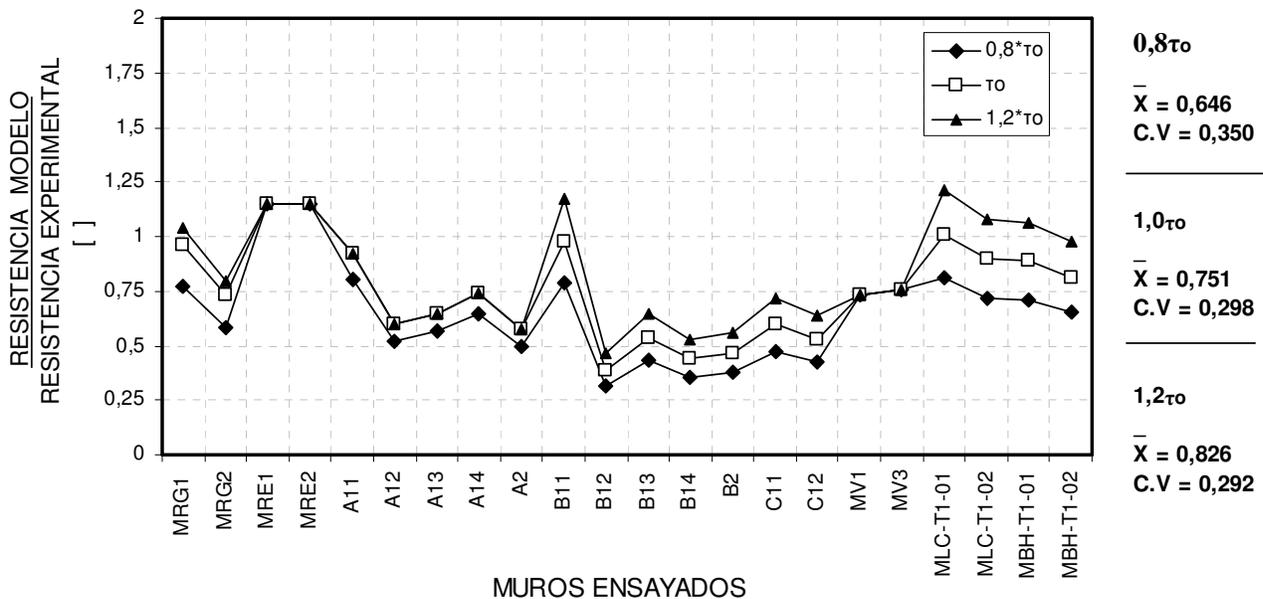
### 4.3 Análisis de sensibilidad de los resultados entregados por el modelo de Crisafulli

Debido a la variabilidad que presentan los parámetros que conforman el modelo, tanto por haber sido estimados indirectamente como por las incertidumbres de los ensayos, se hizo un análisis de sensibilidad, en el cual es posible observar el efecto de los parámetros experimentales sobre los resultados al aplicar el modelo de Crisafulli (1997).

En cada uno de los análisis, solo se varía uno de los parámetros de la tabla 3.15, manteniendo el resto de los parámetros constantes. Mayor detalle de estos análisis es posible encontrarlos en el ANEXO C de esta memoria.

#### 4.3.1 Adherencia unitaria $\tau_0$ ,

De los trabajos analizados: Fernández et al (1986), Bustos y Margery (1996), Larrain (1971), Delfín y Bullemore (1968) es posible observar que los resultados poseen una variación cercana al 20%. Por esta razón se analiza el efecto de la adherencia para un valor de adherencia de  $0,8\tau_0$ ,  $\tau_0$  y  $1,2\tau_0$ . Tomando como valor de  $\tau_0$ , el valor de adherencia estimado en el capítulo 3 para cada serie de muros.



**Figura 4.14** Efecto de la adherencia unitaria  $\tau_0$  en la estimación de la resistencia al corte utilizando el modelo de Crisafulli (1997)

De la figura 4.14 es posible observar:

- Muros cuya capacidad esta limitada por la fluencia del acero, como los muros MRE1 y MRE2, no ven modificada su capacidad, aún con el aumento o la disminución de la adherencia.

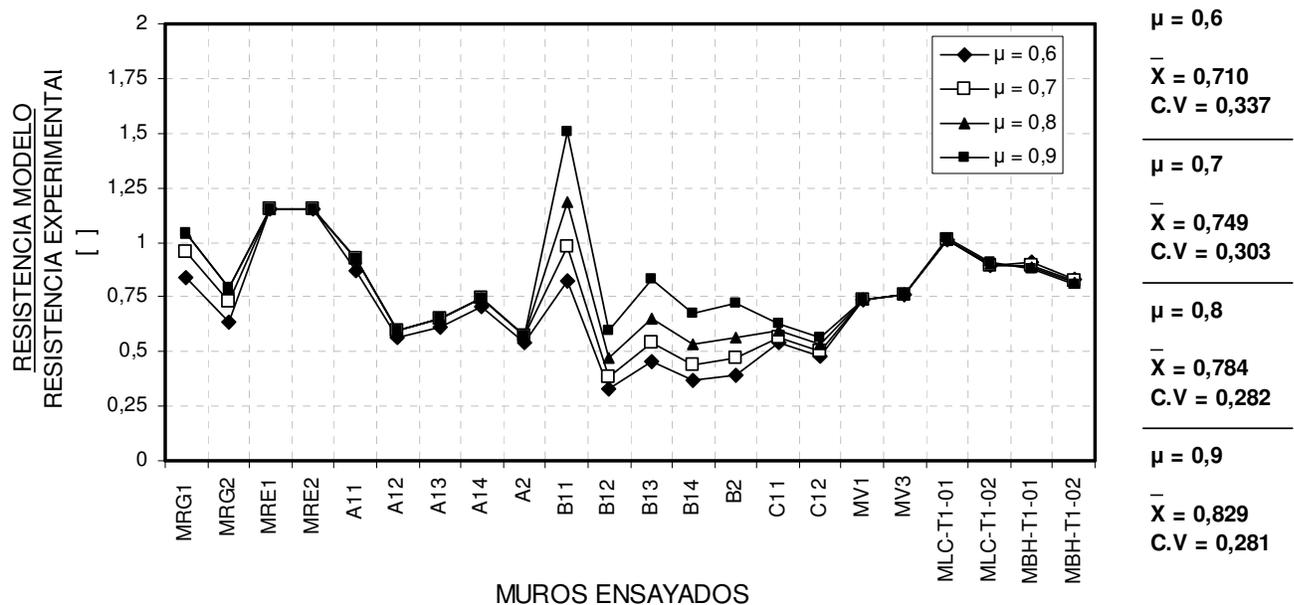
- Muros cuya falla es por tracción diagonal, como los MV1 y MV3, no se ven afectados por los cambios. Sin embargo en el caso de la serie de muros A (A11, A12, A13, A14 y A2), la disminución de la adherencia en un 20% lleva a cambiar el modo de falla de tracción diagonal a adherencia y reducir la estimación.
- En muros con falla de adherencia, el efecto del cambio en la adherencia unitaria es importante. En el caso de las series MLC y MBH hay un aumento de 0,5 unidades en la razón resistencia modelo y resistencia experimental al pasar de  $0,8\tau_0$  a  $1,2\tau_0$ . El aumento es menor en el caso de serie B (debido a que su adherencia es baja). No obstante el efecto de este parámetro es crucial al momento de estimar la capacidad de los muros.

De esto se desprende que los ensayos de corte directo para la estimación de adherencia unitaria son importantes en todas las estimaciones de resistencias y sus resultados definen la precisión o calidad del diseño.

#### 4.3.2 Coeficiente de fricción mortero- unidad ( $\mu$ )

Como es posible observar en el capítulo 3, los valores del coeficiente de fricción mortero-unidad son en general mayores a  $\mu=0,6$  para todo tipo de unidad, observándose mayores valores en el caso de tripletas con unidades de bloque de hormigón. Autores reportados por Crisafulli (1997), entre ellos Atkinson, muestran una variación del coeficiente de fricción entre 0,7 y 0,85.

En este análisis se observa el efecto del coeficiente de fricción en los resultados para 4 valores de  $\mu$ : 0.6, 0.7, 0.8 y 0.9



**Figura 4.15** Efecto del coeficiente de fricción  $\mu$ , en la estimación de la resistencia al corte de muros utilizando el modelo Crisafulli (1997)

La variación del coeficiente de fricción no tiene un efecto significativo sobre la resistencia de los muros estimada con el modelo de Crisafulli. La excepción es la serie B, debido a su baja adherencia unitaria, la fricción posee un efecto mayor y por lo tanto, genera mayor variación en los resultados. En este caso, no cambia el modo de falla sino la tensión de falla del puntal.

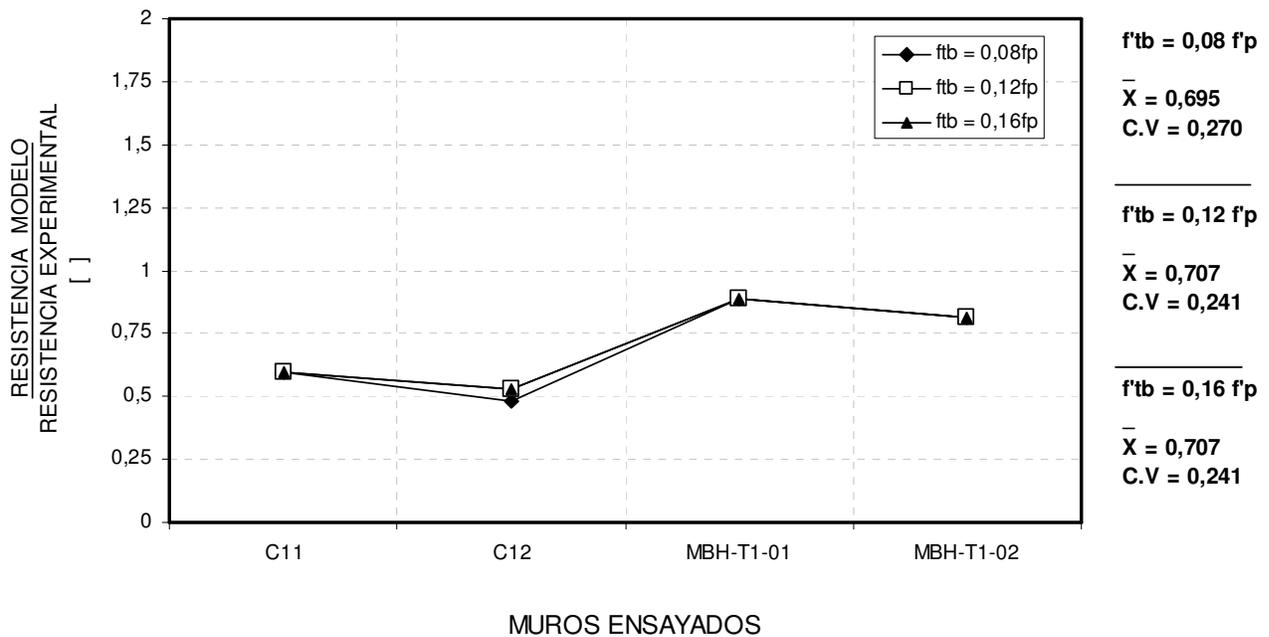
Por lo tanto, sólo en unidades de baja adherencia unitaria, es necesario realizar ensayos con tripletas a corte directo con carga aplicada en forma normal a la junta para la obtención del coeficiente de fricción.

### 4.3.3 Resistencia a la tracción de la unidad $f'_{tb}$

- a) *Bloques de hormigón*: es posible encontrar experimentalmente que la razón entre la resistencia a la tracción de las unidades de bloques de hormigón y la resistencia a la compresión de las unidades varía entre 0,08 y 0,16 (Drysdale and Hamid, 2008).

Para efectos del estudio de sensibilidad, se analiza el efecto de considerar una resistencia a la tracción de la unidad igual a  $0,08f_p$ ,  $0,12f_p$  y  $0,16f_p$ .

Donde  $f_p$ : resistencia a la compresión de la unidad.

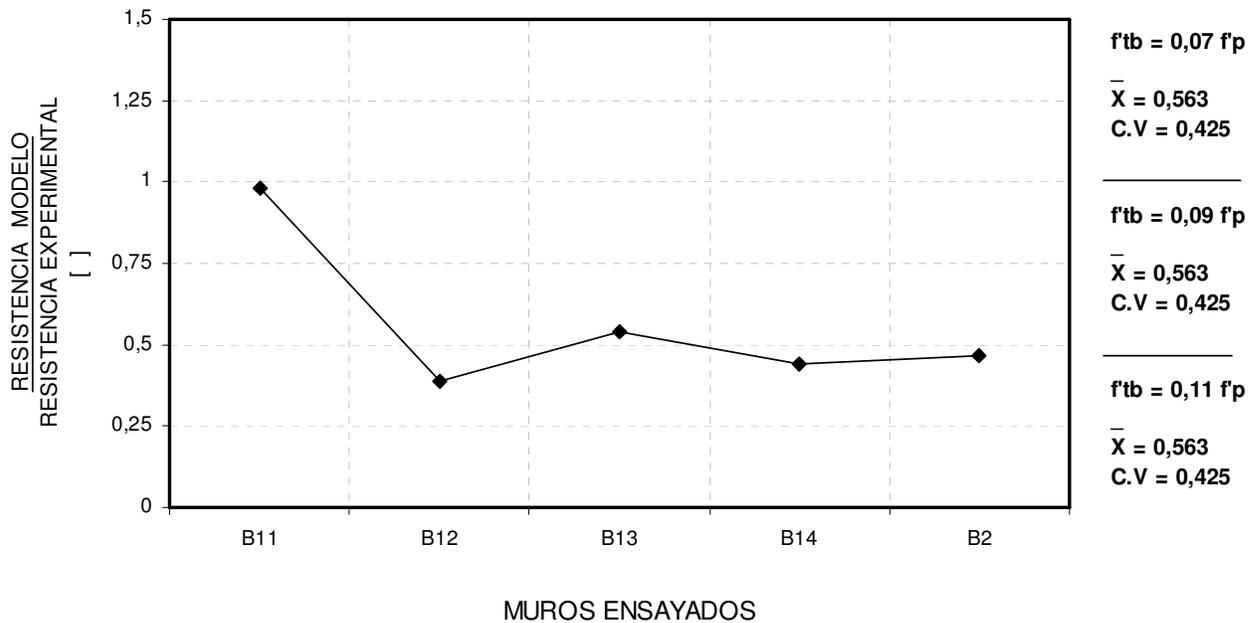


**Figura 4.16** Efecto de la resistencia a la tracción de la unidades de ladrillo de bloque, en la estimación de la resistencia al corte de muros utilizando el modelo Crisafulli (1997)

El efecto es nulo en los muros MBH-T1-01, MBH-T1-02 y C11 debido a que no modifican su modo de falla (adherencia). En el caso del muro C12, se observa falla por tracción diagonal, aun así su efecto es menor en la modificación de la resistencia de los muros.

b) *Unidades macizas (ladrillo fiscal)*: Como se vio en el Capítulo 3, autores como Francis (1972), sitúan esta resistencia alrededor del 9% de la resistencia a la compresión de la unidad en unidades del tipo cerámico. Otros autores (Crisafulli, 1997) proponen valores como un 7% y 10%.

Para efectos del estudio de sensibilidad, se analiza el efecto de considerar una resistencia a la tracción de la unidad igual a  $0,07f_p$ ,  $0,09f_p$  y  $0,11f_p$ .



**Figura 4.17** Efecto de la resistencia a la tracción de las unidades de ladrillo cerámico macizo, en la estimación de la resistencia al corte de muros utilizando el modelo Crisafulli (1997)

En este caso, el valor de la resistencia a la tracción no presenta un efecto sobre las estimaciones. Debido a que las unidades macizas utilizadas (“chonchon”) poseen baja adherencia unitaria, lo cual genera que la falla esté controlada sólo por adherencia y un patrón de grietas escalonadas a través de la junta de mortero.

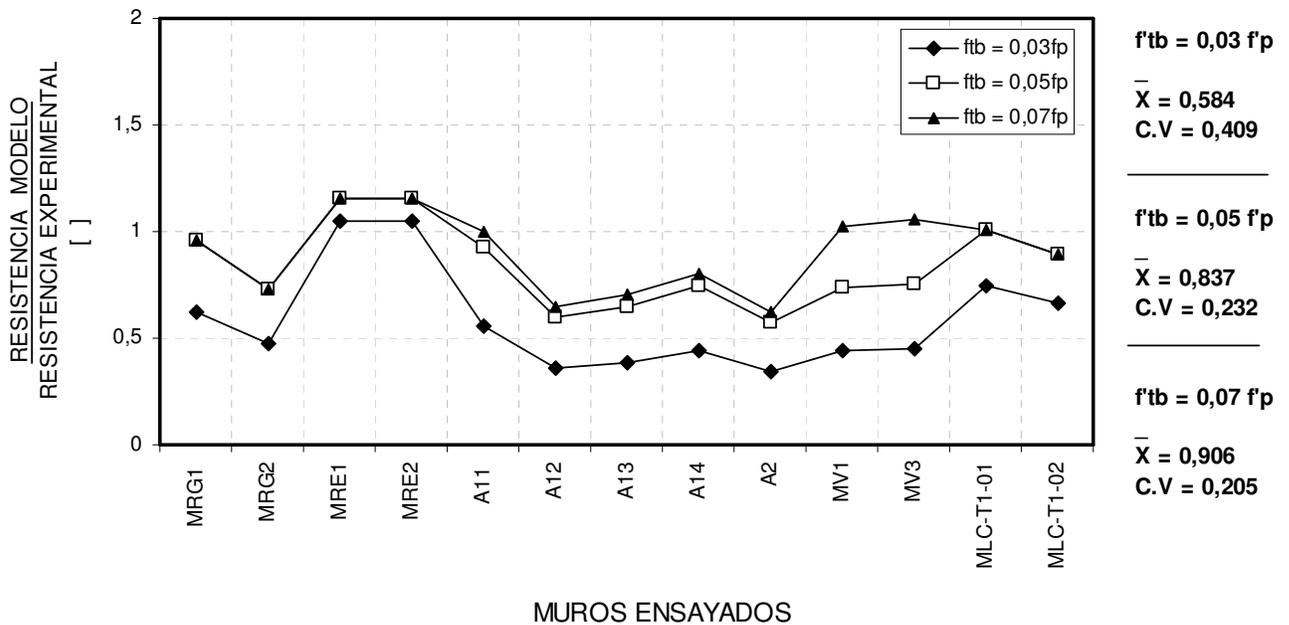
c) *Unidades cerámicas con huecos*.

En el capítulo 3, se pudo observar que la resistencia a la tracción de este tipo de unidades podía estimarse como un 5% de la resistencia a la compresión de dichas unidades, aunque algunos autores como Thomas (1972) muestran valores cercanos al 9%. Sin embargo, esas resistencias corresponden a unidades de alta resistencia, las cuales no se relacionan con los materiales locales. Un límite inferior es el valor de diseño propuesto por Mann y Müller (1982), cercano al 2,5% de la resistencia a la compresión.

Para efectos del estudio de sensibilidad, se analiza el efecto de considerar una resistencia a la tracción a la unidad igual a  $0,03f_p$ ,  $0,05f_p$  y  $0,07f_p$ .

De la figura 4.18 se puede observar:

- La estimación del 3% de la resistencia a la compresión lleva a subestimar la capacidad de los muros y a forzar que el modelo entregue resultados donde la falla que controla es la tracción diagonal.
- El 5% y 7% de la resistencia a la compresión, lleva a mejores estimaciones, pero a altas resistencia a la tracción, la capacidad queda limitada nuevamente por la adherencia, con lo cual se mantiene un equilibrio en los resultados con estimaciones igualmente confiables.



**Figura 4.18** Efecto de la resistencia a la tracción de las unidades de ladrillo cerámico con huecos, en la estimación de la resistencia al corte de muros utilizando el modelo Crisafulli (1997)

#### 4.4 Comparación con otros modelos de estimación de resistencia al corte

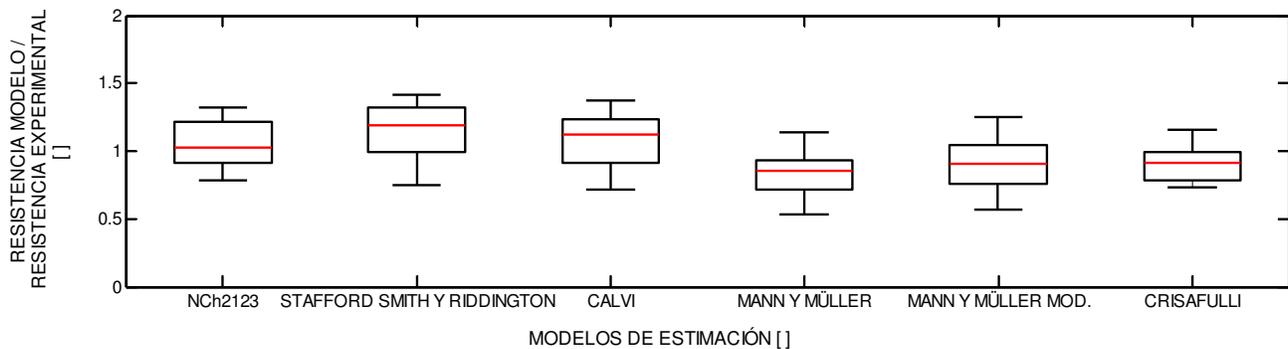
En esta sección se revisan los resultados obtenidos con el modelo de Crisafulli (1997) y otros modelos recomendados para determinar la resistencia al corte cuyo detalle se entrega en el ANEXO D de esta memoria.

Para este efecto, los muros ensayados se separaron en dos grupos de acuerdo con la carga vertical aplicada: muros sin carga vertical y muros con carga vertical.

Para una mejor visualización de los resultados, se entregan gráficos del tipo caja (“boxplot”), cuya construcción e interpretación puede ser revisada en el ANEXO F de esta memoria.

##### a) Muros sin carga vertical

En la Figura 4.19 se compara la razón entre la resistencia al corte estimada por los distintos modelos del ANEXO D y el valor de la carga de agrietamiento diagonal obtenida de los muros ensayados sin carga axial.



**Figura 4.19** Efecto del modelo utilizado en la estimación de la resistencia corte de los muros de albañilería confinada: Muros sin carga vertical aplicada.

De la Figura 4.19 se comprueba que los modelos de Stafford-Smith y Riddington y Calvi como también la expresión de la Norma NCh2123 (2003), sobreestiman la carga de agrietamiento diagonal de los muros. Es así como en el caso del modelo propuesto por Stafford Smith y Riddington, sólo un 25% de los muros ensayados tienen un valor de la resistencia al corte teórica por debajo el valor de la carga de agrietamiento diagonal obtenida en los ensayos. En cambio al usar la ecuación propuesta por la norma NCh2123, alrededor de un 50% de los datos experimentales quedan por debajo del valor que entrega esta ecuación.

Al usar los modelos de Mann y Müller y de Crisafulli se obtiene una subestimación de la capacidad resistente al corte de los muros, entregando una mejor estimación el modelo de Crisafulli como es posible ver al analizar los resultados de la Tabla 4.2

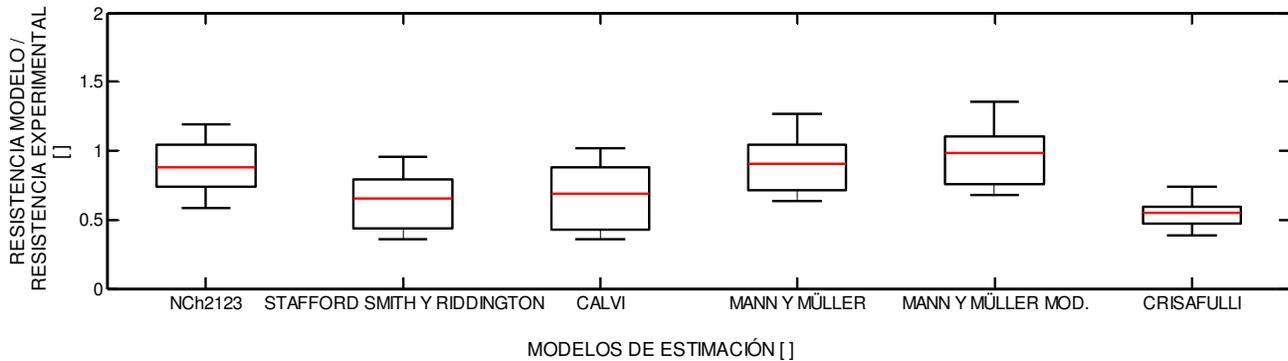
**Tabla 4.2** Análisis estadístico de los resultados obtenidos con los modelos para determinar la resistencia al corte en muros ensayados sin carga axial aplicada.

	NCh2123	CALVI	STAFFORD SMITH y RIDDINGTON	MANN y MÜLLER	MANN y MÜLLER (MODIFICADO)	CRISAFULLI
	$V_{\text{Modelo}} / V_{\text{Experimental}} [ ]$					
PROMEDIO	1,057	1,074	1,145	0,837	0,908	0,916
$\sigma$	0,183	0,207	0,209	0,165	0,190	0,145
C.V.	0,173	0,193	0,183	0,197	0,210	0,158
MINIMO	0,780	0,711	0,748	0,529	0,566	0,729
Q1	0,923	0,918	0,993	0,718	0,769	0,800
MEDIA	1,030	1,122	1,187	0,849	0,908	0,910
Q3	1,086	1,231	1,318	0,927	1,040	0,994
MAXIMO	1,323	1,368	1,414	1,142	1,253	1,153

Donde: Q1 = percentil 25  
Q3 = percentil 75

**b) Muros cargados axialmente**

De la Figura 4.20 y de la Tabla 4.3, se comprueba que con el modelo de Mann y Müller y su modificación propuesta por Crisafulli (1997), como así también con la fórmula propuesta por la norma NCh2123 se entregan estimaciones cercanas a los valores de la carga de agrietamiento diagonal de los ensayos. En dichos casos, alrededor del 75% de los resultados son estimaciones seguras para el diseño de los muros. Esto se debe en gran medida, a que en estos modelos y ecuación empírica se considera el efecto de la carga vertical directamente en el cálculo.



**Figura 4.20** Efecto del modelo utilizado en la estimación de la resistencia al corte de los muros de albañilería confinada: Muros con carga vertical aplicada.

En cambio, los modelos tanto de Stafford Smith y Riddington como de Calvi, entregan estimaciones menores de las cargas experimentales con dispersiones mayores. El modelo de Crisafulli es el que presenta una mayor subestimación de la capacidad resistente de los muros, lo que se discute en la sección 4.5. Sin embargo, se debe destacar la menor dispersión de los resultados obtenidos con el Modelo de Crisafulli.

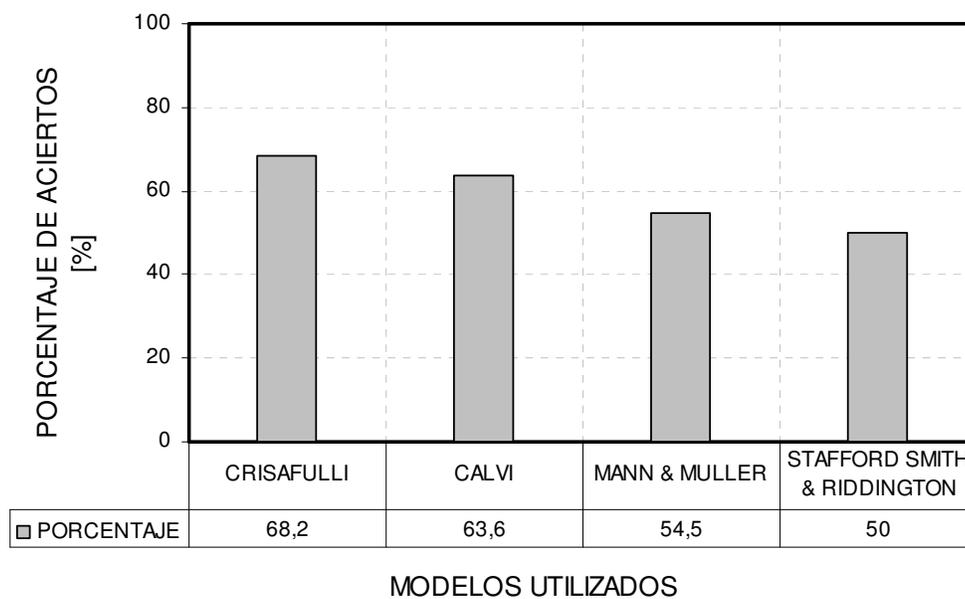
**Tabla 4.3** Análisis estadístico de los resultados obtenidos con los modelos para determinar la resistencia al corte en muros ensayados con carga vertical aplicada.

	NCh2123	CALVI	STAFFORD SMITH y RIDDINGTON	MANN y MÜLLER	MANN y MÜLLER (MODIFICADO)	CRISAFULLI
	$V_{Modelo} / V_{Experimental} [ ]$					
PROMEDIO	0,887	0,667	0,631	0,890	0,958	0,549
$\sigma$	0,197	0,238	0,199	0,200	0,210	0,103
C.V.	0,222	0,357	0,315	0,225	0,219	0,188
MINIMO	0,586	0,357	0,362	0,639	0,683	0,388
Q1	0,759	0,446	0,454	0,730	0,787	0,484
MEDIA	0,877	0,691	0,651	0,902	0,983	0,550
Q3	1,021	0,860	0,773	1,011	1,077	0,590
MAXIMO	1,192	1,019	0,960	1,272	1,351	0,744

Donde: Q1 = percentil 25  
Q3 = percentil 75

**Tabla 4.4** Modo de falla estimado por cada modelo para los muros ensayados.

MURO	EXPERIMENTAL	CALVI	STAFFORD SMITH y RIDDINGTON	MANN y MÜLLER	CRISAFULLI
MRG1	AD	AD	AD	AD	AD
MRG2	TD	AD	AD	AD	AD
MRE1	TD	TD	TD	AD	FLUENCIA
MRE2	TD	TD	TD	AD	FLUENCIA
A11	AD	AD	AD	AD	TD
A12	TD	AD	AD	AD	TD
A13	TD	AD	AD	AD	TD
A14	AD	AD	AD	AD	TD
A2	TD	AD	AD	AD	TD
B11	AD	AD	AD	AD	AD
B12	TD + AD	AD	AD	AD	AD
B13	TD	AD	AD	AD	AD
B14	AD	AD	AD	AD	AD
B2	AD	AD	AD	AD	AD
C11	AD	AD	AD	AD	AD
C12	TD	AD	TD	AD	AD
MV1	TD	AD	AD	AD	TD
MV3	TD	AD	AD	AD	TD
MLC-T1-01	AD	AD	TD	AD	AD
MLC-T1-02	AD	AD	TD	AD	AD
MBH-T1-01	AD	AD	TD	AD	AD
MBH-T1-02	AD	AD	TD	AD	AD
<b>PORCENTAJE DE ACIERTOS</b>		<b>63,3 %</b>	<b>50,0 %</b>	<b>54,5 %</b>	<b>68,2 %</b>



**Figura 4.21** Comparación de modelos para estimar el modo de falla en los muros ensayados.

El modo de falla experimental se identificó a partir de figuras entregadas junto con los resultados de los ensayos (ver Anexo E), considerando para ello el estado de agrietamiento diagonal del muro. Si bien ciertos muros presentan un claro patrón de agrietamiento, otros presentan un patrón de agrietamiento mixto donde se dificulta la identificación del modo de falla que controla la resistencia del muro. En estos casos se utilizó como criterio considerar como modo de falla el patrón de agrietamiento que con mayor frecuencia se repite en cada muro.

Al momento de analizar si el modo de falla observado experimentalmente coincide con el modo de falla entregado por el Modelo de Crisafulli, se observa que el modelo de Crisafulli entrega un 77,3% de aciertos al momento de comparar el modo de falla obtenido de la envolvente de falla y la falla observada en los ensayos. Según el modelo de Crisafulli, la capacidad resistente de los muros MRE1 y MRE2 queda controlada por la fluencia del pilar en tracción, si se dejan fuera estos muros, el porcentaje de aciertos disminuye a un 68,2%. Aún así, se puede concluir que el modelo de Crisafulli logra identificar el modo de falla de manera razonable.

Sin embargo, el resultado anterior debe utilizarse con precaución debido a la forma en que se estimaron los parámetros experimentales básicos del modelo de Mann y Muller (ver Capítulo 3), lo cual puede producir leves sobreestimaciones o subestimaciones de los resultados que pueden modificar el modo de falla que se predice el modelo de Crisafulli.

#### **4.5 Análisis de los resultados de aplicar el modelo de Crisafulli**

De la aplicación del modelo se pueden hacer los comentarios siguientes:

- a. El modelo de Crisafulli entrega una buena estimación de la carga de agrietamiento diagonal por efecto de la fuerza de corte en el caso de muros sin carga vertical aplicada, lo que se justifica si se considera que la razón entre la resistencia que entrega el modelo y la carga de agrietamiento diagonal obtenida en los ensayos tiene un valor promedio igual a 0,916 y un coeficiente de variación igual a un 15,8%, lo cual es una buena correlación entre los valores experimentales y teóricos cuando se trata de materiales no homogéneos y no isótropos en que su comportamiento está controlado por la capacidad resistente más débil como es la resistencia a la tracción o adherencia en este caso.
- b. La estimación de la resistencia al corte de muros ensayados con carga vertical no es tan buena, lo que se puede interpretar como una incapacidad para incluir el efecto benéfico que tiene la presencia de carga vertical en la resistencia al corte como ha quedado demostrado en los muros ensayados. El comentario anterior queda respaldado por el bajo valor promedio de la razón entre la resistencia que entrega el modelo y la carga de agrietamiento diagonal obtenida en los ensayos (0,549).

Una explicación a esta situación puede estar en que el modelo, al igual que otros modelos propuestos para muros del tipo “*infill walls*”, no considera el efecto de la carga vertical actuando sobre el paño. Lo cual no es crítico cuando por la secuencia de construcción de los muros del tipo “*infill walls*”, la carga gravitacional se trasmite por el marco de hormigón armado a través de los pilares hacia la fundación. De este modo, el paño de albañilería se considera como un elemento que debe soportar las cargas debidas a

su propio peso y a la interacción con el marco al deformarse lateralmente cuando no se dejan holguras con el marco de hormigón armado.

En el caso de los muros construidos con integración marco-panel, como es el caso de los muros de albañilería confinada, la cadena forma parte también del sistema de piso, por lo tanto las cargas gravitacionales se transmiten directamente al paño de albañilería en alguna proporción lo cual debe considerarse en cualquier modelo que se proponga para calcular la resistencia al corte del muro.

- c. Es necesario analizar el efecto de la inclinación del puntal en la resistencia a la compresión de la albañilería. La capacidad de algunos muros, en particular los de bajas resistencias prismáticas como son los muros construidos con unidades de ladrillo artesanal, podría estar controlada por una falla por compresión diagonal en el paño, posibilidad que ha sido excluida en los cálculos de este capítulo.

De este análisis, se desprende que es necesario incluir modificaciones en el modelo propuesto por Crisafulli de modo de incluir tanto el efecto de la carga axial como el efecto de la inclinación de la carga en la resistencia a la compresión de la albañilería. Ambas modificaciones se analizan en el Capítulo 5.

#### 4.6 Conclusiones del capítulo

- El Modelo propuesto por Crisafulli entrega una manera sencilla y rápida de estimar resistencia al corte de un muro de albañilería confinada, utilizando información tanto geométrica como mecánica para construir la envolvente de falla y definir el modo de falla del paño de albañilería.
- Al no existir un parámetro de reducción de la resistencia a la compresión de la albañilería por efecto de la inclinación del puntal de compresión con respecto a la junta horizontal de mortero, el análisis de este Capítulo se limitó a considerar una falla por adherencia o por tracción diagonal. Si se comparan los modos de falla experimentales con los modos de falla que entrega el modelo, es posible ver que el modelo entrega un buen porcentaje de aciertos. Sin embargo, estas estimaciones tienen un grado de incertidumbre por la estimación indirecta de los parámetros básicos del modelo de Mann y Muller, incertidumbres que pueden cambiar el modo de falla que controla.
- De la aplicación del modelo de Crisafulli se obtiene una estimación en su mayor parte segura de la carga de agrietamiento diagonal de los muros sin carga vertical aplicada. En el caso de los muros con carga vertical aplicada, el modelo de Crisafulli subestima la resistencia al corte obtenida en los muros ensayados.
- La falta de información relacionada con la variación de la resistencia a la compresión de la albañilería por efecto la inclinación de la línea de acción de la carga con respecto a la junta horizontal de mortero, no permite realizar un análisis confiable de la capacidad del muro cuando se produce una falla por compresión diagonal. Sin

embargo, a pesar de ser poco frecuente este tipo de falla, la baja resistencia a la compresión de algunos tipos de unidades hace necesario incluirla.

- La baja resistencia obtenida con el modelo de Crisafulli en los muros con carga vertical aplicada, hace necesario estudiar la forma de incluir en el modelo el efecto benéfico de la carga axial sobre la resistencia al corte. Un primer intento en esta dirección es el modelo Modificado propuesto en este trabajo.

## CAPITULO 5

### MODIFICACIONES AL MODELO DE CRISAFULLI

#### 5.1 Introducción

Al aplicar el modelo de Crisafulli en el Capítulo 4, se pudo comprobar que es necesario hacer algunas modificaciones al modelo para mejorar la estimación de la resistencia al corte de los muros de albañilería confinada ensayados. Entre estas modificaciones se pueden destacar las relacionadas con el efecto de la carga vertical en la resistencia del paño de albañilería y en la carga axial que actúa sobre los pilares de confinamiento, y la necesidad de contar con un coeficiente que modifique la resistencia a la compresión de la albañilería de acuerdo con la orientación de la fuerza del puntal de compresión con respecto a la junta de mortero.

Con los resultados obtenidos del Modelo Modificado se analiza el impacto de las modificaciones y se identifica la necesidad de realizar algunos estudios experimentales adicionales con el propósito de ir perfeccionando el modelo.

#### 5.2 Modificaciones al Modelo de Crisafulli

##### 5.2.1 Falla por compresión diagonal

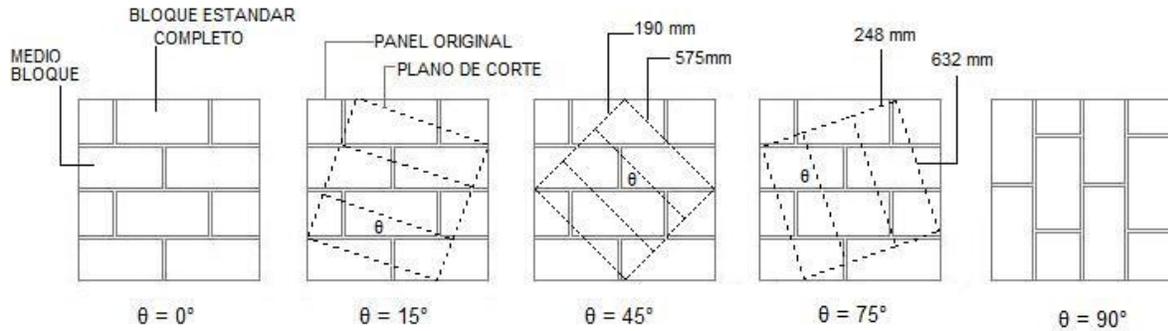
La anisotropía de la albañilería hace que las propiedades del material dependan de la dirección en la cual se aplican las cargas. Por lo tanto, la inclinación del puntal de compresión equivalente incide necesariamente en la capacidad resistente de la albañilería cuando se produce una falla por compresión diagonal en el muro.

Crisafulli plantea que es posible representar la disminución de la capacidad resistente de la albañilería a través de la introducción del coeficiente  $C_\theta$ , con el cual se calcula la resistencia a la compresión diagonal de la albañilería usando la ecuación:

$$f'_{m\theta} = C_\theta \cdot f'_m$$

Ante la dificultad de encontrar una expresión para el coeficiente  $C_\theta$ , que no sea a través de un ensayo es conveniente buscar una alternativa. Con este propósito se usarán los resultados del estudio realizado por Hamid y Drysdale (1978) quienes determinaron la forma en que varía la resistencia a la compresión de la albañilería cuando cambia la dirección de la fuerza de compresión con respecto a la junta horizontal de mortero en probetas de albañilería construidas con bloques huecos de hormigón con y sin relleno total de huecos, ver Figura 5.1.

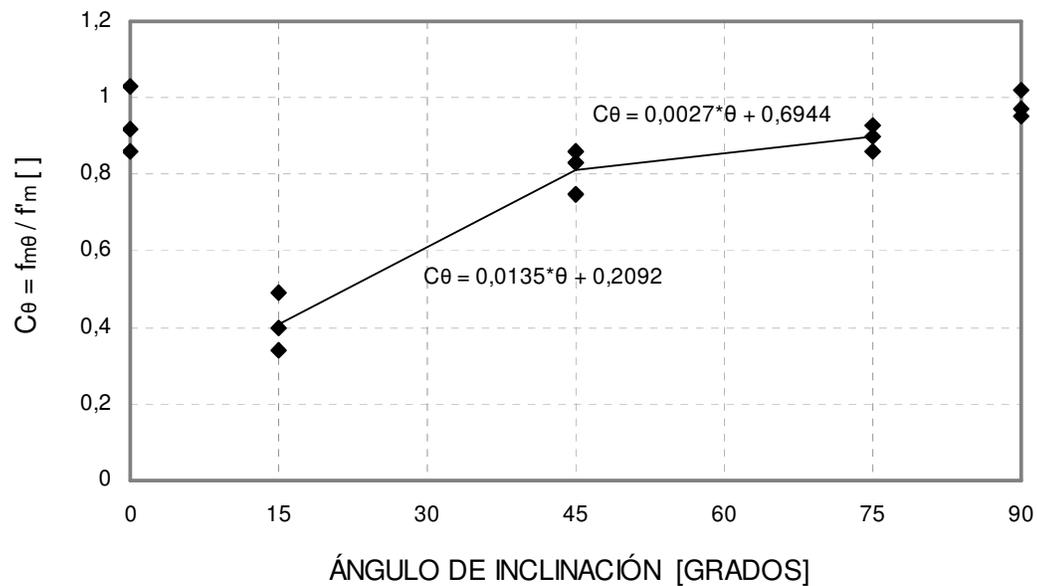
Considerando las características de los muros ensayados en Chile, para determinar el coeficiente  $C_\theta$  se utilizaron los resultados de las probetas construidas con bloques huecos de hormigón sin relleno total de huecos, los cuales se detallan en la Tabla 5.1 y se grafican en la Figura 5.2. Con los datos, en la Figura 5.2 se trazan rectas entre dos zonas:  $[15^\circ, 45^\circ]$  y  $[45^\circ, 75^\circ]$  (Marín, 2009).



**Figura 5.1** Probetas ensayadas por Hamid y Drysdale (1978)

**Tabla 5.1** Resultado del ensayo de probetas construidas con bloques huecos de hormigón sin relleno de los huecos (Hamid y Drysdale, 1978)

ANGULO $\theta$ [ ° ]	$f'_m$ BLOQUE [ MPa ]	$f'_{m\theta} / f'_m$ [ ]	ANGULO $\theta$ [ ° ]	$f'_m$ BLOQUE [ MPa ]	$f'_{m\theta} / f'_m$ [ ]
0	9,4	0,92	45	8,8	0,86
0	10,5	1,03	75	9,2	0,9
0	8,8	0,86	75	8,8	0,86
15	5	0,49	75	9,5	0,93
15	4,1	0,4	90	9,9	0,97
15	3,5	0,34	90	9,7	0,95
45	7,7	0,75	90	10,4	1,02
45	8,5	0,83			



**Figura 5.2** Variación de la razón  $f_{m\theta}/f'_m$  en función del ángulo  $\theta$  (Marín, 2009)

Respecto a los modos de falla observados para los distintos tipos de probetas ensayadas se detallan a continuación:

- Para  $\theta = 0^\circ$  (compresión axial paralela a la junta horizontal): falla por compresión, grietas verticales que cruzan mortero y unidad.
- Para  $\theta = 90^\circ$  (compresión axial normal a la junta horizontal): falla por compresión, grietas verticales que cruzan mortero y unidad.

A pesar de tener similares modos de falla, la resistencia promedio que exhiben ambas probetas ( $\theta = 0^\circ$  y  $\theta = 90^\circ$ ) difiere debido a que las probetas de albañilería exhiben características mecánicas distintas según la orientación de las unidades y las juntas de mortero.

- Para  $\theta = 15^\circ$ : El modo de falla corresponde a un deslizamiento en la junta horizontal.
- Para  $\theta = 75^\circ$ : Exhibe un modo de falla por compresión con grietas cercanas a las juntas verticales.
- Para  $\theta = 45^\circ$  Exhibe un patrón mixto, fallando tanto por compresión como deslizamiento.

Debido a que no todas las fallas observadas en las probetas corresponden a fallas de compresión, el factor  $C_\theta$  corresponde al caso más desfavorable. Por lo tanto, corresponden a la máxima degradación posible en la albañilería.

Esto permite expresar el coeficiente  $C_\theta$  por las ecuaciones:

$$C_\theta = 0,0135 \cdot \theta + 0,2092 \quad \text{Si } 15 < \theta \leq 45 \quad (5.1)$$

$$C_\theta = 0,0027 \cdot \theta + 0,6944 \quad \text{Si } 45 < \theta \leq 75 \quad (5.2)$$

Donde:  $\theta$  = ángulo que forma la diagonal de compresión equivalente con la junta horizontal de mortero.

Al aplicar este coeficiente de corrección se puede calcular la resistencia en el puntal cuando la falla es por compresión diagonal, lo que permite incluir este tipo de falla en la envolvente de falla de cada muro. Los valores de la resistencia a la compresión de la albañilería para los muros ensayados se indican en la Tabla 5.2.

**Tabla 5.2** Resistencia a la compresión de la albañilería considerando la inclinación del puntal de compresión equivalente para los muros ensayados.

MURO	$\theta$ [ ° ]	$C_\theta$ [ ]	$f'_m$ [MPa]	$f'_{m\theta}$ [MPa]
MRG1, MRG2	47,8	0,823	13,76	11,33
MRE1, MRE2	70,0	0,883	13,76	12,16
A11, A12, A13, A14, A2	47,8	0,823	12,2	10,05
B11, B12, B13, B14, B2	47,8	0,823	2,96	2,44
C11	47,8	0,823	9,12	7,51
C12	47,8	0,823	7,17	5,90
MV1	48,3	0,825	11,4	9,43
MV3	51,7	0,834	11,4	9,53
MLC-T1-01, MLC-T1-02	32,0	0,641	6,89	4,42

## 5.2.2 Efecto de la carga vertical sobre la resistencia al corte de los muros.

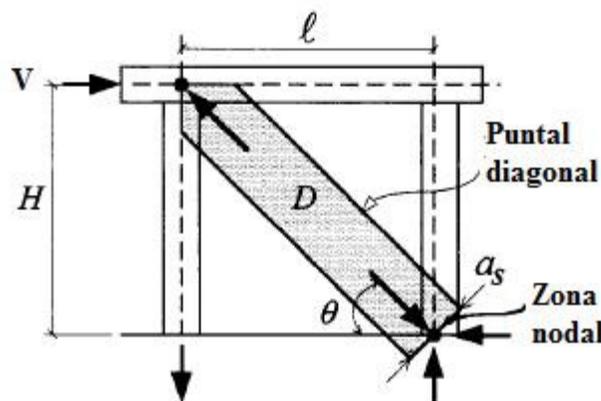
### a) Efecto sobre la resistencia del puntal de compresión equivalente.

En el Capítulo 4 se ha comprobado que el modelo propuesto por Crisafulli subestima la resistencia al corte de los muros sometidos a carga vertical. Algunas de las razones para que esto ocurra son:

- La determinación de las tensiones en el muro ( $v$ ,  $f_n$ ) se hace en función de las tensiones principales ( $f_1$ ,  $f_2$ ) y de la orientación de la tensión principal de compresión ( $f_1$ ) con respecto a la junta horizontal de mortero ( $\theta$ ), ecuaciones 2.13 y 2.14. Esto hace que al reemplazar  $v$  y  $f_n$  en las ecuaciones del modo de falla no se considere el efecto de la fuerza axial que puede actuar en el muro, lo que significa que el modelo de Crisafulli entregue una menor resistencia al corte en el muro.
- El modelo considera que la tensión principal de compresión ( $f_1$ ) se orienta en un ángulo igual al que forma la diagonal del paño de albañilería, lo cual es una buena aproximación sólo al no existir una carga vertical aplicada sobre el muro. Una carga vertical externa modifica la construcción del círculo Mohr cambiando la orientación de la dirección principal.

Ante estas dos consideraciones, se busca mejorar las estimaciones mediante una modificación, que si bien no soluciona los dos problemas anteriormente citados, logra mejorar la estimación de la resistencia lateral de muros de albañilería confinada en presencia de fuerza axial de compresión.

Para esto, se propone considerar el efecto de la carga vertical a través de la modificación del ancho del puntal de compresión equivalente,  $a_w = a_s$  (ver Figura 5.3), de modo que el efecto benéfico de la carga vertical en la resistencia al corte quede representado por el aumento del ancho del puntal de compresión equivalente en función de la carga vertical.



**Figura 5.3** Modelo puntal-tensor para determinar la resistencia al corte.

Como una primera aproximación se acepta que el ancho del puntal de compresión equivalente es igual a la profundidad de la zona en compresión en la base del muro la cual puede aproximarse utilizando la ecuación propuesta por Paulay y Priestley (1992) para la zona en compresión por flexión de una columna elástica, resultando:

$$a_w = \left( 0,25 + 0,85 \frac{N}{A_c \cdot f'_c} \right) \cdot L_w \quad (5.3)$$

Donde:  $f'_c$ : resistencia a la compresión del hormigón  
 $A_c$ : Área bruta del muro de hormigón  
 $N$ : Carga axial aplicada  
 $L_w$ : largo del muro de hormigón.

Es posible realizar una analogía entre el caso de un muro de hormigón y el paño de albañilería (teniendo en cuenta que las características no homogéneas de la albañilería difieren de las del hormigón) y considerando que en este caso, en ausencia de carga axial aplicada, su ancho de puntal es igual 0,25 veces la diagonal, se lleva la ecuación 5.3 a la siguiente expresión:

$$a_s = a_w = \left( 0,25 + 0,85 \frac{N_m}{A_m \cdot f'_m} \right) \cdot d_m \quad (5.4)$$

Donde:  $f'_m$ : resistencia a la compresión de la albañilería.  
 $A_m$ : Área bruta del paño de albañilería.  
 $N_m$ : Carga axial aplicada sobre el paño de albañilería.  
 $d_m$ : Largo de la diagonal del paño de albañilería.

b) *Distribución de la fuerza normal sobre la sección transversal y efecto sobre la fluencia del pilar que actúa como tensor.*

Es necesario definir la distribución de la fuerza normal sobre la sección de muro de albañilería confinada. Desconociendo como se materializa esta distribución, se analizaron 3 criterios, cuyos resultados se entregan en el ANEXO B.

▪ **Deformación uniforme (distribución por rigidez de los elementos)**

Si se considera que la deformación axial de la sección transversal del muro de albañilería es uniforme, la fuerza vertical se distribuye en un mayor porcentaje en los pilares del marco de hormigón y en un porcentaje menor en el paño de albañilería. Esto se debe a la diferencia entre los módulos de elasticidad de la albañilería y el hormigón, lo cual reduce la calidad de las estimaciones obtenidas mediante la utilización de la modificación presentada en el punto (a) de esta sección.

Este tipo de distribución no será utilizada en esta memoria. Sin embargo, en el ANEXO B es posible observar el Modelo Modificado utilizando este tipo de distribución y confirmar el bajo impacto de su utilización en las estimaciones.

▪ **Tensión uniforme (distribución por área)**

Se asume que la carga vertical se distribuye en proporción al área de los elementos que forman la sección transversal, resultando una tensión normal uniforme tanto en el pilar de confinamiento como en el paño de albañilería igual a:

$$f_n = \frac{N}{(A_m + 2 \cdot A_c)} \quad (5.5)$$

$$N_m = f_n \cdot A_m \quad (5.6)$$

$$N_y = f_n \cdot A_c \quad (5.7)$$

donde:  $N_y$ : Carga vertical de compresión aplicada sobre un pilar.  
 $N_m$ : Carga vertical de compresión aplicada sobre el paño de albañilería.  
 $A_c$ : Área del pilar de hormigón  
 $A_m$ : Área bruta del paño de albañilería  
 $f_n$ : tensión actuando sobre el muro.

Por lo tanto se tiene que la fuerza axial en el pilar en tracción es:

$$T = R_c \cdot \sin \theta - N_y < T_y \quad (5.7)$$

Y la fuerza de tracción ( $T_y^*$ ) necesaria para generar fluencia en la armadura longitudinal en presencia de carga axial sobre el pilar se calcula mediante la ecuación 5.8

$$T_y^* = A_{sl} f_y + N_y \quad (5.8)$$

donde:  $A_{sl}$ : Armadura longitudinal del pilar.

▪ **El 100% de carga vertical actuando sobre el paño de albañilería**

Una alternativa que se propone es considerar que la carga axial se transmite completamente hacia el paño de albañilería. Debido a que se desconoce la distribución de la carga normal sobre los elementos, este tipo de distribución se considerara en el análisis de esta memoria como una alternativa para estimar la resistencia lateral de los muros.

En este enfoque:

$$N_y = 0 \quad (5.9)$$

$$N_m = N \quad (5.10)$$

donde:  $N_y$ : Carga vertical de compresión aplicada sobre un pilar.  
 $N_m$ : Carga vertical de compresión aplicada sobre el paño de albañilería.

Por lo tanto se tiene que la fuerza axial en el pilar en tracción es:

$$T = R_c \cdot \sin \theta < T_y$$

$$T_y^* = A_{sl} f_y$$

### 5.3 Aplicación del Modelo Modificado.

Teniendo en cuenta las modificaciones sugeridas en el punto 5.2, se aplica el Modelo Modificado para determinar la resistencia al corte de los muros de albañilería confinada ensayados en Chile. Con este propósito se trazan las envolventes de falla incluyendo la falla de corte por compresión diagonal.

#### 5.3.1 Envolventes de falla.

A las envolventes trazadas en la sección 4.2.1 se agrega la modificación que se produce al considerar la falla de corte por compresión diagonal. Con esta incorporación es posible ver si se puede producir la falla por compresión diagonal en los muros ensayados.

