



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
MODELO DE PUNTAL-TENSOR. MODELO DE CRISAFULLI
MODIFICADO.**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

CRISTIAN ANDRÉS MALDONADO CERDA

PROFESOR GUÍA:
MAXIMILIANO ASTROZA INOSTROZA

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
LEONARDO MASSONE SÁNCHEZ
FRANCISCO CABEZAS MOLINA

SANTIAGO DE CHILE
ABRIL 2013

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR AL
TITULO DE INGENIERO CIVIL
POR: CRISTIAN MALDONADO CERDA.
FECHA: 04 DE ABRIL DE 2013
PROF. GUÍA: Sr. MAXIMILIANO ASTROZA I.

**ESTIMACIÓN ANALÍTICA DE LA RESISTENCIA AL CORTE DE MUROS DE
ALBAÑILERÍA CONFINADA MEDIANTE MODELO DE PUNTAL-TENSOR.
MODELO DE CRISAFULLI MODIFICADO.**

El objetivo de esta memoria es desarrollar un modelo teórico para determinar la resistencia al corte de muros de albañilería confinada, la cual corresponde a la carga de agrietamiento diagonal del paño de albañilería.

El modelo teórico propuesto se basa en un modelo macro del tipo puntal-tensor en el cual la capacidad resistente del puntal de compresión que representa la presencia del paño de albañilería se determina a partir de la teoría de falla propuesta por Dialer, teoría que considera que el estado de tensiones que se produce en una unidad de albañilería es del tipo biaxial y que las propiedades mecánicas en la interfase unidad-mortero no son las mismas. Para este efecto se introducen dos coeficientes en el modelo, χ y F.

Al aplicar el modelo a una muestra de 22 muros sometidos a una fuerza lateral alternada ensayados en Chile entre los años 1987 y 2009, se comprueba que se obtiene una buena estimación de la carga de agrietamiento diagonal del paño de albañilería cuando hay aplicada una carga vertical externa, resultando el valor promedio de la relación entre la carga calculada y la carga experimental igual a 0,95 con un coeficiente de variación de 0,15. En el caso de los muros ensayados sin la presencia de una carga vertical, el modelo sobreestima el valor de la resistencia al corte de los muros, entregando una relación entre la carga calculada y la carga experimental igual a 1,15.

Una de las virtudes 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 en las juntas de mortero y por tracción en las unidades, y que la falla por compresión en el paño de albañilería queda descartada salvo en aquellos muros construidos con unidades con baja resistencia a la compresión. Además, en los muros con una relación alto-largo igual a 2, la capacidad resistente queda controlada por la fluencia de las barras longitudinales de los pilares de confinamiento.

Teniendo en cuenta los resultados de esta memoria, se recomienda continuar con esta investigación concentrándose en la determinación empírica de los coeficientes χ y F y del coeficiente de reducción de la resistencia a la compresión en función de la orientación de la junta horizontal de mortero para muros construidos con las unidades de albañilería fabricadas en Chile.

Con amor, a Roberto, Ximena, Carlos y Karla.

AGRADECIMIENTOS

Primero que todo, debo agradecer a Dios y a mi familia, por su amor incondicional y por estar en las buenas y en las malas, aguantar mi exótico carácter y animarme a seguir siempre adelante. De manera especial, agradezco a mi padre, quien desde el cielo estuvo siempre presente en toda mi estadía universitaria.

Agradezco a Karla todo el amor entregado en tanto tiempo, y sobretodo durante la realización de esta Memoria. ¡Muchísimas gracias por aguantarme tanto!

También agradezco al profesor Maximiliano Astroza por el tremendo apoyo dado en el desarrollo de esta Memoria de Título, por los consejos dados en el camino y por estimular el interés en la investigación de un material tan usado en Chile como es la albañilería. Asimismo, quiero agradecer al profesor Leonardo Massone y a Francisco Cabezas por la muy buena disposición mostrada a la hora de responder consultas y orientar los lineamientos de este trabajo.

Debo agradecer enormemente a todos quienes fueron mis compañeros en estos años en la universidad, desde aquella sección 5 de primer año hasta los muchachos de civil. Menciono especialmente a Andrea, Evelyn, Paleón, Abel, Cuyi, Perro, Gato, Dieguinho, César, Hermo, Enzo, Massú, Mella, Leandro, JP y tantos más, por hacer de la universidad un lugar muy grato para compartir la vida y no solo el estudio.

Finalmente, a todos quienes han pasado por mi vida y han dejado una huella, muchísimas gracias.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	i
AGRADECIMIENTOS	iii
TABLA DE CONTENIDO	iv
ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	xiv
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	1
1.1. Motivación	1
1.2. Objetivos	2
1.2.1. Objetivo general.	2
1.2.2. Objetivos específicos.....	2
1.3. Organización de la memoria	2
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO	4
2.1. Introducción	4
2.2. Fórmulas utilizadas en normas de diseño	4
2.3. Modelo teórico para determinar la resistencia al corte de un muro de albañilería confinada	6
2.4. Teoría de falla del paño de albañilería.....	10
2.4.1. Estado de tensiones en el panel	10
2.4.2. Criterio de falla 1: Deslizamiento de las juntas de mortero.	14
2.4.3. Criterio de falla 2: Falla de tracción en la unidad (Criterio de Rankine).	16
2.4.4. Criterio de falla 3: Falla por compresión en la albañilería.....	18
2.5. Espacio de tensiones principales. Resistencia del puntal de compresión que representa el paño de albañilería	18
2.5.1. Tensiones principales.	18
2.5.1.1. Falla por adherencia.....	19
2.5.1.2. Falla por tracción en la unidad.....	19
2.5.1.3. Falla por compresión	20
2.5.2. Resistencia del puntal de compresión que representa el paño de albañilería.....	20

2.6. Determinación de la resistencia teórica al corte de los muros de albañilería confinada.....	22
2.7. Conclusiones del capítulo.....	24

CAPÍTULO 3: DETERMINACIÓN DE LOS COEFICIENTES “ χ ” Y “F”, Y SU EFECTO EN EL MODELO TEÓRICO 25

3.1. Introducción.....	25
3.2. Determinación del coeficiente χ	25
3.3. Determinación del coeficiente F.....	27
3.3.1. Información experimental para determinar el coeficiente F.....	27
3.3.1.1. Estudio de adherencia de unidades cerámicas por cara lisa y no lisa (Fernández et al, 1986).....	27
3.3.1.2. Ensayos de muros de albañilería con y sin mortero en las juntas verticales.....	29
3.4. Determinación del <i>factor de calidad</i>	36
3.4.1. Unidades cerámicas hechas a máquina.....	36
3.4.2. Unidades cerámicas de fabricación artesanal.....	36
3.4.3. Bloques de hormigón.....	37
3.5. Efecto de los coeficientes χ y F.....	37
3.5.1. Efecto del coeficiente χ	37
3.5.2. Efecto del coeficiente F.....	41
3.6. Conclusiones del capítulo.....	46

CAPÍTULO 4: CÁLCULO DE LA RESISTENCIA TEÓRICA AL CORTE DE MUROS ENSAYADOS A ESCALA REAL 47

4.1. Introducción.....	47
4.2. Aplicación del modelo.....	47
4.2.1. Determinación del tipo de falla.....	47
4.3. Determinación de la resistencia al corte teórica.....	55
4.4. Análisis de sensibilidad de los resultados entregados por el modelo teórico.....	61
4.4.1. Efecto de la variación del coeficiente χ	61
4.4.2. Efecto de la variación de la adherencia unitaria τ_0	62
4.4.3. Efecto de la variación del coeficiente de fricción mortero-unidad μ	64
4.4.4. Efecto de la variación del coeficiente F.....	65
4.4.4.1. Unidades cerámicas hechas a máquina.....	65
4.4.4.2. Unidades cerámicas de fabricación artesanal.....	67
4.4.4.3. Bloques de hormigón fabricados a máquina.....	68
4.4.5. Efecto de la variación de la resistencia a la tracción de la unidad f'_{tb}	68
4.4.5.1. Unidades cerámicas hechas a máquina del tipo rejilla con huecos.....	68
4.4.5.2. Unidades cerámicas macizas de fabricación artesanal.....	69
4.4.5.3. Bloques de hormigón.....	70

4.5. Comparación entre los resultados obtenidos con el modelo teórico y los resultados experimentales.	71
4.5.1. Análisis teórico de la posibilidad de una falla controlada por la compresión de la albañilería.....	73
4.5.2. Análisis teórico de la posibilidad de una falla controlada por la fluencia de las barras longitudinales del pilar que trabaja como tensor.....	74
4.6. Análisis de los resultados de aplicar el modelo teórico.....	76
4.7. Conclusiones del capítulo.	77
CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES.....	79
5.1. Modelo teórico.....	79
5.2. Trabajo experimental propuesto.....	80
BIBLIOGRAFÍA.....	82
ANEXO A: MODELACIÓN CON ELEMENTOS FINITOS.....	84
A.1. Características de la modelación.....	84
A.2. Resultados del análisis de los muros con paño unido a los elementos de confinamiento .	85
A.3. Resultados del análisis de los muros con paño de albañilería dilatado de los elementos de confinamiento.....	102
ANEXO B: ANTECEDENTES EXPERIMENTALES.....	111
B.1. Introducción.....	111
B.2. Antecedentes experimentales.....	111
B.2.1. Datos experimentales.....	112
B.2.2. Propiedades geométricas y mecánicas de los muros ensayados.....	113
B.2.3. Estimación de los parámetros no disponibles experimentalmente (Cabezas, 2011). .	118
B.2.3.1. Resistencia a la tracción de la unidad, f_{tb}	118
B.2.3.2. Adherencia unitaria, τ_o	119
B.2.3.3. Coeficiente de fricción entre unidad y mortero, μ	124
B.2.3.4. Resistencia prismática de la serie MV, f_m	124
B.3. Estados límite de carga de los muros ensayados.....	126
ANEXO C: APLICACIÓN DEL MODELO TEÓRICO.....	131
C.1. Coeficientes χ y F para cada muro.	131
C.2. Estimación de la tensión y modo de falla del puntal.....	131
C.3. Ancho del puntal y fuerza axial en el puntal de compresión de cada muro.....	133
C.4. Resistencia al corte de cada muro.	133

ANEXO D: EFECTO DE LOS PARÁMETROS USADOS EN EL MODELO TEÓRICO EN EL CÁLCULO DE LA RESISTENCIA AL CORTE DE MUROS DE ALBAÑILERÍA CONFINADA	135
D.1. Efecto del coeficiente χ	135
D.2. Efecto de la adherencia unitaria τ_0	142
D.3. Efecto del coeficiente de fricción μ	149
D.4. Efecto del coeficiente F.....	157
D.4.1. Unidades cerámicas hechas a máquina del tipo rejilla con huecos.....	157
D.4.2. Unidades cerámicas macizas de fabricación artesanal.....	164
D.4.3. Bloques huecos de hormigón hechos en fábrica.....	169
D.5. Efecto de la resistencia a la tracción de la unidad f_{tb}	174
D.5.1. Unidades cerámicas hechas a máquina del tipo rejilla con huecos.....	174
D.5.2. Unidades cerámicas macizas de fabricación artesanal.....	181
D.5.3. Bloques huecos de hormigón hechos en fábrica.....	185
D.6. Comentarios generales.....	186
ANEXO E: DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE C_θ	190
E.1. Determinación de C_θ (Cabezas, 2011).....	190
E.2. Efecto del coeficiente C_θ en el modelo teórico.....	193

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Fórmulas existentes para diseño de muros de albañilería confinada.....	5
Tabla 3.1: Valores del coeficiente χ	26
Tabla 3.2: Propiedades de las unidades utilizadas en las tripletas (Fernández et al, 1986).....	28
Tabla 3.3: Resultados de los ensayos de tripletas (Fernández et al, 1986).....	28
Tabla 3.4: Factor de calidad obtenido de los ensayos de Fernández.....	28
Tabla 3.5: Tipos de unidad y esbelteces de muros.....	31
Tabla 3.6: Propiedades de los materiales y de los muros ensayados.....	33
Tabla 3.7: Capacidad resistente de los muros ensayados.....	33

Tabla 3.8: Propiedades de los materiales y de los muros de unidades cerámicas.	34
Tabla 3.9: Capacidad resistente al corte de los muros de unidades cerámicas.....	35
Tabla 3.10: Propiedades de los materiales y de los muros de bloques de hormigón.....	35
Tabla 3.11: Capacidad resistente al corte de los muros de bloques de hormigón.	35
Tabla 4.1: Valor del coeficiente F	49
Tabla 4.2: Rangos de valores de los parámetros para la aplicación del modelo teórico de los muros ensayados.....	49
Tabla 4.3: Resistencia del puntal de compresión y tipo de falla asociado a cada muro ensayado.	55
Tabla 4.4: Ancho del puntal de compresión, resistencia al corte y modo de falla para cada muro.	57
Tabla 4.5: Resistencia al corte teórica y experimental de los muros de albañilería confinada considerando el 100% de la carga vertical actuando sobre el paño de albañilería.	72
Tabla A.1: Valores del coeficiente χ obtenidos mediante FEM.....	101
Tabla B.1: Datos experimentales disponibles para la construcción de las envolventes de falla del modelo teórico propuesto.	112
Tabla B.2: Propiedades de muros ensayados (Cabezas, 2011).....	114
Tabla B.3: Propiedades geométricas de paños de albañilería y de los elementos de confinamiento de H.A. de los muros ensayados (Cabezas, 2011).....	115
Tabla B.4: Propiedades de las barras de refuerzo de los elementos de confinamiento de los muros (Cabezas, 2011)	116
Tabla B.5: Propiedades mecánicas de materiales usados en la construcción de los muros (Cabezas, 2011)	117

Tabla B.6 Resistencia a la tracción de la unidad en unidades cerámicas.	118
Tabla B.7: Resistencia a la tracción de la unidad de bloques de hormigón.	119
Tabla B.8: Ensayos de tripletas con las características de las series MRE, MRG, A (Fernández et. al, 1986).	119
Tabla B.9: Dosificación de morteros en kg/m ³ de cada componente. Cal hidratada. (Bustos y Margery, 1996).	120
Tabla B.10: 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).	120
Tabla B.11: Equivalencias entre dosificación de mortero en volumen y peso (Fernández et al.).	122
Tabla B.12: Ensayos de tripletas (Fernández et. al, 1986)	122
Tabla B.13 Ensayos de tripletas con características de la serie MLC.	123
Tabla B.14: 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%.	123
Tabla B.15: Prismas contruidos con unidades Titán Liviano y morteros con una alta dosificación de cemento (Parada, 1986; Fernández, 1986).	124
Tabla B.16: Parámetros utilizados en el modelo teórico propuesto (Cabezas, 2011)	125
Tabla B.17: Modo de falla correspondiente a cada muro ensayado.	128
Tabla B.18: Resistencias y deformaciones asociadas a cada muro ensayado.	129
Tabla C.1: Valor de coeficientes χ y F para cada muro.	131

Tabla C.2: Resistencia del puntal de compresión y tipo de falla del paño de albañilería de los muros ensayados.....	132
Tabla C.3: Área y fuerza axial del puntal de compresión para cada muro ensayado.	133
Tabla C.4: Resistencia al corte teórica de los muros ensayados.	134
Tabla D.1: Efecto de la variación del coeficiente χ en la resistencia del puntal de compresión para cada tipo de falla según modelo teórico.	137
Tabla D.2: Efecto de la variación del coeficiente χ en el modo de falla que controla y en la resistencia del puntal de compresión según el modelo teórico.....	138
Tabla D.3: Resistencia al corte teórica de los muros de albañilería confinada ensayados considerando un 50% del valor original del coeficiente χ	139
Tabla D.4: Resistencia al corte teórica de los muros de albañilería confinada ensayados considerando el valor original del coeficiente χ	140
Tabla D.5: Resistencia al corte teórica de los muros de albañilería confinada ensayados considerando un 150% del valor original del coeficiente χ	141
Tabla D.6: Efecto de la variación de la adherencia unitaria en la resistencia del puntal de compresión para cada tipo de falla según modelo teórico.....	144
Tabla D.7: Efecto de la variación de la adherencia unitaria en el modo de falla que controla y en la resistencia del puntal de compresión según el modelo teórico.....	145
Tabla D.8: Resistencia al corte teórica de los muros de albañilería confinada ensayados considerando un 80% del valor original de la adherencia unitaria.....	146
Tabla D.9: Resistencia al corte teórica de los muros de albañilería confinada ensayados considerando el valor original de la adherencia unitaria.....	147
Tabla D.10: Resistencia al corte teórica de los muros de albañilería confinada ensayados considerando un 120% del valor original de la adherencia unitaria.....	148
Tabla D.11: Efecto de la variación del coeficiente de fricción en la resistencia del puntal de compresión para cada tipo de falla según modelo teórico.....	151

Tabla D.12: Efecto de la variación del coeficiente de fricción en el modo de falla que controla y en la resistencia del puntal de compresión según el modelo teórico.	152
Tabla D.13: Resistencia al corte teórica de los muros de albañilería confinada ensayados considerando un coeficiente de fricción igual a 0.6.	153
Tabla D.14: Resistencia al corte teórica de los muros de albañilería confinada ensayados considerando un coeficiente de fricción igual a 0.7.	154
Tabla D.15: Resistencia al corte teórica de los muros de albañilería confinada ensayados considerando un coeficiente de fricción igual a 0.8.	155
Tabla D.16: Resistencia al corte teórica de los muros de albañilería confinada ensayados considerando un coeficiente de fricción igual a 0.9.	156
Tabla D.17: Efecto de la variación del <i>factor de calidad</i> en la resistencia del puntal de compresión para cada tipo de falla según el modelo teórico. Caso de los muros de albañilería confinada construidos con unidades cerámicas hechas a máquina del tipo rejilla con huecos. ...	159
Tabla D.18: Efecto de la variación del <i>factor de calidad</i> en el modo de falla que controla y en la resistencia del puntal de compresión según el modelo teórico. Caso de los muros de albañilería confinada construidos con unidades cerámicas hechas a máquina del tipo rejilla con huecos ...	160
Tabla D.19: Resistencia al corte teórica de los muros de albañilería confinada ensayados considerando un 50% del valor original del <i>factor de calidad</i> ($F=0.25$). Caso de los muros de albañilería confinada construidos con unidades cerámicas hechas a máquina del tipo rejilla con huecos.	161
Tabla D.20: Resistencia al corte teórica de los muros de albañilería confinada ensayados considerando el valor original del <i>factor de calidad</i> ($F=0.5$). Caso de los muros de albañilería confinada construidos con unidades cerámicas hechas a máquina del tipo rejilla con huecos. ...	162
Tabla D.21: Resistencia al corte teórica de los muros de albañilería confinada ensayados considerando un 150% del valor original del <i>factor de calidad</i> ($F=0.75$). El caso de los muros de albañilería confinada construidos con unidades cerámicas hechas a máquina del tipo rejilla con huecos.	163

Tabla D.22: Efecto de la variación del <i>factor de calidad</i> en la resistencia del puntal de compresión para cada tipo de falla según modelo teórico. El caso de los muros de albañilería confinada construidos con unidades cerámicas macizas de fabricación artesanal.	166
Tabla D.23: Efecto de la variación del <i>factor de calidad</i> en el modo de falla que controla y en la resistencia del puntal de compresión según el modelo teórico. El caso de los muros de albañilería confinada construidos con unidades cerámicas macizas de fabricación artesanal.	166
Tabla D.24: Resistencia al corte teórica de los muros de albañilería confinada ensayados considerando un 50% del valor original del <i>factor de calidad</i> ($F=0.5$). El caso de los muros de albañilería confinada construidos con unidades cerámicas macizas de fabricación artesanal. ...	167
Tabla D.25: Resistencia al corte teórica de los muros de albañilería confinada ensayados considerando un 75% del valor original del <i>factor de calidad</i> ($F=0.75$). El caso de los muros de albañilería confinada construidos con unidades cerámicas macizas de fabricación artesanal. ...	167
Tabla D.26: Resistencia al corte teórica de los muros de albañilería confinada ensayados considerando el valor original del <i>factor de calidad</i> ($F=1$). El caso de los muros de albañilería confinada construidos con unidades cerámicas macizas de fabricación artesanal.	168
Tabla D.27: Efecto de la variación del <i>factor de calidad</i> en la resistencia del puntal de compresión para cada tipo de falla según modelo teórico. El caso de los muros de albañilería confinada construidos con bloques huecos de hormigón hechos en fábrica.	171
Tabla D.28: Efecto de la variación del <i>factor de calidad</i> en el modo de falla que controla y en la resistencia del puntal de compresión del puntal según el modelo teórico. El caso de los muros de albañilería confinada construidos con bloques huecos de hormigón hechos en fábrica.	171
Tabla D.29: Resistencia al corte teórica de los muros de albañilería confinada considerando un 50% del valor original del <i>factor de calidad</i> ($F=0.175$). El caso de los muros de albañilería confinada construidos con bloques huecos de hormigón hechos en fábrica.	172
Tabla D.30: Resistencia al corte teórica de los muros de albañilería confinada considerando el valor original del <i>factor de calidad</i> ($F=0.35$). El caso de los muros de albañilería confinada construidos con bloques huecos de hormigón hechos en fábrica.	172
Tabla D.31: Resistencia al corte teórica de los muros de albañilería confinada considerando un 150% del valor original del <i>factor de calidad</i> ($F=0.525$). El caso de los muros de albañilería confinada construidos con bloques huecos de hormigón hechos en fábrica.	173
Tabla D.32: Efecto de la variación de la resistencia a la tracción de la unidad en la resistencia del puntal de compresión para cada tipo de falla según modelo teórico. El caso de los muros de	

albañilería confinada construidos con unidades cerámicas hechas a máquina del tipo rejilla con huecos 176

Tabla D.33: Efecto de la variación de la resistencia a la tracción de la unidad en el modo de falla que controla y en la resistencia del puntal de compresión según el modelo teórico. El caso de los muros construidos con unidades cerámicas hechas a máquina del tipo rejilla con huecos 177

Tabla D.34: Resistencia al corte teórica de los muros de albañilería confinada ensayados considerando la resistencia a la tracción de la unidad como un 3% de la resistencia a la compresión de la unidad. El caso de los muros construidos con unidades cerámicas hechas a máquina del tipo rejilla con huecos 178

Tabla D.35: Resistencia al corte teórica de los muros de albañilería confinada ensayados considerando la resistencia a la tracción de la unidad como un 5% de la resistencia a la compresión de la unidad. El caso de los muros construidos con unidades cerámicas hechas a máquina del tipo rejilla con huecos 179

Tabla D.36: Resistencia al corte teórica de los muros de albañilería confinada ensayados considerando la resistencia a la tracción de la unidad como un 7% de la resistencia a la compresión de la unidad de cada muro. El caso de los muros construidos con unidades cerámicas hechas a máquina del tipo rejilla con huecos 180

Tabla D.37: Efecto de la variación de la resistencia a la tracción de la unidad en la resistencia del puntal de compresión para cada tipo de falla según modelo teórico. El caso de los muros construidos con unidades cerámicas macizas de fabricación artesanal. 183

Tabla D.38: Efecto de la variación de la resistencia a la tracción de la unidad en el modo de falla que controla y en la resistencia del puntal de compresión según el modelo teórico. El caso de los muros construidos con unidades cerámicas macizas de fabricación artesanal. 183

Tabla D.39: Resistencia al corte teórica de los muros de albañilería confinada ensayados considerando la resistencia a la tracción de la unidad como un 7%, un 9% y un 11% de la resistencia a la compresión de la unidad de cada muro. El caso de los muros construidos con unidades cerámicas macizas de fabricación artesanal. 184

Tabla D.40: Efecto de la variación de la resistencia a la tracción de la unidad en la resistencia del puntal de compresión para cada tipo de falla según modelo teórico. El caso de los muros construidos con bloques huecos de hormigón hechos en fábrica. 187

Tabla D.41: Efecto de la variación de la resistencia a la tracción de la unidad en el modo de falla y en la resistencia del puntal de compresión del puntal según el modelo teórico. El caso de los muros construidos con bloques huecos de hormigón hechos en fábrica. 187

Tabla D.42: Resistencia al corte teórica de los muros de albañilería confinada ensayados considerando la resistencia a la tracción de la unidad como un 8% de la resistencia a la compresión de la unidad. El caso de los muros construidos con bloques huecos de hormigón hechos en fábrica. 188

Tabla D.43: Resistencia al corte teórica de los muros de albañilería confinada ensayados considerando la resistencia a la tracción de la unidad como un 12% de la resistencia a la compresión de la unidad. El caso de los muros construidos con bloques huecos de hormigón hechos en fábrica. 188

Tabla D.44: Resistencia al corte teórica de los muros de albañilería confinada ensayados considerando la resistencia a la tracción de la unidad como un 16% de la resistencia a la compresión de la unidad. El caso de los muros construidos con bloques huecos de hormigón hechos en fábrica. 189

Tabla E.1: Resultado del ensayo de probetas construidas con bloques huecos de hormigón sin relleno de los huecos (Hamid y Drysdale, 1978)..... 191

Tabla E.2: Resistencia a la compresión de la albañilería considerando la inclinación del puntal de compresión de los muros ensayados..... 192

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Puntal de compresión que modela la interacción entre un marco de hormigón armado y un paño de albañilería (Crisafulli, 2002)..... 7

Figura 2.2: Redistribución de tensiones en la diagonal del paño de albañilería (Crisafulli, 2002). 7

Figura 2.3: Tensiones principales de compresión y tracción en la diagonal del paño de albañilería. (Crisafulli, 2002) 8

Figura 2.4: Equilibrio del nudo superior de un muro de albañilería confinada modelado como un sistema puntal-tensor (Cabezas, 2011). 9

Figura 2.5: Ensayos realizados por Dialer..... 10

Figura 2.6: Tensiones que actúan sobre la unidad..... 11

Figura 2.7: 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)	12
Figura 2.8: Tensiones que actúan sobre la unidad. Distribución lineal de tensiones Δf_n	13
Figura 2.9: Estado de tensiones en el centro de la unidad de albañilería	17
Figura 2.10: Pasos para obtener la resistencia al corte teórica de un muro de albañilería confinada.	23
Figura 2.11: Envolvente de falla de un muro de albañilería confinada	24
Figura 3.1: Curva del coeficiente χ en función de la esbeltez del paño de albañilería	26
Figura 3.2: Factor de calidad para distintos porcentajes de reducción de resistencia por ausencia de mortero en las juntas verticales.....	31
Figura 3.3: Unidades ensayadas por Cruz (2002).....	34
Figura 3.4: Efecto del coeficiente χ en la envolvente de falla por corte de una albañilería construida con unidades cerámicas del tipo rejilla con huecos hechas a máquina.....	38
Figura 3.5: Efecto del coeficiente χ en la envolvente de falla por corte de una albañilería construida con unidades cerámicas macizas de fabricación artesanal.....	38
Figura 3.6: Efecto del coeficiente χ en la envolvente de falla por corte de una albañilería construida con bloques huecos de hormigón.....	39
Figura 3.7: Efecto del coeficiente χ en la resistencia del puntal de compresión de un muro de albañilería confinada construido con unidades cerámicas hechas a máquina del tipo rejilla con huecos.	40
Figura 3.8: Efecto del coeficiente χ en la resistencia del puntal de compresión de un muro de albañilería confinada construido con unidades cerámicas macizas de fabricación artesanal.....	40
Figura 3.9: Efecto del coeficiente χ en la resistencia del puntal de compresión de un muro de albañilería confinada construido con bloques huecos de hormigón	41

Figura 3.10: Efecto del coeficiente F en la envolvente de falla por corte de una albañilería construida con unidades cerámicas hechas a máquina del tipo rejilla.....	42
Figura 3.11: Efecto del coeficiente F en la envolvente de falla por corte de una albañilería construido con unidades cerámicas macizas de fabricación artesanal.	42
Figura 3.12: Efecto del coeficiente F en la envolvente de falla por corte de una albañilería construida con bloques huecos de hormigón.....	43
Figura 3.13: Efecto del coeficiente F en la resistencia del puntal de compresión de un muro de albañilería confinada construido con unidades cerámicas hechas a máquina del tipo rejilla con huecos.	44
Figura 3.14: Efecto del coeficiente F en la resistencia del puntal de compresión de un muro de albañilería confinada construido con unidades cerámicas macizas de fabricación artesanal.	44
Figura 3.15: Efecto del coeficiente F en la resistencia del puntal de compresión de un muro de albañilería confinada construido con bloques huecos de hormigón.	45
Figura 4.1: Envolvente de la resistencia del puntal de compresión para los muros de las series MRG y MRE. Muros construidos con unidades cerámicas hechas a máquina del tipo Titán Liviano y con un mortero mixto de dosificación 1:½:4.	50
Figura 4.2: Envolvente de la resistencia del puntal de compresión para el muros de la serie A. Muros construidos con unidades cerámicas hechas a máquina del tipo Titán Liviano y con un mortero mixto de dosificación 1:½:4.....	50
Figura 4.3: Envolvente de la resistencia del puntal de compresión para los muros de la serie B. Muros construidos con unidades cerámicas de fabricación artesanal y con un mortero mixto de dosificación 1:½:4.	51
Figura 4.4: Envolvente de la resistencia del puntal de compresión para el muro C11. Muro construido con bloques de hormigón tipo A (alta resistencia) y con un mortero mixto de dosificación 1:½:4.	51
Figura 4.5: Envolvente de la resistencia del puntal de compresión para el muro C12. Muro construido con bloques de hormigón tipo B (corriente) y con un mortero mixto de dosificación 1:½:4.	52

Figura 4.6: Envoltorio de la resistencia del puntal de compresión para los muros de la serie MV. Muros construidos con unidades cerámicas hechas a máquina similares al tipo Titán Liviano y con un mortero mixto de dosificación 1:½:2.....	52
Figura 4.7: Envoltorio de la resistencia del puntal de compresión para los muros de la serie MLC-T1. Muros construidos con unidades cerámicas hechas a máquina del tipo Gran Titán y con un mortero premezclado “A14 albañil pega M10”	53
Figura 4.8: Envoltorio de la resistencia del puntal de compresión para los muros de la serie MBH-T1. Muros construidos con bloques de hormigón tipo A (alta resistencia) y con un mortero premezclado “A14 albañil pega M10”	53
Figura 4.9: Resistencia a la compresión del puntal equivalente para cada muro ensayado, en MPa	54
Figura 4.10: Pasos para calcular la resistencia al corte según el modelo teórico	56
Figura 4.11: Resistencia teórica al corte de los muros ensayados sin carga vertical	58
Figura 4.12: Relación entre la resistencia al corte teórica y la carga de agrietamiento diagonal de los muros ensayados sin carga vertical.....	58
Figura 4.13: Resistencia teórica al corte de los muros ensayados con carga vertical	59
Figura 4.14: Relación entre la resistencia al corte teórica y la carga de agrietamiento diagonal de los muros ensayados con carga vertical.....	59
Figura 4.15: Distribución estadística del valor de la relación entre la resistencia al corte teórica de los muros ensayados sin carga vertical y la carga experimental de agrietamiento diagonal.....	60
Figura 4.16: Distribución estadística del valor de la relación entre la resistencia al corte teórica de los muros ensayados con carga vertical y la carga experimental de agrietamiento diagonal.....	60
Figura 4.17: Efecto de la variación del coeficiente χ en el valor de la relación entre resistencia al corte teórica y la carga de agrietamiento diagonal de los muros de albañilería confinada ensayados.....	62
Figura 4.18: Efecto de la adherencia unitaria τ_0 en el valor de la relación entre resistencia al corte teórica y la carga de agrietamiento diagonal de los muros de albañilería confinada ensayados...	63

Figura 4.19: Efecto del coeficiente de fricción μ en el valor de la relación entre resistencia al corte teórica y la carga de agrietamiento diagonal de los muros de albañilería confinada ensayados.....	64
Figura 4.20: Efecto del factor de calidad F en el valor de la relación entre resistencia al corte teórica y la carga de agrietamiento diagonal de los muros de albañilería confinada ensayados construidos con unidades cerámicas hechas a máquina.	66
Figura 4.21: Efecto del factor de calidad F en el valor de la relación entre resistencia al corte teórica y la carga de agrietamiento diagonal de los muros construidos con unidades cerámicas hechas artesanalmente	67
Figura 4.22: Efecto del factor de calidad F en el valor de la relación entre resistencia al corte teórica y la carga de agrietamiento diagonal de los muros construidos con bloques de hormigón.	68
Figura 4.23: Efecto de la resistencia a la tracción de la unidad en el valor de la relación entre resistencia al corte teórica y la carga de agrietamiento diagonal de los muros de albañilería confinada construidos con unidades cerámicas hechas a máquina.....	69
Figura 4.24: Efecto de la resistencia a la tracción de la unidad en el valor de la relación entre resistencia al corte teórica y la carga de agrietamiento diagonal de los muros de albañilería confinada construidos con unidades cerámicas macizos de fabricación artesanal.	70
Figura 4.25: Efecto de la resistencia a la tracción de la unidad en el valor de la relación entre resistencia al corte teórica y la carga de agrietamiento diagonal de los muros albañilería construidos con bloques de hormigón hechos a máquina.	71
Figura 4.26: Relaciones entre la carga lateral teórica necesaria para generar una falla por compresión de la albañilería y por fluencia del refuerzo longitudinal del pilar de H.A. que actúa como tensor cuando el 100% de la carga vertical se descarga sobre el paño de albañilería; y entre la carga lateral teórica necesaria para generar una falla por compresión de la albañilería y la carga última experimental	73
Figura 4.27: Relaciones entre la fuerza lateral teórica que genera la fluencia de las barras longitudinales del pilar que actúa como tensor y la carga máxima aplicada durante el ensayo; entre la fuerza lateral teórica que genera la fluencia de las barras longitudinales del pilar que actúa como tensor y la carga de agrietamiento diagonal experimental; y entre la fuerza lateral teórica que genera la fluencia de las barras longitudinales del pilar que actúa como tensor y la carga teórica necesaria para que se produzca el agrietamiento diagonal.	74
Figura A.1: Elemento <i>shell</i> de 4 nodos.....	85

Figura A.2: Modelación de muro de esbeltez 2 y de la carga lateral aplicada (tonf).....	86
Figura A.3: Tensiones normales horizontales, f_p (MPa), en muro de esbeltez 2.....	87
Figura A.4: Tensiones normales verticales, f_n (MPa), en muro de esbeltez 2.....	87
Figura A.5: Distribución del coeficiente χ en el interior del paño de albañilería de un muro de esbeltez 2.	88
Figura A.6: Valores del coeficiente χ a lo largo de la diagonal del paño de albañilería de un muro de esbeltez 2.....	88
Figura A.7: Modelación de muro de esbeltez 1 y de la carga lateral aplicada (tonf).	89
Figura A.8: Tensiones normales horizontales, f_p (MPa), en muro de esbeltez 1.....	89
Figura A.9: Tensiones normales verticales, f_n (MPa), en muro de esbeltez 1.....	90
Figura A.10: Distribución del coeficiente χ en el interior del paño de albañilería de un muro de esbeltez 1.	90
Figura A.11: Valores del coeficiente χ a lo largo de la diagonal del paño de albañilería de un muro de esbeltez 1.	91
Figura A.12: Modelación de muro de esbeltez 1 con una cadena de 30cm de alto y de la carga lateral aplicada (tonf).....	91
Figura A.13: Tensiones normales horizontales, f_p (MPa), en muro de esbeltez 1 con cadena de 30cm de alto.	92
Figura A.14: Tensiones normales verticales, f_n (MPa), en muro de esbeltez 1 con cadena de 30cm de alto.	92
Figura A.15: Distribución del coeficiente χ en el interior del paño de albañilería de un muro de esbeltez 2 con cadena de 30 cm de alto.	93
Figura A.16: Valores del coeficiente χ a lo largo de la diagonal del paño de albañilería de un muro de esbeltez 1 con cadena de 30cm de alto.....	93

Figura A.17: Modelación de muro de esbeltez 2 con pilares de 30x20 y de la carga lateral aplicada (tonf).....	94
Figura A.18: Tensiones normales horizontales, f_p (MPa), en muro de esbeltez 1 con pilares de 30x20.....	94
Figura A.19: Tensiones normales verticales, f_n (MPa), en muro de esbeltez 1 con pilares de 30x20.....	95
Figura A.20: Distribución del coeficiente χ en el interior del paño de albañilería de un muro de esbeltez 1 con pilar de 30x20.	95
Figura A.21: Valores del coeficiente χ a lo largo de la diagonal del paño de albañilería de un muro de esbeltez 1 con pilar de 30x20.	96
Figura A.22: Modelación de muro de esbeltez 0.67 y de la carga lateral aplicada (tonf).	96
Figura A.23: Tensiones normales horizontales, f_p (MPa), en muro de esbeltez 0.67.....	97
Figura A.24: Tensiones normales verticales, f_n (MPa), en muro de esbeltez 0.67.....	97
Figura A.25: Distribución del coeficiente χ en el interior del paño de albañilería de un muro de esbeltez 0.67.	98
Figura A.26: Valores del coeficiente χ a lo largo de la diagonal del paño de albañilería de un muro de esbeltez 0.67.	98
Figura A.27: Modelación de muro de esbeltez 0.5 y de la carga lateral aplicada (tonf).	99
Figura A.28: Tensiones normales horizontales, f_p (MPa), en muro de esbeltez 0.5.....	99
Figura A.29: Tensiones normales verticales, f_n (MPa), en muro de esbeltez 0.5.....	100
Figura A.30: Distribución del coeficiente χ en el interior del paño de albañilería de un muro de esbeltez 0.5.	100

Figura A.31: Valores del coeficiente χ a lo largo de la diagonal del paño de albañilería de un muro de esbeltez 0.5.	101
Figura A.32: Coeficiente χ en función de la esbeltez del paño de albañilería.....	102
Figura A.33: Distribución de tensiones en el paño de albañilería dilatado de los elementos de confinamiento (Crisafulli, 2002)	103
Figura A.34: Tensiones principales (MPa) en el paño de albañilería de un muro de esbeltez 2.	104
Figura A.35: Distribución del valor del coeficiente γ en el paño de albañilería de un muro de esbeltez 2.	105
Figura A.36: Distribución del valor del coeficiente β en el paño de albañilería de un muro de esbeltez 2.	105
Figura A.37: Tensiones principales (MPa) en el paño de albañilería de un muro de esbeltez 1.	106
Figura A.38: Distribución del valor del coeficiente γ en el paño de albañilería de un muro de esbeltez 1.	106
Figura A.39: Distribución del valor del coeficiente β en el paño de albañilería de un muro de esbeltez 1.	107
Figura A.40: Tensiones principales (MPa) en el paño de albañilería de un muro de esbeltez 0.8.	107
Figura A.41: Distribución del valor del coeficiente γ en el paño de albañilería de un muro de esbeltez 0.8.	108
Figura A.42: Distribución del valor del coeficiente β en el paño de albañilería de un muro de esbeltez 0.8.	108
Figura A.43: Tensiones principales (MPa) en el paño de albañilería de un muro de esbeltez 0.6.	109
Figura A.44: Distribución del valor del coeficiente γ en el paño de albañilería de un muro de esbeltez 0.6.	109

Figura A.45: Distribución del valor del coeficiente β en el paño de albañilería de un muro de esbeltez 0.6.	110
Figura B.1: Adherencia en función de la cantidad de cal en un metro cúbico de mortero con 300 kg de cemento.	121
Figura B.2: Fuerza de agrietamiento horizontal en los muros de albañilería confinada ensayados (Cabezas, 2011).	126
Figura B.3: Fuerza de agrietamiento diagonal en el paño de albañilería de los muros de albañilería confinada ensayados (Cabezas, 2011).	127
Figura B.4: Fuerza máxima en los muros de albañilería confinada ensayados (Cabezas, 2011).	127
Figura D.1: Efecto del coeficiente χ en la resistencia al corte teórica de los muros de albañilería confinada ensayados.	135
Figura D.2: Efecto del coeficiente χ en la relación entre la resistencia al corte teórica de los muros de albañilería confinada ensayados y la carga de agrietamiento diagonal experimental.	136
Figura D.3: Efecto de la variación de la adherencia unitaria en la resistencia al corte teórica de los muros de albañilería confinada ensayados.	142
Figura D.4: Efecto de la variación de la adherencia unitaria en la relación entre la resistencia al corte teórica y la carga de agrietamiento diagonal experimental de los muros de albañilería confinada ensayados.	143
Figura D.5: Efecto de la variación del coeficiente de fricción en la resistencia al corte teórica de los muros de albañilería confinada ensayados.	149
Figura D.6: Efecto de la variación del coeficiente de fricción en la relación entre la resistencia al corte teórica y la carga de agrietamiento diagonal experimental de los muros de albañilería confinada ensayados.	150
Figura D.7: Efecto de la variación del <i>factor de calidad</i> en la resistencia al corte teórica de los muros de albañilería confinada construidos con unidades cerámicas hechas a máquina del tipo rejilla con huecos.	157

Figura D.8: Efecto de la variación del <i>factor de calidad</i> en la relación entre la resistencia al corte teórica y la carga de agrietamiento diagonal experimental de los muros de albañilería confinada construidos con unidades cerámicas hechas a máquina del tipo rejilla con huecos.	158
Figura D.9: Efecto de la variación del <i>factor de calidad</i> en la resistencia al corte teórica de los muros de albañilería confinada construidos con unidades cerámicas macizas de fabricación artesanal.	164
Figura D.10: Efecto de la variación del <i>factor de calidad</i> en la relación entre la resistencia al corte teórica y la carga de agrietamiento diagonal experimental de los muros de albañilería confinada construidos con unidades cerámicas macizas de fabricación artesanal.	165
Figura D.11: Efecto de la variación del <i>factor de calidad</i> en la resistencia al corte teórica de los muros de albañilería confinada construidos con bloques huecos de hormigón hechos en fábrica.	169
Figura D.12: Efecto de la variación del <i>factor de calidad</i> en la relación entre la resistencia al corte teórica y la carga de agrietamiento diagonal experimental de los muros de albañilería confinada construidos con bloques huecos de hormigón hechos en fábrica.	170
Figura D.13: Efecto de la variación de la resistencia a la tracción de la unidad en la resistencia al corte teórica de los muros de albañilería confinada construidos con unidades cerámicas hechas a máquina del tipo rejilla con huecos	174
Figura D.14: Efecto de la variación de la resistencia a la tracción de la unidad en la relación entre la resistencia al corte teórica y la carga de agrietamiento diagonal experimental de los muros de albañilería confinada construidos con unidades cerámicas hechas a máquina del tipo rejilla con huecos	175
Figura D.15: Efecto de la variación de la resistencia a la tracción de la unidad en la resistencia al corte teórica de los muros de albañilería confinada construidos con unidades cerámicas macizas de fabricación artesanal.	181
Figura D.16: Efecto de la variación de la resistencia a la tracción de la unidad en la relación entre la resistencia al corte teórica y la carga de agrietamiento diagonal experimental de los muros de albañilería confinada construidos con unidades cerámicas macizas de fabricación artesanal. ...	182
Figura D.17: Efecto de la variación de la resistencia a la tracción de la unidad en la resistencia al corte teórica de los muros de albañilería confinada construidos con bloques huecos de hormigón hechos en fábrica.	185

Figura D.18: Efecto de la variación de la resistencia a la tracción de la unidad en la relación entre la resistencia al corte teórica y la carga de agrietamiento diagonal experimental de los muros de albañilería confinada contruidos con bloques huecos de hormigón hechos en fábrica.	186
Figura E.1: Probetas ensayadas por Hamid y Drysdale (1978).....	190
Figura E.2: Variación de la razón $f_{m\theta}/f_m$ en función del ángulo θ (Marín, 2009).....	191
Figura E.3: Resistencias del puntal de compresión de los muros ensayados, cuando controla la resistencia a la compresión de la albañilería.	193
Figura E.4: Relación entre las resistencias de los puntales de compresión de los muros ensayados obtenidas con las ecuaciones (2.42) y (2.43).....	194

CAPÍTULO 1:

INTRODUCCIÓN

1.1. MOTIVACIÓN

La albañilería es el material más usado en Chile y Latinoamérica en la construcción de edificios de viviendas para la población de bajos ingresos debido a su bajo costo de construcción. Las construcciones de albañilería se caracterizan por ser viviendas unifamiliares de 1 o 2 pisos, o bien edificios de 5 pisos como máximo. Sin embargo, a pesar de su extensivo uso, la construcción en albañilería presenta una serie de dificultades relacionadas con su modelamiento y tecnología, producto de la variedad de materiales y de la participación de una alta componente de mano de obra, muchas veces no calificada, en la construcción de estos edificios.

Con estos antecedentes, se complica considerablemente cuantificar el comportamiento de una estructura de albañilería por la falta de modelos teóricos y la alta variabilidad de las propiedades mecánicas.

En el caso particular de los edificios de albañilería confinada, se ha comprobado que su comportamiento sísmico ha sido aceptable en zonas afectadas por sismos severos. Además, se ha observado que la falla de corte controla el comportamiento sísmico de estos sistemas estructurales, caracterizados por la baja esbeltez de sus muros.

Considerando lo anterior y que las fórmulas de diseño al corte de las normas vigentes son ecuaciones empíricas, es necesario desarrollar un modelo teórico que permita levantar las limitaciones de las ecuaciones empíricas para realizar un diseño más seguro. Con este propósito, Crisafulli (1997) propuso un modelo teórico para determinar la resistencia al corte de muros de albañilería confinada a partir de un macro modelo puntal-tensor que usa el modelo de falla propuesto por Mann y Müller (1982) para el paño de albañilería.

Cabezas (2011) aplicó este modelo a una muestra de 22 muros ensayados en Chile entre los años 1987 y 2009 para comparar la resistencia al corte teórica dada por el modelo con la carga de agrietamiento diagonal obtenida de los ensayos. Dados los resultados, Cabezas propuso modificaciones al modelo de Crisafulli para mejorar la estimación de la resistencia al corte, concluyendo que la resistencia al corte teórica calculada no cuantifica el efecto benéfico de la presencia de una carga vertical actuando sobre el muro.

Para mejorar la precisión del modelo teórico propuesto por Crisafulli, en esta Memoria de Título se incorpora la presencia de mortero en las juntas verticales del paño de albañilería usando para ello el modelo propuesto por Dialer (1991), con el propósito de incluir el efecto de las juntas verticales de mortero, lo cual podría ser beneficioso para cuantificar el efecto de la carga vertical sobre la resistencia al corte de un muro de albañilería confinada. Para determinar el ancho del puntal de compresión del macro modelo en función de la carga vertical, se usan los lineamientos propuestos por Cabezas (2011).

Utilizando la misma muestra de muros ocupada por Cabezas, se comprueba el efecto beneficioso de usar el modelo de Dialer al determinar la resistencia al corte con un modelo analítico del tipo puntal-tensor.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo general.

Desarrollar un modelo teórico para determinar la resistencia al corte de un muro de albañilería confinada.

1.2.2. Objetivos específicos.

- Incorporar el modelo propuesto por Dialer (1991) en el modelo propuesto por Crisafulli (1997)
- Revisar el efecto de la carga vertical de compresión en la resistencia al corte de un muro de albañilería confinada.

1.3. ORGANIZACIÓN DE LA MEMORIA

La Memoria se organiza en cinco capítulos, cuyo contenido es el siguiente:

- **Capítulo 2:** En este capítulo se entregan las fórmulas utilizadas en las normas de diseño y cálculo utilizadas actualmente y los antecedentes teóricos que fundamentan el modelo teórico propuesto para calcular la resistencia al corte de muros de albañilería confinada.
- **Capítulo 3:** En este capítulo se detalla la forma en que se determinan los coeficientes χ y F que aparecen en las ecuaciones del modelo teórico propuesto y se entrega un análisis del efecto que tiene la variación del valor de estos dos coeficientes en la resistencia al corte de un paño de albañilería y en la de un muro de albañilería confinada.
- **Capítulo 4:** En este capítulo se presenta la aplicación del modelo teórico propuesto y sus resultados, junto con un análisis de la sensibilidad de estos ante variaciones de los parámetros usados en la construcción del modelo teórico.
- **Capítulo 5:** En este capítulo se entregan las conclusiones de esta Memoria de Título.

Además, la Memoria contiene seis anexos, cuyo contenido es el siguiente:

- **Anexo A:** En este anexo se entregan los resultados del análisis de los muros de albañilería confinada usando el método de elementos finitos (FEM).
- **Anexo B:** En este anexo se entregan los antecedentes experimentales de los muros utilizados para calibrar el modelo teórico propuesto para determinar la resistencia al corte de un muro de albañilería confinada.
- **Anexo C:** En este anexo se entrega el detalle de la aplicación del modelo teórico presentado en el capítulo 4.
- **Anexo D:** En este anexo se entrega el detalle del análisis de sensibilidad presentado en el capítulo 4.
- **Anexo E:** En este anexo se detalla la determinación del coeficiente C_0 que permite calcular la resistencia teórica al corte de un muro de albañilería confinada cuando controla la resistencia a la compresión del paño de albañilería.

CAPÍTULO 2:

MARCO TEÓRICO

2.1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo se entregan las fórmulas utilizadas en las normas de diseño y cálculo para determinar la capacidad resistente al corte de muros de albañilería confinada.

Además se entregan los fundamentos del micro modelo teórico utilizado para determinar el mecanismo de falla que controla la capacidad resistente al corte del paño de albañilería, y con el cual se determina la resistencia al corte teórica del muro usando un macro modelo del tipo puntal-tensor.

Para este efecto, en esta Memoria de Título se utiliza el modelo de falla del paño de albañilería propuesto por Dialer (1991), el cual se lleva al espacio de tensiones principales para establecer la capacidad resistente al corte de un muro de albañilería confinada por equilibrio de un macro modelo del tipo puntal-tensor.

2.2. FÓRMULAS UTILIZADAS EN NORMAS DE DISEÑO

Los edificios de albañilería están sometidos generalmente a fuerzas axiales, derivadas de la acción de las cargas muertas y sobrecargas de uso, y a fuerzas de corte y momentos de flexión causados por efecto de los sismos.

Como se ha comprobado en los últimos 60 años, la falta de un diseño racional ha sido una de las principales causas de los daños observados en los edificios de albañilería durante los terremotos que han afectado tanto a Chile como a otros países de Latinoamérica.

Con el propósito de racionalizar el diseño de estos edificios, en los último 40 años se han redactado normas de diseño y cálculo, estableciendo las propiedades que deben cumplir los materiales y las disposiciones y limitaciones de diseño que deben satisfacer los muros de albañilería, de modo de lograr una adecuada rigidez y resistencia de los edificios, y capacidad de deformación una vez que se sobrepasan los niveles de resistencia.

Dentro de las disposiciones de las normas, la determinación de la resistencia al corte de los muros es fundamental para el diseño de un edificio de albañilería frente a la acción sísmica, considerando que su comportamiento está controlado por la capacidad resistente al corte de los muros como se ha observado durante los terremotos pasados.

Tabla 2.1: Fórmulas existentes para diseño de muros de albañilería confinada (Riahi et al., 2007)

Ecuaciones	Comentarios	Referencias
$V_{\max} = \min(0,5 \cdot v_m + 0,3 \cdot \sigma_v, v_m) \cdot A_w$	-	Normas técnicas complementarias para diseño y construcción de estructuras de mampostería (NTC-M), México, 2004
$V_{\max} = \min(0,45 \cdot v_m + 0,3 \cdot \sigma_v, 1,5 \cdot v_m) \cdot A_w$	-	NCh. 2123, 1993
$V_{cr} = \left(k_u \cdot k_p \cdot \left(\frac{0,76}{\frac{h_0}{d} + 0,7} + 0,012 \right) \cdot \sqrt{f'_m} + 0,2 \cdot \sigma_v \right) \cdot t_w \cdot j \cdot 10^3$ <p>Unidades: N, mm</p>	<p>k_u: Factor de reducción igual a 0.64 para muros con mortero de relleno parcial y 1.0 para otro tipo de muros.</p> $k_p = 1,16 \cdot \rho_t^{0,3}$ $\rho_t = \frac{A_{stc}}{t_w \cdot d}$ <p>A_{stc}: Área de armadura longitudinal</p>	Architectural Institute of Japan (AIJ), 1999
$V_{\max} = (0,5 \cdot \alpha \cdot v_m + 0,23 \cdot \sigma_v) \cdot A_w$	$\alpha = \frac{H}{L}, \frac{1}{3} \leq \alpha \leq 1$	E-070, 1998
$V_{\max} = (0,47 \cdot \alpha \cdot v_m + 0,29 \cdot \sigma_v) \cdot (A_w - N \cdot A_{tc}) + 4200N$ <p>Unidades: Kg, cm</p>	N: Número de pilares	Marinili y Castilla, 2006
$V_{\max} = (0,6 \cdot v_m + 0,3 \cdot \sigma_v) \cdot A_w$	-	Inpres Cirsoc, 1983
$V_{\max} = V_{cr} + 0,806 \cdot d_b^2 \cdot \sqrt{f'_c \cdot f_{yvc}}$ <p>Unidades: N, mm</p>	<p>d_b: Diámetro de barras de acero longitudinales</p> <p>n: Número de barras de acero longitudinales</p>	Tomazevic y Klemenc, 1997

Donde	v_{cr} :	Fuerza de corte necesaria para generar agrietamiento.
	v_{max} :	Fuerza de corte máxima aplicada.
	v_m :	Tensión básica de corte de la albañilería.
	f'_c :	Resistencia a la compresión del hormigón.
	f_{yc} :	Tensión de fluencia de las barras longitudinales del pilar de H.A.

Actualmente, las fórmulas contenidas en las normas de diseño y cálculo son del tipo empírico, lo cual restringe su uso a las condiciones bajo las cuales se ejecutaron los ensayos; es decir, a las propiedades de los materiales y dimensiones de los muros usados en los estudios experimentales cuyos resultados han servido como antecedente. Algunas de estas fórmulas se detallan en la Tabla 2.1 (Riahi et al., 2007)

2.3. MODELO TEÓRICO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA AL CORTE DE UN MURO DE ALBAÑILERÍA CONFINADA

Teniendo en cuenta las limitaciones de las fórmulas usadas en las normas de diseño y cálculo, es necesario establecer un modelo teórico que se aplique sin las limitaciones de las fórmulas de diseño del tipo empírico.

A nivel local, un esfuerzo en esta dirección es el trabajo realizado por Cabezas (2011), el cual, modificando el modelo propuesto por Crisafulli (1997), establece la resistencia al corte de un muro de albañilería confinada construido con materiales nacionales.

El modelo teórico que se propone en esta Memoria de Título sigue la propuesta que realizó Crisafulli (1997) para determinar la resistencia al corte de los muros de albañilería confinada; es decir, se usa un macro modelo del tipo puntal-tensor, en el cual el paño de albañilería se modela como un puntal orientado según la diagonal del muro, cuya resistencia queda definida por su capacidad de resistir compresión axial. Dicha resistencia será la que determine la resistencia al corte del muro como la carga que produce el agrietamiento diagonal del paño de albañilería.

Este modelo proviene del estudio de la distribución de tensiones que presenta un paño de albañilería interactuando con un marco de hormigón armado (H.A.), como el mostrado en la Figura 2.1, conocido como “*infill-wall*”.

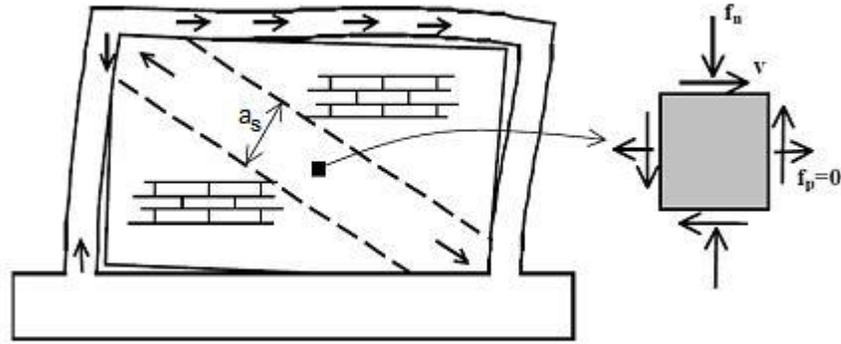


Figura 2.1: Puntal de compresión que modela la interacción entre un marco de hormigón armado y un paño de albañilería (Crisafulli, 2002)

La distribución de tensiones de un *infill-wall* cuando se produce la separación entre el marco y el panel (ver Figura 2.1), experimenta una redistribución concentrándose en la diagonal del paño de albañilería (ver Figura 2.2).

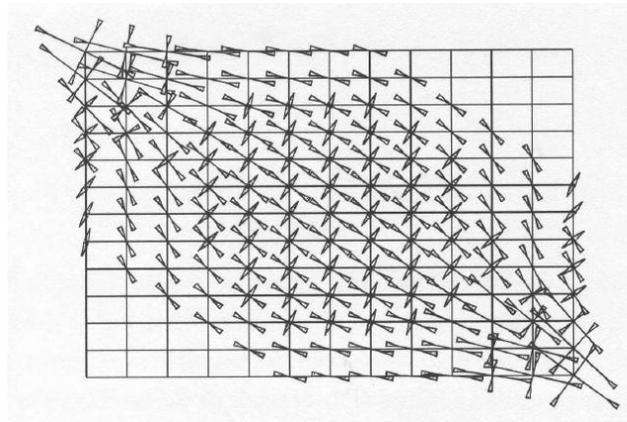


Figura 2.2: Redistribución de tensiones en la diagonal del paño de albañilería (Crisafulli, 2002)

En la Figura 2.3 se muestra la distribución de las tensiones principales de compresión, f_1 , y de las tensiones principales de tracción, f_2 , a lo largo de la diagonal principal del paño de albañilería, comprobándose que las tensiones principales de tracción son de baja magnitud y se producen en el centro del panel. Según Crisafulli, la relación entre las tensiones f_1 y f_2 es del orden de 7 a 10, asemejándose a los resultados de Riddington y Stafford Smith (1977, reportado por Cabezas, 2011), los cuales son del orden de 6 a 11,5 veces. Teniendo en cuenta el valor de esta relación entre las tensiones principales, en el modelo teórico propuesto se desprecia la contribución de la tensión f_2 en el paño de albañilería.

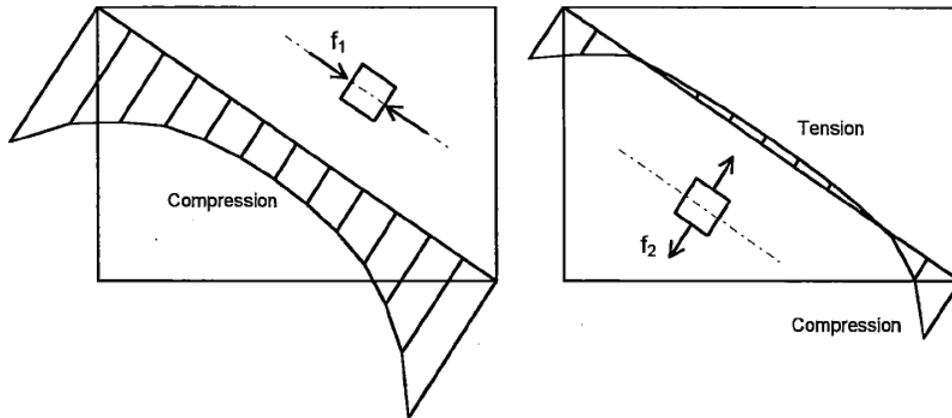


Figura 2.3: Tensiones principales de compresión y tracción en la diagonal del paño de albañilería. (Crisafulli, 2002)

El suponer una separación entre el paño de albañilería y el marco de H.A, podría considerarse una modelación no apropiada en el caso de la albañilería confinada que se utiliza en países de alta sismicidad como Chile o Perú, donde primero se construye el paño de albañilería y luego los elementos de confinamiento de hormigón armado (H.A.) y además se incorpora un endentado en la unión marco-pilar, lo que produce una mayor integración entre el marco de H.A. y el paño. Sin embargo, el macro modelo puntal-tensor se recomienda aplicarlo en las guías de diseño y cálculo (Meli et al, 2011) debido a que, independiente de la técnica de construcción, provee una buena modelación del comportamiento de estos muros.

Considerando lo anterior y estableciendo el equilibrio en el nudo superior del macro modelo puntal-tensor, como se muestra en la Figura 2.4, se determina la resistencia al corte del muro, V_c , en función de la fuerza que es capaz de resistir el *puntal de compresión*, R_c , resultando al establecer el equilibrio:

$$V_c = R_c \cdot \cos\theta \quad (2.1)$$

Cuidando que la fuerza de tracción en el pilar de confinamiento que actúa como tensor no controle, lo que ocurrirá cuando esta fuerza supere la resistencia de fluencia de las barras longitudinales del pilar de H.A, se deberá cumplir:

$$T = R_c \cdot \sin\theta \leq T_y = A_{si} \cdot f_y \quad (2.2)$$

En la medida que la resistencia al corte del muro quede limitada por la capacidad del pilar de H.A. (tensor), ello no significa que el comportamiento del muro esté controlado por una falla de flexión.

En las ecuaciones anteriores, el significado de los términos utilizados es el siguiente:

V_c = Resistencia al corte del paño de albañilería.

R_c = Fuerza resistente del puntal de compresión equivalente.

θ = Angulo 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_{st} = área de las barras longitudinales del pilar de H.A.

f_y = Tensión de fluencia del acero de las barras longitudinales del pilar de H.A.

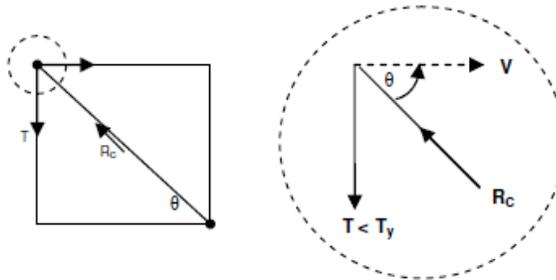


Figura 2.4: Equilibrio del nudo superior de un muro de albañilería confinada modelado como un sistema puntal-tensor (Cabezas, 2011).

Por lo tanto, la resistencia al corte del muro de albañilería queda determinada por el menor valor entre:

$$V_c = \min(R_c \cdot \cos\theta, T_y \cdot \tan\theta) \quad (2.3)$$

Esto determina si la falla del muro queda controlada por el agrietamiento en el paño de albañilería o la fluencia en las barras longitudinales del pilar de H.A., respectivamente.

De la ecuación (2.3) se comprueba que es necesario calcular la fuerza de compresión (R_c) del paño de albañilería para determinar la resistencia al corte del muro (V_c). Con este propósito, el modelo propuesto por Crisafulli utiliza la teoría de falla para el paño de albañilería propuesta por Mann y Müller (1982), en la cual se desprecia el aporte de las juntas verticales (*juntas verticales secas o a tope*).

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos por Cabezas (2011) al aplicar la teoría de Mann y Müller, en esta Memoria de Título se estudia el efecto de incorporar el aporte de las juntas verticales en la resistencia al corte de los muros de albañilería confinada, para lo cual en el modelo macro puntal-tensor se determina la fuerza de compresión (R_c) usando la teoría de falla propuesta por Dialer (1991) para el paño de albañilería.

2.4. TEORÍA DE FALLA DEL PAÑO DE ALBAÑILERÍA

En esta sección se presenta la teoría de falla propuesta por Dialer para el paño de albañilería. Además se entregan expresiones que permiten calcular los valores de los parámetros que aparecen en los criterios de falla. Con este propósito, se usan los resultados del estado de tensiones obtenidos de un análisis elástico lineal con el método de elementos finitos (FEM)

2.4.1. Estado de tensiones en el panel

En los muros de albañilería confinada y en los pórticos rellenos con paños de albañilería, el paño de albañilería está sujeto a un estado de tensiones normales y tangenciales que producen su falla.

Por ello, para el estudio de los modos de falla del paño de albañilería se analiza el estado tensional en sus componentes (micro-modelo), en particular la distribución de tensiones normales verticales (f_n), horizontales (f_p) y tangenciales (τ_{xy} , τ_{yx}) que actúa sobre una unidad de albañilería.

Para establecer el estado de tensiones en una unidad de albañilería de ancho d y alto b , Dialer (1991) realizó una serie de 33 ensayos de muretes cargados como se muestra en la Figura 2.5, incorporando el efecto de las tensiones normales que se producen en las juntas verticales.

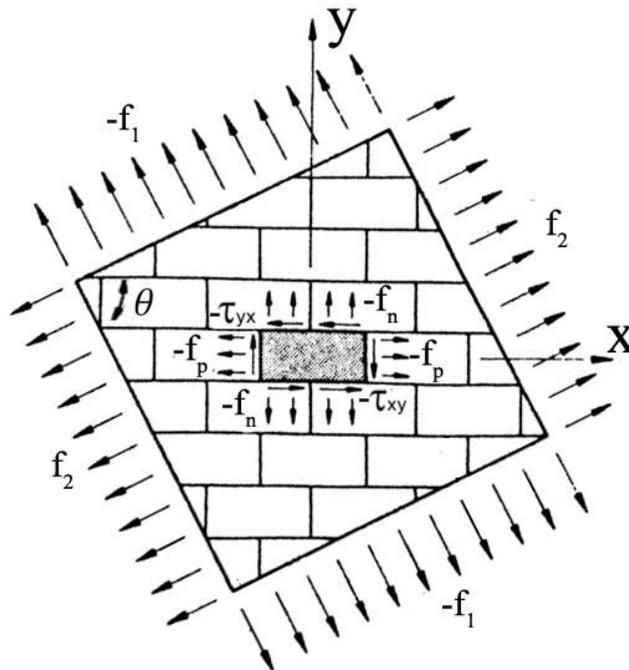


Figura 2.5: Ensayos realizados por Dialer (1991)

Los términos de la Figura 2.5 tienen el significado siguiente:

- f_1, f_2 : Tensiones aplicadas al murete.
- f_n, f_p : Tensiones normales promedio.
- τ_{yx}, τ_{xy} : Tensiones tangenciales promedio.
- θ : Ángulo que forma la junta horizontal del muro con la cara del murete donde actúa la tensión f_2

En la Figura 2.6 se muestra el estado de tensiones propuesto por Dialer sobre una unidad de albañilería para desarrollar la teoría de falla. De acuerdo con el modelo de Dialer, sobre la cara lateral actúan tensiones normales en la dirección horizontal, las cuales se pueden relacionar con las tensiones normales que actúan en la cara superior en la dirección vertical usando la expresión siguiente:

$$\chi = \frac{f_p}{f_n} \quad (2.4)$$

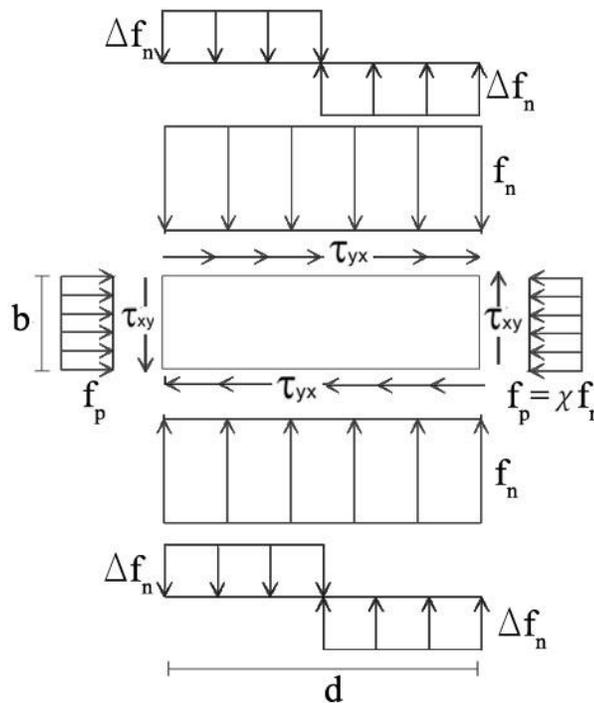


Figura 2.6: Tensiones que actúan sobre la unidad (Charry, 2010)

De acuerdo con el estado de tensiones de la Figura 2.6, se produce un desequilibrio de momento que debe ser compensado agregando y quitando una tensión normal Δf_n a las tensiones normales verticales que actúan sobre las caras de asiento de la unidad, de manera tal que se recupere el equilibrio en ella.

Estableciendo esta condición y considerando una distribución uniforme de la tensión Δf_n , se obtiene:

$$M = 2\tau_{yx} \frac{bd}{2} - 2\tau_{xy} \frac{bd}{2} \quad (2.5)$$

$$4 \cdot \Delta f_n \cdot \frac{d}{2} \cdot \frac{d}{4} = bd(\tau_{yx} - \tau_{xy}) \quad (2.6)$$

De donde resulta:

$$\Delta f_n = \frac{2b(\tau_{yx} - \tau_{xy})}{d} \quad (2.7)$$

Por su parte, Crisafulli (1997) considera que una distribución uniforme de las tensiones Δf_n implica aceptar un comportamiento plástico de la unidad, lo cual es incompatible con la fragilidad del material usado en la fabricación de las unidades de albañilería. Teniendo en cuenta esto último, Crisafulli (1997) propone una distribución lineal de las tensiones Δf_n , como la mostrada en la Figura 2.7

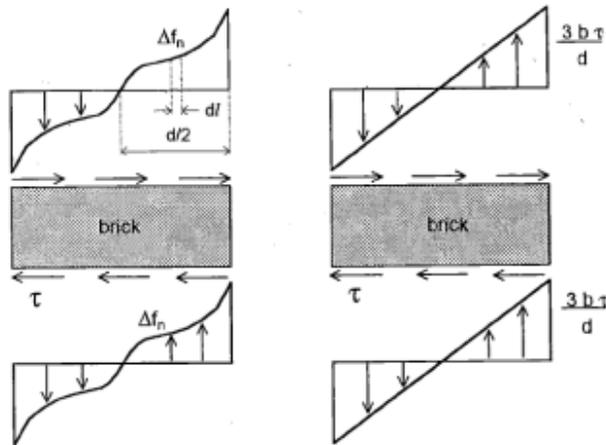


Figura 2.7: Distribución de tensiones en las unidades. A la izquierda se muestra una distribución general de tensiones. A la derecha se muestra una distribución linealizada de las tensiones. (Crisafulli, 1997)

Para una mejor aproximación a las tensiones de la unidad, en esta Memoria de Título se usa el estado de tensiones propuesto por Dialer con la modificación de la distribución de Δf_n propuesta por Crisafulli, resultando el estado de tensiones de la Figura 2.8

Si se acepta la distribución lineal de Δf_n propuesta por Crisafulli, al plantear la ecuación de equilibrio de momento se obtiene:

$$M = 2\tau_{yx} \frac{bd}{2} - 2\tau_{xy} \frac{bd}{2} \quad (2.8)$$

$$4 \cdot \frac{1}{2} \cdot \Delta f_n \cdot \frac{d}{2} \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{d}{2} = bd(\tau_{yx} - \tau_{xy}) \quad (2.9)$$

De donde resulta
$$\Delta f_n = \frac{3 \cdot b(\tau_{yx} - \tau_{xy})}{d} \quad (2.10)$$

A partir de la ecuación (2.10), se puede determinar una distribución uniforme equivalente, de igual fuerza Δf_n , resultando un valor uniforme equivalente para Δf_n , $\Delta f_{n\text{PROMEDIO}}$, igual a

$$\Delta f_{n\text{PROMEDIO}} = \frac{1,5 \cdot b(\tau_{yx} - \tau_{xy})}{d} \quad (2.11)$$

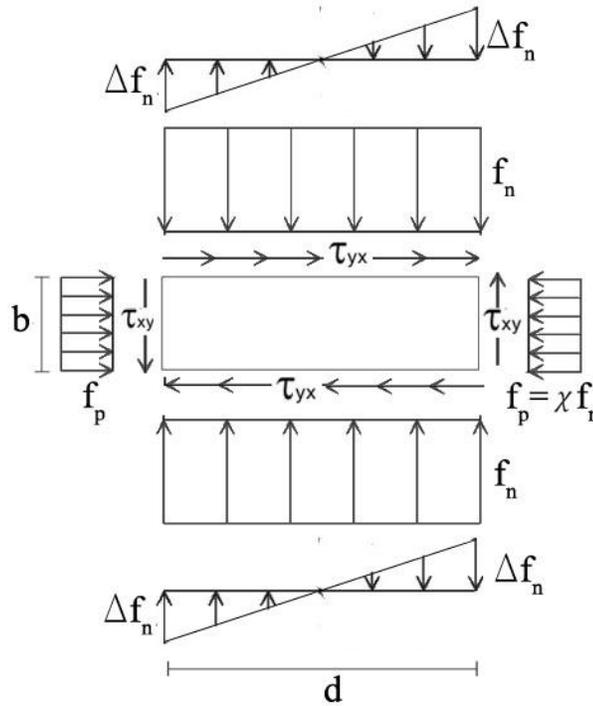


Figura 2.8: Tensiones que actúan sobre la unidad. Distribución lineal de tensiones Δf_n

Finalmente, sobre la unidad actúan las tensiones normales f_{n1} y f_{n2} dadas por:

$$f_{n1} = f_n + \Delta f_{n\text{PROMEDIO}} \quad (2.12)$$

$$f_{n2} = f_n - \Delta f_{n\text{PROMEDIO}} \quad (2.13)$$

Debe destacarse que la tensión adicional $\Delta f_{n\text{PROMEDIO}}$ es función de las tensiones tangenciales que actúan sobre la unidad, τ_{xy} y τ_{yx} , tanto en el modelo propuesto por Dialer como por Crisafulli

2.4.2. Criterio de falla 1: Deslizamiento de las juntas de mortero.

Este tipo de falla se manifiesta por un patrón de agrietamiento escalonado a través de las juntas de mortero y se produce cuando se supera la resistencia al corte de las juntas de mortero

Utilizando el criterio de Mohr-Coulomb para calcular la resistencia al corte y considerando como valores de la resistencia básica de adherencia, τ_{0yx} y τ_{0xy} , y como coeficiente de fricción, μ_{yx} y μ_{xy} , se obtienen las siguientes resistencias:

$$\tau_{yx} = \tau_{0yx} + \mu_{yx} \cdot f_n \quad (2.14)$$

$$\tau_{xy} = \tau_{0xy} + \mu_{xy} \cdot f_p = \tau_{0xy} + \mu_{xy} \cdot \chi \cdot f_n \quad (2.15)$$

Donde τ_{yx} : Tensión tangencial cuando se produce la *falla 1* en la cara horizontal de la unidad
 τ_{xy} : Tensión tangencial cuando se produce la *falla 1* en la cara vertical de la unidad
 τ_{0yx} : Tensión básica de adherencia en la cara horizontal de la unidad
 τ_{0xy} : Tensión básica de adherencia en la cara vertical de la unidad
 μ_{yx} : Coeficiente de fricción en la cara horizontal de la unidad
 μ_{xy} : Coeficiente de fricción en la cara vertical de la unidad

Dialer (1991) reconoce que hay una diferencia entre las propiedades de las juntas horizontales y verticales, y propone un *factor de calidad F* para marcar esta diferencia, definido por la expresión:

$$F = \frac{\tau_{0xy}}{\tau_{0yx}} \approx \frac{\mu_{xy}}{\mu_{yx}} \quad (2.16)$$

Por lo tanto, cuando se produce una falla del tipo 1, la tensión tangencial τ_{xy} se puede expresar con la ecuación siguiente:

$$\tau_{xy} = \tau_{0xy} + \mu_{xy} \cdot \chi \cdot f_n = F \cdot \tau_{0yx} + F \cdot \mu_{yx} \cdot \chi \cdot f_n \quad (2.17)$$

El factor F puede ser visto como un indicador de la “*ortotropía*” de la albañilería, en particular desde el punto de vista de la resistencia de adherencia mortero-unidad. Si este factor es igual a 1, entonces las propiedades de adherencia básica y fricción en las juntas verticales y horizontales son iguales, representando una condición de isotropía del material.

Respecto al valor del factor F, no existen muchos antecedentes debido a la falta de experimentación que respalde una cuantificación del *factor de calidad*. Andreaus (1996) plantea que el valor de F que mejor representa los resultados teóricos de Dialer (1991) frente a los resultados experimentales es $F = 0.5$. Sin embargo, no hay mayor registro de cómo podría variar este factor según el tipo de unidad (ladrillo macizo, ladrillos perforados o bloques huecos de hormigón) o según la forma como se coloca el mortero en las juntas verticales. Incluso, ni Andreaus ni Dialer detallan qué tipos de unidad se usaron en los ensayos que se han mencionado.

En el capítulo 3 se aborda la determinación del *factor de calidad* aprovechando los resultados de ensayos de muros de albañilería confinada que entregan información útil para cuantificar este factor.

Considerando el estado de tensiones de la Figura 2.6 o 2.8, la falla de deslizamiento se producirá en la zona de contacto unidad/mortero donde la tensión normal f_n se ve reducida por efecto de Δf_n , es decir donde se tiene que $f_n = f_{n2}$ (Ecuación (2.13)).

De esta forma la tensión tangencial en la falla está dada por:

$$\tau = \tau_0 + \mu f_{n2} \quad (2.18)$$

Reemplazando el valor de f_{n2} de la ecuación (2.13) en la ecuación (2.18), las tensiones tangenciales de falla quedan dadas por:

$$\tau_{yx} = \tau_{0yx} + \mu_{yx} \left(f_n - 1,5 \frac{b}{d} (\tau_{yx} - \tau_{xy}) \right) \quad (2.19)$$

$$\tau_{xy} = \tau_{0xy} + \mu_{xy} \chi f_n \quad (2.20)$$

De acuerdo con la ecuación (2.13), si la junta vertical resiste una mayor tensión τ_{xy} , la tensión normal Δf_n será menor, lo cual producirá una mayor tensión normal f_{n2} . Esto repercute en que la tensión τ_{yx} necesaria para que se produzca la falla por adherencia resulta ser mayor si se compara con el cálculo de la resistencia al corte despreciando el aporte de las juntas verticales de mortero (“*juntas secas*”).

De acuerdo con la ecuación (2.17), mientras mayor sea el factor de calidad F , mayor será la tensión tangencial vertical y mayor la resistencia por deslizamiento en las juntas de mortero.

De las ecuaciones (2.19) y (2.20) se obtiene:

$$\tau_{yx} = \frac{\tau_{0yx} + \mu_{yx} f_n + \mu_{yx} 1,5 \frac{b}{d} (\tau_{0xy} + \mu_{xy} \chi f_n)}{1 + \mu_{yx} 1,5 \frac{b}{d}} \quad (2.21)$$

Agrupando términos en la ecuación (2.21), se obtiene una expresión simplificada para la tensión tangencial de falla:

$$\tau_{yx} = \tau^* + \mu^* f_n \quad (2.22)$$

Donde:

$$\tau^* = \frac{\tau_{0yx} + \mu_{yx} \cdot 1,5 \cdot \frac{b}{d} \cdot \tau_{0xy}}{1 + \mu_{yx} \cdot 1,5 \cdot \frac{b}{d}} = \frac{\tau_{0yx} \cdot \left(1 + \mu_{yx} \cdot 1,5 \cdot \frac{b}{d} \cdot F\right)}{1 + \mu_{yx} \cdot 1,5 \cdot \frac{b}{d}} \quad (2.23)$$

$$\mu^* = \frac{\mu_{yx} + \mu_{yx} \cdot 1,5 \cdot \frac{b}{d} \cdot \chi \cdot \mu_{xy}}{1 + \mu_{yx} \cdot 1,5 \cdot \frac{b}{d}} = \frac{\mu_{yx} \cdot \left(1 + \mu_{yx} \cdot 1,5 \cdot \frac{b}{d} \cdot \chi \cdot F\right)}{1 + \mu_{yx} \cdot 1,5 \cdot \frac{b}{d}} \quad (2.24)$$

Se debe destacar que al proponer que la falla por adherencia se produce cuando las tensiones tangenciales en la unidad alcancen los valores determinados por las expresiones (2.19) y (2.20), se está aceptando que habrá una falla por adherencia en ambas juntas. La simultaneidad de ambas fallas no es necesariamente cierta, pues podría ocurrir la falla en una junta primero y luego en la otra después de una redistribución de tensiones. No obstante, este supuesto es razonable si se observa que, por lo general, el patrón de agrietamiento de muros que han presentado falla por adherencia es escalonado, y que además es esperable que las fallas en cada junta sean cercanas una a la otra.

2.4.3. Criterio de falla 2: Falla de tracción en la unidad (Criterio de Rankine).

Teniendo en cuenta que la unidad está sometida a un estado de tensiones que produce tensiones de tracción en ella, estas tensiones hacen que la falla se produzca cuando se supera la resistencia a tracción de la unidad, f_{tb} , antes que falle por adherencia en las juntas de mortero.

Para analizar este caso, se considera el estado de tensiones en el centro de una unidad de albañilería. De acuerdo a las tensiones principales del estado de tensiones, se observa una dirección donde sólo existe una tensión de tracción en la unidad y en otra, sólo de compresión.

Según el criterio de Rankine, el material fallará si sus tensiones principales superan la resistencia de tracción o de compresión de la unidad. Considerando que la resistencia a la tracción de las unidades es baja, las unidades fallarán cuando la tensión principal de tracción iguale a la resistencia a tracción de la unidad, f_{tb} .

Tomando como antecedentes los resultados de la modelación en elementos finitos realizada por Crisafulli (1997), el estado de tensiones que se presenta en el centro de una unidad de albañilería corresponde al que se muestra en la Figura 2.9, suponiendo que en dicho punto la relación entre las tensiones normales horizontal y vertical es la indicada en la expresión (2.4) a través del coeficiente χ .

Respecto a las tensiones tangenciales mostradas en la Figura 2.9, Crisafulli incluye en su trabajo un coeficiente C_s cuyo valor está dado por la relación entre la tensión de corte en el centro de la unidad de albañilería y la tensión de corte máxima aplicada.

$$C_s = \frac{\tau_{\text{CENTRO DE LA UNIDAD}}}{\tau_{\text{MÁXIMO APLICADO}}} \quad (2.25)$$

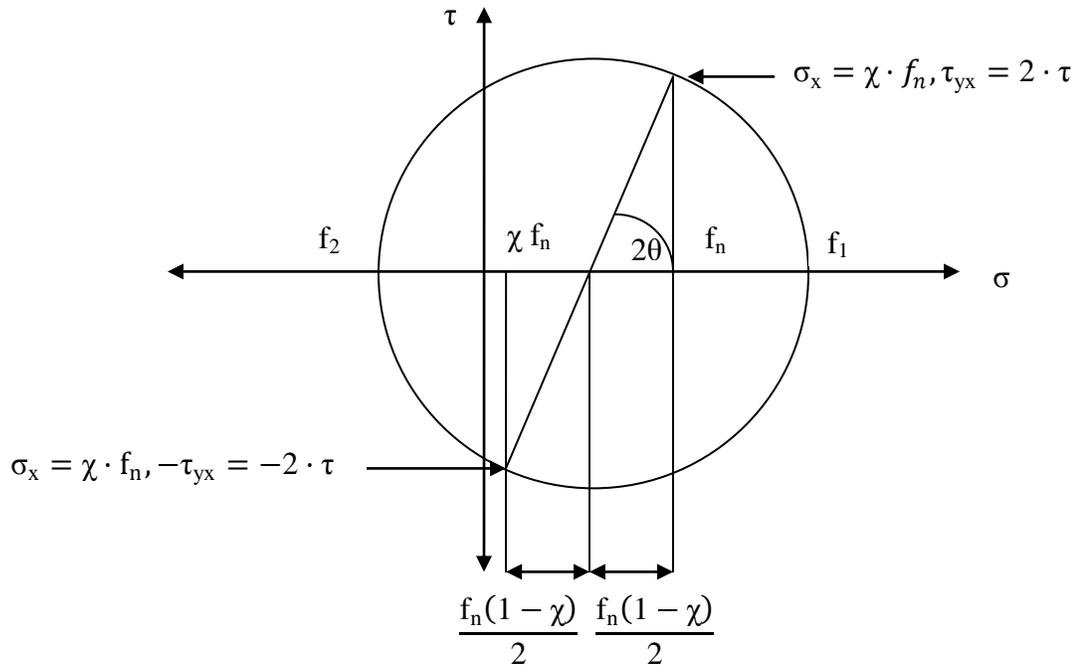


Figura 2.9: Estado de tensiones en el centro de la unidad de albañilería

En base a los resultados obtenidos mediante la modelación en elementos finitos realizada por Crisafulli (1997), el valor de este coeficiente C_s varía entre 1.5 a 2.1 al considerar el aporte de las juntas verticales, dependiendo esta variación del espesor de las juntas de mortero y de la relación de aspecto de la unidad. Para efectos de esta Memoria de Título y por simplicidad, se considera $C_s=2$ indistintamente de las dimensiones de la unidad o del espesor de la junta del mortero, resultando que $\tau_{yx}=\tau_{xy}=2\tau$

Finalmente, de la Figura 2.9 se obtiene:

$$f_2 = -f_{tb} = \chi f_n + \frac{f_n(1-\chi)}{2} - \sqrt{\left(\frac{f_n(1-\chi)}{2}\right)^2 + (2\tau)^2} \quad (2.26)$$

Igualando la tensión principal de tracción con la resistencia a tracción de la unidad de albañilería, f_{tb} , se obtiene:

$$\tau = \frac{f_{tb}}{2} \sqrt{1 + f_n \frac{1+\chi}{f_{tb}} + \frac{\chi^2 f_n^2}{f_{tb}^2}} \quad (2.27)$$

Donde f_{tb} : Resistencia a la tracción de la unidad de albañilería.

2.4.4. Criterio de falla 3: Falla por compresión en la albañilería

Según Crisafulli (1997), este tipo de falla ocurre para los valores más altos de las tensiones normales, cuando la tensión f_{n1} supera la resistencia prismática de la albañilería, f'_m .

De la ecuación (2.12) y suponiendo que $f_{n1} = f'_m$, se obtiene:

$$f'_m = f_{n1} = f_n + 1,5 \frac{b}{d} (\tau_{yx} - \tau_{xy}) \quad (2.28)$$

A partir de esta ecuación, se obtiene la tensión tangencial cuando controla el modo de falla por compresión, resultando:

$$f'_m - f_n = 1,5 \frac{b}{d} (\tau_{yx} - \tau_{0_{xy}} - \mu_{xy} \chi f_n) \quad (2.29)$$

$$\frac{d}{1,5 \cdot b} (f'_m - f_n) = \tau_{yx} - F \cdot \tau_{0_{yx}} - F \cdot \mu_{yx} \cdot \chi \cdot f_n \quad (2.30)$$

$$\tau_{yx} = \frac{d}{1,5 \cdot b} (f'_m - f_n) + F \cdot (\tau_{0_{yx}} + \mu_{yx} \cdot \chi \cdot f_n) \quad (2.31)$$

Las tensiones necesarias para la ocurrencia de esta fallan son altas en comparación con las tensiones necesarias para generar un agrietamiento diagonal. Por lo tanto, es una falla difícil de observar en muros sometidos a carga lateral.

2.5. ESPACIO DE TENSIONES PRINCIPALES. RESISTENCIA DEL PUNTAL DE COMPRESIÓN QUE REPRESENTA EL PAÑO DE ALBAÑILERÍA

2.5.1. Tensiones principales.

Como se ha destacado, cuando los paños de albañilería forman parte de los muros de albañilería confinada o son el relleno de un marco de hormigón armado, actúan como un puntal de compresión diagonal entre las esquinas opuestas del marco que forman los elementos de confinamiento o el marco de H.A.

Para establecer la resistencia que es capaz de desarrollar el puntal de compresión cuando se produce el agrietamiento del paño, considerando este estado como el estado límite de resistencia del muro, es necesario plantear una teoría de falla en función de las tensiones principales f_1 y f_2 (ver Figura 2.4).

Si se expresan las tensiones normales, f_n y f_p , y tangencial, τ , en función de las tensiones principales mínima y máxima, f_1 y f_2 , y de la inclinación de la diagonal del paño donde actúa la tensión principal de compresión respecto a la junta horizontal de mortero, se obtiene:

$$f_n = f_1 \sin^2 \theta + f_2 \cos^2 \theta \quad (2.32)$$

$$f_p = f_1 \cos^2 \theta + f_2 \sin^2 \theta \quad (2.33)$$

$$\tau = -(f_1 - f_2) \sin \theta \cos \theta \quad (2.34)$$

Para los efectos del modelo, se considera que:

- f_1 es la tensión normal de compresión (>0)
- f_2 es despreciable dado que la razón entre $\frac{f_1}{f_2} = 7$ a 10
- $\theta = \theta_m$, inclinación de la diagonal del paño de albañilería respecto a la horizontal.

Este último supuesto se justifica con los resultados de los análisis por el método de los elementos finitos, entregados en el Anexo A. Según estos resultados, hay una relación cercana a 1 entre el ángulo de la tensión principal de compresión y el ángulo de la diagonal del muro, ambos ángulos medidos con respecto a la horizontal.

Por lo tanto, considerando los supuestos destacados, se tienen las siguientes expresiones:

$$f_n = f_1 \text{sen}^2\theta \quad (2.35)$$

$$\tau = f_1 \text{sen}\theta \text{cos}\theta \quad (2.36)$$

Igualando la ecuación (2.36) con las ecuaciones de τ_{yx} se obtiene el valor de la tensión principal de compresión f_1 correspondiente a cada modo de falla del paño:

2.5.1.1. Falla por adherencia

Reemplazando las ecuaciones (2.35) y (2.36) en la ecuación (2.22) y despejando f_1 , se obtiene:

$$f_1 \text{sen}\theta \text{cos}\theta = \tau^* + \mu^* f_1 \text{sen}^2\theta \quad (2.37)$$

$$f_1 = f_{m\theta} = \frac{\tau^*}{\text{sen}\theta(\text{cos}\theta - \mu^* \text{sen}\theta)} \quad (2.38)$$

2.5.1.2. Falla por tracción en la unidad.

Reemplazando las ecuaciones (2.35) y (2.36) en la ecuación (2.27) y despejando f_1 , se obtiene:

$$f_1 \text{sen}\theta \text{cos}\theta = \frac{f_{tb}}{2} \sqrt{1 + f_1 \cdot \text{sen}^2\theta \frac{1 + \chi}{f_{tb}} + \frac{\chi}{f_{tb}^2} (f_1 \cdot \text{sen}^2\theta)^2} \quad (2.39)$$

$$f_1 = \frac{\frac{f_{tb}}{4} \cdot \text{sen}^2\theta + \sqrt{\left(\frac{f_{tb}}{4} \cdot \text{sen}^2\theta\right)^2 + f_{tb}^2 \left(\cos^2\theta - \frac{\chi}{4} \cdot \text{sen}^2\theta\right) \cdot \text{sen}^2\theta}}{2 \left(\cos^2\theta - \frac{\chi}{4} \text{sen}^2\theta\right) \text{sen}^2\theta} \quad (2.40)$$

2.5.1.3. Falla por compresión

Reemplazando las ecuaciones (2.35) y (2.36) en la ecuación (2.31) y despejando f_1 , se obtiene:

$$f_1 \text{sen}\theta \cos\theta = \frac{d}{1,5b} f_m + F \cdot \tau_{0yx} + f_1 \text{sen}^2\theta \left(F \cdot \mu_{yx} \cdot \chi - \frac{d}{1,5b} \right) \quad (2.41)$$

$$f_1 = \frac{\frac{d}{1,5b} f_m + F \cdot \tau_{0yx}}{\text{sen}\theta \left(\cos\theta - \text{sen}\theta \left(F \cdot \mu_{yx} \cdot \chi - \frac{d}{1,5b} \right) \right)} \quad (2.42)$$

Sin embargo, por la anisotropía de la albañilería, la inclinación del puntal de compresión incide necesariamente en la capacidad resistente cuando se produce una falla por compresión en el muro.

La ecuación (2.42) no incorpora el efecto de la inclinación del puntal de compresión en la resistencia a la compresión de la albañilería (f'_m). Para incorporar este efecto, Crisafulli (1997) recomienda reducir la resistencia prismática de la albañilería debido a la inclinación de la fuerza en el puntal de compresión usando el coeficiente C_θ

$$f'_{m\theta} = C_\theta \cdot f'_m \quad (2.43)$$

Donde f'_m : Resistencia prismática de la albañilería.

En esta Memoria de Título, el modo de falla por compresión en la albañilería está representado por la ecuación (2.43), con un coeficiente C_θ dado por las siguientes ecuaciones:

$$C_\theta = 0,0135 \cdot \theta + 0,2092 \quad \text{Si } 15^\circ < \theta \leq 45^\circ \quad (2.44)$$

$$C_\theta = 0,0027 \cdot \theta + 0,6944 \quad \text{Si } 45^\circ < \theta \leq 75^\circ \quad (2.45)$$

La determinación del coeficiente C_θ y la comparación entre los resultados entregados por las ecuaciones (2.42) y (2.43) se detalla en el Anexo E.

2.5.2. Resistencia del puntal de compresión que representa el paño de albañilería

Conocido el valor de f_1 o $f'_{m\theta}$ para los tres modos de falla, se conoce la fuerza de compresión que resiste el puntal de compresión que representa el paño de albañilería:

$$R_c = f'_{m\theta} \cdot A_{ms} \quad (2.46)$$

$$A_{ms} = a_s \cdot t \quad (2.47)$$

Donde A_{ms} : Área del puntal de compresión
 a_s : Ancho del puntal de compresión
 t : Espesor del paño de albañilería
 $f'_{m\theta}$: Resistencia a la compresión del puntal de compresión orientado en un ángulo θ respecto a la horizontal del paño de albañilería.

La ecuación (2.46) considera la compresión con signo positivo. Además, la expresión no depende del modo de falla, con excepción del caso en que se presenta una falla por *deslizamiento horizontal* a lo largo del muro, en cuyo caso se requiere más de un puntal (Crisafulli, 1997)

El ancho del puntal de compresión que debe usarse para calcular la resistencia del puntal ha sido estudiado por diversos autores. Análisis realizados (reportados por Crisafulli, 1997) muestran que existe una buena relación entre los valores experimentales y teóricos al usar la expresión propuesta por Paulay y Priestley (1992) de un 25% del largo de la diagonal. Por lo tanto, el ancho del puntal equivalente, a_s , es posible calcularlo como:

$$a_s = 0.25 \cdot d_m \quad (2.48)$$

Donde a_s : Ancho del puntal de compresión
 t : Espesor del paño de albañilería
 d_m : Largo de la diagonal del paño de albañilería

Para incorporar el efecto de la carga axial que actúa sobre el muro de albañilería confinada, se modifica el ancho del puntal de compresión, de manera tal que el efecto benéfico de la carga vertical en la resistencia al corte quede representado en el aumento del ancho del puntal de compresión. Esta modificación fue realizada por Cabezas (2011), usando la ecuación siguiente:

$$a_s = \left(0.25 + 0.85 \frac{N_m}{A_m \cdot f'_m} \right) \cdot d_m \quad (2.49)$$

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

Además de la modificación del ancho del puntal de compresión, es necesario definir la distribución de la fuerza vertical N_m en la sección transversal del muro de albañilería confinada. Para los efectos de esta Memoria de Título, se considera que el 100% de la carga vertical actúa sobre el paño de albañilería, debido a que es una alternativa válida en la medida que se desprecie la presencia de los pilares de H.A.

Bajo este enfoque:

$$N_y = 0 \quad (2.50)$$

$$N_m = N \quad (2.51)$$

Donde N_y : Carga vertical de compresión aplicada sobre un pilar

N_m : Carga vertical de compresión actuando sobre el paño de albañilería

Considerando la ecuación (2.50), la tracción en el pilar que actúa como tensor es:

$$T = R_c \cdot \text{sen}\theta < T_y^* \quad (2.52)$$

$$T_y^* = A_{st} \cdot f_y \quad (2.53)$$

2.6. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA TEÓRICA AL CORTE DE LOS MUROS DE ALBAÑILERÍA CONFINADA.