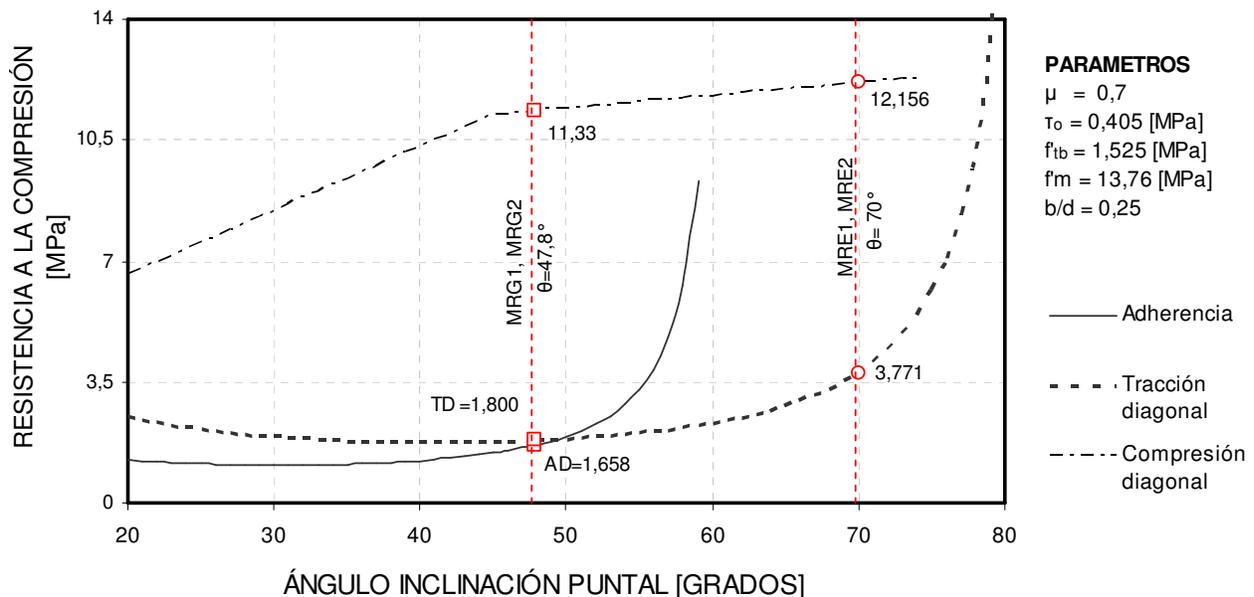
La parte de la envolvente que representa la falla por compresión diagonal, queda definida por la resistencia a la compresión de la albañilería considerando la orientación de la tensión de compresión con respecto a la junta horizontal de mortero, resultando.

$$f'_{m\theta} = C_{\theta} \cdot f'_m$$

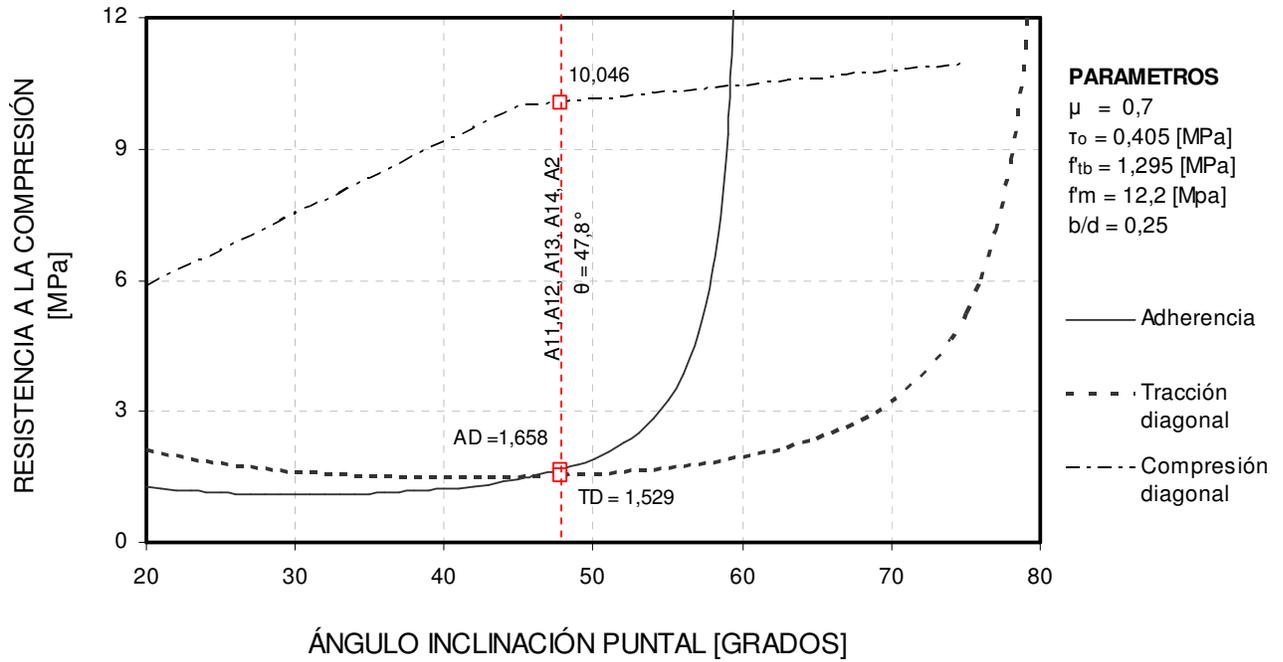
donde:

$C_{\theta} = 0,0135 \cdot \theta + 0,2092$	Si $15^{\circ} < \theta \leq 45^{\circ}$
$C_{\theta} = 0,0027 \cdot \theta + 0,6944$	Si $45^{\circ} < \theta \leq 75^{\circ}$

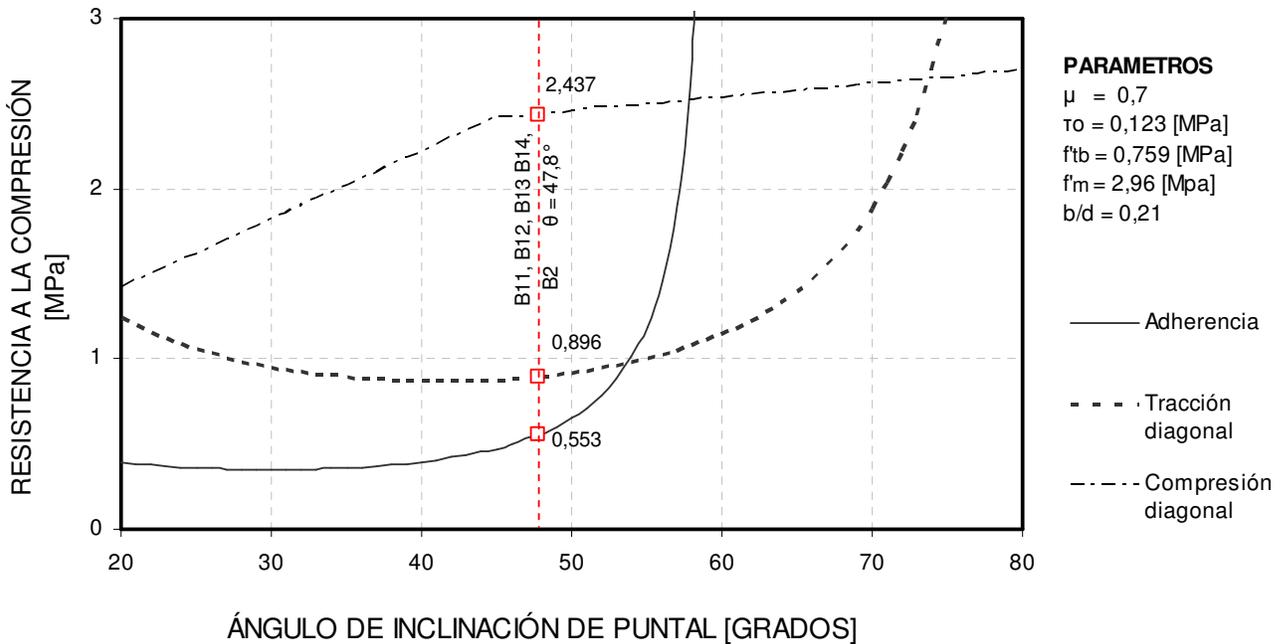
En las Figuras 5.4 a 5.11 se muestran las envolventes que resultan para cada una serie de los muros ensayados.



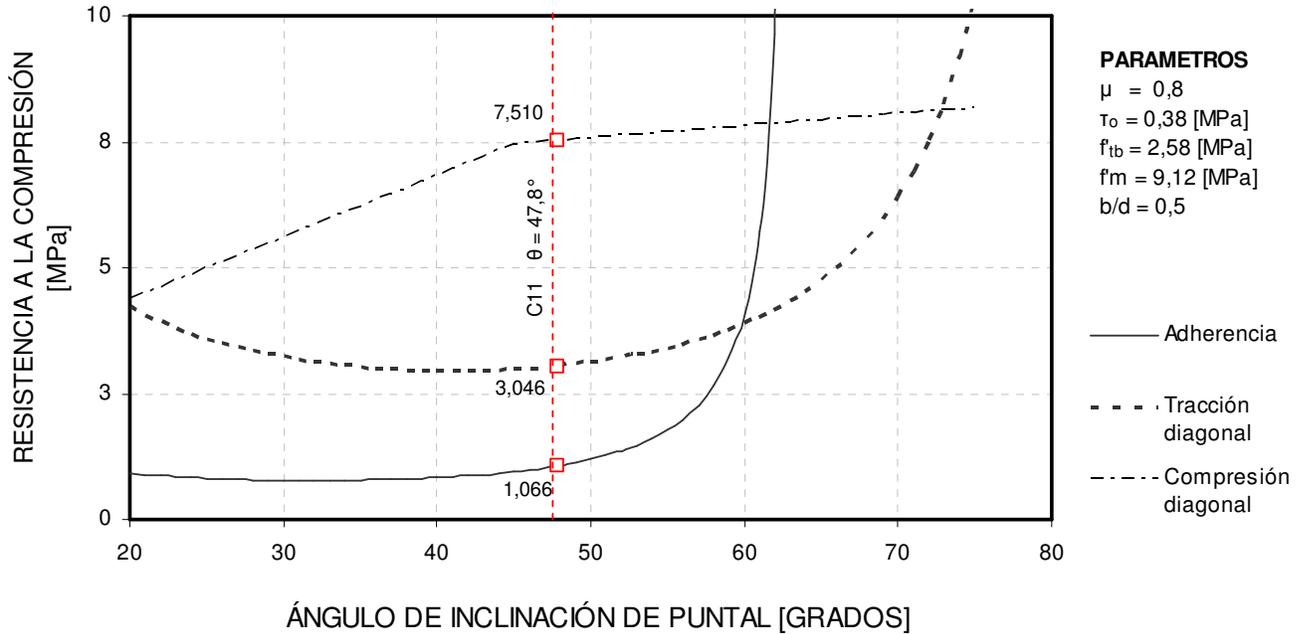
**Figura 5.4** Envolvente de falla para los muros de la serie MRG y MRE. Muros construidos con unidades de ladrillo cerámico tipo Titán Liviano y con un mortero de dosificación 1: ½: 4. (Se incluye falla por compresión diagonal)



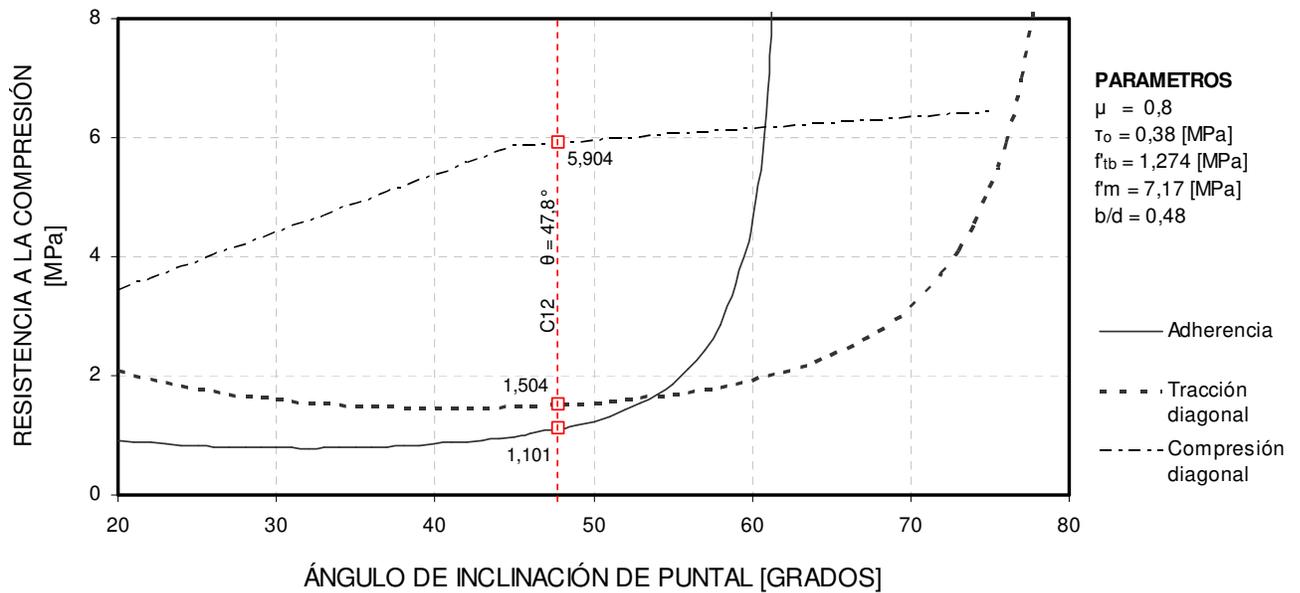
**Figura 5.5** Envoltente de falla para los muros de la serie A. Muros construidos con unidades de ladrillo cerámico tipo Titán Liviano y con un mortero de dosificación 1: ½: 4. (Se incluye falla por compresión diagonal)



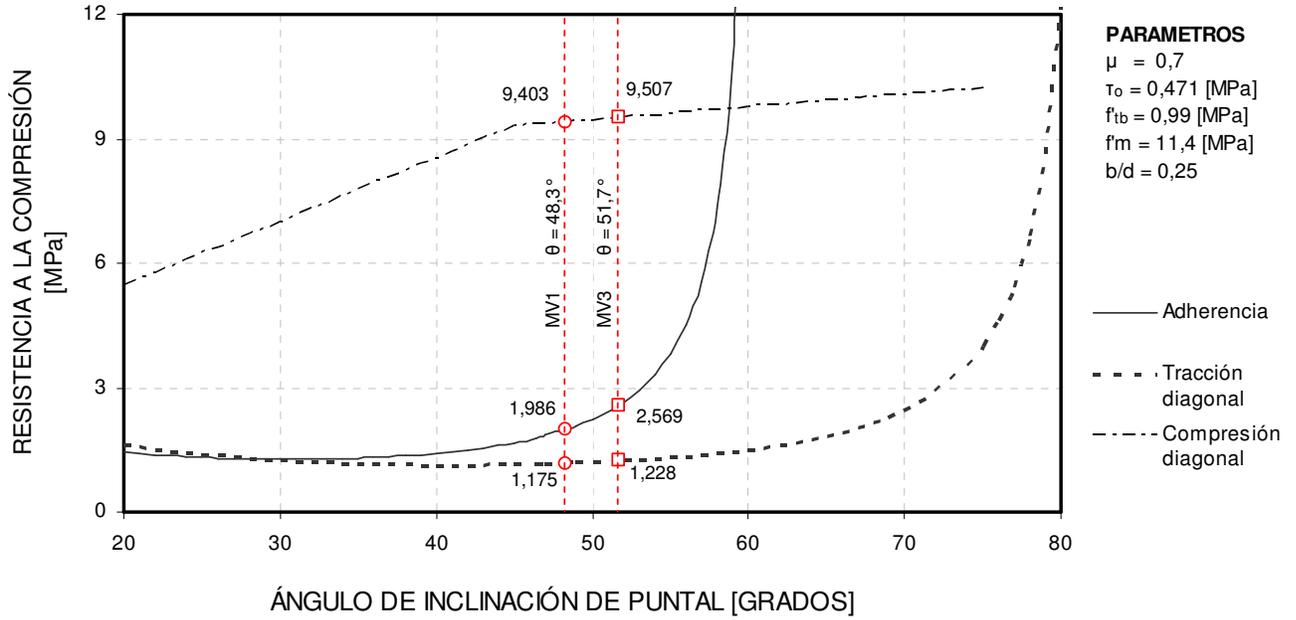
**Figura 5.6** Envoltente de falla para los muros de la serie B. Muros construidos con unidades de ladrillos “chonchon” o “fiscal” y con un mortero de dosificación 1: ½: 4. (Se incluye falla por compresión diagonal)



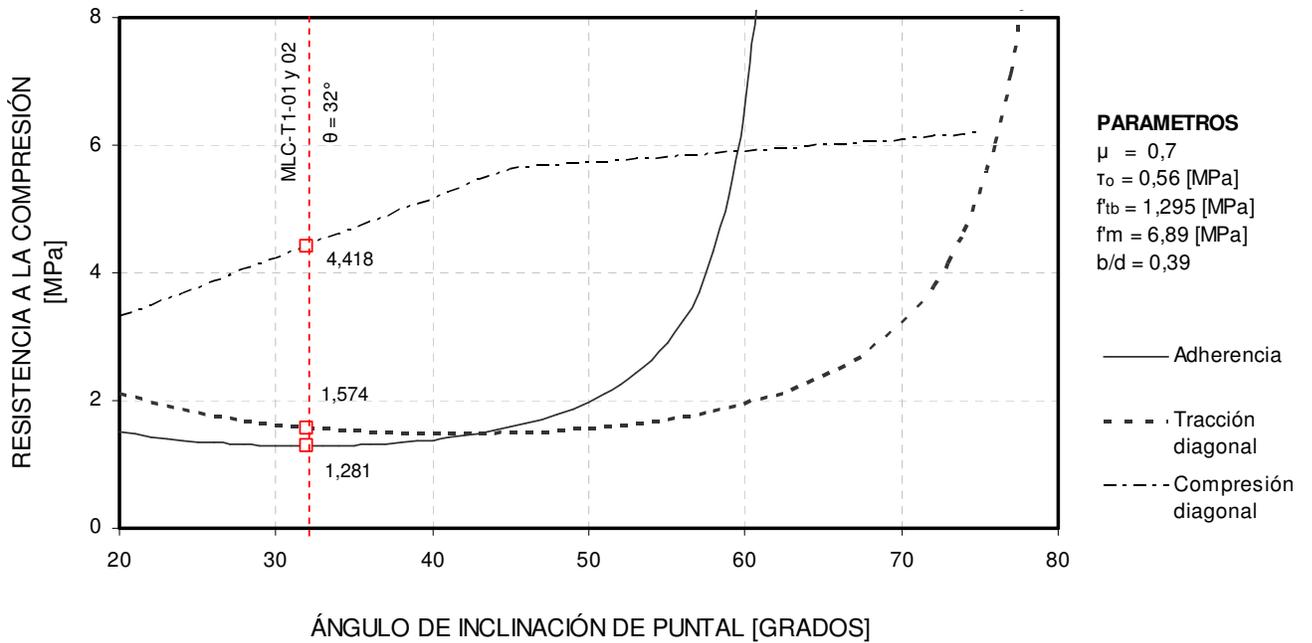
**Figura 5.7** Envolvente de falla para los muros de la serie C11. Muros construidos con unidades de bloque de hormigón Tipo A (alta resistencia) y con un mortero de dosificación 1: ½: 4. (Se incluye falla por compresión diagonal)



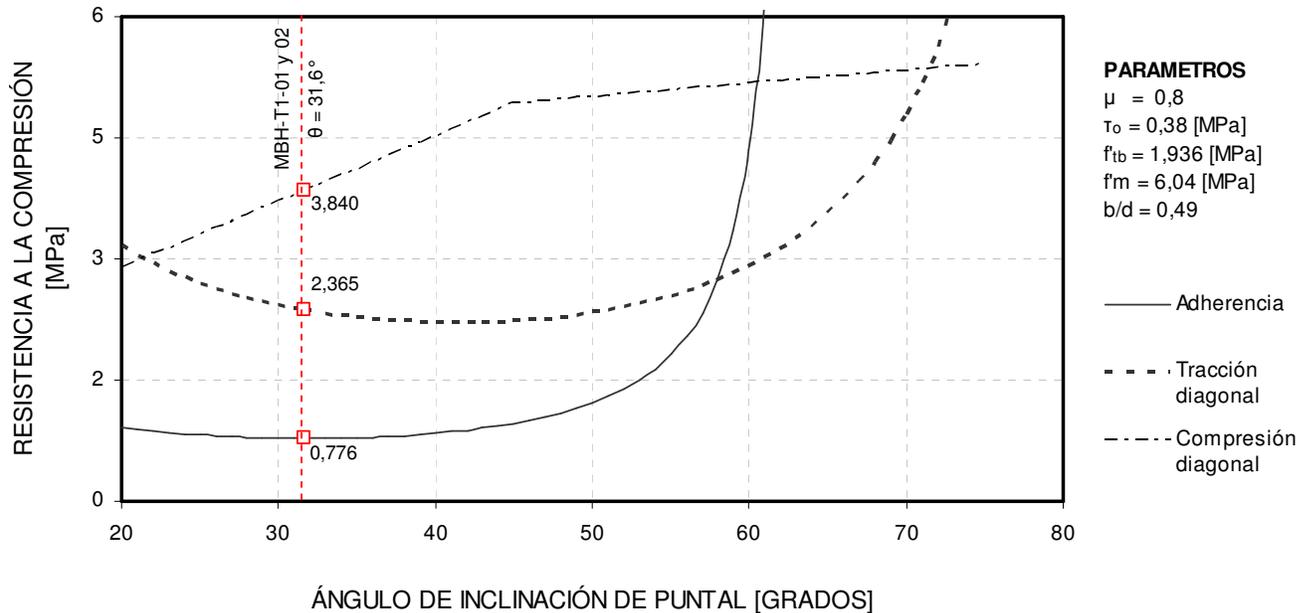
**Figura 5.8** Envolvente de falla para los muros de la serie C12. Muros construidos con unidades de bloque de hormigón Tipo B (corrientes) y con un mortero de dosificación 1: ½: 4. (Se incluye falla por compresión diagonal)



**Figura 5.9** Envoltente de falla para los muros de la serie MV. Muros construidos con unidades de ladrillo cerámico similares al tipo Titán Liviano y con un mortero de dosificación en peso de 1: ¼: 2. (Se incluye falla por compresión diagonal)



**Figura 5.10** Envoltente de falla para los muros de la serie MLC. Muros construidos con unidades de ladrillo cerámico tipo Gran Titán y con un mortero “A14 albañil pega M10”. (Se incluye falla por compresión diagonal)



**Figura 5.11** Envolvente de falla para los muros de la serie MBH. Muros construidos con unidades de bloques de hormigón Tipo A (alta resistencia) y con un mortero “A14 albañil pega M10”. (Se incluye falla por compresión diagonal)

De los gráficos, conocida la inclinación de la diagonal del paño de albañilería para cada muro, se puede determinar la resistencia a la compresión del puntal y el modo de falla al cual está asociado. Los valores de estas resistencia ( $f'_{m\theta}$ ) para los distintos modos de falla que puede presentar el paño de albañilería por efecto de la fuerza de corte y el modo de falla que controla se indican en Tabla 5.3.

De la tabla 5.3 se comprueba que aún cuando se reduzca la resistencia a la compresión por el factor  $C_\theta$ , la falla por compresión diagonal no controla en ninguno de los muros ensayados. Por lo tanto, aplican las mismas tensiones de fallas obtenidas por el Modelo de Crisafulli (1997) y los resultados entregados en el Capítulo 4 para muros sin carga axial aplicada.

Por lo tanto, aún con las modificaciones introducidas al modelo, se mantienen los resultados obtenidos en la sección 4.2.4 y en las Figuras 4.10 y 4.11 para los muros sin carga vertical

El modo de falla que predice el modelo para los muros MRE1 y MRE2 se considera de fluencia, debido a que este modo controla en el cálculo de la resistencia (ver ANEXO A, tabla A.3), aun cuando la envolvente predice que la falla es por tracción diagonal. Sin embargo, aunque la falla predicha por el modelo y la observada experimentalmente no coinciden, la estimación de resistencia lateral entregada por el modelo es cercana a la resistencia lateral obtenida en el ensayo de dichos muros.

**Tabla 5.3** Resistencia a la compresión del puntal de compresión equivalente ( $f'_{m0}$ ) y modo de falla que controla esta resistencia según el Modelo Modificado.

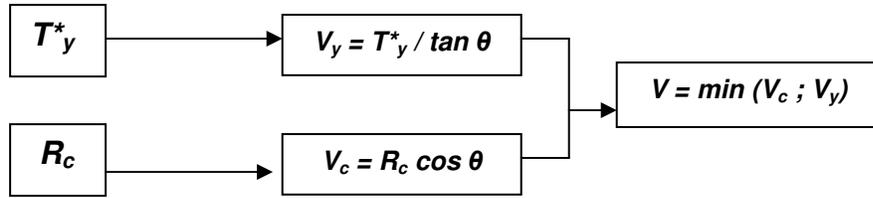
MURO	AD [MPa]	TD [MPa]	CD [MPa]	FALLA [MPa]	MODO FALLA
MRG1	1,658	1,800	11,331	1,658	AD
MRG2	1,658	1,800	11,331	1,658	AD
MRE1	*	3,771	12,156	3,771	FLUENCIA
MRE2	*	3,771	12,156	3,771	FLUENCIA
A11	1,658	1,529	10,046	1,529	TD
A12	1,658	1,529	10,046	1,529	TD
A13	1,658	1,529	10,046	1,529	TD
A14	1,658	1,529	10,046	1,529	TD
A2	1,658	1,529	10,046	1,529	TD
B11	0,553	0,896	2,437	0,553	AD
B12	0,553	0,896	2,437	0,553	AD
B13	0,553	0,896	2,437	0,553	AD
B14	0,553	0,896	2,437	0,553	AD
B2	0,553	0,896	2,437	0,553	AD
C11	1,006	3,046	7,510	1,006	AD
C12	1,101	1,504	5,904	1,101	AD
MV1	1,986	1,175	9,403	1,175	TD
MV3	2,569	1,228	9,507	1,228	TD
MLC-T1-01	1,281	1,574	4,418	1,281	AD
MLC-T1-02	1,281	1,574	4,418	1,281	AD
MBH-T1-01	0,776	2,365	3,840	0,776	AD
MBH-T1-02	0,776	2,365	3,840	0,776	AD

Donde: AD: Falla por adherencia  
 TD: Falla por tracción diagonal.  
 CD: Falla por compresión en el puntal diagonal

### 5.3.2 Cálculo de la resistencia al corte de los muros de albañilería confinada según el Modelo Modificado. Comparación con valores experimentales.

Para determinar la resistencia al corte de cada uno de los muros con carga axial aplicada, es necesario estimar la distribución carga axial actuando en el paño de albañilería y pilares de hormigón, estos valores determinaran el ancho del puntal equivalente y la fuerza necesaria para hacer fluir la armadura longitudinal, respectivamente.

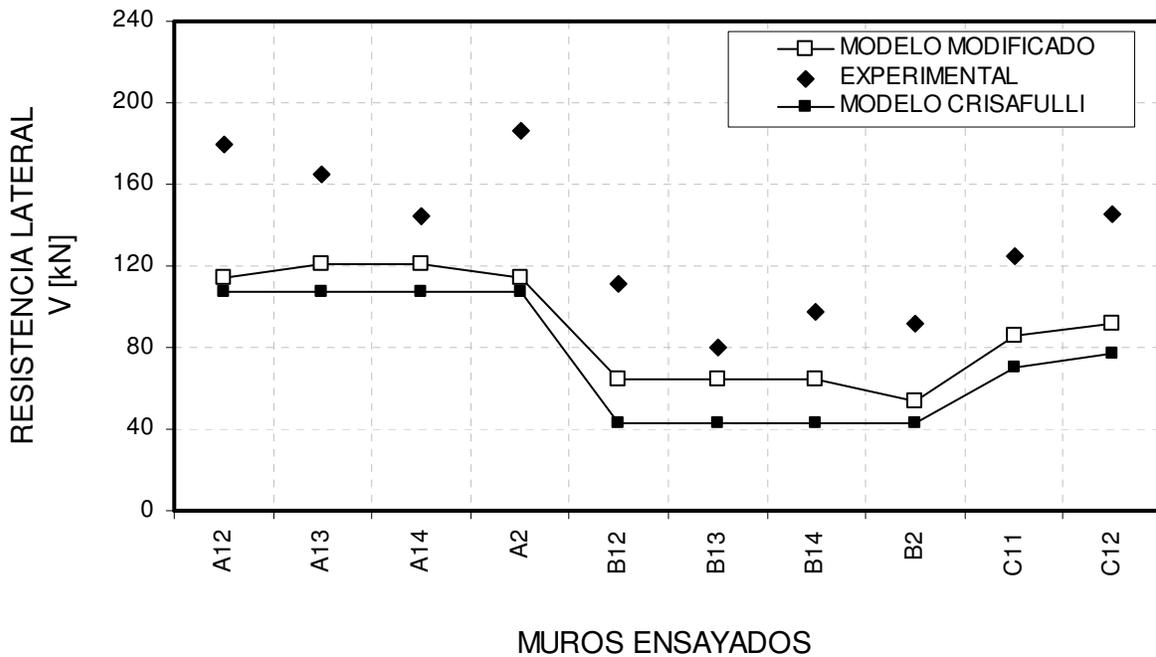
Cualquiera sea el método utilizado para definir esta distribución (cuya discusión es posible ver en la sección 5.2.2 punto (b)), conocidas la fuerza resistente  $R_c$  en el puntal de compresión y la modificación de la fuerza de fluencia en el pilar que funciona como tensor por efecto de la carga vertical es posible calcular la resistencia al corte del muro de albañilería confinada ( $V$ ) siguiendo los pasos indicados en el Diagrama 5.1.



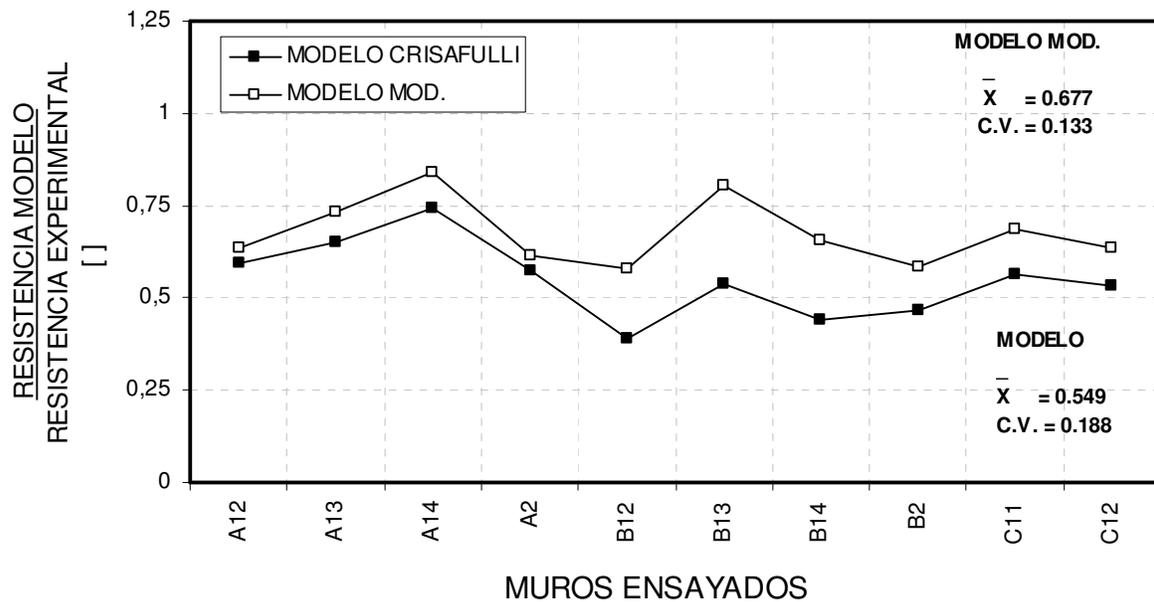
**Diagrama 5.1** Estimación de la resistencia al corte, Modelo Modificado.

**a) Estimación de resistencia lateral considerado una distribución uniforme de la carga vertical.**

En la Figura 5.12 se compara la resistencia al corte obtenido con el modelo de Crisafulli, el Modelo Modificado y la carga de agrietamiento diagonal de los muros ensayados con carga vertical. En la Figura 5.13 se muestra el valor de la razón entre la carga teórica y la carga de agrietamiento experimental para ambos modelos. Los valores y cálculos utilizados en la confección de estas figuras se indican en las tablas del ANEXO A de esta memoria.



**Figura 5.12** Comparación de la resistencia al corte estimada de los muros ensayados con carga vertical aplicada (Carga vertical distribuida uniformemente).



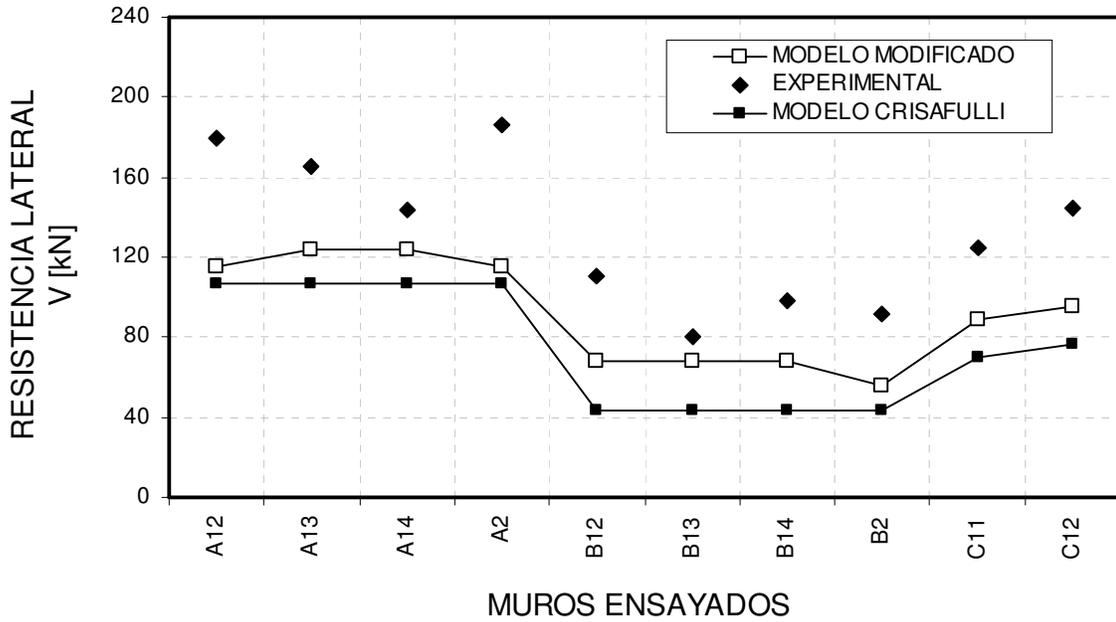
**Figura 5.13** Razón entre la resistencia al corte teórica y la carga de agrietamiento diagonal de los muros ensayados con carga vertical. Modelo de Crisafulli y Modelo Modificado. (Carga vertical distribuida uniformemente)

De la Figura 5.13 se observa que la estimación de la resistencia al corte al aplicar las modificaciones mejora del orden de un 23% y la dispersión de los resultados disminuye, lo que se refleja en un coeficiente de variación igual a un 13,3 %. Si bien con las modificaciones se logra una mejor estimación de la carga de agrietamiento diagonal del muro de albañilería confinada, no consigue incluir en su totalidad el efecto benéfico de la carga vertical de compresión en la resistencia al corte del muro.

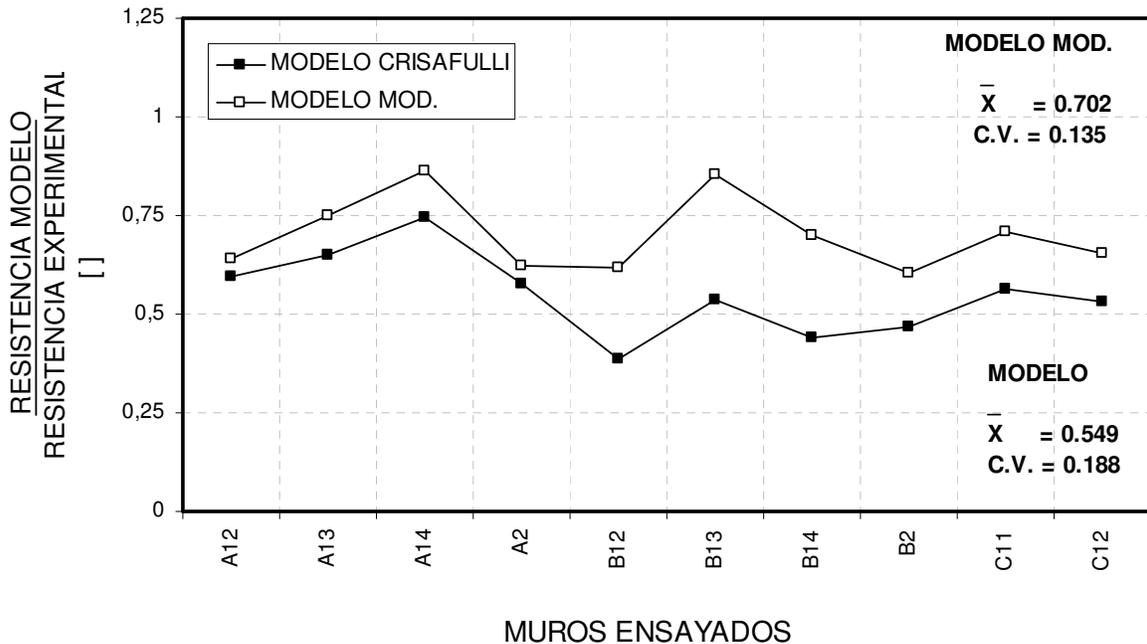
De los muros analizados, el Modelo Modificado muestra que ninguno de los muros ensayados con carga vertical falla por fluencia de las armaduras. Las fallas son por corte, ya sea por adherencia o tracción diagonal. La falla por compresión diagonal queda descartada tanto teórica como experimentalmente.

**b) Estimación de resistencia lateral considerado que el 100% de la carga vertical actúa sobre el panel de albañilería.**

En la Figura 5.14 se compara la resistencia lateral obtenida con el Modelo de Crisafulli y Modelo Modificado con la carga de agrietamiento diagonal de los muros ensayados con carga vertical. En la Figura 5.15 se muestra el valor de la razón entre la carga teórica y la carga de agrietamiento experimental para ambos modelos. Los valores y cálculos utilizados en la confección de estas figuras se indican en las tablas del ANEXO A de esta memoria.



**Figura 5.14** Comparación de la resistencia al corte estimada de los muros ensayados con carga vertical aplicada (el 100% de la carga vertical actúa sobre el panel de albañilería.).



**Figura 5.15** Razón entre la resistencia al corte teórica y la carga de agrietamiento diagonal de los muros ensayados con carga vertical. Modelo de Crisafulli y Modelo Modificado (el 100% de la carga vertical actúa sobre el panel de albañilería).

De la Figura 5.15 se observa que la estimación de la resistencia al corte al aplicar las modificaciones mejora del orden de un 28% y la dispersión de los resultados disminuye, lo que se refleja en un coeficiente de variación igual a un 13,5 %. Si bien con las modificaciones se logra una

mejor estimación de la carga de agrietamiento diagonal del muro de albañilería confinada, no consiguen incluir en su totalidad el efecto benéfico de la carga vertical de compresión en la resistencia al corte del muro.

De los muros analizados, el Modelo Modificado muestra que ninguno, de los muros ensayados con carga vertical, falla por fluencia en las armaduras. Las fallas son por corte, ya sea por adherencia o tracción diagonal. La falla por compresión diagonal queda descartada tanto teórica como experimentalmente.

#### 5.4 Análisis de sensibilidad de los resultados entregados por el Modelo Modificado

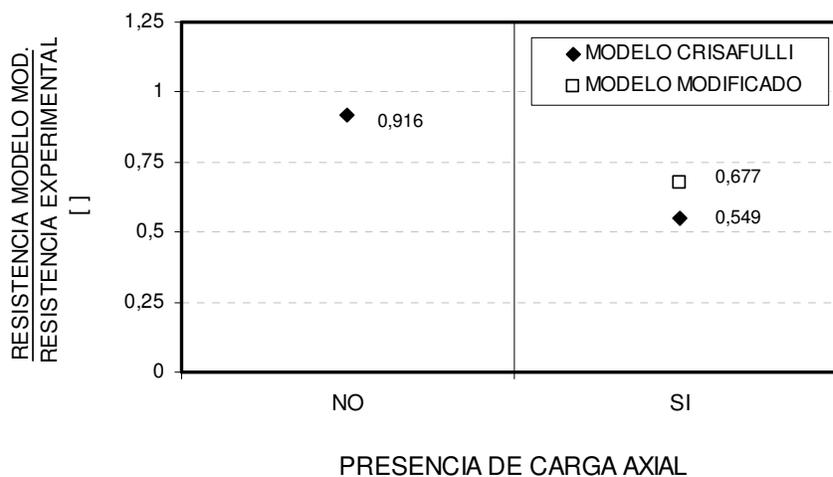
A continuación se analizan los resultados entregados por el Modelo Modificado (considerando carga vertical distribuida uniformemente), con este propósito los resultados se agrupan según:

- La presencia de carga vertical.
- El tipo de unidad de albañilería utilizada, y
- La esbeltez de muro.

Es importante destacar las limitaciones que posee la muestra de datos. Son 22 muros, los cuales poseen una variabilidad considerable en sus propiedades mecánicas y geométricas. De esta manera se analiza el impacto de algunos factores en los resultados que entrega el modelo, considerando una variable en cada análisis.

##### a) Efecto de la presencia de carga vertical:

Como se aprecia en la Figura 5.16 la estimación de la carga diagonal de agrietamiento mejora con el Modelo Modificado en el caso de los muros con carga vertical aplicada y se reduce la dispersión de los resultados al comparar los resultados con el Modelo de Crisafulli. El Modelo Modificado no modifica los resultados entregados por el Modelo de Crisafulli en el caso de los muros sin carga vertical aplicada.

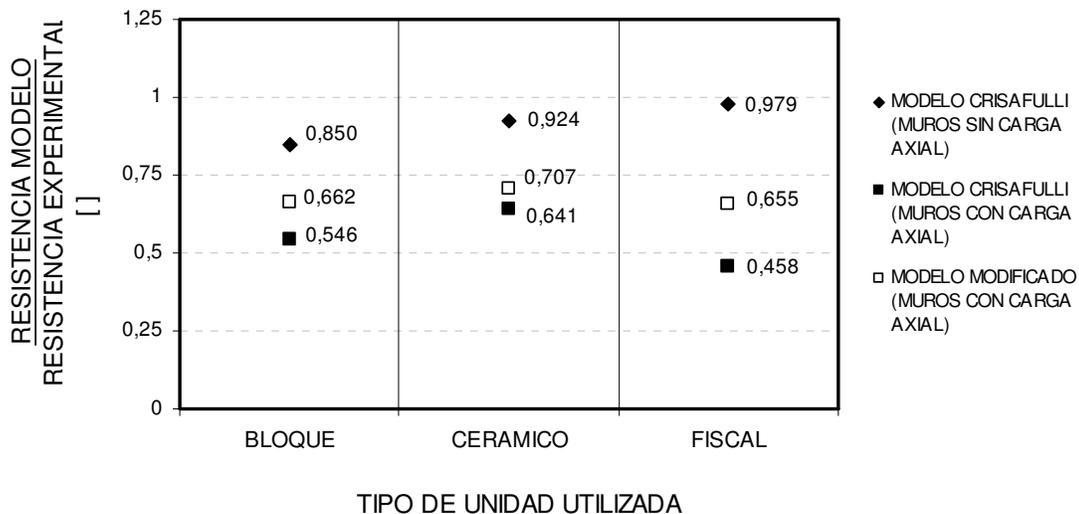


**Figura 5.16** Efecto de la carga vertical sobre el promedio de la estimación de la resistencia utilizando el Modelo de Crisafulli y el Modelo Modificado con carga vertical distribuida uniformemente.

El Modelo Modificado entrega una resistencia al corte menor que la carga de agrietamiento diagonal del muro en todos los muros analizados con carga vertical aplicada, lo que permite diseñar con un margen de error aceptable para la variabilidad que presenta el material

*b) Efecto del tipo de unidad utilizada en la construcción del muro:*

En la Figura 5.17 se muestra el valor de la razón entre la resistencia al corte entregada por ambos modelos y el valor de la carga de agrietamiento diagonal obtenida del ensayo de los muros cuando los resultados se agrupan de acuerdo con las unidades de albañilería utilizadas en la construcción de los muros.



**Figura 5.17** Efecto de la unidad utilizada en la construcción de los muros en el promedio la estimación de la resistencia al corte utilizando el Modelo Crisafulli y el Modelo Modificado con carga vertical distribuida uniformemente.

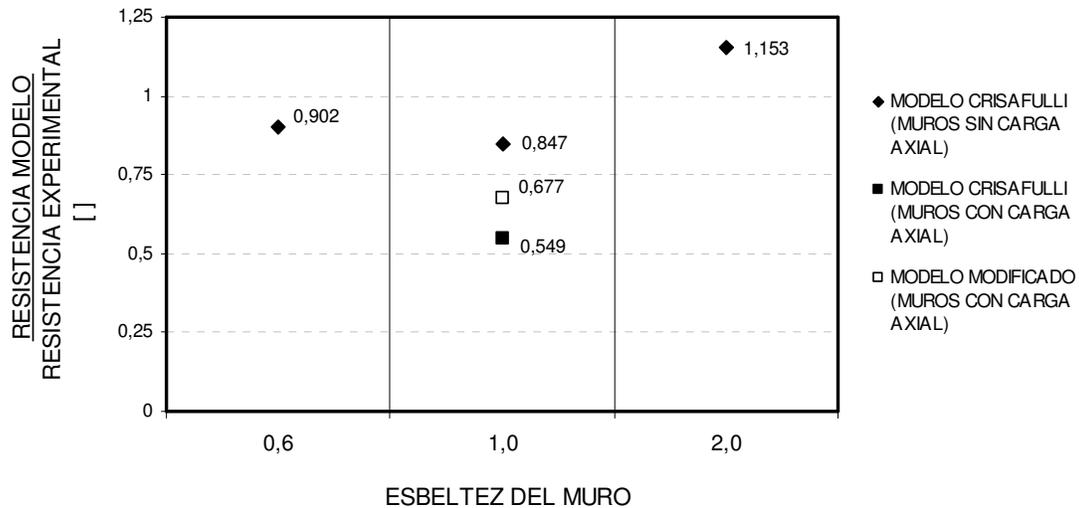
De la Figura 5.17 se comprueba que en el caso de los tres tipos de unidades utilizadas en la construcción de los muros, las modificaciones mejoran la estimación de la carga de agrietamiento diagonal del muro, lo cual significa un mayor valor promedio de la razón entre la resistencia al corte entregada por el modelo y el valor de la carga de agrietamiento diagonal obtenida del ensayo de los muros.

No menos importante resulta destacar que en el Modelo Modificado el valor promedio de la razón graficada es similar para los tres tipos de unidad en el caso de muros con carga vertical aplicada.

*c) Efecto de la esbeltez del muro:*

En la Figura 5.18 se muestra el valor de la razón entre la resistencia al corte entregada por el modelo y el valor de la carga de agrietamiento diagonal obtenida del ensayo de los muros cuando los resultados se agrupan según la esbeltez del muro ensayado.

Del análisis (ver figura 5.18) se comprueba que las modificaciones sólo afectan a los muros con esbeltez 1.0, aumentando el valor promedio de la razón en el caso de muros con carga vertical.



**Figura 5.18** Efecto de la esbeltez del muro sobre el promedio de la estimación de la resistencia utilizando el Modelo Crisafulli y el Modelo Modificado con carga vertical distribuida uniformemente.

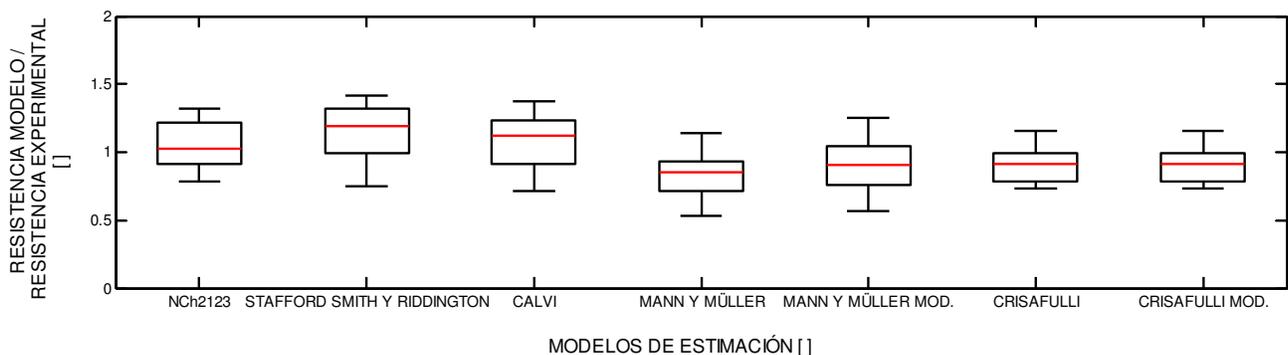
### 5.5 Comparación del modelo con respecto a otros modelos.

En esta sección se revisan los resultados obtenidos mediante el Modelo Modificado (con carga vertical distribuida uniformemente) con otros modelos recomendados para determinar la resistencia al corte cuyo detalle se entrega en el ANEXO D de esta memoria. Con este propósito los muros ensayados se separan en dos grupos de acuerdo con la carga vertical aplicada: muros sin carga vertical y muros con carga vertical.

Para una mejor visualización de los resultados, se entregan gráficos del tipo caja (“boxplot”), cuya construcción e interpretación puede ser revisada en el ANEXO F de esta memoria.

#### a) Muros sin carga vertical

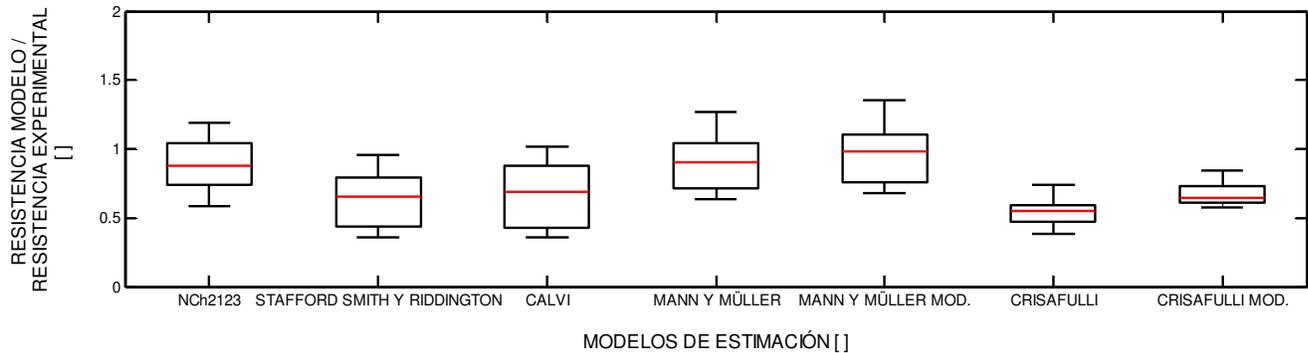
En este caso, la aplicación del Modelo Modificado conserva los resultados entregados por el Modelo de Crisafulli y las comparaciones realizadas en la sección 4.4 punto a). Esto se debe a que las modificaciones generan cambios en la fuerza para hacer fluir el tensor y modificar el ancho del puntal equivalente en función de la carga vertical existente. Al no existir carga vertical aplicada, el Modelo Modificado entrega los mismos resultados que el Modelo de Crisafulli (1997).



**Figura 5.19** Efecto del modelo utilizado en la estimación de la resistencia al corte de los muros de albañilería confinada. Muros sin carga vertical aplicada.

b) Muros con carga vertical

De la Figura 5.20 se comprueba que el Modelo Modificado (con carga vertical distribuida uniformemente) entrega un valor promedio de la razón entre el valor de la resistencia al corte entregada por el modelo y la carga de agrietamiento diagonal experimental, similar al valor obtenido con el modelo propuesto por Stafford Smith y Riddington y Calvi, pero con una dispersión menor de los resultados, lo que se traduce en una estimación más segura para el diseño.



**Figura 5.20** Efecto del modelo utilizado en la estimación de la resistencia al corte de los muros de albañilería confinada. Muros con carga vertical aplicada.

Detalle de los valores mostrados en la Figura 5.20 se entrega en la Tabla 5.4

**Tabla 5.4** Análisis estadístico de los resultados de los modelos para determinar la resistencia al corte de los muros de albañilería confinada ensayados con carga vertical.

	NCh2123	CALVI	STAFFORD SMITH y RIDDINGTON	MANN y MÜLLER	MANN y MÜLLER MODIFICADO	CRISAFULLI	CRISAFULLI MODIFICADO
	$V_{\text{Modelo}} / V_{\text{Experimental}} [ ]$						
PROMEDIO	0,887	0,667	0,631	0,890	0,958	0,549	0,677
$\sigma$	0,197	0,238	0,199	0,200	0,210	0,103	0,090
C.V.	0,222	0,357	0,315	0,225	0,219	0,188	0,134
MINIMO	0,586	0,357	0,362	0,639	0,683	0,388	0,578
Q1	0,759	0,446	0,454	0,730	0,787	0,484	0,619
MEDIA	0,877	0,691	0,651	0,902	0,983	0,550	0,645
Q3	1,021	0,860	0,773	1,011	1,077	0,590	0,723
MAXIMO	1,192	1,019	0,960	1,272	1,351	0,744	0,843

Donde: Q1 = percentil 25  
Q3 = percentil 75

### 5.6 Comparación entre los resultados obtenidos con el Modelo Modificado y los resultados experimentales.

En esta sección se analizan los resultados que se obtienen con el Modelo Modificado (con carga vertical distribuida uniformemente) considerando distintas situaciones, de manera de comparar los resultados experimentales de los muros con los resultados entregados por el modelo teórico modificado.

Los valores utilizados para la comparación se entregan en la Tabla 5.5

**Tabla 5.5** Resistencia al corte de muros de albañilería confinada, según el modo de falla. (Modelo Modificado con carga vertical distribuida uniformemente)

MUROS	ESTIMACIONES MODELO MODIFICADO			VALOR EXPERIMENTAL		RAZONES				
	V <sub>CD</sub> [kN]	V <sub>AG-M</sub> [kN]	V <sub>y</sub> [kN]	V <sub>AG-E</sub> [kN]	V <sub>U</sub> [kN]	V <sub>CD</sub> /V <sub>y</sub> []	V <sub>C</sub> /V <sub>U</sub> []	V <sub>y</sub> /V <sub>U</sub> []	V <sub>y</sub> /V <sub>AG-M</sub> []	V <sub>y</sub> /V <sub>AG-E</sub> []
MRG1	787,20	115,23	172,28	120,0	120	4,569	6,560	1,436	1,495	1,436
MRG2	787,20	115,23	172,28	158,0	190	4,569	4,143	0,907	1,495	1,090
MRE1	338,56	105,07	69,16	60,0	103,5	4,896	3,271	0,668	0,658	1,153
MRE2	338,56	105,07	69,16	60,0	97	4,896	3,490	0,713	0,658	1,153
A11	703,44	107,11	172,28	116,0	132	4,083	5,329	1,305	1,609	1,485
A12	750,78	114,27	178,33	180,0	180	4,210	4,171	0,991	1,561	0,991
A13	797,17	121,33	184,38	165,0	165	4,324	4,831	1,117	1,520	1,117
A14	797,17	121,33	184,38	144,0	164	4,324	4,861	1,124	1,520	1,280
A2	750,78	114,27	178,33	186,0	186	4,210	4,036	0,959	1,561	0,959
B11	189,74	43,07	119,64	44,0	60	1,586	3,162	1,994	2,778	2,719
B12	282,95	64,20	131,73	111,0	118	2,148	2,398	1,116	2,052	1,187
B13	282,95	64,20	131,73	80,0	100	2,148	2,829	1,317	2,052	1,647
B14	282,95	64,20	131,73	98,0	126	2,148	2,246	1,045	2,052	1,344
B2	236,47	53,66	125,68	92,0	119	1,881	1,987	1,056	2,342	1,366
C11	606,23	86,05	130,22	125,0	180	4,656	3,368	0,723	1,513	1,042
C12	493,79	92,11	130,22	145,0	185	3,792	2,669	0,704	1,414	0,898
MV1	591,99	74,02	169,29	100,7	105,5	3,497	5,611	1,605	2,287	1,681
MV3	531,24	68,64	150,06	90,6	91,9	3,540	5,781	1,633	2,186	1,656
MLC-T1-01	494,64	143,48	211,16	142,0	152	2,342	3,254	1,389	1,472	1,487
MLC-T1-02	494,64	143,48	211,16	160,0	183	2,342	2,703	1,154	1,472	1,320
MBH-T1-01	443,17	89,52	214,48	101,0	109	2,066	4,066	1,968	2,396	2,124
MBH-T1-02	443,17	89,52	214,48	110,0	130	2,066	3,409	1,650	2,396	1,950
<b>PROMEDIO</b>						<b>3,377</b>	<b>3,826</b>	<b>1,208</b>	<b>1,750</b>	<b>1,413</b>
<b>σ</b>						<b>1,166</b>	<b>1,239</b>	<b>0,386</b>	<b>0,536</b>	<b>0,431</b>
<b>C.V</b>						<b>0,345</b>	<b>0,324</b>	<b>0,320</b>	<b>0,306</b>	<b>0,305</b>

Donde

V<sub>CD</sub>: Resistencia al corte estimado para falla por compresión diagonal (Modelo modificado).

V<sub>AG-M</sub>: Resistencia al corte estimado para agrietamiento diagonal por tracción diagonal o adherencia (Modelo modificado).

V<sub>y</sub>: Fuerza de corte que genera la fluencia en el pilar traccionado estimada mediante el modelo Modificado.

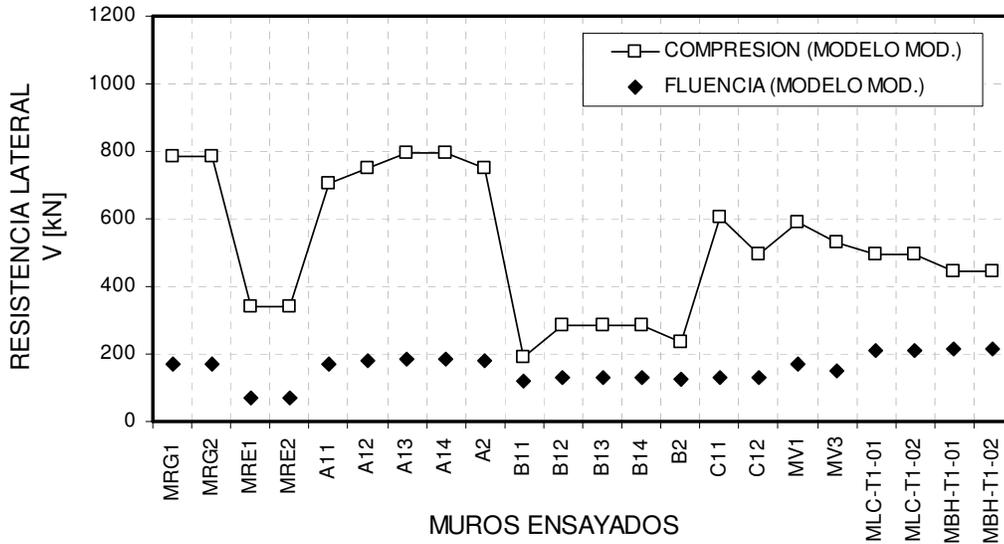
V<sub>AG-E</sub>: Fuerza de corte experimental que genera agrietamiento en el paño de albañilería.