Conocida la fuerza R_c de la ecuación (2.3), se calcula con ella la resistencia teórica de corte de un muro de albañilería confinada. Con este propósito, se deben realizar los pasos siguientes (ver Figura 2.10):

1. Determinar la resistencia del puntal o biela de compresión, $f'_{m\theta}$, para cada tipo de falla. Los datos de entrada son:
 - a. Propiedades mecánicas de las unidades: τ_0 , μ , f'_{tb} , f'_m
 - b. Propiedades geométricas de las unidades: b , d
 - c. Propiedades geométricas del muro: h , L , θ .
 - d. Valor de los coeficientes χ y F
2. Con el menor valor de la resistencia del puntal $f'_{m\theta}$, determinar el modo de falla que controla
3. Calcular la fuerza axial de compresión, R_c , del puntal de compresión:

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

4. Determinar la resistencia lateral del muro de albañilería confinada, estableciendo el equilibrio del nudo superior cuando se alcanza la fuerza axial de compresión en el puntal de compresión.

$$V_c = R_c \cdot \text{cos}\theta$$

5. Verificar que el pilar de confinamiento en tracción pueda resistir la fuerza que se obtiene cuando actúa V_c , sin que sus barras longitudinales fluyan. De lo contrario, la capacidad resistente queda limitada por la fluencia de las barras longitudinales del pilar de hormigón armado que actúa como tensor.

$$T = V_c \cdot \tan\theta < T_y$$

Los pasos descritos se ilustran en el esquema de la Figura 2.10.

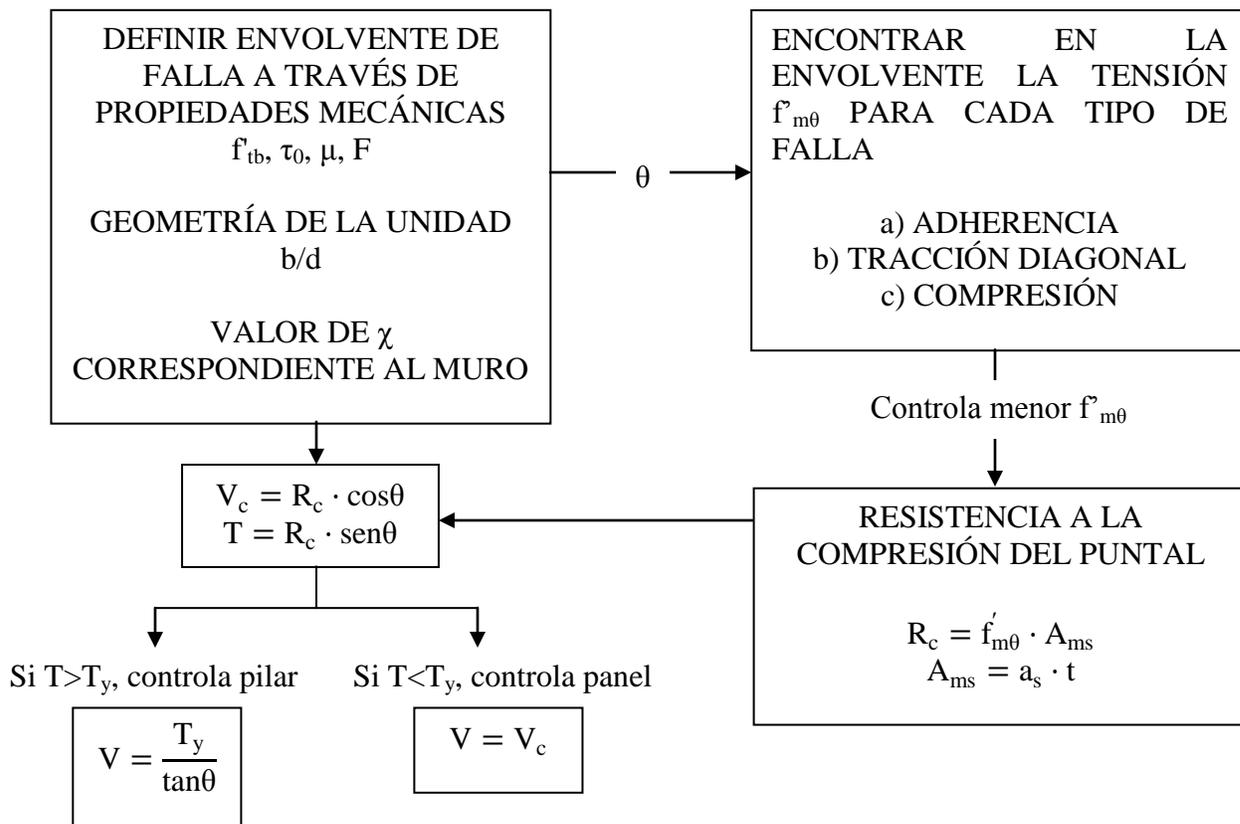


Figura 2.10: Pasos para obtener la resistencia al corte teórica de un muro de albañilería confinada.

Con las ecuaciones (2.38), (2.40) y (2.43), junto con el valor de χ y F correspondiente según el caso, se puede construir la envolvente de la resistencia a la compresión, $f_1 = f'_{m\theta}$ para diferentes ángulo de inclinación del puntal de compresión (ver Figura 2.11).

De la Figura 2.11 se obtiene, además de la resistencia del puntal de compresión de un muro, su modo de falla.

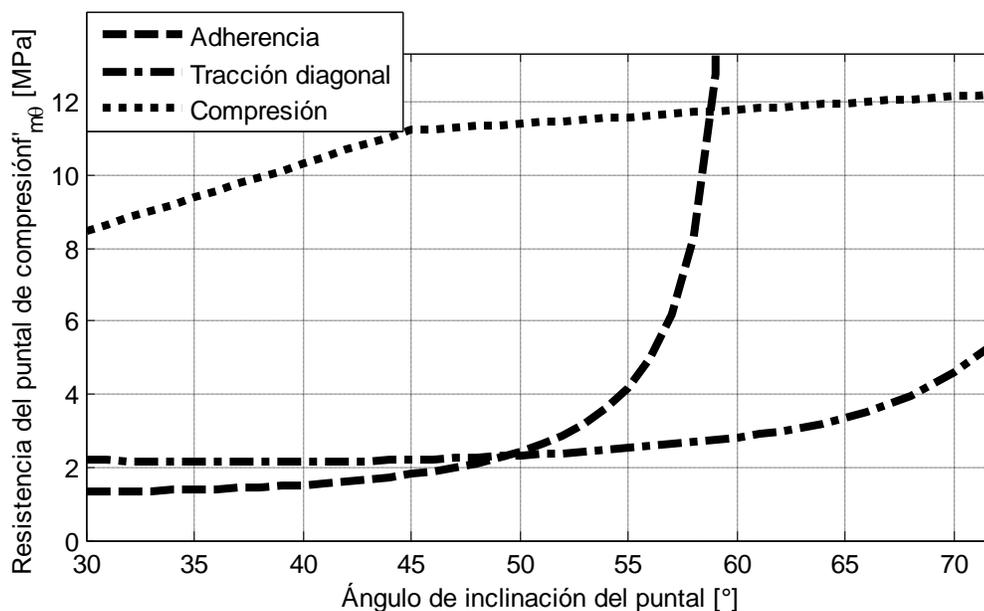


Figura 2.11: Envoltura de falla de un muro de albañilería confinada

2.7. CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO.

- El modelo teórico propuesto para calcular la resistencia al corte de un muro de albañilería confinada tiene parámetros cuyos valores requieren de trabajo experimental. Entre ellos se pueden destacar: el coeficiente χ , el *factor de calidad*, F , y el ancho del puntal de compresión, a_s . Sin embargo, su uso tiene la gran ventaja de ser un modelo simple cuyos parámetros se obtienen de ensayos sencillos.
- El modelo de Dialer permite incorporar el efecto de las juntas verticales de mortero identificando el modo de falla que se produce en el muro, a diferencia de las ecuaciones empíricas que recomiendan actualmente las normas de diseño y cálculo que no identifican el modo de falla.
- El modo de falla de compresión del paño de albañilería debe ser estudiado con mayor profundidad, pues este tipo de falla sí podría presentarse en muros construidos con unidades artesanales de muy baja resistencia o con alto porcentaje de huecos. Esto hace que sea necesario obtener datos experimentales que permitan analizar de manera apropiada el modo de falla por compresión de la albañilería.
- El valor del coeficiente χ es determinante en los resultados que entrega el modelo. Por lo tanto, se recomienda realizar ensayos. Lo mismo ocurre con el *factor de calidad* F .

CAPÍTULO 3:

DETERMINACIÓN DE LOS COEFICIENTES “ χ ” Y “F”, Y SU EFECTO EN EL MODELO TEÓRICO

3.1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo se detalla la forma en que se determinan los coeficientes χ y F que aparecen en las ecuaciones del modelo teórico propuesto, los cuales representan la presencia de un estado biaxial de tensiones en el paño de albañilería y la ortotropía de las propiedades mecánicas del material, respectivamente.

Además se realiza un análisis del efecto de la variación de estos dos coeficientes en la envolvente de falla por corte del paño de albañilería y en la resistencia al corte de un muro de albañilería confinada.

3.2. DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE χ

Este coeficiente relaciona las tensiones normales que actúan en las caras de una unidad de albañilería producto del estado biaxial de tensiones existente en el paño de albañilería. Por lo tanto, para determinar este coeficiente se debe conocer las tensiones normales en la dirección vertical (f_n) y horizontal (f_p) en cualquier punto del paño de albañilería.

Considerando que no se cuenta con valores registrados experimentalmente de estas tensiones normales que permitan calcular la relación entre ellas, el valor del coeficiente χ se obtuvo del estado de tensiones que resulta de un análisis por el método de elementos finitos (FEM) de un muro de albañilería confinada sometido a una carga lateral, cuando el material es isótropo con un comportamiento lineal y elástico. Los detalles de este análisis se entregan en el Anexo A

Para establecer el valor del coeficiente χ , se consideraron las tensiones normales que se producen en el tercio central de la diagonal del paño de albañilería de cada muro. El valor propuesto representa el valor promedio de la relación entre las tensiones normales en esta zona del muro y es función sólo de la esbeltez del muro (λ); es decir, de la relación entre la altura y la longitud del paño de albañilería.

De los resultados del análisis por el FEM, se comprueba que la variación del coeficiente χ es despreciable si la altura de los elementos del marco de H.A. varían entre 20cm y 30 cm.

Para obtener una expresión que permita calcular el valor del coeficiente χ en función de la esbeltez del muro de albañilería confinada (λ), se realiza un análisis de regresión polinomial con los valores promedios obtenidos del análisis con el FEM, los que se entregan en la Tabla 3.1. La ecuación que resulta es la siguiente:

$$\chi = -0.156 \cdot \lambda^3 + 1.216 \cdot \lambda^2 - 3.108 \cdot \lambda + 2.602 \quad (3.1)$$

Tabla 3.1: Valores del coeficiente χ .

$\lambda = \frac{h_m}{l_m}$	χ
2	-0,003
1	0,55
0,67	1,03
0,5	1,33

En la Figura 3.1 se muestra gráficamente la ecuación (3.1) junto con los valores de la Tabla 3.1

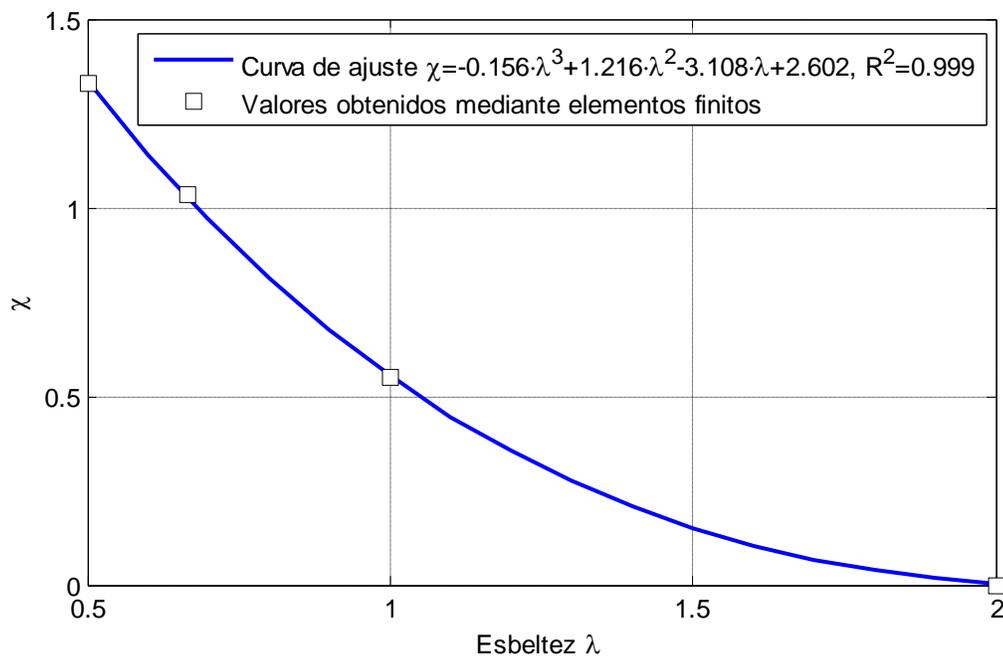


Figura 3.1: Curva del coeficiente χ en función de la esbeltez del paño de albañilería.

3.3. DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE F

Como se señaló en el capítulo 2, Dialer introduce en el modelo el *factor de calidad* F, el cual relaciona las propiedades de adherencia básica y fricción correspondientes a las juntas horizontales y verticales de mortero.

$$F = \frac{\tau_{0_{xy}}}{\tau_{0_{yx}}} \approx \frac{\mu_{xy}}{\mu_{yx}} \quad (2.16)$$

Sin embargo, Dialer no entrega mayor información sobre el valor de este coeficiente y la información experimental disponible es escasa. Según Andreaus (1996), el valor del *factor de calidad* que mejor relaciona las resistencias al corte teóricas utilizando el modelo Dialer con las resistencias experimentales es F=0.5, pero no detalla el tipo de albañilería a la cual aplica esta recomendación.

3.3.1. Información experimental para determinar el coeficiente F

A continuación, se entrega la información experimental que se ha utilizado para realizar una estimación del valor del coeficiente F.

3.3.1.1. **Estudio de adherencia de unidades cerámicas por cara lisa y no lisa (Fernández et al, 1986)**

Fernández realizó ensayos de tripletas construidas con unidades cerámicas hechas a máquina del tipo rejilla con huecos sometidas a un ensayo de corte directo por cara lisa y rugosa, aplicando una compresión perpendicular a la junta de mortero de $0.12 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$, y empleando un mortero mixto (cemento/arena/cal) de dosificación 1:1/4:3³/₄.

El contacto por la cara rugosa de la unidad representa a las juntas horizontales de mortero y por la cara lisa, a las juntas verticales.

Las propiedades de las unidades cerámicas utilizadas en la fabricación de las probetas se detallan en la Tabla 3.2. Los resultados de los ensayos de tripletas se entregan en la Tabla 3.3. Los ensayos se efectuaron a los 28 días de edad desde su elaboración, con un proceso de curado adecuado.

Dado que en los ensayos por la cara lisa y rugosa se aplica la misma carga perpendicular a la junta de mortero, el valor de χ es igual a 1.0. Por lo tanto, de las expresiones (2.16) y (2.17) se puede aceptar que, en estos ensayos, el valor de F está dado por la relación entre la adherencia obtenida por la cara lisa y la cara rugosa, resultando los valores de la Tabla 3.4.

Tabla 3.2: Propiedades de las unidades utilizadas en las tripletas (Fernández et al, 1986)

Denominación comercial	Fábrica	IRA gr/cm ² /min	Absorción Frío	A neta cm ²	A bruta cm ²	R _c kgf/cm ²	Huecos %
Titán liviano	Princesa	0,454	13,3	226,9	407,96	163,6	44,5
Hércules	Santiago	0,202	9,19	161,3	403,50	164,9	60,3
Gigante	Lapreco	0,226	8,93	191,8	413,87	143,7	53,7

Tabla 3.3: Resultados de los ensayos de tripletas (Fernández et al, 1986)

Unidad	Adherencia (kgf/cm ²) cara lisa	Adherencia (kgf/cm ²) cara no lisa	Incremento %
Titán liviano	4,8	8,33	73,5
Hércules	3,65	14,1	286,3
Gigante	5	10,35	107,0

Tabla 3.4: Factor de calidad obtenido de los ensayos de Fernández.

Unidad	Adherencia (kgf/cm ²) cara lisa	Adherencia (kgf/cm ²) cara no lisa	Factor de calidad
Titán liviano	4,8	8,33	0,576
Hércules	3,65	14,1	0,259
Gigante	5	10,35	0,483
		PROMEDIO	0,439
		C.V	0,371

3.3.1.2. Ensayos de muros de albañilería con y sin mortero en las juntas verticales

En estos ensayos los muros de albañilería se someten a una carga lateral, alternada o monótonamente creciente. Los muros se construyen con y sin mortero en las juntas verticales para determinar el efecto del mortero de estas juntas en la resistencia al corte del muro.

Con los resultados de estos ensayos se puede determinar el valor del coeficiente F a partir de la reducción que se produce en la resistencia al corte de un muro cuando no se materializan las juntas verticales. Teóricamente, esta reducción se puede calcular comparando el valor de la resistencia al corte calculada con el modelo macro puntal-tensor que usa la teoría de Mann y Müller (1982), con la resistencia que se obtiene con el modelo macro que usa la teoría de Dialer cuando se trata de un muro con mortero en las juntas verticales.

Para estos efectos, la reducción de la resistencia al corte se expresa de la manera siguiente:

$$\text{Reducción} = R = \frac{f_{1\text{DIALER}} - f_{1\text{M\&M}}}{f_{1\text{DIALER}}} = 1 - \frac{f_{1\text{M\&M}}}{f_{1\text{DIALER}}} \quad (3.2)$$

Considerando las expresiones de la tensión f_1 del capítulo 2, se obtiene:

$$\frac{f_{1\text{M\&M}}}{f_{1\text{DIALER}}} = 1 - R = \frac{\frac{\frac{\tau_{0yx}}{1 + \mu_{yx} \cdot 1,5 \frac{b}{d}}}{\text{sen}\theta \cos\theta - \frac{\mu_{yx}}{1 + \mu_{yx} \cdot 1,5 \frac{b}{d}} \cdot \text{sen}^2\theta}}{\frac{\tau_{0yx} \left(1 + \mu_{yx} \cdot 1,5 \frac{b}{d} F\right)}{1 + \mu_{yx} \cdot 1,5 \frac{b}{d}}}}{\frac{\text{sen}\theta \cos\theta - \frac{\mu_{yx} \left(1 + 1,5 \frac{b}{d} \chi F \mu_{yx}\right)}{1 + \mu_{yx} \cdot 1,5 \frac{b}{d}} \cdot \text{sen}^2\theta}} \quad (3.3)$$

$$1 - R = \frac{1}{1 + \mu_{yx} \cdot 1,5 \frac{b}{d} \cdot F} \cdot \frac{\text{sen}\theta \cos\theta - \frac{\mu_{yx} \left(1 + 1,5 \frac{b}{d} \chi F \mu_{yx}\right)}{1 + \mu_{yx} \cdot 1,5 \frac{b}{d}} \cdot \text{sen}^2\theta}{\text{sen}\theta \cos\theta - \frac{\mu_{yx}}{1 + \mu_{yx} \cdot 1,5 \frac{b}{d}} \cdot \text{sen}^2\theta} \quad (3.4)$$

$$\begin{aligned}
(1 - R) \left(1 + \mu_{yx} \cdot 1,5 \frac{b}{d} \cdot F \right) & \left(\operatorname{sen}\theta \cos\theta - \frac{\mu_{yx}}{1 + \mu_{yx} \cdot 1,5 \frac{b}{d}} \cdot \operatorname{sen}^2\theta \right) \\
& = \operatorname{sen}\theta \cos\theta - \frac{\mu_{yx} \left(1 + 1,5 \frac{b}{d} \chi F \mu_{yx} \right)}{1 + \mu_{yx} \cdot 1,5 \frac{b}{d}} \cdot \operatorname{sen}^2\theta
\end{aligned} \tag{3.5}$$

Haciendo las siguientes denominaciones:

$$SCM = \operatorname{sen}\theta \cos\theta - \frac{\mu_{yx}}{1 + \mu_{yx} \cdot 1,5 \frac{b}{d}} \cdot \operatorname{sen}^2\theta$$

$$SC = \operatorname{sen}\theta \cos\theta$$

$$MS = \frac{\mu_{yx} \cdot \operatorname{sen}^2\theta}{1 + \mu_{yx} \cdot 1,5 \frac{b}{d}}$$

Se obtiene:

$$(1 - R) \left(1 + \mu_{yx} \cdot 1,5 \frac{b}{d} \cdot F \right) SCM = SC - MS \left(1 + 1,5 \frac{b}{d} \chi F \mu_{yx} \right) \tag{3.6}$$

$$\begin{aligned}
& \left(MS \cdot \mu_{yx} \cdot 1,5 \frac{b}{d} \chi + (1 - R) \cdot \mu_{yx} \cdot 1,5 \frac{b}{d} SCM \right) \cdot F \\
& = SC - MS - (1 - R) \cdot SCM
\end{aligned} \tag{3.7}$$

Despejando F, resulta:

$$F = \frac{SC - MS - (1 - R) \cdot SCM}{\left(MS \cdot \mu_{yx} \cdot 1,5 \frac{b}{d} \chi + (1 - R) \cdot \mu_{yx} \cdot 1,5 \frac{b}{d} SCM \right)} \tag{3.8}$$

De la ecuación (3.8) se observa que el valor del *factor de calidad* está asociado con 3 variables: (a) El coeficiente de fricción de la unidad, (b) la razón de aspecto de la unidad, y (c), la razón de aspecto del paño de albañilería, expresada en el ángulo θ de la diagonal.

Con la ecuación (3.8) se puede calcular el *factor de calidad* que corresponde a una reducción en la capacidad resistente al corte de un muro de albañilería confinada debido a la ausencia de mortero en sus juntas verticales. Los valores de F que resultan para distintos valores de R se muestran en la Figura 3.2, los cuales se obtienen utilizando los resultados experimentales de muros ensayados en Chile, reseñados en la Tabla 3.5 (ver anexo B).

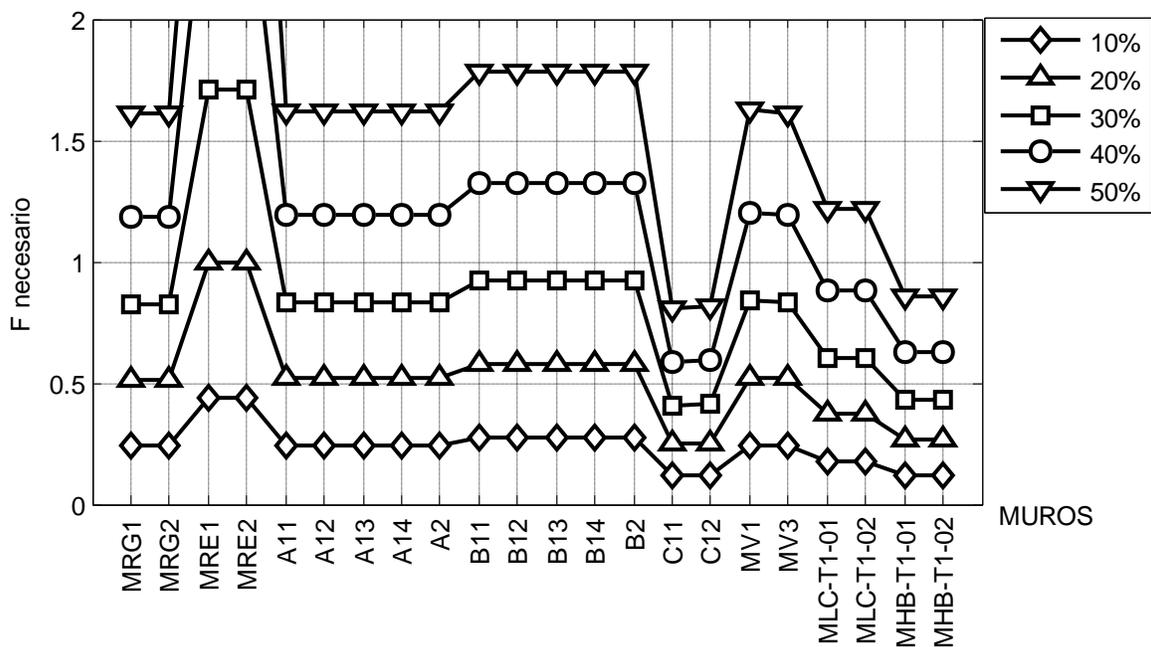


Figura 3.2: Factor de calidad para distintos porcentajes de reducción de resistencia por ausencia de mortero en las juntas verticales.

Tabla 3.5: Tipos de unidad y esbelteces de murosⁱ

Serie	Tipo de unidad	Esbeltez
MRG	Cerámicas hechas a máquina del tipo rejilla	1
MRE	Cerámicas hechas a máquina del tipo rejilla	2
A	Cerámicas hechas a máquina del tipo rejilla	1
B	Cerámicas macizas de fabricación artesanal	1
C	Bloques huecos de hormigón hechos en fábrica	1
MV	Cerámicas hechas a máquina del tipo rejilla	0.8
MLC-T1	Cerámicas hechas a máquina del tipo rejilla	0.6
MBH-T1	Bloques huecos de hormigón hechos en fábrica	0.6

- **Resultados de Maheri et al. (2009)**

En el trabajo de Maheri et al. (2009) se evalúa el impacto de la ausencia de mortero en las juntas verticales en la resistencia al corte de muros de albañilería sometidos a una carga monótonamente creciente hasta la falla. Para este efecto se ensayaron cuatro muros cuyas dimensiones fueron: 160cm de ancho, 140cm de alto y 11cm de espesor. De estos cuatro muros, dos fueron construidos con materiales y mano de obra calificada como “estándar”, y los dos restantes con materiales y mano de obra calificada como “no estándar”.

ⁱMayor detalle en Anexo B

El término “*materiales estándar*” se refiere a unidades y morteros que cumplen con las disposiciones de las normas de diseño y cálculo aceptadas internacionalmente para la construcción en albañilería. Asimismo, al hablar de “*mano de obra estándar*” se refiere a que las unidades se usan en estado saturado-seco, de manera que absorban la humedad del mortero; y que los paneles son curados por 28 días con una lámina de polietileno para contrarrestar la pérdida de humedad. Los materiales y mano de obra que no cumplen con lo anterior son denominados como “*no estándar*”.

Para cumplir con el objetivo del estudio, uno de los muros “*estándar*” se construyó sin mortero en las juntas verticales. Lo mismo sucedió con uno de los muros “*no estándar*”.

El estudio incluyó una serie de ensayos para determinar las propiedades de los materiales usados en la construcción de los muros, las que se entregan en la Tabla 3.6. En la Tabla 3.7 se indica la capacidad resistente al corte de los muros ensayados junto con el valor del factor de reducción R (ver ecuación (3.2)).

- ***Resultados de Cruz (2002)***

Cruz ensayó a carga lateral monótonamente creciente y alternada muros de albañilería confinada construidos con unidades cerámicas y con bloques de hormigón, con y sin mortero en las juntas verticales.

Los especímenes ensayados fueron muros de 2780 mm. de largo y 3750 mm. de alto, dimensiones nominales representativas de las edificaciones de vivienda utilizados en Francia. Las distintas unidades usadas fueron ensayadas a compresión simple en las direcciones horizontal y vertical (ver Figura 3.3), cuyas propiedades se indican en las Tablas 3.8 y 3.10.

En las Tablas 3.9 y 3.11 se indican las capacidades resistentes al corte de los muros ensayados junto con el valor del factor de reducción R (Ver ecuación (3.2)).

Tabla 3.6: Propiedades de los materiales y de los muros ensayados (Maheri et al., 2009)

Propiedad	Estándar ASTM	Muros estándar	Muros no estándar
Resistencia a la compresión de la unidad [MPa]	C67-98a	11	13.8 ⁱⁱ
Resistencia a la tracción por flexión de la unidad [MPa]	C580-02	1.1	-
Resistencia a la compresión del mortero [MPa]	C579-96, C39-99	34	6.6
Resistencia a la tracción del mortero [MPa]	C307-94, C496-96	4.4	0.65
Módulo de elasticidad de la unidad [MPa]	C580-02	7500	-
Módulo de elasticidad del mortero [MPa]	C1314	12000	-
Módulo de elasticidad del panel de albañilería (con juntas verticales) [MPa]		-	7000
Módulo de elasticidad del panel de albañilería (sin juntas verticales) [MPa]	C1314	-	1500
Resistencia a la adherencia [MPa]	C1513	0.0915	0.005
Coefficiente de fricción de la interfaz unidad-mortero en junta horizontal	-	-	0.85
Coefficiente de fricción de la interfaz unidad-mortero en junta vertical	-	-	1.2

Tabla 3.7: Capacidad resistente de los muros ensayados (Maheri et al., 2009).

Muro	Capacidad última (kN)	Reducción de capacidad
Estándar con juntas verticales	140	35%
Estándar sin juntas verticales	91,5	
No estándar con juntas verticales	31	48%
No estándar sin juntas verticales	16	

ⁱⁱ Valor discutible. Al ser la unidad “no estándar” construida artesanalmente, se espera que su módulo de elasticidad sea menor que el de una unidad “estándar”

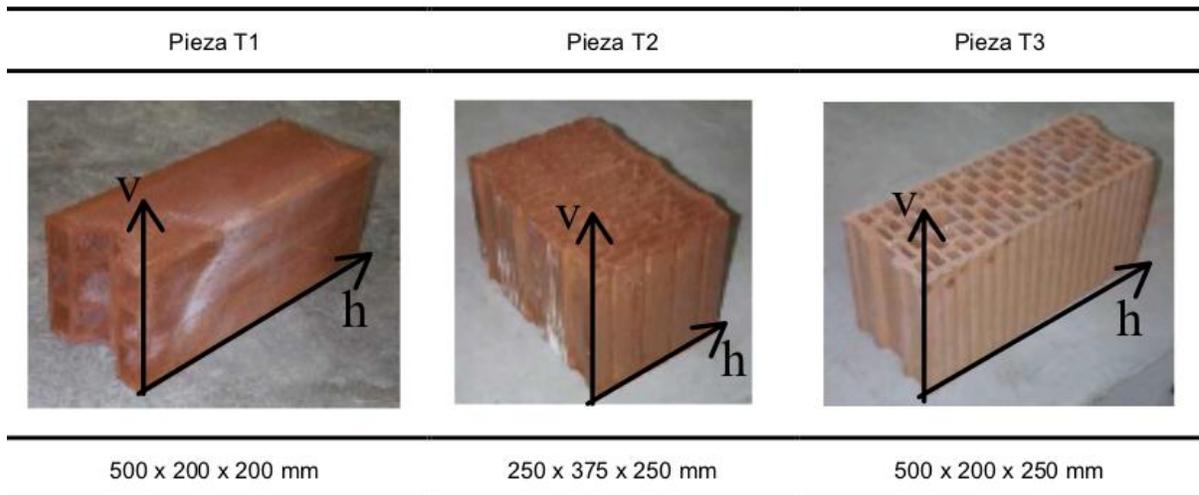


Figura 3.3: Unidades ensayadas por Cruz (2002)

Tabla 3.8: Propiedades de los materiales y de los muros de unidades cerámicas (Cruz, 2002).

Parámetro	Número de muro					
	1	2	3	4	5	6
<i>Unidad</i>						
Largo (cm)	50	50	25	25	50	50
Alto (cm)	20	20	25	25	25	25
Razón Largo/alto	0,4	0,4	1	1	0,5	0,5
Espesor (cm)	20	20	38	38	20	20
Referencia	T1	T1	T2	T2	T3	T3
Resistencia ensayo a compresión vertical (MPa)	2,7	2,7	19,6	19,6	12,8	12,8
Resistencia ensayo a compresión horizontal (MPa)	8,39	8,39	5,43	5,43	1,4	1,4
Material	Cerámico					
Juntas verticales	Llenas	Vacías	Llenas	Vacías	Llenas	Vacías
<i>Muro</i>						
Largo (m)	3,45					
Alto (m)	2,63	2,63	2,61	2,61	2,61	2,61
Esbeltez	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76

Tabla 3.9: Capacidad resistente al corte de los muros de unidades cerámicas (Cruz, 2002).

Muro	Capacidad última (kN)	Reducción de capacidad
1	432	13%
2	374	
3	504	39%
4	306	
5	210	20%
6	167	

Tabla 3.10: Propiedades de los materiales y de los muros de bloques de hormigón (Cruz, 2002).

Parámetro	Número de muro			
	1	2	3	4
<i>Unidad</i>				
Largo (cm)	50			
Alto (cm)	20			
Razón Largo/alto	0,4			
Espesor (cm)	20			
Referencia	-			
Resistencia ensayo a compresión vertical (Mpa)	9,3			
Resistencia ensayo a compresión horizontal (Mpa)	4,65			
Material	Bloque de hormigón			
Juntas verticales	Llenas	Vacías	Llenas	Vacías
<i>Muro</i>				
Largo (m)	3,74	3,75	3,71	3,7
Alto (m)	2,61			
Esbeltez	0,70	0,70	0,70	0,71

Tabla 3.11: Capacidad resistente al corte de los muros de bloques de hormigón (Cruz, 2002).

Muro	Capacidad última (kN)	Reducción de capacidad
1	556	23%
2	429	
3	534	29%
4	380	

3.4. DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE CALIDAD

Con la información experimental obtenida por Maheri et al. y Cruz, se determina el valor del *factor de calidad* F para albañilerías construidas con unidades cerámicas hechas a máquina, cerámicas de fabricación artesanal y bloques de hormigón.

3.4.1. Unidades cerámicas hechas a máquina

Para las unidades cerámicas hechas a máquina, es útil la información entregada por Fernández et al. (1986), dado que los ensayos fueron realizados con unidades de este tipo.

De la Tabla 3.4 se observa que, si bien los resultados de las unidades tipo Hércules difieren de los otros 2 tipos, los valores obtenidos para unidades del tipo Titán Liviano (correspondiente a las series MRG, MRE y A) y Gigante se aproximan al valor sugerido por Andreus (1996), por lo que el valor de $F=0.5$ para unidades cerámicas se ajusta de buena manera a los resultados obtenidos con estos ensayos.

Asimismo, en los ensayos de Cruz la unidad tipo T3 es la que más se asemeja a las unidades cerámicas nacionales. De la Tabla 3.9 se tiene que la reducción de la capacidad de los muros construidos con este tipo de unidad en ausencia de mortero en las juntas verticales corresponde a un 20%. Al revisar en la Figura 3.2 las reducciones de resistencia asociadas a las series de muros construidos con unidades cerámicas hechas a máquina (MRG, MRE, A, MV y MLC), se observa que esta reducción de la capacidad resistente está asociada a un *factor de calidad* cercano a 0.5 para los muros construidos con unidades cerámicas hechas a máquina, con algunas variaciones debido a la esbeltez de los muros hechos con este tipo de unidad.

Obviando las variaciones debidas a la esbeltez, se recomienda utilizar un *factor de calidad* igual a **0.5** para los muros de albañilería construidos con unidades cerámicas hechas a máquina del tipo rejilla con huecos verticales, con un porcentaje de huecos que respete los máximos estipulados normativamente.

3.4.2. Unidades cerámicas de fabricación artesanal.

Para estas unidades se hizo una homologación entre las unidades nacionales y las unidades utilizadas en los muros llamados “*no estándar*” del trabajo de Maheri et al. (2009), debido a la falta de apego a la normativa internacional en la confección y manejo de estas unidades.

Según la Tabla 3.7, la reducción de la capacidad resistente de los muros “*no estándar*” cuando no hay mortero en las juntas verticales alcanza al 48%. De las reducciones de resistencia asociadas a los muros construidos con unidades cerámicas de fabricación artesanal (serie B) que se muestran en la Figura 3.2, se observa que una reducción de la capacidad resistente de esta magnitud está asociada a un *factor de calidad* superior a 1 para los muros construidos con unidades cerámicas de fabricación artesanal. Si se considera que un valor de F igual a 1 representa una condición de isotropía de las propiedades resistente del material, y que el ladrillo chonchón debería tener propiedades similares en ambas caras de asiento, dadas sus

características, en este trabajo se utiliza un *factor de calidad* F igual a **1.0** para los muros de albañilería contruidos con unidades cerámicas macizas de fabricación artesanal.

3.4.3. Bloques de hormigón

En la Tabla 3.11 se indican reducciones entre un 23% y un 29% en la capacidad resistente de los muros contruidos con bloques huecos de hormigón. De las reducciones de resistencia asociadas a los muros contruidos con bloques de hormigón (series C y MBH) que se muestran en la Figura 3.2, se observa que estos porcentajes de reducción de la capacidad resistente están asociados con un *factor de calidad* cuyo valor se ubica en el rango que va entre 0.3 y 0.4.

En este trabajo se utiliza un *factor de calidad* F igual a **0.35** para los muros de albañilería contruidos con unidades de bloques huecos de hormigón.

3.5. EFECTO DE LOS COEFICIENTES χ Y F

Dadas las incertidumbres que surgen por la forma en que se determinaron los coeficientes χ y F, es conveniente evaluar la influencia de estos dos coeficientes en la envolvente de falla por corte para la albañilería y en la resistencia de corte teórica de un muro de albañilería confinada. Con este propósito se estudia la variación de la resistencia a corte $\tau_{yx-falla}$ en función de la tensión normal vertical σ_y , utilizando las ecuaciones (2.22), (2.27) y (2.31), y la resistencia del puntal de compresión $f'_{m\theta}$, utilizando las ecuaciones (2.38), 2.40) y (2.43).

Los casos estudiados corresponden a tres albañilerías cuyas propiedades quedan caracterizadas por los parámetros indicadas en las figuras.

3.5.1. Efecto del coeficiente χ

Las Figuras 3.4, 3.5 y 3.6 muestran el efecto del coeficiente χ en la envolvente de falla por corte. Como se puede apreciar en estas figuras, la forma de la envolvente de falla es influenciada por este coeficiente.

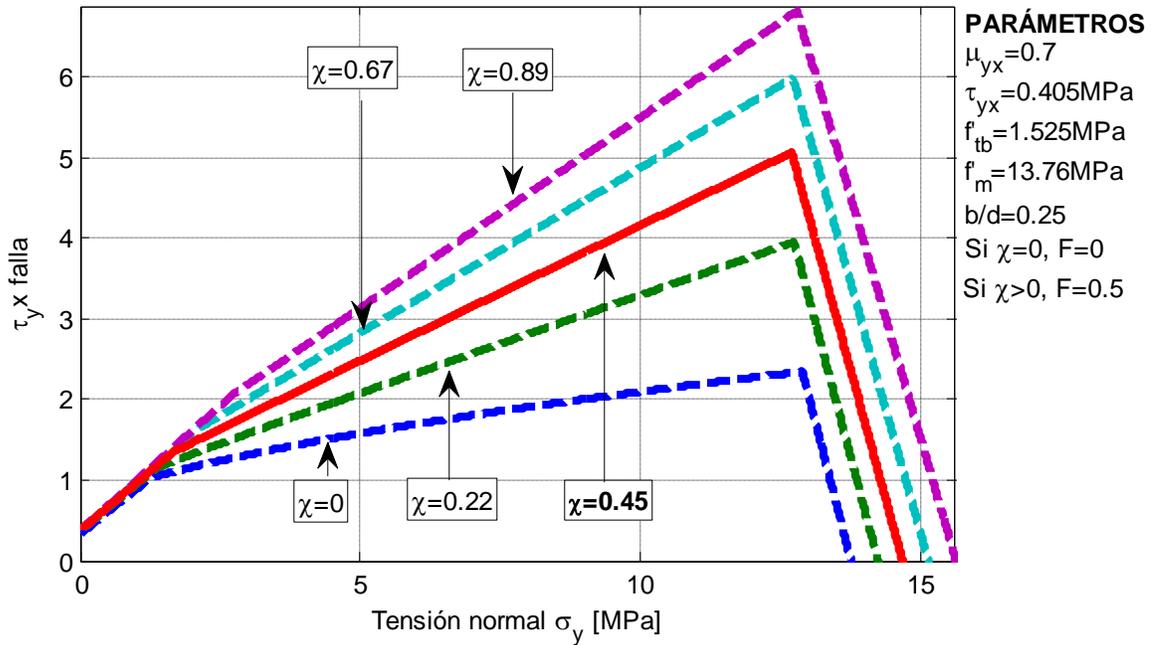


Figura 3.4: Efecto del coeficiente χ en la envolvente de falla por corte de una albañilería construida con unidades cerámicas del tipo rejilla con huecos hechas a máquina.

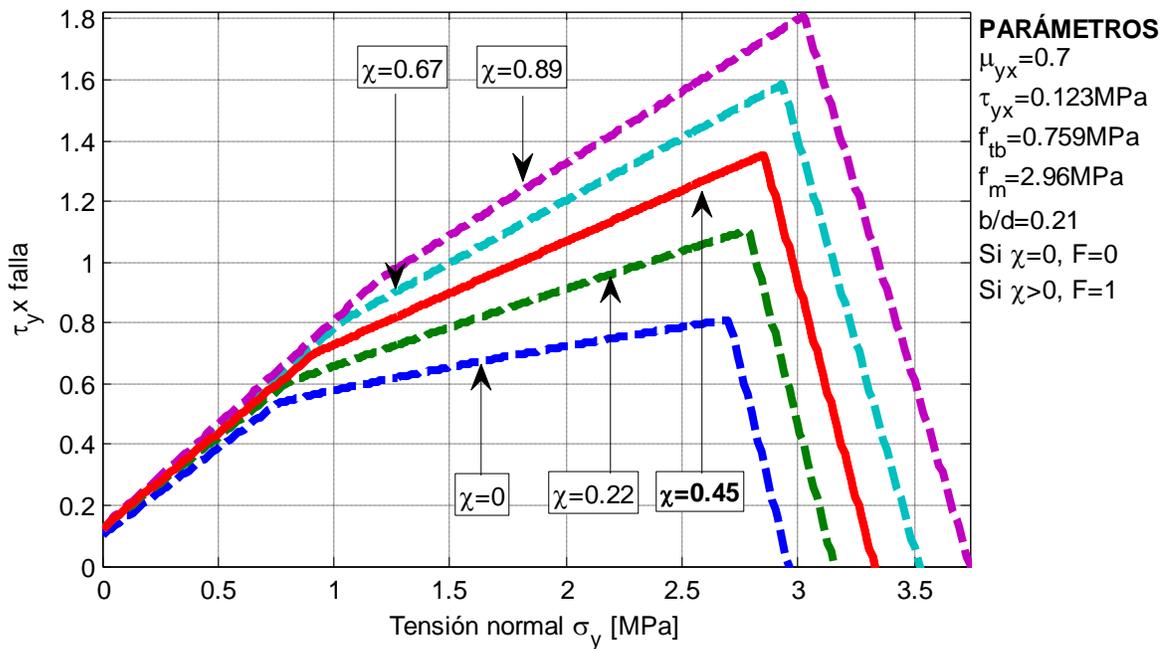


Figura 3.5: Efecto del coeficiente χ en la envolvente de falla por corte de una albañilería construida con unidades cerámicas macizas de fabricación artesanal.

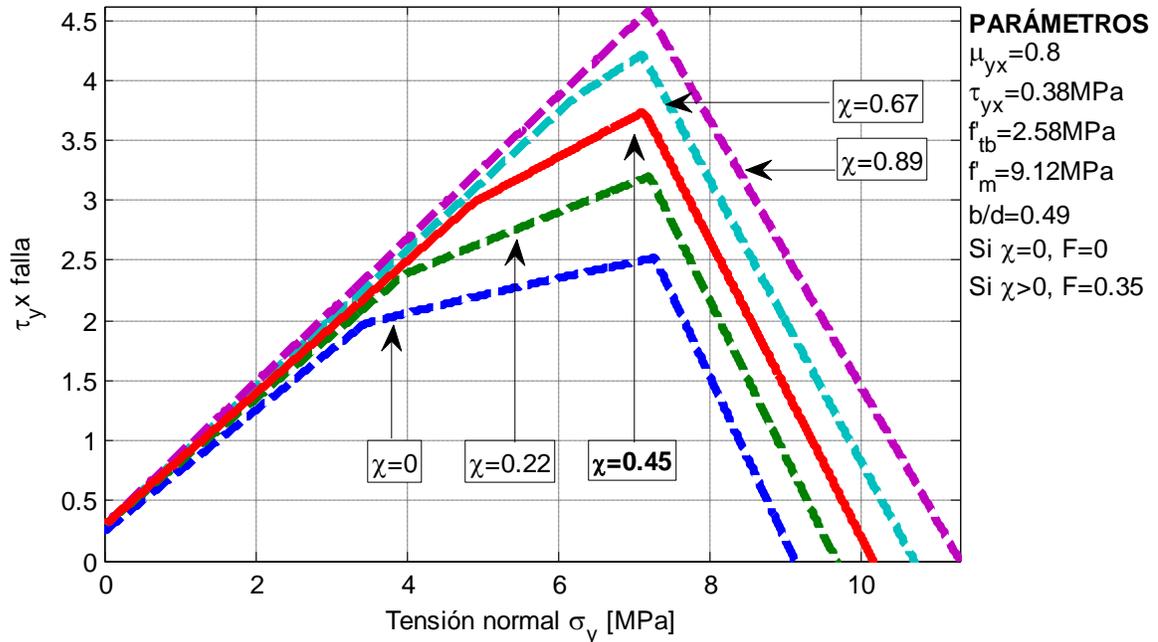


Figura 3.6: Efecto del coeficiente χ en la envolvente de falla por corte de una albañilería construida con bloques huecos de hormigón.

De las Figuras 3.4, 3.5 y 3.6 se observa que:

- A medida que aumenta el valor del coeficiente χ aumenta la resistencia a corte y se modifica la posición del punto de transición entre la falla por adherencia (*Modo de falla 1*) y la falla por tracción en la unidad (*Modo de falla 2*), produciéndose el paso de un a otro modo de falla a una tensión normal σ_y mayor.
- Si se presenta una falla de corte por adherencia, la sensibilidad de la envolvente de falla a una variación del valor del coeficiente χ es menor. Esto no ocurre cuando el modo de falla por corte está controlado por la tracción diagonal o por compresión de la albañilería.
- El aumento del valor del coeficiente χ prolonga la zona donde controla la falla por adherencia. Esto significa que, a medida que se reduce la esbeltez del muro, la falla por tracción diagonal se produce para una tensión normal mayor, predominando por ello la falla por adherencia, lo que está en sintonía con lo observado en muros largos de albañilería que fallan por corte.

Las Figuras 3.7, 3.8 y 3.9 muestran los resultados anteriores expresados en el espacio de tensiones principales a través de la resistencia del puntal de compresión.