V<sub>U</sub>: Resistencia última al corte (experimental)

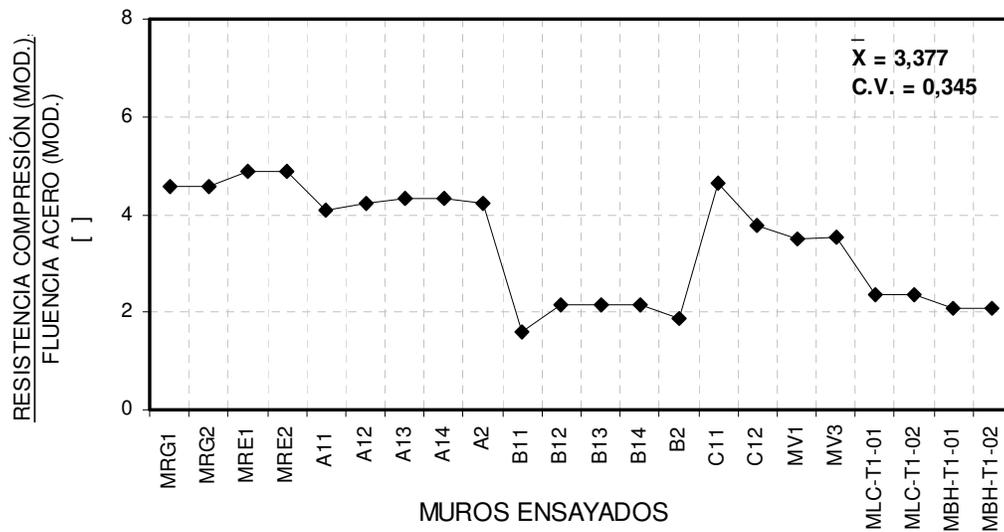
**i. Análisis de la posibilidad de falla de compresión diagonal versus falla por fluencia del pilar.**

En la figura 5.21 se muestran las capacidades que entrega el Modelo Modificado cuando controla el modo de falla por compresión diagonal en el paño de albañilería ( $R_c$ -CD) y por fluencia del refuerzo longitudinal de acero del pilar de confinamiento que actúa como tensor ( $V_y$ ).

De los resultados mostrados en la Figura 5.21 y 5.22, se concluye que según el Modelo Modificado ninguno de los muros ensayados fallaría por compresión diagonal del paño de albañilería sin que antes se produzca la falla por fluencia de las armaduras longitudinales de los pilares.



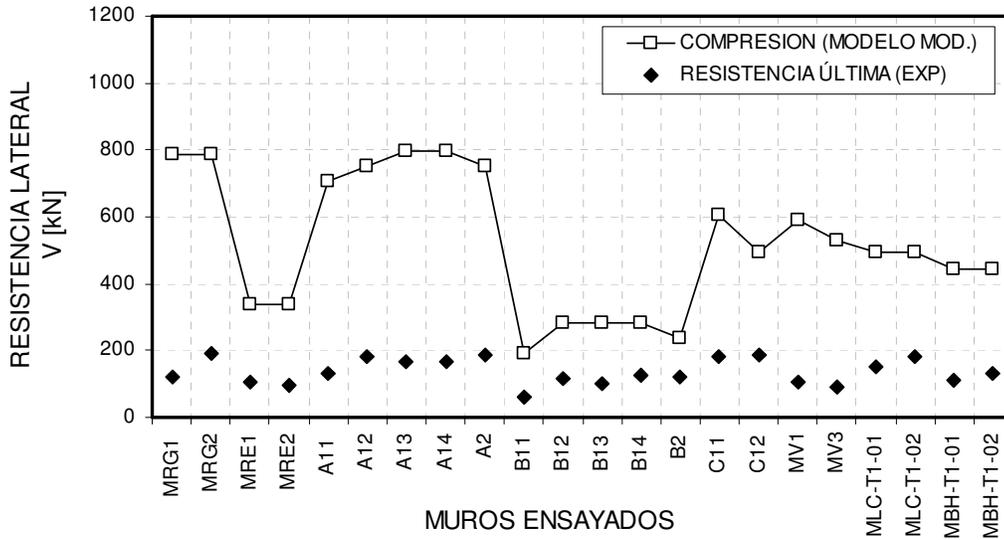
**Figura 5.21** Carga lateral necesaria para generar una falla por compresión diagonal del paño de albañilería y por fluencia del refuerzo longitudinal de acero utilizando el Modelo Modificado con carga vertical distribuida uniformemente.



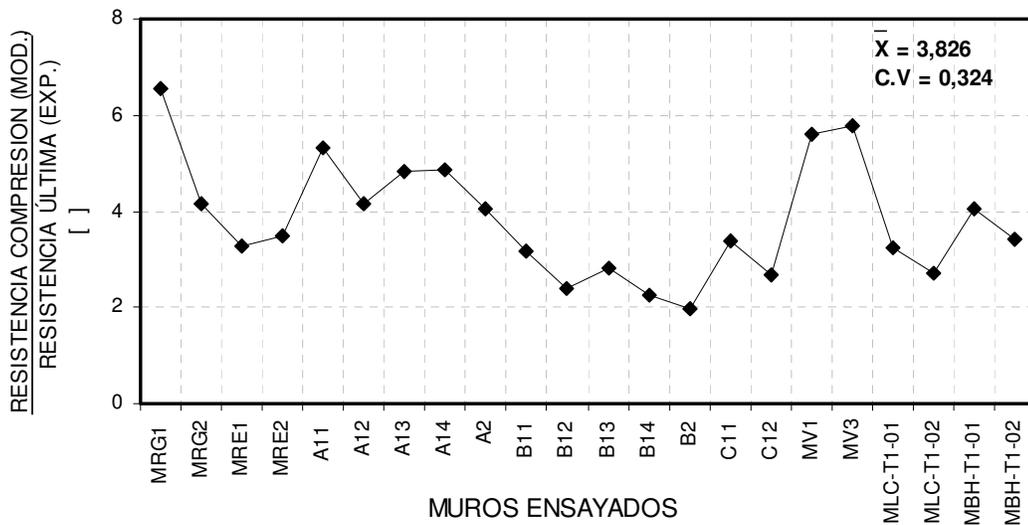
**Figura 5.22** Razón entre la carga lateral necesaria para generar una falla por compresión diagonal del paño de albañilería y la fluencia del refuerzo longitudinal de acero utilizando el Modelo Modificado con carga vertical distribuida uniformemente.

De acuerdo con la Figura 5.21, el único caso donde es más probable que se produzca una falla por compresión diagonal del paño de albañilería antes que se produzca la falla por fluencia del pilar, es en los muros construidos con ladrillos cerámicos artesanales por la baja resistencia a la compresión de esta albañilería, siendo el caso sin carga vertical aplicada de esta serie (Muro B11) el más desfavorable debido a que el ancho del puntal equivalente de compresión es menor.

**ii. Análisis de la posibilidad de una falla de compresión considerando la carga última experimental.**



**Figura 5.23** Comparación entre la resistencia al corte cuando controla la falla por compresión diagonal del paño de albañilería según el Modelo Modificado con carga vertical distribuida uniformemente y la carga máxima alcanzada en el ensayo de los muros.

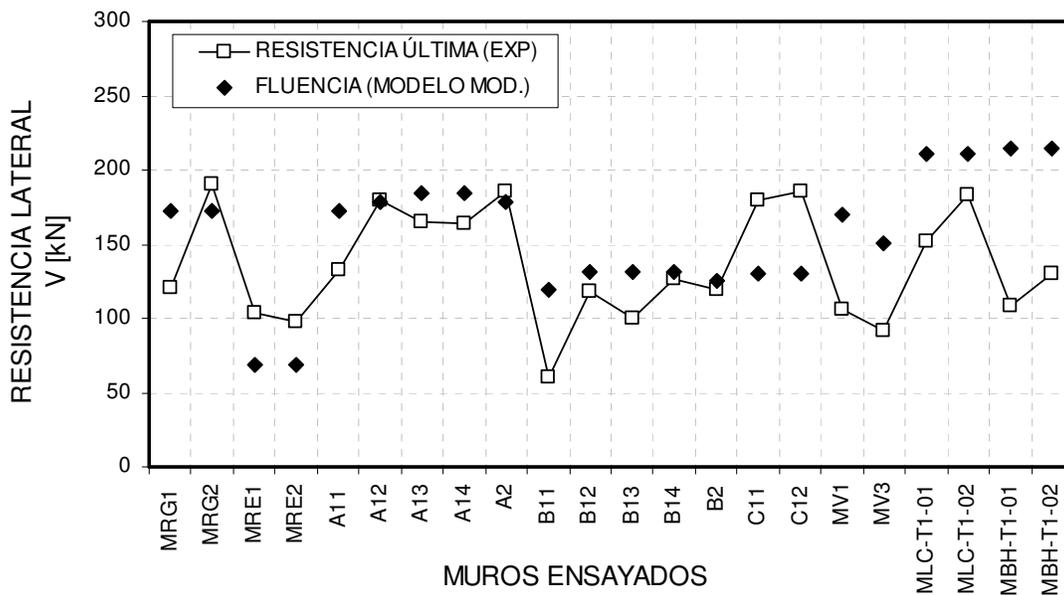


**Figura 5.24** Razón entre la carga lateral que genera una falla por compresión diagonal en el paño de albañilería de acuerdo al Modelo Modificado con carga vertical distribuida uniformemente y la resistencia lateral última experimental de los muros ensayados.

Si se compara la carga teórica necesaria para producir una falla por compresión diagonal del paño de albañilería con la carga máxima aplicada en el ensayo de los muros de albañilería confinada, de la Figura 5.23 se comprueba que no es posible que se produzca teóricamente una falla por compresión diagonal en el paño de albañilería. Este resultado está de acuerdo con la evidencia experimental y lo destacado por Crisafulli (2002).

### iii. Análisis de la posibilidad de una falla por fluencia del pilar que trabaja como tensor.

Las figuras 5.25 y 5.26 muestran los resultados de estos análisis.



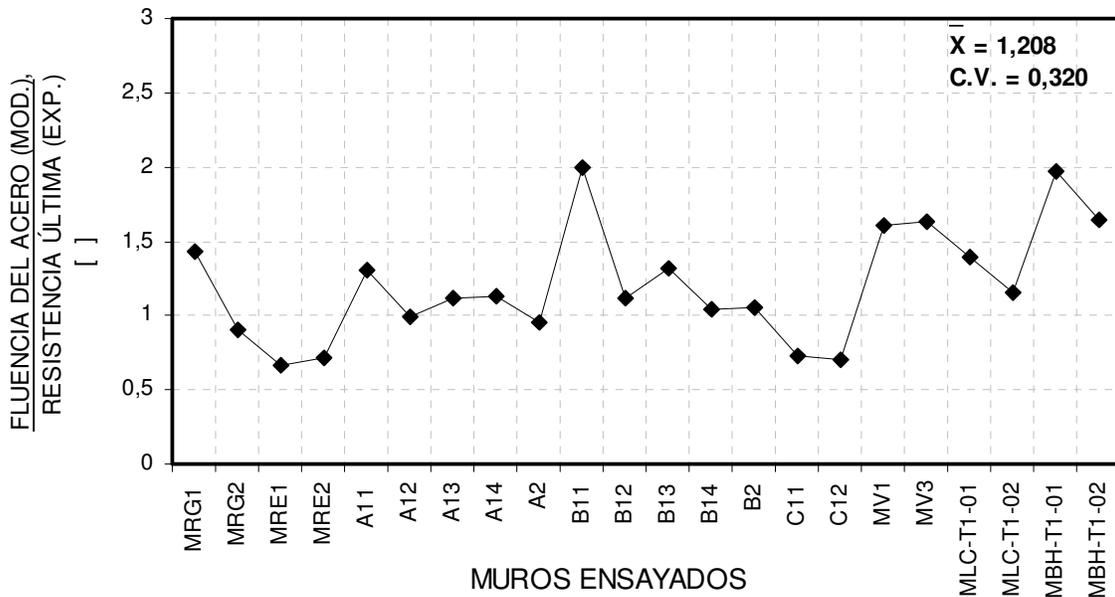
**Figura 5.25** Comparación de la fuerza lateral necesaria para generar la fluencia del refuerzo longitudinal de acero del pilar en tracción de acuerdo al Modelo Modificado con carga vertical distribuida uniformemente y la carga última experimental alcanzada en el ensayo de los muros.

En la Figura 5.25 se grafica la razón entre la carga máxima experimental y la carga lateral necesaria para hacer fluir el refuerzo longitudinal de acero del pilar que actúa como tensor en tracción. Teóricamente se observa que la mayoría de los muros agota su capacidad antes de que se produzca la fluencia en el tensor, lo cual es más claro en los muros de esbeltez reducida (compactos) como los de la serie MLC y MBH. En estos casos, la capacidad del paño de albañilería queda agotada evitando recibir una mayor carga y permitir la fluencia de la armadura longitudinal de los pilares.

En el caso de los muros de la serie MRE y los muros C11 y C12, se observa teóricamente que el pilar en tracción alcanzaría la carga de fluencia antes de la carga máxima experimental, sin embargo no se dispone de información sobre el estado de tensiones en las barras de acero de ese muro durante el ensayo para comprobar este resultado teórico.

En este caso, luego que la armadura fluye existe una resistencia adicional que permite aumentar la capacidad. Es probable que este valor se deba entre otros motivos a una sobre

resistencia aportada por la armadura luego de la fluencia y por el paño de albañilería antes de fallar por completo, la cual permite al muro tomar un porcentaje mayor de carga antes de fallar luego de la fluencia.



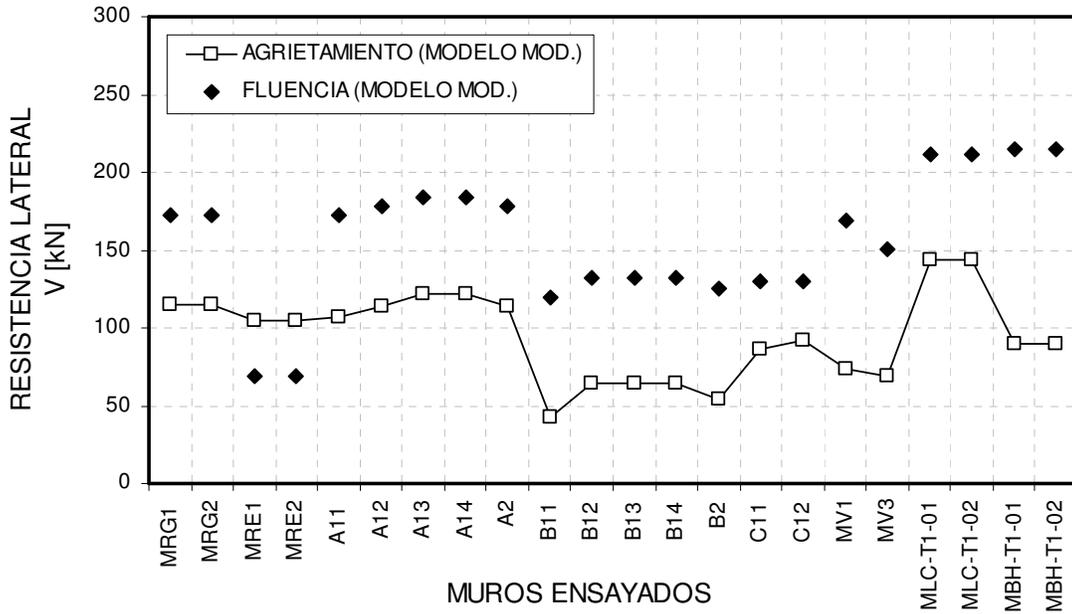
**Figura 5.26** Razón entre la fuerza lateral necesaria para generar la fluencia del refuerzo longitudinal de acero del pilar en tracción de acuerdo al Modelo Modificado con carga vertical distribuida uniformemente y la carga última experimental alcanzada en el ensayo de los muros.

**iv. Comparación entre la carga teórica asociada a la falla de fluencia del pilar en tracción y la carga teórica asociada a la falla por tracción diagonal o adherencia del paño de albañilería.**

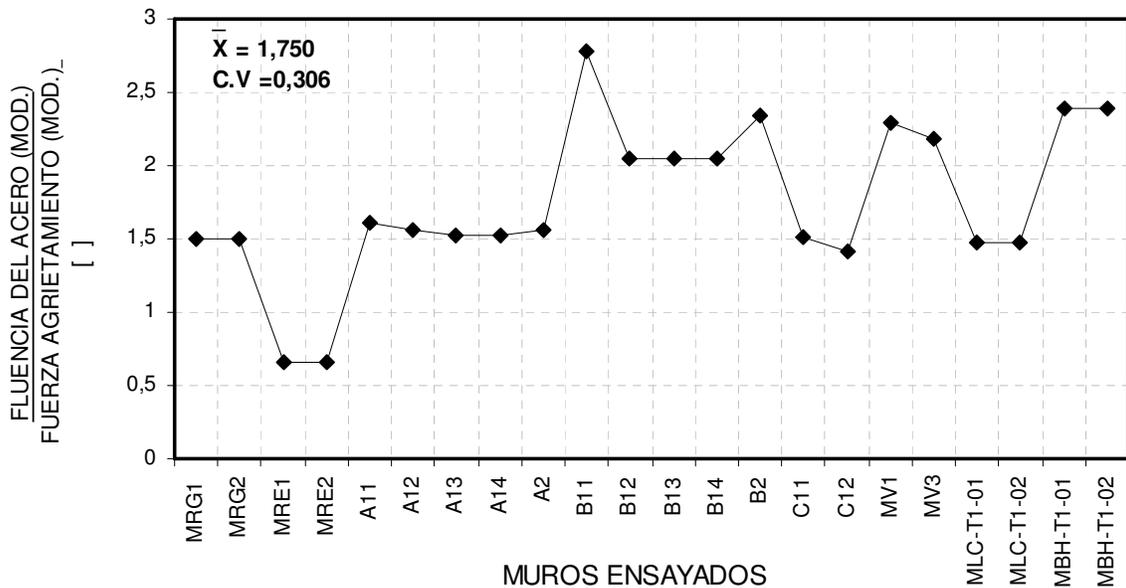
Si se compara las cargas teóricas que entrega el Modelo Modificado para hacer fluir el pilar que actúa como tensor y de agrietamiento diagonal del muro, ya sea por adherencia o tracción diagonal, se puede observar una situación como la mostrada en la Figura 5.27 y 5.28

De la Figura 5.27 y 5.28 se comprueba que sólo en los muros de la serie MRE la resistencia queda controlada teóricamente por la carga de fluencia del pilar en tracción, lo cual se puede esperar que ocurra en los muros esbeltos donde el comportamiento está controlado más bien por la flexión que por el corte. Sin embargo, la falta de instrumentación en las armaduras longitudinales de refuerzo en los ensayos de los muros esbeltos no permite confirmar el resultado que proporciona el modelo teórico.

En el resto de los muros, muros no esbeltos, la resistencia a carga lateral está controlada por la carga de agrietamiento diagonal del paño de albañilería, lo cual confirma que teóricamente los muros compactos agotan su capacidad de resistir corte en el paño de albañilería antes de que fluyan las armaduras longitudinales de refuerzo del pilar que actúa como tensor.

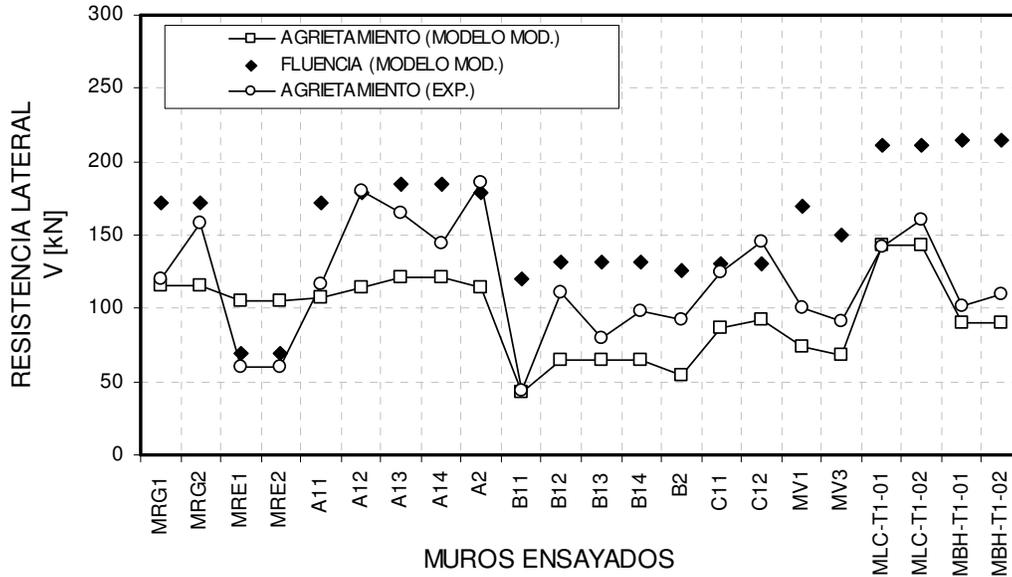


**Figura 5.27** Comparación de la carga lateral necesaria para generar una falla por agrietamiento diagonal del paño de albañilería, por adherencia o tracción diagonal, y la carga que produce la fluencia en la armadura longitudinal de refuerzo del pilar en tracción determinadas con el Modelo Modificado con carga vertical distribuida uniformemente.

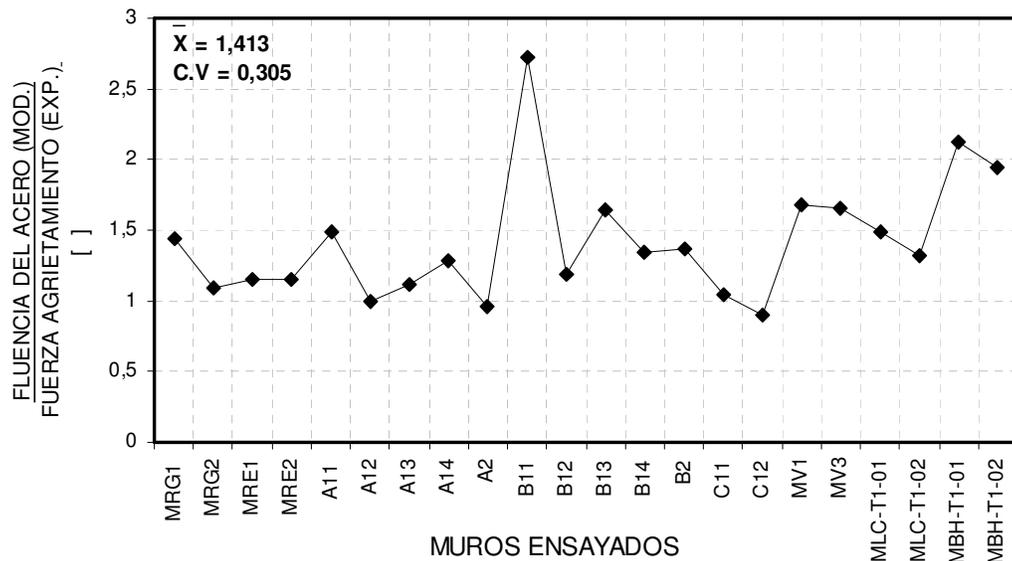


**Figura 5.28** Razón entre la carga que produce la fluencia en la armadura longitudinal de refuerzo del pilar en tracción y la carga lateral necesaria para generar una falla por agrietamiento diagonal del paño de albañilería, por adherencia o tracción diagonal, determinadas con el Modelo Modificado con carga vertical distribuida uniformemente.

- v. **Comparación entre la carga teórica asociada a la falla de fluencia del pilar en tracción y la carga experimental asociada a la falla por tracción diagonal o adherencia del paño de albañilería.**



**Figura 5.29** Comparación entre las cargas de agrietamiento diagonal, experimental y teórica, con la carga teórica que produce la fluencia en el refuerzo longitudinal de acero del pilar en tracción. Las cargas teóricas se determinan con el Modelo Modificado con carga vertical distribuida uniformemente.



**Figura 5.30** Razón entre la carga teórica que produce la fluencia en el refuerzo longitudinal de acero del pilar en tracción determinada con el Modelo Modificado con carga vertical distribuida uniformemente y la carga de agrietamiento diagonal experimental.

En la Figura 5.29 y 5.30 se compara la capacidad al agrietamiento diagonal obtenida del ensayo de cada muro con la carga teórica que entrega el Modelo Modificado cuando la armadura longitudinal del pilar que actúa como tensor fluye, observándose una tendencia similar a la observada en las Figuras 5.27 y 5.28. Sin embargo, la carga de agrietamiento diagonal del ensayo es mayor que la carga que se obtiene con el modelo teórico, esto se debe a que el valor de la carga obtenida con el Modelo Modificado es cercano a un 68% de la carga de agrietamiento diagonal experimental en los muros ensayados con carga vertical, lo cual genera un aumento en el valor de la relación entre la carga teórica de fluencia de los pilares y la carga de agrietamiento teórico.

Pese a esta situación, el modelo predice que la falla por agrietamiento diagonal en muros compactos (todos menos MR1 Y MR2) se produce antes que las armaduras longitudinales del pilar fluyan.

## 5.7 Conclusiones del capítulo.

- El Modelo Modificado mantiene los modos de falla estimados mediante el Modelo de Crisafulli en el capítulo 4. Las fallas por adherencia y tracción diagonal continúan siendo las que definen la resistencia al corte de los muros con excepción de los muros MRE1 y MRE2, en los cuales la resistencia al corte está controlada teóricamente por la fluencia de la armadura longitudinal de los pilares.
- Para los muros con carga vertical, el Modelo Modificado entrega una carga de agrietamiento diagonal menor que el valor experimental. En todos los casos considerados, la carga teórica que se obtiene con este modelo es una mejor estimación que la carga teórica obtenida con el Modelo de Crisafulli.
- La calidad de las estimaciones con el Modelo Modificado depende de la manera en que se distribuye la carga axial en los distintos elementos, obteniendo mejores resultados cuando la carga se distribuye uniformemente en la sección transversal del muro o se aplica totalmente sobre el paño de albañilería.
- De los resultados de los ensayos se observa que ningún muro falla por compresión diagonal en el paño de albañilería, resultado que también se obtiene cuando se aplica el Modelo Modificado.
- Aunque la falla por compresión diagonal tiene una baja probabilidad de ocurrir en los muros analizados, para muros construidos con unidades con baja resistencia a la compresión, es necesario conocer el factor de reducción de la resistencia a la compresión de la albañilería por efecto de la orientación de las juntas horizontales de mortero.
- El Modelo Modificado predice una falla por agrietamiento por corte antes que fluyan las armaduras longitudinales del pilar en los muros compactos. En los muros esbeltos, como los muros MRE1 y MRE2, teóricamente la armadura longitudinal fluye antes de agrietarse el paño de albañilería. Lamentablemente este resultado no puede ser confirmado experimentalmente por no haber existido instrumentación de las barras longitudinales de los pilares. Sin embargo, la fuerza de agrietamiento diagonal experimental posee un valor muy cercano a la resistencia que entrega el Modelo Modificado.

- Es necesario revisar la determinación del ancho del puntal de compresión equivalente cuando está presente una carga vertical en el muro debido a que el uso del ancho de la zona comprimida en flexión propuesta por Paulay y Priestley (1992) sólo mejora levemente la estimación de la carga de agrietamiento diagonal cuando se utiliza el Modelo Modificado.

## CAPITULO 6

### CONCLUSIONES

#### A. *Sobre el Modelo de Crisafulli.*

El modelo propuesto por Crisafulli (1997) entrega una estimación de la resistencia al corte de un muro de albañilería confinada basado en un modelo puntal-tensor y en la teoría de resistencia de un paño de albañilería desarrollada por Mann y Müller (1982) con lo cual se logra la posibilidad de que ocurra uno de tres modos de falla por efecto de una fuerza de corte que actúe en el plano del paño de albañilería.

Para los efectos de este estudio se compara la carga teórica obtenida con el modelo de Crisafulli con la carga de agrietamiento diagonal del paño de albañilería de 22 ensayos de muros de albañilería confinada realizados en Chile.

De los resultados obtenidos se concluye:

- Para calcular la resistencia al corte de un muro de albañilería confinada es necesario contar con información experimental del ensayo de una tripleta de albañilería sometida a un ensayo de corte directo y del ensayo a la tracción directa de una unidad de albañilería.
- Para la albañilería construida con unidades cerámica hechas a máquina, la resistencia al corte de los muros de albañilería confinada ensayados es poco sensible al valor del coeficiente de fricción mortero-unidad, no ocurre lo mismo con el valor de la adhesión unitaria.
- Para los muros construidos con una albañilería de baja adherencia unitaria, menor que 0.2 MPa, la resistencia al corte es sensible al valor del coeficiente de fricción entre el mortero y la unidad de albañilería. En este caso, es recomendable ensayar las tripletas con una carga aplicada en la dirección normal a la junta, para obtener los parámetros experimentales del modelo de Mann y Müller.
- El modelo propuesto por Crisafulli (1997) entrega una buena estimación de la carga de agrietamiento diagonal de los muros de albañilería confinada ensayados sin carga vertical, resultando para la razón entre la carga teórica y la experimental un valor promedio de 0.916 con un coeficiente de variación igual 15.8 %. En el caso de muros sometidos a una carga vertical externa, el modelo subestimaba la resistencia del muro, obteniéndose un valor promedio de la razón entre la carga teórica y experimental igual a 0.549 con un coeficiente de variación del 18.8%.
- Entre las bondades de aplicar el Modelo de Crisafulli (1997), se encuentra la posibilidad de considerar distintos modos de falla en el paño de albañilería cuando su comportamiento está controlado por la fuerza de corte, logrando identificar el modo de falla que se presentará en el muro.

- El modelo permite identificar dos modos de falla: adherencia y tracción diagonal. Estos son los modos de falla que se presentan en los muros ensayados cuando la capacidad de corte controla su comportamiento. Si bien no existe una información detallada sobre el modo de falla de los muros ensayados, analizando las figuras y fotografías aportadas por los autores de cada ensayo, se puede observar una buena relación entre el modo de falla que estima el modelo y el modo de falla observado en los ensayos.
- El modelo de Crisafulli permite realizar buenas estimaciones de la resistencia al agrietamiento diagonal primario generado por una fuerza lateral. Si se comparan los resultados entregados por el modelo con la resistencia última o carga máxima del ensayo, se observa que los valores estimados por el modelo de Crisafulli son menores que la resistencia última del muro.
- Entre las debilidades del Modelo de Crisafulli se pueden destacar principalmente dos:
  1. La subestimación del efecto de la carga vertical en la capacidad resistente al corte de los muros de albañilería confinada y en la fluencia de la armadura longitudinal de los pilares.
  2. La falta de un parámetro que permita estimar la resistencia de los muros cuando se produce una falla por compresión diagonal en el paño de albañilería.

### ***B. Sobre el Modelo Modificado***

Teniendo en cuenta las debilidades del Modelo de Crisafulli, se hicieron algunas modificaciones en él, entre las que se destacan:

1. Modificación del ancho del puntal de compresión equivalente que representa al paño de albañilería en función de la carga axial que actúa sobre el muro. Con este propósito se modifica la expresión recomendada por Paulay y Priestley (1992).
2. Para los efectos de incluir la presencia de la carga vertical sobre la capacidad resistente se considera que esta carga se distribuye uniformemente sobre el área bruta del muro o que la carga actúa completamente sobre el paño de albañilería. Se desestima considerar una distribución de la fuerza vertical en función de la rigidez de los elementos que componen la sección transversal, debido a que se generan estimaciones de menor calidad al reducirse el ancho del puntal de compresión producto de la reducción de la carga vertical que se transmite sobre el paño de albañilería.
3. La utilización de los resultados experimentales obtenidos por Hamid y Drysdale (1978) para determinar el efecto de la inclinación de la junta horizontal de mortero en la resistencia a la compresión de la albañilería.

Según los resultados obtenidos con el Modelo Modificado, se pudo observar:

- Una mejor estimación de la resistencia al corte de los muros ensayados con carga vertical, variando el promedio de la razón entre la carga teórica y la experimental :
  - de 0.549 a 0.678, con una reducción del coeficiente de variación de 18.8% a 15.8%, en el caso en que la carga vertical se distribuye en forma uniforme en el muro de albañilería (distribución por áreas)
  - de 0.549 a 0.702, con una reducción del coeficiente de variación de 18.8% a 13.5%, en el caso en que la carga vertical es aplicada completamente sobre el paño de albañilería.

Para efectos de diseño se recomienda una distribución uniforme de la carga vertical sobre los elementos que componen el muro. Sin embargo, debe analizarse experimentalmente su validez en muros de albañilería confinada como los que se ensayan en el país.

- Los modos de falla que controlan la capacidad resistente al corte cuando se usa el Modelo Modificado son adherencia y tracción diagonal. Una falla por compresión diagonal posee baja posibilidad que se presente en muros de albañilería confinada construidos con unidades cerámicas hechas a máquina y con bloques de hormigón. Sin embargo, en el caso de muros con bajas resistencia a la compresión de la albañilería la reducción puede hacer que la compresión diagonal controle el diseño del muro.
- En los muros con relación de esbeltez menor o igual a 1, la reducción de la resistencia prismática por efecto de la dirección de la fuerza de compresión del puntal con respecto a la junta horizontal de mortero, no es suficiente para generar una falla por compresión diagonal en el muro. Lo cual concuerda con la evidencia experimental que indica que aún en muros llevados a altos niveles de deformación (Diez, 1987) no se observa este tipo de falla.
- La falla por fluencia de la armadura longitudinal de los pilares sólo controla en los muros esbeltos, lo cual concuerda con lo esperado y con la evidencia experimental que es posible recopilar en la bibliografía utilizada. Esto independiente del modo en que se distribuya la carga vertical sobre los pilares de hormigón y el paño de albañilería.
- La estimación de la carga de agrietamiento diagonal del muro es más segura, evitando la sobreestimación de esta capacidad resistente como ocurre en algunos casos cuando se usa la fórmula empírica propuesta por la norma NCh2123 (2003). Además la carga estimada presenta menores dispersiones en los resultados, mejorando la confiabilidad del modelo.
- Según las limitaciones de diseño que establecen las normas en relación con las dimensiones máximas de los paños de albañilería y la separación máxima entre los

pilares de confinamiento, el valor del ángulo de inclinación entre la dirección del puntal de compresión y la junta horizontal de mortero ( $\theta$ ) varía entre:  $25^\circ < \theta < 60^\circ$ . Este rango de valores de  $\theta$  queda cubierto por los resultados experimentales, en los cuales el modelo entrega una buena estimación de la carga de agrietamiento diagonal de un muro de albañilería confinada. Fuera de ese rango, como es el caso de los muros esbeltos MRE1 y MRE2 de la muestra de muros ensayados, la capacidad resistente del muro de albañilería confinada queda limitada por la fluencia de las armaduras longitudinales de los pilares según el modelo. Sin embargo, la falta de instrumentación que permita verificar esta condición durante el desarrollo de los ensayos, obliga a utilizar con mayor precaución los resultados que entrega el modelo para este tipo de muros.

### *C. Trabajo experimental por hacer*

- Con el propósito de perfeccionar el modelo es necesario realizar junto con los ensayos de los muros, ensayos de tripletas a corte directo y de tracción directa de las unidades de albañilería con el fin de tener la información necesaria para aplicar el modelo y así evitar las incertidumbres que surgen al estimar estos valores en forma indirecta.
- Se debe mejorar la estimación del ancho del puntal equivalente de compresión en función de la carga axial. Como se pudo observar en este trabajo, el incorporar el efecto benéfico de la carga vertical al modelo tuvo dos efectos significativos: aumentar la calidad de las estimaciones y reducir en un buen porcentaje la dispersión de los resultados. Sin embargo, las estimaciones son conservadoras en el caso de muros cargados axialmente.
- Se debe buscar mayor información experimental para la estimación del factor  $C_\theta$  en ladrillos cerámicos y, en especial, ladrillos de fabricación artesanal, para analizar la posibilidad de que se produzca una falla por compresión diagonal cuando la resistencia prismática de la unidad es baja.
- Se deben instrumentar las armaduras longitudinales de los pilares de confinamiento para verificar si se produce la fluencia de las armaduras antes que el agrietamiento del muro. Localmente, no se dispone de antecedentes experimentales que permita conocer el estado de tensión en la armadura longitudinal durante los ensayos.
- La capacidad al corte de los muros de albañilería esta controlada principalmente por el paño. Análisis con el modelo de Mann y Müller muestran que sólo aplicando dicho modelo sobre el paño se obtienen buenas estimaciones, el efecto del marco sobre la resistencia es menor y su uso está principalmente justificado por mejorar la ductilidad de la estructura (Galleguillos y Valenzuela, 2009) y mejorar la respuesta ante acciones sísmicas. Por lo tanto, es necesario analizar métodos más elaborados para establecer el estado de tensiones en el paño de albañilería incluyendo, por ejemplo, el efecto de las juntas verticales de mortero sobre la resistencia al corte de la albañilería.

## Bibliografía

- Astroza, M., “Apuntes de diseño de albañilería estructural” Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile, 2008.
- Bustos, A., Margery, M., “Impacto de diferentes materiales y su proporcionamiento en el comportamiento de morteros de albañilería y estuco”. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Universidad de Santiago de Chile. 1996.
- Calvi G., “Cálculo de estructuras de fábrica armada contra el seísmo” (Reinforcement in seismic desing of masonry estructuras) Instituto Eduardo Torroja: Informes de construcción. V.44 N°421, Sep-Oct de 1992. pp. 93-97.
- Charry, J. “Estudio experimental del comportamiento de paredes de obra de fabrica de ladrillo ante la acción de cargas laterales”, Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Catalunya, 2010.
- Crisafulli, F. “Seismic behaviour of reinforced concrete structures with masonry infills” Tesis para optar al título de Ph.D. en Ingeniería Civil, Universidad de Canterbury. 1997.
- Crisafulli, F. “Evaluación de la resistencia lateral de muros de mampostería encadenada” XVIII Jornadas Argentinas de Ingeniería estructural, Rosario. 2002.
- Crisafulli, F. “Elemento panel para el análisis dinámico no-lineal de muros para mampostería encadena” MECOM 99, Mendoza, 1999.
- Dhanasekar M., Page A.W. y Kleeman P.W., “The failure of brick masonry Ander biaxial stress”, Proceedings of the institution of Civil Engineers, Parte 2, Vol. 79, 1985, pp. 295-313
- Decanini L.D., Fantin G.E., “Modelos simplificados de la mampostería incluida en pórticos. Características de rigidez y resistencia lateral en estado límite” Jornadas Argentinas de Ingeniería Estructural, Buenos Aires, Argentina, Vol. 2, pp.817-836
- Delfín, F., Bullemore, M., “Estudio experimental de la adherencia entre morteros y bloques de hormigón”. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Universidad de Chile, 1968 (Publicada en Revista del IDIEM. Vol. 9, N° 1 y 2, 1970)
- Dialer C., “Some remaks on the strength and deformation behaviour of shear stressed masonry panels under static monotonic loading”, Proceedings of the 9<sup>th</sup> international Brick/Block masonry conference, Berlin, Alemania, 1991, Vol 1, pp. 276-283
- Diez, J., “Estudio experimental de muros de albañilería sometidos a carga lateral”, Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Universidad de Chile. 1987
- Drysdale R. and A. Hamid, 2008, Masonry Structures Behavior and Design. 3<sup>rd</sup> Edition, The Masonry Society, Boulder, Colorado, USA.
- Fernández G., Astroza S., Delfín F., “Estudio experimental de la resistencia al corte de la albañilería de unidades cerámicas”, Universidad de Chile, 1986

Francis, A. J., Horman, C.B and Jerrems, L. E., “The effect of joint thickness and other factors on the compressive strength of brickwork”, Proceedings of the second international brick masonry conference, Stoke-on-Trenr, England, 1971, pp. 31-37

Gallegillos P. y C. Valenzuela, “Estudio experimental de muros de albañilería confinada a escala natural sometidos a carga cíclica”, Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Departamento de Ingeniería en Obras Civiles, Facultad de Ingeniería, Universidad de La Serena, 2009.

Haider, S., “In Plane Cyclic response of reinforce concrete frame with unreinforced masonry infills”, A thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science, Rice University, Houston Texas, 1995.

Hamid A., Drysdale R., “Concrete masonry under combinead shear and compresion along the mortar joints” ACI Journal, Septiembre y octubre 1980. pp. 314-320.

Herrera, E., “Efecto de la carga vertical en el comportamiento de muros de albañilería reforzada sometidos a carga lateral alternada”, Memoria para optar al titulo de Ingeniero Civil, Universidad de Chile. 1992.

Hwang S. J., Fang W. H., Lee H. J. y Yu H. W., “Analitical model for predicting shear strength of squat walls”, Journal of structural engineering, Enero 2001, pp.43-50. 2001

Larrain, C., “Estudio experimental de la adherencia entre mortero y ladrillos: puesta a punto de un procedimiento para determinar la resistencia de cizalle de la unión entre mortero y ladrillo en muros de construcciones terminadas” Memoria para optar al titulo de Ingeniero Civil, Universidad de Chile, 1971.

Mann, W., Müller, H., “Failure of shear-stressed masonry – An enlarged theory, test and application to shear walls”, *Proceedings of the British Ceramic Society*, 1982, Vol. 1, pp. 139-149.

Marín, R., “Modelo puntal-tensor para determinar la resistencia al corte de muros de albañilería armada construidos con ladrillos cerámicos”, Memoria para optar al titulo de Ingeniero Civil, Universidad de Chile, 2009.

Muñoz, M., “Resistencia de la adherencia de la albañilería: situación en Chile”, Memoria para optar al titulo de Ingeniero Civil, Universidad de Chile, 2006

Muñoz, W., “Estudio experimental del comportamiento de muros de albañilería de bloques de hormigón sometidos a carga lateral alternada”, Memoria para optar al titulo de Ingeniero Civil, Universidad de Chile. 1992.

NCh2123.Of97, “Albañilería confinada – Requisitos de diseño y calculo”, Instituto nacional de normalización – INN Chile, 1997, p.11-14

Ogaz, O., “Estudio experimental de muros de albañilería con aberturas y cuantía reducida de refuerzo sujetos a carga lateral alternada”, Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Universidad de Chile, 2004

Parada F., Astroza S., “Estudio experimental de la resistencia prismática de la albañilería de ladrillo”, Universidad de Chile, Publicación SIS I, 1986.

Paulay T., Priestley M. J. N., “Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings”, Wiley, New York. 1992.

San Bartolomé, A., “Construcciones de albañilería: Comportamiento sísmico y diseño estructural”, Pontificia Universidad Católica del Perú, Fondo Editorial, 1994.

Stafford Smith B., Riddington J., “The design of masonry infilled steel frames for bracing structures”. *The Structural Engineer*, Vol 56B, No 1, 1978. pp. 1-7

Thomas K., “Tensile strength test in two types of brick”, Proceedings of the second international brick masonry conference, Stoke-on-Trenr, England, 1971, pp. 69-74

Tomazevic M., Lutman M., Bosiljkov V., “Robustness of hollow clay masonry units and seismic behaviour of masonry walls”, *Construction and Buildings Materials N° 20*, 2006, pp. 1028-1039.

## ANEXO A

### APLICACIÓN DE MODELO DE CRISAFULLI Y MODELO MODIFICADO (TABLAS)

En el siguiente anexo se muestra el detalle de los cálculos realizados para aplicar el modelo y construir los gráficos mostrados en los Capítulos 4 y 5 de esta memoria. En ellos, es posible ver los distintos pasos que componen el Modelo propuesto por Crisafulli (1997) y el Modelo Modificado propuesto en esta memoria.

Los pasos son los siguientes:

- Estimación de la tensión y modo de falla del puntal.
- Efecto de la carga vertical sobre el tensor (aplica solo al Modelo Modificado)
- Estimación del ancho del puntal y resistencia a la compresión del puntal, y
- Estimación de la resistencia al corte del muro de albañilería confinada.

#### A.1 Aplicación del Modelo de Crisafulli (1997)

##### a) Estimación de la tensión y modo de falla del puntal

Para este cálculo, se utilizan las ecuaciones 2.23 y 2.27 para el modelo de falla por adherencia y tracción diagonal, respectivamente.

**Tabla A.1** Resistencia a la compresión del puntal de compresión equivalente y modo de falla del paño de albañilería de los muros ensayados según el modelo de Crisafulli

MURO	AD [MPa]	TD [MPa]	FALLA [MPa]	MODO FALLA	MURO	AD [MPa]	TD [MPa]	FALLA [MPa]	MODO FALLA
MRG1	1,658	1,800	1,658	AD	B13	0,553	0,896	0,553	AD
MRG2	1,658	1,800	1,658	AD	B14	0,553	0,896	0,553	AD
MRE1	*	3,771	3,771	TD	B2	0,553	0,896	0,553	AD
MRE2	*	3,771	3,771	TD	C11	1,006	3,046	1,006	AD
A11	1,658	1,529	1,529	TD	C12	1,101	1,504	1,101	AD
A12	1,658	1,529	1,529	TD	MV1	1,986	1,175	1,175	TD
A13	1,658	1,529	1,529	TD	MV3	2,569	1,228	1,228	TD
A14	1,658	1,529	1,529	TD	MLC-T1-01	1,281	1,574	1,281	AD
A2	1,658	1,529	1,529	TD	MLC-T1-02	1,281	1,574	1,281	AD
B11	0,553	0,896	0,553	AD	MBH-T1-01	0,776	2,365	0,776	AD
B12	0,553	0,896	0,553	AD	MBH-T1-02	0,776	2,365	0,776	AD

Donde: AD: Falla por adherencia  
TD: Falla por tracción diagonal.

##### b) Estimación del ancho del puntal y resistencia a la compresión del puntal.

Para el cálculo de este valor se utiliza la ecuación 2.9 y 2.8 en el caso del ancho del puntal equivalente y la resistencia a la compresión del puntal, respectivamente.

**Tabla A.2** Área de puntal de compresión equivalente y Resistencia a la compresión del puntal.

MUROS	$d_m$ [mm]	$t$ [mm]	$a_s$ [mm <sup>2</sup> ]	$A_{ms}$ [mm <sup>2</sup> ]	$f'_{m\theta}$ [MPa]	$R_c$ [kN]
MRG1	2973	139	743	103468	1,658	171,55
MRG2	2973	139	743	103468	1,658	171,55
MRE1	2341	139	585	81465	3,771	307,20
MRE2	2341	139	585	81465	3,771	307,20
A11	2973	140	743	104285	1,529	159,45
A12	2973	140	743	104285	1,529	159,45
A13	2973	140	743	104285	1,529	159,45
A14	2973	140	743	104285	1,529	159,45
A2	2973	140	743	104285	1,529	159,45
B11	2973	156	743	115955	0,553	64,12
B12	2973	156	743	115955	0,553	64,12
B13	2973	156	743	115955	0,553	64,12
B14	2973	156	743	115955	0,553	64,12
B2	2973	156	743	115955	0,553	64,12
C11	2973	140	743	103988	1,006	104,61
C12	2973	140	743	103988	1,101	114,49
MV1	2706	140	676	94697	1,175	111,27
MV3	2577	140	644	90191	1,228	110,76
MLC-T1-01	3774	140	943	132076	1,281	169,19
MLC-T1-02	3774	140	943	132076	1,281	169,19
MBH-T1-01	3843	141	961	135449	0,776	105,11
MBH-T1-02	3843	141	961	135449	0,776	105,11

**c) Estimación de la resistencia al corte de muros de albañilería confinada.**

Se calcula la capacidad de los muros de acuerdo a lo mostrado en el Diagrama 4.1. Los valores en sombreado son los valores con que se construyen los gráficos 4.10 y 4.11 (en el caso de muros sin carga vertical) y los gráficos 4.12 y 4.13, en el caso de muros con carga axial aplicada.

**Tabla A.3** Resistencia al corte de los muros ensayados sin carga vertical utilizando el Modelo de Crisafulli (1997).

N = 0 Muro	$\theta$ [°]	$R_c$ [kN]	$V_c$ [kN]	T [kN]	$T_y$ [kN]	$V_y$ [kN]	V [kN]	$V_e$ [kN]	V / $V_e$ [ ]
MRG1	47,8	171,55	115,23	127,08	190,00	172,28	115,23	120,0	0,960
MRG2	47,80	171,55	115,23	127,08	190,00	172,28	115,23	158,0	0,729
MRE1	70,00	307,20	105,07	288,68	190,00	69,16	69,16	60,0	1,153
MRE2	70,00	307,20	105,07	288,68	190,00	69,16	69,16	60,0	1,153
A11	47,80	159,45	107,11	118,12	190,00	172,28	107,11	116,0	0,923
B11	47,80	64,12	43,07	47,50	131,95	119,64	43,07	44,0	0,979
MV1	48,30	111,27	74,02	83,08	190,00	169,29	74,02	100,7	0,735
MV3	51,70	110,76	68,64	86,92	190,00	150,06	68,64	90,6	0,758
MLC-T1-01	32,00	169,19	143,48	89,66	131,95	211,16	143,48	142,0	1,010
MLC-T1-02	32,00	169,19	143,48	89,66	131,95	211,16	143,48	160,0	0,897
MBH-T1-01	31,60	105,11	89,52	55,08	131,95	214,48	89,52	101,0	0,886
MBH-T1-02	31,60	105,11	89,52	55,08	131,95	214,48	89,52	110,0	0,814

Donde:

$V_e$  = Resistencia al agrietamiento por corte experimental.

**Tabla A.4** Resistencia al corte de los muros ensayados con carga vertical utilizando el Modelo de Crisafulli (1997).

N > 0 Muro	$\theta$ [°]	$R_c$ [kN]	$V_c$ [kN]	T [kN]	$T_y$ [kN]	$V_y$ [kN]	V [kN]	$V_e$ [kN]	V / $V_e$ [ ]
A12	47,80	159,45	107,11	118,12	190,00	172,28	107,11	180,0	0,595
A13	47,80	159,45	107,11	118,12	190,00	172,28	107,11	165,0	0,649
A14	47,80	159,45	107,11	118,12	190,00	172,28	107,11	144,0	0,744
A2	47,80	159,45	107,11	118,12	190,00	172,28	107,11	186,0	0,576
B12	47,80	64,12	43,07	47,50	131,95	119,64	43,07	111,0	0,388
B13	47,80	64,12	43,07	47,50	131,95	119,64	43,07	80,0	0,538
B14	47,80	64,12	43,07	47,50	131,95	119,64	43,07	98,0	0,440
B2	47,80	64,12	43,07	47,50	131,95	119,64	43,07	92,0	0,468
C11	47,80	104,61	70,27	77,50	131,95	119,64	70,27	125,0	0,562
C12	47,80	114,49	76,91	84,82	131,95	119,64	76,91	145,0	0,530

## A.2 Aplicación del Modelo de Modificado

En el Capítulo 5 se analiza el efecto de las modificaciones al modelo sobre la estimación de resistencia lateral de los muros de albañilería. Estas variaciones solo afectan a muros con carga axial aplicada. Se utilizan dos métodos: carga vertical distribuida uniformemente y carga vertical aplicada directamente sobre el paño de albañilería, ambos se detallan en este anexo.

### A.2.1 Método Modificado con carga vertical distribuida uniformemente.

#### a) Estimación de la tensión y modo de falla del puntal

Para este cálculo, se utilizan las ecuaciones 2.23, 2.27 y 2.28 (cuyo factor de reducción se encuentra en las ecuaciones 5.1 y 5.2) para el modelo de falla por adherencia, tracción diagonal y compresión diagonal, respectivamente.

**Tabla A.5** Resistencia a la compresión del puntal de compresión equivalente y modo de falla del paño de albañilería de los muros ensayados según el Modelo Modificado

MURO	AD [MPa]	TD [MPa]	CD [MPa]	FALLA [MPa]	MODO FALLA	MURO	AD [MPa]	TD [MPa]	CD [MPa]	FALLA [MPa]	MODO FALLA
MRG1	1,658	1,800	11,331	1,658	AD	B13	0,553	0,896	2,437	0,553	AD
MRG2	1,658	1,800	11,331	1,658	AD	B14	0,553	0,896	2,437	0,553	AD
MRE1	*	3,771	12,156	3,771	TD	B2	0,553	0,896	2,437	0,553	AD
MRE2	*	3,771	12,156	3,771	TD	C11	1,006	3,046	7,510	1,006	AD
A11	1,658	1,529	10,046	1,529	TD	C12	1,101	1,504	5,904	1,101	AD
A12	1,658	1,529	10,046	1,529	TD	MV1	1,986	1,175	9,403	1,175	TD
A13	1,658	1,529	10,046	1,529	TD	MV3	2,569	1,228	9,507	1,228	TD
A14	1,658	1,529	10,046	1,529	TD	MLC-T1-01	1,281	1,574	4,418	1,281	AD
A2	1,658	1,529	10,046	1,529	TD	MLC-T1-02	1,281	1,574	4,418	1,281	AD
B11	0,553	0,896	2,437	0,553	AD	MBH-T1-01	0,776	2,365	3,840	0,776	AD
B12	0,553	0,896	2,437	0,553	AD	MBH-T1-02	0,776	2,365	3,840	0,776	AD

Donde: CD: Compresión diagonal

**b) Efecto de la carga vertical sobre el tensor.**

Para el cálculo del porcentaje de fuerza vertical actuando sobre cada uno de los elementos que componen la sección transversal del muro, se utilizaron las formulas 5.6, 5.7 y 5.8.

**Tabla A.6** Efecto de la carga vertical en la fuerza de fluencia del tensor.

MURO	N [ kN ]	A <sub>c</sub> [mm <sup>2</sup> ]	A <sub>mb</sub> [mm <sup>2</sup> ]	N <sub>y</sub> [ kN ]	T <sub>y</sub> [MPa]	T <sub>y</sub> <sup>*</sup> [ kN ]	N <sub>m</sub> [kN]
A12	80	28060	336720	6,67	190,00	196,67	66,67
A13	160	28060	336720	13,33	190,00	203,34	133,33
A14	160	28060	336720	13,33	190,00	203,34	133,33
A2	80	28060	336720	6,67	190,00	196,67	66,67
B12	160	31200	374400	13,33	131,95	145,28	133,33
B13	160	31200	374400	13,33	131,95	145,28	133,33
B14	160	31200	374400	13,33	131,95	145,28	133,33
B2	80	31200	374400	6,67	131,95	138,61	66,67
C11	140	27980	335760	11,67	131,95	143,61	116,67
C12	140	27980	335760	11,67	131,95	143,61	116,67

**c) Estimación del ancho del puntal y resistencia a la compresión del puntal.**

Para el cálculo de este valor se utiliza la ecuación 5.4 y 2.8 en el caso del ancho del puntal equivalente y la resistencia a la compresión del puntal, respectivamente.

**Tabla A.7** Área de puntal de compresión equivalente y resistencia a la compresión del puntal.

MUROS	d <sub>m</sub> [mm]	N <sub>m</sub> [kN]	f' <sub>m</sub> [MPa]	L <sub>m</sub> [mm]	t [mm]	a <sub>s</sub> [mm]	a <sub>s</sub> /d <sub>m</sub> [ ]	A <sub>ms</sub> [mm <sup>2</sup> ]	R <sub>c</sub> [kN]
MRG1	2973	0	13,76	2000	139	743	0,25	103426	171,48
MRG2	2973	0	13,76	2000	139	743	0,25	103426	171,48
MRE1	2341	0	13,76	800	139	585	0,25	81432	307,08
MRE2	2341	0	13,76	800	139	585	0,25	81432	307,08
A11	2973	0	12,2	2000	140	743	0,25	104243	159,39
<b>A12</b>	<b>2973</b>	<b>66,67</b>	<b>12,2</b>	<b>2000</b>	<b>140</b>	<b>793</b>	<b>0,27</b>	<b>111258</b>	<b>170,11</b>
<b>A13</b>	<b>2973</b>	<b>133,33</b>	<b>12,2</b>	<b>2000</b>	<b>140</b>	<b>842</b>	<b>0,28</b>	<b>118133</b>	<b>180,62</b>
<b>A14</b>	<b>2973</b>	<b>133,33</b>	<b>12,2</b>	<b>2000</b>	<b>140</b>	<b>842</b>	<b>0,28</b>	<b>118133</b>	<b>180,62</b>
<b>A2</b>	<b>2973</b>	<b>66,67</b>	<b>12,2</b>	<b>2000</b>	<b>140</b>	<b>793</b>	<b>0,27</b>	<b>111258</b>	<b>170,11</b>
B11	2973	0	2,96	2000	156	743	0,25	115908	64,10
<b>B12</b>	<b>2973</b>	<b>133,33</b>	<b>2,96</b>	<b>2000</b>	<b>156</b>	<b>1108</b>	<b>0,37</b>	<b>172848</b>	<b>95,58</b>
<b>B13</b>	<b>2973</b>	<b>133,33</b>	<b>2,96</b>	<b>2000</b>	<b>156</b>	<b>1108</b>	<b>0,37</b>	<b>172848</b>	<b>95,58</b>
<b>B14</b>	<b>2973</b>	<b>133,33</b>	<b>2,96</b>	<b>2000</b>	<b>156</b>	<b>1108</b>	<b>0,37</b>	<b>172848</b>	<b>95,58</b>
<b>B2</b>	<b>2973</b>	<b>66,67</b>	<b>2,96</b>	<b>2000</b>	<b>156</b>	<b>926</b>	<b>0,31</b>	<b>144456</b>	<b>79,88</b>
<b>C11</b>	<b>2973</b>	<b>116,67</b>	<b>9,12</b>	<b>2000</b>	<b>140</b>	<b>859</b>	<b>0,29</b>	<b>120174</b>	<b>128,11</b>
<b>C12</b>	<b>2973</b>	<b>116,67</b>	<b>7,17</b>	<b>2000</b>	<b>140</b>	<b>890</b>	<b>0,30</b>	<b>124511</b>	<b>137,12</b>
MV1	2706	0	11,4	1800	140	676	0,25	94640	111,20
MV3	2577	0	11,4	1600	140	644	0,25	90160	110,72
MLC-T1-01	3774	0	6,89	3200	140	943	0,25	132020	169,12
MLC-T1-02	3774	0	6,89	3200	140	943	0,25	132020	169,12
MBH-T1-01	3843	0	6,04	3250	141	961	0,25	135501	105,15
MBH-T1-02	3843	0	6,04	3250	141	961	0,25	135501	105,15

De la aplicación del método se puede ratificar que el Modelo Modificado respeta el ancho de puntal de tensor determinado para muros sin carga vertical aplicada. Se destacan los muros cuyo ancho de puntal es modificado.

**d) Estimación de la resistencia al corte de muros de albañilería confinada ensayados con carga vertical.**

Se calcula la capacidad de los muros de acuerdo a lo mostrado en el Diagrama 5.1. Los valores en sombreado son los valores con que se construyen los gráficos 5.12 y 5.13

**Tabla A.8** Estimación de la resistencia al corte de los muros ensayados con carga vertical con el Modelo Modificado.

Muro	$\theta$ [ ° ]	$N_y$ [ kN ]	$R_c$ [ kN ]	$V_c$ [ kN ]	$T$ [ kN ]	$T^*_y$ [ kN ]	$V_y$ [ kN ]	$V$ [ kN ]	$V_e$ [ kN ]	$V/V_e$ [ ]
A12	47,80	6,67	170,11	114,27	119,35	196,67	178,33	114,27	180,0	0,634
A13	47,80	13,33	180,62	121,33	120,47	203,34	184,38	121,33	165,0	0,735
A14	47,80	13,33	180,62	121,33	120,47	203,34	184,38	121,33	144,0	0,842
A2	47,80	6,67	170,11	114,27	119,35	196,67	178,33	114,27	186,0	0,614
B12	47,80	13,33	95,58	64,20	57,47	145,28	131,73	64,20	111,0	0,579
B13	47,80	13,33	95,58	64,20	57,47	145,28	131,73	64,20	80,0	0,803
B14	47,80	13,33	95,58	64,20	57,47	145,28	131,73	64,20	98,0	0,655
B2	47,80	6,67	79,88	53,66	52,51	138,61	125,68	53,66	92,0	0,583
C11	47,80	11,67	128,11	86,05	83,24	143,61	130,22	86,05	125,0	0,688
C12	47,80	11,67	137,12	92,11	89,91	143,61	130,22	92,11	145,0	0,635

**A.2.2 Método Modificado considerando el 100% de carga vertical actuando sobre el paño de albañilería**

**a) Estimación de la tensión y modo de falla del puntal**

Se mantienen los resultados obtenidos de la Tabla A.5

**b) Efecto de la carga vertical sobre el tensor.**

Para el calculo de la fuerza vertical actuando sobre los elementos de la sección transversal, se utilizaron las formulas 5.8, 5.9 y 5.10.

**Tabla A.9** Efecto de la carga vertical en la fuerza de fluencia del tensor.

MURO	$N$ [ kN ]	$A_c$ [ mm <sup>2</sup> ]	$A_{mb}$ [ mm <sup>2</sup> ]	$N_y$ [ kN ]	$T^*_y = T_y$ [ kN ]	$N_m$ [ kN ]
A12	80	28060	336720	0	190,00	80
A13	160	28060	336720	0	190,00	160
A14	160	28060	336720	0	190,00	160
A2	80	28060	336720	0	190,00	80
B12	160	31200	374400	0	131,95	160
B13	160	31200	374400	0	131,95	160
B14	160	31200	374400	0	131,95	160
B2	80	31200	374400	0	131,95	80
C11	140	27980	335760	0	131,95	140
C12	140	27980	335760	0	131,95	140

**c) Estimación del ancho del puntal y resistencia a la compresión del puntal.**

Para el cálculo de este valor se utiliza la ecuación 5.4 y 2.8 en el caso del ancho del puntal equivalente y la resistencia a la compresión del puntal, respectivamente.

**Tabla A.10** Área de puntal de compresión equivalente y resistencia a la compresión del puntal.

MUROS	$d_m$ [mm]	$N_m$ [kN]	$f'_m$ [MPa]	$L_m$ [mm]	$t$ [mm]	$a_s$ [mm]	$a_s/d_m$ [ ]	$A_{ms}$ [mm <sup>2</sup> ]	$R_c$ [kN]
MRG1	2973	0	13,76	2000	139	743	0,25	103426	171,48
MRG2	2973	0	13,76	2000	139	743	0,25	103426	171,48
MRE1	2341	0	13,76	800	139	585	0,25	81432	307,08
MRE2	2341	0	13,76	800	139	585	0,25	81432	307,08
A11	2973	0	12,2	2000	140	743	0,25	104243	159,39
<b>A12</b>	<b>2973</b>	<b>80</b>	<b>12,2</b>	<b>2000</b>	<b>140</b>	<b>802</b>	<b>0,27</b>	<b>112571</b>	<b>172,12</b>
<b>A13</b>	<b>2973</b>	<b>160</b>	<b>12,2</b>	<b>2000</b>	<b>140</b>	<b>861</b>	<b>0,29</b>	<b>120857</b>	<b>184,79</b>
<b>A14</b>	<b>2973</b>	<b>160</b>	<b>12,2</b>	<b>2000</b>	<b>140</b>	<b>861</b>	<b>0,29</b>	<b>120857</b>	<b>184,79</b>
<b>A2</b>	<b>2973</b>	<b>80</b>	<b>12,2</b>	<b>2000</b>	<b>140</b>	<b>802</b>	<b>0,27</b>	<b>112571</b>	<b>172,12</b>
B11	2973	0	2,96	2000	156	743	0,25	115908	64,10
<b>B12</b>	<b>2973</b>	<b>160</b>	<b>2,96</b>	<b>2000</b>	<b>156</b>	<b>1181</b>	<b>0,40</b>	<b>184259</b>	<b>101,90</b>
<b>B13</b>	<b>2973</b>	<b>160</b>	<b>2,96</b>	<b>2000</b>	<b>156</b>	<b>1181</b>	<b>0,40</b>	<b>184259</b>	<b>101,90</b>
<b>B14</b>	<b>2973</b>	<b>160</b>	<b>2,96</b>	<b>2000</b>	<b>156</b>	<b>1181</b>	<b>0,40</b>	<b>184259</b>	<b>101,90</b>
<b>B2</b>	<b>2973</b>	<b>160</b>	<b>2,96</b>	<b>2000</b>	<b>156</b>	<b>962</b>	<b>0,32</b>	<b>150107</b>	<b>83,01</b>
<b>C11</b>	<b>2973</b>	<b>140</b>	<b>9,12</b>	<b>2000</b>	<b>140</b>	<b>882</b>	<b>0,30</b>	<b>123386</b>	<b>131,53</b>
<b>C12</b>	<b>2973</b>	<b>140</b>	<b>7,17</b>	<b>2000</b>	<b>140</b>	<b>920</b>	<b>0,31</b>	<b>128661</b>	<b>141,69</b>
MV1	2706	0	11,4	1800	140	676	0,25	94640	111,20
MV3	2577	0	11,4	1600	140	644	0,25	90160	110,72
MLC-T1-01	3774	0	6,89	3200	140	943	0,25	132020	169,12
MLC-T1-02	3774	0	6,89	3200	140	943	0,25	132020	169,12
MBH-T1-01	3843	0	6,04	3250	141	961	0,25	135501	105,15
MBH-T1-02	3843	0	6,04	3250	141	961	0,25	135501	105,15

**d) Estimación de la resistencia al corte de muros de albañilería confinada.**

Se calcula la capacidad de los muros de acuerdo a lo mostrado en el Diagrama 5.1. Los valores en sombreado son los valores con que se construyen los gráficos 5.14 y 5.15

**Tabla A.11** Estimación de la resistencia al corte de los muros ensayados con carga vertical con el Modelo Modificado.

Muro	$\theta$ [ ° ]	$N_y$ [ kN ]	$R_c$ [ kN ]	$V_c$ [ kN ]	$T$ [ kN ]	$T^*_y$ [ kN ]	$V_y$ [ kN ]	$V$ [ kN ]	$V_e$ [ kN ]	$V/V_e$ [ ]
A12	47,80	0	172,12	115,62	127,51	190,00	172,28	115,62	180,0	0,642
A13	47,80	0	184,79	124,13	136,89	190,00	172,28	124,13	165,0	0,752
A14	47,80	0	184,79	124,13	136,89	190,00	172,28	124,13	144,0	0,862
A2	47,80	0	172,12	115,62	127,51	190,00	172,28	115,62	186,0	0,622
B12	47,80	0	101,90	68,45	75,48	131,95	119,64	68,45	111,0	0,617
B13	47,80	0	101,90	68,45	75,48	131,95	119,64	68,45	80,0	0,856
B14	47,80	0	101,90	68,45	75,48	131,95	119,64	68,45	98,0	0,698
B2	47,80	0	83,01	55,76	61,49	131,95	119,64	55,76	92,0	0,606
C11	47,80	0	131,53	88,35	97,44	131,95	119,64	88,35	125,0	0,707
C12	47,80	0	141,69	95,18	104,97	131,95	119,64	95,18	145,0	0,656

## ANEXO B

### ANÁLISIS DEL EFECTO DE LA DISTRIBUCIÓN DE LA CARGA VERTICAL SOBRE LOS ELEMENTOS DEL MURO DE ALBAÑILERÍA CONFINADA

Para establecer la carga vertical que actúa sobre el paño albañilería y los pilares de hormigón de un muro de albañilería confinada se consideran dos criterios:

- Criterio 1:** La carga vertical se distribuye aceptando que la deformación axial es uniforme en la sección transversal y así la carga vertical se distribuye en función de la rigidez axial de los elementos que componen la sección.
- Criterio 2:** Se acepta que la carga vertical se distribuye uniformemente y con una magnitud constante en la sección transversal del muro.
- Criterio 3:** Se acepta que la carga vertical en su totalidad es transmitida al paño de albañilería.

#### B.1 Carga vertical en el paño de albañilería y en los pilares de confinamiento

##### a. Criterio 1 (Deformación uniforme).

Aceptando que las secciones planas se mantienen planas al deformarse el muro y que el comportamiento de los materiales es elástico lineal hasta que se produce el agrietamiento diagonal del muro, se cumple:

$$\varepsilon_m = \varepsilon_c \quad (\text{B.1})$$

$$\frac{f_c}{E_c} = \frac{f_m}{E_m} \quad \rightarrow \quad f_c = n \cdot f_m \quad (\text{B.2})$$

Donde la razón modular es:

$$n = \frac{E_c}{E_m} \quad (\text{B.3})$$

Por lo tanto:

$$N = 2f_c \cdot A_c + f_m \cdot A_m \quad (\text{B.4})$$

$$N = f_m \cdot (A_m + 2 \cdot n \cdot A_c) \quad (\text{B.5})$$

$$f_m = \frac{N}{(A_m + 2 \cdot n \cdot A_c)} \quad (\text{B.6})$$

Con lo cual la carga que actúa en el pilar y en el paño de albañilería resultan iguales a:

$$N_m = f_m \cdot A_m \quad (\text{B.7})$$

$$N_c = f_m \cdot n \cdot 2 \cdot A_c \quad (\text{B.8})$$

$$N_y = \frac{N_c}{2} \quad (\text{B.9})$$

Por lo tanto, la fuerza de tracción que debe generarse en el puntal por efecto de una carga lateral para hacer fluir la armadura longitudinal del pilar es:

$$T_y^* = A_{sl} \cdot f_y + N_y \quad (\text{B.10})$$

Y el ancho del puntal de compresión equivalente es:

$$a_s = \left( 0,25 + 0,85 \frac{N_m}{f_m \cdot A_m} \right) \cdot d_m \quad (\text{B.11})$$

#### **b. Criterio 2 (Tensión uniforme).**

Considerando que la carga vertical se distribuye en forma uniforme y con una magnitud constante sobre el área de la sección transversal sobre la cual actúa, se cumple:

$$f_n = \frac{N}{(A_m + 2 \cdot A_c)} \quad (\text{B.12})$$

$$N_m = f_n \cdot A_m \quad (\text{B.13})$$

$$N_y = f_n \cdot A_c$$

Por lo tanto, la fuerza para hacer fluir la armadura longitudinal del pilar y el ancho del puntal de compresión equivalente se calculan con las ecuaciones B.10 y B.11.

#### **c. Criterio 3 (100% de carga vertical sobre el paño de albañilería)**

En este criterio se considera:

$$N_m = N \quad (\text{B.14})$$

$$N_y = 0$$

## B.2 Cálculo de las cargas verticales utilizando los tres criterios.

### a. Criterio 1 (Deformación uniforme).

Para aplicar este criterio en los muros de albañilería confinada construidos con unidades hechas a mano se consideran dos valores para la razón modular teniendo en cuenta la variabilidad del modulo de Young en este tipo de albañilería. Estos dos valores se calculan considerando el valor mínimo y máximo de los módulos obtenidos de los ensayos de prismas; los valores de las relaciones modulares se indican en la Tabla B.1

**Tabla B.1** Razones entre los módulos de elasticidad

Muro	$E_m$ [MPa]	$E_c$ [MPa]	$n_1$ [ ]	$E_m (1)$ [MPa]	$n_2$ [ ]
A12	5690,4	29042	5,1	5690,4	5,1
A13	5690,4	22536	4,0	5690,4	4,0
A14	5690,4	28222	5,0	5690,4	5,0
A2	5690,4	22585	4,0	5690,4	4,0
B12	347,8	19248	55,3	791,8	24,3
B13	347,8	22978	66,1	791,8	29,0
B14	347,8	29042	83,5	791,8	36,7
B2	347,8	29273	84,2	791,8	37,0
C11	6136,8	27803	4,5	6136,8	4,5
C12	7488,7	27803	3,7	7488,7	3,7

Donde  $n_1$ : considerando el menor valor  $E_m$  obtenido experimentalmente  
 $n_2$ : considerando el mayor valor  $E_m$  obtenido experimentalmente

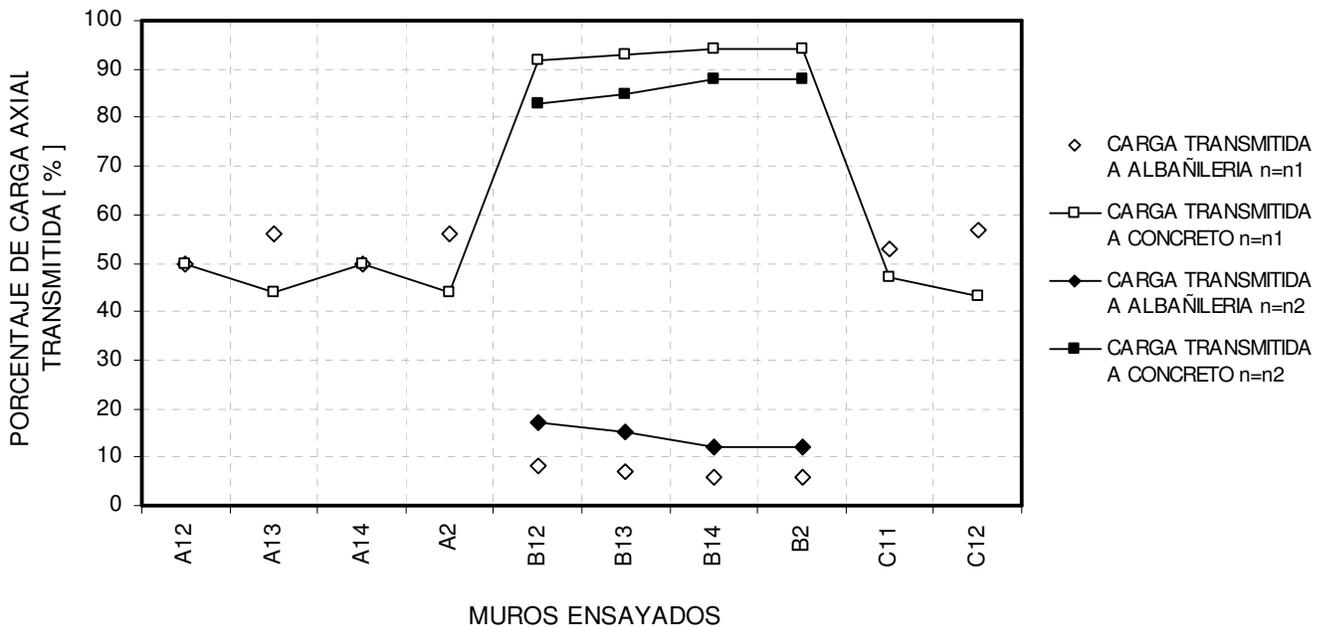
Con los valores de la Tabla B.1 se obtienen las cargas verticales en los pilares y en el paño de albañilería, las cuales se indican en las Tablas B.2 y B.3. Los valores que resultan se grafican en la Figura B.1 como un porcentaje de la carga vertical que actúa sobre el muro.

**Tabla B.2** Cargas verticales según Criterio 1. Razón de módulos  $n = n_1$ .

Muro	N [N]	$A_m$ [mm <sup>2</sup> ]	t [mm]	$h_p$ [mm]	$2 A_c$ [mm <sup>2</sup> ]	n [ ]	$f_m$ [MPa]	$N_c$ [N]	$N_c/2 = N_y$ [N]	$N_m$ [N]	% $N_m/N$ [ ]
A12	80000	280600	140,3	200	56120	5,1	1,4E-01	40396	20198	39604	50
A13	160000	280600	140,3	200	56120	4,0	3,2E-01	71111	35556	88889	56
A14	160000	280600	140,3	200	56120	5,0	2,9E-01	80000	40000	80000	50
A2	80000	280600	140,3	200	56120	4,0	1,6E-01	35556	17778	44444	56
B12	80000	312000	156	200	62400	55,3	2,1E-02	73367	36683	6633	8
B13	160000	312000	156	200	62400	66,1	3,6E-02	148748	74374	11252	7
B14	160000	312000	156	200	62400	83,5	2,9E-02	150960	75480	9040	6
B2	160000	312000	156	200	62400	84,2	2,9E-02	151031	75516	8969	6
C11	140000	279800	139,9	200	55960	4,5	2,6E-01	66316	33158	73684	53
C12	140000	279800	139,9	200	55960	3,7	2,9E-01	59540	29770	80460	57

**Tabla B.3** Cargas verticales según Criterio 1. Razón de módulos  $n = n_2$ .

Muro	N [N]	$A_m$ [mm <sup>2</sup> ]	t [mm]	$h_p$ [mm]	$2 A_c$ [mm <sup>2</sup> ]	n [ ]	$f_m$ [MPa]	$N_c$ [N]	$N_c/2 = N_y$ [N]	$N_m$ [N]	% $N_m/N$ [ ]
B12	80000	312000	156	200	62400	24,3	4,4E-02	66348	33174	13652	17
B13	160000	312000	156	200	62400	29,0	7,5E-02	136471	68235	23529	15
B14	160000	312000	156	200	62400	36,7	6,1E-02	140815	70408	19185	12
B2	160000	312000	156	200	62400	37,0	6,1E-02	140952	70476	19048	12



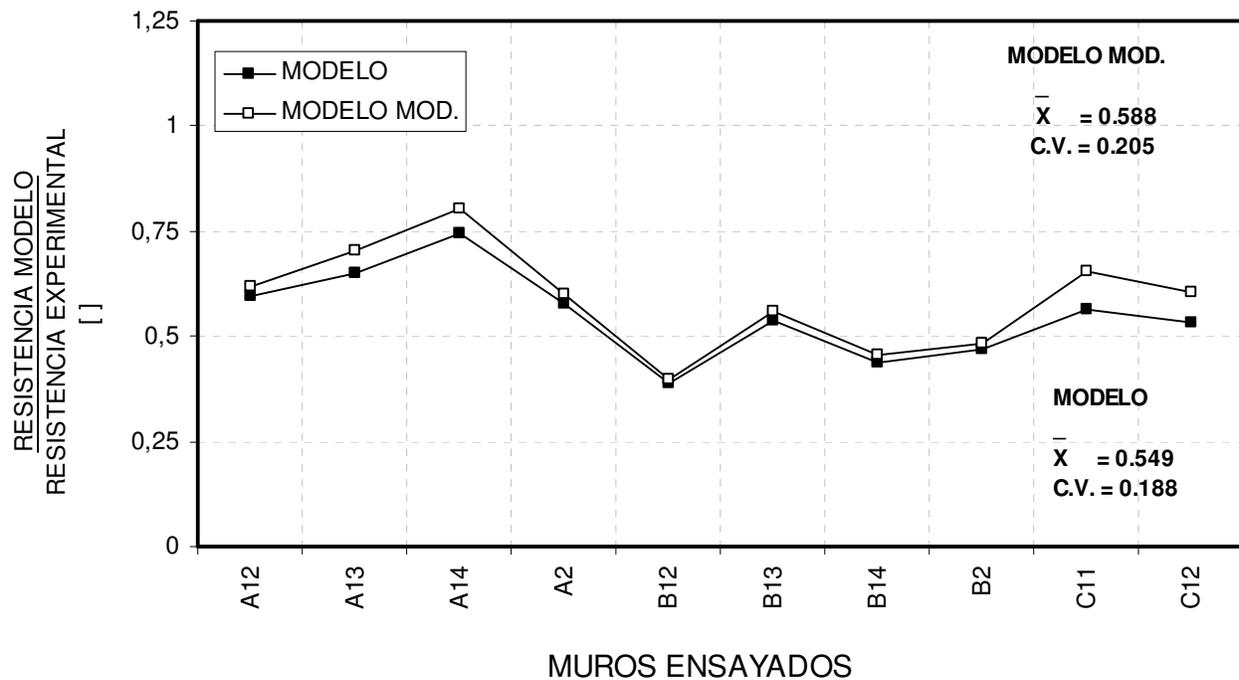
**Figura B.1** Distribución porcentual de carga vertical entre los elementos de la sección transversal de los muros de albañilería confinada ensayados.

Con los valores de las fuerzas verticales de las tablas B.1 y B.2 se determina la resistencia teórica de corte para el Modelo Modificado, valores que se indican en las Tablas B.4 y B.5 para ambas relaciones modulares. Los valores teóricos indicados en estas tablas se grafican en las Figuras B.2 y B.3 en relación con la carga de agrietamiento experimental.

**Tabla B.4** Resistencia al corte de los muros ensayados con carga vertical con el Modelo Modificado utilizando el Criterio 1 con una razón  $n=n_1$ .

Muro	$\theta$ [°]	$N_y$ [kN]	$R_c$ [kN]	$V_c$ [kN]	$T$ [kN]	$T^*_y$ [kN]	$V_y$ [kN]	$V$ [kN]	$V_e$ [kN]	$V/V_e$ [ ]
A12	47,80	20,20	165,72	111,32	102,57	210,20	190,60	111,32	180,0	0,618
A13	47,80	35,56	173,53	116,56	92,99	225,56	204,53	116,56	165,0	0,706
A14	47,80	40,00	172,12	115,62	87,51	230,00	208,55	115,62	144,0	0,803
A2	47,80	17,78	166,49	111,83	105,56	207,78	188,40	111,83	186,0	0,601
B12	47,80	36,68	65,69	44,13	11,98	168,63	152,90	44,13	111,0	0,398
B13	47,80	74,37	66,78	44,86	-24,90	206,32	187,08	44,86	80,0	0,561
B14	47,80	75,48	66,26	44,51	-26,39	207,43	188,09	44,51	98,0	0,454
B2	47,80	75,52	66,24	44,49	-26,45	207,47	188,12	44,49	92,0	0,484
C11	47,80	33,16	121,73	81,77	57,02	165,11	149,71	81,77	125,0	0,654
C12	47,80	29,77	130,14	87,42	66,64	161,72	146,64	87,42	145,0	0,603

Donde  $V_e$ : Resistencia al corte experimental

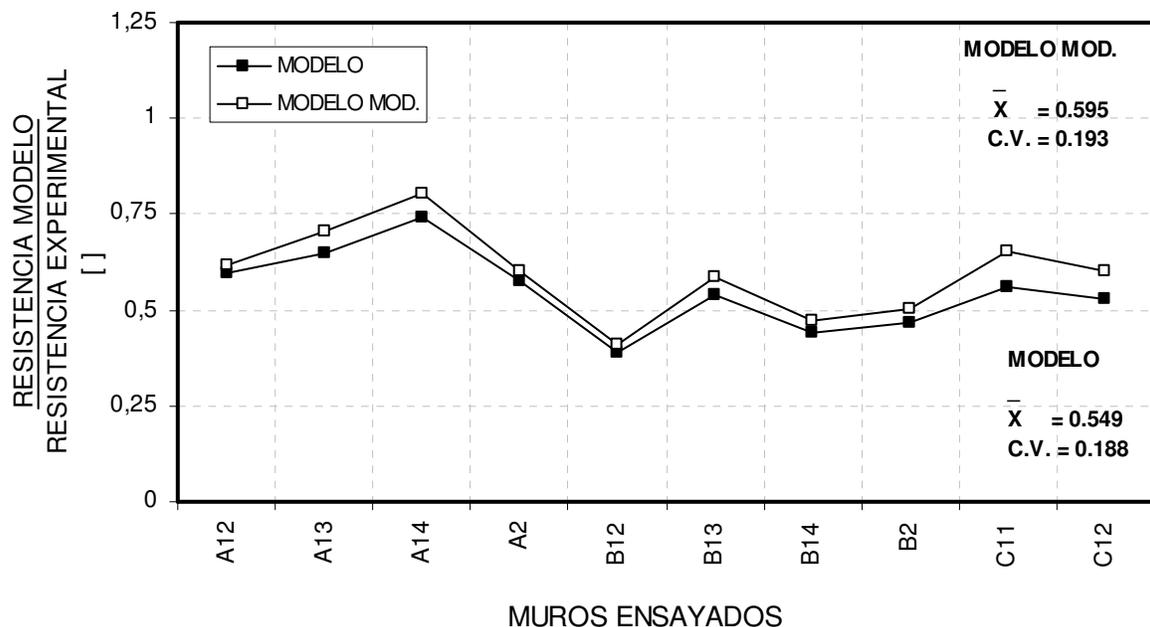


**Figura B.2** Estimación de la resistencia al corte de los muros ensayados con carga vertical con el Modelo Modificado utilizando el Criterio 1 con una razón  $n=n_1$ .

**Tabla B.5** Estimación de la resistencia al corte de los muros ensayados con carga vertical con el Modelo Modificado utilizando el Criterio 1 con una razón  $n=n_2$ .

Muro	$\theta$ [°]	$N_y$ [kN]	$R_c$ [kN]	$V_c$ [kN]	$T$ [kN]	$T^*_y$ [kN]	$V_y$ [kN]	$V$ [kN]	$V_e$ [kN]	$V/V_e$ [ ]
A12	47,80	20,20	165,72	111,32	102,57	210,20	190,60	111,32	180,0	0,618
A13	47,80	35,56	173,53	116,56	92,99	225,56	204,53	116,56	165,0	0,706
A14	47,80	40,00	172,12	115,62	87,51	230,00	208,55	115,62	144,0	0,803
A2	47,80	17,78	166,49	111,83	105,56	207,78	188,40	111,83	186,0	0,601
B12	47,80	33,17	67,35	45,24	16,72	165,12	149,72	45,24	111,0	0,408
B13	47,80	68,24	69,68	46,81	-16,62	200,19	181,52	46,81	80,0	0,585
B14	47,80	70,41	68,65	46,11	-19,55	202,36	183,49	46,11	98,0	0,471
B2	47,80	70,48	68,62	46,09	-19,65	202,43	183,55	46,09	92,0	0,501
C11	47,80	33,16	121,73	81,77	57,02	165,11	149,71	81,77	125,0	0,654
C12	47,80	29,77	130,14	87,42	66,64	161,72	146,64	87,42	145,0	0,603

Donde  $V_e$ : Resistencia al corte experimental



**Figura B.3** Estimación de la resistencia al corte de los muros ensayados con carga vertical con el Modelo Modificado utilizando el Criterio 1 con una razón  $n=n_2$ .

**b. Criterio 2 (Tensión uniforme).**

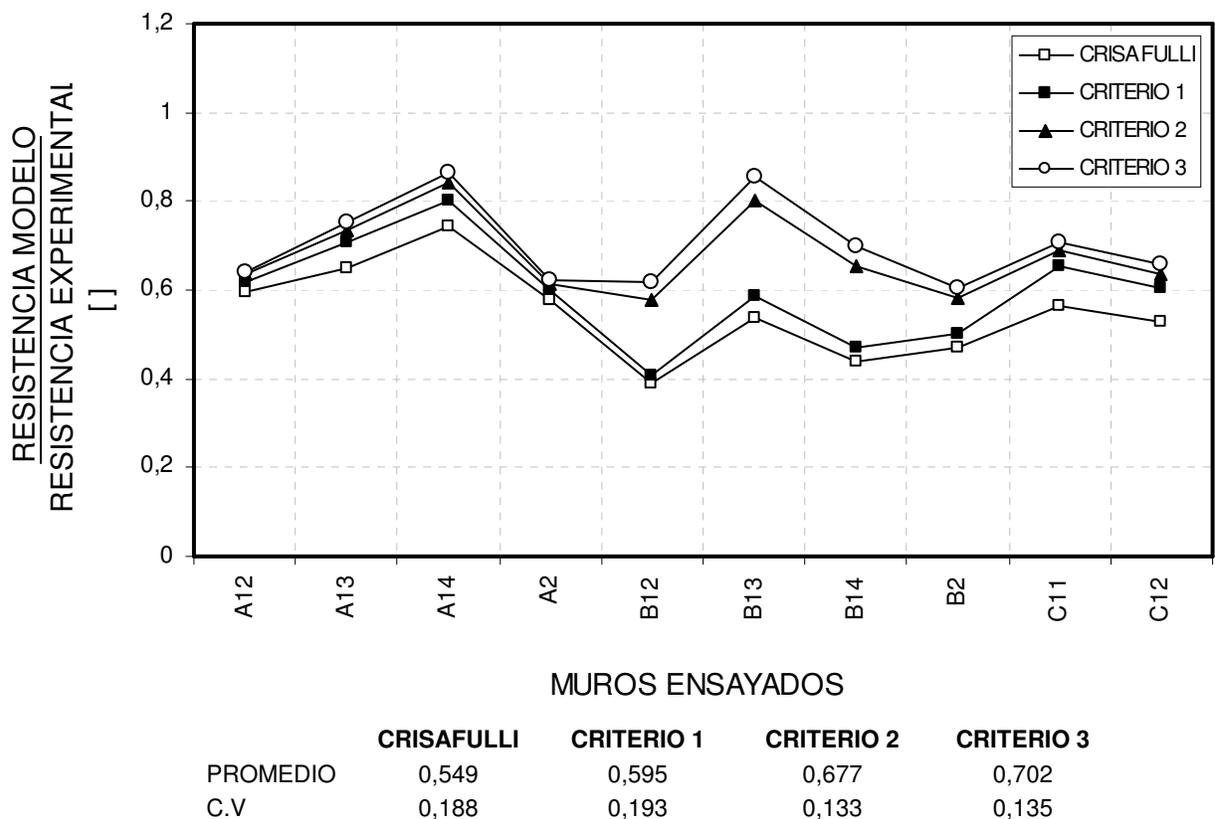
Los valores de la aplicación de este método pueden encontrarse en el ANEXO A sección A.2.1 (*Tensión uniforme*) en las Tablas A.6, A.7 y A.8. Los resultados se encuentran graficados en la Figura 5.13

**c. Criterio 3 (100% de carga vertical sobre el paño de albañilería).**

Los valores de la aplicación de este método pueden encontrarse en el ANEXO A sección A.2.2 en las Tablas A.9, A.10 y A.11. Los resultados se encuentran graficados en la Figura 5.15

**B.3 Comparación de los métodos y discusión de los resultados**

A continuación se presenta una comparación de los resultados entregados por la aplicación de los tres criterios (ver figura B.4)



**Figura B.4** Razón entre la resistencia lateral estimada mediante el Modelo y la resistencia lateral experimental, utilizando distintos criterios de distribución de fuerza vertical sobre la sección del muro de albañilería confinada.

De los resultados se puede concluir que:

- La distribución de la carga vertical aceptando una distribución uniforme de la deformación axial (Criterio 1) subestima la carga de agrietamiento diagonal experimental del muro. En la mayoría de los casos, el 50% de la carga vertical se transmite por los pilares de confinamiento, reduciendo la carga vertical que actúa en el paño de albañilería y por ello se reduce el ancho de puntal de compresión con lo cual la estimación de la resistencia de corte también se ve reducida.

- Para el caso de los muros construidos con ladrillos artesanales (“*chonchon*” o “*fiscal*”) debido al reducido valor del módulo de elasticidad, al aplicar el Criterio 1, un valor cercano al 90% de la carga vertical se transmite por los pilares, por lo tanto, debido el bajo nivel de carga vertical que se transmite por el paño de albañilería, las modificaciones al Modelo de Crisafulli no tienen un efecto significativo en las estimaciones.
- Considerar que la carga vertical actúa sobre el muro distribuyéndose de forma uniforme sobre la sección transversal completa, conduce a una mejor estimación de la carga de agrietamiento diagonal debido a que la carga vertical que se transmite por los pilares se reduce, recibiendo el paño aproximadamente un 83% de la carga vertical. Por esta situación el ancho del puntal de compresión estimado aumenta y de igual forma la resistencia teórica calculada del muro.
- El aplicar la carga vertical sobre el paño de albañilería como en el Criterio 3, conduce a mejores estimaciones debido a que se aumenta el puntal en forma proporcional a la carga vertical que se aplica sobre el paño. Sin embargo, no es posible asegurar que no existe carga trasladándose hacia los elementos de hormigón armado.
- De los resultados obtenidos se concluye que la mejor manera de distribuir el efecto de la carga vertical sobre el paño de albañilería es el Criterio 2, por ser un criterio de mayor racionalidad y presentar buenos resultados. La validez de este criterio deberá verificarse experimentalmente instrumentando los muros ensayados con carga vertical con este propósito.

## ANEXO C

### IMPACTO DE LOS PARÁMETROS EXPERIMENTALES EN LA ESTIMACIÓN DE LA RESISTENCIA AL CORTE CON EL MODELO DE CRISAFULLI (1997)

#### C.1 Introducción

En los programas experimentales realizados en el país en los últimos 25 años sólo se han realizado ensayos de prismas y muretes para caracterizar las propiedades de resistencia y rigidez de la albañilería, debido a que los resultados de estos ensayos son los que utilizan las normas de diseño y cálculo actualmente en uso.

Debido a esta situación los resultados de ensayos de tripletas o dupletas sometidas a un ensayo de corte directo ( $\mu$  y  $\tau_o$ ) y de ensayos de tracción de la unidad ( $f_{bt}$ ) son escasos. Teniendo en cuenta que el Modelo de Crisafulli utiliza como índices de resistencia los resultados de estos ensayos, fue necesario hacer una estimación indirecta de ellos como se detalla en el Capítulo 3.

Teniendo en cuenta las incertidumbres que esto produce, en este Anexo se hace un análisis de la sensibilidad de los resultados del modelo de Crisafulli ante las variaciones que pueden tener estos índices de resistencia ( $\mu$ ,  $\tau_o$  y  $f_{bt}$ ).

#### C.2 Impacto de la variación de los índices de resistencia del modelo de Crisafulli

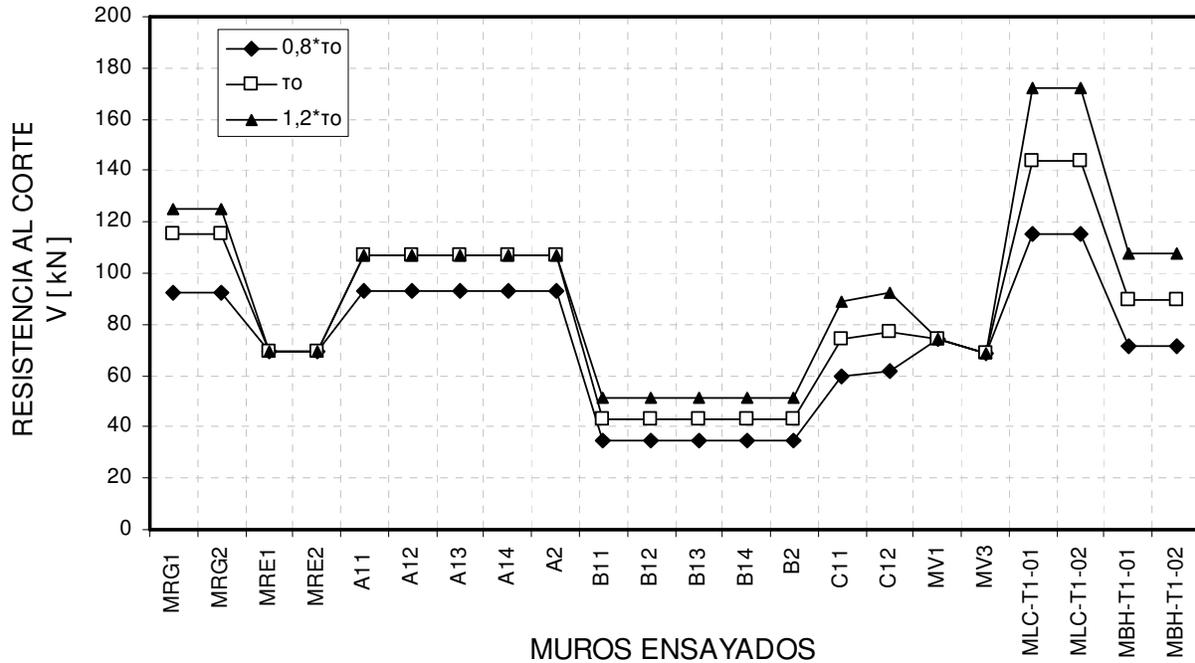
##### C.2.1 Efecto de la variación de la adherencia unitaria ( $\tau_o$ )

De los trabajos experimentales realizados en Chile por: Fernández et al. (1986), Bustos y Margery (1996), Larraín (1971) y Delfín y Bullemore (1968), es posible comprobar que los resultados de los ensayos de tripletas sometidas a corte directo tienen variaciones del orden de un 20%. Teniendo en cuenta este antecedente, el estudio de sensibilidad se realiza considerando que la adherencia unitaria varía entre  $0.8\tau_o$  y  $1.2\tau_o$  donde  $\tau_o$  es el valor estimado en el Capítulo 3 para cada una de las series de ensayos.

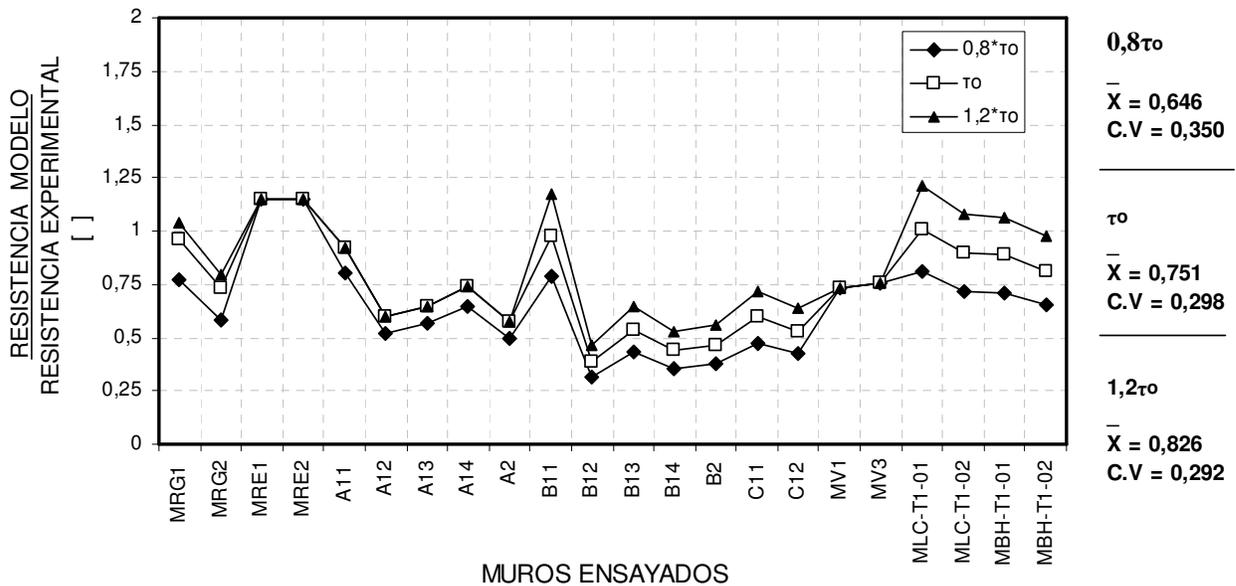
En las figuras C.1 y C.2 se muestra el efecto que tiene la variación de la adherencia unitaria en el valor de la resistencia al corte calculado con el Modelo de Crisafulli. En las Tablas C.1, C.2, C.3, C.4 y C.5 se detallan los cálculos realizados, destacándose con sombreado los valores con que se construyeron las figuras.

El análisis de los resultados, puede ser revisado en la sección 4.3 de esta memoria.

Recordar que en las comparaciones que se realizan se compara la estimación del Modelo de Crisafulli con la carga de agrietamiento experimental que corresponde a la primera grieta de corte o de agrietamiento diagonal, en la cual se visualiza el patrón de agrietamiento que se mantendrá hasta el fin del ensayo. Este valor puede ser obtenido de la Tabla 3.17 de esta memoria.



**Figura C.1** Resistencia al corte de los muros de albañilería confinada según el Modelo de Crisafulli (1997). Efecto de la variación de la adherencia unitaria  $\tau_0$ .



**Figura C.2** Razón entre la resistencia al corte del muro de albañilería confinada determinada con el Modelo de Crisafulli (1997) y la carga de agrietamiento por corte obtenida en los ensayos. Efecto de la variación de la adherencia unitaria  $\tau_0$ .

**Tabla C.1** Tensiones para cada modo de falla según el Modelo de Crisafulli (1997). Efecto de la variación de la adherencia unitaria.

MUROS	$\theta$ [°]	b/d [ ]	$\mu$ [ ]	$0,8 \tau_0$ [MPa]	AD [MPa]	$\tau_0$ [MPa]	AD [MPa]	$1,2 \tau_0$ [MPa]	AD [MPa]	TD [MPa]
MRG1	47,8	0,25	0,7	0,324	1,328	0,405	1,658	0,486	1,989	1,8
MRG2	47,8	0,25	0,7	0,324	1,328	0,405	1,658	0,486	1,989	1,8
MRE1	70	0,25	0,7	0,324	*	0,405	*	0,486	*	3,771
MRE2	70	0,25	0,7	0,324	*	0,405	*	0,486	*	3,771
A11	47,8	0,25	0,7	0,324	1,328	0,405	1,658	0,486	1,989	1,529
A12	47,8	0,25	0,7	0,324	1,328	0,405	1,658	0,486	1,989	1,529
A13	47,8	0,25	0,7	0,324	1,328	0,405	1,658	0,486	1,989	1,529
A14	47,8	0,25	0,7	0,324	1,328	0,405	1,658	0,486	1,989	1,529
A2	47,8	0,25	0,7	0,324	1,328	0,405	1,658	0,486	1,989	1,529
B11	47,8	0,21	0,7	0,098	0,444	0,123	0,553	0,148	0,663	0,896
B12	47,8	0,21	0,7	0,098	0,444	0,123	0,553	0,148	0,663	0,896
B13	47,8	0,21	0,7	0,098	0,444	0,123	0,553	0,148	0,663	0,896
B14	47,8	0,21	0,7	0,098	0,444	0,123	0,553	0,148	0,663	0,896
B2	47,8	0,21	0,7	0,098	0,444	0,123	0,553	0,148	0,663	0,896
C11	47,8	0,5	0,8	0,304	0,851	0,38	1,066	0,456	1,277	3,046
C12	47,8	0,48	0,8	0,304	0,882	0,38	1,101	0,456	1,321	1,504
MV1	48,3	0,25	0,7	0,377	1,586	0,471	1,986	0,565	2,385	1,175
MV3	51,7	0,25	0,7	0,377	2,052	0,471	2,569	0,565	3,086	1,228
MLC-T1-01	32	0,39	0,7	0,448	1,026	0,56	1,281	0,672	1,540	1,574
MLC-T1-02	32	0,39	0,7	0,448	1,026	0,56	1,281	0,672	1,540	1,574
MBH-T1-01	31,6	0,49	0,8	0,304	0,620	0,38	0,776	0,456	0,932	2,365
MBH-T1-02	31,6	0,49	0,8	0,304	0,620	0,38	0,776	0,456	0,932	2,365

Donde,

AD: Falla por adherencia

TD: Falla por tracción diagonal

**Tabla C.2** Modo de falla que controla según el Modelo de Crisafulli (1997) y resistencia a la compresión del puntal. Efecto de la variación de la adherencia unitaria.

	Si $0,8\tau_0$		Si $1,0 \tau_0$		Si $1,2 \tau_0$		$A_{ms}$ [mm <sup>2</sup> ]	Si $0,8 \tau_0$	Si $1,0 \tau_0$	Si $1,2 \tau_0$
	$f'_{m6}$ [MPa]	MODO	$f'_{m6}$ [MPa]	MODO	$f'_{m6}$ [MPa]	MODO		$R_c$ [kN]	$R_c$ [kN]	$R_c$ [kN]
MRG1	1,328	AD	1,658	AD	1,800	TD	103467,84	137,36	171,57	186,24
MRG2	1,328	AD	1,658	AD	1,800	TD	103467,84	137,36	171,57	186,24
MRE1	3,771	TD	3,771	TD	3,771	TD	81464,71	307,20	307,20	307,20
MRE2	3,771	TD	3,771	TD	3,771	TD	81464,71	307,20	307,20	307,20
A11	1,328	AD	1,529	TD	1,529	TD	104285,47	138,45	159,45	159,45
A12	1,328	AD	1,529	TD	1,529	TD	104285,47	138,45	159,45	159,45
A13	1,328	AD	1,529	TD	1,529	TD	104285,47	138,45	159,45	159,45
A14	1,328	AD	1,529	TD	1,529	TD	104285,47	138,45	159,45	159,45
A2	1,328	AD	1,529	TD	1,529	TD	104285,47	138,45	159,45	159,45
B11	0,444	AD	0,553	AD	0,663	AD	115955,34	51,43	64,13	76,83
B12	0,444	AD	0,553	AD	0,663	AD	115955,34	51,43	64,13	76,83
B13	0,444	AD	0,553	AD	0,663	AD	115955,34	51,43	64,13	76,83
B14	0,444	AD	0,553	AD	0,663	AD	115955,34	51,43	64,13	76,83
B2	0,444	AD	0,553	AD	0,663	AD	115955,34	51,43	64,13	76,83
C11	0,851	AD	1,066	AD	1,277	AD	103988,15	88,51	110,87	132,77
C12	0,882	AD	1,101	AD	1,321	AD	103988,15	91,71	114,52	137,33
MV1	1,175	TD	1,175	TD	1,175	TD	94696,83	111,27	111,27	111,27
MV3	1,228	TD	1,228	TD	1,228	TD	90191,41	110,76	110,76	110,76
MLC-T1-01	1,026	AD	1,281	AD	1,540	AD	132075,74	135,56	169,23	203,34
MLC-T1-02	1,026	AD	1,281	AD	1,540	AD	132075,74	135,56	169,23	203,34
MBH-T1-01	0,620	AD	0,776	AD	0,932	AD	135449,01	84,02	105,13	126,25
MBH-T1-02	0,620	AD	0,776	AD	0,932	AD	135449,01	84,02	105,13	126,25

**Tabla C.3** Resistencia al corte del muro de albañilería confinada según el Modelo de Crisafulli (1997), cuando se considera una adherencia unitaria igual a  $0,8\tau_0$ .

Muro	$\theta$ [deg]	$R_c$ [ kN ]	$V_c$ [ kN ]	T [ kN ]	$T_y$ [ kN ]	$V_y$ [ kN ]	V [ kN ]	$V_e$ [ kN ]	V / $V_e$ [ ]
MRG1	47,8	137,36	92,27	101,76	190,00	172,28	92,27	120,00	0,769
MRG2	47,8	137,36	92,27	101,76	190,00	172,28	92,27	158,00	0,584
MRE1	70	307,20	105,07	288,68	190,00	69,16	69,16	60,00	1,153
MRE2	70	307,20	105,07	288,68	190,00	69,16	69,16	60,00	1,153
A11	47,8	138,45	93,00	102,56	190,00	172,28	93,00	116,00	0,802
A12	47,8	138,45	93,00	102,56	196,00	177,72	93,00	180,00	0,517
A13	47,8	138,45	93,00	102,56	201,99	183,16	93,00	165,00	0,564
A14	47,8	138,45	93,00	102,56	201,99	183,16	93,00	144,00	0,646
A2	47,8	138,45	93,00	102,56	196,00	177,72	93,00	186,00	0,500
B11	47,8	51,43	34,55	38,10	131,95	119,64	34,55	44,00	0,785
B12	47,8	51,43	34,55	38,10	146,81	133,12	34,55	111,00	0,311
B13	47,8	51,43	34,55	38,10	146,81	133,12	34,55	80,00	0,432
B14	47,8	51,43	34,55	38,10	146,81	133,12	34,55	98,00	0,353
B2	47,8	51,43	34,55	38,10	139,38	126,38	34,55	92,00	0,376
C11	47,8	88,51	59,46	65,57	143,58	130,19	59,46	125,00	0,476
C12	47,8	91,71	61,61	67,94	143,58	130,19	61,61	145,00	0,425
MV1	48,3	111,27	74,02	83,08	190,00	169,29	74,02	100,70	0,735
MV3	51,7	110,76	68,64	86,92	190,00	150,06	68,64	90,60	0,758
MLC-T1-01	32	135,56	114,96	71,83	131,95	211,16	114,96	142,00	0,810
MLC-T1-02	32	135,56	114,96	71,83	131,95	211,16	114,96	160,00	0,718
MBH-T1-01	31,6	84,02	71,56	44,02	131,95	214,48	71,56	101,00	0,709
MBH-T1-02	31,6	84,02	71,56	44,02	131,95	214,48	71,56	110,00	0,651

**Tabla C.4** Resistencia al corte del muro de albañilería confinada según el Modelo de Crisafulli (1997), cuando se considera una adherencia unitaria igual a  $1,0\tau_0$ .

Muro	$\theta$ [deg]	$R_c$ [ kN ]	$V_c$ [ kN ]	T [ kN ]	$T_y$ [ kN ]	$V_y$ [ kN ]	V [ kN ]	$V_e$ [ kN ]	V / $V_e$ [ ]
MRG1	47,8	171,57	115,25	127,10	190,00	172,28	115,25	120	0,960
MRG2	47,8	171,57	115,25	127,10	190,00	172,28	115,25	158	0,729
MRE1	70	307,20	105,07	288,68	190,00	69,16	69,16	60	1,153
MRE2	70	307,20	105,07	288,68	190,00	69,16	69,16	60	1,153
A11	47,8	159,45	107,11	118,12	190,00	172,28	107,11	116	0,923
A12	47,8	159,45	107,11	118,12	196,00	177,72	107,11	180	0,595
A13	47,8	159,45	107,11	118,12	201,99	183,16	107,11	165	0,649
A14	47,8	159,45	107,11	118,12	201,99	183,16	107,11	144	0,744
A2	47,8	159,45	107,11	118,12	196,00	177,72	107,11	186	0,576
B11	47,8	64,13	43,08	47,51	131,95	119,64	43,08	44	0,979
B12	47,8	64,13	43,08	47,51	146,81	133,12	43,08	111	0,388
B13	47,8	64,13	43,08	47,51	146,81	133,12	43,08	80	0,539
B14	47,8	64,13	43,08	47,51	146,81	133,12	43,08	98	0,440
B2	47,8	64,13	43,08	47,51	139,38	126,38	43,08	92	0,468
C11	47,8	110,87	74,48	82,14	143,58	130,19	74,48	125	0,596
C12	47,8	114,52	76,93	84,84	143,58	130,19	76,93	145	0,531
MV1	48,3	111,27	74,02	83,08	190,00	169,29	74,02	100,7	0,735
MV3	51,7	110,76	68,64	86,92	190,00	150,06	68,64	90,6	0,758
MLC-T1-01	32	169,23	143,52	89,68	131,95	211,16	143,52	142	1,011
MLC-T1-02	32	169,23	143,52	89,68	131,95	211,16	143,52	160	0,897
MBH-T1-01	31,6	105,13	89,55	55,09	131,95	214,48	89,55	101	0,887
MBH-T1-02	31,6	105,13	89,55	55,09	131,95	214,48	89,55	110	0,814

**Tabla C.5** Resistencia al corte del muro de albañilería confinada según el Modelo de Crisafulli (1997), cuando se considera una adherencia unitaria igual a  $1,2\tau_0$ .

Muro	$\theta$ [deg]	$R_c$ [kN]	$V_c$ [kN]	$T$ [kN]	$T_y$ [kN]	$V_y$ [kN]	$V$ [kN]	$V_e$ [kN]	$V / V_e$ [ ]
MRG1	47,8	186,24	125,10	137,97	190,00	172,28	125,10	120	1,043
MRG2	47,8	186,24	125,10	137,97	190,00	172,28	125,10	158	0,792
MRE1	70	307,20	105,07	288,68	190,00	69,16	69,16	60	1,153
MRE2	70	307,20	105,07	288,68	190,00	69,16	69,16	60	1,153
A11	47,8	159,45	107,11	118,12	190,00	172,28	107,11	116	0,923
A12	47,8	159,45	107,11	118,12	196,00	177,72	107,11	180	0,595
A13	47,8	159,45	107,11	118,12	201,99	183,16	107,11	165	0,649
A14	47,8	159,45	107,11	118,12	201,99	183,16	107,11	144	0,744
A2	47,8	159,45	107,11	118,12	196,00	177,72	107,11	186	0,576
B11	47,8	76,83	51,61	56,92	131,95	119,64	51,61	44	1,173
B12	47,8	76,83	51,61	56,92	146,81	133,12	51,61	111	0,465
B13	47,8	76,83	51,61	56,92	146,81	133,12	51,61	80	0,645
B14	47,8	76,83	51,61	56,92	146,81	133,12	51,61	98	0,527
B2	47,8	76,83	51,61	56,92	139,38	126,38	51,61	92	0,561
C11	47,8	132,77	89,18	98,36	143,58	130,19	89,18	125	0,713
C12	47,8	137,33	92,25	101,74	143,58	130,19	92,25	145	0,636
MV1	48,3	111,27	74,02	83,08	190,00	169,29	74,02	100,7	0,735
MV3	51,7	110,76	68,64	86,92	190,00	150,06	68,64	90,6	0,758
MLC-T1-01	32	203,34	172,44	107,75	131,95	211,16	172,44	142	1,214
MLC-T1-02	32	203,34	172,44	107,75	131,95	211,16	172,44	160	1,078
MBH-T1-01	31,6	126,25	107,53	66,15	131,95	214,48	107,53	101	1,065
MBH-T1-02	31,6	126,25	107,53	66,15	131,95	214,48	107,53	110	0,978

El análisis de los resultados, puede revisarse en la sección 4.3 de esta memoria.

Sin embargo, se puede destacar que la adherencia unitaria resulta un parámetro crucial para el modelo, debido a que su variación genera importantes cambios en la estimación de la resistencia de cada muro.

Es un parámetro que genera cambios en casi todos los muros a excepción de los muros cuya resistencia esta controlada por la fluencia del pilar (MRE1 y MRE2) y la tracción diagonal (MV1 y MV3), en todos los casos analizados.

### ***C.2.2 Efecto de la variación del coeficiente de fricción ( $\mu$ )***

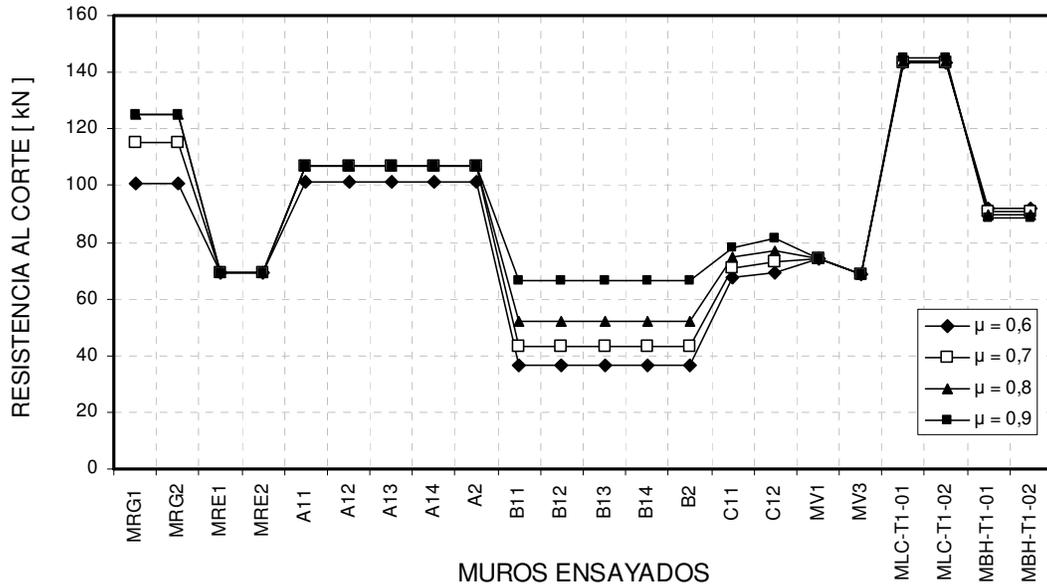
Como se indica en el Capítulo 3, los valores del coeficiente de fricción mortero-unidad son en general mayores que 0.6 para todo tipo de unidad, obteniéndose los valores mayores en las tripletas construidas con unidades de bloques de hormigón.