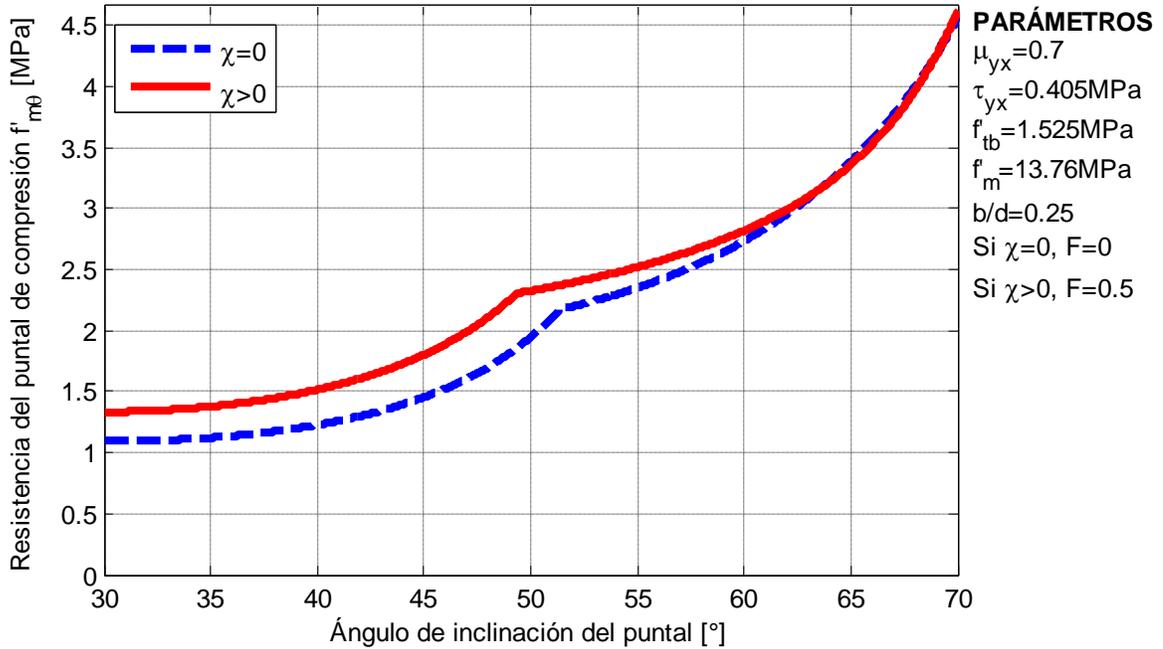


Figura 3.7: Efecto del coeficiente χ en la resistencia del puntal de compresión de un muro de albañilería confinada construido con unidades cerámicas hechas a máquina del tipo rejilla con huecos.

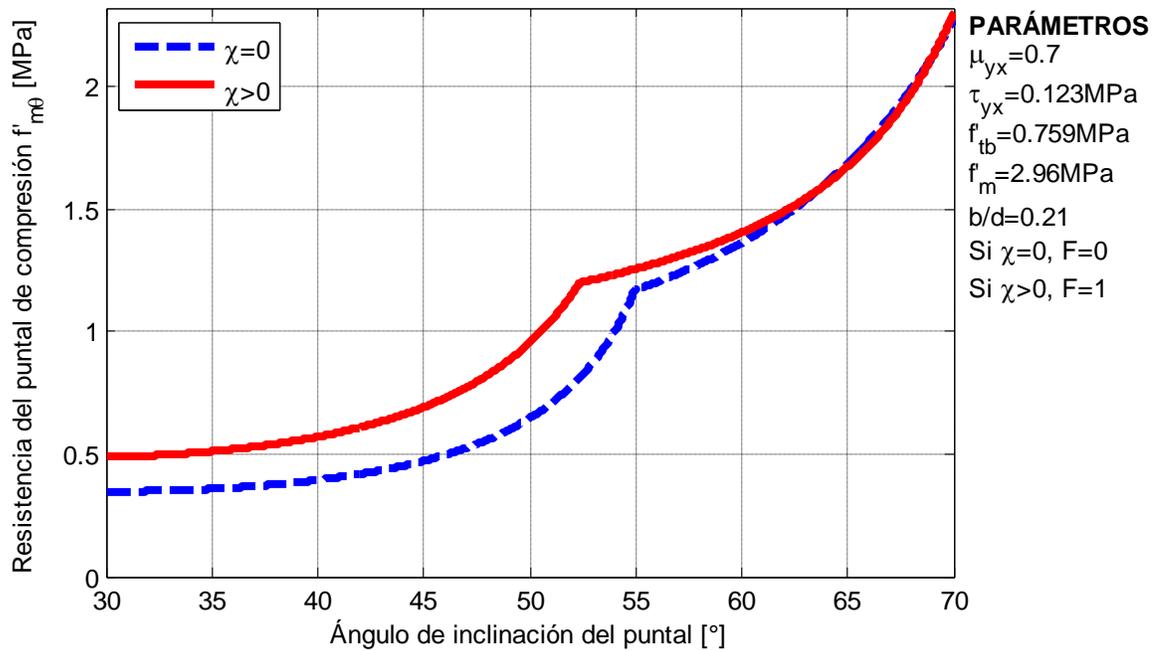


Figura 3.8: Efecto del coeficiente χ en la resistencia del puntal de compresión de un muro de albañilería confinada construido con unidades cerámicas macizas de fabricación artesanal.

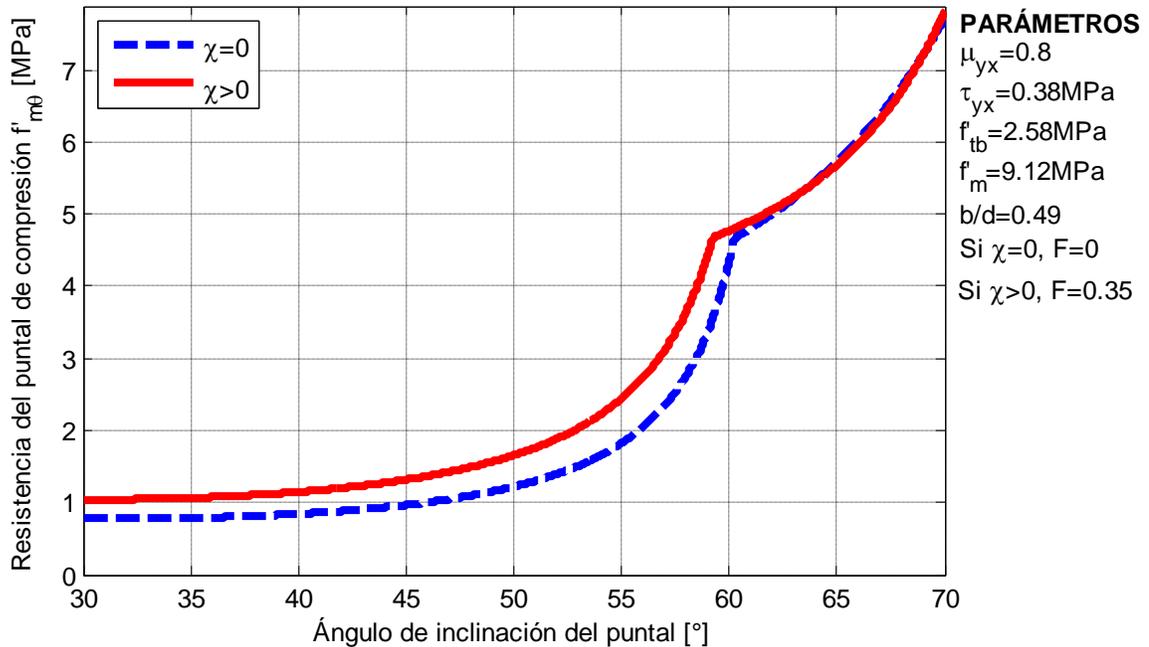


Figura 3.9: Efecto del coeficiente χ en la resistencia del puntal de compresión de un muro de albañilería confinada construido con bloques huecos de hormigón

De las figuras 3.7, 3.8 y 3.9 se observa que:

- Hay un aumento de la resistencia del puntal de compresión cuando $\chi>0$ tanto cuando controla el modo de *falla 1* como el modo de *falla 2*.
- Al aumentar el valor del coeficiente χ disminuye el punto de transición entre el modo de *falla 1* y el modo de *falla 2*.
- El aporte del coeficiente χ en la resistencia del puntal de compresión disminuye al aumentar la esbeltez del paño de albañilería. Cuando el ángulo del puntal de compresión con la horizontal, θ , supera los 60° , el efecto del coeficiente χ en la resistencia del puntal de compresión desaparece. Esto era esperable al observar de la Figura 3.1 que el valor del coeficiente χ decrece al aumentar la esbeltez, llegando a valores cercanos a 0 cuando la esbeltez del muro es igual a 2.

3.5.2. Efecto del coeficiente F

Las Figuras 3.10, 3.11 y 3.12 muestran el efecto del coeficiente F en la envolvente de falla por corte. Como se puede apreciar de estas figuras, la forma de esta envolvente es influenciada por este coeficiente.

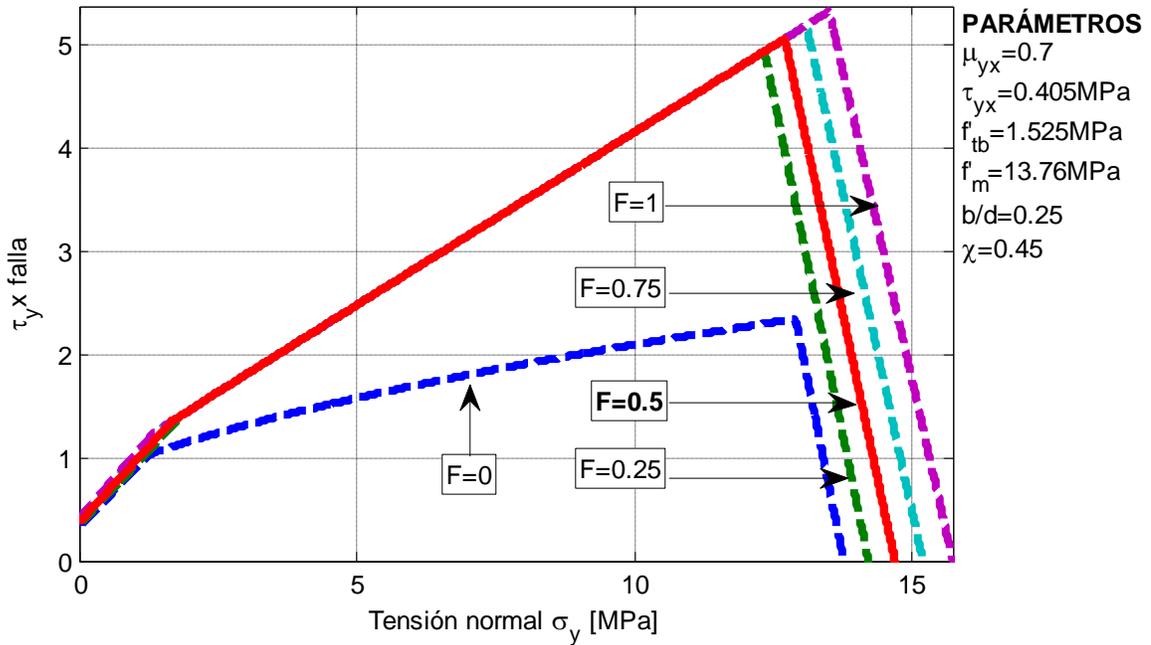


Figura 3.10: Efecto del coeficiente F en la envolvente de falla por corte de una albañilería construida con unidades cerámicas hechas a máquina del tipo rejilla.

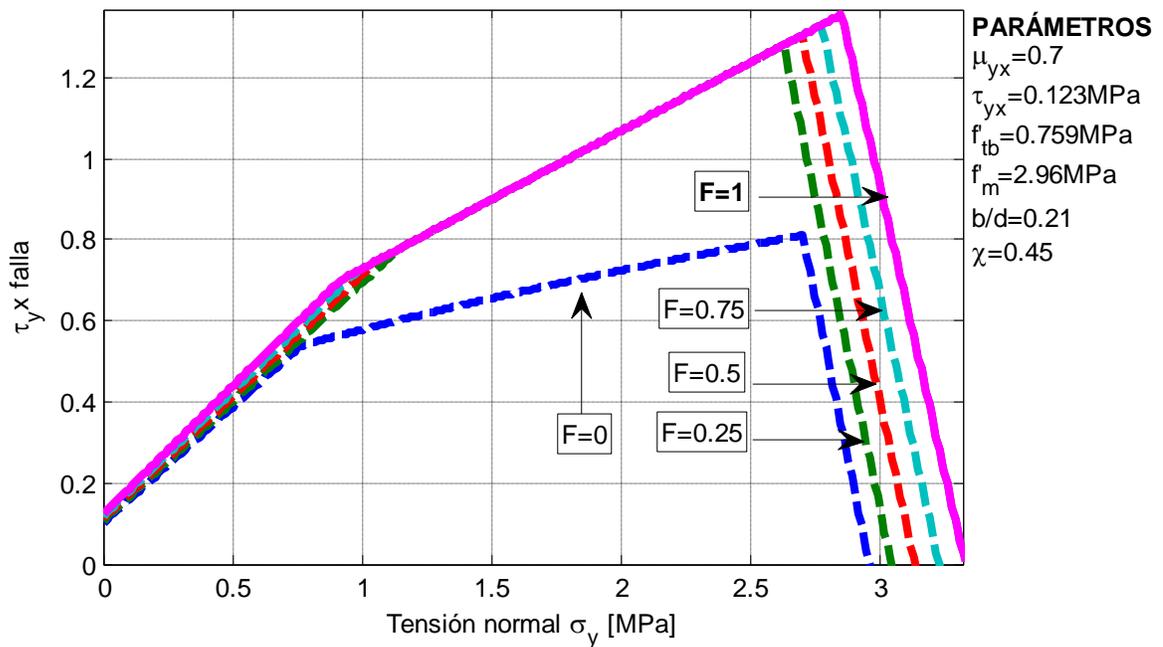


Figura 3.11: Efecto del coeficiente F en la envolvente de falla por corte de una albañilería construido con unidades cerámicas macizas de fabricación artesanal.

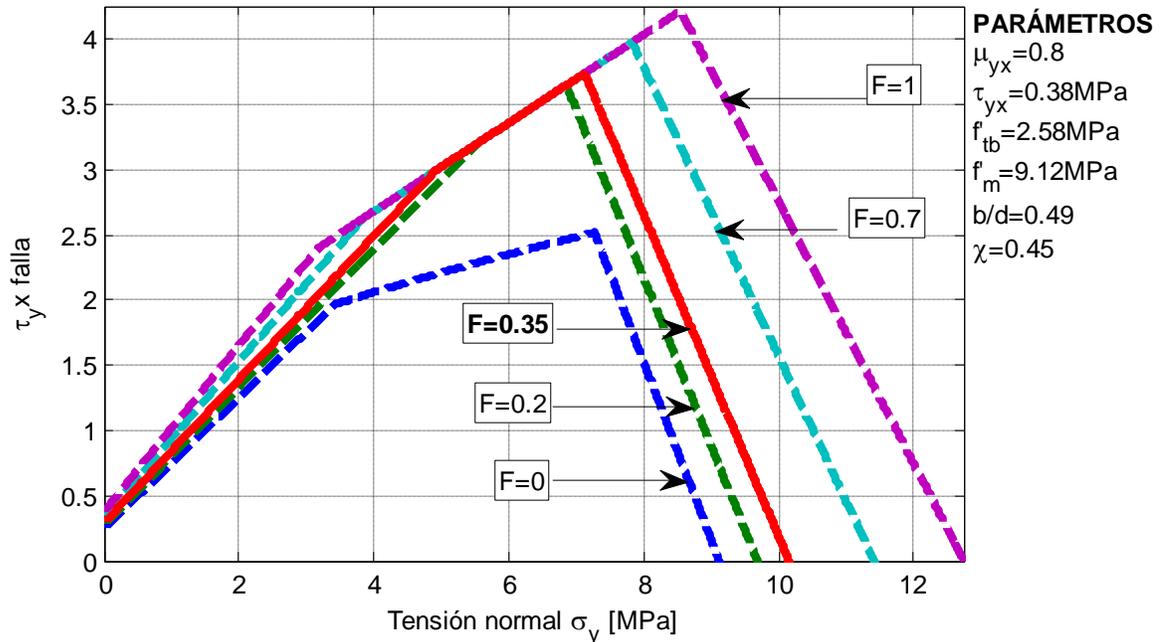


Figura 3.12: Efecto del coeficiente F en la envolvente de falla por corte de una albañilería construida con bloques huecos de hormigón.

De las figuras 3.10, 3.11 y 3.12 se observa que:

- Un *factor de calidad* mayor que 0 eleva la resistencia a corte.
- La diferencia con la envolvente que resulta al usar la teoría de Mann y Müller ($F=0$) es notoria, especialmente a medida que aumenta la tensión normal vertical.
- Tal como se plantea en el modelo teórico propuesto, el modo de falla controlado por la resistencia a la tracción de la unidad no depende del *factor de calidad*. Por lo anterior, las envolventes coinciden cuando controla este modo de falla y la resistencia del puntal no varía cuando controla este modo de falla.
- Al aumentar el valor del *factor de calidad* disminuye el punto de transición entre el modo de *falla 1* y el modo de *falla 2*. Este resultado es lógico si se considera que una albañilería con mayor isotropía debe presentar con mayor probabilidad una falla controlada por la resistencia a la tracción de la unidad.

Las Figuras 3.13, 3.14 y 3.15 muestran los resultados anteriores expresados en el espacio de tensiones principales a través de la resistencia del puntal.

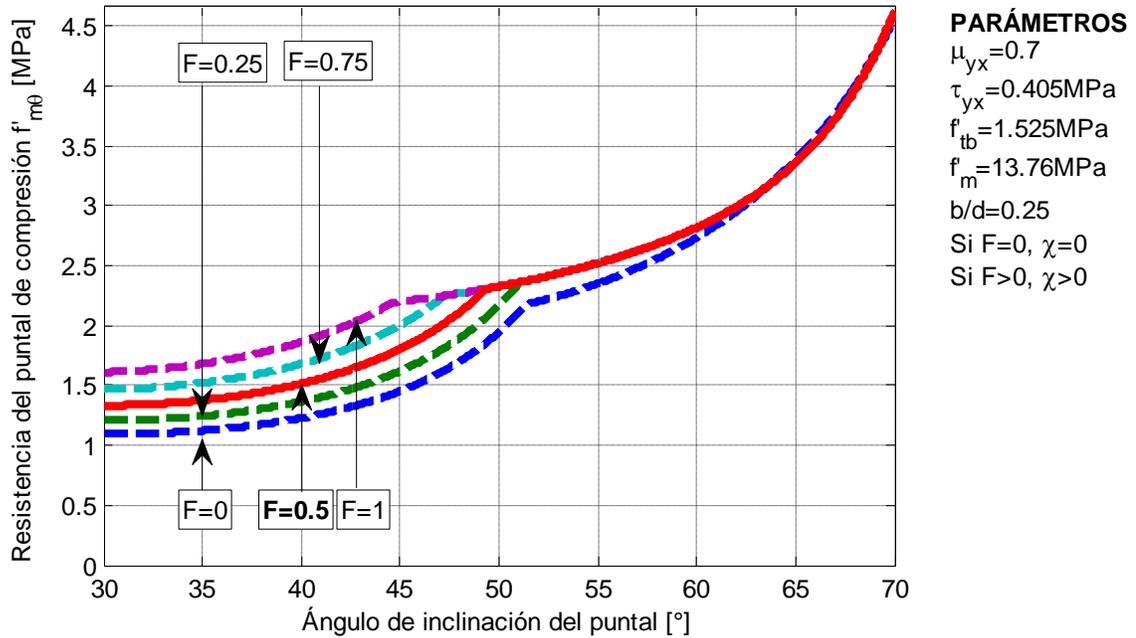


Figura 3.13: Efecto del coeficiente F en la resistencia del puntal de compresión de un muro de albañilería confinada construido con unidades cerámicas hechas a máquina del tipo rejilla con huecos.

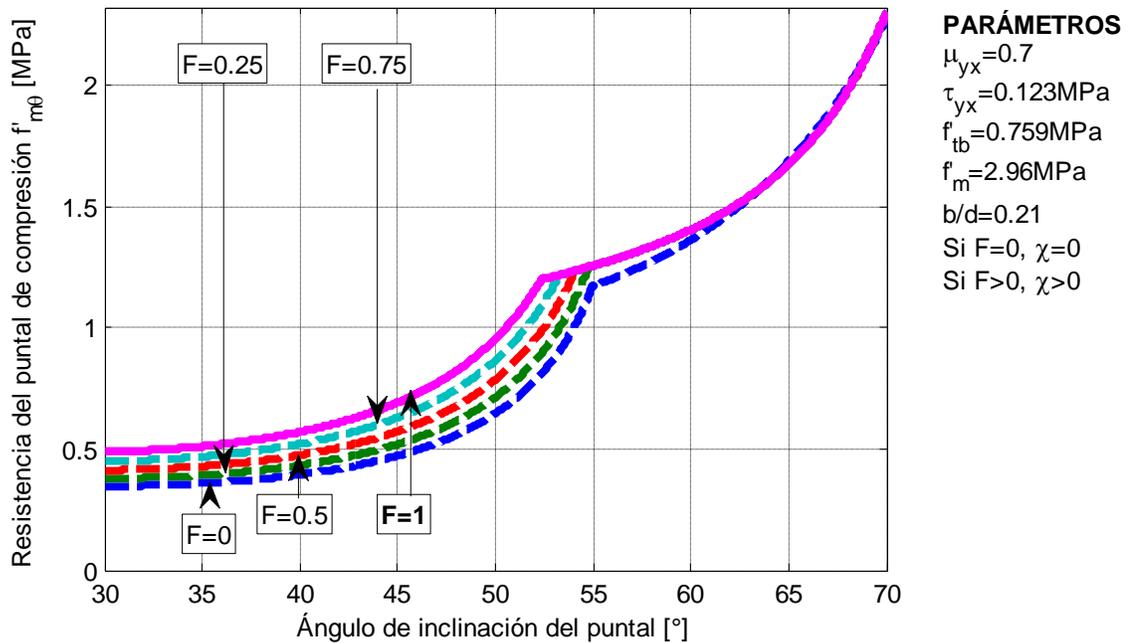


Figura 3.14: Efecto del coeficiente F en la resistencia del puntal de compresión de un muro de albañilería confinada construido con unidades cerámicas macizas de fabricación artesanal.

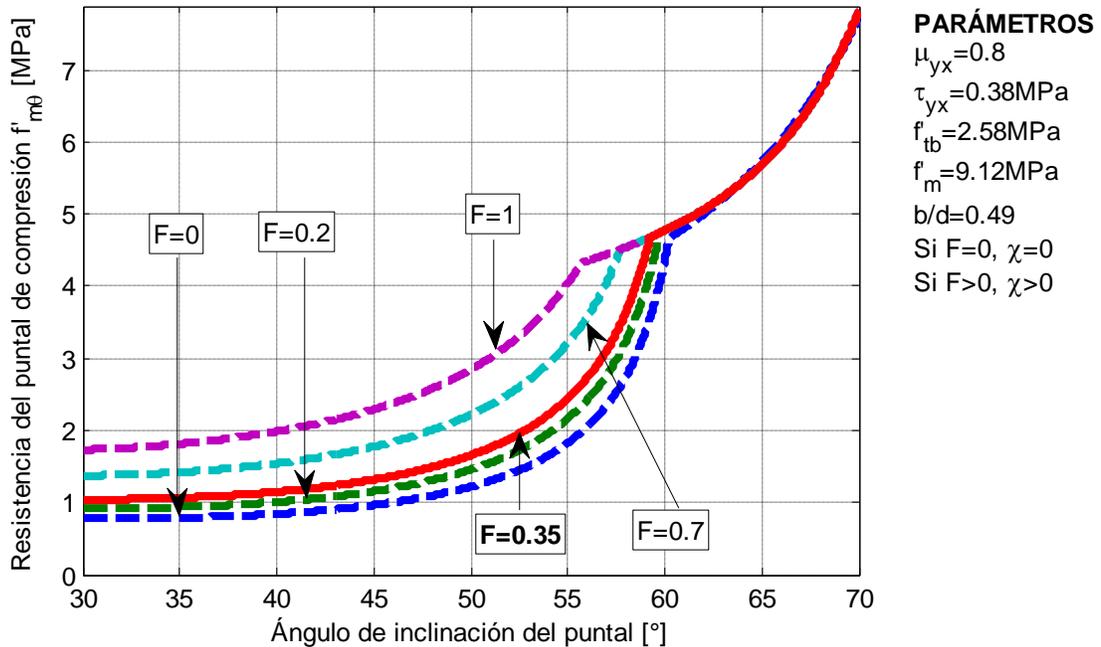


Figura 3.15: Efecto del coeficiente F en la resistencia del puntal de compresión de un muro de albañilería confinada construido con bloques huecos de hormigón.

De las figuras 3.13, 3.14 y 3.15 se observa que:

- El efecto del *factor de calidad* en la resistencia del puntal de compresión es notorio cuando controla una falla por adherencia en la albañilería, aumentando la resistencia del puntal a medida que aumenta el valor de F.
- Un aumento del valor del coeficiente F produce un cambio de posición del punto de transición entre el modo de *falla 1* y el modo de *falla 2*, pasando a predominar la falla por tracción diagonal por sobre la falla de adherencia.
- La falla por tracción en la unidad de albañilería controla en los muros esbeltos ($\theta > 55^\circ$). Considerando que la resistencia a corte de este modo de falla no depende del *factor de calidad*, bastaría usar la teoría de Mann y Müller en muros esbeltos.
- Por lo anterior, se puede afirmar que la determinación del *factor de calidad* y del coeficiente χ no es relevante para muros cuyo ángulo θ sea mayor que 60° , lo que corresponde a una esbeltez del muro de albañilería confinada igual a **1,73**.

3.6. CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO

- De los resultados del análisis por el método de elementos finitos, se pudo comprobar que el valor del coeficiente χ es función de la esbeltez del muro.
- El valor del coeficiente F (*factor de calidad*) es función del tipo de unidad de la albañilería del muro. Para los tipos de unidades usadas en el medio local, los valores de este coeficiente se determinaron considerando las reducciones de capacidad resistente de corte de muros ensayados con y sin mortero en las juntas verticales. Aún cuando la determinación del coeficiente F se apoya en resultados experimentales, es necesario realizar ensayos que permitan confirmar los valores propuestos.
- Del estudio de los efectos de estos dos coeficientes en la resistencia a corte del paño de albañilería, se concluye que ambos deben ser considerados en el modelo teórico, especialmente en los muros con una esbeltez menor a 1.7

CAPÍTULO 4:

CÁLCULO DE LA RESISTENCIA TEÓRICA AL CORTE DE MUROS ENSAYADOS A ESCALA REAL

4.1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo se aplica el modelo propuesto a 22 muros de albañilería confinada ensayados en Chile. Los antecedentes de estos muros se entregan en el Anexo B.

En particular, se entrega para cada muro: la envolvente de falla por corte correspondiente a la albañilería, el modo de falla y la resistencia al corte teórica. Esta última fuerza se compara con la carga de agrietamiento diagonal obtenida en los ensayos, carga considerada para todo efecto práctico como la resistencia al corte del muro.

Además se entregan los resultados de un análisis de sensibilidad de la resistencia al corte teórica ante las variaciones que pueden experimentar los parámetros usados en el modelo teórico, dado las incertidumbres que surgen en la determinación de ellos. El detalle de este análisis de sensibilidad se entrega en el Anexo D.

4.2. APLICACIÓN DEL MODELO

Como se indica en el diagrama de la Figura 2.10, para aplicar el modelo teórico se debe determinar el tipo de falla que controla en cada muro, a partir de la cual se calcula la resistencia del puntal de compresión teniendo en cuenta el valor del ángulo que forma la diagonal del paño de albañilería con la horizontal, para finalmente calcular la resistencia al corte del muro por equilibrio.

4.2.1. Determinación del tipo de falla

El primer paso para calcular la resistencia al corte teórica de un muro de albañilería confinada es determinar la envolvente de la resistencia del puntal de compresión en función del tipo de falla por corte y del ángulo θ que forma la diagonal del paño de albañilería con la horizontal.

Con este propósito se utilizan las ecuaciones siguientes:

- *Resistencia del puntal de compresión cuando controla la falla por adherencia en las juntas de mortero*

$$f_1 = f_{m\theta} = \frac{\tau^*}{\text{sen}\theta(\cos\theta - \mu^* \cdot \text{sen}\theta)} \quad (2.38)$$

Donde:

$$\tau^* = \frac{\tau_{0yx} \cdot \left(1 + \mu_{yx} \cdot 1,5 \cdot \frac{b}{d} \cdot F\right)}{1 + \mu_{yx} \cdot 1,5 \cdot \frac{b}{d}}$$

$$\mu^* = \frac{\mu_{yx} \cdot \left(1 + \mu_{yx} \cdot 1,5 \cdot \frac{b}{d} \cdot \chi \cdot F\right)}{1 + \mu_{yx} \cdot 1,5 \cdot \frac{b}{d}}$$

$$\chi = \frac{f_p}{f_n}$$

τ_{0yx} : Adherencia unitaria en junta horizontal de mortero

μ_{yx} : Coeficiente de fricción en junta horizontal de mortero

F: Factor de calidad

θ : Ángulo de inclinación de la diagonal del paño de albañilería respecto a la horizontal

- *Resistencia del puntal de compresión cuando controla la falla por tracción en la unidad.*

$$f_1 = \frac{\frac{f_{tb}}{4} \cdot \text{sen}^2\theta + \sqrt{\left(\frac{f_{tb}}{4} \cdot \text{sen}^2\theta\right)^2 + f_{tb}^2 \left(\cos^2\theta - \frac{\chi}{4} \cdot \text{sen}^2\theta\right) \cdot \text{sen}^2\theta}}{2 \left(\cos^2\theta - \frac{\chi}{4} \text{sen}^2\theta\right) \text{sen}^2\theta} \quad (2.40)$$

Donde f_{tb} : Resistencia a la tracción de la unidad.

- *Resistencia del puntal de compresión cuando controla la falla por compresión en la albañilería*

$$f_1 = C_0 \cdot f'_m \quad (2.43)$$

Donde f'_m : Resistencia prismática de compresión de la albañilería.

C_0 : Coeficiente de reducción de la resistencia prismática de la albañilería por inclinación del puntal de compresión respecto a la horizontal.

De los tres valores que resultan al aplicar las ecuaciones anteriores, la resistencia del puntal de compresión corresponde al menor de ellos. Para los efectos de aplicar estas ecuaciones, el coeficiente χ se determina usando la ecuación (3.1).

$$\chi = -0.156 \cdot \lambda^3 + 1.216 \cdot \lambda^2 - 3.108 \cdot \lambda + 2.602 \quad (3.1)$$

Donde λ []: Esbeltez del paño de albañilería.

El *factor de calidad* (F) queda determinado por el tipo de unidad. Los valores utilizados se detallan en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1: Valor del coeficiente F

Unidades	F
Cerámicas hechas a máquina del tipo rejilla	0.5
Cerámicas artesanales macizas	1
Bloques huecos de hormigón.	0.35

En la Tabla 4.2 se indica el rango de los parámetros que intervienen en la determinación de la resistencia del puntal que representa el paño de albañilería de los muros ensayados.

Tabla 4.2: Rangos de valores de los parámetros para la aplicación del modelo teórico de los muros ensayados

Parámetro	Rango
χ []	0.007-1.096
F []	0.35-1
θ [°]	32-70
τ_0 [MPa]	0.123-0.56
μ []	0.7-0.8
f_{tb} [MPa]	0.759-2.581
f_m [MPa]	2.96-13.76

En las Figuras 4.1 a 4.8 se dibuja la envolvente de la resistencia del puntal de compresión correspondiente a los parámetros de la albañilería de los muros ensayados, los cuales se indican en cada figura.

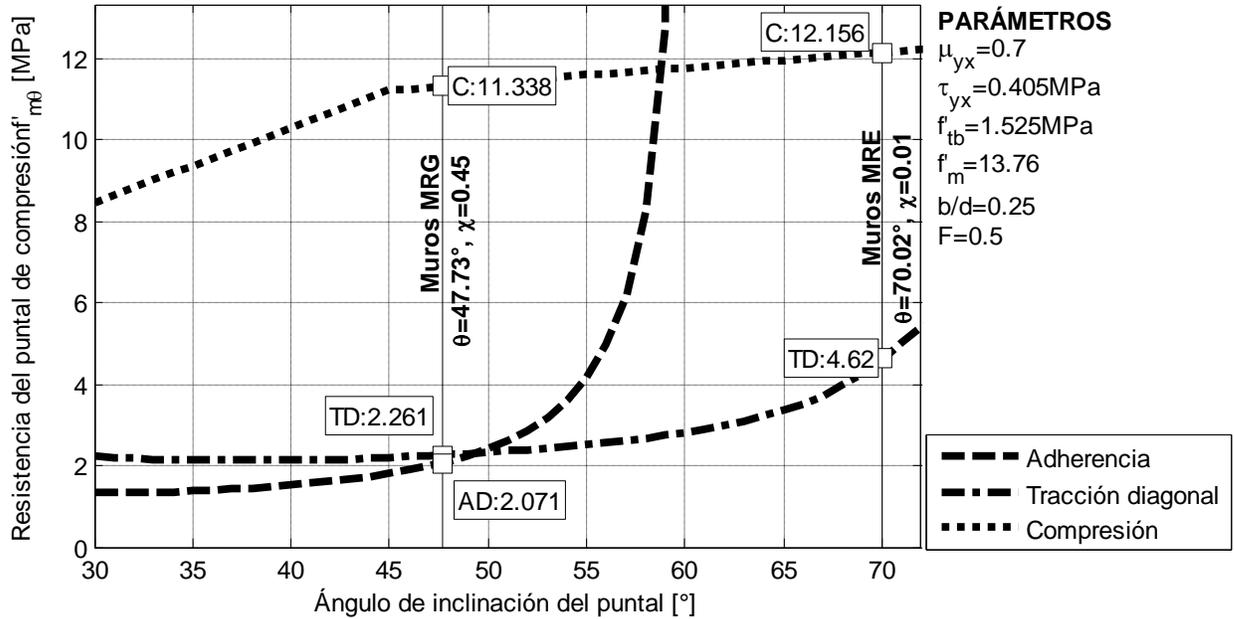


Figura 4.1: Envoltente de la resistencia del puntal de compresión para los muros de las series MRG y MRE. Muros construidos con unidades cerámicas hechas a máquina del tipo Titán Liviano y con un mortero mixto de dosificación 1:½:4.

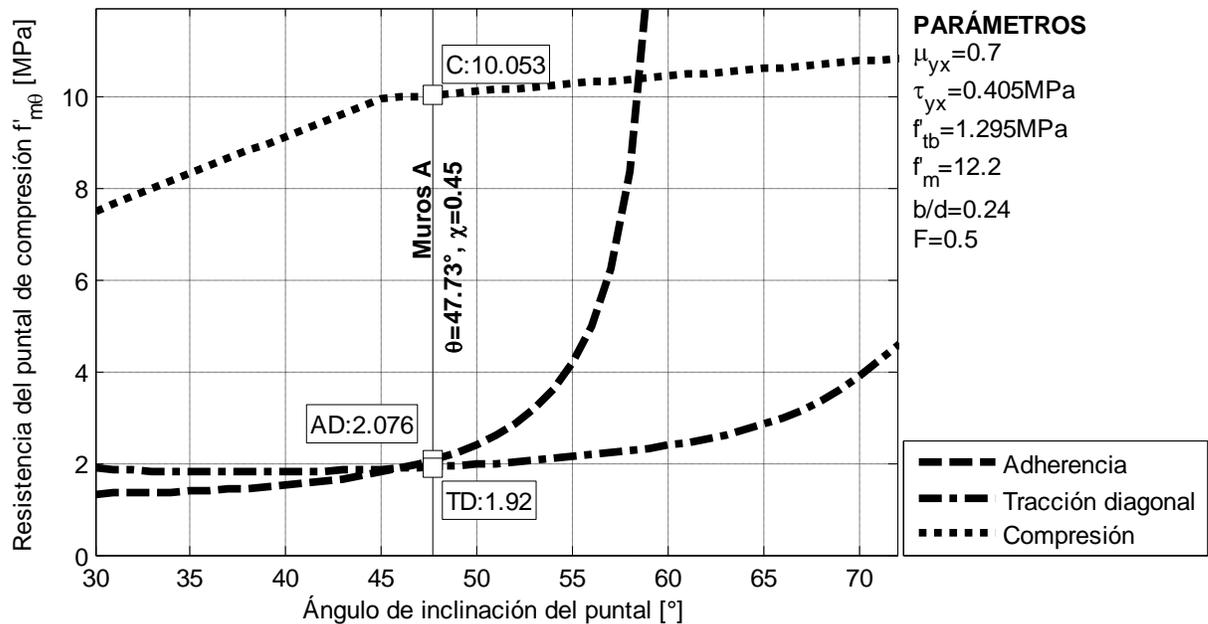


Figura 4.2: Envoltente de la resistencia del puntal de compresión para el muros de la serie A. Muros construidos con unidades cerámicas hechas a máquina del tipo Titán Liviano y con un mortero mixto de dosificación 1:½:4.

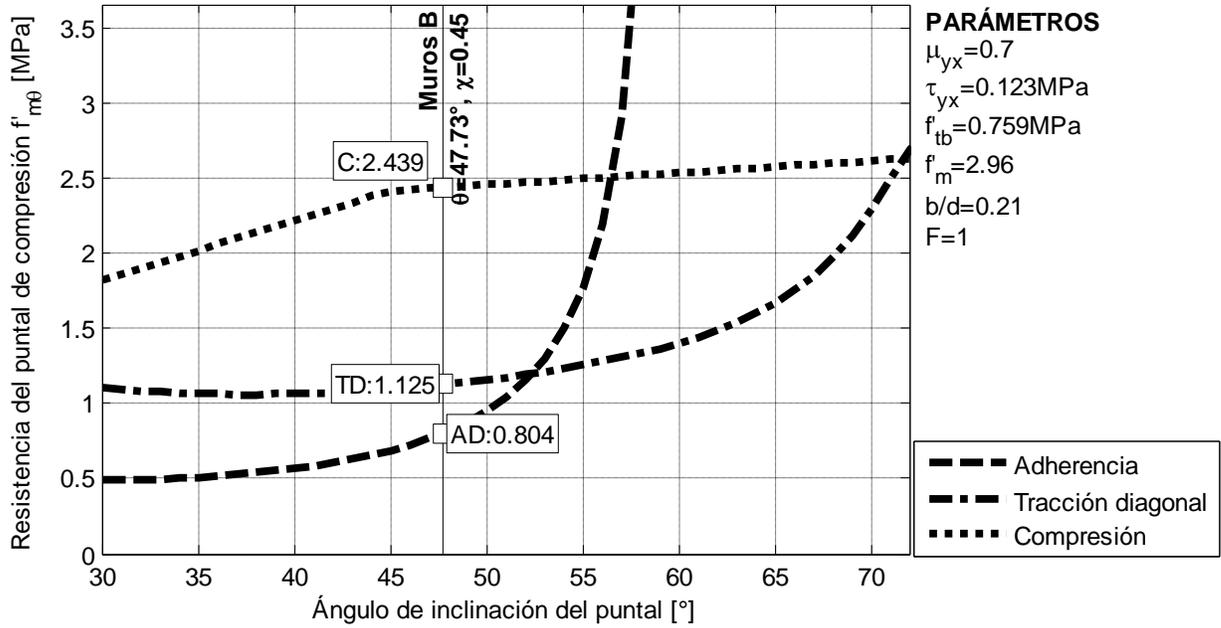


Figura 4.3: Envoltente de la resistencia del puntal de compresión para los muros de la serie B. Muros construidos con unidades cerámicas de fabricación artesanal y con un mortero mixto de dosificación 1:1/2:4.

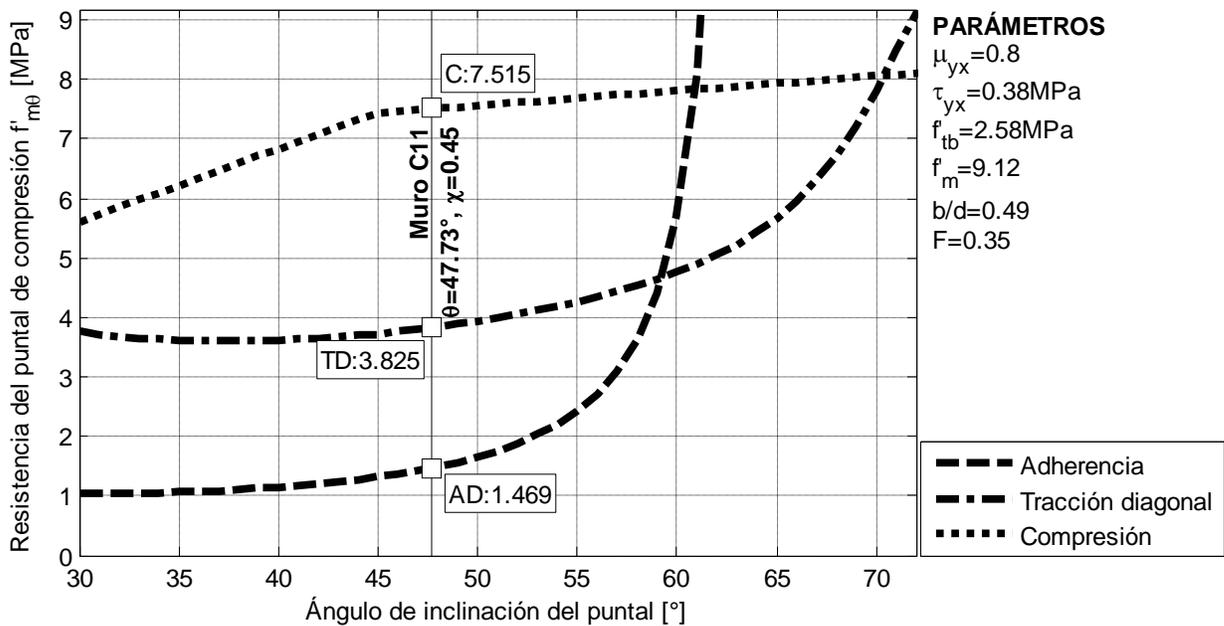


Figura 4.4: Envoltente de la resistencia del puntal de compresión para el muro C11. Muro construido con bloques de hormigón tipo A (alta resistencia) y con un mortero mixto de dosificación 1:1/2:4.

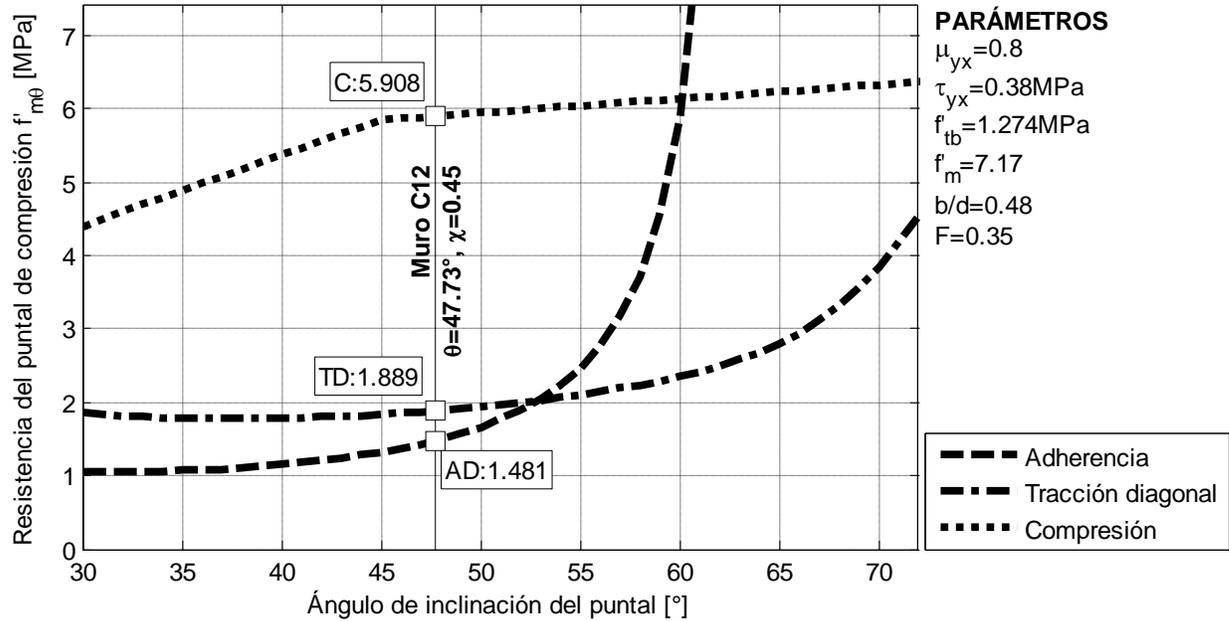


Figura 4.5: Envoltente de la resistencia del puntal de compresión para el muro C12. Muro construido con bloques de hormigón tipo B (corriente) y con un mortero mixto de dosificación 1:1/2:4.

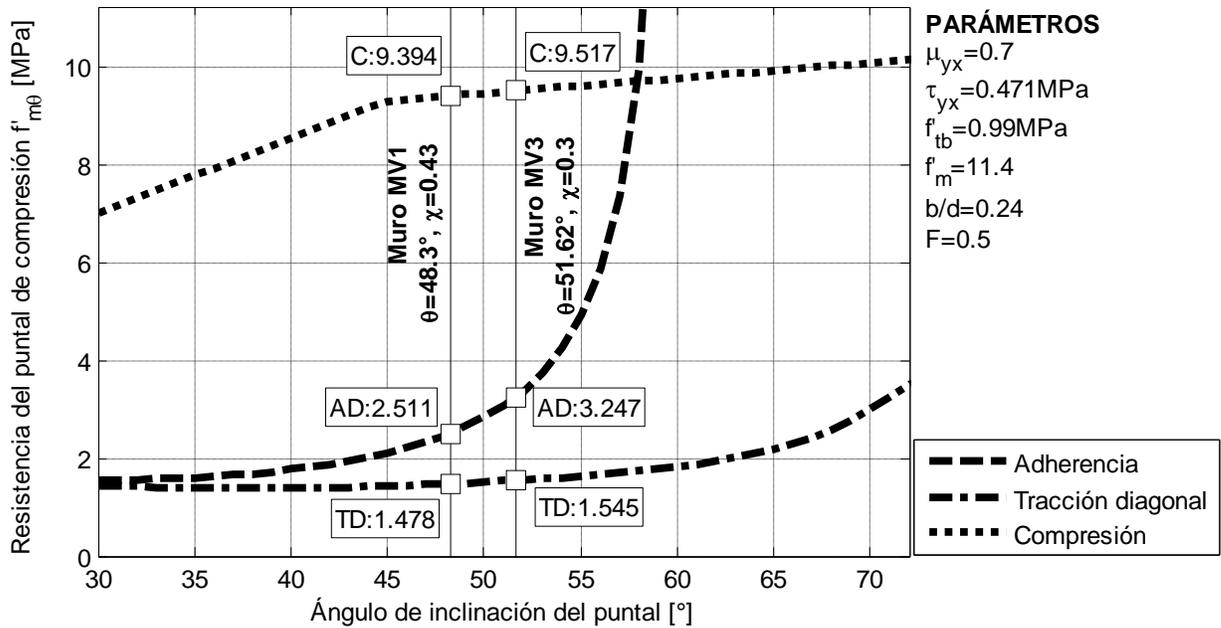


Figura 4.6: Envoltente de la resistencia del puntal de compresión para los muros de la serie MV. Muros construidos con unidades cerámicas hechas a máquina similares al tipo Titán Liviano y con un mortero mixto de dosificación 1:1/2:2.