De acuerdo con Crisafulli (1997), el valor del coeficiente de fricción puede variar entre 0.7 y 0.85. Teniendo en cuenta estos valores, el estudio de sensibilidad se realiza considerando que el coeficiente de fricción se encuentra en el rango 0.6 - 0.9.

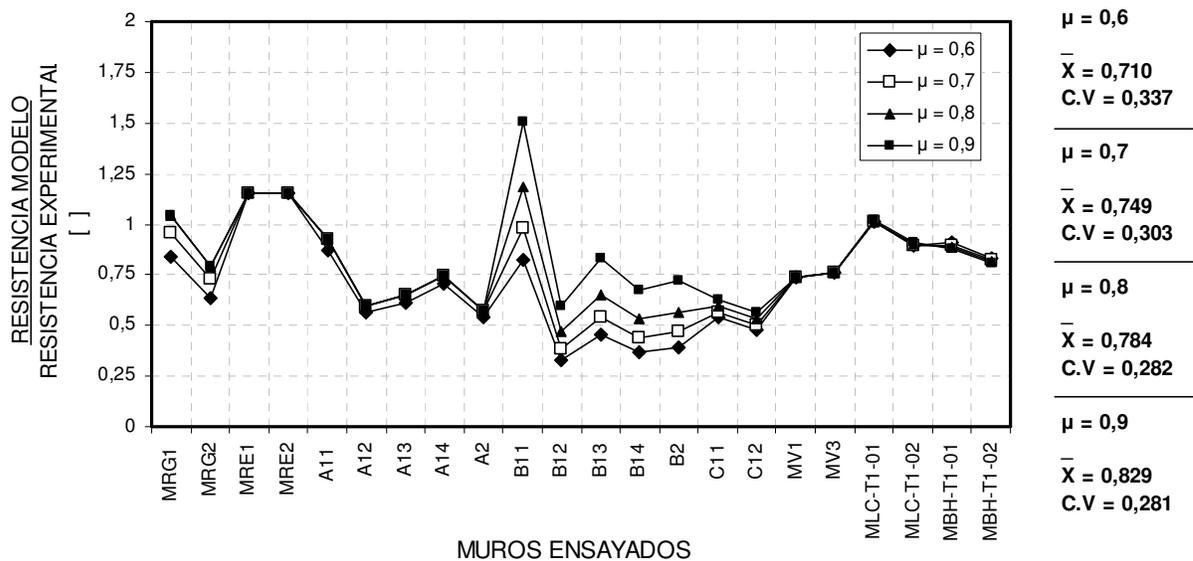
En las figuras C.3 y C.4 se muestra el efecto de la variación del coeficiente de fricción en el valor de la resistencia al corte calculado con el Modelo de Crisafulli. En las Tablas C.6, C.7, C.8,

C.9, C.10 y C.11 se detallan los cálculos realizados, destacándose con sombreado los valores con que se construyeron las figuras.

El análisis de los resultados, puede ser revisado en la sección 4.3 de esta memoria.



**Figura C.3** Resistencia al corte de los muros de albañilería confinada según el modelo de Crisafulli (1997). Efecto de la variación del coeficiente de fricción mortero-unidad  $\mu$ .



**Figura C.4** Razón entre la resistencia al corte del muro de albañilería confinada determinada con el modelo de Crisafulli (1997) y la carga de agrietamiento por corte diagonal obtenida en los ensayos. Efecto de la variación del coeficiente de fricción mortero-unidad  $\mu$ .

**Tabla C.6** Tensiones para cada modo de falla según el Modelo de Crisafulli (1997). Efecto de la variación del coeficiente de fricción mortero-unidad.

MUROS	$\theta$ [°]	b/d [ ]	$\tau_o$ [MPa]	TENSIONES DE FALLA				
				$\mu = 0,6$	$\mu = 0,7$	$\mu = 0,8$	$\mu = 0,9$	TD [MPa]
				AD [MPa]	AD [MPa]	AD [MPa]	AD [MPa]	
MRG1	47,8	0,25	0,405	1,447	1,658	1,949	2,362	1,8
MRG2	47,8	0,25	0,405	1,447	1,658	1,949	2,362	1,8
MRE1	70	0,25	0,405	*	*	*	*	3,771
MRE2	70	0,25	0,405	*	*	*	*	3,771
A11	47,8	0,25	0,405	1,447	1,658	1,949	2,362	1,529
A12	47,8	0,25	0,405	1,447	1,658	1,949	2,362	1,529
A13	47,8	0,25	0,405	1,447	1,658	1,949	2,362	1,529
A14	47,8	0,25	0,405	1,447	1,658	1,949	2,362	1,529
A2	47,8	0,25	0,405	1,447	1,658	1,949	2,362	1,529
B11	47,8	0,21	0,123	0,467	0,553	0,667	0,850	0,896
B12	47,8	0,21	0,123	0,467	0,553	0,667	0,850	0,896
B13	47,8	0,21	0,123	0,467	0,553	0,667	0,850	0,896
B14	47,8	0,21	0,123	0,467	0,553	0,667	0,850	0,896
B2	47,8	0,21	0,123	0,467	0,553	0,667	0,850	0,896
C11	47,8	0,5	0,38	0,969	1,013	1,066	1,119	3,046
C12	47,8	0,48	0,38	0,990	1,044	1,101	1,167	1,504
MV1	48,3	0,25	0,471	1,718	1,986	2,353	2,897	1,175
MV3	51,7	0,25	0,471	2,080	2,569	3,364	4,895	1,228
MLC-T1-01	32	0,39	0,56	1,278	1,281	1,286	1,294	1,574
MLC-T1-02	32	0,39	0,56	1,278	1,281	1,286	1,294	1,574
MBH-T1-01	31,6	0,49	0,38	0,795	0,786	0,776	0,770	2,365
MBH-T1-02	31,6	0,49	0,38	0,795	0,786	0,776	0,770	2,365

**Tabla C.7** Modo de falla que controla según el Modelo de Crisafulli (1997) y resistencia a la compresión del puntal. Efecto de la variación del coeficiente de fricción mortero-unidad.

MUROS	Si $\mu = 0,6$		Si $\mu = 0,7$		Si $\mu = 0,8$		Si $\mu = 0,9$		$A_{ms}$ [mm <sup>2</sup> ]	$\mu = 0,6$	$\mu = 0,7$	$\mu = 0,8$	$\mu = 0,9$
	$f'_{m0}$ [MPa]		$f'_{m0}$ [MPa]		$f'_{m0}$ [MPa]		$f'_{m0}$ [MPa]			$R_c$ [kN]	$R_c$ [kN]	$R_c$ [kN]	$R_c$ [kN]
MRG1	1,447	AD	1,658	AD	1,800	TD	1,800	TD	103468	149,75	171,57	186,24	186,24
MRG2	1,447	AD	1,658	AD	1,800	TD	1,800	TD	103468	149,75	171,57	186,24	186,24
MRE1	3,771	TD	3,771	TD	3,771	TD	3,771	TD	81465	307,20	307,20	307,20	307,20
MRE2	3,771	TD	3,771	TD	3,771	TD	3,771	TD	81465	307,20	307,20	307,20	307,20
A11	1,447	AD	1,529	TD	1,529	TD	1,529	TD	104285	150,93	159,45	159,45	159,45
A12	1,447	AD	1,529	TD	1,529	TD	1,529	TD	104285	150,93	159,45	159,45	159,45
A13	1,447	AD	1,529	TD	1,529	TD	1,529	TD	104285	150,93	159,45	159,45	159,45
A14	1,447	AD	1,529	TD	1,529	TD	1,529	TD	104285	150,93	159,45	159,45	159,45
A2	1,447	AD	1,529	TD	1,529	TD	1,529	TD	104285	150,93	159,45	159,45	159,45
B11	0,467	AD	0,553	AD	0,667	AD	0,850	AD	115955	54,17	64,13	77,34	98,59
B12	0,467	AD	0,553	AD	0,667	AD	0,850	AD	115955	54,17	64,13	77,34	98,59
B13	0,467	AD	0,553	AD	0,667	AD	0,850	AD	115955	54,17	64,13	77,34	98,59
B14	0,467	AD	0,553	AD	0,667	AD	0,850	AD	115955	54,17	64,13	77,34	98,59
B2	0,467	AD	0,553	AD	0,667	AD	0,850	AD	115955	54,17	64,13	77,34	98,59
C11	0,969	AD	1,013	AD	1,066	AD	1,119	AD	103988	100,75	105,38	110,87	116,33
C12	0,990	AD	1,044	AD	1,101	AD	1,167	AD	103988	102,95	108,52	114,52	121,34
MV1	1,175	TD	1,175	TD	1,175	TD	1,175	TD	94697	111,27	111,27	111,27	111,27
MV3	1,228	TD	1,228	TD	1,228	TD	1,228	TD	90191	110,76	110,76	110,76	110,76
MLC-T1-01	1,278	AD	1,281	AD	1,286	AD	1,294	AD	132076	168,80	169,23	169,80	170,85
MLC-T1-02	1,278	AD	1,281	AD	1,286	AD	1,294	AD	132076	168,80	169,23	169,80	170,85
MBH-T1-01	0,795	AD	0,786	AD	0,776	AD	0,770	AD	135449	107,68	106,43	105,13	104,27
MBH-T1-02	0,795	AD	0,786	AD	0,776	AD	0,770	AD	135449	107,68	106,43	105,13	104,27

**Tabla C.8** Resistencia al corte del muro de albañilería confinada según el Modelo de Crisafulli (1997), cuando se considera un coeficiente de fricción mortero-unidad igual a 0,6.

Muro	$\theta$ [deg]	$R_c$ [ kN ]	$V_c$ [ kN ]	T [ kN ]	$T_y$ [ kN ]	$V_y$ [ kN ]	V [ kN ]	$V_e$ [ kN ]	V / $V_e$ [ ]
MRG1	47,8	149,75	100,59	110,93	190,00	172,28	100,59	120,00	0,838
MRG2	47,8	149,75	100,59	110,93	190,00	172,28	100,59	158,00	0,637
MRE1	70	307,20	105,07	288,68	190,00	69,16	69,16	60,00	1,153
MRE2	70	307,20	105,07	288,68	190,00	69,16	69,16	60,00	1,153
A11	47,8	150,93	101,38	111,81	190,00	172,28	101,38	116,00	0,874
A12	47,8	150,93	101,38	111,81	196,00	177,72	101,38	180,00	0,563
A13	47,8	150,93	101,38	111,81	201,99	183,16	101,38	165,00	0,614
A14	47,8	150,93	101,38	111,81	201,99	183,16	101,38	144,00	0,704
A2	47,8	150,93	101,38	111,81	196,00	177,72	101,38	186,00	0,545
B11	47,8	54,17	36,39	40,13	131,95	119,64	36,39	44,00	0,827
B12	47,8	54,17	36,39	40,13	146,81	133,12	36,39	111,00	0,328
B13	47,8	54,17	36,39	40,13	146,81	133,12	36,39	80,00	0,455
B14	47,8	54,17	36,39	40,13	146,81	133,12	36,39	98,00	0,371
B2	47,8	54,17	36,39	40,13	139,38	126,38	36,39	92,00	0,396
C11	47,8	100,75	67,68	74,64	143,58	130,19	67,68	125,00	0,541
C12	47,8	102,95	69,15	76,27	143,58	130,19	69,15	145,00	0,477
MV1	48,3	111,27	74,02	83,08	190,00	169,29	74,02	100,70	0,735
MV3	51,7	110,76	68,64	86,92	190,00	150,06	68,64	90,60	0,758
MLC-T1-01	32	168,80	143,15	89,45	131,95	211,16	143,15	142,00	1,008
MLC-T1-02	32	168,80	143,15	89,45	131,95	211,16	143,15	160,00	0,895
MBH-T1-01	31,6	107,68	91,72	56,42	131,95	214,48	91,72	101,00	0,908
MBH-T1-02	31,6	107,68	91,72	56,42	131,95	214,48	91,72	110,00	0,834

**Tabla C.9** Resistencia al corte del muro de albañilería confinada según el Modelo de Crisafulli (1997), cuando se considera un coeficiente de fricción mortero-unidad igual a 0,7.

Muro	$\theta$ [deg]	$R_c$ [ kN ]	$V_c$ [ kN ]	T [ kN ]	$T_y$ [ kN ]	$V_y$ [ kN ]	V [ kN ]	$V_e$ [ kN ]	V / $V_e$ [ ]
MRG1	47,8	171,57	115,25	127,10	190,00	172,28	115,25	120,00	0,960
MRG2	47,8	171,57	115,25	127,10	190,00	172,28	115,25	158,00	0,729
MRE1	70	307,20	105,07	288,68	190,00	69,16	69,16	60,00	1,153
MRE2	70	307,20	105,07	288,68	190,00	69,16	69,16	60,00	1,153
A11	47,8	159,45	107,11	118,12	190,00	172,28	107,11	116,00	0,923
A12	47,8	159,45	107,11	118,12	196,00	177,72	107,11	180,00	0,595
A13	47,8	159,45	107,11	118,12	201,99	183,16	107,11	165,00	0,649
A14	47,8	159,45	107,11	118,12	201,99	183,16	107,11	144,00	0,744
A2	47,8	159,45	107,11	118,12	196,00	177,72	107,11	186,00	0,576
B11	47,8	64,13	43,08	47,51	131,95	119,64	43,08	44,00	0,979
B12	47,8	64,13	43,08	47,51	146,81	133,12	43,08	111,00	0,388
B13	47,8	64,13	43,08	47,51	146,81	133,12	43,08	80,00	0,539
B14	47,8	64,13	43,08	47,51	146,81	133,12	43,08	98,00	0,440
B2	47,8	64,13	43,08	47,51	139,38	126,38	43,08	92,00	0,468
C11	47,8	105,38	70,78	78,06	143,58	130,19	70,78	125,00	0,566
C12	47,8	108,52	72,90	80,40	143,58	130,19	72,90	145,00	0,503
MV1	48,3	111,27	74,02	83,08	190,00	169,29	74,02	100,70	0,735
MV3	51,7	110,76	68,64	86,92	190,00	150,06	68,64	90,60	0,758
MLC-T1-01	32	169,23	143,52	89,68	131,95	211,16	143,52	142,00	1,011
MLC-T1-02	32	169,23	143,52	89,68	131,95	211,16	143,52	160,00	0,897
MBH-T1-01	31,6	106,43	90,65	55,77	131,95	214,48	90,65	101,00	0,897
MBH-T1-02	31,6	106,43	90,65	55,77	131,95	214,48	90,65	110,00	0,824

**Tabla C.10** Resistencia al corte del muro de albañilería confinada según el Modelo de Crisafulli (1997), cuando se considera coeficiente de fricción mortero-unidad igual a 0,8.

Muro	$\theta$ [deg]	$R_c$ [ kN ]	$V_c$ [ kN ]	$T$ [ kN ]	$T_y$ [ kN ]	$V_y$ [ kN ]	$V$ [ kN ]	$V_e$ [ kN ]	$V / V_e$ [ ]
MRG1	47,8	186,24	125,10	137,97	190,00	172,28	125,10	120	1,043
MRG2	47,8	186,24	125,10	137,97	190,00	172,28	125,10	158	0,792
MRE1	70	307,20	105,07	288,68	190,00	69,16	69,16	60	1,153
MRE2	70	307,20	105,07	288,68	190,00	69,16	69,16	60	1,153
A11	47,8	159,45	107,11	118,12	190,00	172,28	107,11	116	0,923
A12	47,8	159,45	107,11	118,12	196,00	177,72	107,11	180	0,595
A13	47,8	159,45	107,11	118,12	201,99	183,16	107,11	165	0,649
A14	47,8	159,45	107,11	118,12	201,99	183,16	107,11	144	0,744
A2	47,8	159,45	107,11	118,12	196,00	177,72	107,11	186	0,576
B11	47,8	77,34	51,95	57,29	131,95	119,64	51,95	44	1,181
B12	47,8	77,34	51,95	57,29	146,81	133,12	51,95	111	0,468
B13	47,8	77,34	51,95	57,29	146,81	133,12	51,95	80	0,649
B14	47,8	77,34	51,95	57,29	146,81	133,12	51,95	98	0,530
B2	47,8	77,34	51,95	57,29	139,38	126,38	51,95	92	0,565
C11	47,8	110,87	74,48	82,14	143,58	130,19	74,48	125	0,596
C12	47,8	114,52	76,93	84,84	143,58	130,19	76,93	145	0,531
MV1	48,3	111,27	74,02	83,08	190,00	169,29	74,02	100,7	0,735
MV3	51,7	110,76	68,64	86,92	190,00	150,06	68,64	90,6	0,758
MLC-T1-01	32	169,80	144,00	89,98	131,95	211,16	144,00	142	1,014
MLC-T1-02	32	169,80	144,00	89,98	131,95	211,16	144,00	160	0,900
MBH-T1-01	31,6	105,13	89,55	55,09	131,95	214,48	89,55	101	0,887
MBH-T1-02	31,6	105,13	89,55	55,09	131,95	214,48	89,55	110	0,814

**Tabla C.11** Resistencia al corte del muro de albañilería confinada según el Modelo de Crisafulli (1997), cuando se considera coeficiente de fricción mortero-unidad igual a 0,9.

Muro	$\theta$ [deg]	$R_c$ [ kN ]	$V_c$ [ kN ]	$T$ [ kN ]	$T_y$ [ kN ]	$V_y$ [ kN ]	$V$ [ kN ]	$V_e$ [ kN ]	$V / V_e$ [ ]
MRG1	47,8	186,24	125,10	137,97	190,00	172,28	125,10	120	1,043
MRG2	47,8	186,24	125,10	137,97	190,00	172,28	125,10	158	0,792
MRE1	70	307,20	105,07	288,68	190,00	69,16	69,16	60	1,153
MRE2	70	307,20	105,07	288,68	190,00	69,16	69,16	60	1,153
A11	47,8	159,45	107,11	118,12	190,00	172,28	107,11	116	0,923
A12	47,8	159,45	107,11	118,12	196,00	177,72	107,11	180	0,595
A13	47,8	159,45	107,11	118,12	201,99	183,16	107,11	165	0,649
A14	47,8	159,45	107,11	118,12	201,99	183,16	107,11	144	0,744
A2	47,8	159,45	107,11	118,12	196,00	177,72	107,11	186	0,576
B11	47,8	98,59	66,22	73,03	131,95	119,64	66,22	44	1,505
B12	47,8	98,59	66,22	73,03	146,81	133,12	66,22	111	0,597
B13	47,8	98,59	66,22	73,03	146,81	133,12	66,22	80	0,828
B14	47,8	98,59	66,22	73,03	146,81	133,12	66,22	98	0,676
B2	47,8	98,59	66,22	73,03	139,38	126,38	66,22	92	0,720
C11	47,8	116,33	78,14	86,18	143,58	130,19	78,14	125	0,625
C12	47,8	121,34	81,50	89,89	143,58	130,19	81,50	145	0,562
MV1	48,3	111,27	74,02	83,08	190,00	169,29	74,02	100,7	0,735
MV3	51,7	110,76	68,64	86,92	190,00	150,06	68,64	90,6	0,758
MLC-T1-01	32	170,85	144,89	90,53	131,95	211,16	144,89	142	1,020
MLC-T1-02	32	170,85	144,89	90,53	131,95	211,16	144,89	160	0,906
MBH-T1-01	31,6	104,27	88,81	54,64	131,95	214,48	88,81	101	0,879
MBH-T1-02	31,6	104,27	88,81	54,64	131,95	214,48	88,81	110	0,807

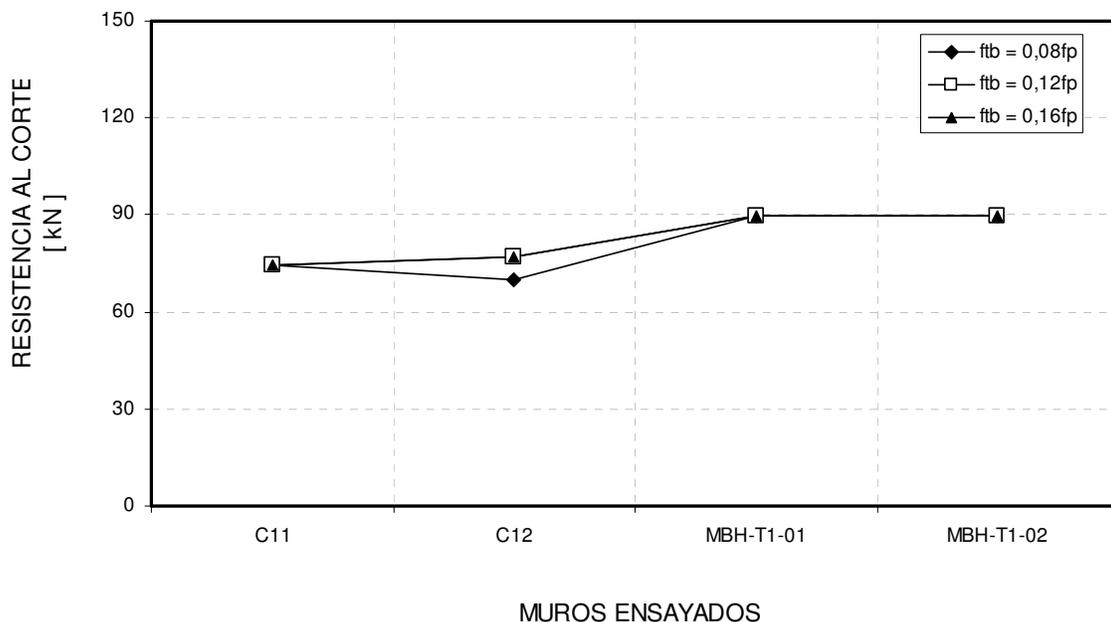
De los resultados se puede destacar que la variación del factor de fricción en unidades construidas a maquina (ladrillos tipo rejilla y bloques de hormigón) posee un bajo efecto sobre la estimación de la resistencia lateral de los muros. Sin embargo, en unidades de baja adherencia unitaria como los ladrillos artesanales, la variación del coeficiente de fricción mortero-unidad genera cambios significativos en la estimación de resistencia.

Una discusión mas detallada de estos resultados es posible encontrarla en la sección 4.3 de esta memoria.

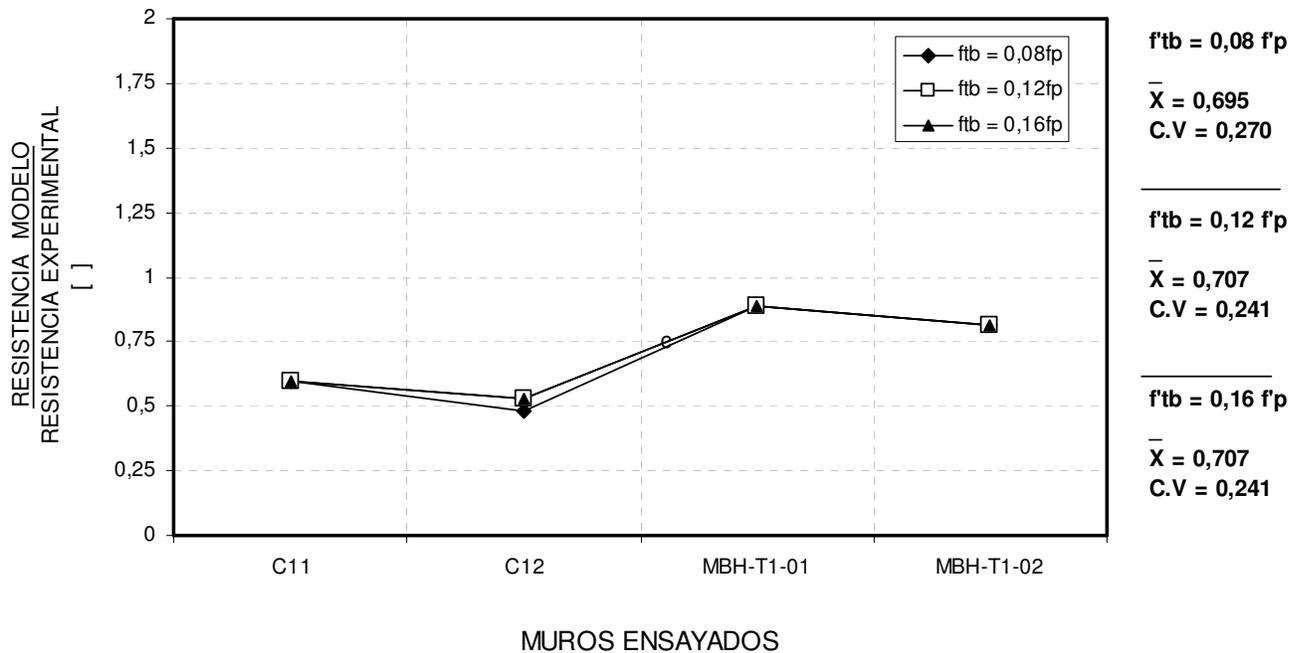
### C.2.3 Efecto de la resistencia a la tracción de la unidad ( $f_{bt}$ )

- a) **Bloques de hormigón:** Según los resultados experimentales, la razón entre la resistencia a la tracción de los bloques de hormigón y la resistencia a la compresión de estas unidades varía entre 0.08 y 0.16 (Drysdale y Hamid, 2008). Teniendo en cuenta estos valores, el estudio de sensibilidad se realiza considerando tres valores de la resistencia a la tracción del bloque:  $0.08 f_p$ ,  $0.12 f_p$  y  $0.16 f_p$ .

En la figura C.5 y C.6 se muestra el efecto de la variación de la resistencia a la tracción de este tipo de unidad en el valor de la resistencia lateral calculada con el Modelo de Crisafulli para cada una de los bloques de hormigón usados en los ensayos seleccionados. En las Tablas C.12, C.13, C.14 y C.15 se detallan los cálculos realizados,



**Figura C.5** Resistencia al corte de los muros de albañilería confinada según el Modelo de Crisafulli (1997). Efecto de la variación de la resistencia a la tracción del bloque de hormigón.



**Figura C.6** Razón entre la resistencia al corte del muro de albañilería confinada determinada con el Modelo de Crisafulli (1997) y la carga de agrietamiento por corte diagonal obtenida en los ensayos. Efecto de la variación de la resistencia a la tracción del bloque de hormigón.

**Tabla C.12** Tensiones para cada modo de falla según el Modelo de Crisafulli (1997). Efecto de la variación de la resistencia a la tracción del bloque de hormigón.

MUROS	$\theta$ [°]	b/d [ ]	$\tau_o$ [MPa]	$\mu$ [ ]	AD [MPa]	TENSIONES DE FALLA		
						0,08 $f_p$ TD [MPa]	0,12 $f_p$ TD [MPa]	0,16 $f_p$ TD [MPa]
C11	47,8	0,5	0,38	0,8	1,066	2,031	3,046	4,061
C12	47,8	0,48	0,38	0,8	1,101	1,003	1,504	2,006
MBH-T1-01	31,6	0,49	0,38	0,8	0,776	1,576	2,365	3,154
MBH-T1-02	31,6	0,49	0,38	0,8	0,776	1,576	2,365	3,154

**Tabla C.13** Modo de falla que controla según el Modelo de Crisafulli (1997) y resistencia a la compresión del puntal. Efecto de la variación de la resistencia a la tracción del bloque de hormigón.

MUROS	0,08 $f_p$		0,12 $f_p$		0,16 $f_p$		$A_{ms}$ [mm <sup>2</sup> ]	0,08 $f_p$	0,12 $f_p$	0,16 $f_p$
	$f'_{m0}$ [MPa]		$f'_{m0}$ [MPa]		$f'_{m0}$ [MPa]			$R_c$ [kN]	$R_c$ [kN]	$R_c$ [kN]
C11	1,066	AD	1,066	AD	1,066	AD	103988	110,85	110,85	110,85
C12	1,003	TD	1,101	AD	1,101	AD	103988	104,30	114,52	114,52
MBH-T1-01	0,776	AD	0,776	AD	0,776	AD	135449	105,11	105,11	105,11
MBH-T1-02	0,776	AD	0,776	AD	0,776	AD	135449	105,11	105,11	105,11

**Tabla C.14** Resistencia al corte del muro de albañilería confinada según el Modelo de Crisafulli (1997), cuando se considera una resistencia a la tracción del bloque de hormigón igual al 8% de la resistencia a la compresión de la unidad.

Muro	$\theta$ [deg]	$R_c$ [kN]	$V_c$ [kN]	$T$ [kN]	$T_y$ [kN]	$V_y$ [kN]	$V$ [kN]	$V_e$ [kN]	$V / V_e$ [ ]
C11	47,8	110,85	74,46	82,12	143,58	130,19	74,46	125	0,596
C12	47,8	104,30	70,06	77,27	143,58	130,19	70,06	145	0,483
MBH-T1-01	31,6	105,11	89,52	55,08	131,95	214,48	89,52	101	0,886
MBH-T1-02	31,6	105,11	89,52	55,08	131,95	214,48	89,52	110	0,814

**Tabla C.15** Resistencia al corte del muro de albañilería confinada según el Modelo de Crisafulli (1997), cuando se considera una resistencia a la tracción del bloque de hormigón igual al 12% y 16% de la resistencia a la compresión de la unidad.

Muro	$\theta$ [deg]	$R_c$ [kN]	$V_c$ [kN]	$T$ [kN]	$T_y$ [kN]	$V_y$ [kN]	$V$ [kN]	$V_e$ [kN]	$V / V_e$ [ ]
C11	47,8	110,85	74,46	82,12	143,58	130,19	74,46	125	0,596
C12	47,8	114,52	76,93	84,84	143,58	130,19	76,93	145	0,531
MBH-T1-01	31,6	105,11	89,52	55,08	131,95	214,48	89,52	101	0,886
MBH-T1-02	31,6	105,11	89,52	55,08	131,95	214,48	89,52	110	0,814

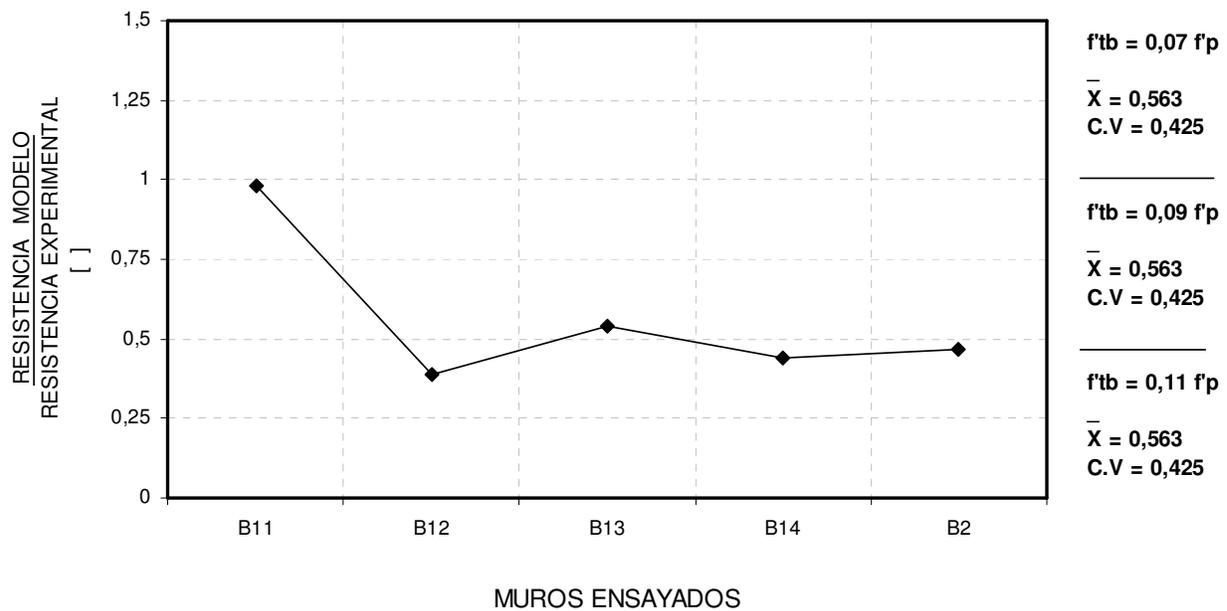
Del análisis realizado se puede observar que la variación de la resistencia a la tracción de las unidades de bloques de hormigón Tipo A (C11, MBH-T1-01, MBH, T1-01) no tiene efecto sobre la estimación de la resistencia al corte, debido a que en estos muros las unidades poseen una alta resistencia a la tracción y una menor adherencia unitaria, por lo tanto, se mantiene el modo de falla por adherencia.

En cambio, en la unidad de bloque de hormigón Tipo B (Muro C12) se observa una variación al reducir la resistencia a la tracción de la unidad debido a que se disminuye la resistencia a la tracción y se genera una falla por tracción diagonal en el muro.

- b) **Unidades cerámicas macizas (ladrillo fiscal):** Como se indicó en el Capítulo 3, Francis (1972) destaca que para estas unidades la resistencia a la tracción es del orden del 9% de su resistencia a la compresión. Otros autores (Crisafulli, 1997), recomiendan un porcentaje menor (7%) y el valor más comúnmente utilizado es de un 10%.

Teniendo en cuenta estos valores, el estudio de sensibilidad se realiza considerando 3 valores de esta resistencia a la tracción: 0.07 fp, 0.09 fp y 0.11 fp.

En la figura C.7 se muestra el efecto de la variación de la resistencia a la tracción de este tipo de unidad en el valor de la resistencia al corte calculada con el modelo de Crisafulli para la unidad usada en los ensayos seleccionados. En las Tablas C.16, C.17 y C.18 se detallan los cálculos realizados,



**Figura C.7** Razón entre la resistencia al corte del muro de albañilería confinada determinada con el modelo de Crisafulli (1997) y la carga de agrietamiento por corte diagonal obtenida en los ensayos. Efecto de la variación de la resistencia a la tracción de la unidad cerámica maciza.

**Tabla C.16** Tensiones para cada modo de falla según el Modelo de Crisafulli (1997). Efecto de la variación de la resistencia a la tracción de la unidad cerámica maciza.

MUROS	$\theta$ [°]	b/d [ ]	$\tau_o$ [MPa]	$\mu$ [ ]	TENSIONES DE FALLA			
					AD [MPa]	0,07 $f_p$		
						TD [MPa]	TD [MPa]	TD [MPa]
B11	47,8	0,21	0,123	0,7	0,553	0,694	0,893	1,091
B12	47,8	0,21	0,123	0,7	0,553	0,694	0,893	1,091
B13	47,8	0,21	0,123	0,7	0,553	0,694	0,893	1,091
B14	47,8	0,21	0,123	0,7	0,553	0,694	0,893	1,091
B2	47,8	0,21	0,123	0,7	0,553	0,694	0,893	1,091

**Tabla C.17** Modo de falla que controla según el Modelo de Crisafulli (1997) y resistencia a la compresión del puntal. Efecto de la variación de la resistencia a la tracción de la unidad cerámica maciza.

MUROS	0,07 $f_p$		0,09 $f_p$		0,11 $f_p$		$A_{ms}$ [mm <sup>2</sup> ]	0,07 $f_p$		0,09 $f_p$		0,11 $f_p$	
	$f'_{m0}$ [MPa]	AD	$f'_{m0}$ [MPa]	AD	$f'_{m0}$ [MPa]	AD		$R_c$ [kN]	$R_c$ [kN]	$R_c$ [kN]	$R_c$ [kN]	$R_c$ [kN]	$R_c$ [kN]
B12	0,553	AD	0,553	AD	0,553	AD	115955	64,123	64,123	64,123	64,123		
B13	0,553	AD	0,553	AD	0,553	AD	115955	64,123	64,123	64,123	64,123		
B14	0,553	AD	0,553	AD	0,553	AD	115955	64,123	64,123	64,123	64,123		
B2	0,553	AD	0,553	AD	0,553	AD	115955	64,123	64,123	64,123	64,123		

**Tabla C.18** Resistencia al corte del muro de albañilería confinada según el Modelo de Crisafulli (1997), cuando se considera una resistencia a la tracción de la unidad cerámica maciza igual al 7%, 9% y 11% de su resistencia a la compresión.

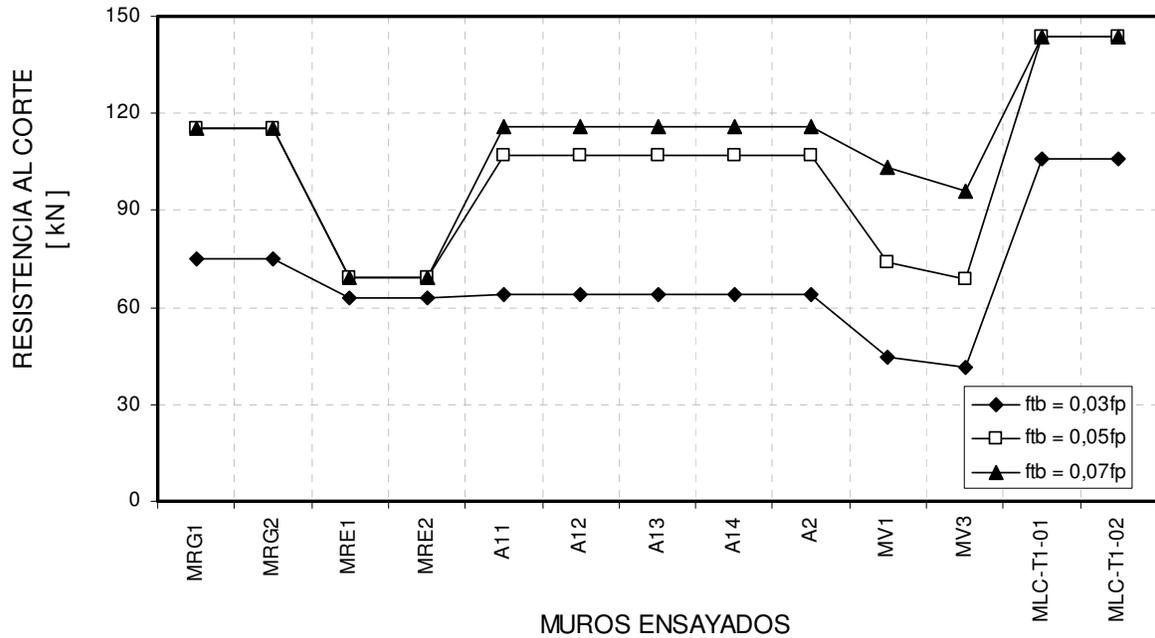
Muro	$\theta$ [deg]	$R_c$ [ kN ]	$V_c$ [ kN ]	$T$ [ kN ]	$T_y$ [ kN ]	$V_y$ [ kN ]	$V$ [ kN ]	$V_e$ [ kN ]	$V / V_e$ [ ]
B11	47,8	64,12	43,07	47,50	131,95	119,64	43,07	44,0	0,979
B12	47,8	64,12	43,07	47,50	146,81	133,12	43,07	111,0	0,388
B13	47,8	64,12	43,07	47,50	146,81	133,12	43,07	80,0	0,538
B14	47,8	64,12	43,07	47,50	146,81	133,12	43,07	98,0	0,440
B2	47,8	64,12	43,07	47,50	139,38	126,38	43,07	92,0	0,468

Como comentario a los resultados entregados en este análisis se observa que el valor de la resistencia a la tracción de la unidad no influye en la estimación de la resistencia lateral los muros de la serie B entregada por la aplicación del Modelo de Crisafulli (1997). Esto se debe a que por su bajo valor de adherencia unitaria (0,123 MPa) todas las fallas estimadas por el modelo en los muros de la serie B son por adherencia, en cada uno de los casos analizados.

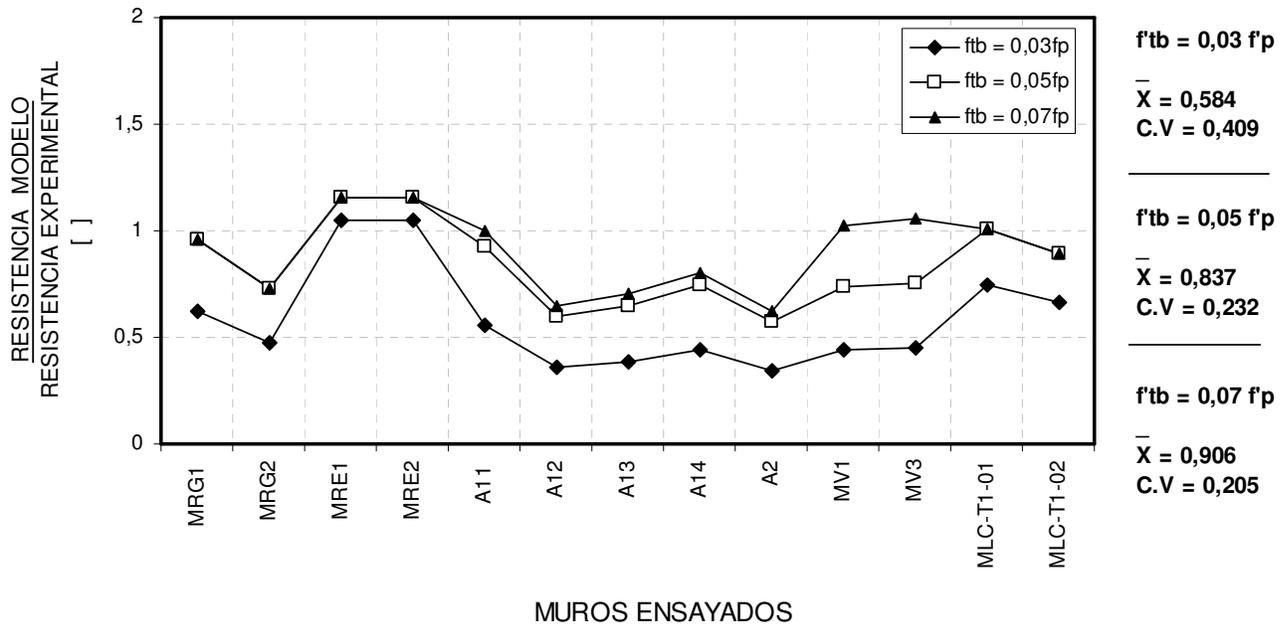
- c) **Unidades cerámicas hechas a máquina del tipo rejilla con huecos:** Según los antecedentes entregados en el Capítulo 3, la resistencia a la tracción de este tipo de unidad se puede estimar como un 5% de la resistencia a la compresión aún cuando algunos autores como Thomas (1972) recomiendan usar un 9%. Sin embargo, esos porcentajes corresponden a unidades de alta resistencia si se comparan con las unidades de fabricación local.

Por otra parte, Mann y Müller (1982) recomiendan usar un valor tan bajo como un 2.5%. Teniendo en cuenta estos valores, el estudio de sensibilidad se realiza considerando tres valores de esta resistencia: 0.03 fp, 0.05 fp y 0.07 fp.

En las figuras C.8 y C.9 se muestra el efecto de la variación de la resistencia a la tracción de este tipo de unidad en el valor de la resistencia al corte calculada con el modelo de Crisafulli para las unidades usadas en los ensayos seleccionados. En las Tablas C.19, C.20, C.21, C.22 y C.23 se detallan los cálculos realizados,



**Figura C.8** Resistencia al corte de los muros de albañilería confinada según el Modelo de Crisafulli (1997). Efecto de la variación de la resistencia a la tracción de las unidades cerámicas con huecos.



**Figura C.9** Razón entre la resistencia al corte del muro de albañilería confinada determinada con el modelo de Crisafulli (1997) y la carga de agrietamiento por corte diagonal obtenida en los ensayos. Efecto de la variación de la resistencia a la tracción de las unidades cerámicas con huecos.

**Tabla C.19** Tensiones para cada modo de falla según el Modelo de Crisafulli (1997). Efecto de la variación de la resistencia a la tracción de la unidad cerámica con huecos.

MUROS	$\theta$ [°]	b/d [ ]	$\tau_0$ [MPa]	$\mu$ [ ]	TENSIONES DE FALLA			
					AD	0,03 $f_p$	0,04 $f_p$	0,05 $f_p$
					[MPa]	TD [MPa]	TD [MPa]	TD [MPa]
MRG1	47,8	0,25	0,405	0,7	1,658	1,08	1,8	2,521
MRG2	47,8	0,25	0,405	0,7	1,658	1,08	1,8	2,521
MRE1	70	0,25	0,405	0,7	*	2,263	3,771	5,28
MRE2	70	0,25	0,405	0,7	*	2,263	3,771	5,28
A11	47,8	0,25	0,405	0,7	1,658	0,917	1,529	2,14
A12	47,8	0,25	0,405	0,7	1,658	0,917	1,529	2,14
A13	47,8	0,25	0,405	0,7	1,658	0,917	1,529	2,14
A14	47,8	0,25	0,405	0,7	1,658	0,917	1,529	2,14
A2	47,8	0,25	0,405	0,7	1,658	0,917	1,529	2,14
MV1	48,3	0,25	0,471	0,7	1,986	0,705	1,175	1,644
MV3	51,7	0,25	0,471	0,7	2,569	0,737	1,228	1,719
MLC-T1-01	32	0,39	0,56	0,7	1,281	0,944	1,574	2,203
MLC-T1-02	32	0,39	0,56	0,7	1,281	0,944	1,574	2,203

**Tabla C.20** Modo de falla que controla según el Modelo de Crisafulli (1997) y resistencia a la compresión de puntal. Efecto de la variación de la resistencia a la tracción de la unidad cerámica con huecos.

MUROS	0,03 $f_p$		0,05 $f_p$		0,07 $f_p$		$A_{ms}$ [mm <sup>2</sup> ]	0,03 $f_p$	0,05 $f_p$	0,07 $f_p$
	$f'_{m\theta}$ [MPa]		$f'_{m\theta}$ [MPa]		$f'_{m\theta}$ [MPa]			$R_c$ [kN]	$R_c$ [kN]	$R_c$ [kN]
MRG1	1,080	TD	1,658	AD	1,658	AD	103468	111,75	171,55	171,55
MRG2	1,080	TD	1,658	AD	1,658	AD	103468	111,75	171,55	171,55
MRE1	2,263	TD	3,771	TD	5,280	TD	81465	184,36	307,20	430,13
MRE2	2,263	TD	3,771	TD	5,280	TD	81465	184,36	307,20	430,13
A11	0,917	TD	1,529	TD	1,658	AD	104285	95,63	159,45	172,91
A12	0,917	TD	1,529	TD	1,658	AD	104285	95,63	159,45	172,91
A13	0,917	TD	1,529	TD	1,658	AD	104285	95,63	159,45	172,91
A14	0,917	TD	1,529	TD	1,658	AD	104285	95,63	159,45	172,91
A2	0,917	TD	1,529	TD	1,658	AD	104285	95,63	159,45	172,91
MV1	0,705	TD	1,175	TD	1,644	TD	94697	66,76	111,27	155,68
MV3	0,737	TD	1,228	TD	1,719	TD	90191	66,47	110,76	155,04
MLC-T1-01	0,944	TD	1,281	AD	1,281	AD	132076	124,68	169,19	169,19
MLC-T1-02	0,944	TD	1,281	AD	1,281	AD	132076	124,68	169,19	169,19

**Tabla C.21** Resistencia al corte del muro de albañilería confinada según el Modelo de Crisafulli (1997), cuando se considera una resistencia a la tracción de la unidad cerámica con huecos igual al 3% de su resistencia a la compresión.

Muro	$\theta$ [deg]	$R_c$ [ kN ]	$V_c$ [ kN ]	$T$ [ kN ]	$T_y$ [ kN ]	$V_y$ [ kN ]	$V$ [ kN ]	$V_e$ [ kN ]	$V / V_e$ [ ]
MRG1	47,8	111,75	75,06	82,78	190,00	172,28	75,06	120	0,626
MRG2	47,8	111,75	75,06	82,78	190,00	172,28	75,06	158	0,475
MRE1	70	184,36	63,05	173,24	190,00	69,16	63,05	60	1,051
MRE2	70	184,36	63,05	173,24	190,00	69,16	63,05	60	1,051
A11	47,8	95,63	64,24	70,84	190,00	172,28	64,24	116	0,554
A12	47,8	95,63	64,24	70,84	196,00	177,72	64,24	180	0,357
A13	47,8	95,63	64,24	70,84	201,99	183,16	64,24	165	0,389
A14	47,8	95,63	64,24	70,84	201,99	183,16	64,24	144	0,446
A2	47,8	95,63	64,24	70,84	196,00	177,72	64,24	186	0,345
MV1	48,3	66,76	44,41	49,85	190,00	169,29	44,41	100,7	0,441
MV3	51,7	66,47	41,20	52,16	190,00	150,06	41,20	90,6	0,455
MLC-T1-01	32	124,68	105,73	66,07	131,95	211,16	105,73	142	0,745
MLC-T1-02	32	124,68	105,73	66,07	131,95	211,16	105,73	160	0,661

**Tabla C.22** Resistencia al corte del muro de albañilería confinada según el Modelo de Crisafulli (1997), cuando se considera una resistencia a la tracción de la unidad cerámica con huecos igual al 5% de su resistencia a la compresión.

Muro	$\theta$ [deg]	$R_c$ [ kN ]	$V_c$ [ kN ]	$T$ [ kN ]	$T_y$ [ kN ]	$V_y$ [ kN ]	$V$ [ kN ]	$V_e$ [ kN ]	$V / V_e$ [ ]
MRG1	47,8	171,55	115,23	127,09	190,00	172,28	115,23	120	0,960
MRG2	47,8	171,55	115,23	127,09	190,00	172,28	115,23	158	0,729
MRE1	70	307,20	105,07	288,68	190,00	69,16	69,16	60	1,153
MRE2	70	307,20	105,07	288,68	190,00	69,16	69,16	60	1,153
A11	47,8	159,45	107,11	118,12	190,00	172,28	107,11	116	0,923
A12	47,8	159,45	107,11	118,12	196,00	177,72	107,11	180	0,595
A13	47,8	159,45	107,11	118,12	201,99	183,16	107,11	165	0,649
A14	47,8	159,45	107,11	118,12	201,99	183,16	107,11	144	0,744
A2	47,8	159,45	107,11	118,12	196,00	177,72	107,11	186	0,576
MV1	48,3	111,27	74,02	83,08	190,00	169,29	74,02	100,7	0,735
MV3	51,7	110,76	68,64	86,92	190,00	150,06	68,64	90,6	0,758
MLC-T1-01	32	169,19	143,48	89,66	131,95	211,16	143,48	142	1,010
MLC-T1-02	32	169,19	143,48	89,66	131,95	211,16	143,48	160	0,897

**Tabla C.23** Resistencia al corte del muro de albañilería confinada según el Modelo de Crisafulli (1997), cuando se considera una resistencia a la tracción de la unidad cerámica con huecos igual al 7% de su resistencia a la compresión.

Muro	$\theta$ [deg]	$R_c$ [kN]	$V_c$ [kN]	$T$ [kN]	$T_y$ [kN]	$V_y$ [kN]	$V$ [kN]	$V_e$ [kN]	$V / V_e$ [ ]
MRG1	47,8	171,55	115,23	127,09	190,00	172,28	115,23	120	0,960
MRG2	47,8	171,55	115,23	127,09	190,00	172,28	115,23	158	0,729
MRE1	70	430,13	147,11	404,19	190,00	69,16	69,16	60	1,153
MRE2	70	430,13	147,11	404,19	190,00	69,16	69,16	60	1,153
A11	47,8	172,91	116,14	128,09	190,00	172,28	116,14	116	1,001
A12	47,8	172,91	116,14	128,09	196,00	177,72	116,14	180	0,645
A13	47,8	172,91	116,14	128,09	201,99	183,16	116,14	165	0,704
A14	47,8	172,91	116,14	128,09	201,99	183,16	116,14	144	0,807
A2	47,8	172,91	116,14	128,09	196,00	177,72	116,14	186	0,624
MV1	48,3	155,68	103,56	116,24	190,00	169,29	103,56	100,7	1,028
MV3	51,7	155,04	96,09	121,67	190,00	150,06	96,09	90,6	1,061
MLC-T1-01	32	169,19	143,48	89,66	131,95	211,16	143,48	142	1,010
MLC-T1-02	32	169,19	143,48	89,66	131,95	211,16	143,48	160	0,897

De los resultados obtenidos se puede observar que reducir la resistencia a la tracción de las unidades de ladrillo tipo rejilla a  $0,03f_p$  lleva a cambiar el modo de falla de adherencia a tracción diagonal y subestimar considerablemente la capacidad de los muros.

El valor utilizado en la memoria,  $0,05f_p$ , resulta el valor de resistencia a la tracción que mejor se ajusta a las estimaciones.

### C.3 Comentarios

En este Anexo se analizó el efecto de los parámetros experimentales sobre la resistencia lateral estimada mediante el Modelo de Crisafulli (1997), observándose los cambios en las estimaciones que se generan al modificar el valor de los parámetros.

El análisis de los resultados de este estudio de sensibilidad se encuentra en la sección 4.3 de esta memoria.

## ANEXO D

### MODELOS PARA CALCULAR LA RESISTENCIA AL CORTE

En este anexo se aplican distintos modelos para calcular la resistencia al corte de los muros de albañilería confinada ensayados en Chile durante los años 1986 y 2009 con el fin de analizar la calidad de la estimación que entrega cada uno de ellos.

Los modelos que se analizan corresponden al modelo de Stafford Smith y Riddington (1972) y el modelo de Calvi (1992). Además se analizan los resultados que entrega el modelo de Mann y Müller (1982) aplicado al paño de albañilería, con el propósito de analizar la calidad de la estimación que proporciona este modelo y analizar si el modelo de Crisafulli (1997) con las modificaciones hechas al modelo de Mann y Müller es capaz de mejorar la estimación de la resistencia al corte.

#### D.1 Modelo de Stafford Smith y Riddington (1978)

Basándose en la posibilidad de modelar el paño de albañilería como un puntal, Stafford Smith y Riddington proponen un conjunto de expresiones para estimar la capacidad resistente al corte considerando distintos modos de falla en muros conformados por un marco de hormigón relleno con un paño de albañilería.

- *Falla de adherencia:*

La falla se propaga por las juntas de mortero de la albañilería.

$$V_s = \frac{\tau_o \cdot L_m \cdot t}{\left[ 1.43 - \mu \cdot \left( 0.8 \frac{h_m}{L_m} - 0.2 \right) \right]} \quad (D.1)$$

Donde:  $\tau_o$ : adherencia unitaria  
 $\mu$ : coeficiente de fricción mortero-unidad.  
 $h_m$ : altura del paño de albañilería  
 $L_m$ : largo del paño de albañilería.  
 $t$ : ancho del muro

- *Falla por compresión diagonal:*

En este caso se produce un aplastamiento (Trituración) o desprendimiento de las paredes de las unidades ubicadas en las esquinas comprimidas del muro.

$$V_c = 4 \cdot f'_m \cdot \cos^2 \theta \cdot \sqrt[4]{I_c \cdot h_m \cdot t^3} \quad (D.2)$$

Donde:  $f'_m$ : resistencia a la compresión de la albañilería.  
 $\theta$ : inclinación del panel de albañilería.

$I_c$ : inercia del pilar de hormigón armado.

- *Falla por tracción diagonal:*

En el caso de agrietamiento por tracción diagonal, supone que la falla ocurre considerando el valor de la tensión principal de tracción en el centro del paño de albañilería obtenida de un análisis de elementos finitos. Por lo tanto, la resistencia al corte del muro queda definida por la carga de agrietamiento del panel.

$$V_t = 1.72 \cdot A_m \cdot f'_{tm} \quad (D.3)$$

Donde:

$A_m$ : área bruta del paño de albañilería.

$f'_{tm}$ : resistencia a la tracción de la albañilería.

Según Tomazevic (2006) la resistencia a la tracción de la albañilería,  $f'_{tm}$ , se puede calcular como un 3% de la resistencia a la compresión de la albañilería,  $f'_m$ , para albañilerías con resistencias a la compresión similares a las analizadas en esta memoria.