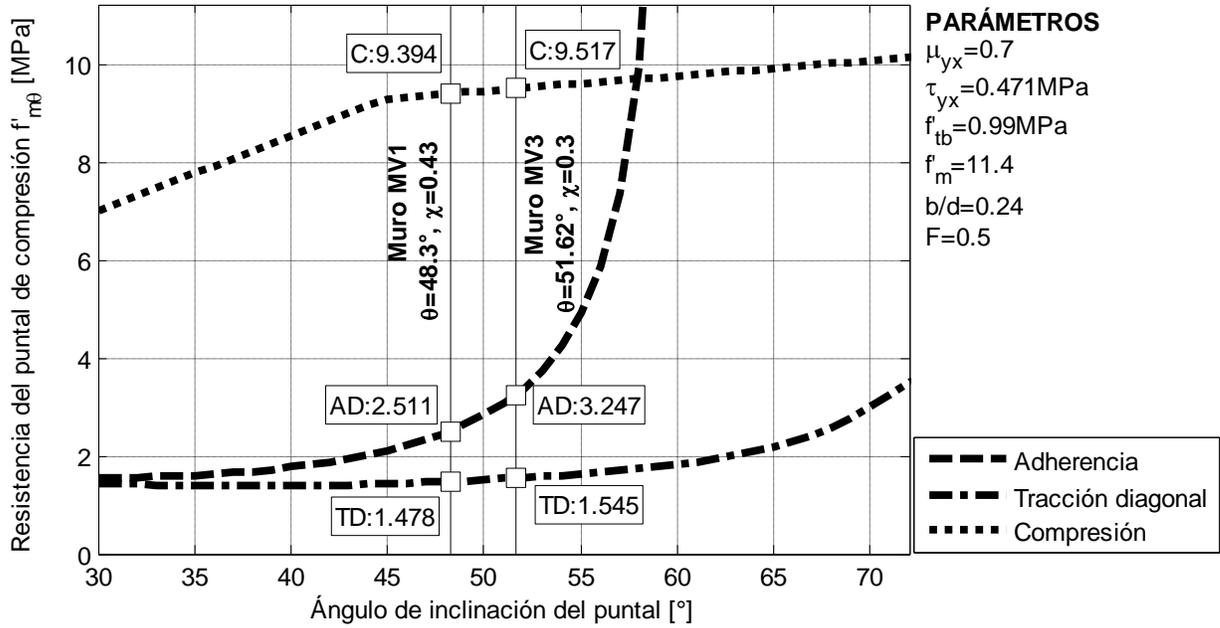


Figura 4.7: Envoltente de la resistencia del puntal de compresión para los muros de la serie MLC-T1. Muros construidos con unidades cerámicas hechas a máquina del tipo Gran Titán y con un mortero premezclado “A14 albañil pega M10”

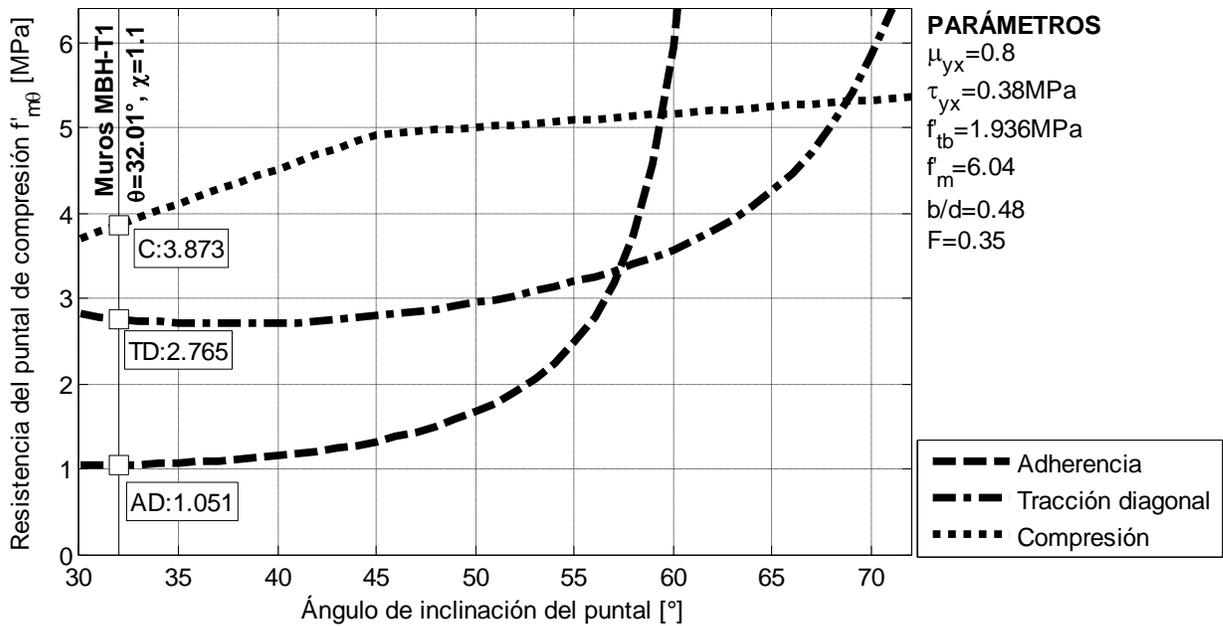


Figura 4.8: Envoltente de la resistencia del puntal de compresión para los muros de la serie MBH-T1. Muros construidos con bloques de hormigón tipo A (alta resistencia) y con un mortero premezclado “A14 albañil pega M10”

Conocido el ángulo θ que forma la diagonal del paño de albañilería de cada muro con la horizontal, se determinan la resistencia del puntal de compresión y el modo de falla del paño de albañilería ingresando con dicho ángulo en las figuras anteriores. La resistencia corresponde al menor valor obtenido, y el modo de falla corresponde al modo asociado a dicho valor. En la Figura 4.9 se entregan en forma gráfica los valores de la resistencia que resulta para cada uno de los muros ensayados.

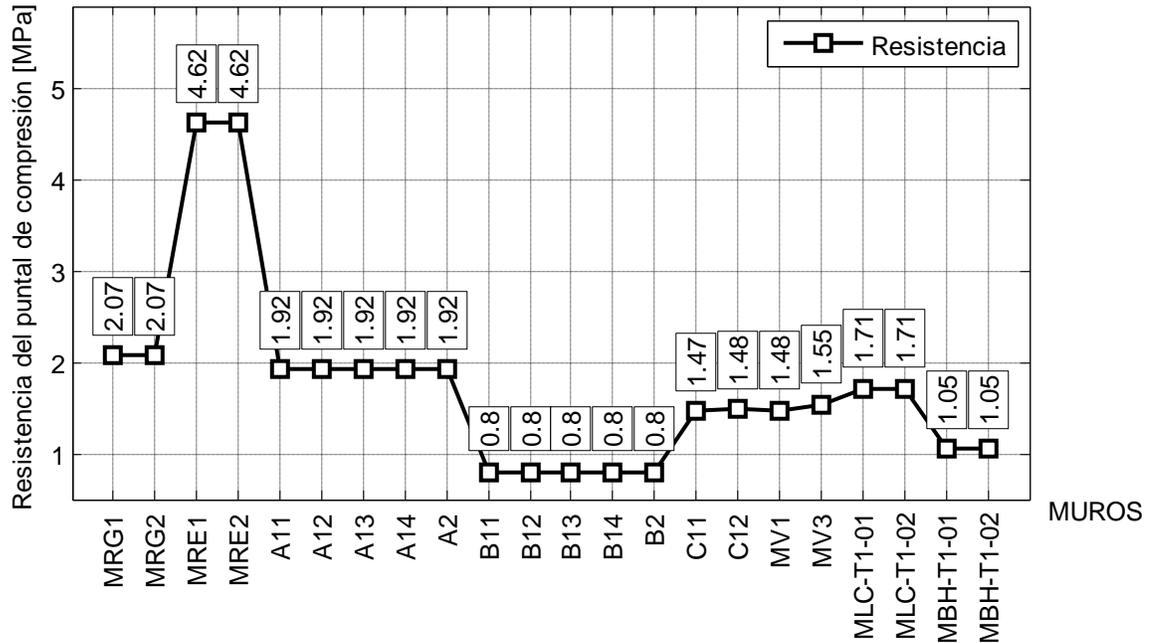


Figura 4.9: Resistencia a la compresión del puntal equivalente para cada muro ensayado, en MPa

En la Tabla 4.3 se entrega la resistencia del puntal de compresión de cada uno de los muros ensayados junto con el tipo de falla de corte que controla la resistencia al corte.

En la predicción del modo de falla, el modelo acierta en un 77% de los casos. En los casos donde el modelo no logra predecir el modo de falla, como algunos muros de las series MRG y A, las tensiones de falla por adherencia y por tracción diagonal tienen pequeñas diferencias de 0.2MPa y 0.15MPa, respectivamente.

Tabla 4.3: Resistencia del puntal de compresión y tipo de falla asociado a cada muro ensayado.

MURO	f'_{m0} AD [Mpa]	f'_{m0} TD [Mpa]	f'_{m0} CA [Mpa]	f'_{m0} falla [Mpa]	Tipo de falla teórico	Tipo de falla experimental
MRG1	2,07	2,26	19,78	2,07	AD	AD
MRG2	2,07	2,26	19,78	2,07	AD	TD
MRE1	*	4,62	13,82	4,62	TD	TD
MRE2	*	4,62	13,82	4,62	TD	TD
A11	2,08	1,92	17,57	1,92	TD	AD
A12	2,08	1,92	17,57	1,92	TD	AD
A13	2,08	1,92	17,57	1,92	TD	TD
A14	2,08	1,92	17,57	1,92	TD	TD
A2	2,08	1,92	17,57	1,92	TD	AD
B11	0,80	1,13	4,61	0,80	AD	AD
B12	0,80	1,13	4,61	0,80	AD	AD+TD
B13	0,80	1,13	4,61	0,80	AD	AD
B14	0,80	1,13	4,61	0,80	AD	AD
B2	0,80	1,13	4,61	0,80	AD	AD
C11	1,47	3,83	10,69	1,47	AD	AD
C12	1,48	1,89	8,46	1,48	TD	AD
MV1	2,51	1,48	19,67	1,40	TD	TD
MV3	3,25	1,55	22,03	1,38	TD	TD
MLC-T1-01	1,71	1,85	14,46	1,71	AD	AD
MLC-T1-02	1,71	1,85	14,46	1,71	AD	AD
MBH-T1-01	1,05	2,76	11,29	1,05	AD	AD
MBH-T1-02	1,05	2,76	11,29	1,05	AD	AD

Donde:

AD: Adherencia

TD: Tracción diagonal.

CA: Compresión en la albañilería.

4.3. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA AL CORTE TEÓRICA

Para calcular la resistencia al corte teórica se debe seguir los pasos indicados en la Figura 4.10

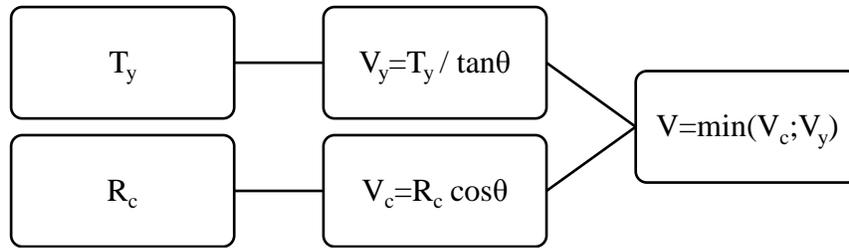


Figura 4.10: Pasos para calcular la resistencia al corte según el modelo teórico

- Donde
- T_y : Fuerza de tracción necesaria para hacer fluir las barras longitudinales del pilar
 - V_y : Resistencia al corte cuando fluyen las barras longitudinales del pilar que funciona como tensor.
 - V_c : Resistencia al corte cuando se produce la falla en el paño de albañilería

De acuerdo con lo destacado en el capítulo 2, el cálculo de V_c requiere conocer el ancho del puntal de compresión para determinar la fuerza R_c , fuerza que se calcula utilizando las ecuaciones siguientes (Cabezas, 2011).

$$R_c = f'_{m\theta} \cdot A_{ms} \quad (2.46)$$

$$A_{ms} = a_s \cdot t \quad (2.47)$$

$$a_s = \left(0.25 + 0.85 \frac{N_m}{A_m \cdot f'_m} \right) \cdot d_m \quad (2.49)$$

En la Tabla 4.4 se indica el ancho del puntal de compresión y la resistencia al corte calculada con el modelo teórico propuesto.

Tabla 4.4: Ancho del puntal de compresión, resistencia al corte y modo de falla para cada muro.

Muro	a_s [mm]	t [mm]	A_{ms} [mm ²]	R_c [kN]	Tipo de falla teórico ⁱⁱⁱ	Tipo de falla experimental
MRG1	743,30	139,2	103467,84	214,29	AD	AD
MRG2	743,30	139,2	103467,84	214,29	AD	TD
MRE1	585,23	139,2	81464,71	376,38	FL	TD
MRE2	585,23	139,2	81464,71	376,38	FL	TD
A11	743,30	140,3	104285,47	200,24	TD	AD
A12	802,36	140,3	112571,48	216,15	TD	AD
A13	861,42	140,3	120857,48	232,06	TD	TD
A14	861,42	140,3	120857,48	232,06	TD	TD
A2	802,36	140,3	112571,48	216,15	TD	AD
B11	743,30	156	115955,34	93,21	AD	AD
B12	1181,15	156	184258,90	148,12	AD	AD+TD
B13	1181,15	156	184258,90	148,12	AD	AD
B14	1181,15	156	184258,90	148,12	AD	AD
B2	962,23	156	150107,12	120,67	AD	AD
C11	881,96	139,9	123385,76	181,29	AD	AD
C12	919,67	139,9	128661,26	190,52	FL	AD
MV1	676,41	140	94696,83	139,92	TD	TD
MV3	644,22	140	90191,41	139,36	TD	TD
MLC-T1-01	960,63	140	134488,38	230,61	AD	AD
MLC-T1-02	960,63	140	134488,38	230,61	AD	AD
MBH-T1-01	943,40	140	132075,74	138,79	AD	AD
MBH-T1-02	943,40	140	132075,74	138,79	AD	AD

En las Figuras 4.11 a 4.14 se grafica la resistencia al corte de los 22 muros ensayados en Chile y la relación entre la resistencia al corte teórica y la fuerza de agrietamiento diagonal obtenida de los ensayos, separando los muros ensayados entre los ejemplares sometidos a carga vertical y los ensayados sin carga vertical.

ⁱⁱⁱ Donde FL: Fluencia de las barras longitudinales de refuerzo del pilar que actúa como tensor.

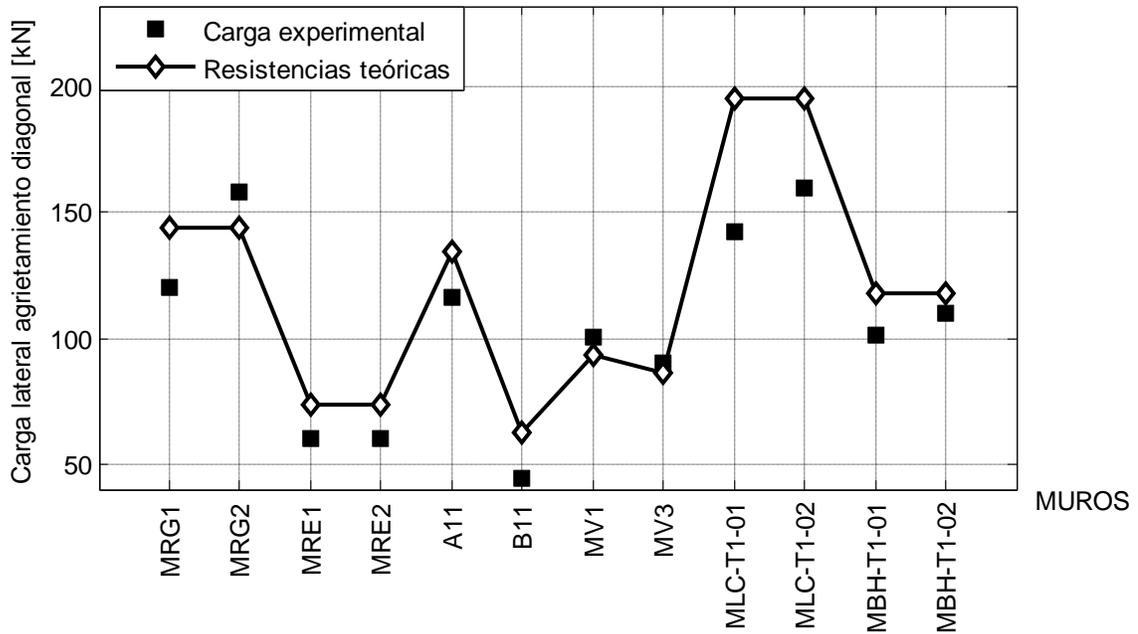


Figura 4.11: Resistencia teórica al corte de los muros ensayados sin carga vertical

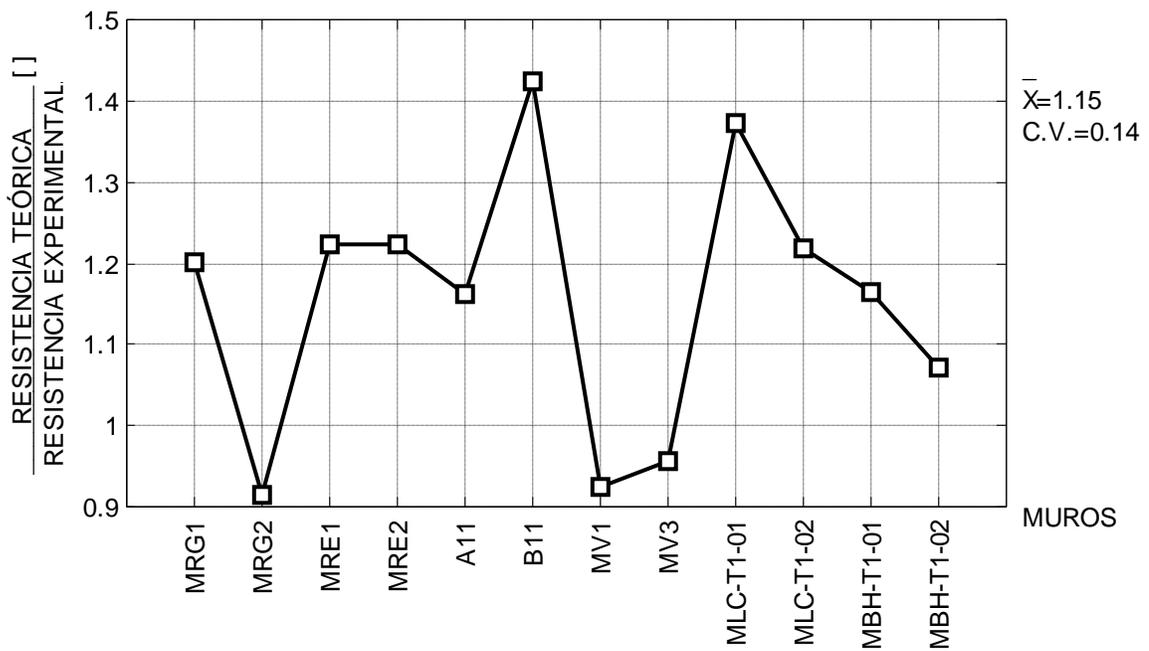


Figura 4.12: Relación entre la resistencia al corte teórica y la carga de agrietamiento diagonal de los muros ensayados sin carga vertical

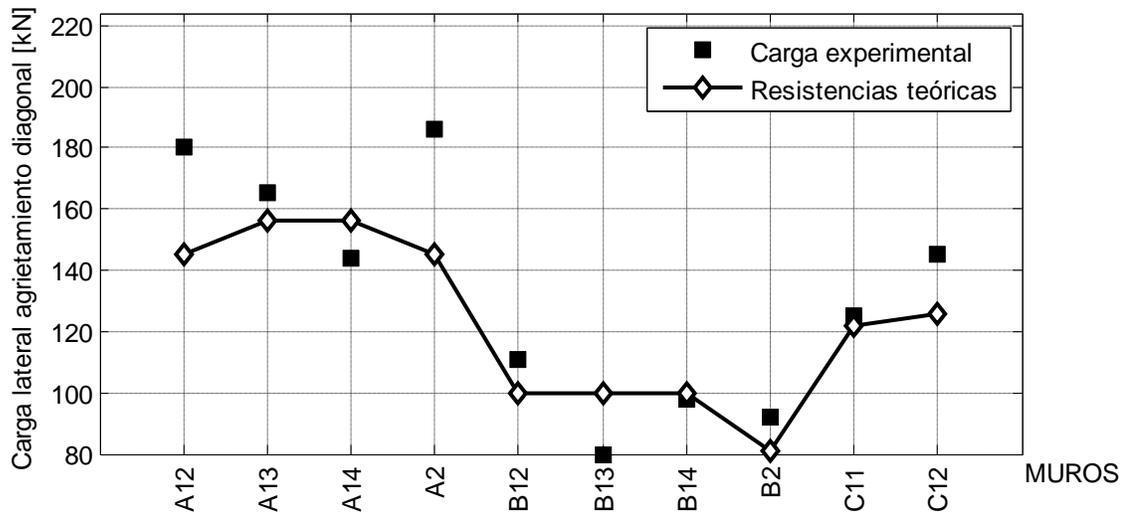


Figura 4.13: Resistencia teórica al corte de los muros ensayados con carga vertical

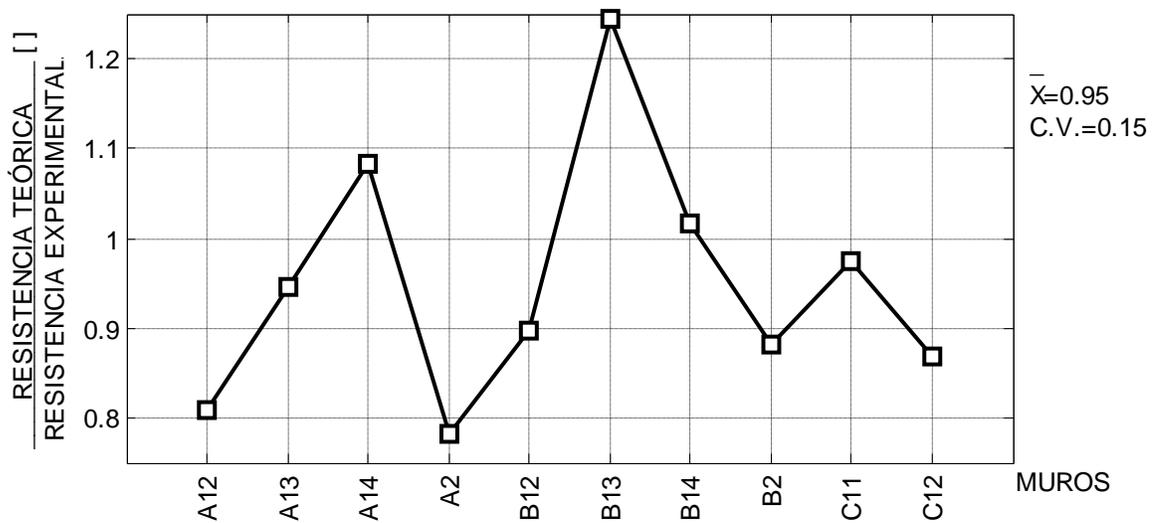


Figura 4.14: Relación entre la resistencia al corte teórica y la carga de agrietamiento diagonal de los muros ensayados con carga vertical

La Figura 4.15 y la Figura 4.16 muestran la distribución de frecuencia de los valores de la relación entre la resistencia al corte teórica y la carga experimental de agrietamiento diagonal para los muros ensayados sin y con carga vertical, respectivamente.

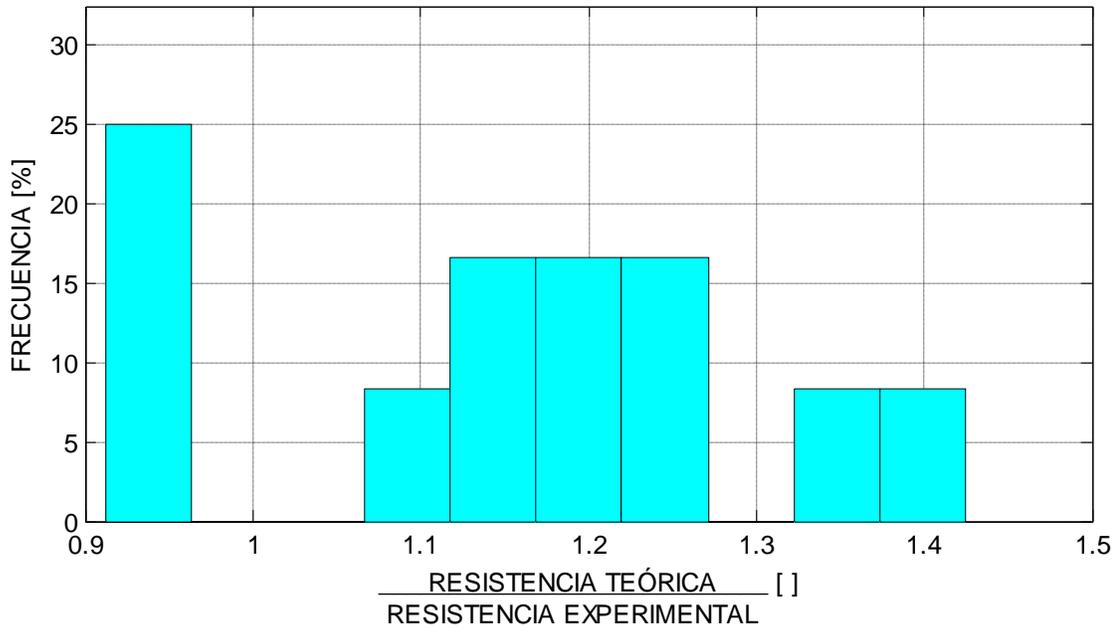


Figura 4.15: Distribución estadística del valor de la relación entre la resistencia al corte teórica de los muros ensayados sin carga vertical y la carga experimental de agrietamiento diagonal.

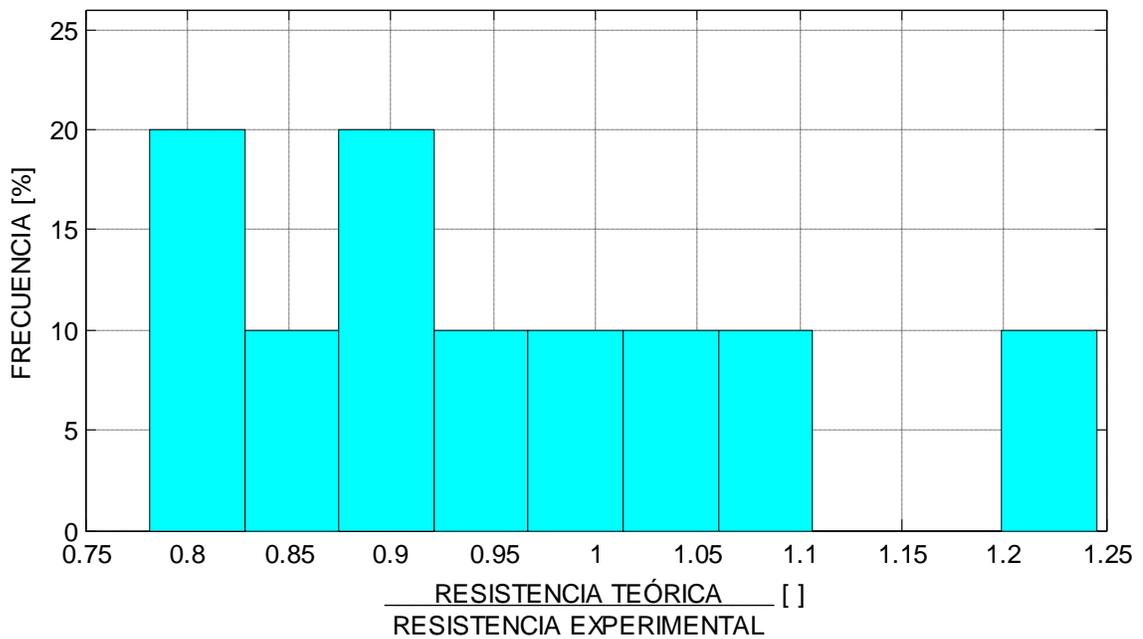


Figura 4.16: Distribución estadística del valor de la relación entre la resistencia al corte teórica de los muros ensayados con carga vertical y la carga experimental de agrietamiento diagonal.

De la Figura 4.15 se observa que aproximadamente un 67% de los muros ensayados sin carga vertical tiene un valor de la relación entre la resistencia al corte teórica y la carga de agrietamiento diagonal experimental entre 0,9 y 1,2. De la Figura 4.16 se observa que un 90% de los muros ensayados con carga vertical tiene un valor de la relación entre la resistencia al corte teórica y la carga de agrietamiento diagonal experimental entre 0,8 y 1,1.

De los resultados obtenidos, se puede destacar que el modelo teórico propuesto en esta Memoria de Título predice que los muros de la serie MRE y el muro C12 encuentran limitada su capacidad por la fluencia de las barras longitudinales del pilar que actúa como tensor. Sin embargo, esta situación no puede ser corroborada debido a la falta de instrumentación de dicho refuerzo. Independiente de lo anterior, estos muros fallaron por agrietamiento diagonal.

4.4. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DE LOS RESULTADOS ENTREGADOS POR EL MODELO TEÓRICO.

La estimación indirecta de los valores de los parámetros necesarios para aplicar el modelo teórico, hace necesario realizar un análisis de la sensibilidad del valor de la resistencia teórica de corte ante la variación de los parámetros del modelo.

Para este efecto, se hace un análisis de los parámetros que intervienen en el modelo teórico propuesto, variando cada uno de ellos mientras el resto se deja constante.

4.4.1. Efecto de la variación del coeficiente χ

Al no haber mayor información experimental sobre el valor de χ , el análisis de sensibilidad se realiza considerando una variación de un 50%, es decir usando valores de 0.5χ , χ y 1.5χ , donde χ es el valor indicado en el capítulo 3 para cada muro.

Los resultados que se obtienen de este análisis de sensibilidad se muestran en la Figura 4.17, de la cual se observa que

- Una reducción del valor de χ de un 50% provoca que el promedio de la relación entre la resistencia al corte teórica y la carga de agrietamiento diagonal experimental sea de 0.06 ó 0.07 unidades aproximadamente, lo cual representa una baja sensibilidad.
- En el caso del muro construido con bloques de hormigón, muro C12, la fluencia de las barras longitudinales del pilar que actúa como tensor evita que la razón entre la resistencia teórica al corte y la carga de agrietamiento diagonal experimental varíe. Por la misma razón, la relación de los muros de la serie MRE no presenta variación.
- Los muros construidos con unidades cerámicas de fabricación artesanal presentan una mayor sensibilidad a la variación del coeficiente χ . Esto se explica por la baja adherencia unitaria de estas unidades, lo cual hace que la fricción (en la cual participa la tensión normal horizontal, la cual es función de χ y de la tensión normal vertical) tenga un mayor efecto en la resistencia al corte cuando la falla es

de adherencia, es decir por deslizamiento en las juntas de mortero. Por lo tanto, en la medida que la adherencia unitaria sea baja, es importante determinar con mayor precisión el valor del coeficiente χ .

Por lo tanto, en la medida que la adherencia unitaria sea baja, es importante determinar con mayor precisión el valor del coeficiente χ

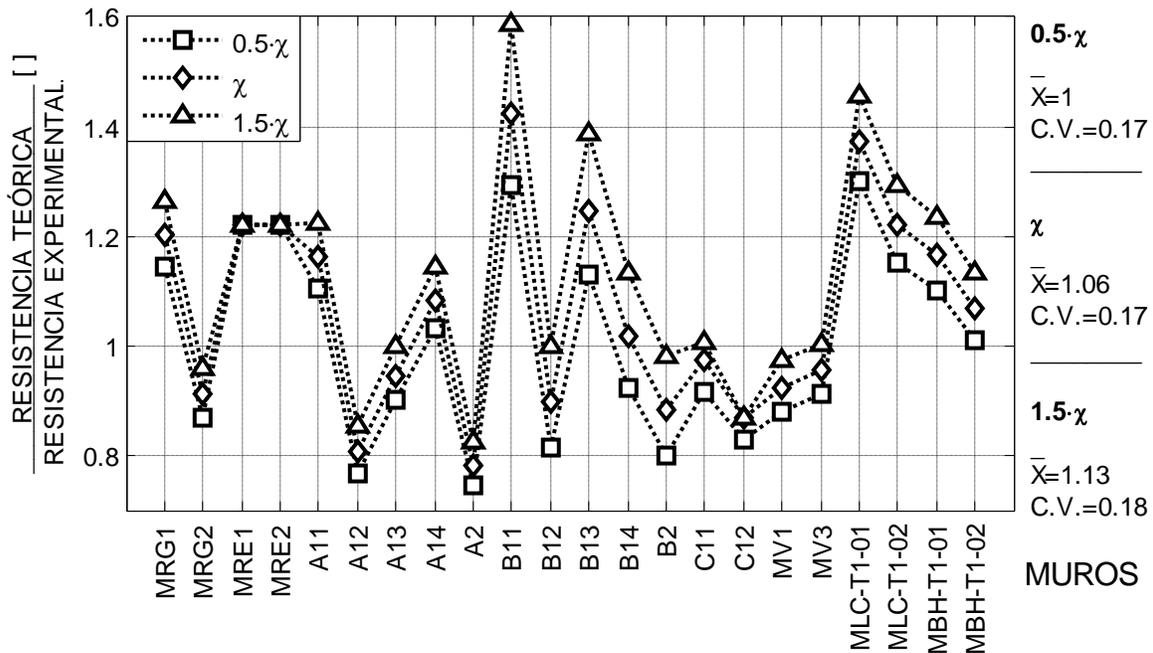


Figura 4.17: Efecto de la variación del coeficiente χ en el valor de la relación entre resistencia al corte teórica y la carga de agrietamiento diagonal de los muros de albañilería confinada ensayados.

4.4.2. Efecto de la variación de la adherencia unitaria τ_0

Como reporta Cabezas (2011), trabajos nacionales realizados para analizar la resistencia a la adherencia de unidades de albañilería (Fernández et al (1986), Bustos y Margery (1996), Larraín (1971), Delfín y Bullemore (1968)) permiten detectar variaciones del orden de un 20% de su valor. Teniendo en cuenta esta variación, el análisis de sensibilidad se realiza usando tres valores para la adherencia unitaria: $0.8\tau_0$, τ_0 y $1.2\tau_0$, donde τ_0 es el valor de adherencia unitaria considerada para cada muro, la cual se entrega en el Anexo B.

Los resultados del análisis de sensibilidad se muestran en la Figura 4.18.

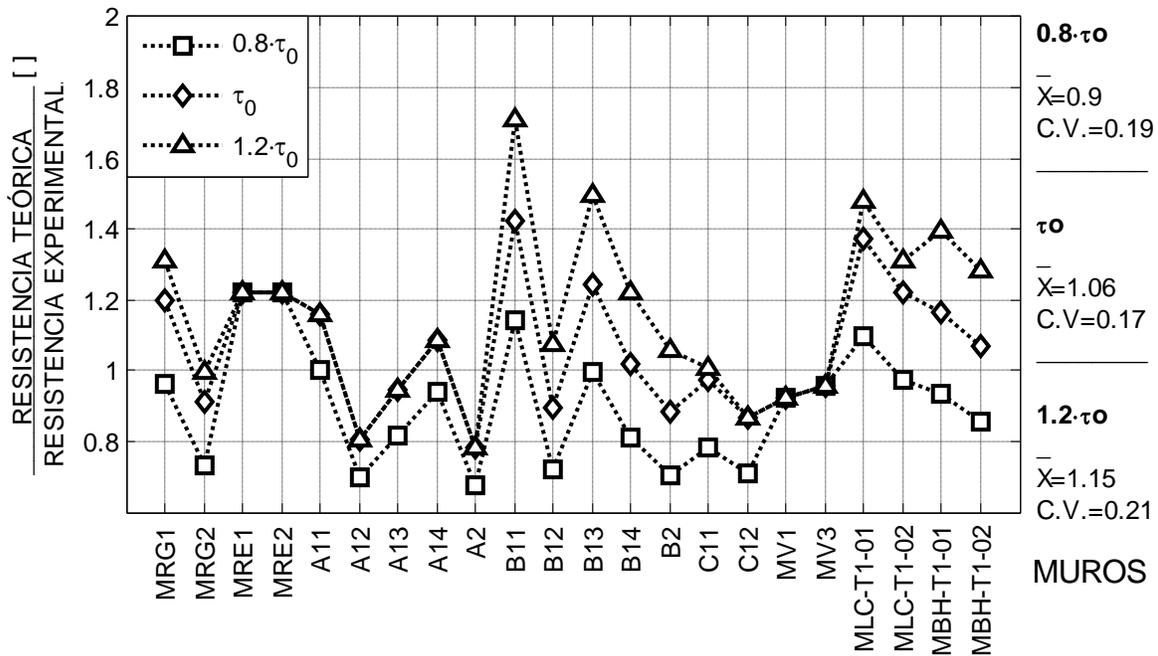


Figura 4.18: Efecto de la adherencia unitaria τ_0 en el valor de la relación entre resistencia al corte teórica y la carga de agrietamiento diagonal de los muros de albañilería confinada ensayados.

De la Figura 4.18 se puede destacar que:

- Los muros de la serie MRE, cuya capacidad resistente está limitada por la fluencia de las barras longitudinales del pilar que actúa como tensor, no ven modificada el valor de la relación entre la resistencia al corte teórica y la carga de agrietamiento diagonal experimental al variar el valor de la adherencia unitaria.
- Los muros de la serie A y MV, cuya falla está controlada por la tracción de la unidad, no ven afectada el valor de la relación entre la resistencia al corte teórica y la carga de agrietamiento diagonal experimental al aumentar la adherencia unitaria.
- En el resto de los muros con falla por adherencia, se observa un aumento del valor de la relación entre la resistencia al corte teórica y la carga de agrietamiento diagonal experimental de aproximadamente 10% al pasar de $0.8\tau_0$ a $1.2\tau_0$.
- Para los muros construidos con unidades cerámicas de fabricación artesanal, hay un aumento de 21% en el promedio de la relación entre la resistencia teórica y la carga de agrietamiento diagonal experimental, al pasar de $0.8\tau_0$ a $1.2\tau_0$. Lo que se debe a que estas unidades tienen una baja adherencia unitaria.

- Los muros construidos con bloques de hormigón tienen un aumento de 32% unidades del valor de la relación entre la resistencia al corte teórica y la carga de agrietamiento diagonal experimental al pasar de $0.8\tau_0$ a $1.2\tau_0$.

Estos resultados muestran la necesidad de realizar ensayos de corte directo para determinar con precisión la adherencia unitaria para usar el modelo teórico.

4.4.3. Efecto de la variación del coeficiente de fricción mortero-unidad μ

Por lo general, como reporta Cabezas (2011), los valores del coeficiente de fricción son superiores a 0.6 para todo tipo de unidad. Crisafulli (1997) reporta valores de μ entre 0.7 y 0.85. Teniendo en cuenta estos valores reportados, el análisis de sensibilidad se realiza considerando cuatro valores del coeficiente de fricción: 0.6, 0.7, 0.8 y 0.9. Los resultados de este análisis se muestran en la Figura 4.19.

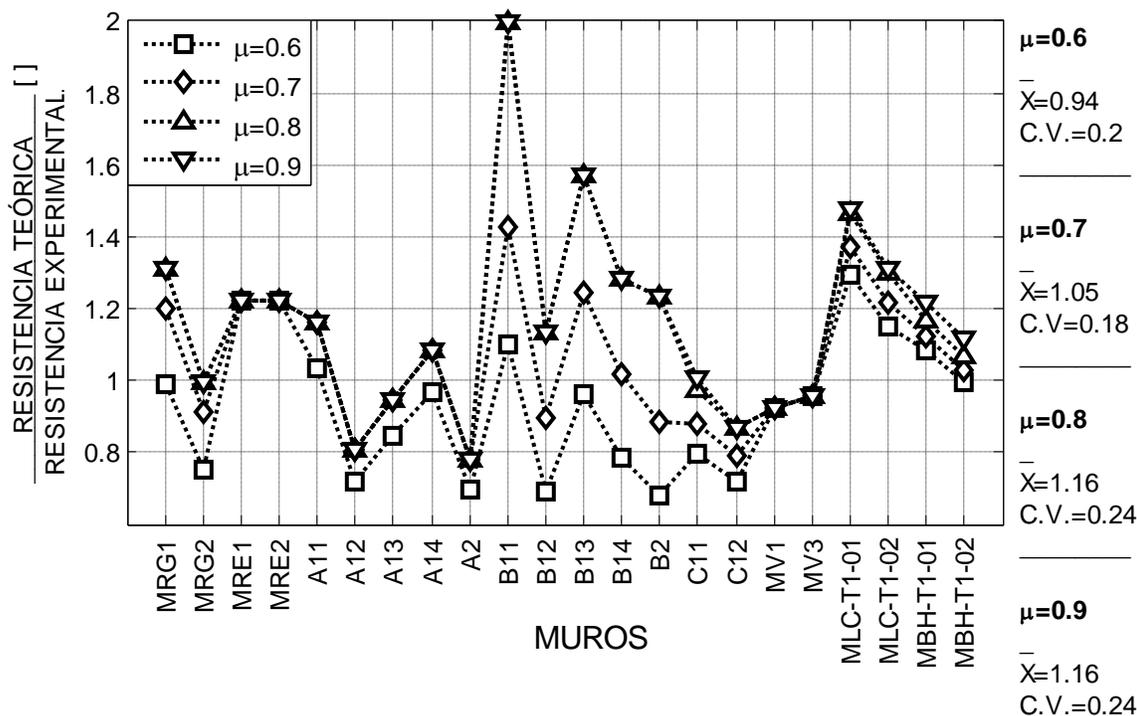


Figura 4.19: Efecto del coeficiente de fricción μ en el valor de la relación entre resistencia al corte teórica y la carga de agrietamiento diagonal de los muros de albañilería confinada ensayados.

De la Figura 4.19 se observa que:

- Los muros de la serie MRE no se ven afectados por la variación del coeficiente de fricción, debido a que la resistencia al corte teórica está controlada por la fluencia de las barras longitudinales del pilar que actúa como tensor.

- Los muros de la serie A y MV presentan una falla controlada por la tracción en la unidad, por lo que aumentar su coeficiente de fricción no cambia su resistencia de corte teórica. Sin embargo, al disminuir el coeficiente a 0.6, disminuye el valor de la relación entre la resistencia al corte teórica y la carga de agrietamiento diagonal experimental en los muros de la serie A al controlar la falla por deslizamiento en las juntas de mortero, lo que no ocurre en los muros de la serie MV, en los cuales la falla sigue siendo controlada por la tracción en la unidad.
- Los muros construidos con unidades cerámicas de fabricación artesanal son los que presentan una mayor sensibilidad en el valor de la relación entre la resistencia al corte teórica y la carga de agrietamiento diagonal experimental al variar el valor del coeficiente de fricción por su baja resistencia de adherencia. Estos muros fallan por deslizamiento en las juntas de mortero según el modelo teórico, pero cambian el tipo de falla a una controlada por la tracción en la unidad cuando $\mu=0.8$.

De acuerdo con estos resultados, es necesario conocer el valor del coeficiente de fricción con la mayor precisión, especialmente en el caso de los muros que tengan una baja resistencia a la adherencia. Para ello se recomienda hacer ensayos de tripletas de albañilería sometidas a corte directo en presencia de una tensión normal perpendicular a las juntas de mortero.

4.4.4. Efecto de la variación del coeficiente F

Teniendo en cuenta la anisotropía de la albañilería, producto de las características de las unidades usadas en su construcción y de las prácticas de construcción, es razonable suponer que el valor de F puede variar dentro de un rango amplio de valores.

Para los efectos del estudio de sensibilidad se consideran rangos de variación según tipo de unidad.

4.4.4.1. Unidades cerámicas hechas a máquina

Al considerar un rango de variación para el coeficiente F entre el 50% y el 150% de su valor, se obtienen los resultados de la relación entre la resistencia al corte teórica y la carga de agrietamiento diagonal experimental mostrados en la Figura 4.20.

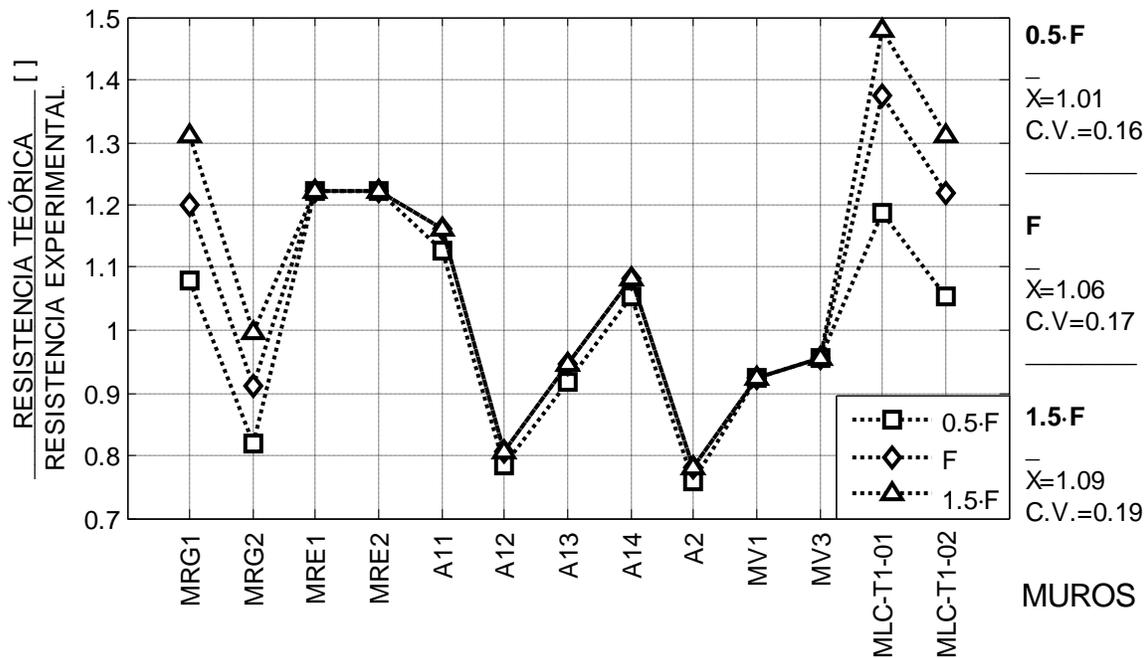


Figura 4.20: Efecto del factor de calidad F en el valor de la relación entre resistencia al corte teórica y la carga de agrietamiento diagonal de los muros de albañilería confinada ensayados construidos con unidades cerámicas hechas a máquina.

De la Figura 4.20 se observa que:

- Los muros de la serie A, cuya falla está controlada por la tracción en la unidad, no ven afectada su resistencia con un aumento del *factor de calidad*. Si este factor disminuye a un 50%, controla la falla por adherencia, con una disminución menor en el valor de la relación entre la resistencia al corte teórica y la carga de agrietamiento diagonal experimental.
- Los muros de la serie MV, cuya falla está controlada por la tracción en la unidad, y los muros de la serie MRE, en los cuales controla la fluencia de las barras longitudinales del pilar que actúa como tensor, no son sensibles a una variación de F en el rango de valores considerado.
- El valor de F que entrega un mejor resultado en el valor de la relación entre la resistencia al corte teórica y la carga de agrietamiento diagonal experimental corresponde a 0.5F, es decir $F=0.25$.
- En general se tiene una baja sensibilidad al factor de calidad mientras controle la falla por tracción en las unidades.

A pesar de lo destacado, se recomienda usar para muros de esbeltez del orden de 1.0 un valor del *factor de calidad* igual a 0.5, considerando que con él se obtienen resultados aceptables y con el respaldo experimental detallado en el capítulo 3.

Según la ecuación (3.8), para en el caso de los muros más “chatos”, como son los muros de la serie MLC-T1, el valor del *factor de calidad* debe ser menor que el asignado a los muros cuadrados para mejorar la estimación de la resistencia al corte teórica si se compara con la carga de agrietamiento diagonal experimental.

4.4.4.2. Unidades cerámicas de fabricación artesanal.

En este caso se considera un rango de variación de F entre el 50% y el 100% del valor asignado a este tipo de unidad, considerando que su valor no debiera ser mayor que 1.0. Los resultados del análisis de sensibilidad se muestran en la Figura 4.22

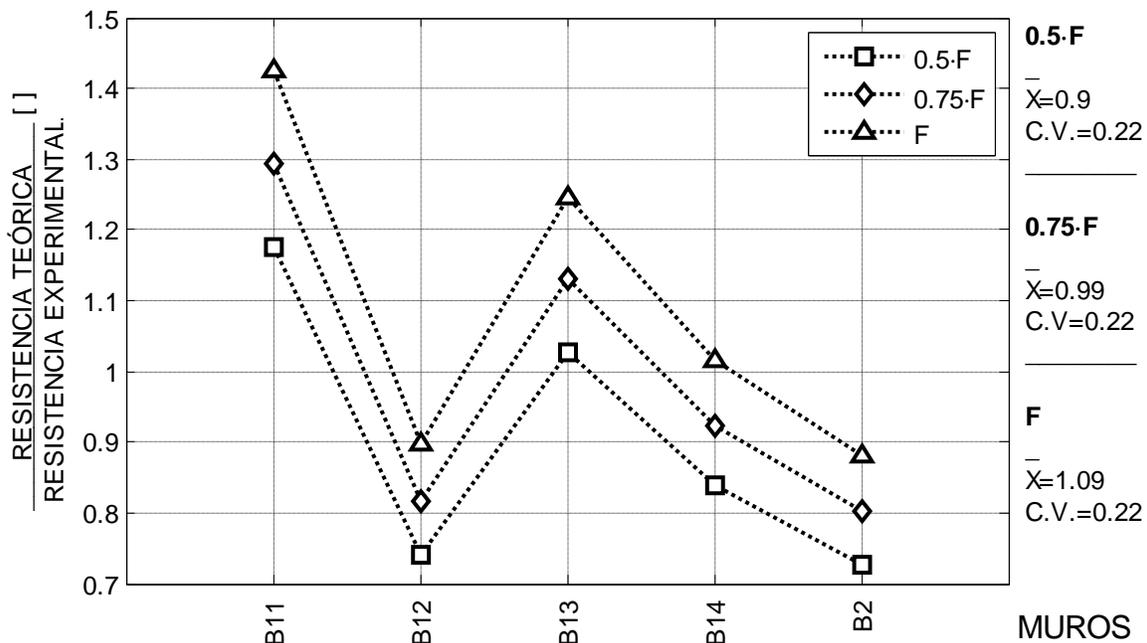


Figura 4.21: Efecto del factor de calidad F en el valor de la relación entre resistencia al corte teórica y la carga de agrietamiento diagonal de los muros construidos con unidades cerámicas hechas artesanalmente

De la Figura 4.21 se obtiene que para un valor F=0.75 se tiene el mejor promedio de las relaciones entre la resistencia al corte teórica y la carga de agrietamiento diagonal experimental. Sin embargo, si se tiene en cuenta sólo los muros con una carga vertical aplicada, el factor de calidad F=1 es el que entrega la mejor estimación.

4.4.4.3. Bloques de hormigón fabricados a máquina.

Igual como en el caso de los muros construidos con unidades cerámicas hechas a máquina, se considera una variación de F entre el 50% y el 150% del valor de F asignado en el capítulo 3 a este tipo de unidad. Los resultados obtenidos se muestran en la Figura 4.22.

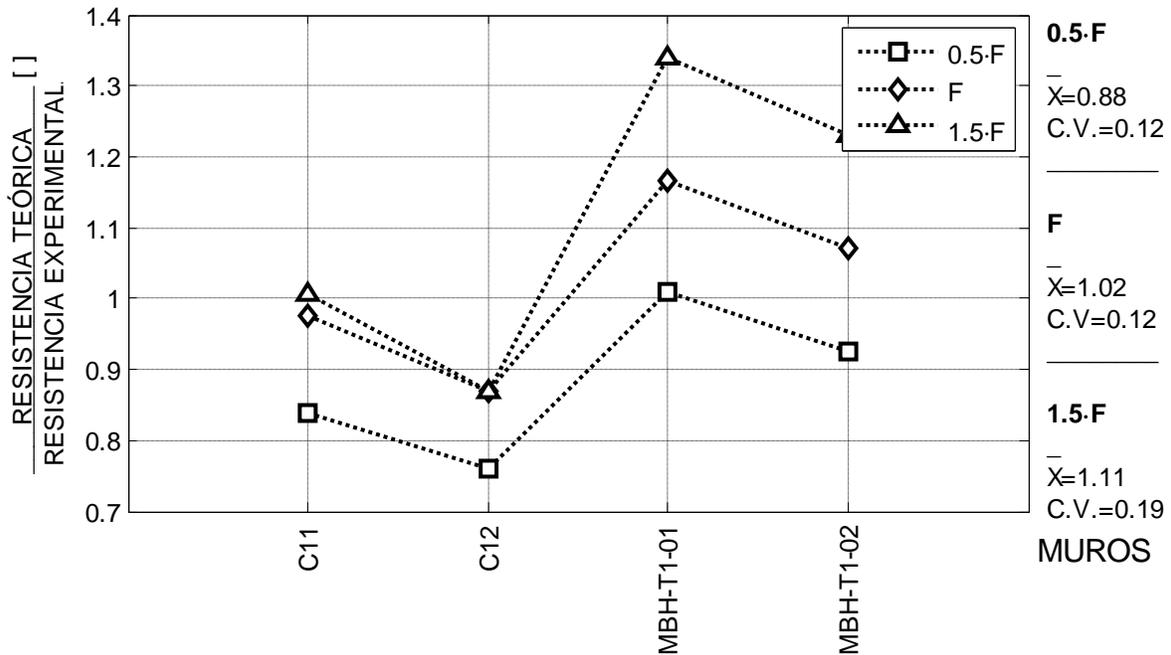


Figura 4.22: Efecto del factor de calidad F en el valor de la relación entre resistencia al corte teórica y la carga de agrietamiento diagonal de los muros construidos con bloques de hormigón.

De la Figura 4.22 se observa que el factor de calidad $F=0.35$ es el que mejor estima la resistencia al corte teórica de los muros.

4.4.5. Efecto de la variación de la resistencia a la tracción de la unidad f'_{tb}

Las propuestas para determinar la resistencia a la tracción de una unidad están dentro de distintos rangos según el tipo de unidad (Cabezas, 2011). Por esto, el análisis de sensibilidad de la resistencia a la tracción de la unidad se hace por separado para las unidades cerámicas hechas a máquina, las unidades cerámicas de fabricación artesanales y los bloques de hormigón hechos a máquina.

4.4.5.1. Unidades cerámicas hechas a máquina del tipo rejilla con huecos.

La resistencia a la tracción de estas unidades se puede estimar como un 5% de su resistencia a la compresión (Cabezas, 2011). No obstante, autores como Thomas (1972, reportado por Cabezas, 2011) muestran valores cercanos al 9% cuando se trata de unidades de alta resistencia. Por otra parte, Mann y Müller (1982, reportado por Cabezas, 2011) proponen un límite inferior cercano al 2.5% de la resistencia a la compresión.

Teniendo en cuenta los antecedentes anteriores, el análisis de sensibilidad se realiza para valores de la resistencia a tracción igual al 3%, 5% y 7% de la resistencia a compresión. El resultado de este análisis se muestra en la Figura 4.23

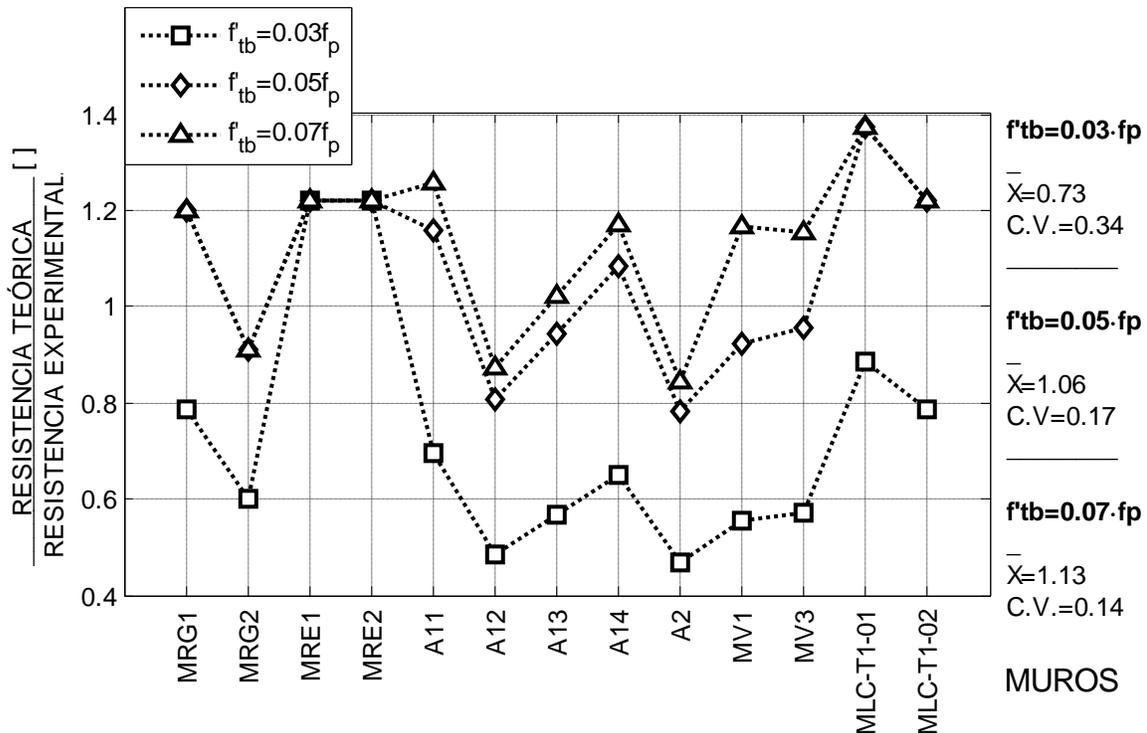


Figura 4.23: Efecto de la resistencia a la tracción de la unidad en el valor de la relación entre resistencia al corte teórica y la carga de agrietamiento diagonal de los muros de albañilería confinada construidos con unidades cerámicas hechas a máquina.

Según los resultados de la Figura 4.23, se puede destacar que:

- Con la excepción de los muros de la serie MRE, cuya resistencia está controlada por la fluencia de las barras longitudinales del pilar que actúa como tensor, considerar que la resistencia a la tracción de la unidad es igual a un 3% de la resistencia a la compresión de la unidad subestima la resistencia al corte teórica de los muros, al imponer un tipo de falla controlado por la resistencia a la tracción de la unidad.
- La estimación que entrega mejores resultados es considerar la resistencia a la tracción de la unidad igual a un 5% de su resistencia a la compresión.

4.4.5.2. Unidades cerámicas macizas de fabricación artesanal.

Para este tipo de unidades, como reporta Cabezas (2011), Francis (1992) estima su resistencia a la tracción como un 9% de la resistencia a la compresión de la unidad; otros autores como Crisafulli (1997) proponen valores como un 7% y 10%.

Con estos antecedentes, el análisis de sensibilidad se realiza para una resistencia a la tracción de la unidad igual a un 7%, 9% y 11% de su resistencia a la compresión. Los resultados de este análisis se muestran en la Figura 4.24.

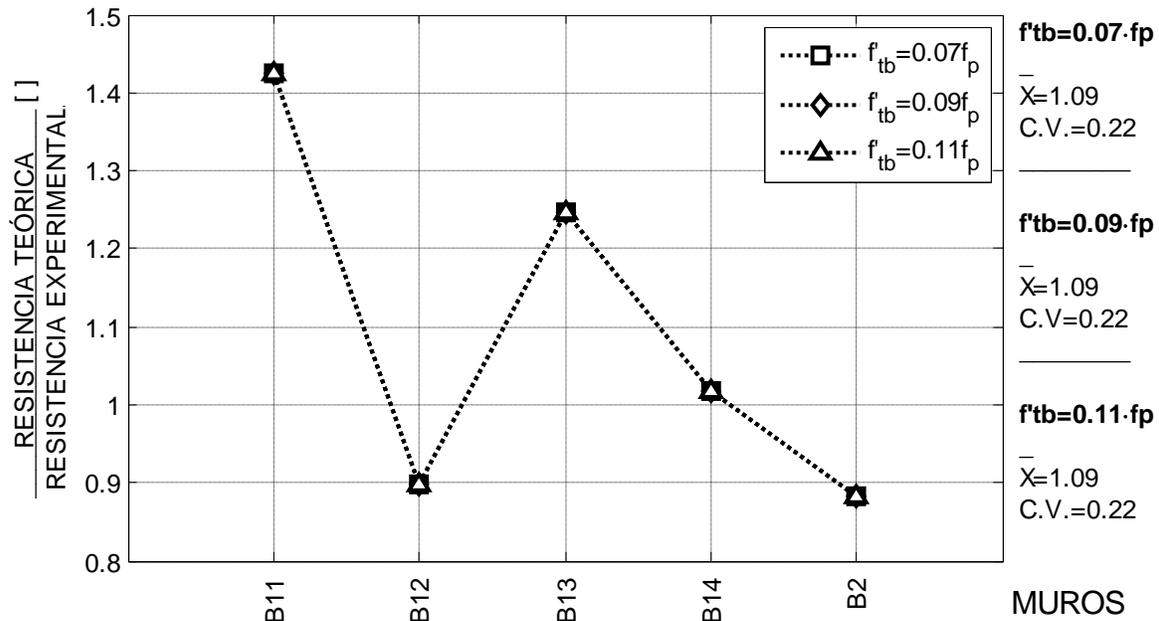


Figura 4.24: Efecto de la resistencia a la tracción de la unidad en el valor de la relación entre resistencia al corte teórica y la carga de agrietamiento diagonal de los muros de albañilería confinada construidos con unidades cerámicas macizos de fabricación artesanal.

De la Figura 4.24 se observa que no hay sensibilidad en estos muros frente a cambios en la resistencia a la tracción de la unidad. Esto se debe a que la falla que se presenta es por deslizamiento en las juntas de mortero, dada la baja adherencia unitaria de este tipo de albañilería.

4.4.5.3. Bloques de hormigón

Experimentalmente se puede encontrar que la resistencia a la tracción de los bloques de hormigón hechos a máquina puede ser entre un 8% y un 16% de su resistencia a compresión (Drysdale and Hamid, 2008, reportado por Cabezas, 2011).

Al hacer el estudio de sensibilidad para valores de la resistencia a la tracción de la unidad igual a un 8%, 12% y 16% de la resistencia a la compresión de ella, se obtienen los resultados mostrados en la Figura 4.25.

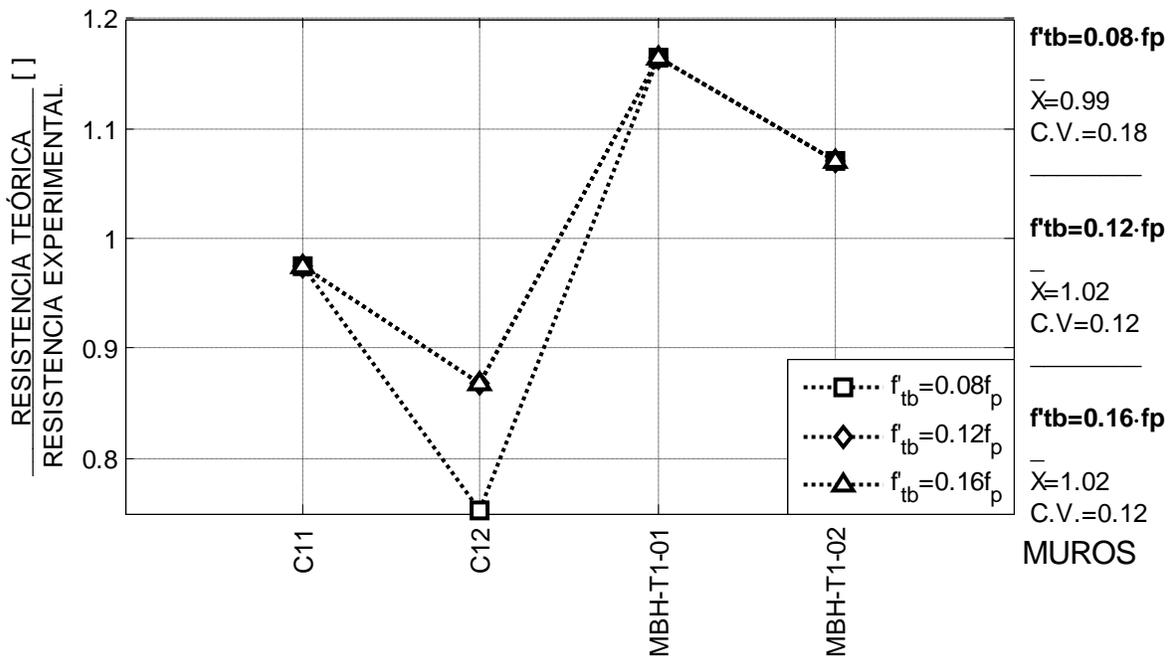


Figura 4.25: Efecto de la resistencia a la tracción de la unidad en el valor de la relación entre resistencia al corte teórica y la carga de agrietamiento diagonal de los muros albañilería construidos con bloques de hormigón hechos a máquina.

Según la Figura 4.25, el muro C12 presentaría una falla por tracción de la unidad al considerar la resistencia a la tracción de la unidad igual a un 8% de su resistencia a la compresión, con una reducción de la resistencia al corte teórica. En el resto de los casos, no hay sensibilidad debido a que el tipo de falla está controlado por la adherencia entre las unidades y el mortero de las juntas.

4.5. COMPARACIÓN ENTRE LOS RESULTADOS OBTENIDOS CON EL MODELO TEÓRICO Y LOS RESULTADOS EXPERIMENTALES.

En esta sección se analizan los resultados que entrega el modelo teórico cuando el paño de albañilería soporta el 100% de la carga vertical, comparándolas resistencias teóricas con las resistencias obtenidas experimentalmente.

Tabla 4.5: Resistencia al corte teórica y experimental de los muros de albañilería confinada considerando el 100% de la carga vertical actuando sobre el paño de albañilería.

Muro	Estimaciones modelo teórico			Valor experimental		Relaciones				
	V_{CD} [kN]	V_{AD-M} [kN]	V_Y [kN]	V_{AD-E} [kN]	V_U [kN]	$\frac{V_{CA}}{V_Y}$ []	$\frac{V_{CA}}{V_U}$ []	$\frac{V_Y}{V_U}$ []	$\frac{V_Y}{V_{AD-T}}$ []	$\frac{V_Y}{V_{AD-E}}$ []
MRG1	789,14	144,15	183,35	120	120	4,30	6,58	1,53	1,27	1,53
MRG2	789,14	144,15	183,35	158	190	4,30	4,15	0,97	1,27	1,16
MRE1	338,41	128,62	73,34	60	104	4,61	3,27	0,71	0,57	1,22
MRE2	338,41	128,62	73,34	60	97	4,61	3,49	0,76	0,57	1,22
A11	705,20	134,7	183,35	116	132	3,85	5,34	1,39	1,36	1,58
A12	761,24	145,4	183,35	180	180	4,15	4,23	1,02	1,26	1,02
A13	817,27	156,1	183,35	165	165	4,46	4,95	1,11	1,17	1,11
A14	817,27	156,1	183,35	144	164	4,46	4,98	1,12	1,17	1,27
A2	761,24	145,4	183,35	186	186	4,15	4,09	0,99	1,26	0,99
B11	190,25	62,7	125,87	44	60	1,51	3,17	2,10	2,01	2,86
B12	302,31	99,64	125,87	111	118	2,40	2,56	1,07	1,26	1,13
B13	302,31	99,64	125,87	80	100	2,40	3,02	1,26	1,26	1,57
B14	302,31	99,64	125,87	98	128	2,40	2,36	0,98	1,26	1,28
B2	246,28	81,17	125,87	92	119	1,96	2,07	1,06	1,55	1,37
C11	623,72	121,95	125,87	125	180	4,96	3,47	0,70	1,03	1,01
C12	511,33	128,16	125,87	145	185	4,06	2,76	0,68	0,98	0,87
MV1	591,80	93,09	117,58	100,72	105,5	5,03	5,61	1,11	1,26	1,17
MV3	532,94	86,53	104,51	90,55	91,90	5,10	5,80	1,14	1,21	1,15
MLC-T1-01	502,53	195,05	275,43	142	152	1,82	3,31	1,81	1,41	1,94
MLC-T1-02	502,53	195,05	275,43	160	183	1,82	2,75	1,51	1,41	1,72
MBH-T1-01	433,76	117,69	277,97	101	109	1,56	3,98	2,55	2,36	2,75
MBH-T1-02	433,76	117,69	277,97	110	130	1,56	3,34	2,14	2,36	2,53

Donde:

V_{CA} : Resistencia al corte teórica cuando controla la falla por compresión en la albañilería.

V_{AD-T} : Resistencia al corte teórica cuando controla la falla por deslizamiento en las juntas de mortero o por tracción en las unidades.

V_Y : Fuerza de corte que genera la fluencia de las barras longitudinales del pilar de H.A. que actúa como tensor.

V_{AG-E} : Carga experimental de agrietamiento diagonal del paño de albañilería.

V_U : Carga lateral máxima aplicada durante el ensayo.

4.5.1. Análisis teórico de la posibilidad de una falla controlada por la compresión de la albañilería

En la Figura 4.26 se muestran las siguientes relaciones:

- Entre las capacidades que entrega el modelo teórico cuando controla la resistencia a la compresión de la albañilería y cuando controla la fluencia de las barras longitudinales del pilar de H.A. que actúa como tensor.
- Entre la carga que provoca la falla teórica por compresión en la albañilería y la carga máxima aplicada a los muros ensayados.

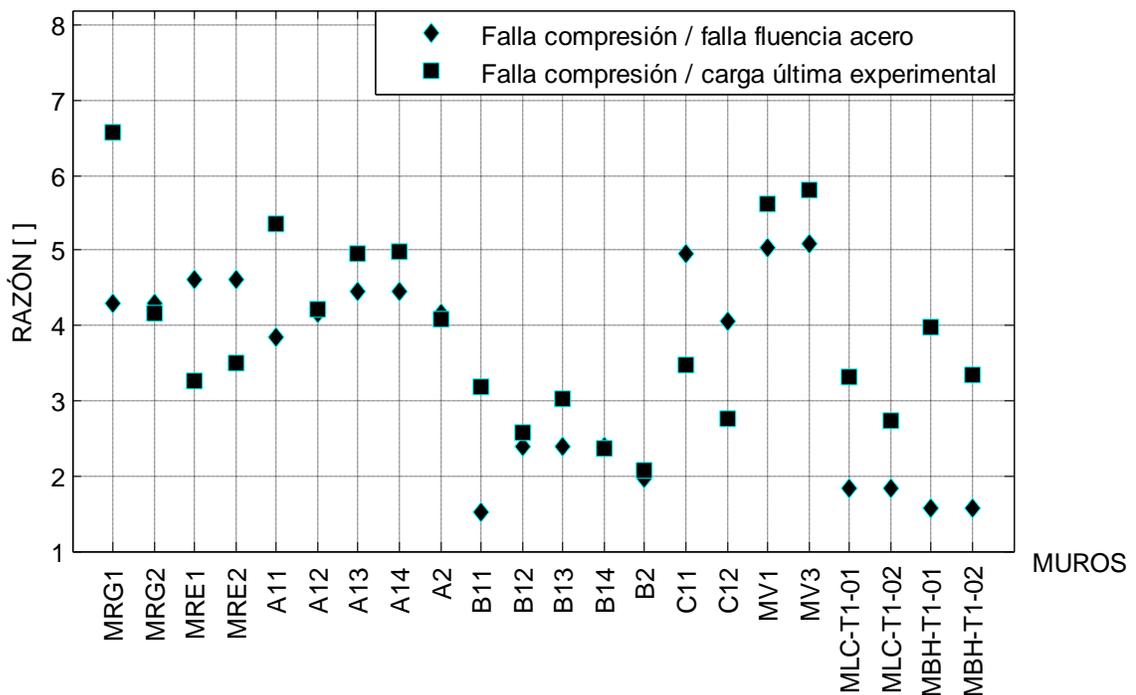


Figura 4.26: Relaciones entre la carga lateral teórica necesaria para generar una falla por compresión de la albañilería y: a) la carga lateral teórica necesaria para generar una falla por fluencia del refuerzo longitudinal del pilar de H.A. que actúa como tensor; y b) la carga última experimental

De los resultados mostrados en la Figura 4.26, se observa que, teóricamente, no es posible que se produzca una falla controlada por la compresión de la albañilería, lo cual está de acuerdo con la evidencia experimental y lo destacado por Crisafulli (2002). Además, ninguno de los muros ensayados fallaría por compresión de la albañilería antes de que se produzca la fluencia de las barras longitudinales del pilar que actúa como tensor.

Los casos donde es más probable que se produzca una falla controlada por la compresión de la albañilería antes de la fluencia de las barras longitudinales del pilar son los muros construidos con unidades cerámicas macizas de fabricación artesanal, debido a su baja resistencia prismática de este tipo de albañilería. De estos muros, el caso más crítico es el muro ensayado sin

carga vertical aplicada, B11. También en los muros chatos es más probable que se produzca una falla por compresión de la albañilería antes de la fluencia del acero debido a que, por su baja relación alto/largo, se produce una menor fuerza en las barras del pilar que en los muros cuadrados o esbeltos (ver Figura 2.4)

4.5.2. Análisis teórico de la posibilidad de una falla controlada por la fluencia de las barras longitudinales del pilar que trabaja como tensor.

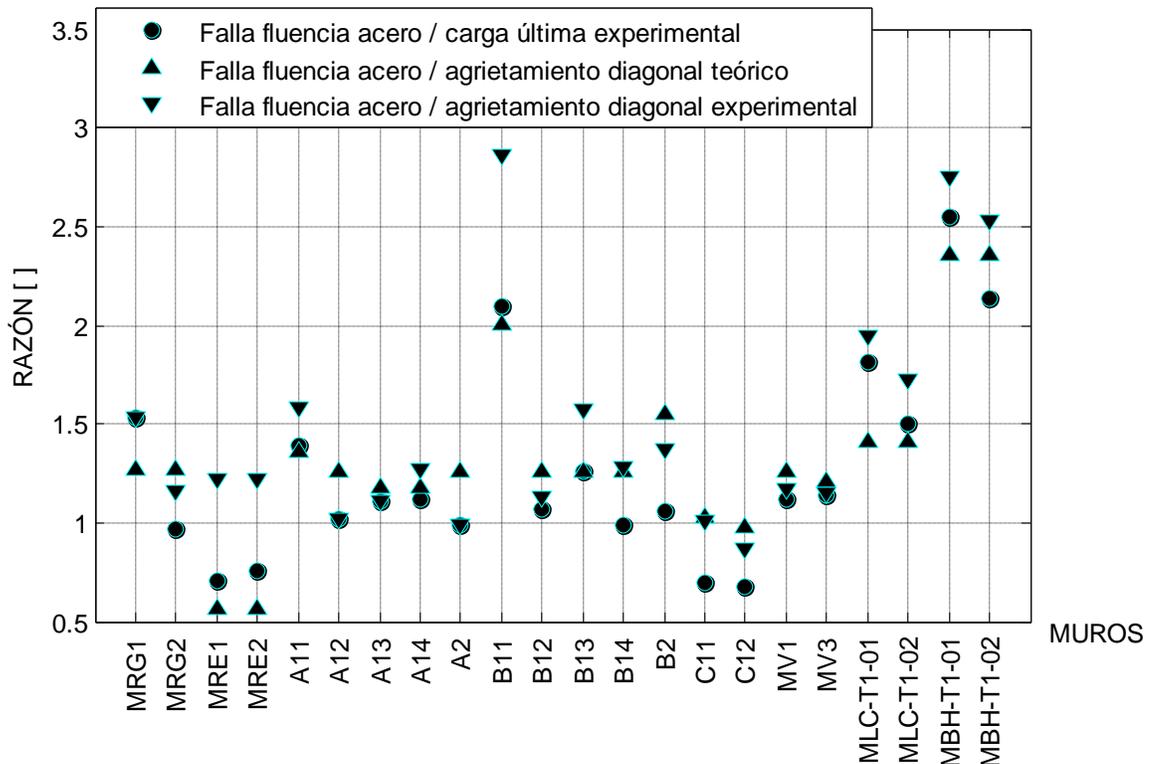


Figura 4.27: Relaciones entre la fuerza lateral teórica que genera la fluencia de las barras longitudinales del pilar que actúa como tensor y: a) la carga máxima aplicada durante el ensayo, b) la carga de agrietamiento diagonal experimental; y c) la carga teórica necesaria para que se produzca el agrietamiento diagonal.

En la Figura 4.27 se muestran las siguientes relaciones:

- Entre la carga teórica que provoca la fluencia de las barras longitudinales del pilar de H.A. que actúa como tensor y la carga máxima alcanzada en el ensayo de los muros de albañilería confinada.
- Entre la carga teórica que provoca la fluencia de las barras longitudinales del pilar de H.A. que actúa como tensor y la carga teórica que genera agrietamiento

diagonal, con una falla por deslizamiento entre las unidades y el mortero o por tracción en las unidades.

- Entre la carga teórica que provoca la fluencia de las barras longitudinales del pilar de H.A. que actúa como tensor y la carga máxima alcanzada en el ensayo de los muros de albañilería confinada.

De la Figura 4.27, se observa que la mayoría de los muros ensayados alcanza la carga máxima antes de que se produzca la fluencia en las barras longitudinales del pilar que actúa como tensor. Esta situación es más evidente en los muros de esbeltez reducida (“chatos”), como los muros de las series MLC y MBH. Este resultado está de acuerdo con el hecho de que la fuerza que se produce en las barras longitudinales del pilar es menor si el ángulo que forman la diagonal del paño de albañilería con la horizontal, θ , disminuye (ver Figura 2.4)

Teóricamente, en los muros de la serie MRE y los muros A2, C11 y C12 se alcanza la fluencia de las barras longitudinales del pilar que actúa como tensor antes de la carga máxima experimental. Esta situación no es corroborable debido a la falta de instrumentación de las barras de acero, por lo que no hay información experimental sobre el estado de tensiones de la armadura longitudinal del pilar que actúa como tensor.

De la Figura 4.27 se observa que los muros que quedan controlados por la fluencia de las barras longitudinales del pilar que actúa como tensor son los de la serie MRE y el muro C12. En el caso de este último, la relación entre ambas cargas es igual a 0.98, por lo que la variabilidad de los valores de los parámetros usados en el modelo y el método usado para determinarlos es determinante en este resultado.

En el caso de los muros de la serie MRE, es esperable que ocurra una falla por fluencia de las barras longitudinales del pilar traccionado, debido a que el comportamiento de los muros esbeltos está controlado por las deformaciones que produce la flexión. Además, la Figura 2.4 permite verificar que la fuerza que toma el pilar a medida que el ángulo θ es más grande.

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

La relación entre la carga de agrietamiento diagonal experimental con la carga teórica que provoca la fluencia de las barras longitudinales del pilar de los muros A2 y C12 son, respectivamente, 0.99 y 0.87, lo cual habla de un escaso margen entre ambas cargas, siendo posible que las barras longitudinales de estos muros hayan fluido antes de producirse el agrietamiento diagonal del paño de albañilería, lo cual no es impedimento para que el comportamiento esté controlado por la falla por agrietamiento diagonal, debido a la sobre resistencia de las barras.

4.6. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE APLICAR EL MODELO TEÓRICO

De la aplicación del modelo teórico a los muros de albañilería confinada ensayados se puede hacer los comentarios siguientes:

- En el caso de los muros sin carga vertical, la relación entre la resistencia al corte entregada por el modelo y la carga de agrietamiento diagonal obtenida en los ensayos tiene un valor promedio igual a 1.15, con un coeficiente de variación igual a 14%.
- En los muros con carga vertical, la relación entre la resistencia al corte teórica y la carga de agrietamiento diagonal obtenida en los ensayos tiene un valor promedio igual a 0.95, con un coeficiente de variación igual a un 15%.
- En cuanto a la predicción del tipo de falla, el modelo acierta en un 64% de los casos. Sin embargo, en los muros de la serie MRE y el muro C12, donde el modelo predice una falla controlada por la fluencia de las barras longitudinales del pilar, la resistencia al corte entregada por el modelo teórico para estos muros es muy cercana a la experimental. Además, los muros de las series MRG y C12 tienen resistencias asociadas a una falla de adherencia y tracción diagonal similares, dificultando la definición del tipo de falla que controla.
- Los resultados del análisis de sensibilidad muestran que hay una baja sensibilidad al valor del coeficiente χ , de la adherencia unitaria τ_0 y del coeficiente de fricción μ , con excepción de los muros cuyas unidades presentan una baja adherencia unitaria. El *factor de calidad* y la resistencia a la tracción de la unidad presentan una sensibilidad importante si el modo de falla que controla es de adherencia entre el mortero y la unidad o de tracción en las unidades, respectivamente.
- Del análisis de sensibilidad se observa que en la mayoría de los casos, una variación pequeña de parámetros como la adherencia unitaria, el coeficiente de fricción, el factor de calidad o la resistencia a la tracción de la unidad, provocan cambios en el modo de falla del muro analizado, sea este por adherencia, tracción en las unidades o fluencia de las barras longitudinales del pilar de H.A. que actúa como tensor.
- La falla por compresión en los tipos de albañilería considerada no controla en ningún caso, ni teórica ni experimentalmente. Sin embargo, los muros de la serie B pueden presentar este tipo de falla, debido a la baja resistencia a la compresión de sus unidades, lo cual indica que el modo de falla por compresión debe ser evaluado cuidadosamente en muros construidos con unidades de fabricación artesanal.
- En la Tabla 4.6 se entrega la comparación entre los resultados obtenidos por Cabezas (2011) y los entregados por el modelo teórico, para los casos con y sin carga vertical aplicada.

Tabla 4.6: Resultados obtenidos según modelo usado

	Muros con carga vertical		Muros sin carga vertical	
	Razón promedio entre resistencia experimental y teórica	C.V.	Razón promedio entre resistencia experimental y teórica	C.V.
Cabezas (2011)	0,68	0,13	0,92	0,16
Modelo teórico	0,95	0,15	1,15	0,14

El modelo teórico desarrollado por Cabezas (2011) entrega una buena estimación de la resistencia al corte para el caso de los muros sin carga vertical, pero subestima la resistencia de los muros con carga vertical aplicada. En el caso del modelo teórico desarrollado en esta Memoria de Título, la estimación de la resistencia al corte de los muros con carga vertical mejora notoriamente, logrando una media de 0.95 con un muy pequeño aumento en la dispersión.

La estimación de la resistencia al corte de los muros sin carga vertical aplicada es sobreestimada por el nuevo modelo teórico, con una media de 1.15 y un coeficiente de variación igual a 0.14, lo cual contrasta con la media de 0.92 obtenida por Cabezas (2011). En el caso de los muros sin carga vertical aplicada, el aporte de las juntas verticales de mortero depende exclusivamente del valor del *factor de calidad*, cuya sensibilidad afecta los resultados entregados por el modelo teórico, en el caso que domine la falla por deslizamiento en las juntas de mortero. Asimismo, una mala calidad de la mano de obra puede provocar que los muros ensayados tengan un *factor de calidad* menor al estimado teóricamente.

4.7. CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO.

- El modelo teórico entrega un método simple de calcular la resistencia al corte de muros de albañilería confinada, al utilizar propiedades geométricas y mecánicas sencillas para determinar una envolvente de falla y, luego, calcular la resistencia del muro.
- Introducir el modelo de Dialer permite incluir el efecto de las juntas verticales en el cálculo de la resistencia al corte, por medio del parámetro χ y del factor de calidad F.
- La aplicación del modelo teórico entrega una estimación segura para los muros sometidos a carga vertical. En el caso de los muros ensayados sin carga axial, existe una sobrestimación de un 17% en el promedio de las razones entre las resistencias teóricas y las experimentales.

- El modelo teórico predice una falla por agrietamiento diagonal en todos los muros cuadrados, salvo en el muro C12, y una falla por fluencia de las barras longitudinales del pilar que actúa como tensor en el caso de muros esbeltos.
- Es recomendable realizar ensayos para determinar los parámetros frente a los cuales el modelo teórico muestra mayor sensibilidad, de manera de mejorar la precisión del modelo tanto en la magnitud de la resistencia al corte teórica que entrega como en el modo de falla teórico que controla la resistencia al corte de un muro de albañilería confinada.
- La falta de información sobre χ y el factor de calidad F, sumado a la importancia de estos valores en el modelo teórico, plantean la necesidad de buscar métodos de ensayo que permitan obtener el valor de estos parámetros.
- El modelo teórico mejora la estimación realizada por Cabezas (2011) de la resistencia al corte de muros con carga vertical aplicada, pero a su vez entrega un resultado no conservador de la resistencia al corte teórica de los muros sin carga vertical aplicada.

CAPÍTULO 5:

CONCLUSIONES

5.1. MODELO TEÓRICO

El modelo teórico propuesto para calcular la resistencia al corte se basa en un modelo puntal-tensor y en la teoría propuesta por Dialer (1991) para determinar la resistencia de corte del paño de albañilería considerando tres posibles modos de falla y la contribución del mortero de las juntas verticales, aporte no considerado por el modelo propuesto por Crisafulli (1997) al usar la teoría de Mann y Müller.

Al comparar la resistencia de corte teórica que se obtiene con la carga de agrietamiento diagonal de 22 muros de albañilería confinada ensayados en Chile, se concluye:

- El cálculo de la resistencia al corte de la albañilería requiere información experimental de ensayos sencillos como son el ensayo de tripletas de albañilería sometida a un ensayo de corte directo, con tensión normal a las juntas, y el ensayo de tracción directa de una unidad de albañilería.
- El modelo teórico sobreestima la carga de agrietamiento diagonal de los muros de albañilería confinada sin carga vertical aplicada, resultando un valor promedio de la relación entre la carga teórica y la experimental igual a 1.17 con un coeficiente de variación de un 15%. En el caso de los muros con carga vertical, el modelo entrega una buena estimación, obteniéndose un promedio de la relación entre las resistencias teórica y experimental igual a 0.95 con un coeficiente de variación de un 15%.
- El modelo teórico permite reconocer el tipo de falla que se produce en el paño de albañilería cuando su capacidad está controlada por la fuerza de corte, predominando las fallas por adherencia y por tracción diagonal.
- Si bien éstos son los modos de falla que se presentan en los muros de albañilería confinada ensayados cuando la resistencia de corte controla su comportamiento (modos reconocidos a partir del análisis de las figuras y fotografías entregadas por los autores de los ensayos), el modelo tiene un porcentaje de aciertos del modo de falla del 64% de los muros ensayados.
- Una debilidad del modelo teórico es la falta de un parámetro que permita determinar la resistencia de los muros cuando se produce una falla de corte controlada por compresión en el paño de albañilería. En esta Memoria de Título se usa el coeficiente propuesto por Crisafulli (con datos de ensayos hechos por Hamid y Drysdale (1978)) con el cual se reduce la resistencia prismática a la compresión de acuerdo con el ángulo de inclinación de la diagonal del paño de albañilería. Aún cuando en ninguno de los 22 muros ensayados controla este tipo de falla, lo cual concuerda con la evidencia experimental, este modo de falla puede presentarse en muros construidos con unidades de baja resistencia a la

compresión, como es el caso de la albañilería con unidades de fabricación artesanal.

- El *factor de calidad F* propuesto por Dialer (1991) permite introducir el aporte de las juntas verticales de mortero en la resistencia al corte de los muros de albañilería confinada. Sin embargo, al no existir respaldo experimental de su valor, es necesario realizar ensayos que permitan obtenerlo, reconociendo por ahora que su valor depende del tipo de unidad de albañilería.
- El efecto benéfico de la carga vertical en la resistencia al corte de un muro de albañilería confinada se incorpora aumentando el ancho del puntal de compresión y aceptando que el 100% de la carga vertical lo resiste el paño de albañilería. Aunque el resultado que se obtiene es satisfactorio, debe reconocerse que el origen de los dos criterios destacados debe respaldarse con antecedente experimentales.
- El modelo teórico propuesto no ha sido verificado para muros de albañilería confinada con uno o más pilares interiores como tampoco en muros con una esbeltez baja por falta de datos experimentales locales de muros con estas características. Por lo anterior, este tipo de muros quedan fuera del alcance del modelo teórico propuesto.
- Al comparar con el modelo teórico desarrollado por Cabezas, mejora notoriamente la estimación de la resistencia al corte de los muros con carga vertical aplicada, pero entrega un resultado poco conservador de la resistencia al corte teórica de los muros sin carga vertical aplicada. Considerando que una considerable fracción de los muros de albañilería confinada existentes forma parte de edificios de 4 ó 5 pisos, por lo que se ven sometidos a cargas verticales provenientes de las sobrecargas de uso, cargas permanentes y pesos propios de pisos superiores, y que los muros que no están sometidos a una carga vertical aplicada (o bien a una carga muy pequeña, como es el caso de los muros de una vivienda de 1 piso) pueden ser diseñados de acuerdo a criterios de densidad de muros, los resultados del modelo teórico son de buena calidad.

5.2. TRABAJO EXPERIMENTAL PROPUESTO

- Los ensayos de muros de albañilería confinada que se realicen a futuro es necesario complementarlos con ensayos de tripletas sometidas a corte directo, con carga aplicada normal a las juntas, junto con ensayos de tracción directa de las unidades. Con la información reunida de estos ensayos se podrá mejorar el modelo teórico, tanto en la magnitud de la resistencia al corte teórica como en la predicción del modo de falla de un muro de albañilería confinada.
- Los muros deben instrumentarse, tanto en el paño de albañilería como en las barras longitudinales de los pilares de H.A. traccionado. La instrumentación del paño de albañilería permitirá conocer el estado biaxial de tensiones que se produce en el paño de albañilería con lo cual se podrá verificar los supuestos y los valores

de los coeficientes usados en el modelo. La instrumentación de las barras longitudinales de los pilares permitirá verificar el estado de tensiones en ellas cuando se produce el agrietamiento diagonal del paño, y verificar si finalmente la fluencia de estas barras es determinante para la capacidad resistente del muro.

- La determinación del *factor de calidad* F es posible hacerla a través de ensayos de corte directo de las unidades de albañilería por ambas caras de asiento. Reconociendo los beneficios de usar un ensayo sencillo, se recomienda realizar este ensayo para unidades de fabricación artesanal e industrial con carga normal aplicada, lo que permitirá obtener las propiedades de adherencia básica y fricción correspondientes a las caras de la unidad en contacto con el mortero de junta y relacionarlas para obtener un solo *factor de calidad*, como se ha supuesto en esta Memoria de Título, o bien, obtener un *factor de calidad* para la adherencia y otro para la fricción, lo cual también es un supuesto válido.

BIBLIOGRAFÍA

1. Andreaus, U., "Failure criteria for masonry panels under in-plane loading". Journal of Structural Engineering, American Society of Civil Engineers, 1996.
2. Astroza, M., Apuntes del curso "Diseño de Albañilería Estructural". Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile, 2008.
3. Cabezas, F., "Estimación analítica de la resistencia al corte de muros de albañilería confinada mediante el modelo de Crisafulli", Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, Santiago, Chile, 179 pp. 2011
4. Charry, J., "Estudio experimental del comportamiento de paredes de obra de fábrica de ladrillo ante la acción de cargas laterales", Tesis doctoral, Departamento de Ingeniería de la Construcción, Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona. 2010
5. Crisafulli, F., "Seismic behavior of reinforced concrete structures with masonry infills", Ph.D Thesis, Department of Civil Engineering, University of Canterbury, Christchurch, New Zealand. 1997
6. Cruz, J., "Étude des murs de contreventement en maçonnerie d'elements de terre cuite", Tesis para obtener el grado de Doctor en Ingeniería Civil mención Estructuras, Universite de Marne la Vallee. 2002
7. Dhanasekar M., Page A.W. y Kleeman P.W., "The failure of brick masonry under biaxial stress", Proceedings of the institution of Civil Engineers, Parte 2, Vol. 79, pp. 295-313. 1985
8. Dialer, C., "Some remarks on the strength and deformation behavior of shear stressed masonry panels under static monotonic loading", Proc. 9th IBMAC, pp 276-283. 1991
9. Diez, J., "Estudio experimental de muros de albañilería sometidos a carga lateral", Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Universidad de Chile. 1987
10. Galleguillos 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.
11. Herrera, E., "Efecto de la carga vertical en el comportamiento de muros de albañilería reforzada sometidos a carga lateral alternada", Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Universidad de Chile. 1992.

12. Maheri M.R., Najafgholipour M. A. y Rajabi R., “The influence of mortar head joints on the in-plane and out-plane seismic strength of brick masonry walls”, *IJST, Transactions of Civil and Environmental Engineering*, Vol. 35, No. C1, pp 63-79. 2011
13. Mann, W y Muller, H, “Failure of shear-stressed masonry-An enlarged theory, tests and application to shear walls”, *Proceedings of the British Ceramic Society*, Vol. 30, pp. 223-235. 1982
14. Mebarki A., Bui Q.H., Ami Saada R., Delmotte P., Sanchez Tizapa S., “A simplified mechanical model to assess the bearing capacity of masonry walls: Theory and experimental validation”, *Construction and Building Materials*, Elsevier. 2008
15. Muñoz, M., “Resistencia de la adherencia de la albañilería: situación en Chile”, *Memoria para optar al título de Ingeniero Civil*, Universidad de Chile, 2006
16. Muñoz, W., “Estudio experimental del comportamiento de muros de albañilería de bloques de hormigón sometidos a carga lateral alternada”, *Memoria para optar al título de Ingeniero Civil*, Universidad de Chile. 1992.
17. NCh2123.Of2003, “Albañilería confinada – Requisitos de diseño y calculo”, *Instituto Nacional de Normalización – INN Chile*, 2003
18. 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
19. Riahi, Z, 2007, “Backbone model for confined masonry walls for performance-based seismic design”, *Master Thesis*, Department of Civil Engineering, The University of British Columbia, Vancouver, Canada.

ANEXO A:

MODELACIÓN CON ELEMENTOS FINITOS

En este Anexo se entregan los resultados del análisis de los muros de albañilería confinada usando el método de elementos finitos (FEM). Este análisis se hizo con el propósito de obtener información relacionada con el estado de tensiones en este tipo de muros, la cual es relevante para el desarrollo y los supuestos del modelo teórico propuesto en esta Memoria de Título.

A.1. CARACTERÍSTICAS DE LA MODELACIÓN

La modelación con FEM se hace bajo las consideraciones siguientes:

- a) La albañilería es un material homogéneo con un comportamiento lineal y elástico.
- b) Los muros no están sometidos a una carga vertical. El efecto de esta carga se incluye en el modelo teórico propuesto al establecer el ancho del puntal de compresión que representa al paño de albañilería.
- c) Sobre el muro se aplica la carga de agrietamiento diagonal, la cual se acepta que es igual al doble de la fuerza de corte admisible recomendada por la norma de diseño NCh. 2123 Of. 2003.
- d) La carga lateral se aplica en forma uniformemente distribuida a lo alto de la sección transversal de la cadena de confinamiento. Esta forma de aplicar la carga representa la forma en que se aplicó la carga en los ensayos realizados y con cuyos resultados se calibra el modelo teórico propuesto en el capítulo 4.
- e) El paño de albañilería se supone unido y dilatado de los elementos de confinamiento de H.A. Los resultados con el paño dilatado se utilizan para validar el macro modelo puntal-tensor. Los resultados con el paño unido a los elementos de confinamiento representan la condición que se presenta en la práctica cuando se usan bordes endentados del paño de albañilería o conectores de acero. Estos resultados se utilizan para obtener el valor del coeficiente χ para los muros de albañilería confinada en función de la esbeltez del paño.

La modelación de los muros de albañilería confinada se realiza mediante el programa SAP2000, discretizando el muro, los pilares, la cadena y el paño de albañilería en cuadrados de 10cm de lado. El elemento usado se conoce como elemento “*cáscara*” o “*shell*”, el cual es un elemento de tres a cuatro nodos que combina el comportamiento de membrana y de flexión, lo cual significa que el elemento *shell* puede recibir cargas y momentos en todas las direcciones.