La aplicación de los distintos modelos a los muros ensayados se muestra en las tablas y figuras que se entregan a continuación:

**Tabla D.1** Estimación de la resistencia al corte de muros de albañilería confinada sin carga vertical según el modelo de Stafford Smith y Riddington (1978)

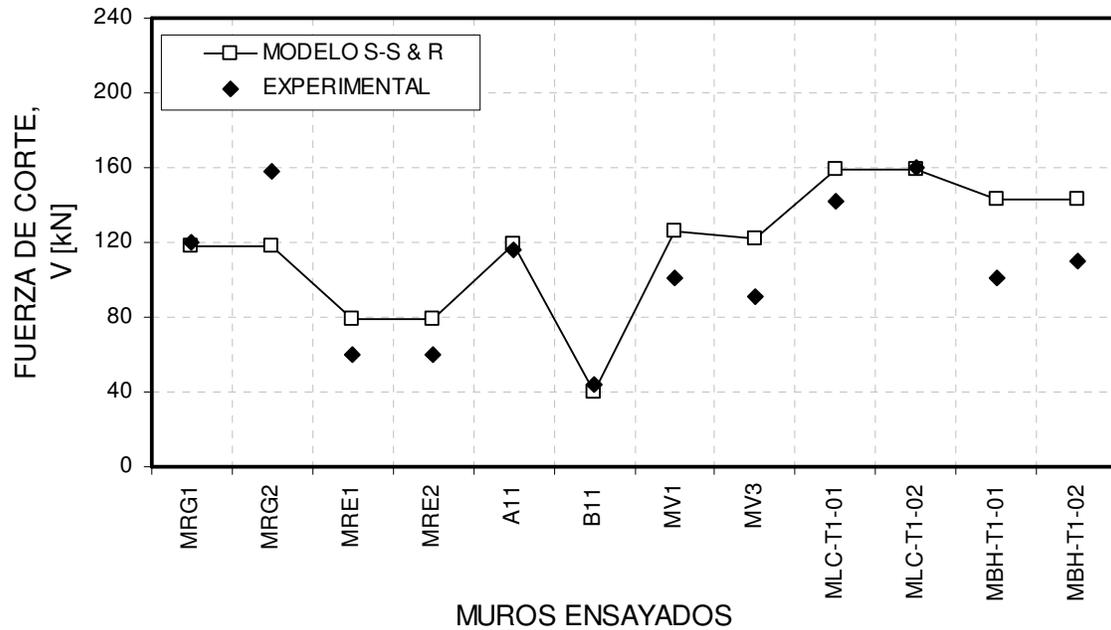
MURO	$V_s$ [kN]	$V_t$ [kN]	$V_c$ [kN]	FALLA	$V$ [kN]	$V_e$ [kN]	$V/V_e$ [ ]
MRG1	118,19	197,67	676,52	AD	118,19	120,0	0,985
MRG2	118,19	197,67	676,52	AD	118,19	158,0	0,748
MRE1	1503,36	79,07	175,39	TD	79,07	60,0	1,318
MRE2	1503,36	79,07	175,39	TD	79,07	60,0	1,318
A11	119,12	176,64	604,56	AD	119,12	116,0	1,027
B11	40,23	47,65	163,09	AD	40,23	44,0	0,914
MV1	126,06	148,63	542,62	AD	126,06	100,7	1,252
MV3	122,25	132,11	638,40	AD	122,25	90,6	1,349
MLC-T1-01	205,64	159,27	530,25	TD	159,28	142,0	1,122
MLC-T1-02	205,64	159,27	530,25	TD	159,28	160,0	0,995
MBH-T1-01	146,79	142,82	475,15	TD	142,82	101,0	1,414
MBH-T1-02	146,79	142,82	475,15	TD	142,82	110,0	1,298

Donde:

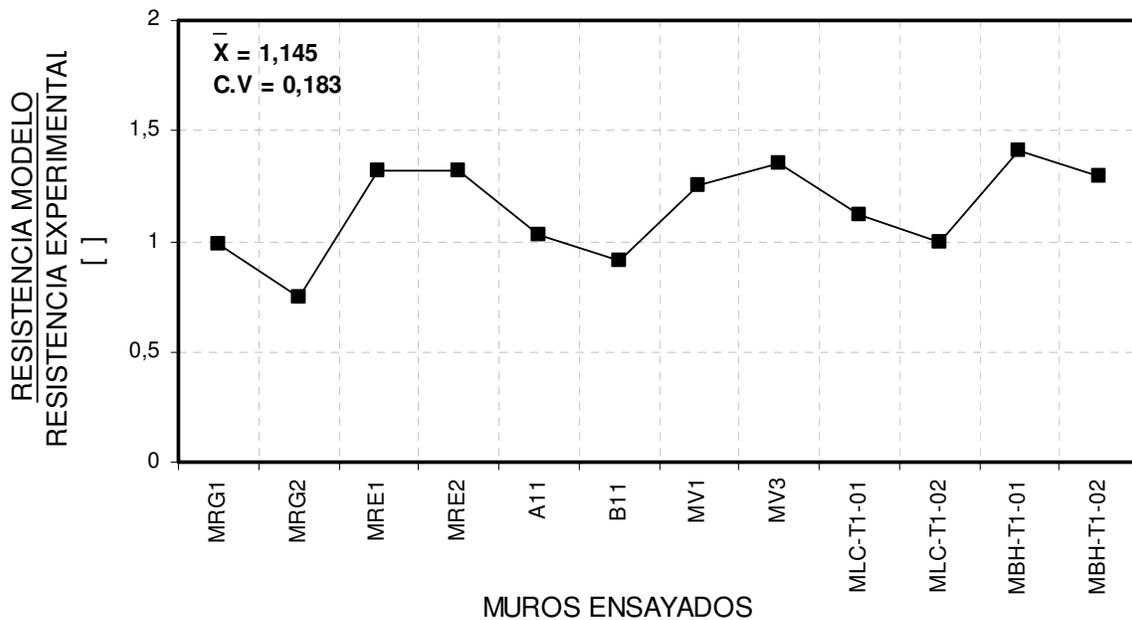
$V_e$ : valor experimental.

AD: Falla por adherencia

TD: Falla por tracción diagonal.



**Figura D.1** Resistencia al corte de los muros de albañilería confinada ensayados sin carga vertical, según el modelo de Stafford Smith y Riddington (1978)



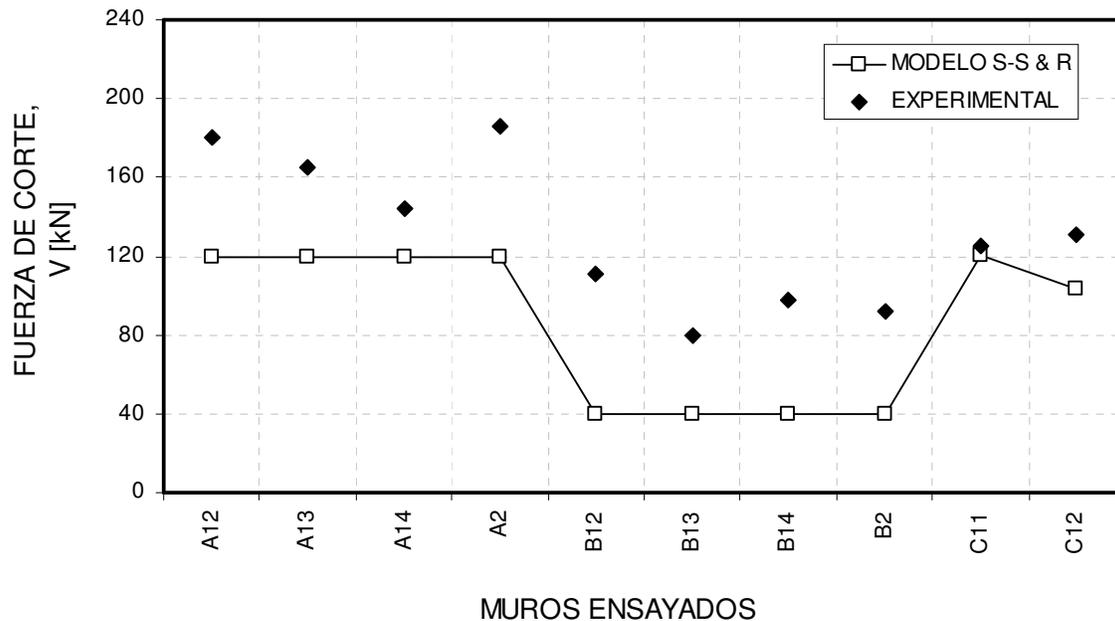
**Figura D.2** Razón entre la estimación de la resistencia al corte de los muros de albañilería confinada ensayados sin carga vertical según el modelo de Stafford Smith y Riddington (1978), y la carga de agrietamiento diagonal primario<sup>1</sup> experimental en el muro.

▪ <sup>1</sup> Carga de primera grieta de corte o de agrietamiento diagonal: Corresponde a la fuerza en que se visualiza el patrón de agrietamiento que se mantendrá hasta el final del ensayo y que define el mecanismo de falla del muro.

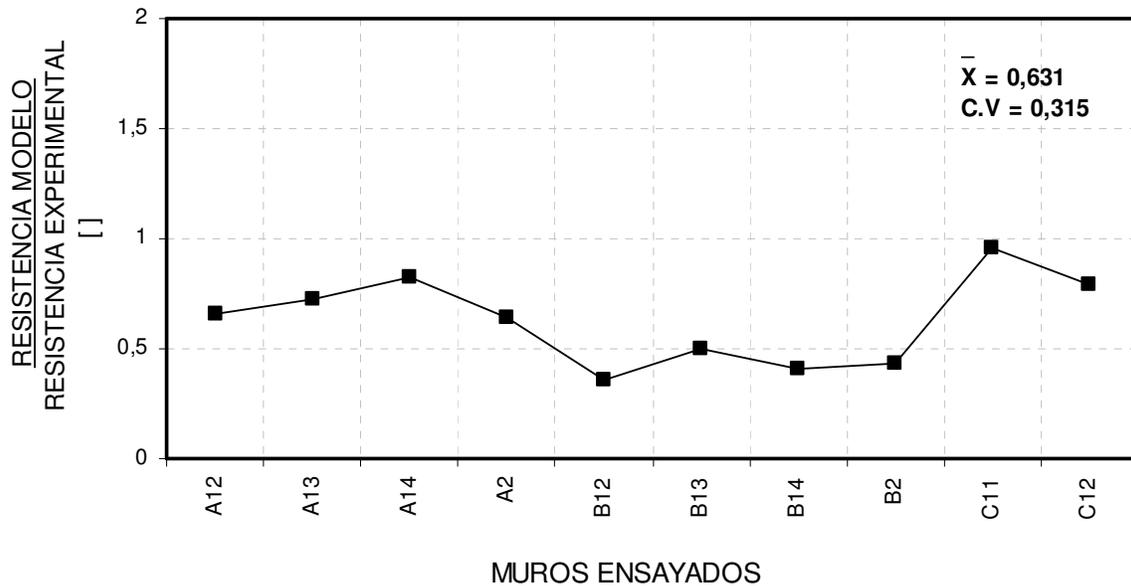
De la aplicación del modelo de Stafford Smith y Riddington (1978) se observa que en el caso de muros sin carga vertical se sobreestima la capacidad de los muros.

**Tabla D.2** Estimación de la resistencia al corte de los muros de albañilería confinada ensayados con carga vertical según el modelo de Stafford Smith y Riddington (1978)

MUROS	$V_s$ [kN]	$V_t$ [kN]	$V_c$ [kN]	FALLA	$V$ [kN]	$V_e$ [kN]	$V/V_e$ [ ]
A12	119,12	176,64	604,56	AD	119,12	180,0	0,662
A13	119,12	176,64	604,56	AD	119,12	165,0	0,722
A14	119,12	176,64	604,56	AD	119,12	144,0	0,827
A2	119,12	176,64	604,56	AD	119,12	186,0	0,640
B12	40,23	47,65	163,09	AD	40,23	111,0	0,362
B13	40,23	47,65	163,09	AD	40,23	80,0	0,503
B14	40,23	47,65	163,09	AD	40,23	98,0	0,410
B2	40,23	47,65	163,09	AD	40,23	92,0	0,437
C11	120,00	131,67	450,64	AD	120,01	125,0	0,960
C12	120,00	103,52	354,29	TD	103,52	131,0	0,790



**Figura D.3** Resistencia al corte de los muros de albañilería confinada ensayados con carga vertical, según el modelo de Stafford Smith y Riddington (1978)



**Figura D.4** Razón entre la estimación de la resistencia al corte de los muros de albañilería confinada ensayados con carga vertical según el modelo de Stafford Smith y Riddington (1978) y la carga de agrietamiento diagonal primario experimental en el muro.

Al aplicar el modelo de Stafford Smith y Riddington en muros con carga vertical, se observa que el modelo no integra el efecto benéfico de la carga axial de compresión en muros de albañilería confinada y con ello subestima la resistencia al corte de los muros.

### D.2 Modelo de Calvi (1992)

Al igual que Stanfford y Riddington, Calvi considera distintos modos de falla.

- *Falla por adherencia:*

Establece un criterio similar al de Mann y Müller (1982) y utiliza las suposiciones propuestas por Paulay y Priestley (1992) para calcular la resistencia a la compresión del puntal equivalente que representa la resistencia del paño de albañilería, resultando:

$$V_s = \tau_o \cdot L_m \cdot t + \mu \cdot R_c \cdot \sin \theta \quad (D.4)$$

$$V_s = R_c \cdot \cos \theta = R_c \cdot \left( \frac{L_m}{d_m} \right) \quad (D.5)$$

Asumiendo que  $\left( \frac{L_m}{h_m} \right) \approx \frac{l}{h}$

$$R_c = \frac{\tau_o \cdot d_m \cdot t}{1 - \mu \cdot \left( \frac{h}{l} \right)} \quad (D.6)$$

Si  $V_s = R_c \cdot \cos \theta$  y  $\tau_o = 0.03 \cdot f'_m$  y  $\mu = 0.3$  entonces:

$$V_s = \frac{0.03 \cdot f'_m}{1 - 0.3 \cdot \left(\frac{h}{l}\right)} \cdot l_m \cdot t \quad (D.7)$$

Calvi incluye en esta expresión el efecto de la armadura vertical distribuida entregando la siguiente expresión:

$$V_s = \frac{0.03 \cdot f'_m}{1 - 0.3 \cdot \left(\frac{h}{l}\right)} \cdot l_m \cdot t + A_v \cdot f_y \quad (D.8)$$

- *Falla por tracción diagonal:*

Junto a Priestley, Calvi derivó una expresión para estimar la fuerza lateral que origina este tipo de agrietamiento, la cual se determina asimilándola a la tensión a tracción de un disco cargado en su diámetro. La resistencia al corte para este tipo de falla queda determinada por la ecuación:

$$V_t = \frac{\pi}{2} \cdot t \cdot d_m \cdot f'_m \cdot \cos \theta \quad (D.9)$$

- *Falla por compresión diagonal.*

Calvi propone utilizar la ecuación propuesta por Stafford Smith para el cálculo de la resistencia a la compresión de las esquinas de la diagonal cargada, utilizando un puntal como base. Así la fuerza de compresión que resiste el puntal queda definida por la ecuación:

$$R_c = \frac{2}{3} \cdot t \cdot z \cdot f'_m \cdot \sec \theta \quad (D.10)$$

donde:

$z$  es la dimensión de la zona de compresión en la base del puntal, dimensión que se calcula con la ecuación:

$$z = \frac{\pi}{2} \cdot \left[ \frac{4 \cdot E_c \cdot I_c \cdot h}{E_m \cdot t \cdot \sin 2\theta} \right]^{1/4} \quad (D.11)$$

Resultando que  $V_c$  es igual a:

$$V_c = R_c \cdot \cos \theta \quad (D.12)$$

La aplicación del modelo a los muros ensayados se muestra en las figuras y tablas que se entregan a continuación:

**Tabla D.3** Estimación de la resistencia al corte de muros de albañilería confinada sin carga vertical según el modelo Calvi (1992)

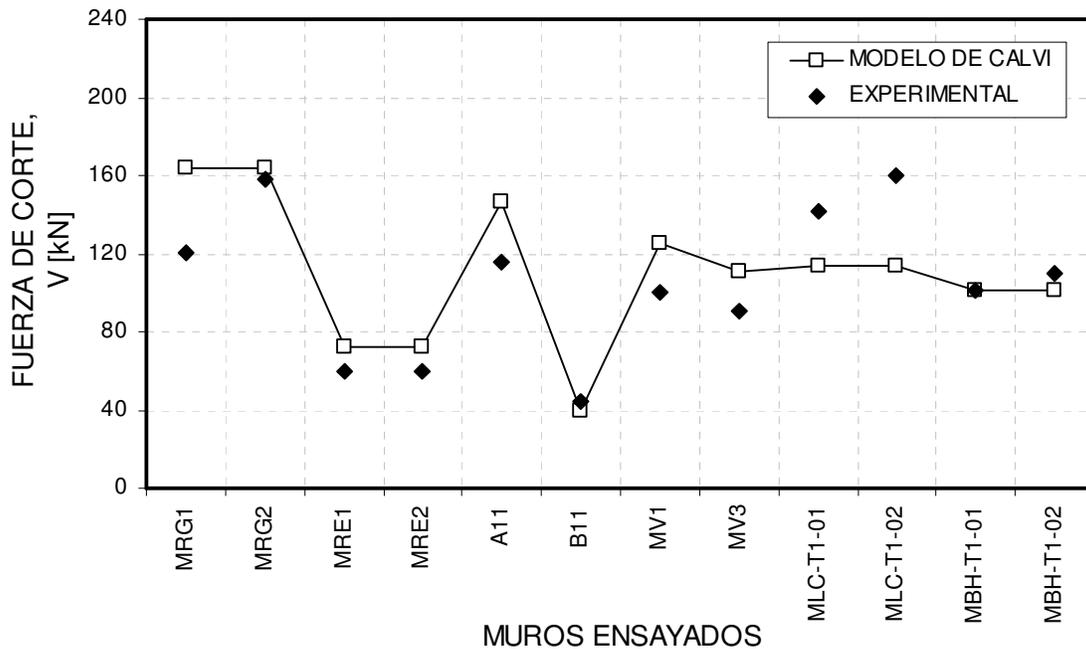
MURO	$V_s$ [kN]	$V_t$ [kN]	$V_c$ [kN]	FALLA	$V$ [kN]	$V_e$ [kN]	$V/V_e$ [ ]
MRG1	164,18	180,27	653,28	AD	164,18	120,0	1,37
MRG2	164,18	180,27	657,62	AD	164,18	158,0	1,04
MRE1	114,92	72,27	292,19	TD	72,27	60,0	1,20
MRE2	114,92	72,27	294,46	TD	72,27	60,0	1,20
A11	146,71	161,09	649,28	AD	146,71	116,0	1,26
B11	39,58	43,46	338,66	AD	39,58	44,0	0,90
MV1	125,05	135,72	578,19	AD	125,05	100,7	1,24
MV3	111,16	120,43	698,30	AD	111,16	90,6	1,23
MLC-T1-01	113,76	145,47	660,33	AD	113,76	142,0	0,80
MLC-T1-02	113,76	145,47	660,33	AD	113,76	160,0	0,71
MBH-T1-01	101,63	131,35	542,02	AD	101,63	101,0	1,01
MBH-T1-02	101,63	131,35	542,02	AD	101,63	110,0	0,92

Donde:

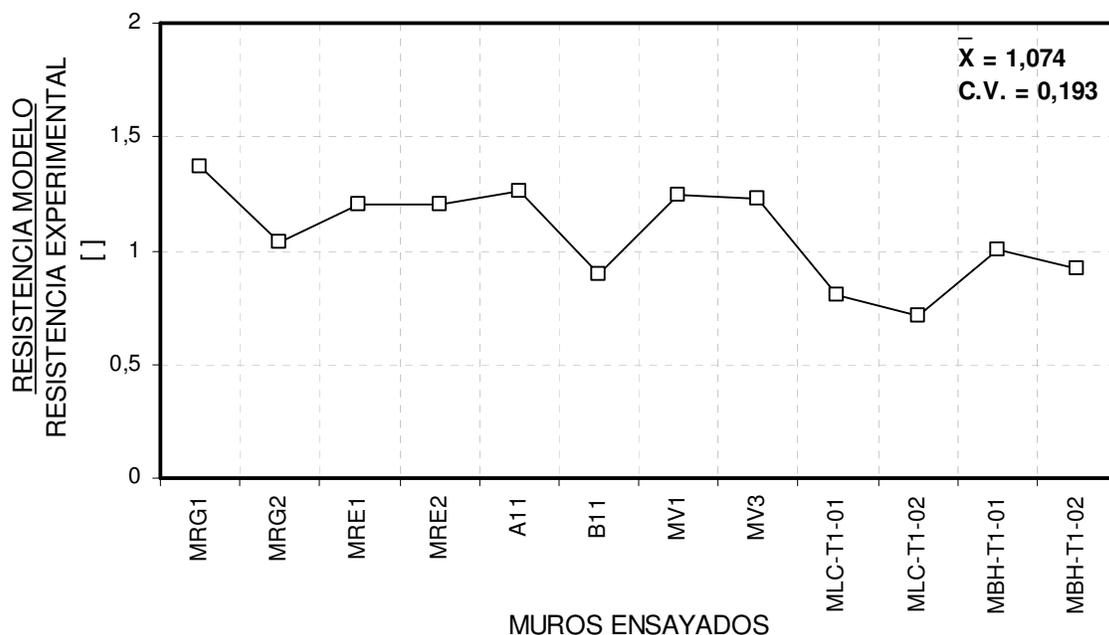
$V_e$ : valor experimental.

AD: Falla por adherencia

TD: Falla por tracción diagonal.



**Figura D.5** Resistencia al corte de los muros de albañilería confinada ensayados sin carga vertical, según el modelo de Calvi (1992)

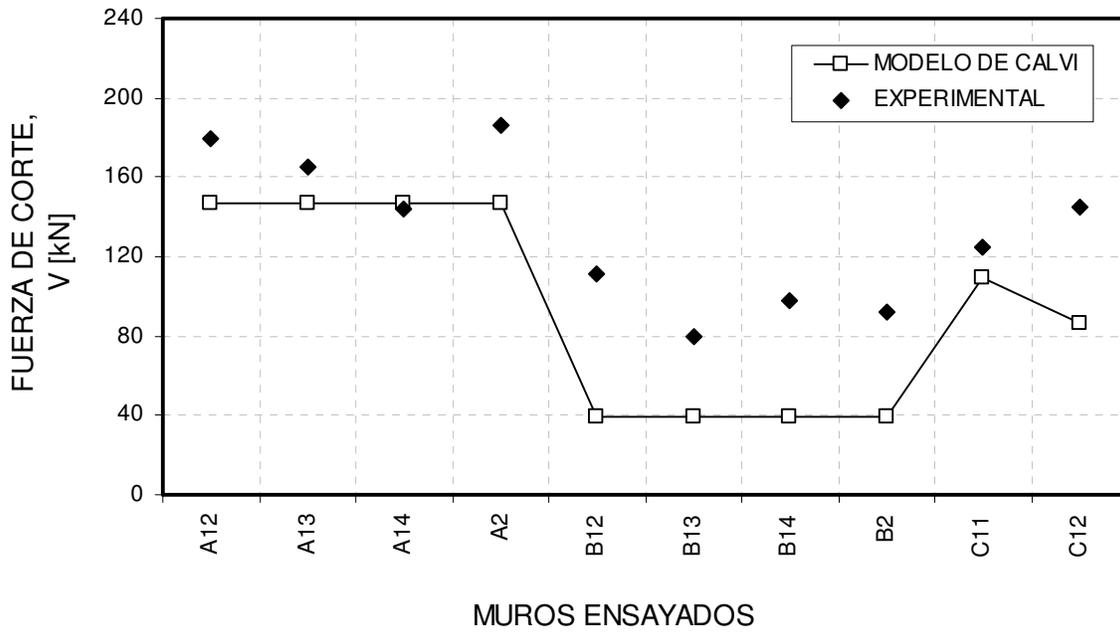


**Figura D.6** Razón entre la estimación de la resistencia al corte de los muros de albañilería confinada ensayados sin carga vertical según el modelo de Calvi (1992), y la carga de agrietamiento diagonal primario experimental en el muro.

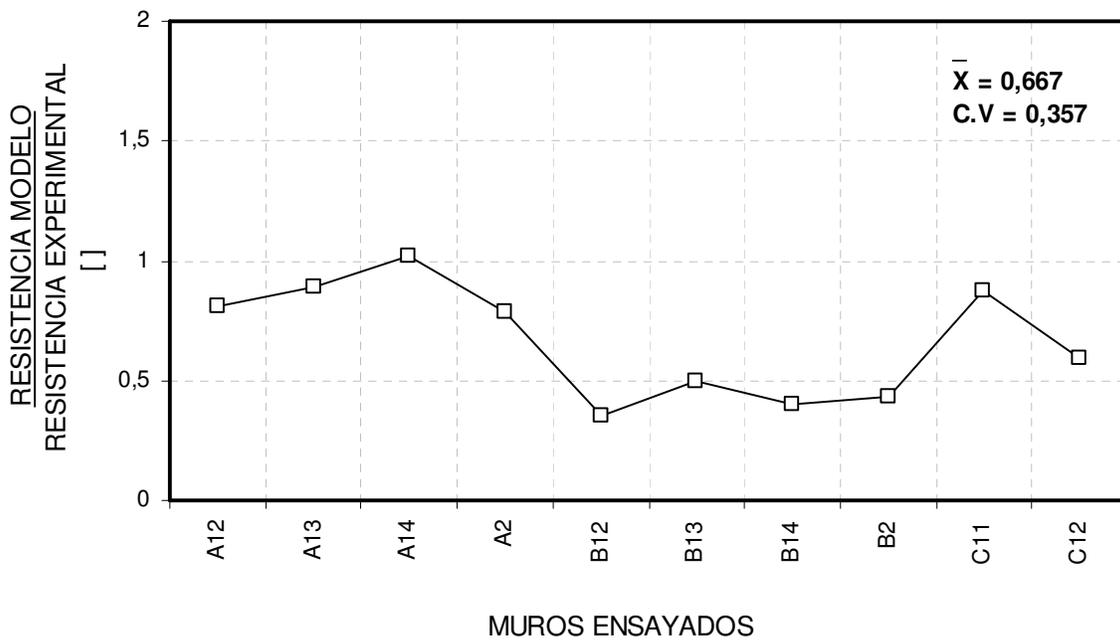
De los resultados obtenidos al aplicar el modelo de Calvi (1992) se observa que en el caso de muros sin carga vertical el modelo sobreestima de la capacidad resistente de los muros. Respecto a muros cargados verticalmente, el modelo no logra integrar el efecto benéfico de esta fuerza sobre la resistencia lateral de los muros.

**Tabla D.4** Estimación de la resistencia al corte de los muros de albañilería confinada ensayados con carga vertical según el modelo de Calvi (1992)

MUROS	V <sub>s</sub> [kN]	V <sub>t</sub> [kN]	V <sub>c</sub> [kN]	FALLA	V [kN]	V <sub>e</sub> [kN]	V/V <sub>e</sub> [ ]
A12	146,71	161,09	691,78	AD	146,71	180,0	0,82
A13	146,71	161,09	649,28	AD	146,71	165,0	0,89
A14	146,71	161,09	686,84	AD	146,71	144,0	1,02
A2	146,71	161,09	649,63	AD	146,71	186,0	0,79
B12	39,58	43,46	338,66	AD	39,58	111,0	0,36
B13	39,58	43,46	353,99	AD	39,58	80,0	0,49
B14	39,58	43,46	375,33	AD	39,58	98,0	0,40
B2	39,58	43,46	376,08	AD	39,58	92,0	0,43
C11	109,36	120,08	500,53	AD	109,36	125,0	0,87
C12	85,98	94,40	374,40	AD	85,98	145,0	0,59



**Figura D.7** Resistencia al corte de los muros de albañilería confinada ensayados con carga vertical, según el modelo de Calvi (1992)

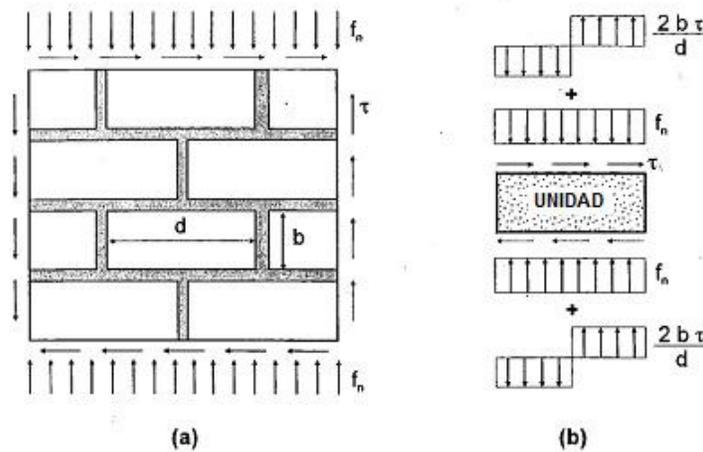


**Figura D.8** Razón entre la estimación de la resistencia al corte de los muros de albañilería confinada ensayados con carga vertical según el modelo de Calvi (1992), y la carga de agrietamiento diagonal primario experimental en el muro.

### D.3 Modelo de Mann y Müller (1982)

El modelo de Mann y Müller considera un panel sometido a un estado de tensiones como el mostrado en la Figura D.9a. Al aislar una unidad del paño, se considera que sobre la cara superior e inferior de las unidades, ver Figura D.9b, actúan las tensiones  $\sigma_x$  y  $\tau = \tau_{xy} = \tau_{yx}$ . Mientras que en las caras laterales de la unidad no actúan tensiones.

Esta última consideración se basa en un hecho de la práctica que permite aceptar que dada la baja calidad de la mano de obra con que se construyen los muros de albañilería, se tienen juntas verticales de mala calidad que son incapaces de transmitir tensiones normales en la dirección horizontal. A su vez, estas tensiones son de magnitud despreciable si se comparan con las tensiones normales que se producen en la dirección perpendicular a ellas.



**Figura D.9** (a) Estado de tensiones actuando sobre una porción del paño de albañilería según Mann y Müller. (b) Estado de tensiones actuando sobre una unidad de albañilería según el modelo de Mann y Müller. (Crisafulli, 1997)

Debido a estas últimas consideraciones, para cumplir con las condiciones de equilibrio se debe generar un par de fuerzas sobre la unidad, las que producen una tensión de compresión y tracción que se distribuyen en forma uniforme, actuando en cada mitad de la unidad y produciendo un aumento o un descenso de las tensiones normales ( $f_n$ ) que actúan sobre la unidad. Las tensiones normales resultantes se pueden calcular con las ecuaciones siguientes:

$$f_{n1} = f_n + \tau \cdot \frac{2 \cdot b}{d} \quad (\text{D.13})$$

$$f_{n2} = f_n - \tau \cdot \frac{2 \cdot b}{d} \quad (\text{D.14})$$

Donde

- $b$  : Altura de la unidad.
- $d$  : Longitud de la unidad.
- $f_n$  : Tensión normal actuando en el muro.
- $\tau$  : Tensión de corte actuando en el muro.

En este análisis, las fuerzas de compresión son consideradas positivas.

Dentro de las limitaciones del modelo de Mann y Müller se debe destacar:

- Para un nivel de compresión muy bajo, no es capaz de representar la falla por agrietamiento a lo largo de la junta horizontal (falla por deslizamiento).
- Las relaciones fueron desarrolladas para un aparejo como el mostrado en la Figura D.9.

Dentro de las ventajas del modelo se destaca:

- Sólo se basa en parámetros racionales.
- Los parámetros pueden ser obtenidos de ensayos en especímenes de escala menor. Como son los ensayos de corte directo.
- Puede ser utilizado en muros de sección rectangular o secciones compuestas. Solo varía la distribución del corte.
- Representa los estados de falla que con mayor frecuencia es posible observar en los ensayos y en los daños observados en muros de albañilería luego de eventos sísmicos de severidad media a alta.

### D.3.1 Modos de falla

#### a) Falla por adherencia

El criterio de Mohr-Coulumb establece que a mayor fuerza de compresión aplicada sobre la superficie de falla, mayor es la resistencia al corte. Por lo tanto, la falla por adherencia se genera cuando el esfuerzo normal es mínimo, es decir,  $f_n = f_{n2}$ , resultando:

$$\tau = \tau_o + \mu \cdot f_{n2} \quad (D.15)$$

Reemplazando la expresión (D.14) en (D.15), se llega a la ecuación del modelo de Mohr-Coulumb modificado por la reducción de los coeficientes de fricción y cohesión, resultando:

$$\tau = \tau_o^* + \mu^* \cdot f_n \quad (D.16)$$

$$\mu^* = \frac{\mu}{1 + 2 \cdot \mu \cdot \frac{b}{d}} \quad (D.17)$$

$$\tau_o^* = \frac{\tau_o}{1 + 2 \cdot \mu \cdot \frac{b}{d}} \quad (D.18)$$

Donde

- $\mu$  : Coeficiente de fricción del mortero.  
 $\tau_o$  : Adherencia o cohesión del mortero.

Esta modelación está asociada a un patrón escalonado de agrietamiento que es posible observar cuando se genera una falla por adherencia, el cual se propaga a través de las juntas verticales que poseen baja resistencia y por la mitad de la unidad sometida a la menor compresión.

*b) Falla por tracción diagonal*

Mann y Müller (1982), consideran que en el centro de las unidades se genera un estado de tensiones definido por los valores siguientes:  $f_n = \sigma_y$ ,  $f_p = \sigma_x = 0$  y  $\tau_{xy} = \tau_{yx} = 2.3 \cdot \tau$ .

El valor de la tensión tangencial en el centro de la unidad proviene de “*pruebas precisas en unidades*” en las cuales se encontró que el valor máximo de esta tensión es igual a  $2.3 \tau$ .

Reemplazando y considerando que la tensión principal de tracción no puede sobrepasar la capacidad a tracción de la unidad, se obtiene que la tensión tangencial máxima que puede resistir el paño de albañilería está dada por:

$$f_2 = -f_{ib} = \frac{f_n}{2} - \left[ \left( \frac{f_n}{2} \right)^2 + (2.3\tau)^2 \right]^{1/2} \quad (D.25)$$

$$\tau = \frac{f'_{ib}}{2} \left[ 1 + \frac{f_n}{f'_{ib}} \right]^{1/2} \quad (D.26)$$

$$\tan 2\theta = \frac{4.6 \cdot \tau}{f_n} \quad (D.27)$$

*c) Falla por compresión*

Esta falla depende de la resistencia a la compresión de la albañilería  $f'_m$ . Por lo tanto, la compresión sobre la unidad no debe superar este valor. Esto quiere decir, que el valor que toma la ecuación (D.13), máxima compresión en la unidad, no debe sobrepasar la resistencia prismática de la albañilería.

Estableciendo esta condición se obtiene:

$$\tau = (f'_m - f_n) \frac{d}{2 \cdot b} \quad (D.29)$$

Este tipo de falla, generalmente es posible observarlo para valores  $f_n > 8 \cdot \tau$ .

### D.3.2 Envoltente de falla

Con las tres curvas que representan las ecuaciones D.15, D.26 y D.29, se puede trazar una envoltente de falla que relaciona la sollicitación axial con la sollicitación de corte como se muestra en la Figura D.11.

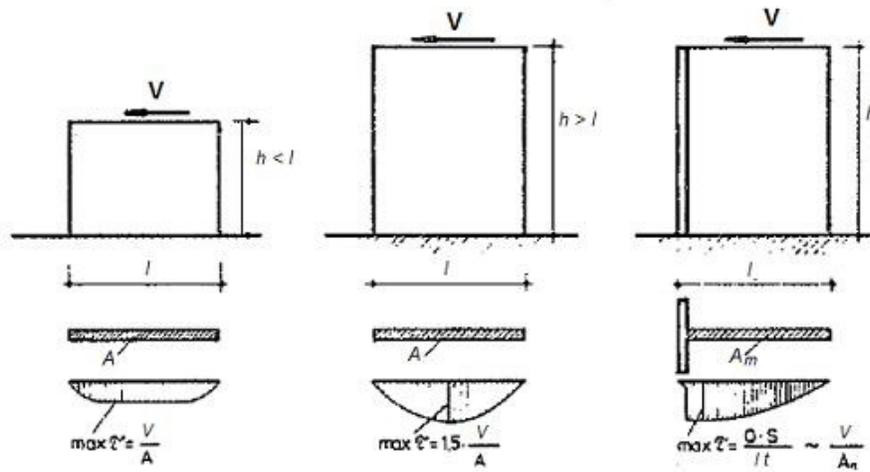
### D.3.3 Estimación de la resistencia lateral de los muros

Para hacer la estimación de la resistencia lateral de los muros, se considera la distribución de tensiones tangenciales que existe en los muros, lo que permite aplicar el modelo a muros de albañilería no reforzada con distintas características. De esta forma el valor de la tensión tangencial que actúa en los muros de la Figura D.10, queda determinado por las ecuaciones:

Muros compactos: 
$$\tau_{\max} \approx \frac{V}{A} \quad (D.30)$$

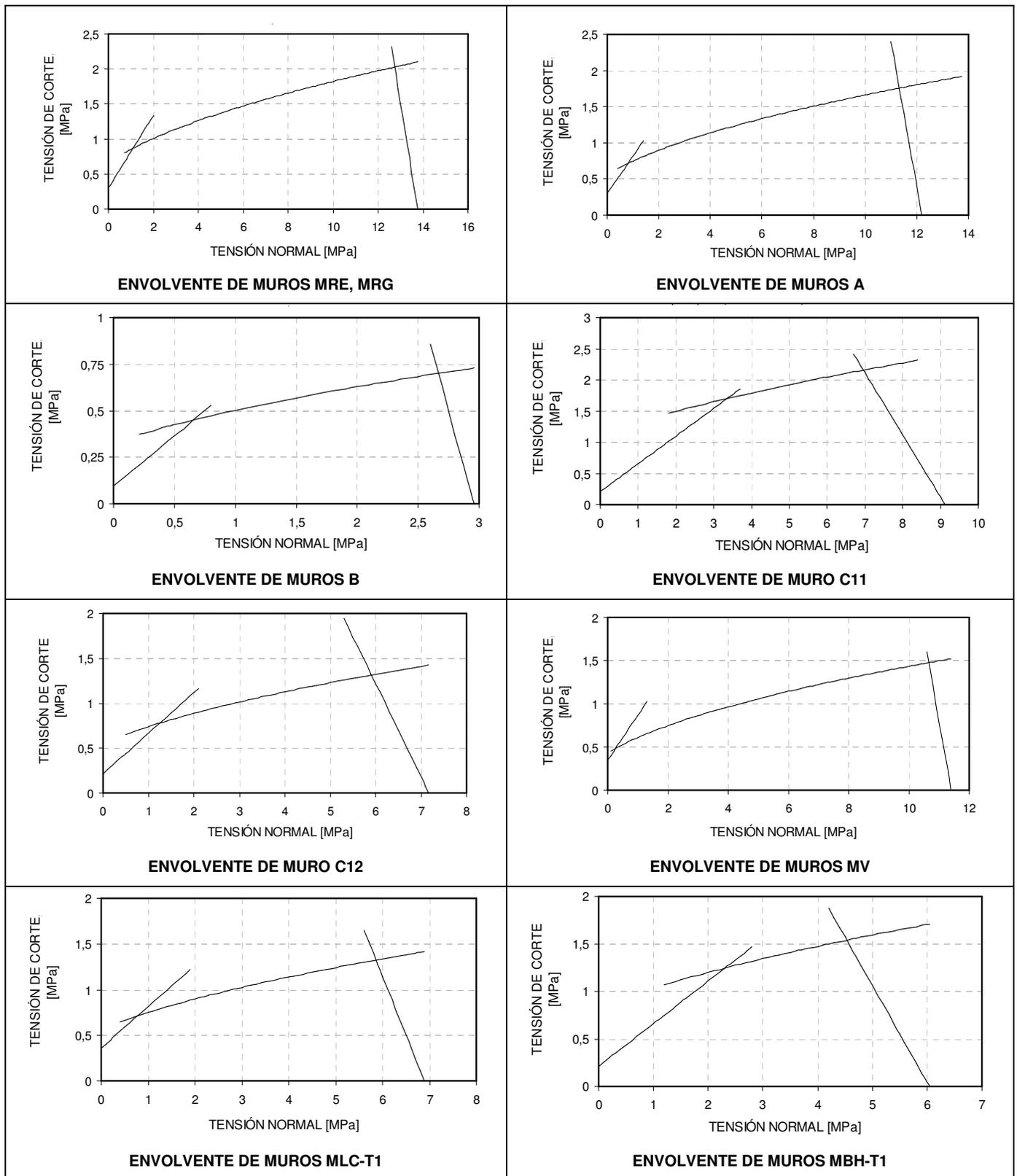
Muros esbeltos: 
$$\tau_{\max} \approx 1,5 \cdot \frac{V}{A} \quad (D.31)$$

Muros T: 
$$\tau_{\max} = \frac{V \cdot S}{I \cdot t} \approx \frac{V}{A_{alma}} \quad (D.32)$$



**Figura D.10** Distribución de tensión tangencial en muros de albañilería (Mann y Muller, 1982).

De la expresión de  $\tau_{\max}$  se obtiene la resistencia lateral de los muros, los valores que resultan para los muros ensayados se entregan en las Tablas D.5 y D.6. Estos valores se muestran en las figuras D.12 a D.15.



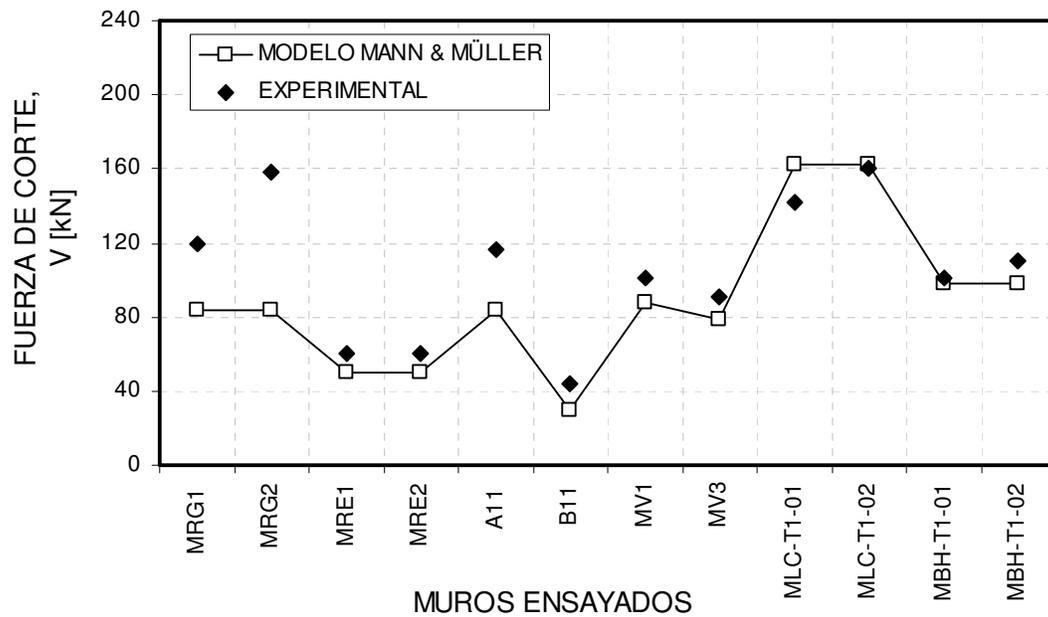
**Figura D.11** Envolventes de falla aplicando el modelo de Mann y Müller (1982) a los muros ensayados.

**Tabla D.5** Aplicación del modelo de Mann y Müller (1982) a los muros ensayados en Chile sin carga vertical aplicada.

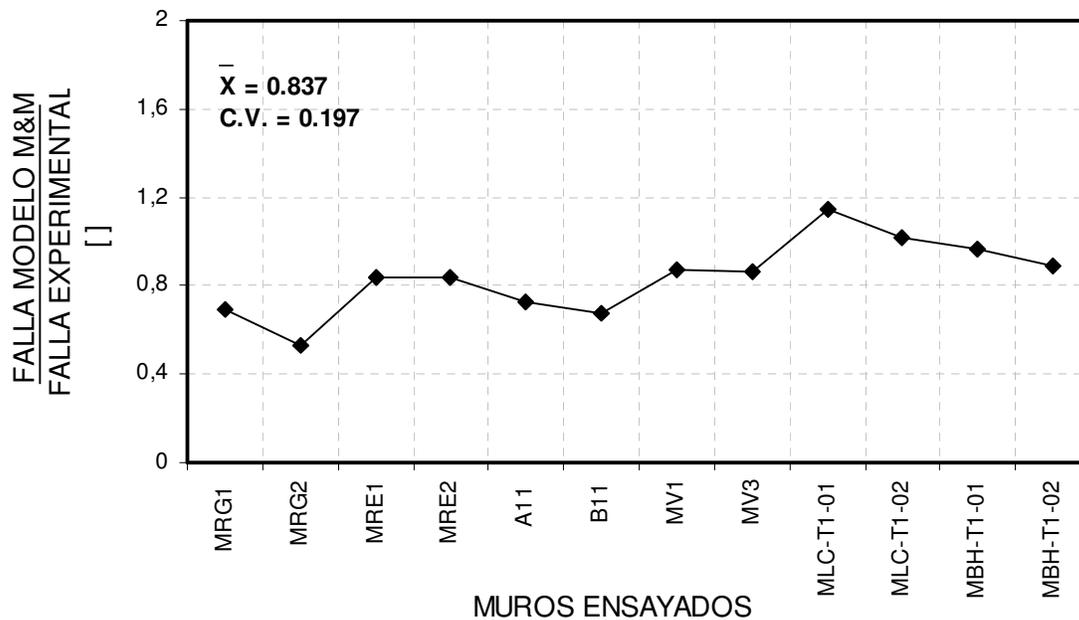
MURO				Adherencia			Tracción		Compresión			Resistencia muro				
	P [ N ]	A [ mm <sup>2</sup> ]	f <sub>n</sub> [ Mpa ]	τ <sub>o</sub> <sup>*</sup> [MPa]	μ <sup>*</sup> [ ]	τ <sub>m</sub> [MPa]	f' <sub>tm</sub> [MPa]	τ <sub>m</sub> [MPa]	f' <sub>m</sub> [MPa]	b/d [ ]	τ <sub>m</sub> [MPa]	τ <sub>m</sub> [MPa]	A <sub>m</sub> [mm <sup>2</sup> ]	V [kN]	V <sub>e</sub> [kN]	V/V <sub>e</sub> [ ]
MRG1	0	334080	0	0,3	0,519	0,300	1,525	0,663	13,76	0,25	27,52	0,300	278400	83,52	120,0	0,696
MRG2	0	334080	0	0,3	0,519	0,300	1,525	0,663	13,76	0,25	27,52	0,300	278400	83,52	158,0	0,529
MRE1	0	167040	0	0,3	0,519	0,300	1,525	0,663	13,76	0,25	27,52	0,300	111360	50,11	60,0	0,835
MRE2	0	167040	0	0,3	0,519	0,300	1,525	0,663	13,76	0,25	27,52	0,300	111360	50,11	60,0	0,835
A11	0	336720	0	0,3	0,519	0,300	1,295	0,563	12,2	0,25	24,4	0,300	280600	84,18	116,0	0,726
B11	0	374400	0	0,095	0,541	0,095	0,756	0,329	2,96	0,21	7,048	0,095	312000	29,64	44,0	0,674
MV1	0	308000	0	0,349	0,519	0,349	0,99	0,430	11,4	0,25	22,8	0,349	252000	87,95	100,7	0,873
MV3	0	308000	0	0,349	0,519	0,349	0,99	0,430	11,4	0,25	22,8	0,349	224000	78,18	90,6	0,863
MLC-T1-01	0	504000	0	0,362	0,453	0,362	1,295	0,563	6,89	0,39	8,833	0,362	448000	162,18	142,0	1,142
MLC-T1-02	0	504000	0	0,362	0,453	0,362	1,295	0,563	6,89	0,39	8,833	0,362	448000	162,18	160,0	1,014
MBH-T1-01	0	514650	0	0,213	0,448	0,213	1,936	0,842	6,04	0,49	6,164	0,213	458250	97,61	101,0	0,966
MBH-T1-02	0	514650	0	0,213	0,448	0,213	1,936	0,842	6,04	0,49	6,164	0,213	458250	97,61	110,0	0,887

**Tabla D.6** Aplicación del modelo de Mann y Müller (1982) a los muros ensayados en Chile con carga vertical aplicada.

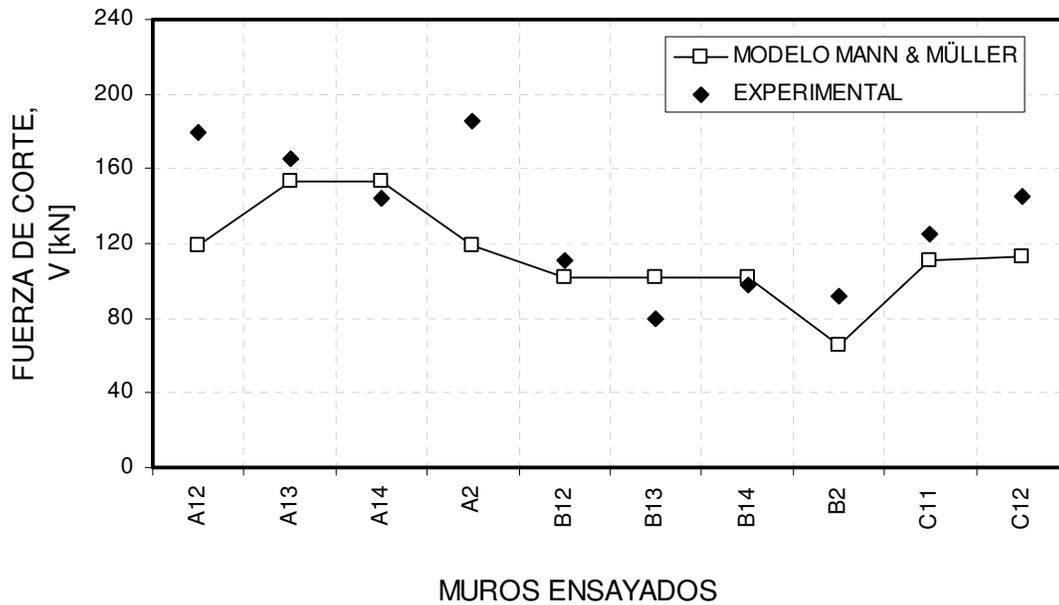
MUROS				Adherencia			Tracción		Compresión			Resistencia muro				
	P [ N ]	A [ mm <sup>2</sup> ]	f <sub>n</sub> [ Mpa ]	τ <sub>o</sub> <sup>*</sup> [MPa]	μ <sup>*</sup> [ ]	τ <sub>m</sub> [MPa]	f' <sub>tm</sub> [MPa]	τ <sub>m</sub> [MPa]	f' <sub>m</sub> [MPa]	b/d [ ]	τ <sub>m</sub> [MPa]	τ <sub>m</sub> [MPa]	A <sub>m</sub> [mm <sup>2</sup> ]	V [kN]	V <sub>e</sub> [kN]	V/V <sub>e</sub> [ ]
A12	80000	336720	0,24	0,3	0,519	0,423	1,295	0,613	12,2	0,25	23,925	0,423	280600	118,78	180,0	0,660
A13	160000	336720	0,48	0,3	0,519	0,547	1,295	0,659	12,2	0,25	23,45	0,547	280600	153,38	165,0	0,930
A14	160000	336720	0,48	0,3	0,519	0,547	1,295	0,658	12,2	0,25	23,45	0,547	280600	153,38	144,0	1,065
A2	80000	336720	0,24	0,3	0,519	0,423	1,295	0,613	12,2	0,25	23,925	0,423	280600	118,78	186,0	0,639
B12	160000	374400	0,43	0,095	0,541	0,326	0,756	0,411	2,96	0,21	6,030	0,326	312000	101,77	111,0	0,917
B13	160000	374400	0,43	0,095	0,541	0,326	0,756	0,411	2,96	0,21	6,030	0,326	312000	101,77	80,0	1,272
B14	160000	374400	0,43	0,095	0,541	0,326	0,756	0,411	2,96	0,21	6,030	0,326	312000	101,77	98,0	1,039
B2	80000	374400	0,21	0,095	0,541	0,211	0,756	0,372	2,96	0,21	6,539	0,211	312000	65,71	92,0	0,714
C11	140000	335760	0,42	0,211	0,444	0,396	2,58	1,209	9,12	0,5	8,703	0,396	279800	110,84	125,0	0,887
C12	140000	335760	0,42	0,215	0,452	0,403	1,274	0,638	7,17	0,48	7,034	0,403	279800	112,89	145,0	0,779



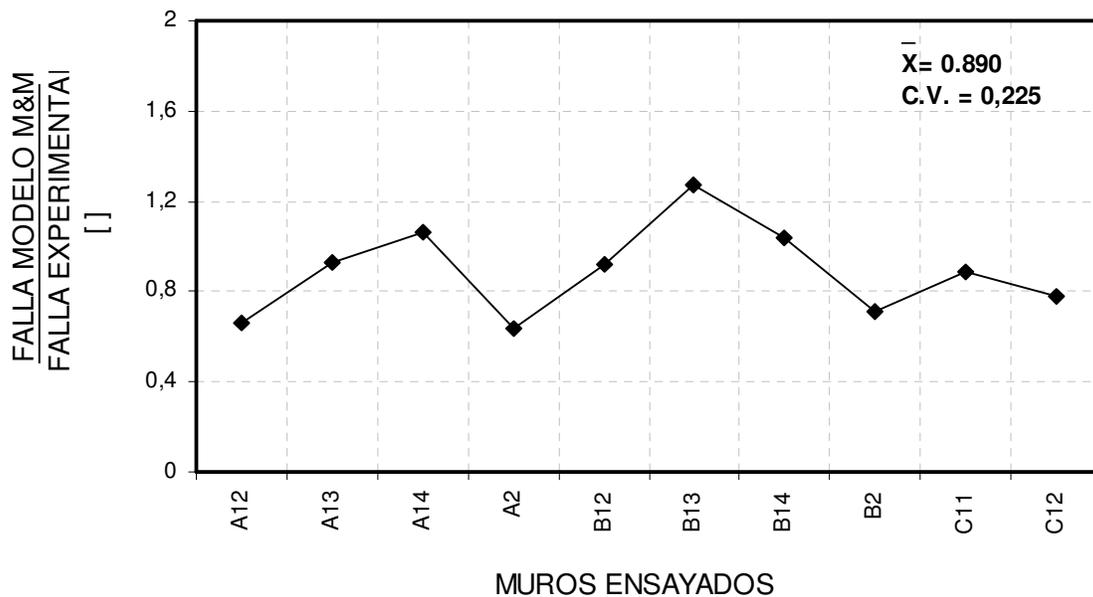
**Figura D.12** Resistencia al corte de los muros de albañilería confinada ensayados sin carga vertical según el modelo de Mann y Müller (1982)



**Figura D.13** Razón entre la resistencia al corte de los muros de albañilería confinada ensayados sin carga vertical según el modelo de Mann y Müller (1982) y la carga de agrietamiento diagonal primario experimental del muro.



**Figura D.14** Resistencia al corte de los muros de albañilería confinada ensayados con carga vertical según el modelo de Mann y Müller (1982)

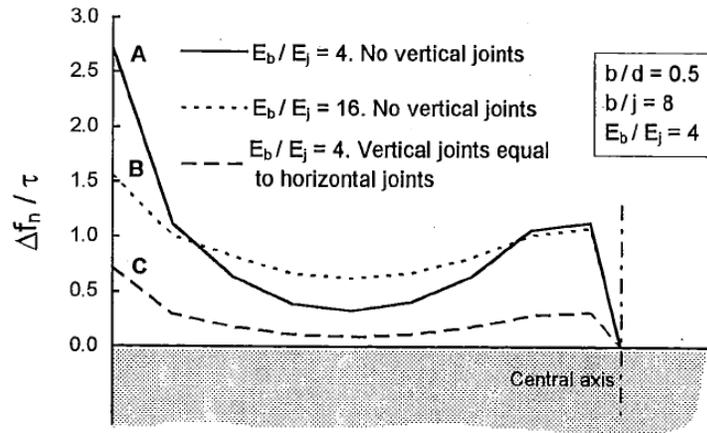


**Figura D.15** Razón entre la resistencia al corte de los muros de albañilería confinada ensayados con carga vertical según el modelo de Mann y Müller (1982) y la carga de agrietamiento diagonal primario experimental del muro.

### D.3.4 Modelo de Mann y Müller modificado por Crisafulli al (1997)

Crisafulli (1997) propone dos modificaciones del modelo propuesto por Mann y Müller (1982), basadas principalmente en consideraciones más realistas y ellas corresponden a:

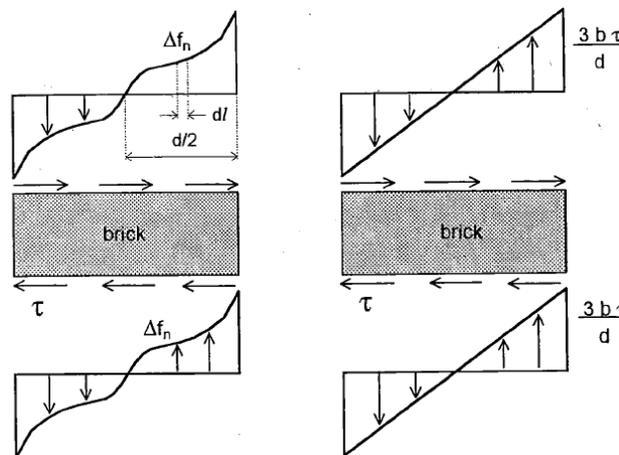
- a) *Distribución de tensiones sobre la unidad:* Mann y Müller (1982) consideran en el desarrollo de su modelo teórico una distribución uniforme de tensiones normales en la unidad, una hipótesis que es válida sólo si el mortero se comportara como material completamente plástico. Análisis con el método de elementos finitos (Crisafulli, 1997), permite comprobar que la distribución de tensiones está lejos de ser constante, lo que se aprecia en la Figura D.16, observándose un aumento de tensiones entre 1.55 y 1.80 del valor de la relación ( $\tau$  b/d).