En particular, se usan elementos de 4 nodos como el mostrado en la Figura A.1.

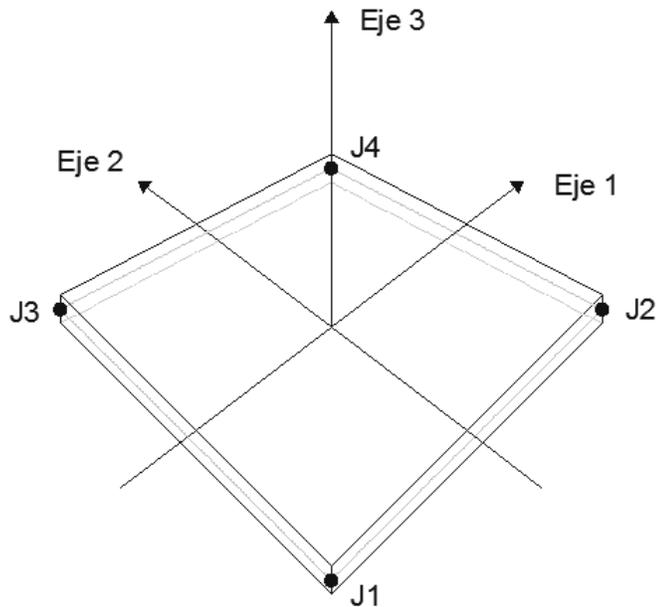


Figura A.1: Elemento *shell* de 4 nodos.

A.2. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE LOS MUROS CON PAÑO UNIDO A LOS ELEMENTOS DE CONFINAMIENTO

El coeficiente χ se obtiene a partir de los resultados de los modelos de elementos finitos con los elementos de confinamiento de H.A. perfectamente unidos al paño de albañilería. Esta condición de borde se utiliza considerando que el estado de tensiones que se obtiene representa de mejor manera el comportamiento de los muros de albañilería confinada construidos en Chile en los cuales se construye en primer lugar el paño de albañilería y luego se hormigonan los elementos de confinamiento.

Los muros analizados tienen relaciones alto/ancho iguales a 0.5 y 0.67 (muros “chatos”), 1 (cuadrados) y 2 (esbeltos). Estos valores se seleccionan considerando la esbeltez de los muros ensayados localmente, cuyas características se detallan en el Anexo B.

Además, se analizan los efectos de variar las dimensiones de los elementos de confinamiento en el estado de tensiones. Para ello se usó un muro de esbeltez igual a 1 con una cadena y un pilar tipo de 20/20 cm y una cadena 20/30 cm y un pilar de 30x20 cm

La información gráfica de los modelos con FEM se muestra en las figuras A.2 a A.31:

- En las figuras A.2, A.7, A.12, A.17, A.22 y A.27 se muestra la malla de elementos finitos usada para el análisis de los muros junto con el modelo de las cargas laterales aplicadas.
- En las figuras A.3, A.8, A.13, A.18, A.23 y A.28 se muestra la distribución de tensiones normales horizontales (f_p) en el paño de albañilería, y en las figuras A.4,

A.9, A.14, A.19, A.24 y A.29 se muestra la distribución de tensiones normales verticales (f_n) en el paño de albañilería.

- En las figuras A.5, A.10, A.15, A.20, A.25 y A.30 se muestra la distribución de los valores del coeficiente χ en el paño de albañilería. Este coeficiente se obtiene a partir de las distribuciones de tensiones normales horizontales (f_p) y verticales (f_n).
- En las figuras A.6, A.11, A.16, A.21, A.26 y A.31 se dibujan los valores del coeficiente χ a lo largo de la diagonal del paño de albañilería. En esta representación se destacan los valores en el tercio central de la diagonal, por corresponder a los valores usados para obtener un *valor promedio* del coeficiente χ para cada muro.

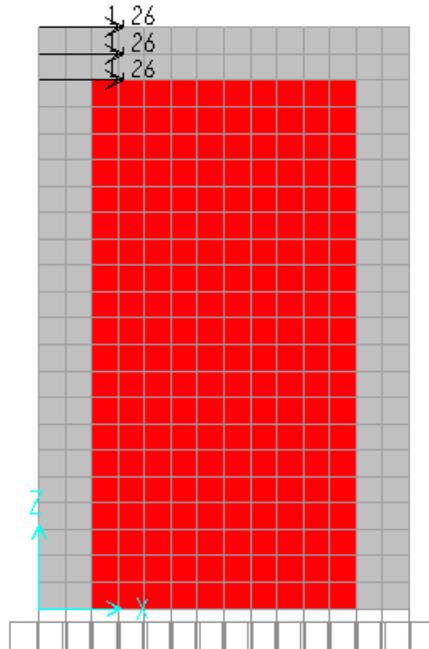


Figura A.2: Modelación de muro de esbeltez 2 y de la carga lateral aplicada (tonf)

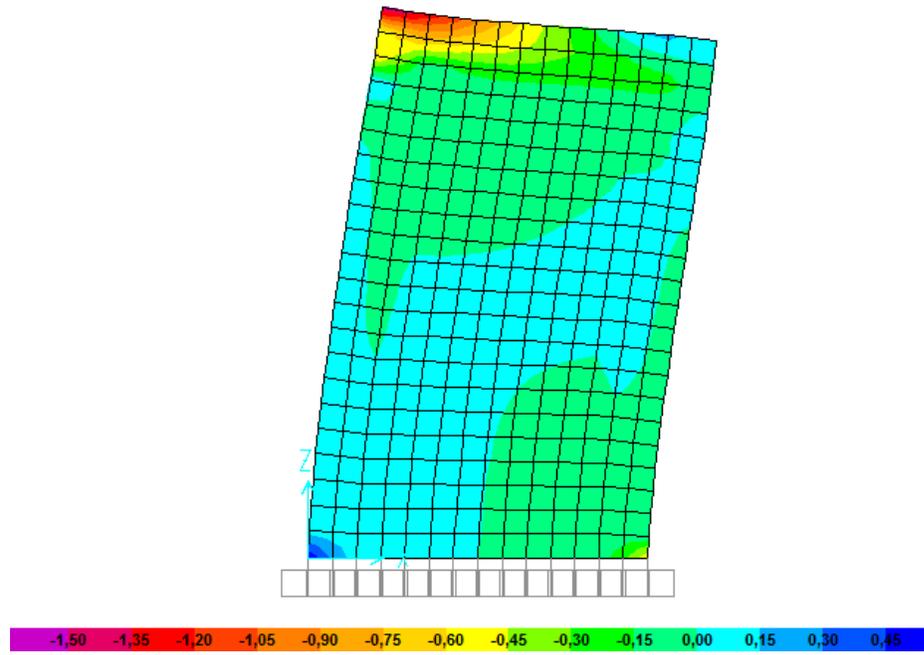


Figura A.3: Tensiones normales horizontales, f_p (MPa), en muro de esbeltez 2.

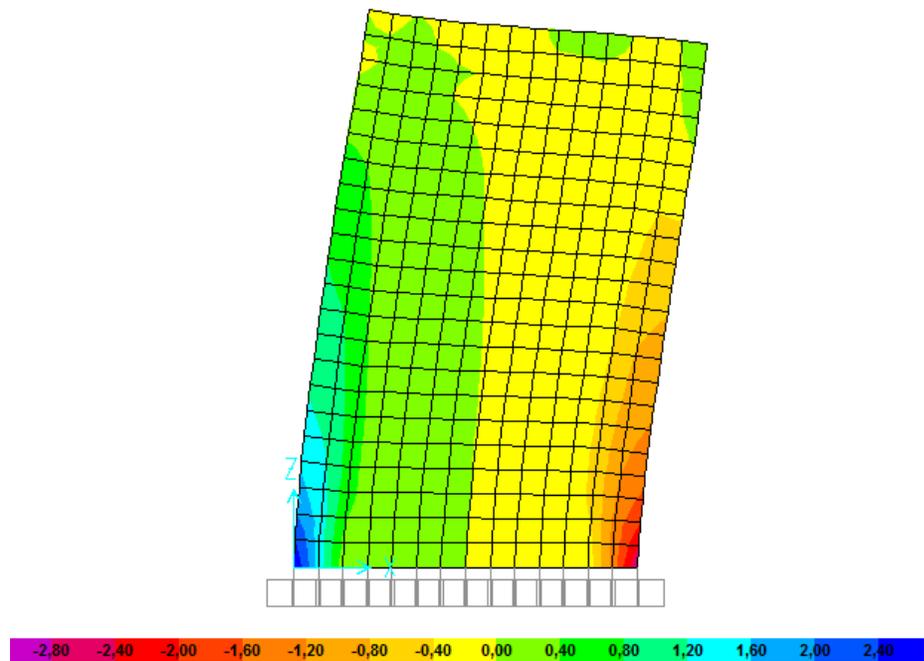


Figura A.4: Tensiones normales verticales, f_n (MPa), en muro de esbeltez 2.

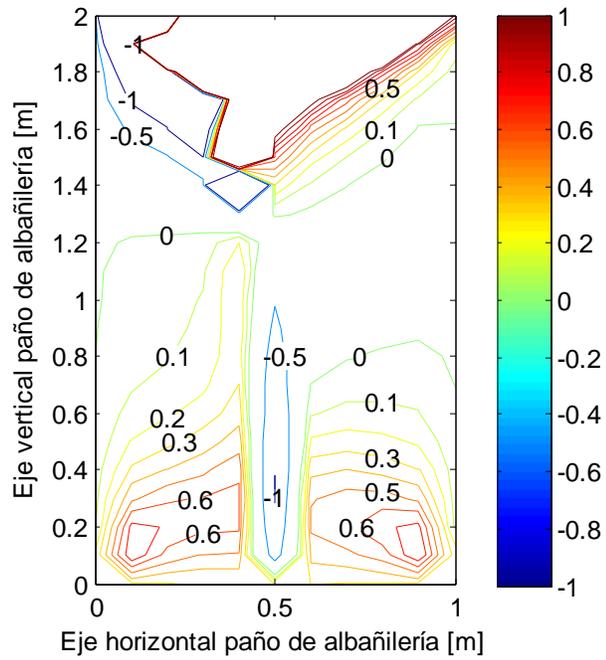


Figura A.5: Distribución del coeficiente χ en el interior del paño de albañilería de un muro de esbeltez 2.

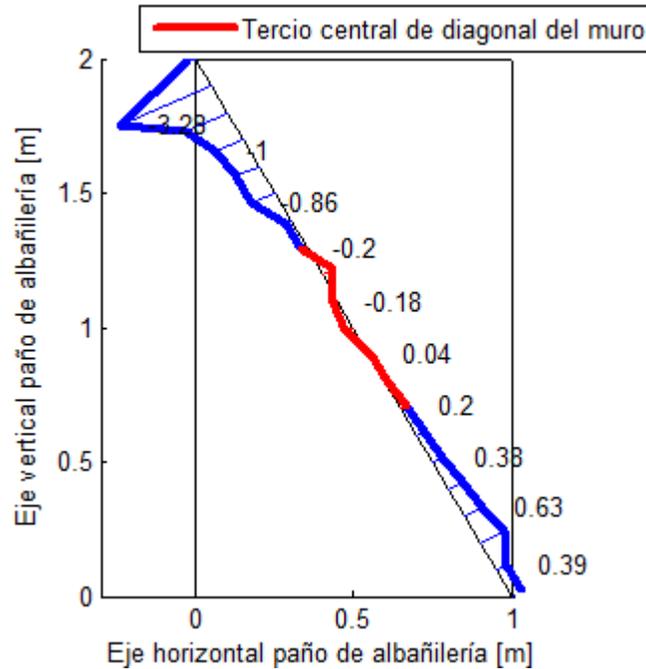


Figura A.6: Valores del coeficiente χ a lo largo de la diagonal del paño de albañilería de un muro de esbeltez 2.

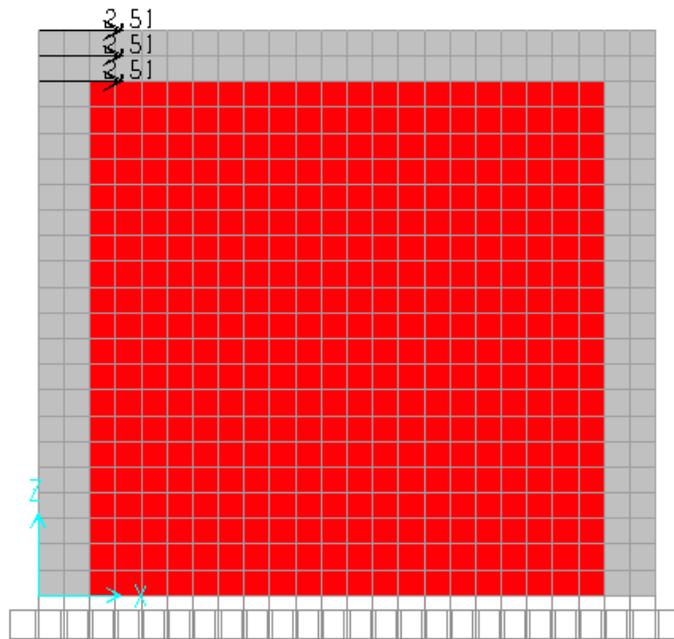


Figura A.7: Modelación de muro de esbeltez 1 y de la carga lateral aplicada (tonf).

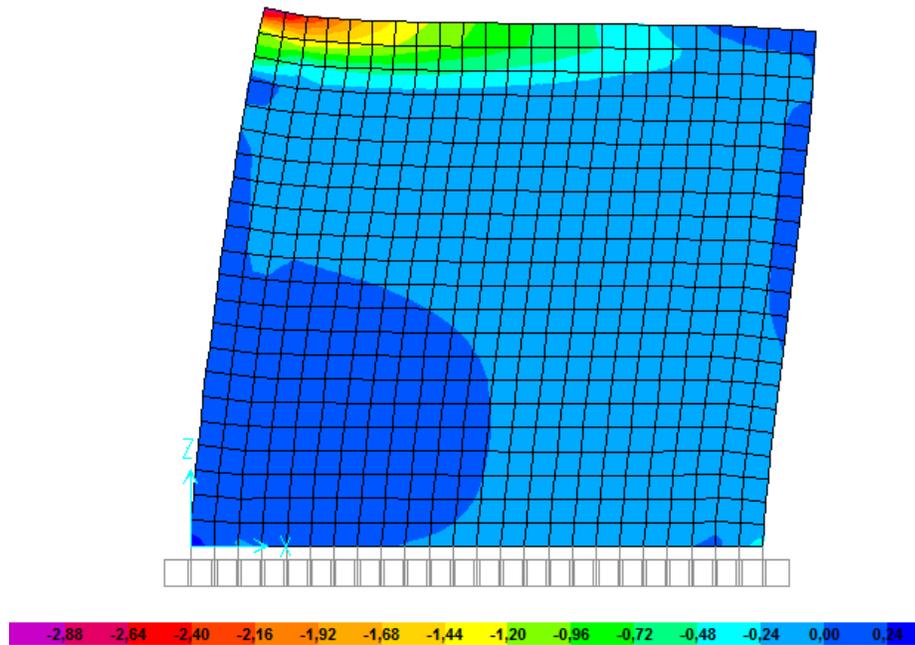


Figura A.8: Tensiones normales horizontales, f_p (MPa), en muro de esbeltez 1.

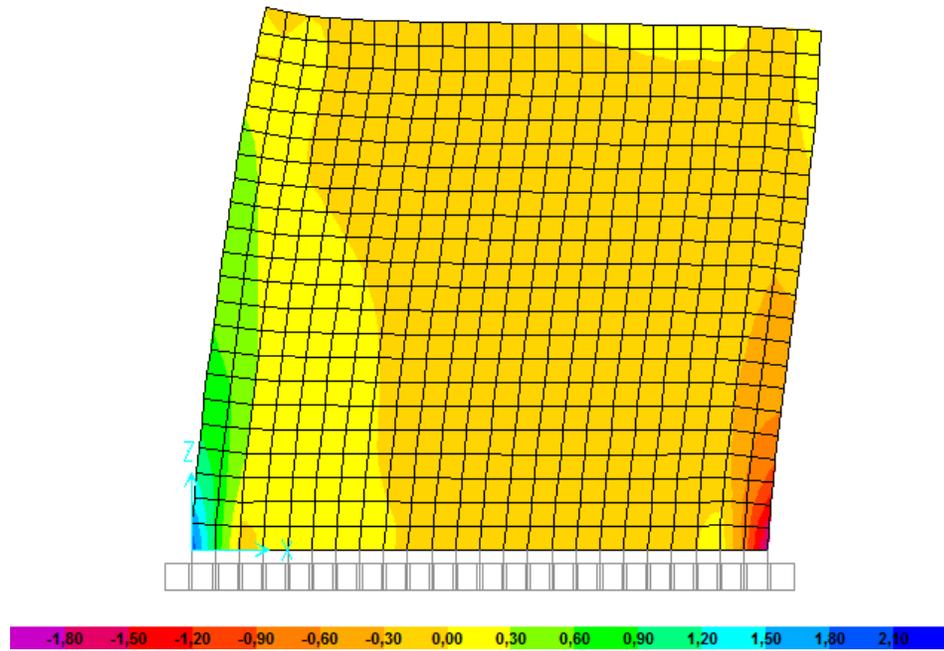


Figura A.9: Tensiones normales verticales, f_n (MPa), en muro de esbeltez 1.

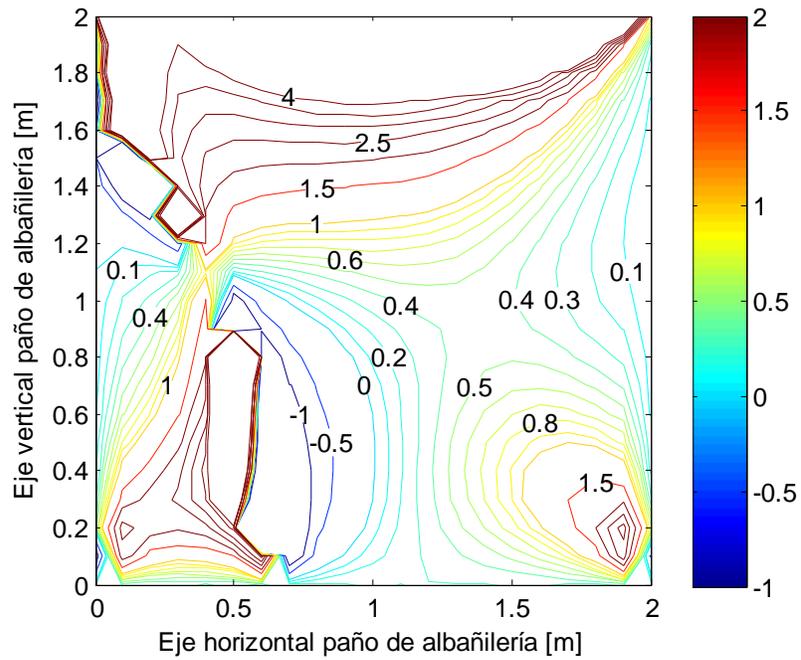


Figura A.10: Distribución del coeficiente χ en el interior del paño de albañilería de un muro de esbeltez 1.

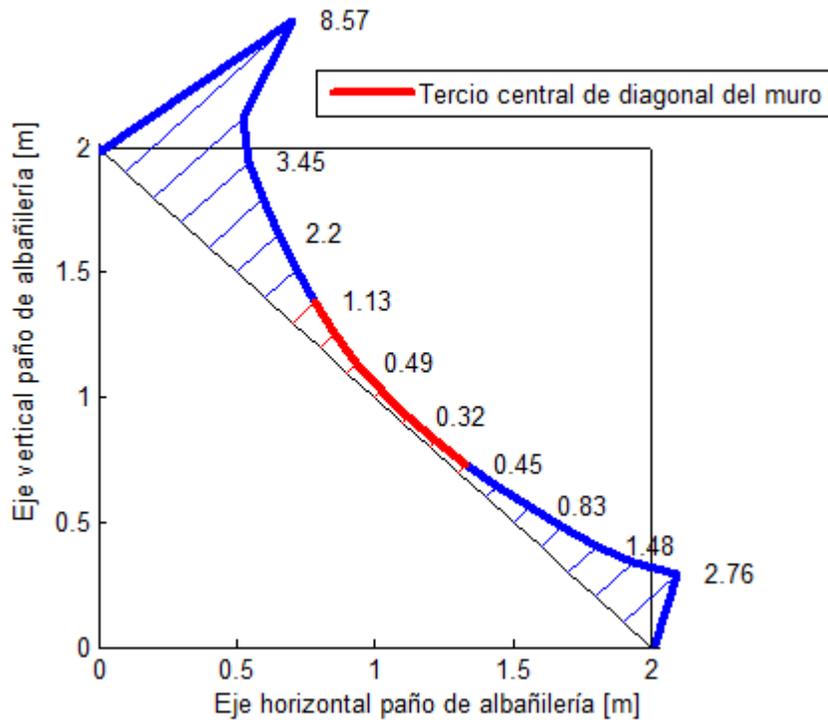


Figura A.11: Valores del coeficiente χ a lo largo de la diagonal del paño de albañilería de un muro de esbeltez 1.

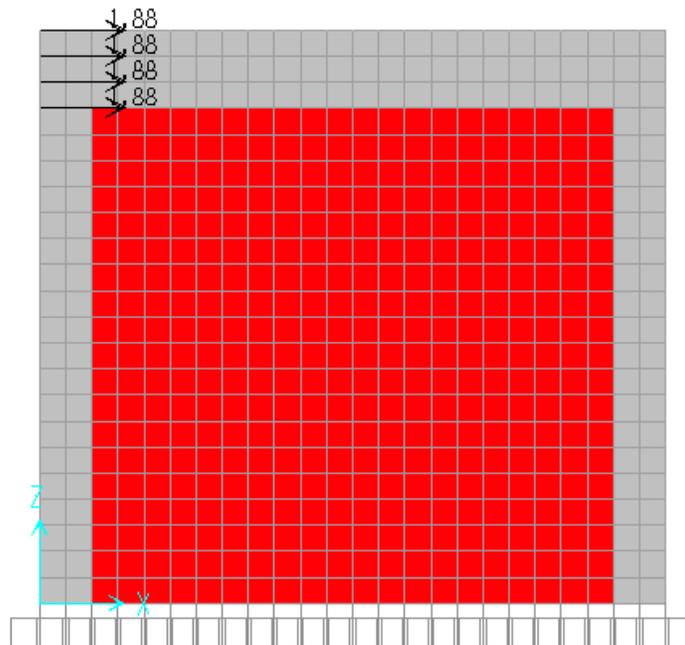


Figura A.12: Modelación de muro de esbeltez 1 con una cadena de 30cm de alto y de la carga lateral aplicada (tonf).

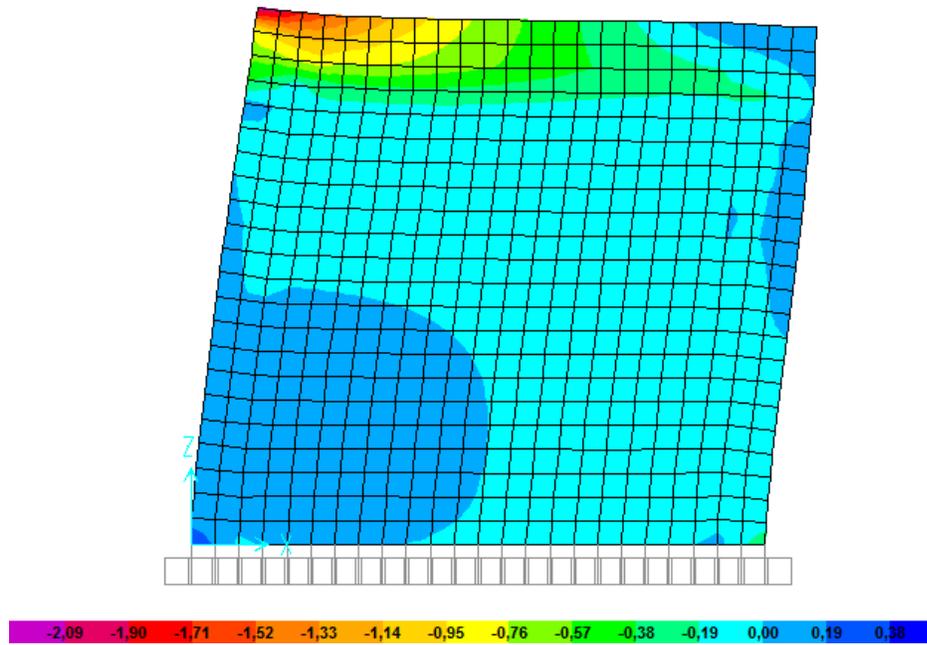


Figura A.13: Tensiones normales horizontales, f_p (MPa), en muro de esbeltez 1 con cadena de 30cm de alto.

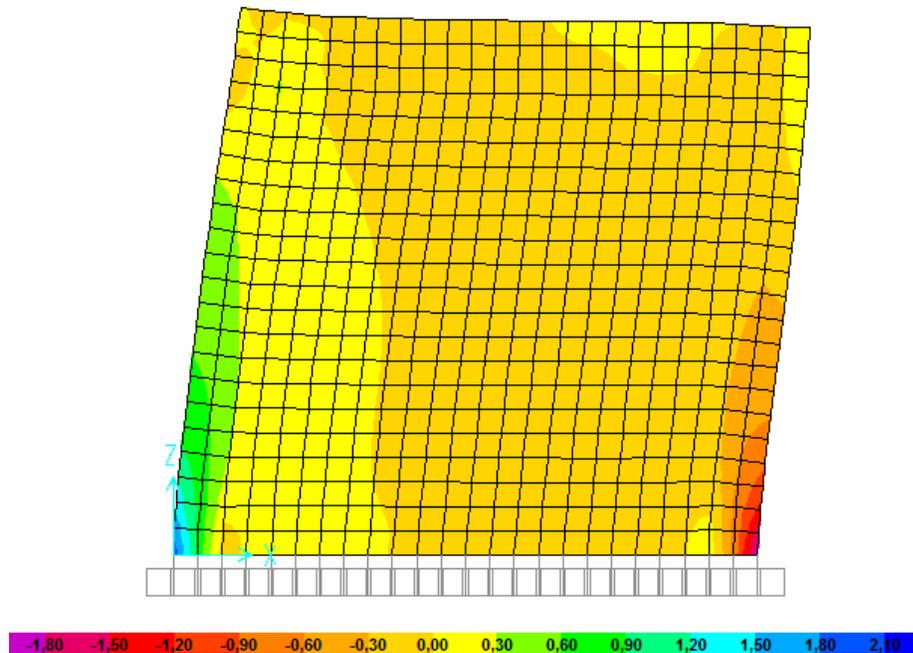


Figura A.14: Tensiones normales verticales, f_n (MPa), en muro de esbeltez 1 con cadena de 30cm de alto.

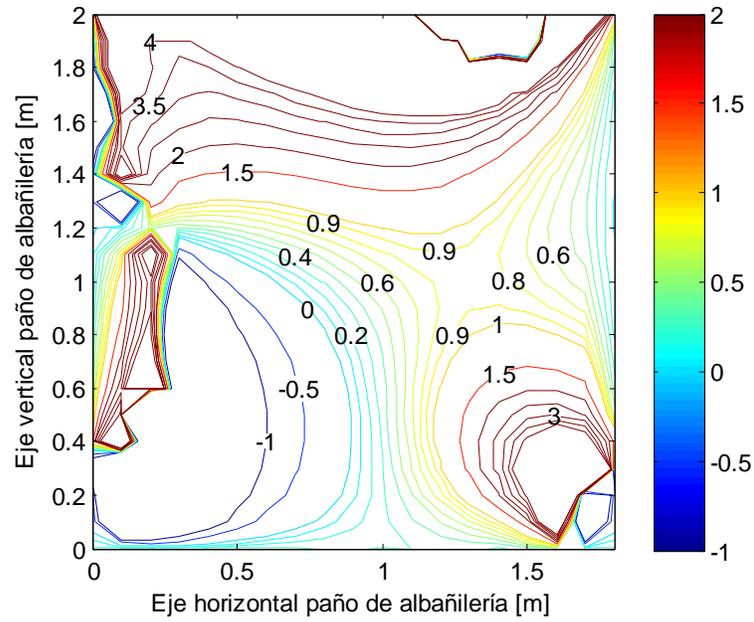


Figura A.15: Distribución del coeficiente χ en el interior del paño de albañilería de un muro de esbeltez 2 con cadena de 30 cm de alto.

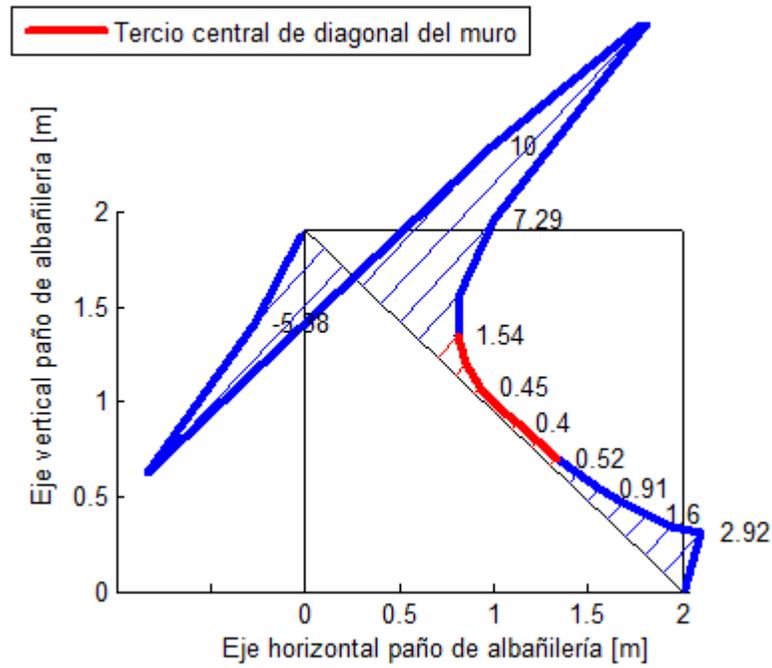


Figura A.16: Valores del coeficiente χ a lo largo de la diagonal del paño de albañilería de un muro de esbeltez 1 con cadena de 30cm de alto.

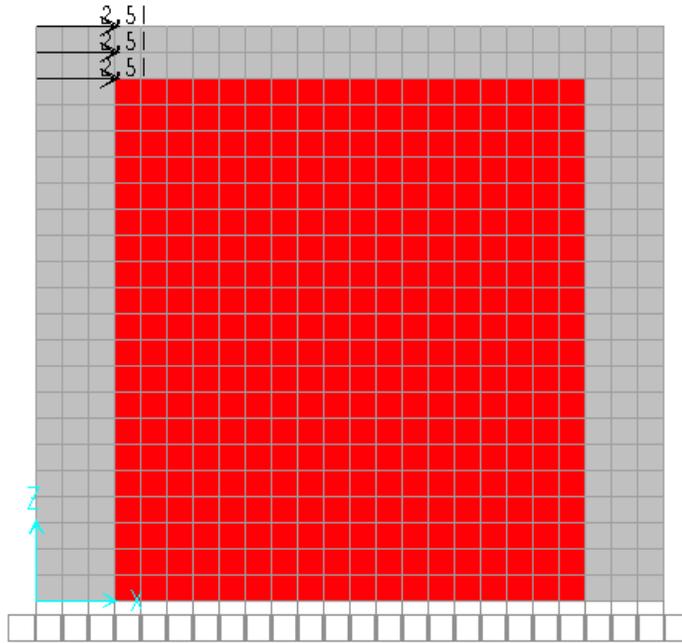


Figura A.17: Modelación de muro de esbeltez 2 con pilares de 30x20 y de la carga lateral aplicada (tonf).

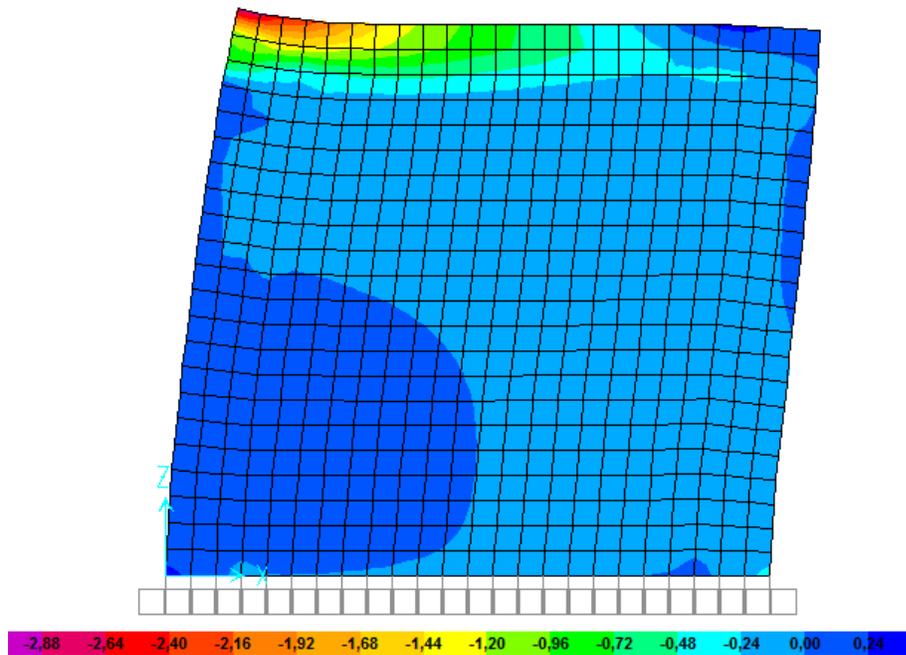


Figura A.18: Tensiones normales horizontales, f_p (MPa), en muro de esbeltez 1 con pilares de 30x20.

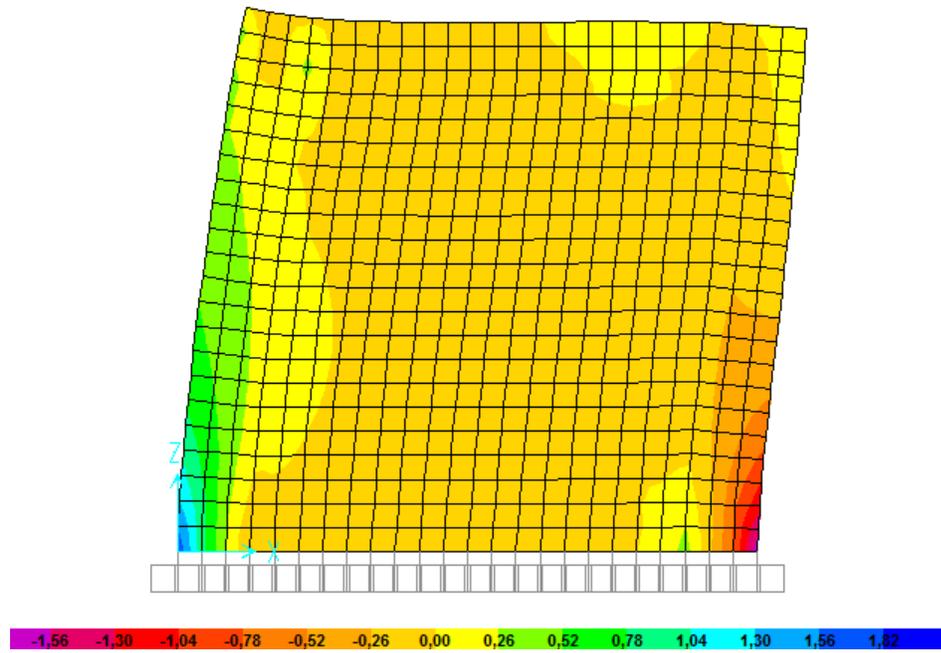


Figura A.19: Tensiones normales verticales, f_n (MPa), en muro de esbeltez 1 con pilares de 30x20.

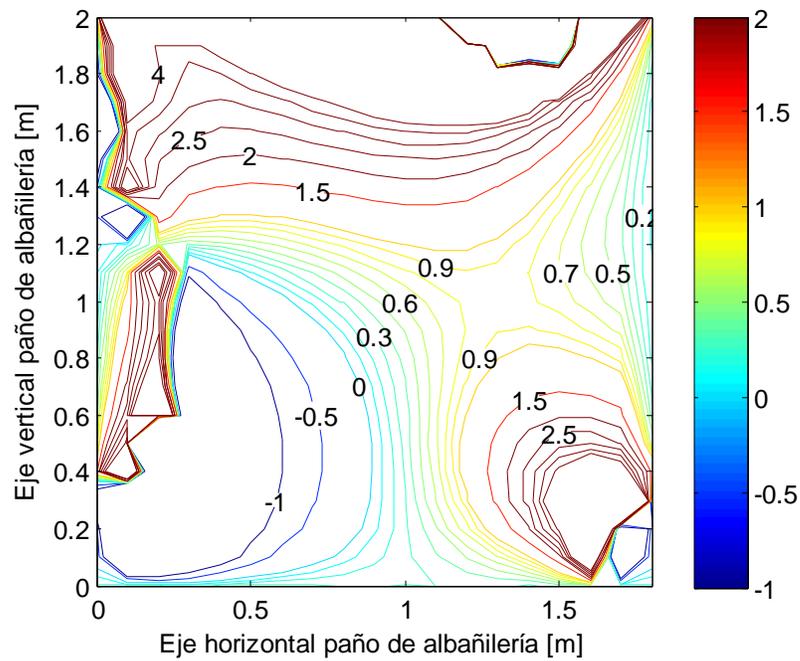


Figura A.20: Distribución del coeficiente χ en el interior del paño de albañilería de un muro de esbeltez 1 con pilar de 30x20.

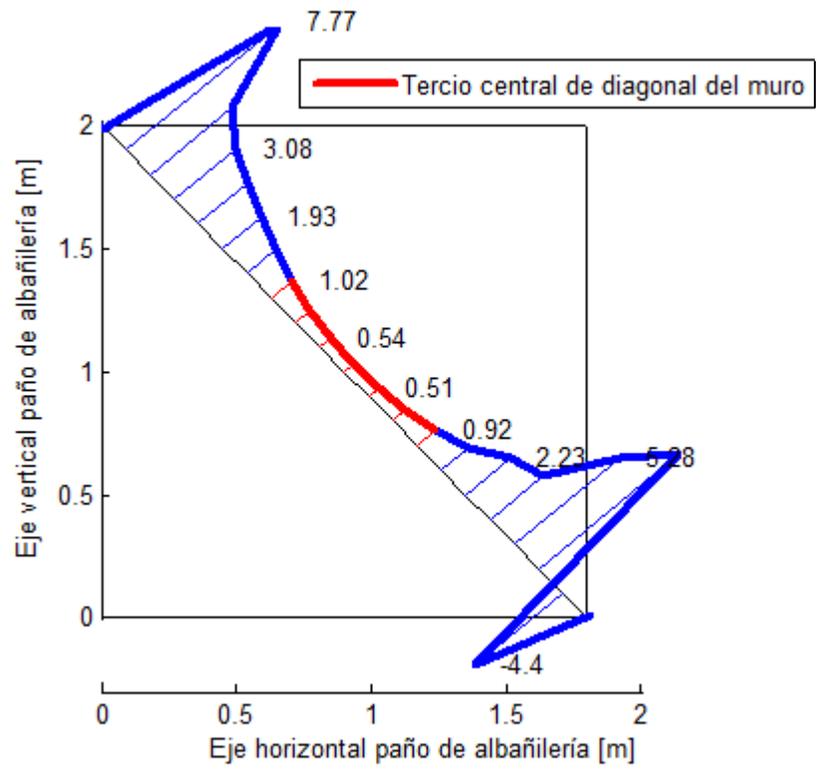


Figura A.21: Valores del coeficiente χ a lo largo de la diagonal del paño de albañilería de un muro de esbeltez 1 con pilar de 30x20.

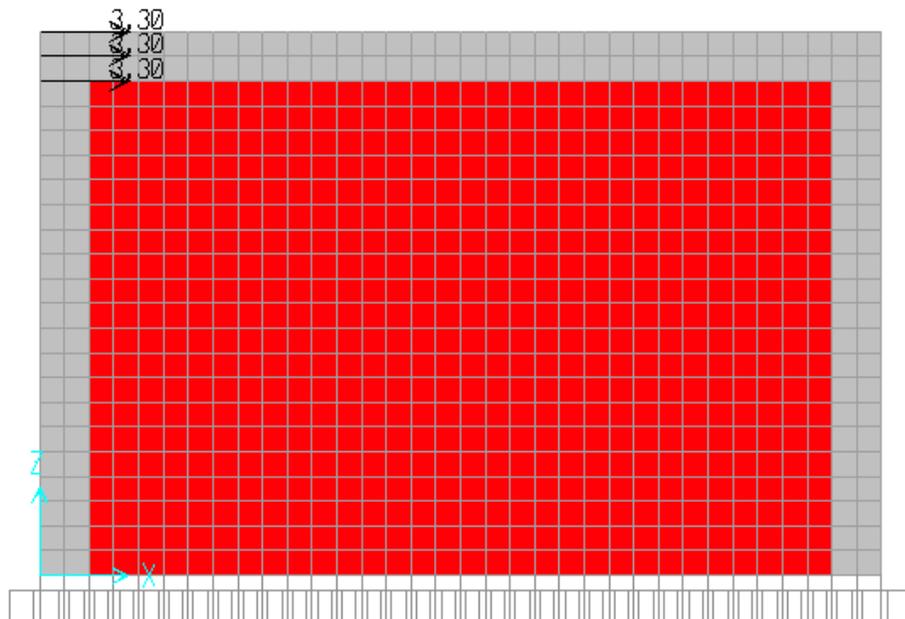


Figura A.22: Modelación de muro de esbeltez 0.67 y de la carga lateral aplicada (tonf).

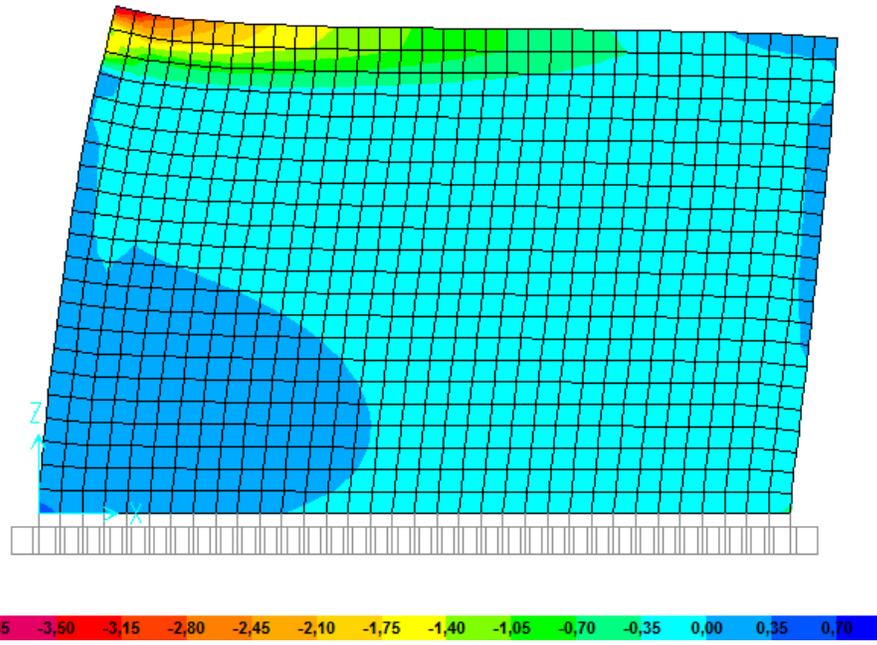


Figura A.23: Tensiones normales horizontales, f_p (MPa), en muro de esbeltez 0.67.

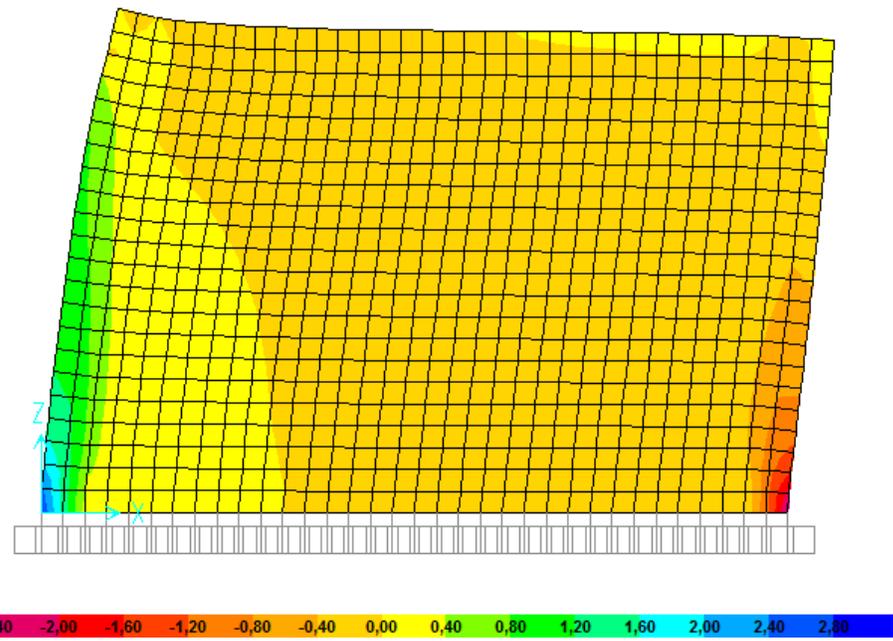


Figura A.24: Tensiones normales verticales, f_n (MPa), en muro de esbeltez 0.67.

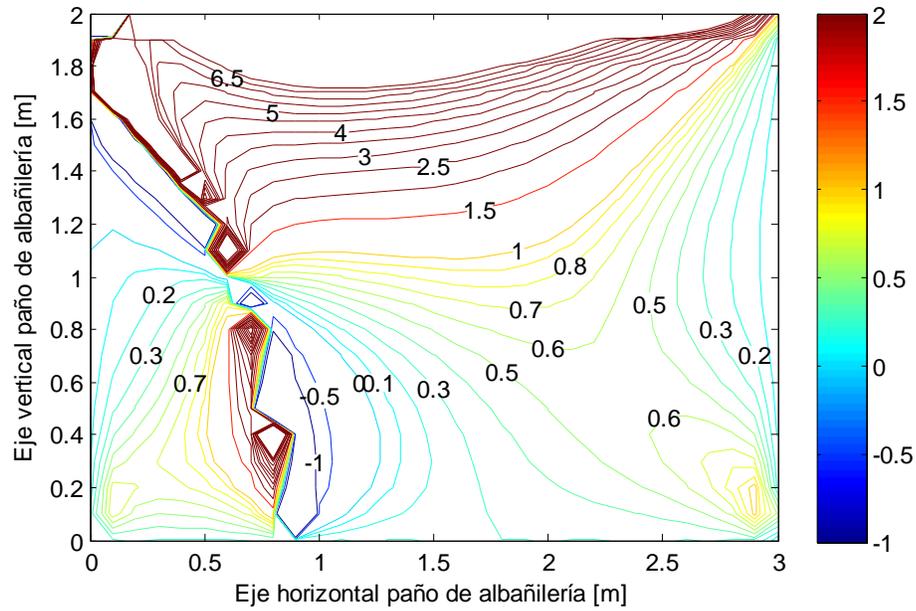


Figura A.25: Distribución del coeficiente χ en el interior del paño de albañilería de un muro de esbeltez 0.67.