**Figura D.16** Aumento de las tensiones normales sobre la superficie de asiento de las unidades. Distribución obtenida mediante un modelo de elementos finitos. (Crisafulli-1997)

Según Crisafulli (1997), una aproximación más realista, sería suponer una distribución lineal del aumento de las tensiones sobre la unidad. Este supuesto permite calcular el aumento de tensiones como:

$$\Delta f_{n,av} = 1.5 \cdot \tau \cdot \frac{b}{d}$$



**Figura D.17** Distribución de tensiones en las unidades. A la izquierda se muestra una distribución general de tensiones. A la derecha se muestra una distribución linealizada de las tensiones. (Crisafulli-1997)

- b) *Tensiones de corte transmitiéndose en la unidad*: Crisafulli considera que el corte transmitido en el centro de la unidad es igual a  $2\tau$  al no existir transmisión de corte por las juntas verticales.

Las dos modificaciones propuestas por Crisafulli cambian las ecuaciones del modelo de Mann y Müller (1982) de la siguiente manera:

$$f_{n1} = f_n + \tau \cdot \frac{1,5 \cdot b}{d}$$

$$f_{n2} = f_n - \tau \cdot \frac{1,5 \cdot b}{d}$$

- d) *Falla por adherencia*

$$\tau = \tau_o^* + \mu^* \cdot f_n$$

$$\mu^* = \frac{\mu}{1 + 1,5 \cdot \mu \cdot \frac{b}{d}}$$

$$\tau_o^* = \frac{\tau_o}{1 + 1,5 \cdot \mu \cdot \frac{b}{d}}$$

- e) *Falla por tracción diagonal*

$$f_2 = -f_{tb} = \frac{f_n}{2} - \left[ \left( \frac{f_n}{2} \right)^2 + (2,0 \cdot \tau)^2 \right]^{1/2}$$

$$\tau = \frac{f'_{tb}}{2} \left[ 1 + \frac{f_n}{f'_{tb}} \right]^{1/2}$$

- f) *Falla por compresión*

$$\tau = (f'_m - f_n) \frac{d}{1,5 \cdot b}$$

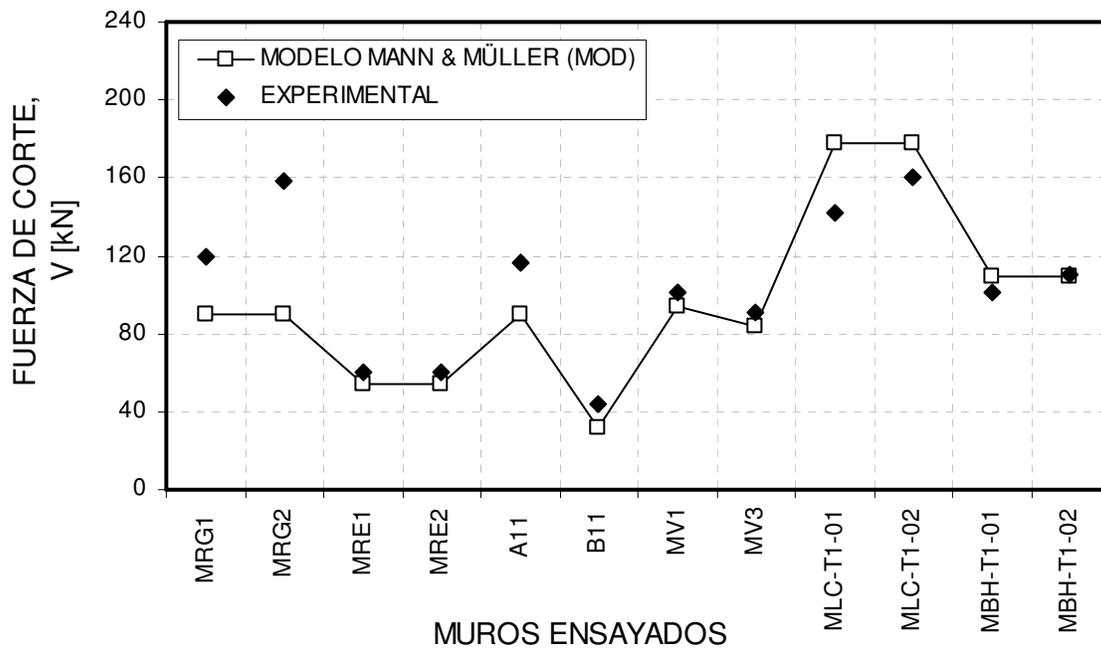
Estas ecuaciones permiten determinar nuevos valores de la resistencia al corte asociada a los distintos modos de falla, obteniéndose los resultados de las tablas y figuras que se entregan a continuación.

**Tabla D.7** Aplicación del modelo de Mann y Müller Modificado (1997) a los muros ensayados en Chile sin carga vertical aplicada.

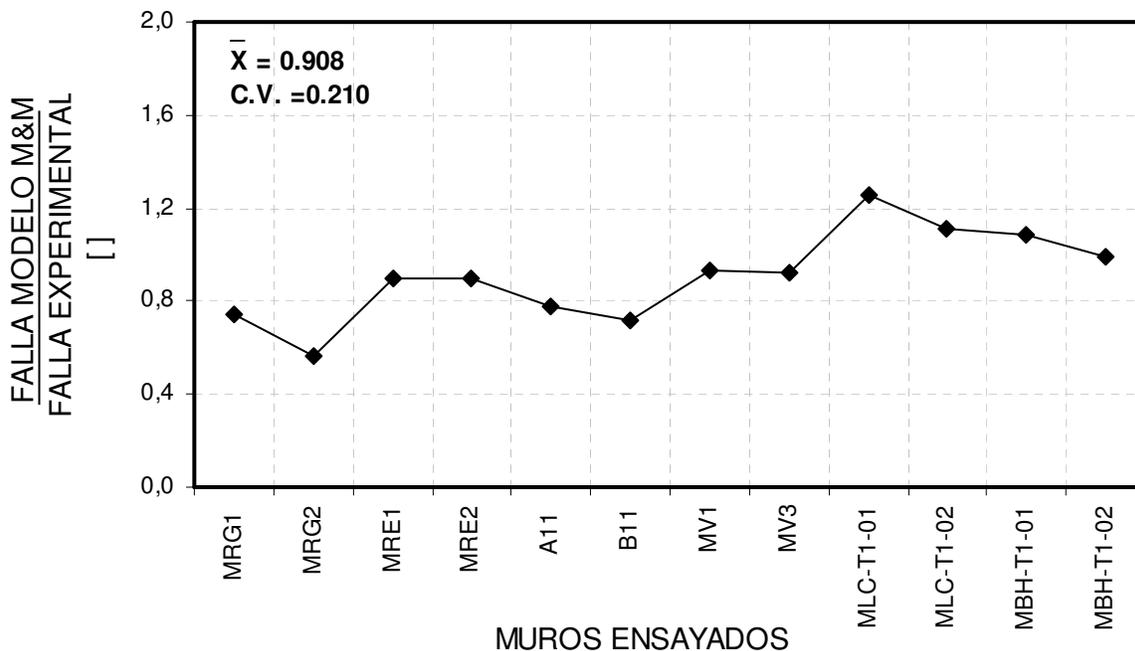
MURO				Adherencia			Tracción		Compresión			Resistencia muro				
	P [ N ]	A [ mm <sup>2</sup> ]	f <sub>n</sub> [ Mpa ]	τ <sub>o</sub> <sup>*</sup> [MPa]	μ <sup>*</sup> [ ]	τ <sub>m</sub> [MPa]	f' <sub>tm</sub> [MPa]	τ <sub>m</sub> [MPa]	f' <sub>m</sub> [MPa]	b/d [ ]	τ <sub>m</sub> [MPa]	τ <sub>m</sub> [MPa]	A <sub>m</sub> [mm <sup>2</sup> ]	V [kN]	V <sub>e</sub> [kN]	V/V <sub>e</sub> [ ]
MRG1	0	334080	0	0,321	0,554	0,321	1,525	0,763	13,76	0,25	36,693	0,321	278400	89,37	120,0	0,745
MRG2	0	334080	0	0,321	0,554	0,321	1,525	0,763	13,76	0,25	36,693	0,321	278400	89,37	158,0	0,566
MRE1	0	167040	0	0,321	0,554	0,321	1,525	0,763	13,76	0,25	36,693	0,321	111360	53,62	60,0	0,894
MRE2	0	167040	0	0,321	0,554	0,321	1,525	0,763	13,76	0,25	36,693	0,321	111360	53,62	60,0	0,894
A11	0	336720	0	0,321	0,554	0,321	1,295	0,648	12,2	0,25	32,533	0,321	280600	90,07	116,0	0,776
B11	0	374400	0	0,101	0,574	0,101	0,756	0,378	2,96	0,21	9,397	0,101	312000	31,51	44,0	0,716
MV1	0	308000	0	0,373	0,554	0,373	0,99	0,495	11,4	0,25	30,400	0,373	252000	94,00	100,7	0,933
MV3	0	308000	0	0,373	0,554	0,373	0,99	0,495	11,4	0,25	30,400	0,373	224000	83,55	90,6	0,922
MLC-T1-01	0	504000	0	0,397	0,497	0,397	1,295	0,648	6,89	0,39	11,778	0,397	448000	177,86	142,0	1,253
MLC-T1-02	0	504000	0	0,397	0,497	0,397	1,295	0,648	6,89	0,39	11,778	0,397	448000	177,86	160,0	1,112
MBH-T1-01	0	514650	0	0,239	0,504	0,239	1,936	0,968	6,04	0,49	8,218	0,239	458250	109,52	101,0	1,084
MBH-T1-02	0	514650	0	0,239	0,504	0,239	1,936	0,968	6,04	0,49	8,218	0,239	458250	109,52	110,0	0,996

**Tabla D.8** Aplicación del modelo de Mann y Müller Modificado (1997) a los muros ensayados en Chile con carga vertical aplicada.

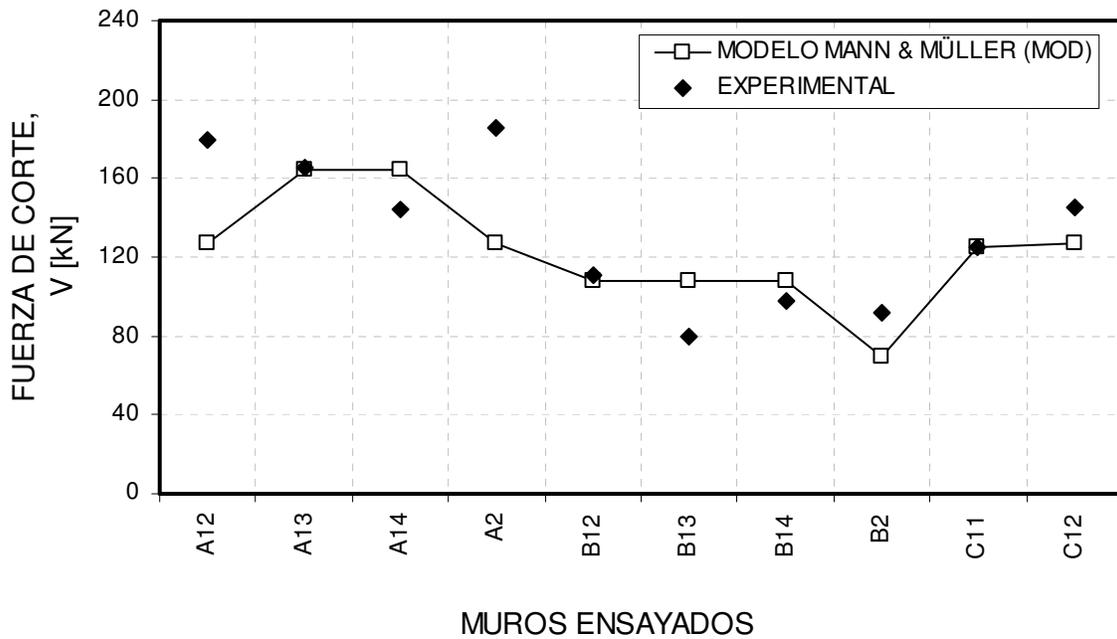
MUROS				Adherencia			Tracción		Compresión			Resistencia muro				
	P [ N ]	A [ mm <sup>2</sup> ]	f <sub>n</sub> [ Mpa ]	τ <sub>o</sub> <sup>*</sup> [MPa]	μ <sup>*</sup> [ ]	τ <sub>m</sub> [MPa]	f' <sub>tm</sub> [MPa]	τ <sub>m</sub> [MPa]	f' <sub>m</sub> [MPa]	b/d [ ]	τ <sub>m</sub> [MPa]	τ <sub>m</sub> [MPa]	A <sub>m</sub> [mm <sup>2</sup> ]	V [kN]	V <sub>e</sub> [kN]	V/V <sub>e</sub> [ ]
A12	80000	336720	0,24	0,321	0,554	0,453	1,295	0,704	12,2	0,25	31,900	0,453	280600	127,01	180,0	0,706
A13	160000	336720	0,48	0,321	0,554	0,584	1,295	0,757	12,2	0,25	31,266	0,584	280600	163,94	165,0	0,994
A14	160000	336720	0,48	0,321	0,554	0,584	1,295	0,757	12,2	0,25	31,266	0,584	280600	163,94	144,0	1,138
A2	80000	336720	0,24	0,321	0,554	0,453	1,295	0,704	12,2	0,25	31,900	0,453	280600	127,01	186,0	0,683
B12	160000	374400	0,43	0,101	0,574	0,346	0,756	0,473	2,96	0,21	8,040	0,346	312000	108,05	111,0	0,973
B13	160000	374400	0,43	0,101	0,574	0,346	0,756	0,473	2,96	0,21	8,040	0,346	312000	108,05	80,0	1,351
B14	160000	374400	0,43	0,101	0,574	0,346	0,756	0,473	2,96	0,21	8,040	0,346	312000	108,05	98,0	1,103
B2	80000	374400	0,21	0,101	0,574	0,224	0,756	0,428	2,96	0,21	8,718	0,224	312000	69,78	92,0	0,758
C11	140000	335760	0,42	0,238	0,5	0,446	2,58	1,390	9,12	0,5	11,604	0,446	279800	124,93	125,0	0,999
C12	140000	335760	0,42	0,241	0,508	0,453	1,274	0,734	7,17	0,48	9,379	0,453	279800	126,70	145,0	0,874



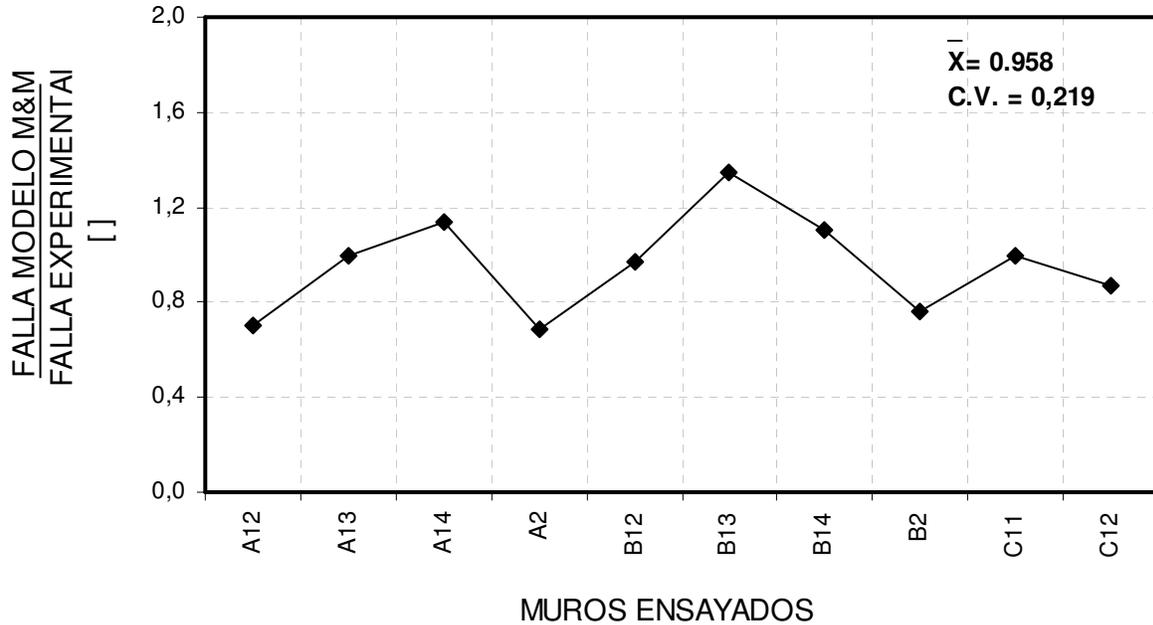
**Figura D.18** Resistencia al corte de los muros de albañilería confinada ensayados sin carga vertical según el Modelo de Mann y Müller Modificado (1997)



**Figura D.19** Razón entre la resistencia al corte de los muros de albañilería confinada ensayados sin carga vertical según el Modelo de Mann y Müller Modificado (1997) y la carga de agrietamiento diagonal primario experimental del muro.



**Figura D.20** Resistencia al corte de los muros de albañilería confinada ensayados con carga vertical según el Modelo de Mann y Müller Modificado (1997)



**Figura D.21** Razón entre la resistencia al corte de los muros de albañilería confinada ensayados con carga vertical según el Modelo de Mann y Müller Modificado (1997) y la carga de agrietamiento diagonal primario experimental del muro.

De los resultados obtenidos se comprueba que la aplicación del modelo de Mann y Müller (1982) proporciona buenas estimaciones de la resistencia al corte del paño de la albañilería, las cuales mejoran con las modificaciones que propone Crisafulli (1997). De esta forma se confirma que la resistencia al corte de un muro de albañilería confinada está controlada por la resistencia y dimensión que posee el paño de albañilería.

#### D.4 Estimación basada en la expresión utilizada en la Norma Chilena NCh2123 (2003)

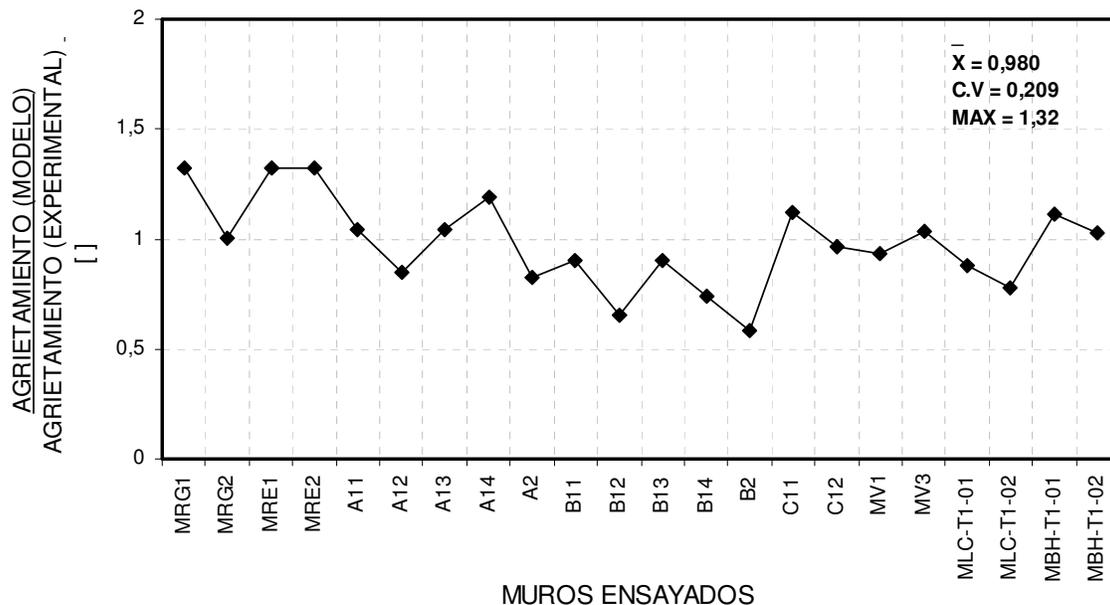
La Normativa Chilena utiliza un esfuerzo de corte admisible el cual corresponde a un valor cercano al 50% de la resistencia al corte, estimada esta última con una fórmula del tipo empírico e igual a:

$$V_u = (0.45 \cdot \tau_m + 0.23 \cdot f_n) \cdot A_{mb} \quad (D.32)$$

Donde

$f_n$ : tensión de compresión sobre el muro =  $N/A_{mb}$   
 $A_{mb}$ : área bruta del muro incluyendo los pilares  
 $\tau_m$ : tensión básica de corte.

El resultado de aplicar esta ecuación a los muros ensayados se muestra en la Tabla D.9 y en la Figura D.24



**Figura D.22** Razón entre la resistencia al agrietamiento diagonal calculada mediante la expresión empírica propuesta por la norma NCh2321 y la carga de agrietamiento diagonal primario de los ensayos.

**Tabla D.9** Estimación de la resistencia al corte de los muros de albañilería confinada utilizando la expresión recomendada por NCh2123 (2003)

MURO	$A_{mb}$ [mm <sup>2</sup> ]	$\tau_m$ [MPa]	N [kN]	V [kN]	$V_e$ [kN]	V/ $V_e$ [ ]
MRG1	334080	1,056	0	158,76	120	1,32
MRG2	334080	1,056	0	158,76	158	1,00
MRE1	167040	1,056	0	79,38	60	1,32
MRE2	167040	1,056	0	79,38	60	1,32
A11	336720	0,8	0	121,22	116	1,04
A12	374400	0,8	80	153,18	180	0,85
A13	374400	0,8	160	171,58	165	1,04
A14	374400	0,8	160	171,58	144	1,19
A2	374400	0,8	80	153,18	186	0,82
B11	374400	0,235	0	39,59	44	0,90
B12	335760	0,235	160	72,31	111	0,65
B13	335760	0,235	160	72,31	80	0,90
B14	335760	0,235	160	72,31	98	0,74
B2	335760	0,235	80	53,91	92	0,59
C11	336720	0,71	140	139,78	125	1,12
C12	336720	0,71	140	139,78	145	0,96
MV1	336000	0,62	0	93,74	100,72	0,93
MV3	336000	0,62	0	93,74	90,55	1,04
MLC-T1-01	504000	0,55	0	124,74	142	0,88
MLC-T1-02	504000	0,55	0	124,74	160	0,78
MBH-T1-01	511000	0,49	0	112,68	101	1,12
MBH-T1-02	511000	0,49	0	112,68	110	1,02

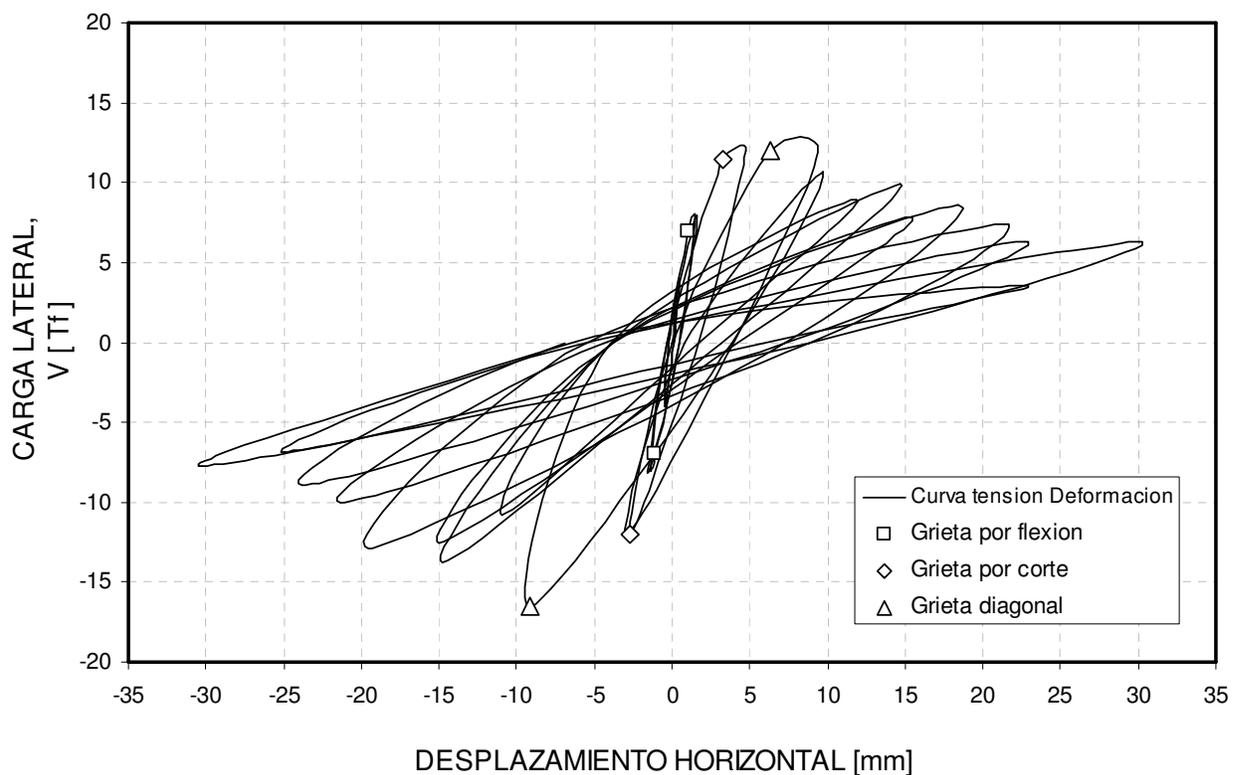
De la Figura D.22 se puede observar que los resultados experimentales se relacionan de buena manera con la capacidad resistente calculada con la ecuación D.32, si se considera el valor promedio de la razón (igual a 0,980). Sin embargo, los datos presentan un coeficiente de variación de 21 %, lo cual indica una dispersión importante de los datos utilizados.

## ANEXO E

### COMPORTAMIENTO EXPERIMENTAL DE MUROS ANALIZADOS

En el siguiente anexo se muestra el comportamiento experimental de los muros de albañilería confinada utilizados para el desarrollo de esta memoria. Se presenta el comportamiento histerético de los muros y figuras correspondientes al estado de agrietamiento observado en el paño, figuras sobre las cuales se emitió un juicio respecto al aparente modo de falla observado en el muro, detalle que es posible encontrar en la Tabla 3.17.

- **Serie MRG:** Dos muros construidos con ladrillos cerámicos tipo rejilla y esbeltez igual a 1.0, ensayados por Diez (1987).



**Figura E.1** Curva carga-deformación para el muro MGR 1

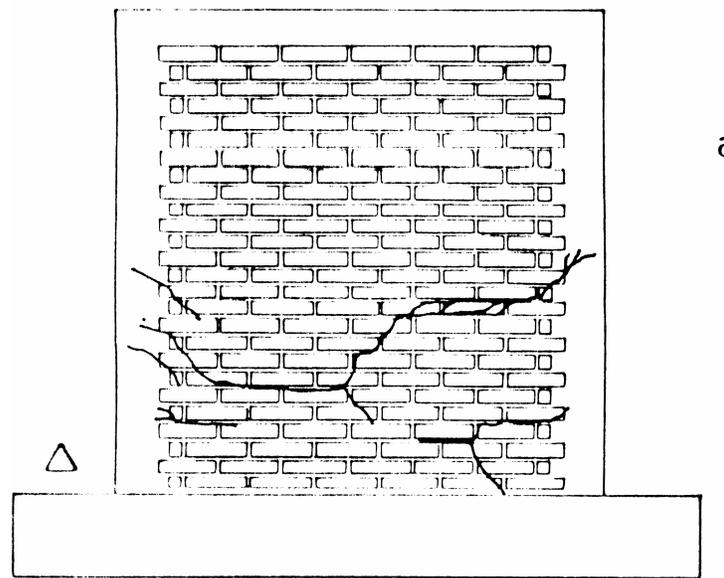


Figura E.2 Estado agrietado de muro MRG1 (Diez, 1987)

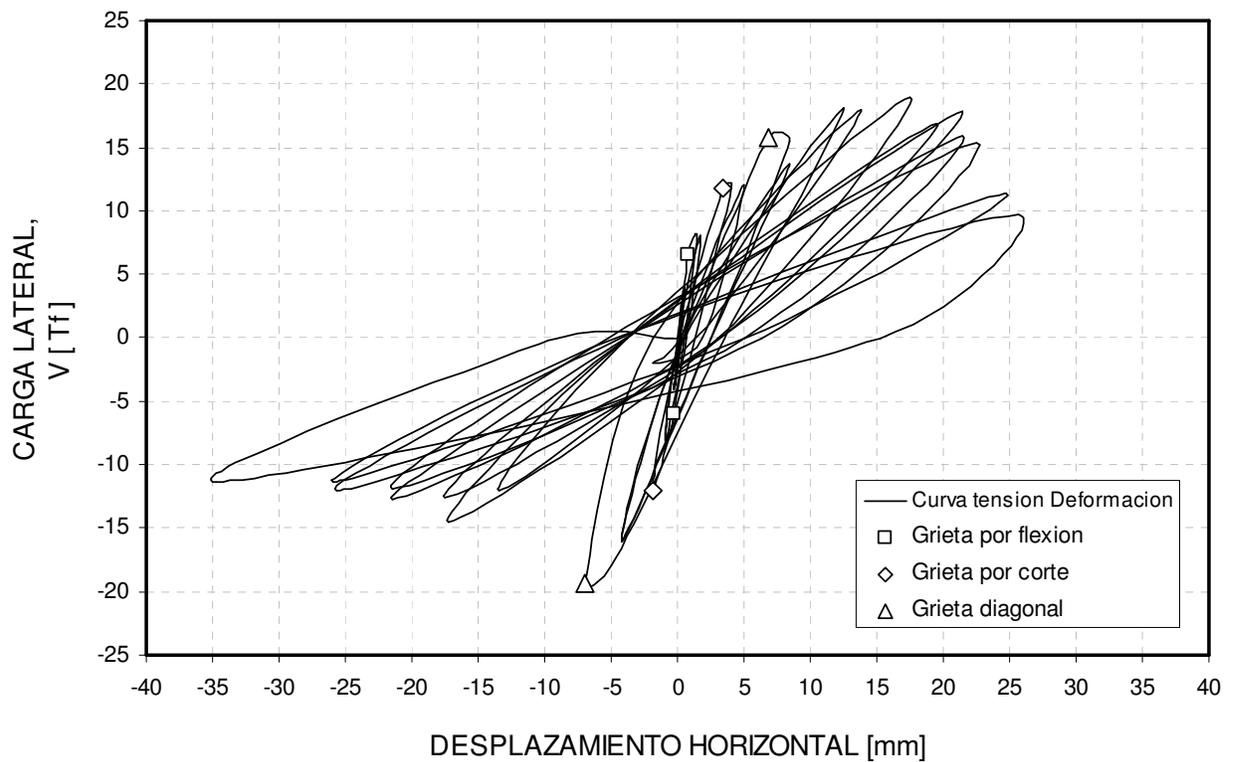


Figura E.3 Curva carga-deformación para el muro MRG2

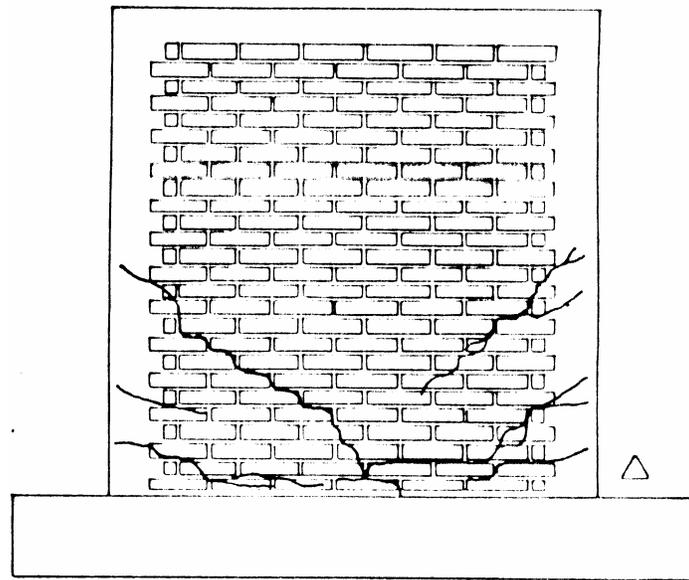


Figura E.4 Estado agrietado del muro MRG2 (Diez, 1987)

- **Serie MRE:** Dos muros construidos con ladrillos cerámicos tipo rejilla y esbeltez igual a 2.0, ensayados por Diez (1987).

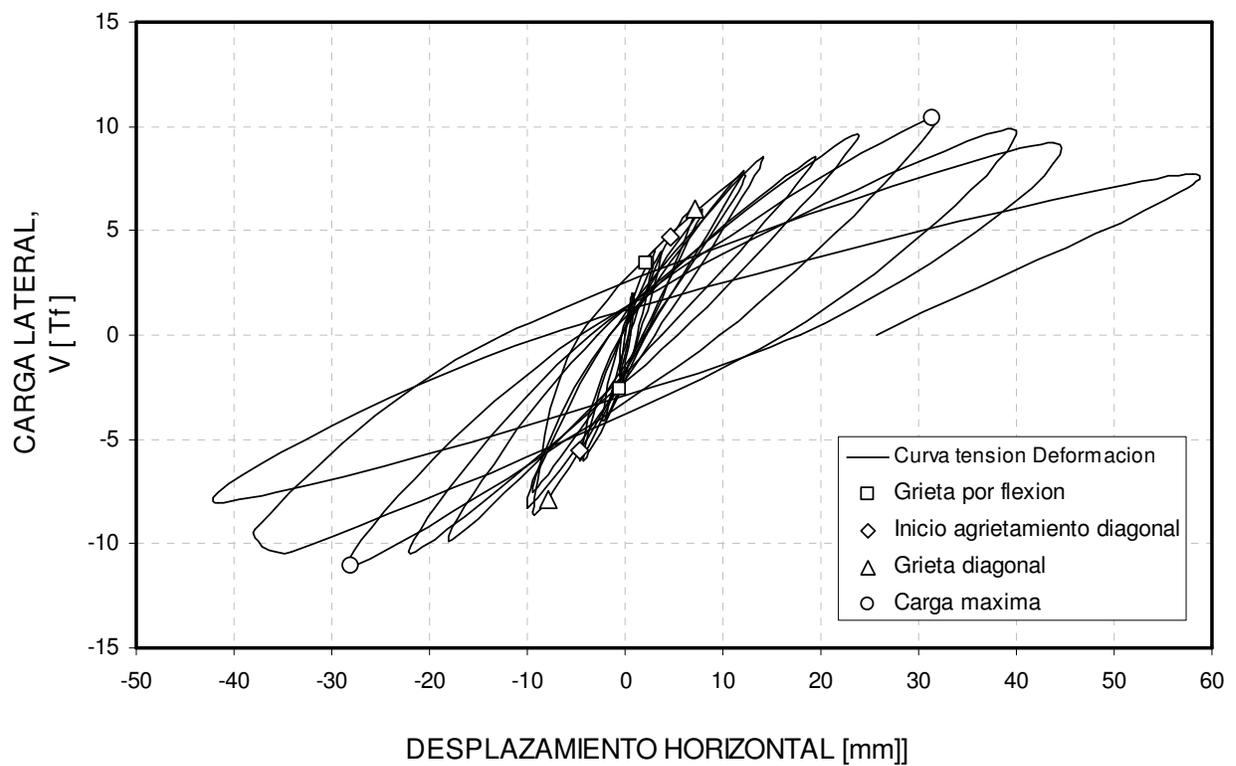
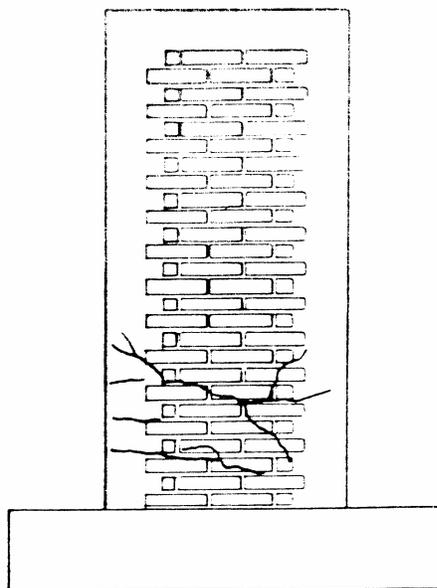
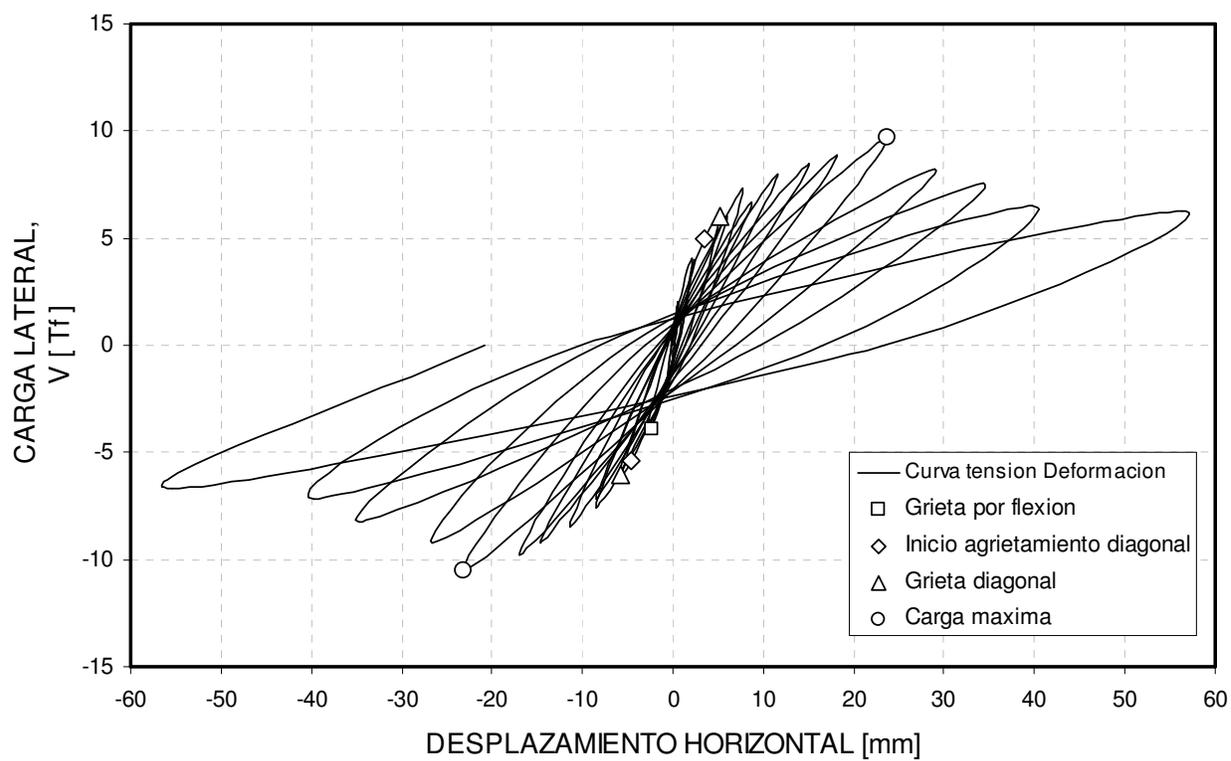


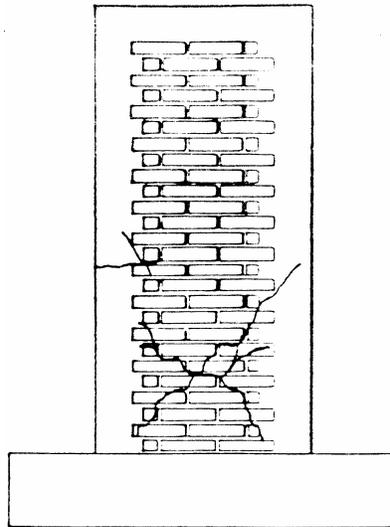
Figura E.5. Curva carga-deformación para el muro MRE 1



**Figura E.6** Estado agrietado de muro MRE1 (Diez, 1987)

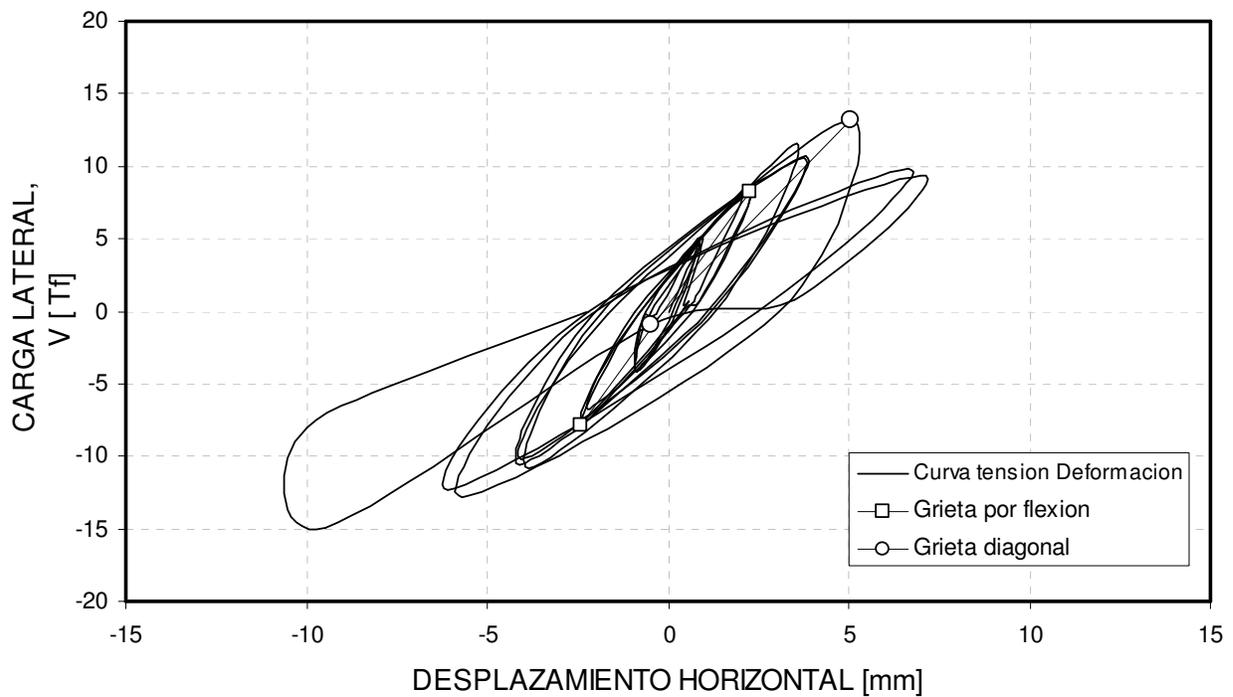


**Figura E.7** Curva carga-deformación para el muro MRE2

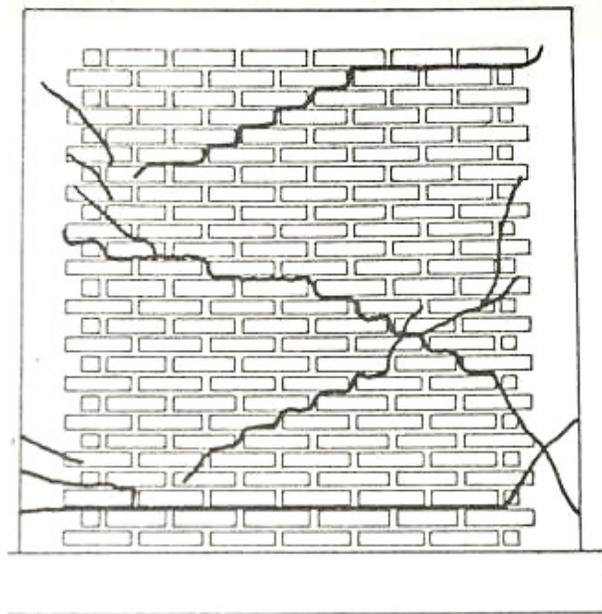


**Figura E.8** Estado agrietado de muro MRE2 (Diez, 1987)

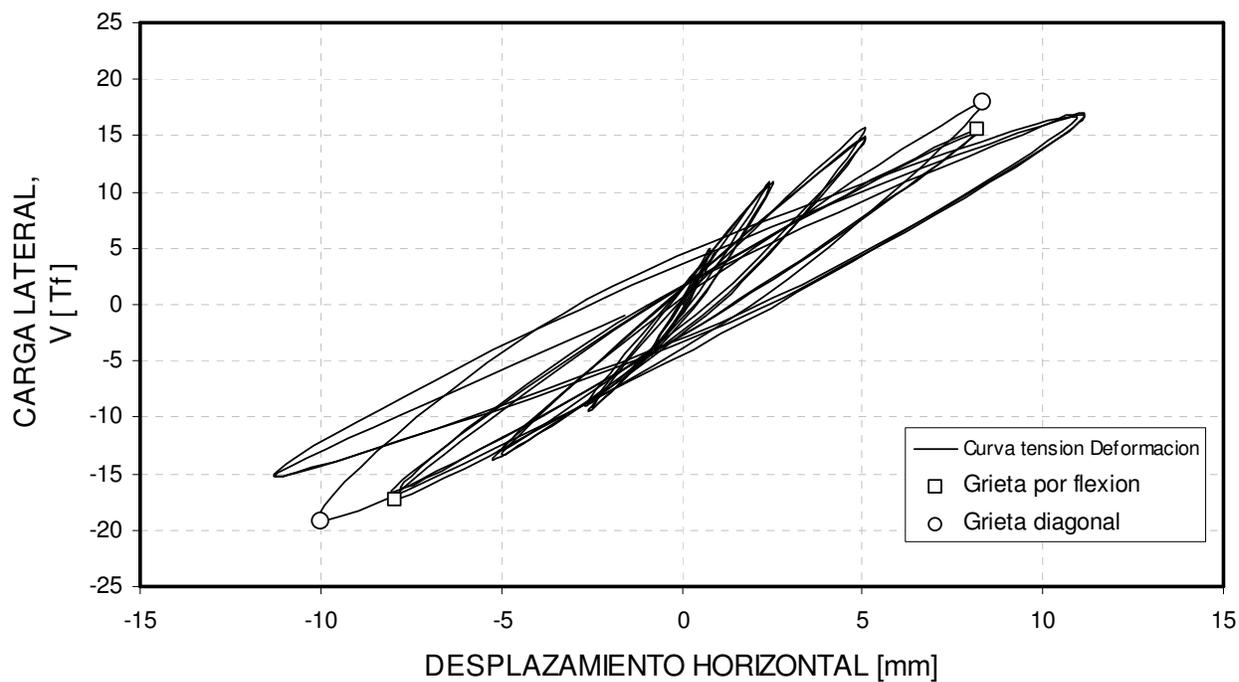
- **Serie A:** Cinco muros construidos con ladrillos cerámicos tipo rejilla y esbeltez igual a 1.0. Se ensayan 4 muros con carga vertical, uno de estos muros no posee unión “endentada” o trabada entre el marco de hormigón armado y el paño de albañilería. Muros ensayados por Herrera (1992).



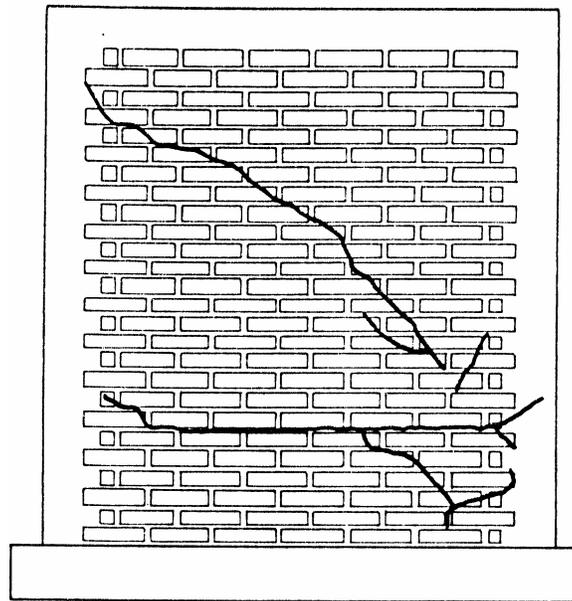
**Figura E.9** Curva carga-deformación para el muro A11



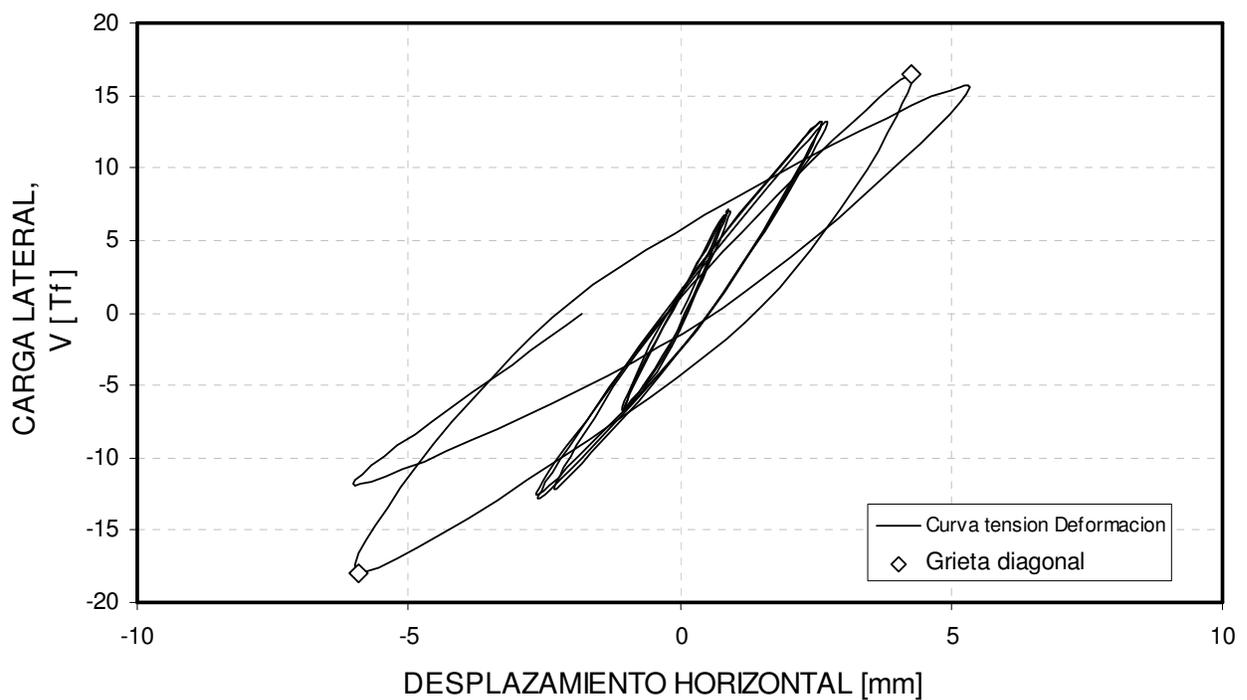
**Figura E.10** Estado agrietado del muro A11 (Herrera, 1992)



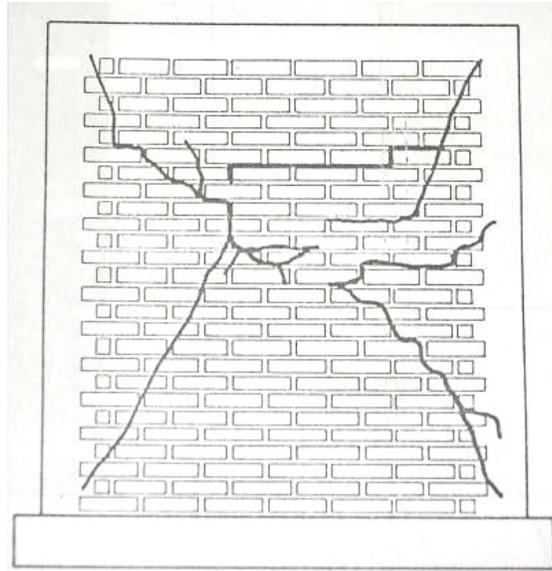
**Figura E.11** Curva carga-deformación para el muro A12



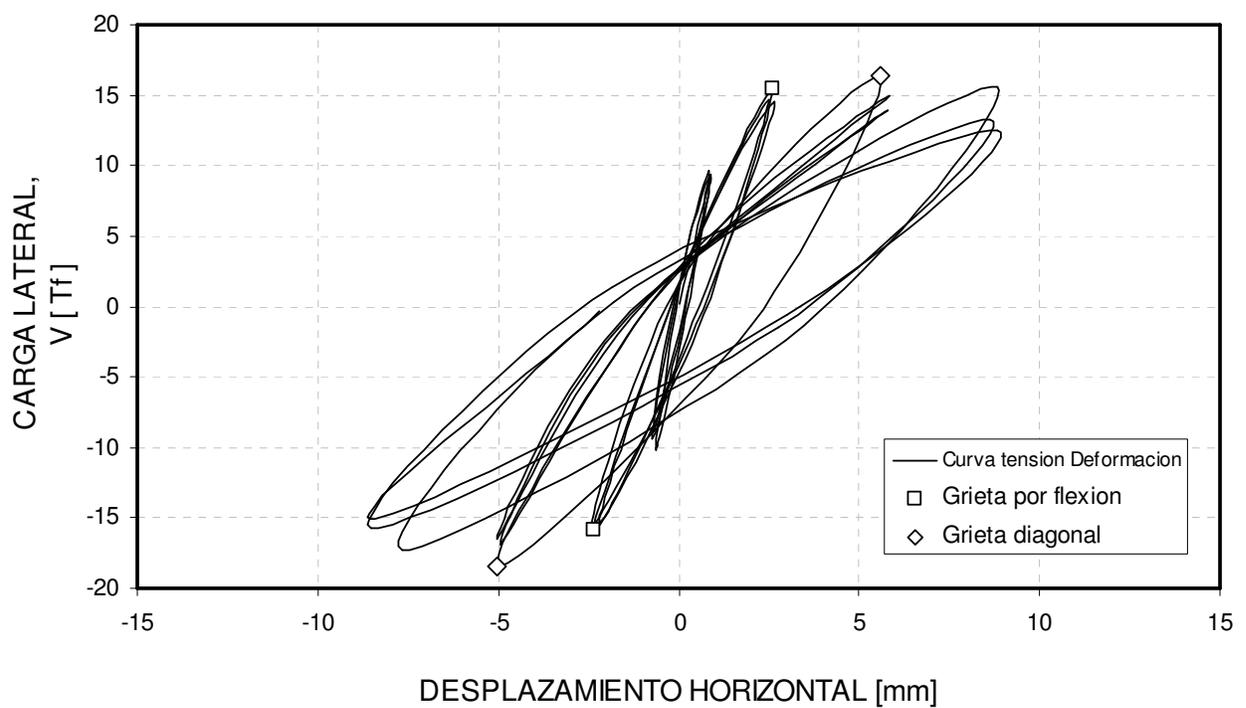
**Figura E.12** Estado agrietado de muro A12 (Herrera, 1992)



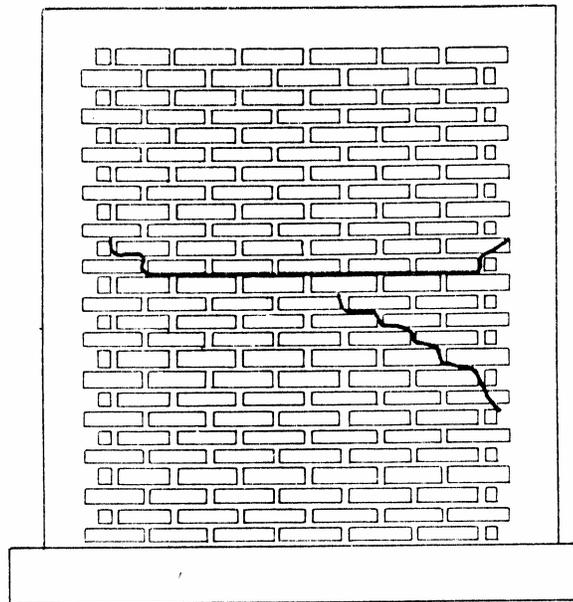
**Figura E.13** Curva carga-deformación para el muro A13



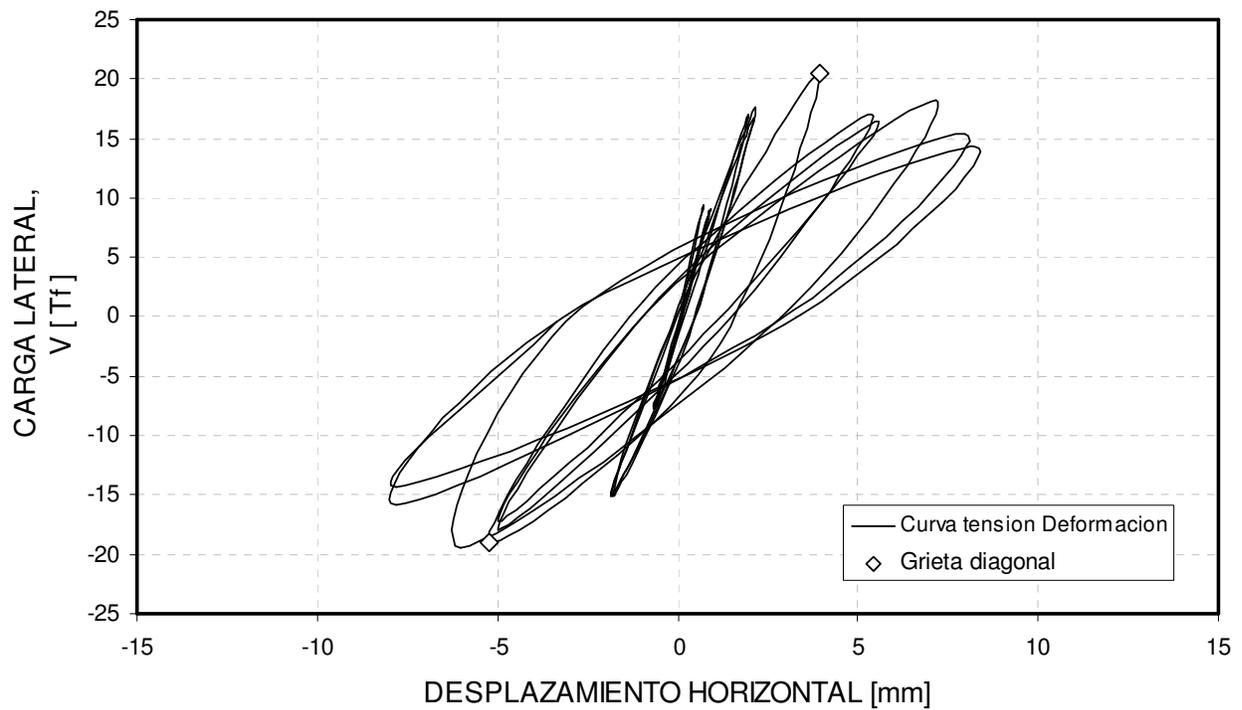
**Figura E.14** Estado agrietado del muro A13 (Herrera, 1992)



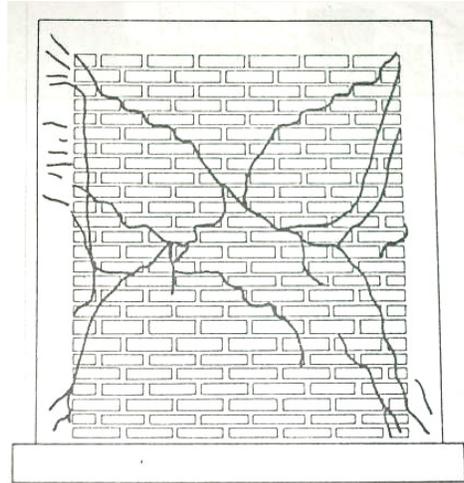
**E.15** Curva carga-deformación para el muro A14



**Figura E.16** Estado agrietado de muro A14 (Herrera, 1992)

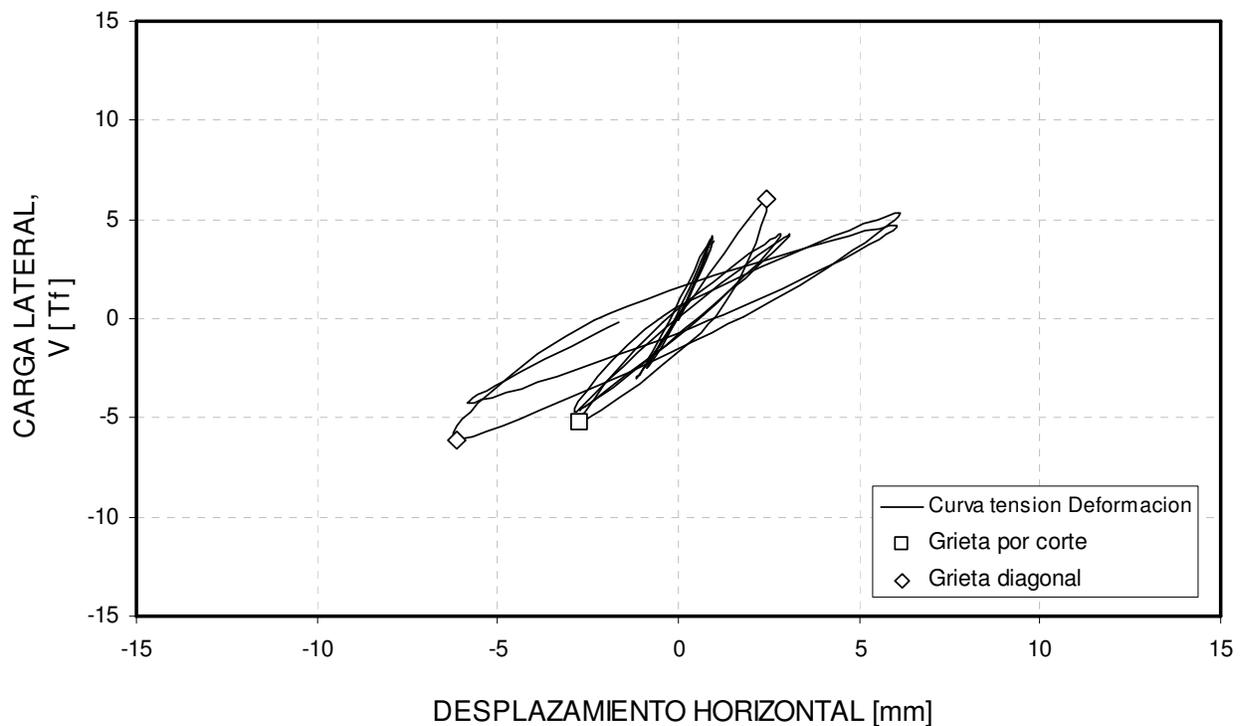


**Figura E.17** Curva carga-deformación para el muro A2

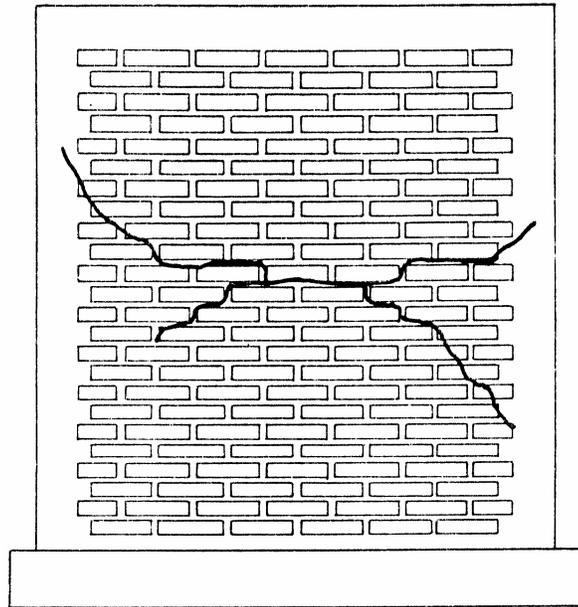


**Figura E.18** Estado agrietado del muro A2 (Herrera, 1992)

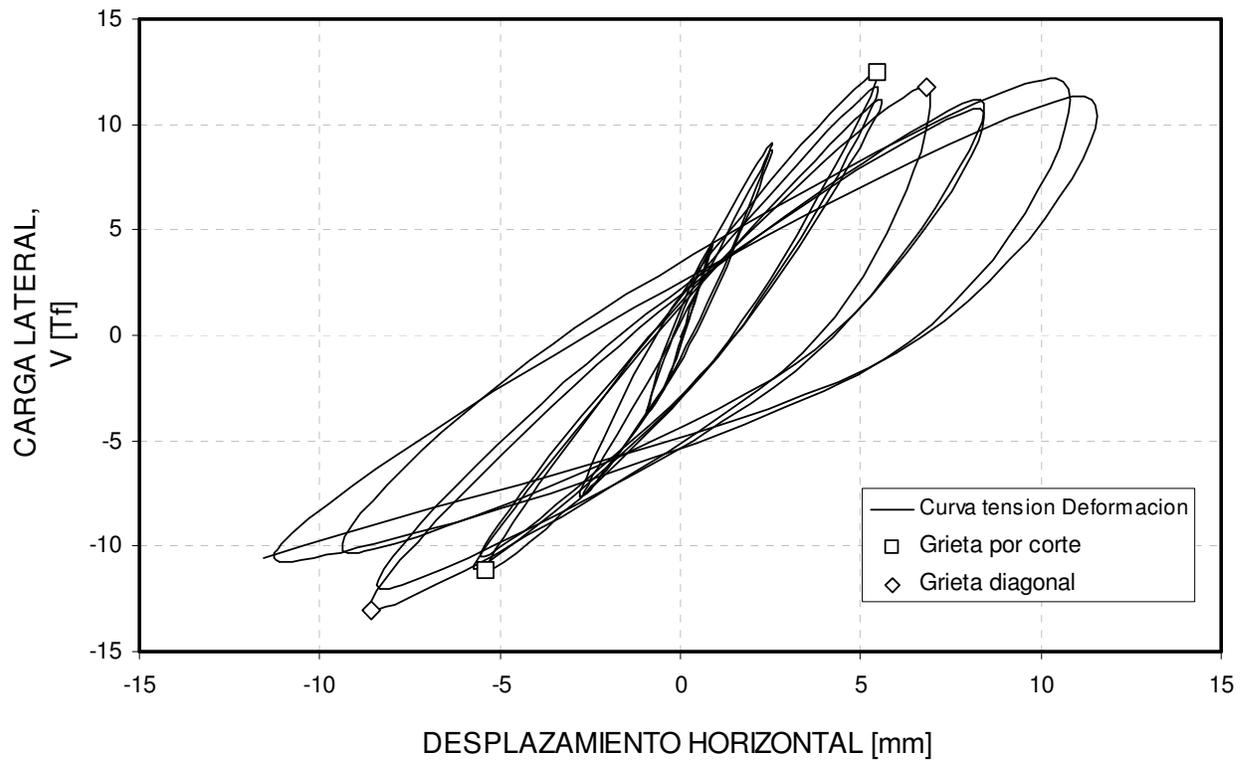
- **Serie B:** Cinco muros construidos con ladrillos cerámicos macizos del tipo artesanal, comúnmente conocidos como ladrillo “fiscal” o “chonchón”, de esbeltez igual a 1.0. Se ensayan 4 muros con carga vertical, uno de estos muros no posee unión “endentada” o trabada entre el marco de hormigón armado y el paño de albañilería. Muros ensayados por Herrera (1992).



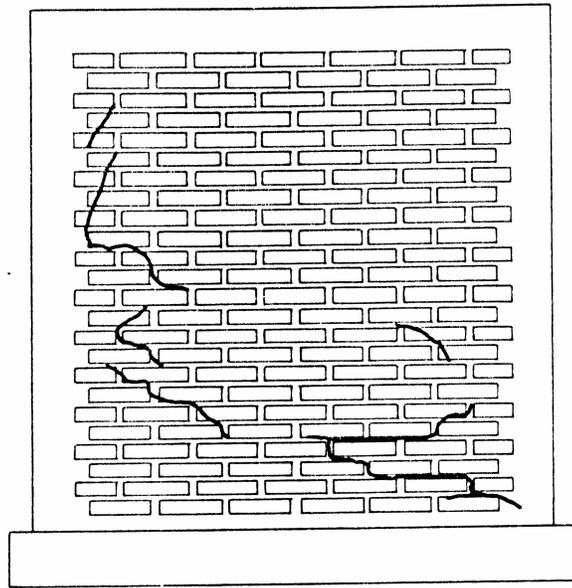
**Figura E.19** Curva carga-deformación para el muro B11



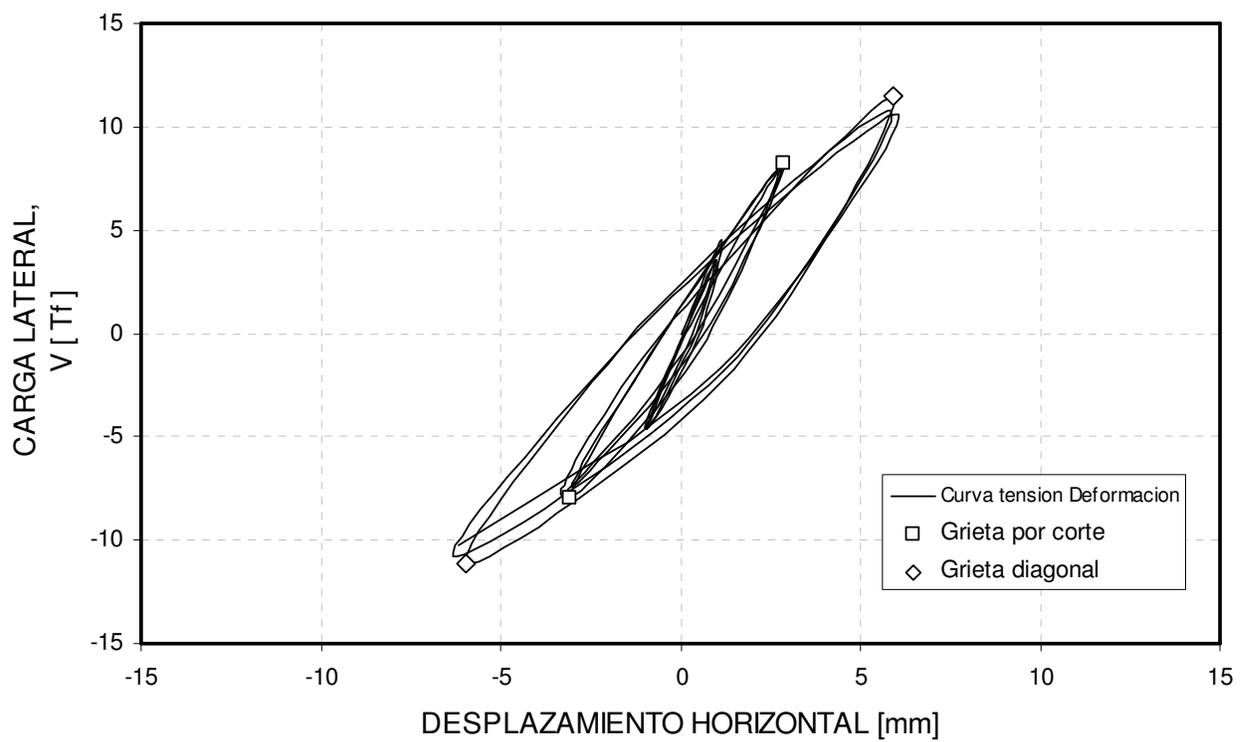
**Figura E.20** Estado agrietado del muro B11 (Herrera, 1992)



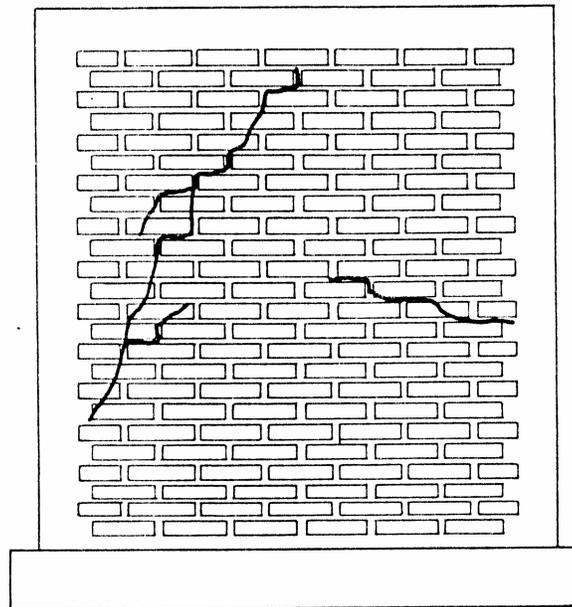
**Figura E.21** Curva carga-deformación para el muro B12



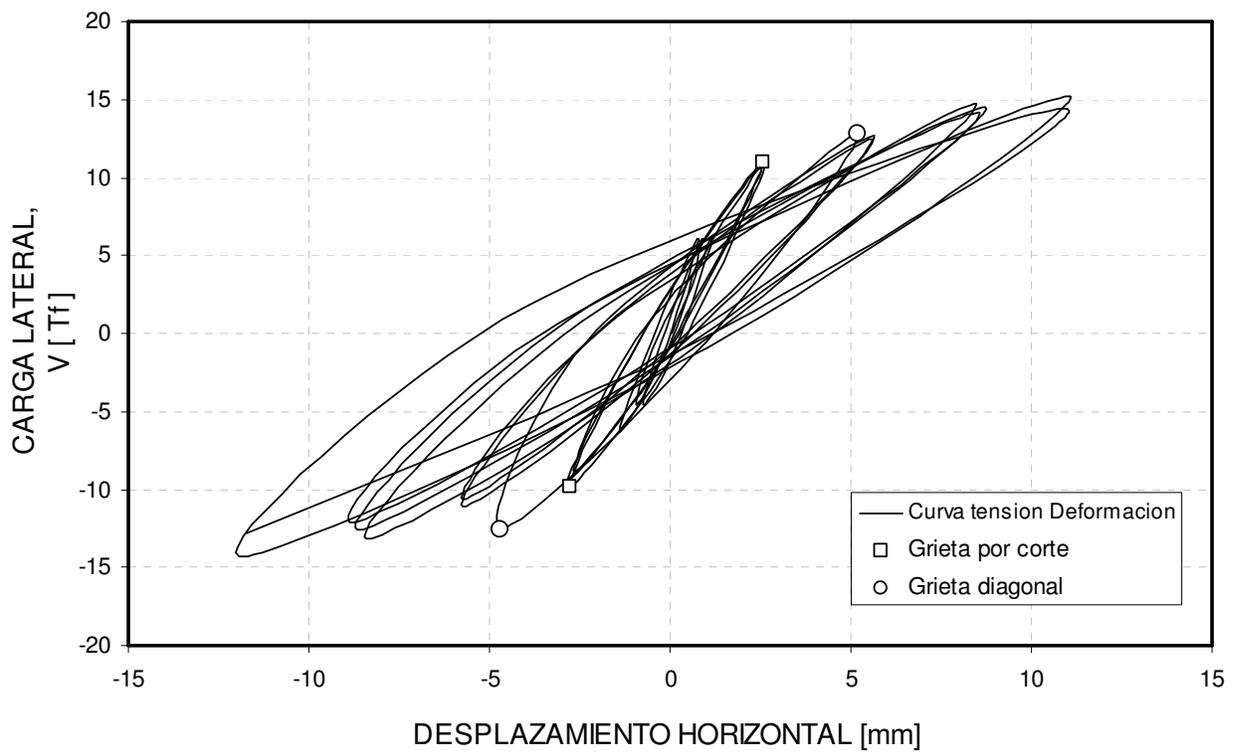
**Figura E.22** Estado agrietado del muro B12 (Herrera, 1992)



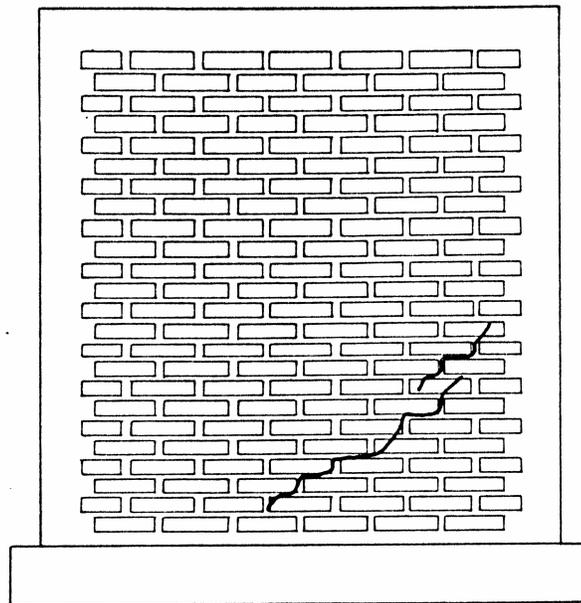
**Figura E.23** Curva carga-deformación para el muro B13



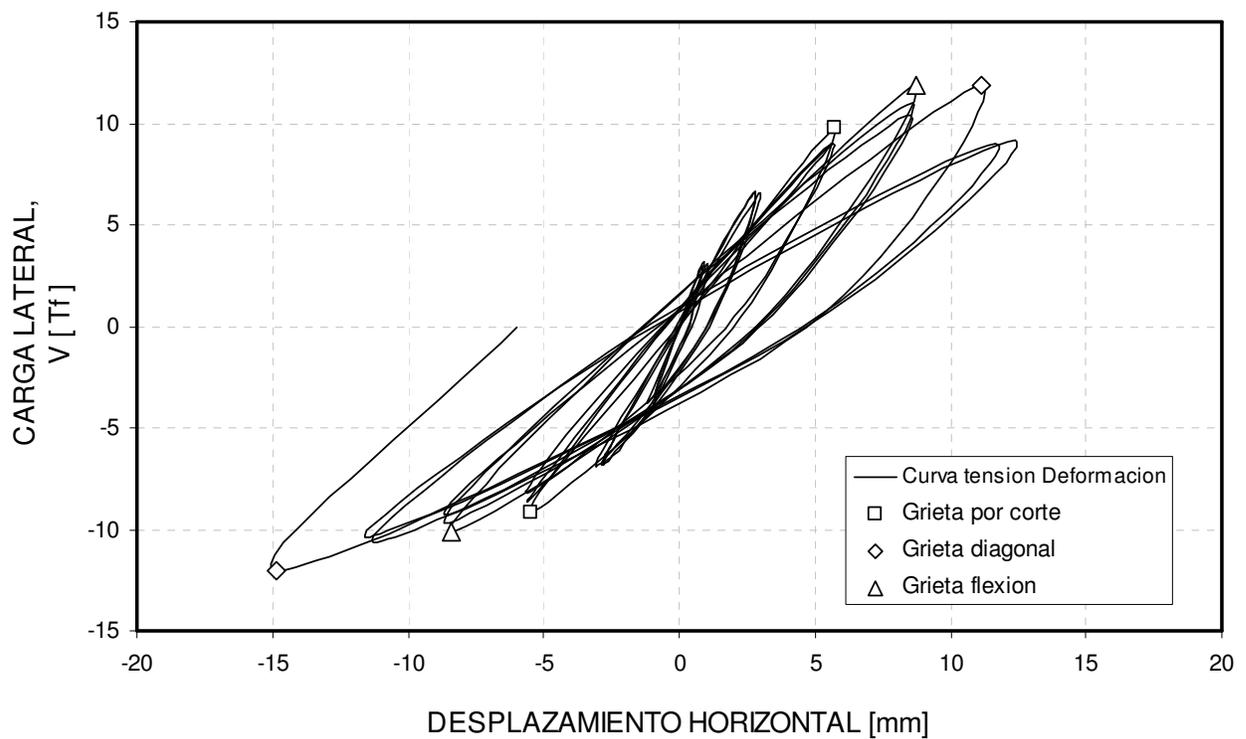
**Figura E.24** Estado agrietado del muro B13 (Herrera, 1992)



**Figura E.25** Curva carga-deformación para el muro B14



**Figura E.26** Estado agrietado del muro B14 (Herrera, 1992)



**Figura E.27** Curva carga-deformación para el muro B2

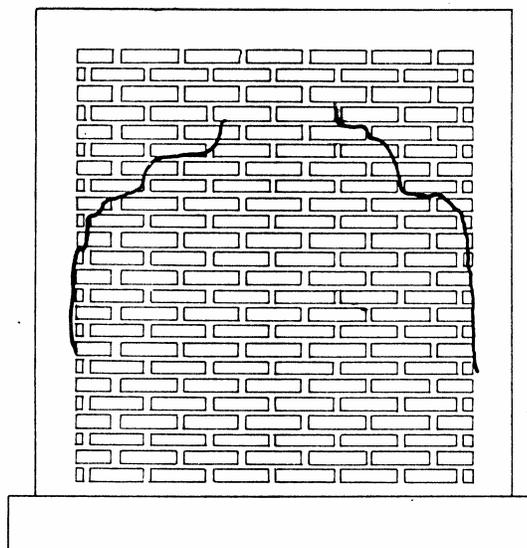


Figura E.28 Estado agrietado del muro B2 (Herrera, 1992)

- **Serie C11:** Un muro construido con bloques huecos de hormigón Tipo A (alta resistencia), sin relleno total de huecos ni armadura distribuida horizontal ni verticalmente. El muro posee una esbeltez igual a 1.0. Muro ensayados con carga vertical por Muñoz (1992).

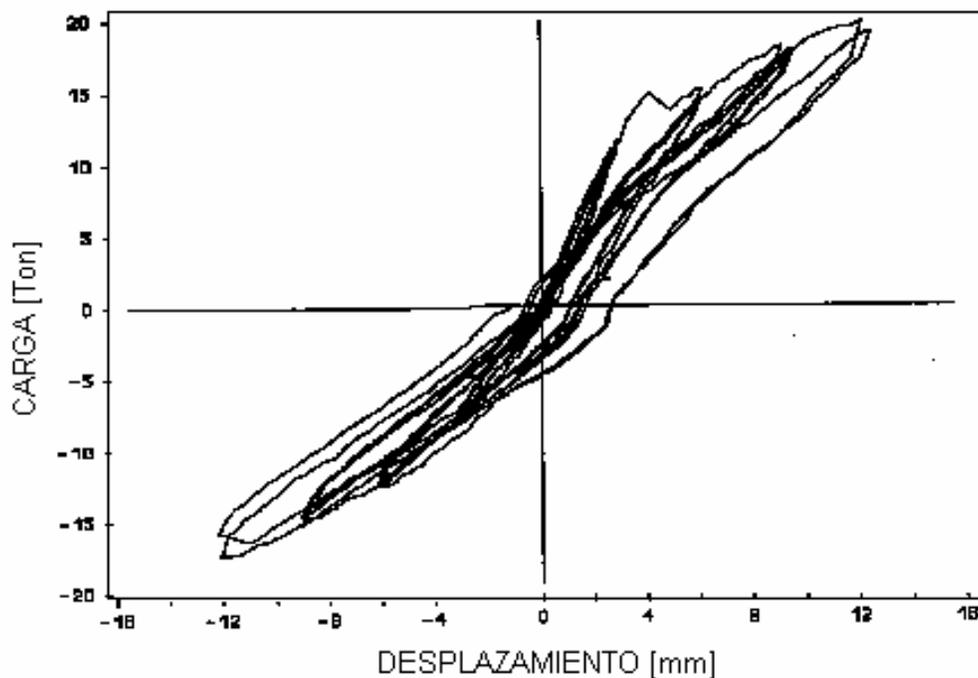


Figura E.29 Curva carga-deformación para el muro C11 (Muñoz, 1992)



Figura E.30 Estado final del muro C11 (Muñoz, 1992)

- **Serie C12:** Un muro construido con bloques huecos de hormigón Tipo B (corriente), sin relleno de huecos ni armadura distribuida horizontal ni verticalmente. El muro posee una esbeltez igual a 1.0. Muro ensayados con carga vertical por Muñoz (1992).

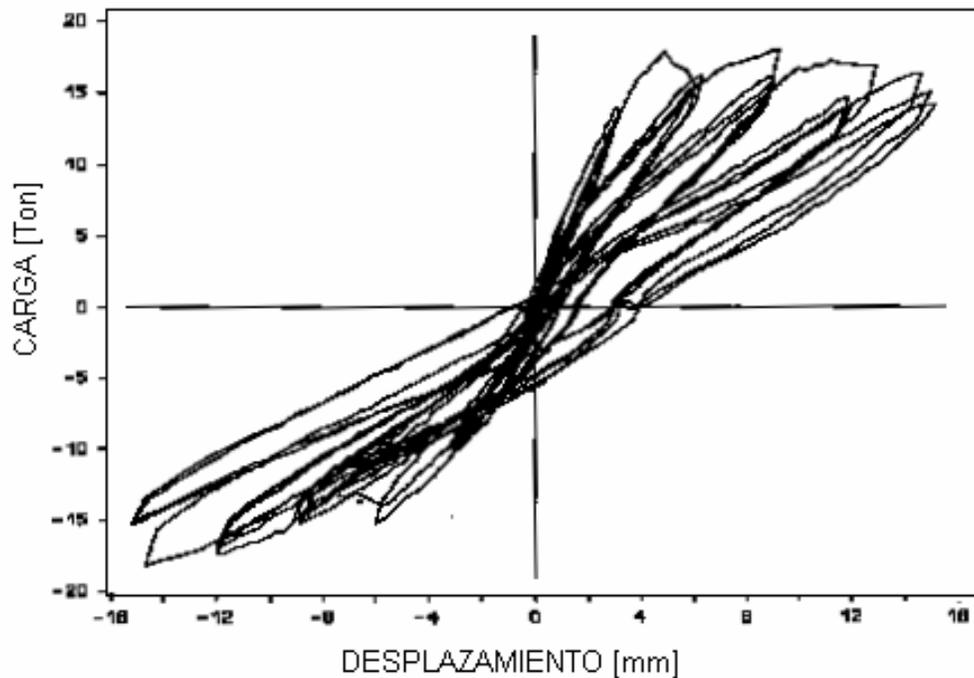
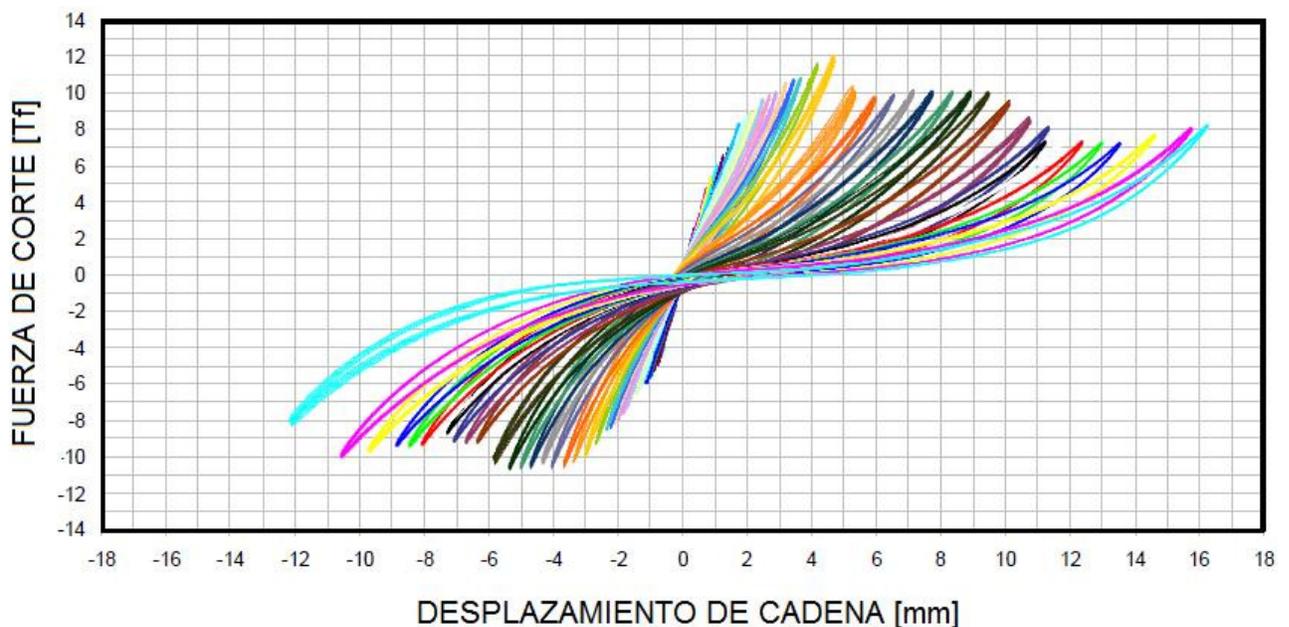


Figura E.31 Curva carga-deformación para el muro C12 (Muñoz, 1992)



**Figura E.32** Estado final del muro C12 (Muñoz, 1992)

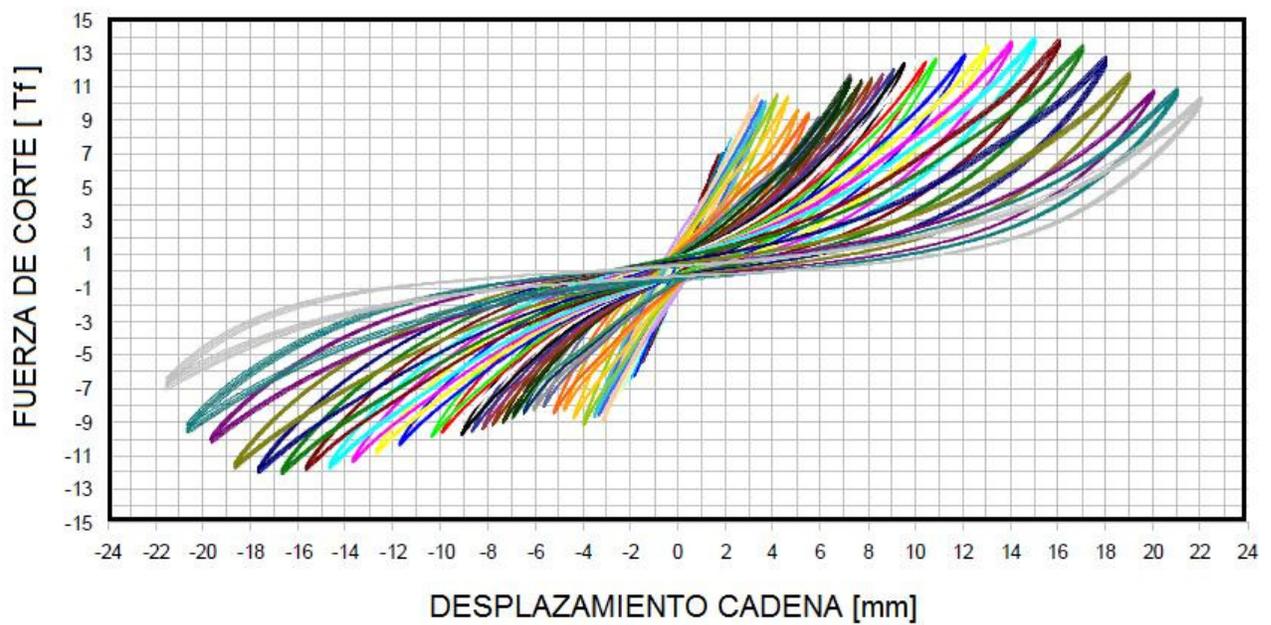
- **Serie MV:** Dos muros construidos con ladrillos cerámicos tipo rejilla y esbeltez igual a 1,03. Los muros difieren en las dimensiones de sus pilares, por lo tanto, el largo del panel de albañilería y el ángulo que forma la diagonal con la horizontal, es distinto en cada muro. Ensayos de Galleguillos y Valenzuela (2009).



**Figura E.33** Curva carga-deformación para el muro MV1 (Galleguillos y Valenzuela, 2009)



**Figura E.34** Estado final de muro MV1 (Galleguillos y Valenzuela, 2009)

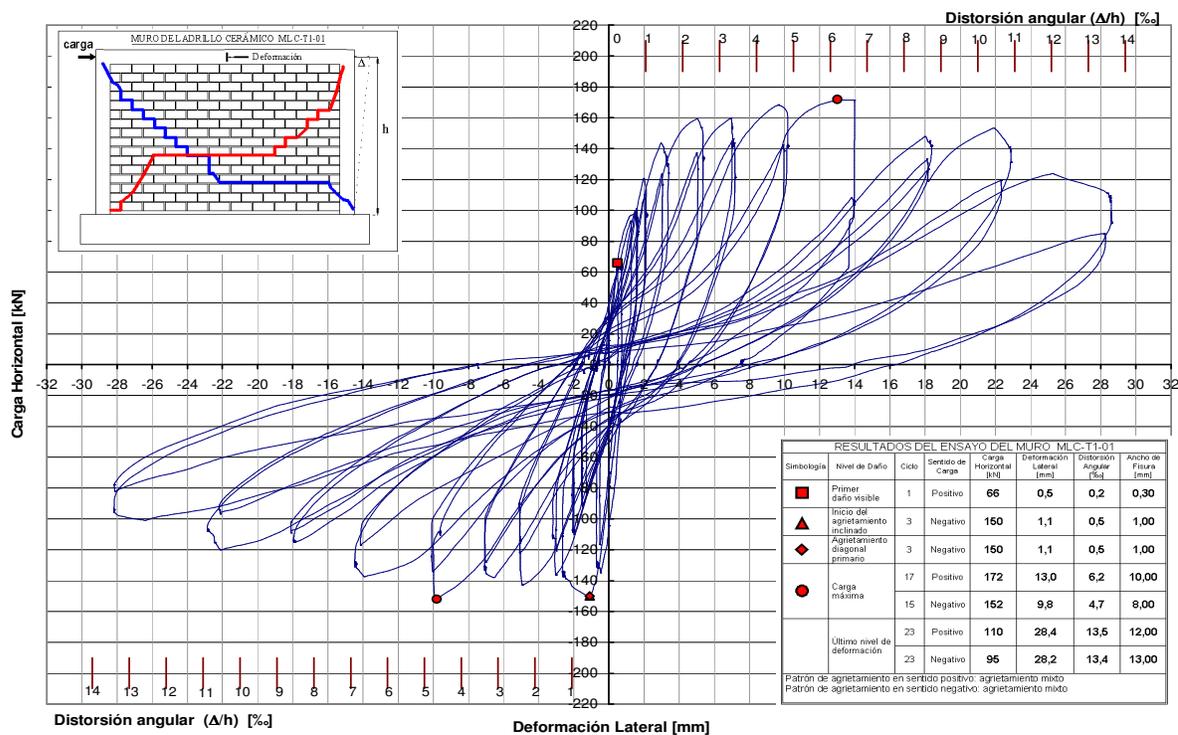


**Figura E.35** Curva carga-deformación para el muro MV3 (Galleguillos y Valenzuela, 2009)



**Figura E.36** Estado final de muro MV3 (Galleguillos y Valenzuela, 2009)

- **Serie MLC:** Dos muros construidos con ladrillos cerámicos tipo rejilla con huecos y de esbeltez igual a 0,62. Muros ensayados sin carga vertical por Ogaz (2004).



**Figura E.37** Curva carga v/s deformación lateral en muro MLC1-T1-01 (Ogaz, 2004)

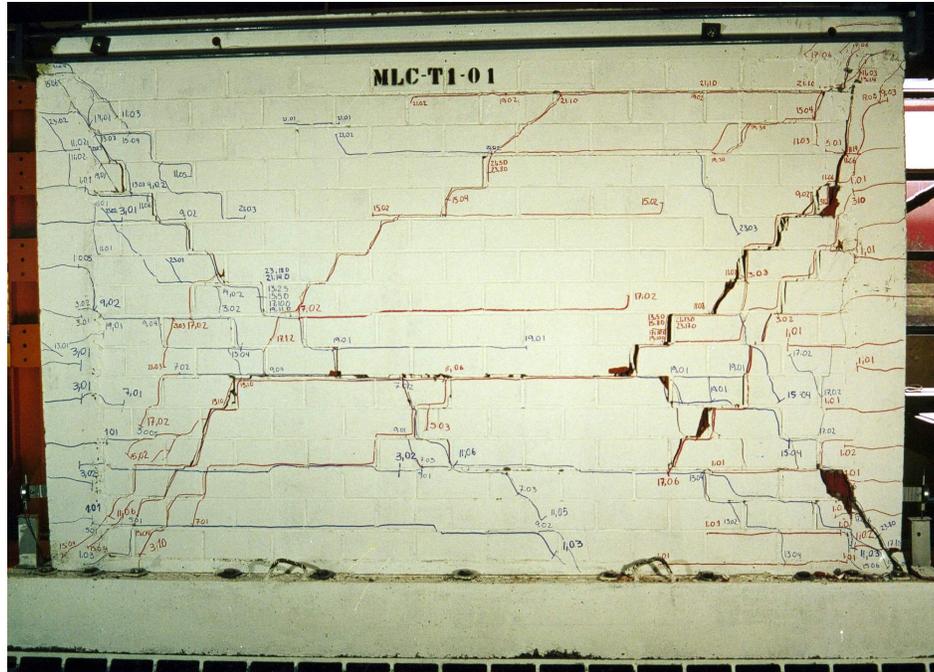


Figura E.38 Vista general del estado final de daños del muro MLC-T1-01 (Ogaz, 2004)

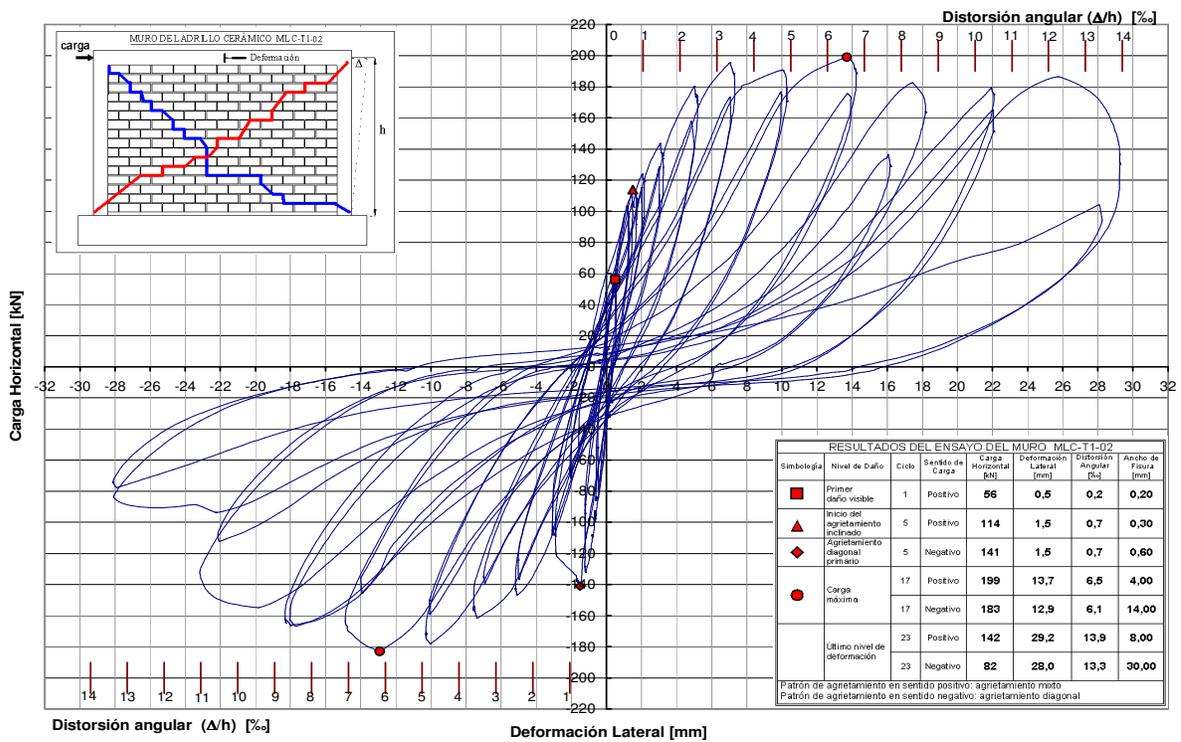


Figura E.39 Curva carga v/s deformación lateral en muro MLC1-T1-02 (Ogaz, 2004)

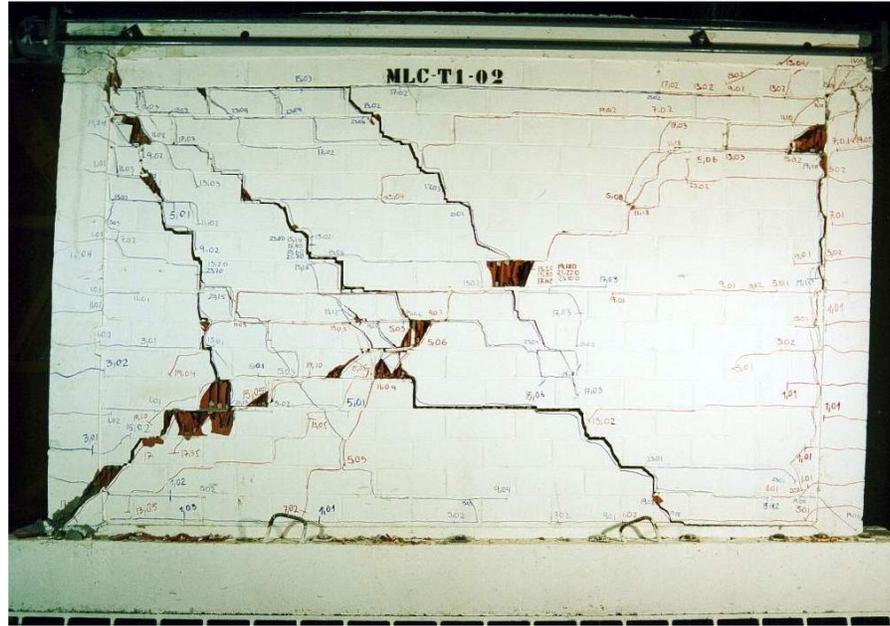


Figura E.40 Vista general del estado final de daños del muro MLC-T1-02 (Ogaz, 2004)

- **Serie MBH:** Dos muros construidos con bloques huecos de hormigón Tipo A (alta resistencia) sin relleno de huecos y esbeltez igual a 0,61. Muros ensayados sin carga vertical externa por Ogaz (2004).

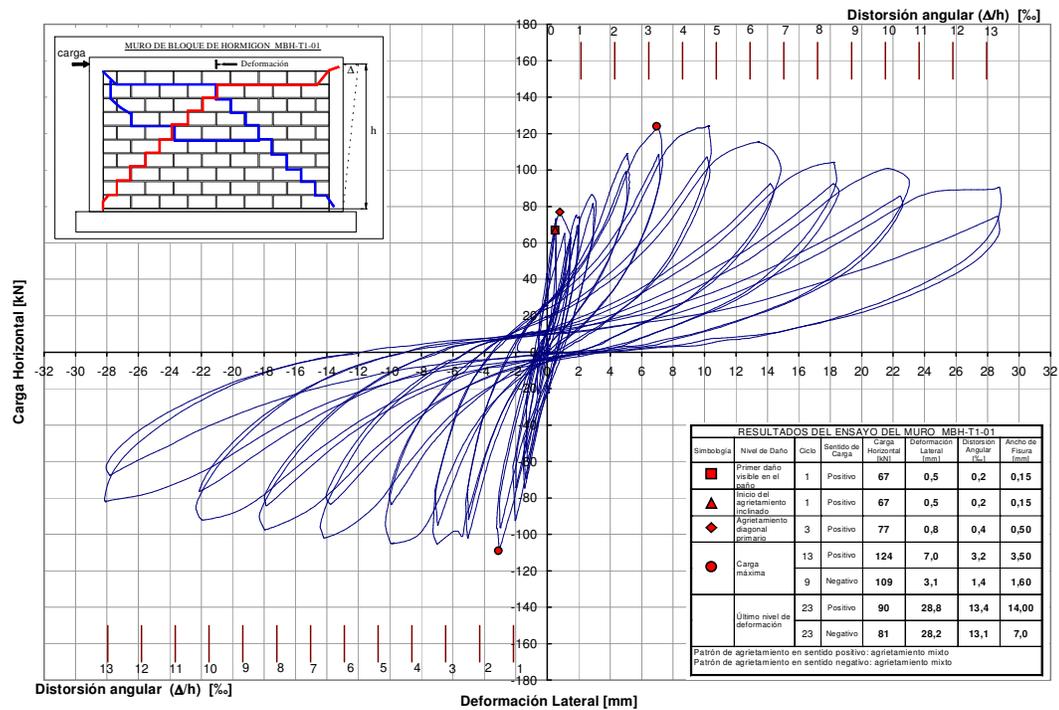


Figura E.41 Curva carga-deformación lateral muro MBH-T1-01 (Ogaz, 2004)

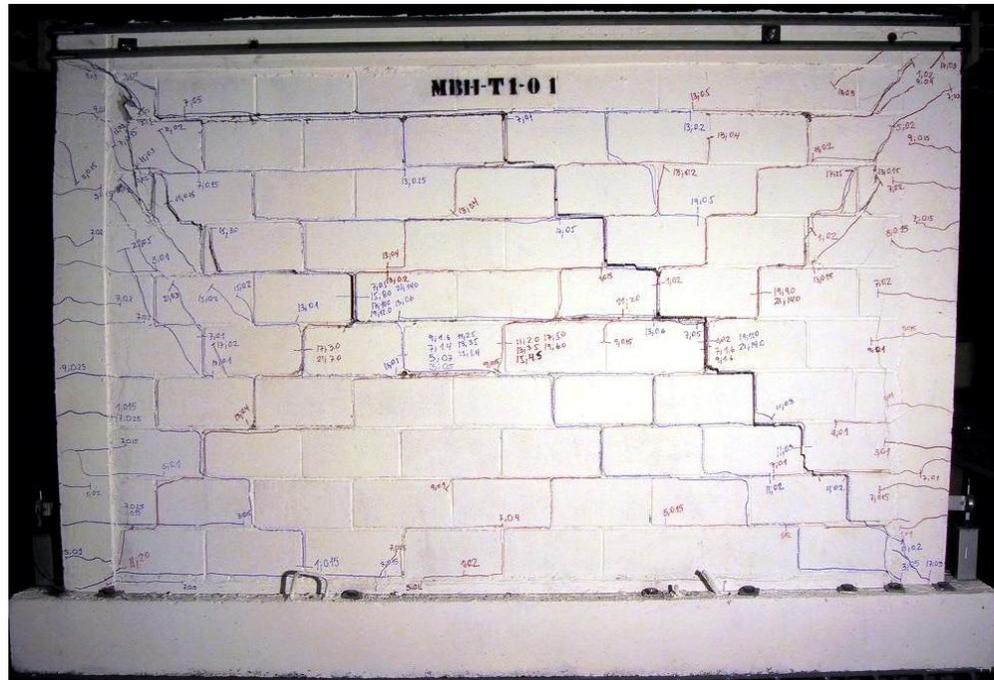


Figura E.42 Vista general del estado final de daños del muro MBH-T1-01

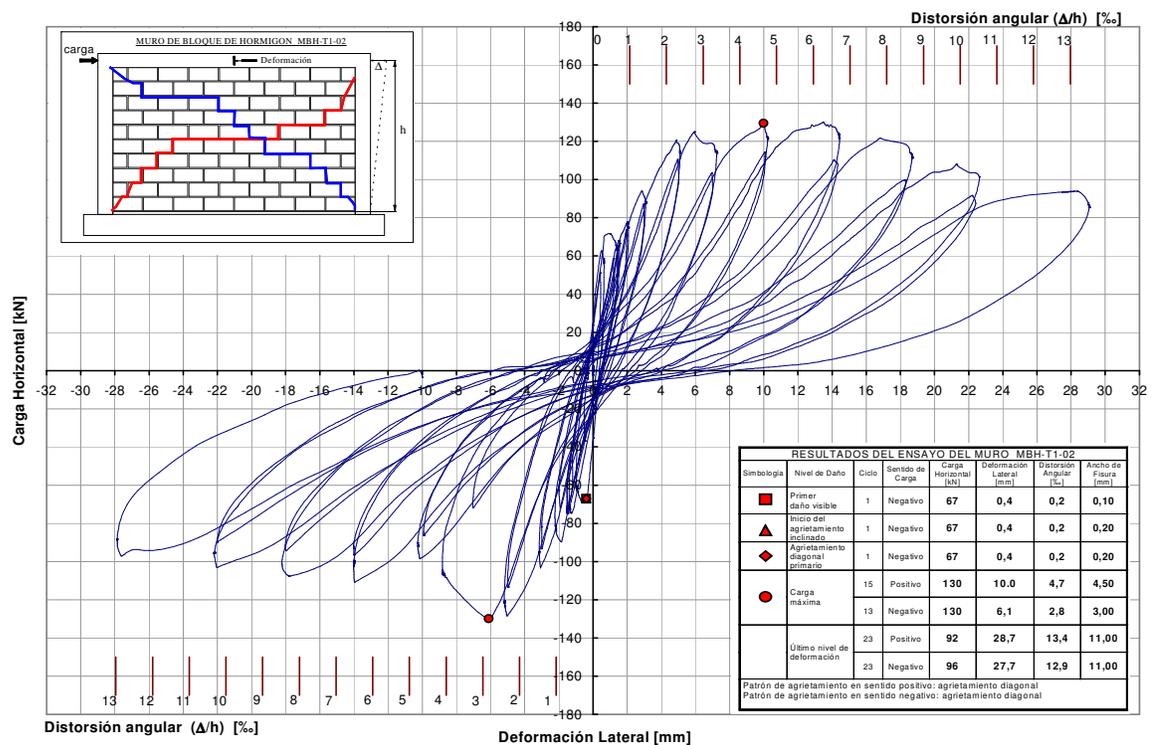
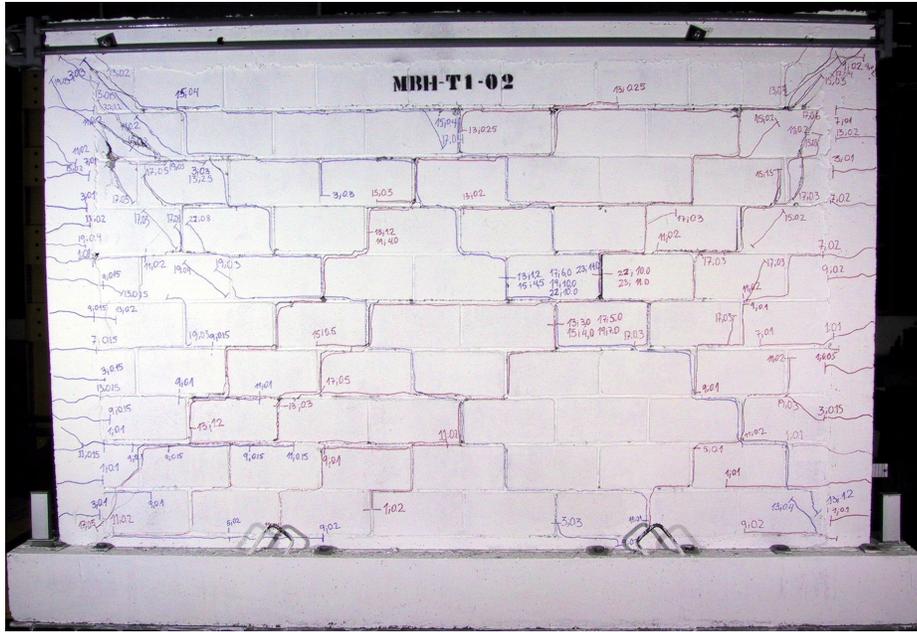


Figura E.43 Curva carga v/s deformación lateral en muro MBH-T1-02 (Ogaz, 2004)



**Figura E.44** Vista general del estado final de daños del muro MBH-T1-02 (Ogaz, 2004)

## ANEXO F

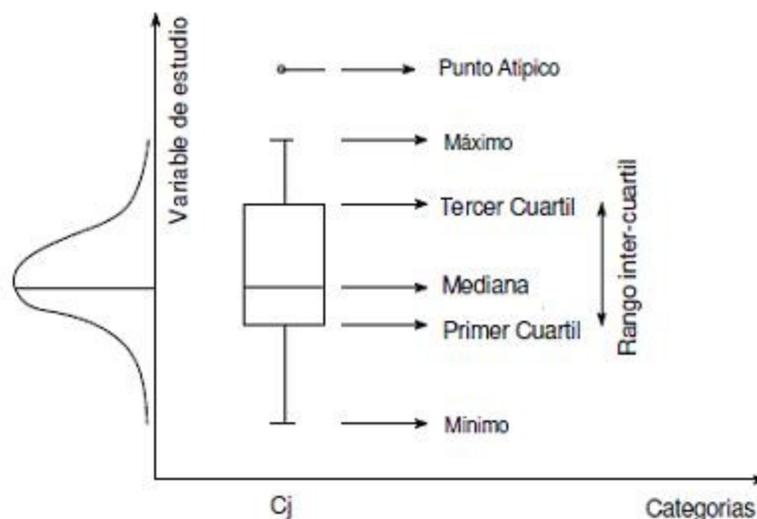
### INTERPRETACION DE GRAFICOS DE CAJA (“BOXPLOT”)

La estadística descriptiva permite caracterizar una serie de datos a través de gráficos, tablas y medidas de resumen. Lo cual, permite desarrollar un mejor análisis de información, tanto de variables cuantitativas como cualitativas.

Dentro de este contexto, los diagramas de caja (“*boxplot*”), son utilizados para la representación de la distribución de una variable cuantitativa en función de una variable cualitativa o una variable cuantitativa discreta y ver la tendencia que existe entre estas. Para esto, los valores que toma la variable en estudio se ordenan en rangos.

Los valores de construcción del grafico, se detallan a continuación:

- *Máximo y mínimo*: valores extremos que toma la variable en estudio.
- *Cuartiles*: el primer cuartil y tercer cuartil corresponde al valor que toma la variable en estudio tal que bajo este valor se encuentra el 25% y 75% de las observaciones, respectivamente.
- *Mediana*: corresponde al segundo cuartil o el valor que toma la variable en estudio tal que bajo ese valor se encuentra el 50% de las observaciones.
- *Rango inter.-cuartil*: diferencia entre el tercer y primer cuartil.
- *Punto atípico*: Cualquier valor que medido desde el primer o tercer cuartil se aleje mas allá de 1,5 veces el rango Inter.-cuartil.



**Figura F.1** Esquema de construcción e interpretación de un diagrama de caja o “*boxplot*”  
(Muñoz, 2006)

Dentro de las cualidades de estos gráficos, se puede destacar:

- El tamaño de la caja, dado por el rango intercuartil, es una medida de la dispersión de las observaciones. Cuando la mediana se encuentra centrada en la caja, se tiene una distribución simétrica, mientras que cuando la mediana se desplaza hacia un lado u otro de la caja, se tiene una distribución sesgada.
- Los puntos atípico son útiles para poder identificar un caso particular donde un valor no sigue el resto de las observaciones de la muestra o detectar fallas en el muestreo.
- Es posible analizar cuan dispersos son los resultados.