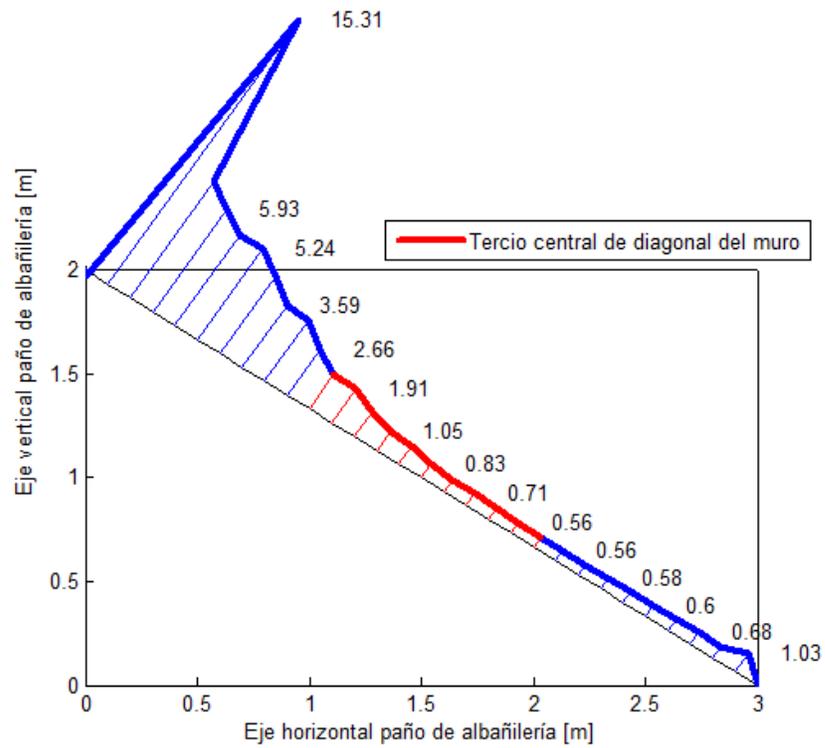


Figura A.26: Valores del coeficiente χ a lo largo de la diagonal del paño de albañilería de un muro de esbeltez 0.67.

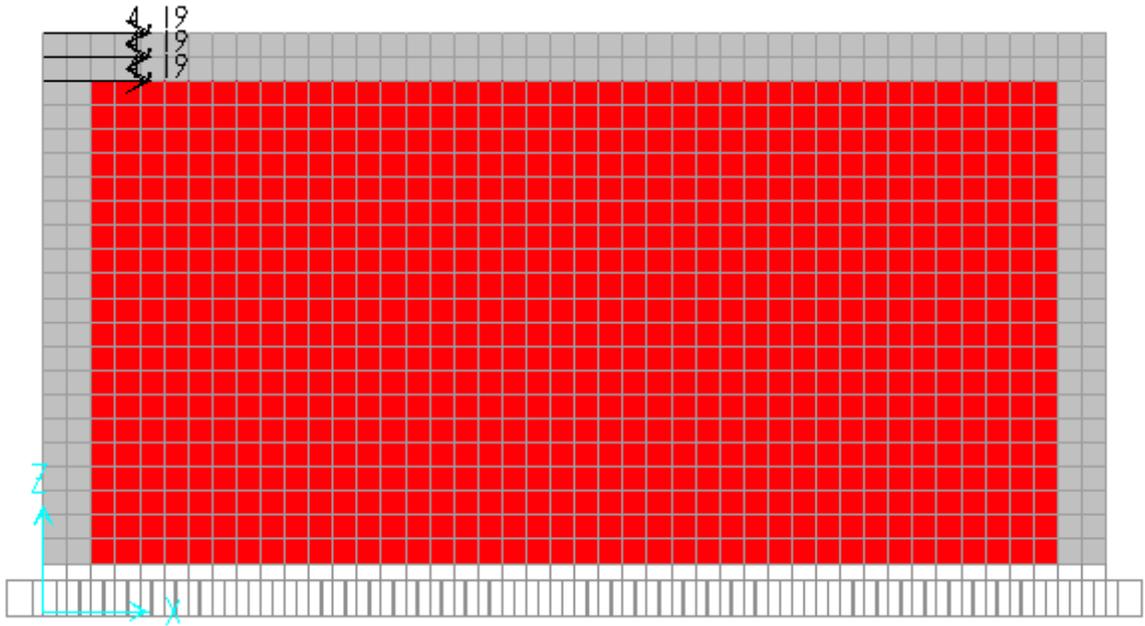


Figura A.27: Modelación de muro de esbeltez 0.5 y de la carga lateral aplicada (tonf).

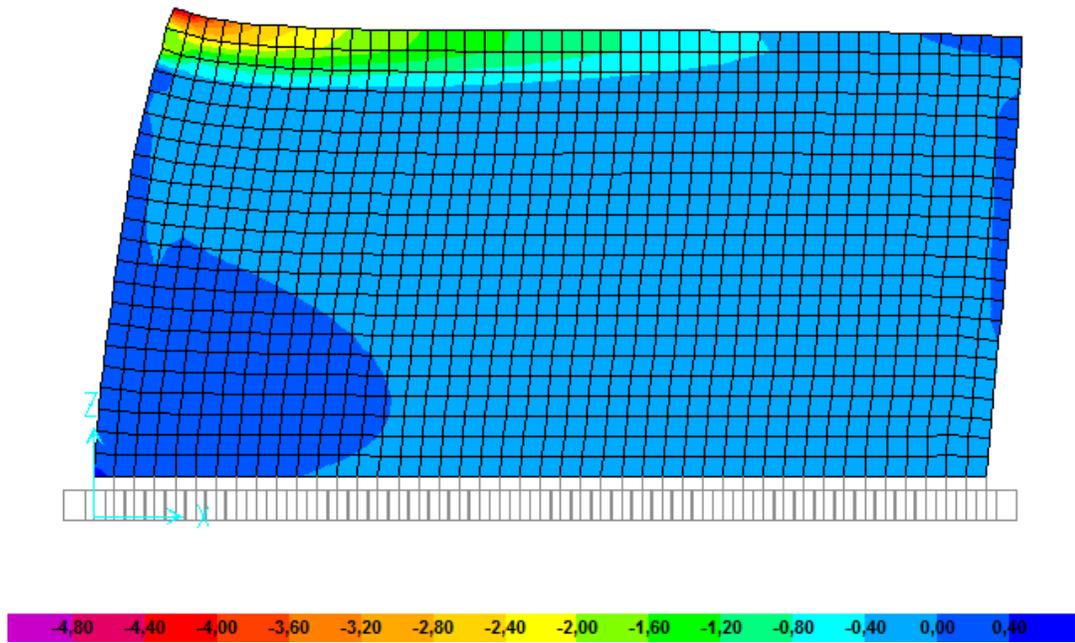


Figura A.28: Tensiones normales horizontales, f_p (MPa), en muro de esbeltez 0.5.

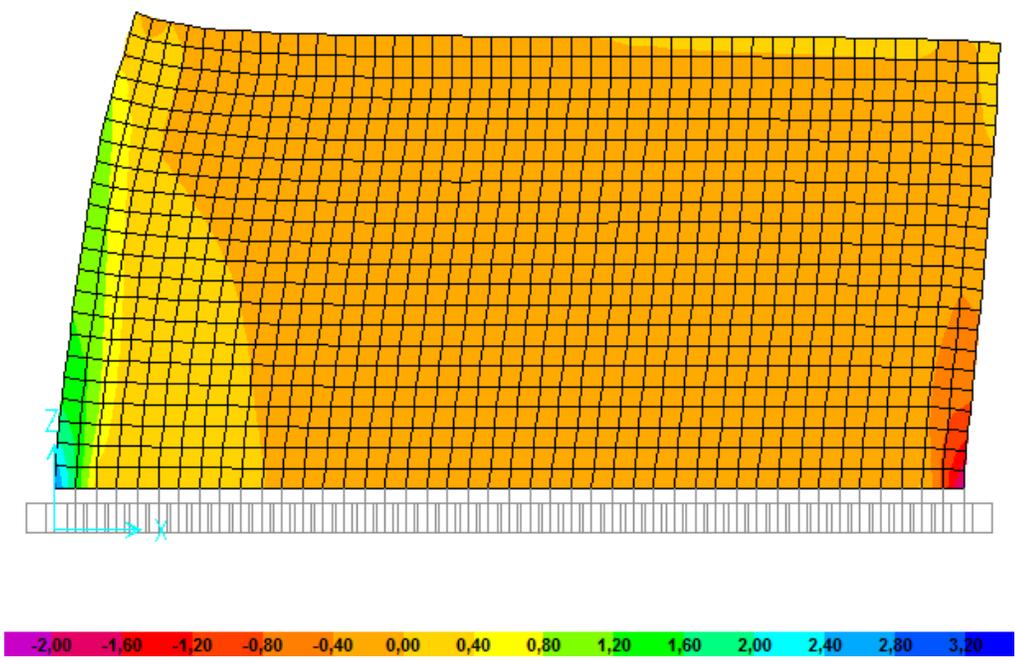


Figura A.29: Tensiones normales verticales, f_n (MPa), en muro de esbeltez 0.5.

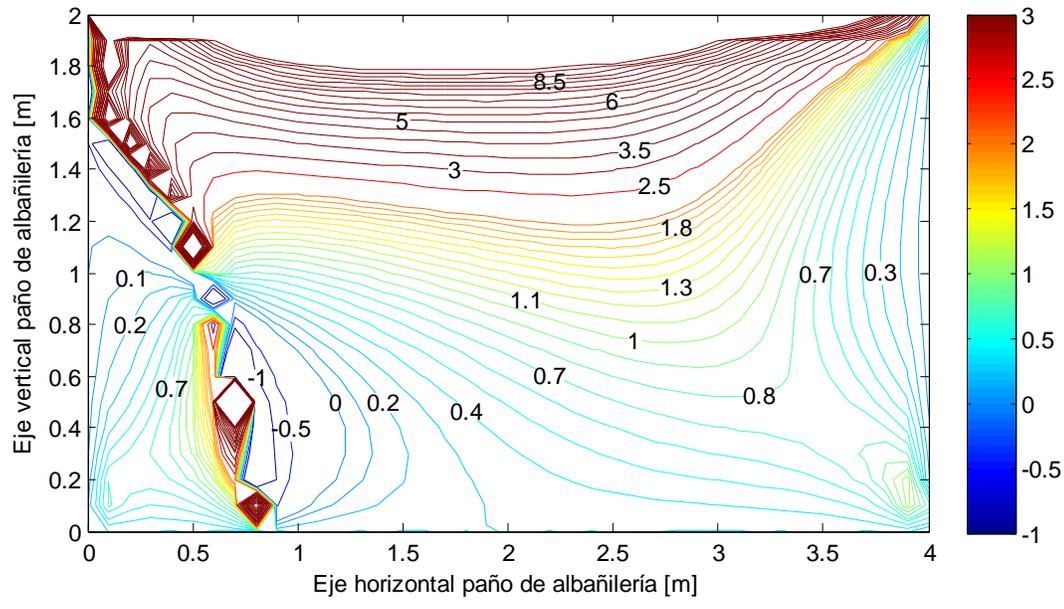


Figura A.30: Distribución del coeficiente γ en el interior del paño de albañilería de un muro de esbeltez 0.5.

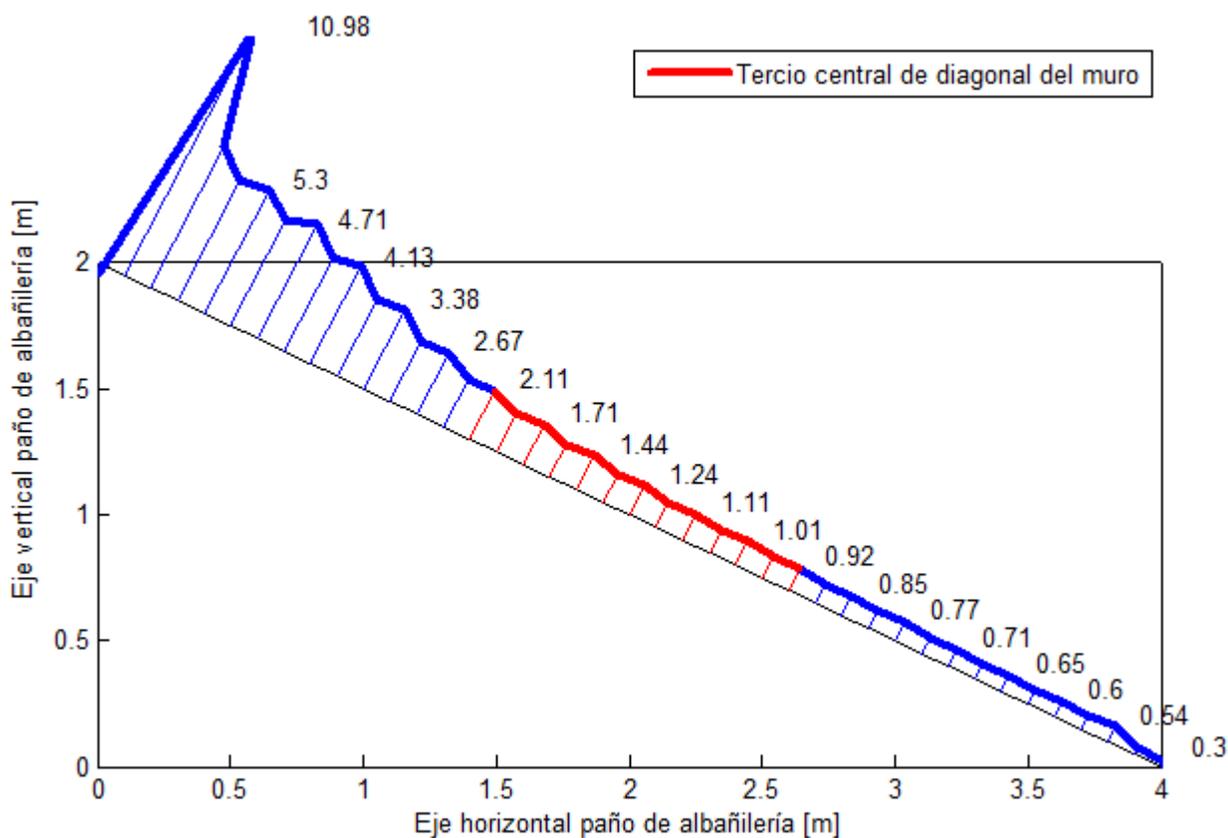


Figura A.31: Valores del coeficiente χ a lo largo de la diagonal del paño de albañilería de un muro de esbeltez 0.5.

Para obtener un valor del coeficiente χ de cada muro, se promedian los valores correspondientes a los puntos ubicados en el tercio central de la diagonal del paño de albañilería. Los valores del coeficiente χ para cada uno de los modelos analizados se entregan en la Tabla A.1

Tabla A.1: Valores del coeficiente χ obtenidos mediante FEM.

$\lambda = \frac{h_m}{l_m}$ []	h_p [cm]	b_p [cm]	h_c [cm]	b_c [cm]	χ []
0,5	20	20	20	20	1,33
0,67	20	20	20	20	1,03
1	20	20	20	20	0,55
1	20	20	30	20	0,63
1	30	20	20	20	0,69
2	20	20	20	20	-0,003

De la Tabla A.1 se observa que los valores del coeficiente χ de los muros de esbeltez 1 al aumentar las dimensiones de la cadena o los pilares de confinamiento son superiores en un 13% y un 25%, respectivamente, respecto al valor obtenido con las dimensiones mínimas de los elementos de confinamiento. De acuerdo al análisis del capítulo 3 y los resultados del capítulo 4, este aumento del coeficiente χ no tiene un impacto significativo en los resultados que entrega el modelo teórico, por lo que se justifica expresar el coeficiente χ sólo en función de la esbeltez del muro.

Para obtener una expresión que permita obtener el valor del coeficiente χ en función de la esbeltez del muro de albañilería confinada (λ), se realiza un análisis de regresión polinomial con los valores de la Tabla A.1, resultando la ecuación:

$$\chi = -0.156 \cdot \lambda^3 + 1.216 \cdot \lambda^2 - 3.108 \cdot \lambda + 2.602 \quad (3.1)$$

En la Figura A.32 se muestra gráficamente el valor que se obtiene con la ecuación (3.1) junto con los valores de la Tabla A.1

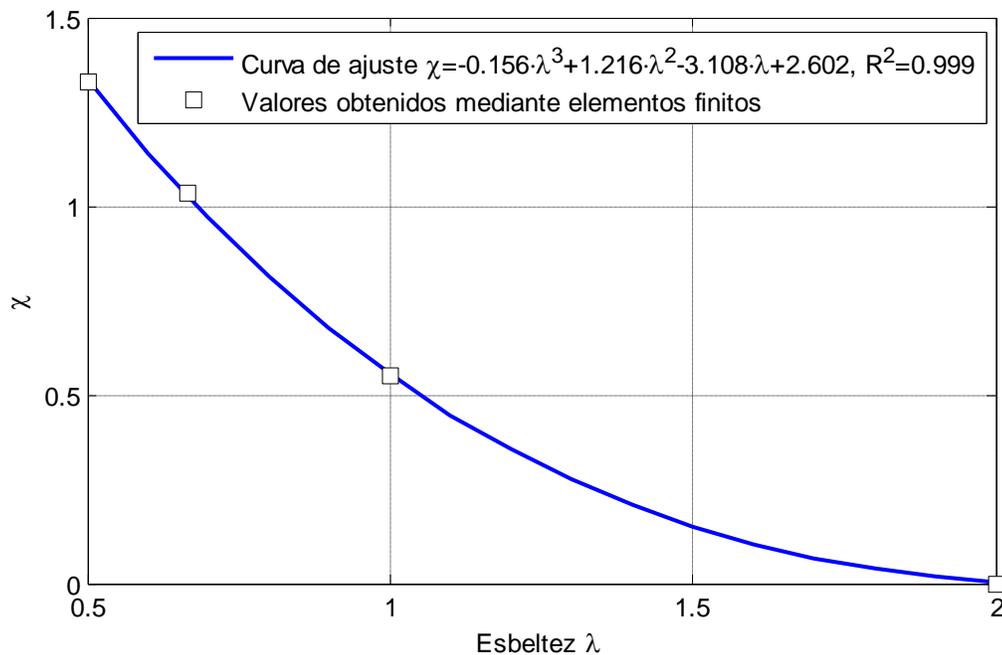


Figura A.32: Coeficiente χ en función de la esbeltez del paño de albañilería.

A.3. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE LOS MUROS CON PAÑO DE ALBAÑILERÍA DILATADO DE LOS ELEMENTOS DE CONFINAMIENTO

El modelo macro de tipo puntal-tensor se basa en la distribución de las tensiones principales de compresión, f_1 , y de tracción, f_2 , a lo largo de la diagonal del paño de albañilería, comprobándose que las tensiones principales de tracción son de baja magnitud y se producen en el centro del panel. Según Crisafulli, la relación entre las tensiones f_1 y f_2 es del orden de 7 a 10.

Para corroborar estas características, se analizan muros con los elementos de confinamiento dilatados del paño de albañilería, de manera de tener una distribución de tensiones como la mostrada en la Figura A.33, que permita juzgar la precisión de los supuestos establecidos al formular el modelo macro.

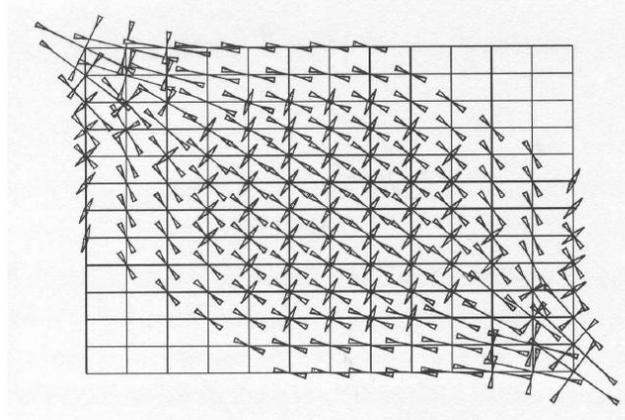


Figura A.33: Distribución de tensiones en el paño de albañilería dilatado de los elementos de confinamiento (Crisafulli, 2002)

Con este propósito, en este Anexo, se usan los términos siguientes:

$$\gamma = \frac{f_1}{f_2} \quad (\text{A.1})$$

$$\beta = \frac{\theta}{\theta_m} \quad (\text{A.2})$$

Donde f_1 : Tensión principal de compresión
 f_2 : Tensión principal de tracción
 θ : Ángulo que forma la tensión f_1 con la horizontal del paño de albañilería
 θ_m : Ángulo que forman la diagonal con la horizontal del paño de albañilería

Los muros que se analizan tienen esbeltez igual a: 0.6, 0.8, 1 y 2, con cadenas 20/20 y pilares 20/20.

En las figuras A.34, A.37, A.40 y A.43 se muestra la distribución de tensiones principales en cada modelo.

En las figuras A.35, A.38, A.41 y A.44 se muestra, mediante curvas de iso-valor, la forma en que se distribuye el valor del *coeficiente* γ en el paño de albañilería

En las figuras A.36, A.39, A.42 y A.45 se muestra, mediante curvas de iso-valor, la forma en que se distribuye el valor del *coeficiente* β en el paño de albañilería

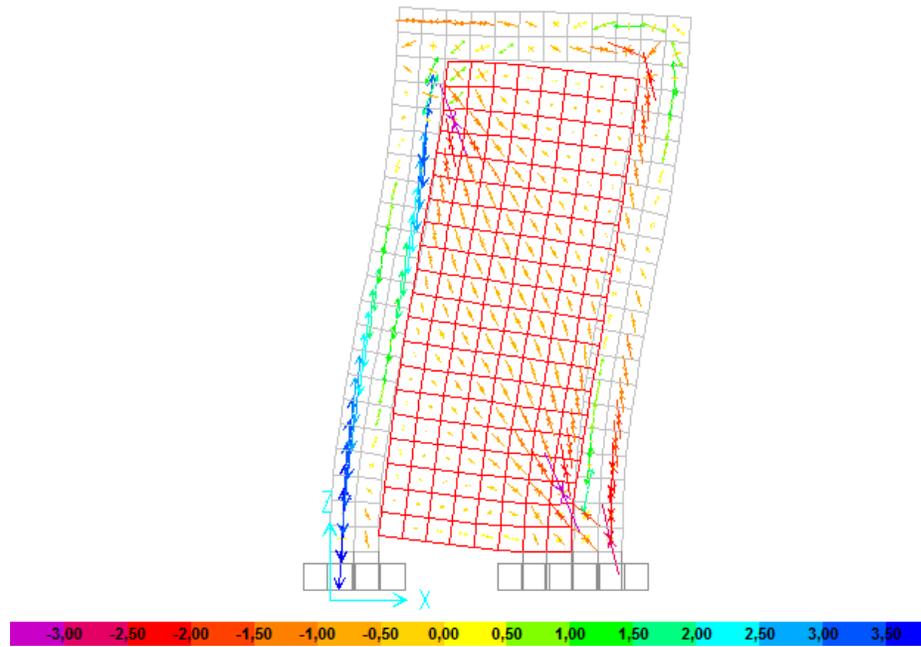


Figura A.34: Tensiones principales (MPa) en el paño de albañilería de un muro de esbeltez 2.

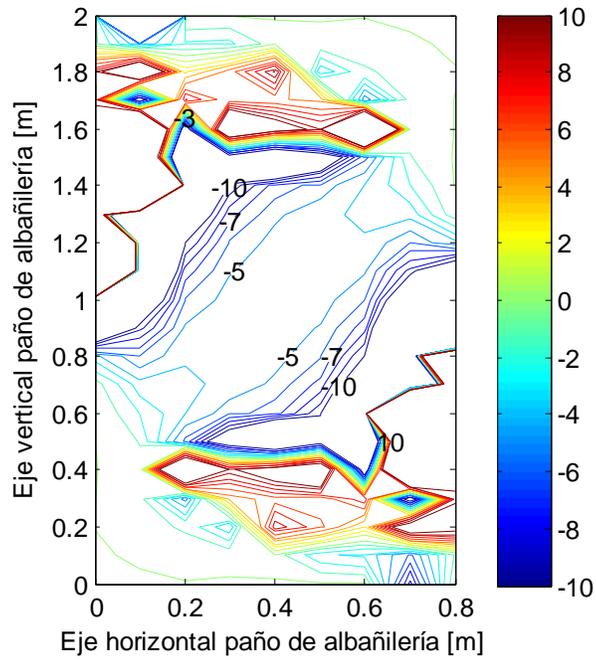


Figura A.35: Distribución del valor del coeficiente γ en el paño de albañilería de un muro de esbeltez 2.

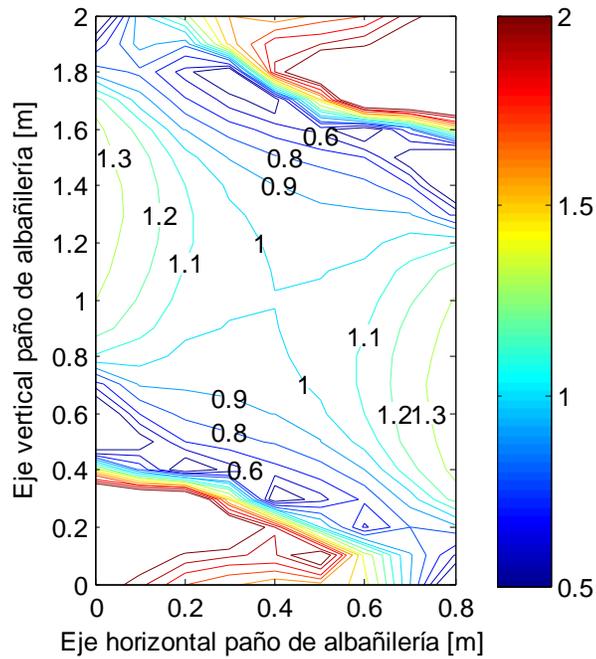


Figura A.36: Distribución del valor del coeficiente β en el paño de albañilería de un muro de esbeltez 2.

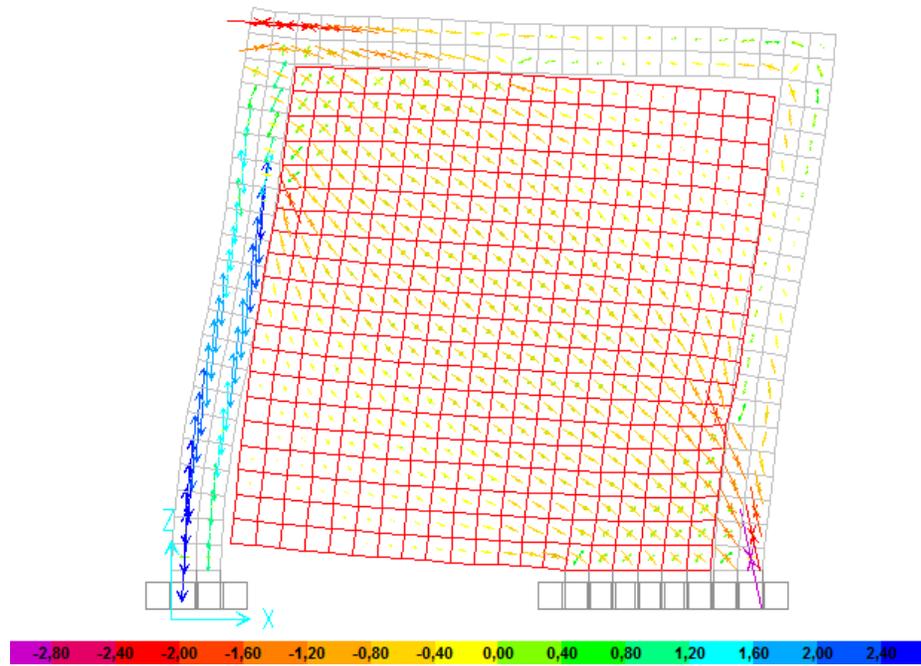


Figura A.37: Tensiones principales (MPa) en el paño de albañilería de un muro de esbeltez 1.

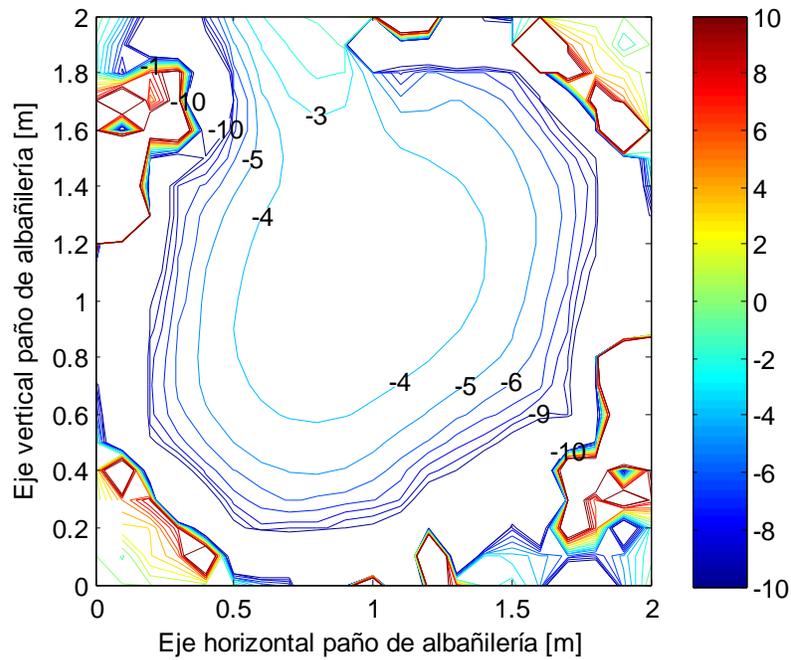


Figura A.38: Distribución del valor del coeficiente γ en el paño de albañilería de un muro de esbeltez 1.

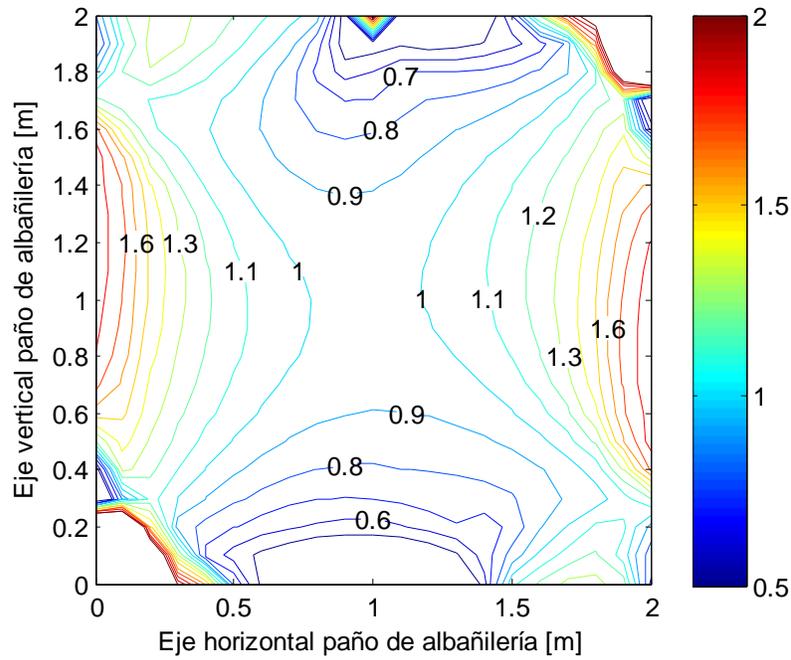


Figura A.39: Distribución del valor del coeficiente β en el paño de albañilería de un muro de esbeltez 1.

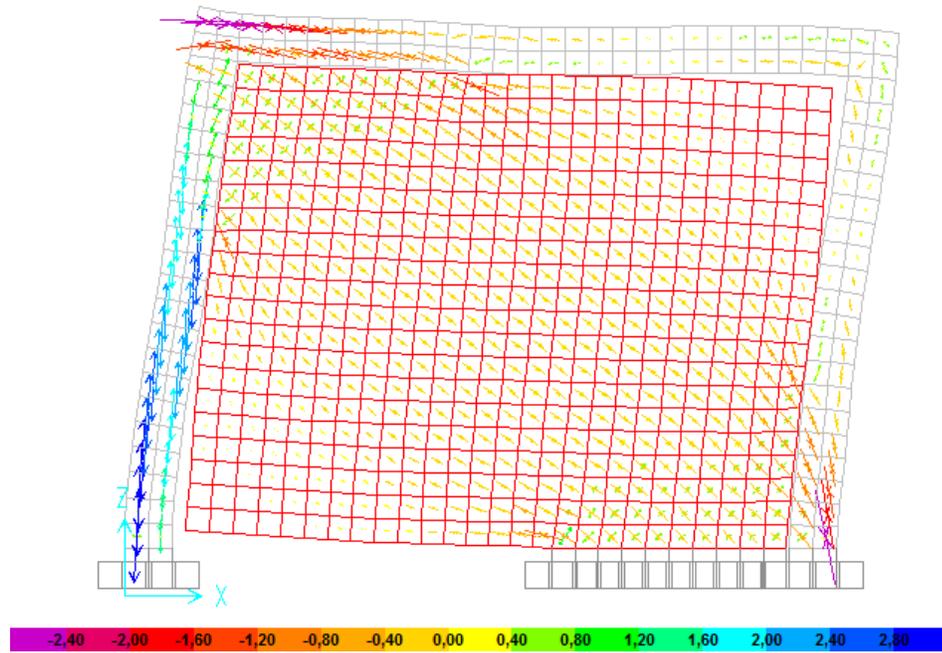


Figura A.40: Tensiones principales (MPa) en el paño de albañilería de un muro de esbeltez 0.8.

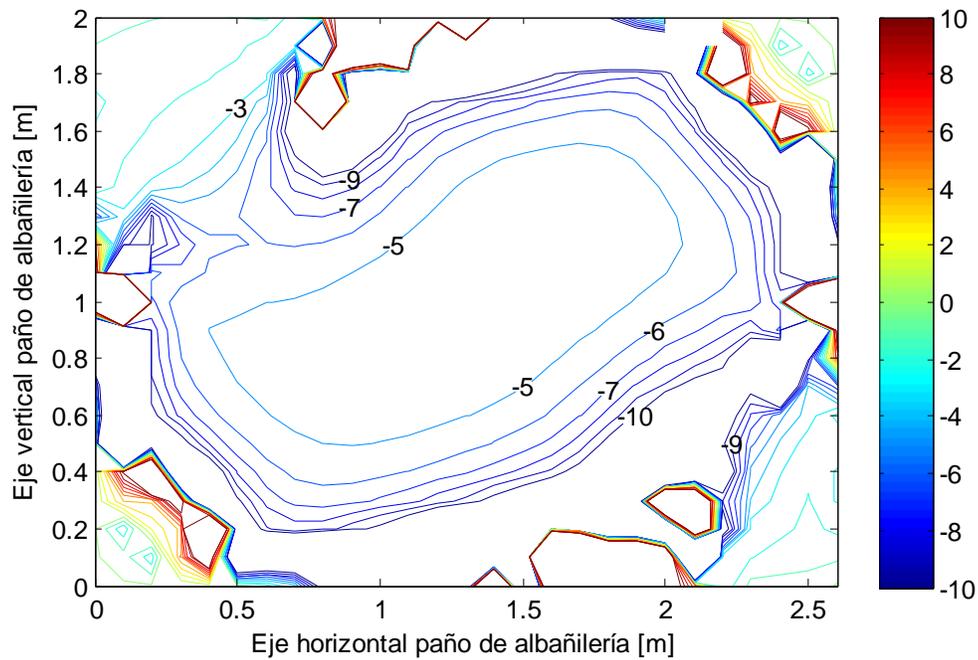


Figura A.41: Distribución del valor del coeficiente γ en el paño de albañilería de un muro de esbeltez 0.8.

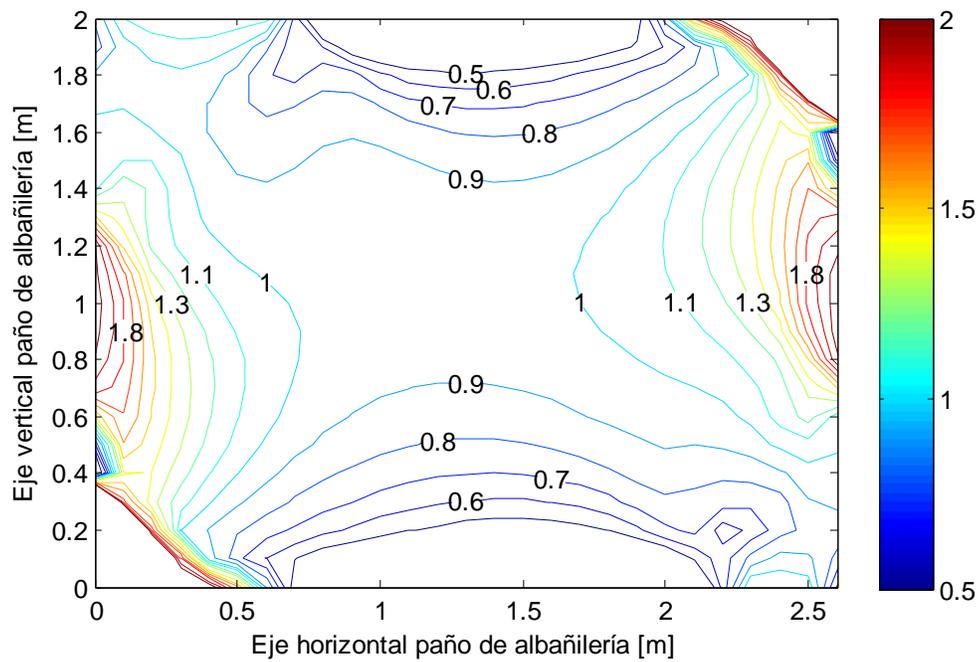


Figura A.42: Distribución del valor del coeficiente β en el paño de albañilería de un muro de esbeltez 0.8.

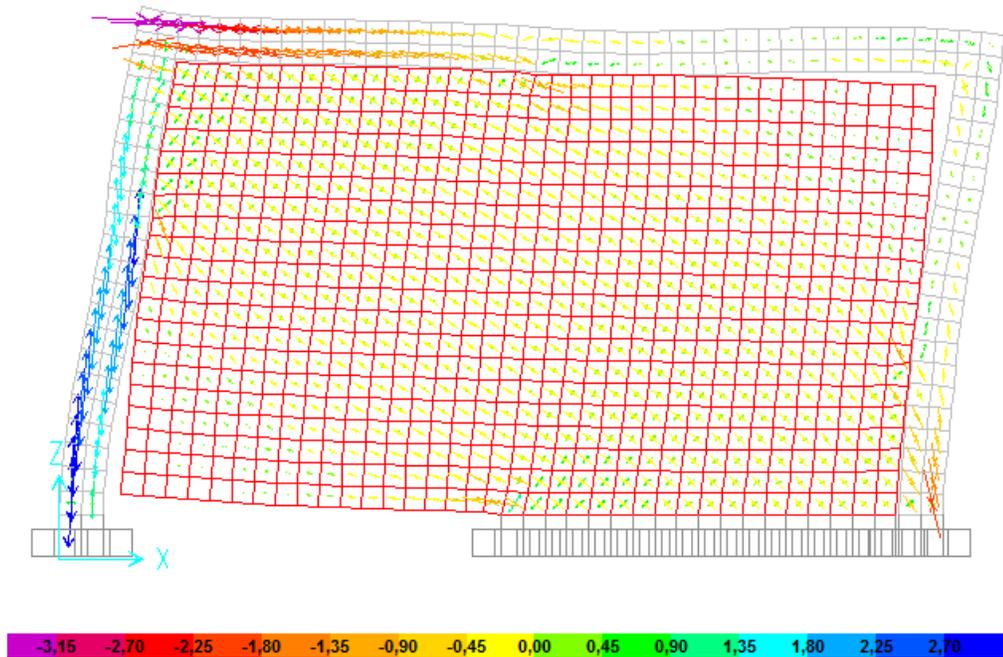


Figura A.43: Tensiones principales (MPa) en el paño de albañilería de un muro de esbeltez 0.6.

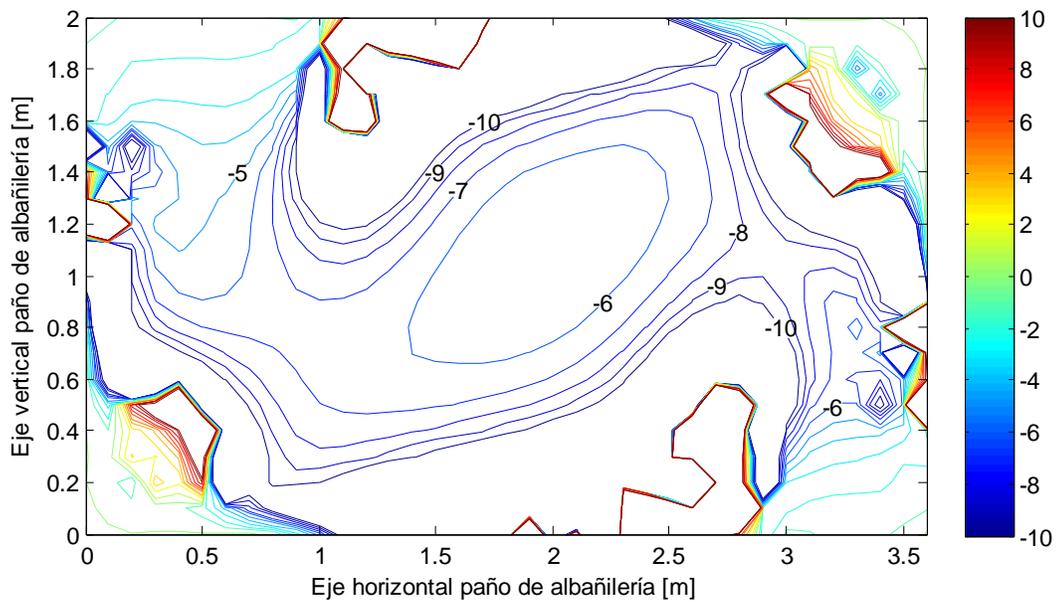


Figura A.44: Distribución del valor del coeficiente γ en el paño de albañilería de un muro de esbeltez 0.6.

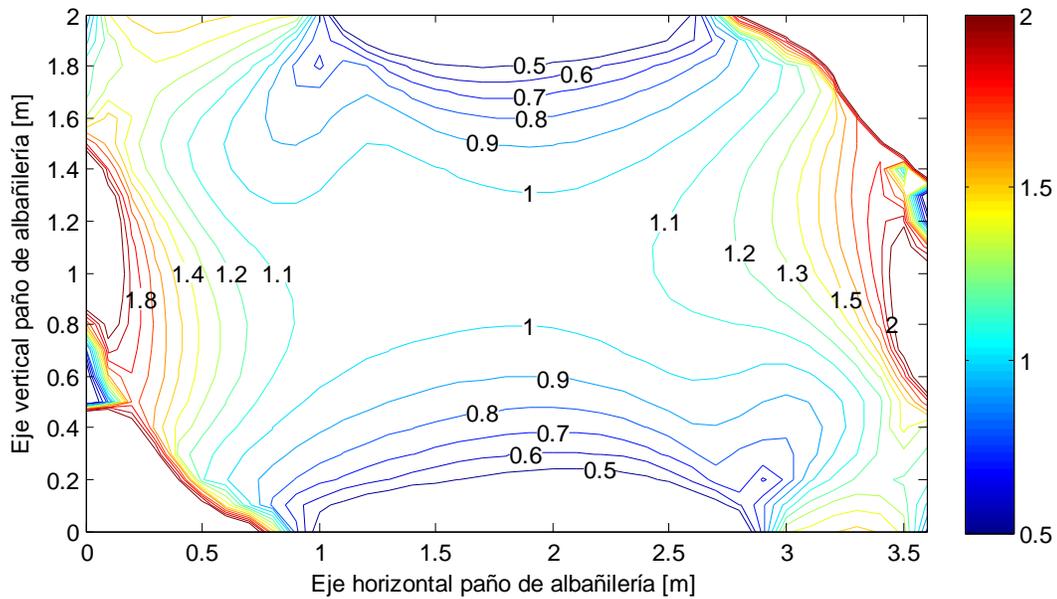


Figura A.45: Distribución del valor del coeficiente β en el paño de albañilería de un muro de esbeltez 0.6.

De las figuras que entregan información sobre la distribución del valor del coeficiente γ , se observa que sus valores son similares a los obtenidos por Crisafulli (1997) o Riddington y Stafford Smith (1977), quienes entregan valores del coeficiente γ del orden de 6.7 a 11.5 veces; salvo en el caso del muro con esbeltez igual a 1, donde los valores son menores, pero aún con la tensión f_2 siendo considerablemente menor a la tensión f_1 . Por lo tanto, despreciar la presencia de la tensión f_2 tiene respaldo en los resultados de estos modelos, y permite simplificar las ecuaciones que determinan la resistencia de los modos de falla del paño de albañilería.

De las figuras que entregan información sobre el coeficiente β , se observa que los valores obtenidos en el centro del paño son aproximadamente iguales a 1.0, por lo que suponer que $\theta = \theta_m$ se justifica a la luz de estos resultados.

ANEXO B:

ANTECEDENTES EXPERIMENTALES

B.1. INTRODUCCIÓN

En este Anexo se entregan los antecedentes experimentales de los muros utilizados para calibrar el modelo teórico propuesto para determinar la resistencia al corte de un muro de albañilería confinada.

Con este propósito se entregan la carga de agrietamiento diagonal y la carga máxima obtenida de los ensayos hechos en Chile a 22 muros de albañilería confinada. Los muros fueron construidos con materiales nacionales y fueron utilizados por Cabezas (2011) con el mismo propósito.

Además, en este Anexo se incluyen los valores de los parámetros para aplicar el modelo los cuales se obtuvieron del trabajo de Cabezas (2011).

B.2. ANTECEDENTES EXPERIMENTALES

Los datos experimentales corresponden a muros ensayados en Chile entre 1987 y 2004, construidos con materiales nacionales. Se trata de 22 muros de albañilería confinada ensayados en voladizo sin armadura horizontal distribuida en el interior del paño de albañilería. Los muros fueron sometidos a cargas laterales alternadas con o sin presencia de carga vertical. Los muros representan la calidad de los materiales y de la mano de obra existente en el país.

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 unidades cerámicas hechas a máquina del tipo rejilla con huecos y esbeltez igual a 1.0, ensayados por Diez (1987).
- Serie MRE: Dos muros construidos con unidades cerámicas hechas a máquina del tipo rejilla con huecos y esbeltez igual a 2.0, ensayados por Diez (1987).
- Serie A: Cinco muros construidos con unidades cerámicas hechas a máquina del tipo rejilla con huecos 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 unidades cerámicas macizas de fabricación artesanal 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 unidades cerámicas hechas a máquina del tipo rejilla con huecos 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 realizados por Galleguillos y Valenzuela (2009).
- Serie MLC: Dos muros construidos con unidades cerámicas hechas a máquina del 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).

B.2.1. Datos experimentales

La información experimental necesaria para aplicar el modelo teórico propuesto es la que se necesita para construir las envolventes de falla del paño de albañilería y para 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, en la Tabla B.1 se destacan los datos disponibles.

Tabla B.1: Datos experimentales disponibles para la construcción de las envolventes de falla del paño de albañilería.

Autor	Serie	θ	b/d	τ_0	μ	χ	F	f'_{tb}	f'_m
Diez	MRG	√	√	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	√
Diez	MRE	√	√	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	√
Herrera	A	√	√	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	√
Herrera	B	√	√	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	√
Munoz	C11	√	√	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	√
Munoz	C12	√	√	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	√
Galleguillos	MV	√	√	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I
Ogaz	MLC	√	√	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	√
Ogaz	MBH	√	√	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	√

Donde:

√: Dato experimental disponible

S/I: Sin información experimental.

B.2.2. Propiedades geométricas y mecánicas de los muros ensayados

En esta sección se detalla la información siguiente:

- Denominación de los muros ensayados, autor del estudio experimental, esbeltez del muro, tipo de ensayo realizado, nivel de daño alcanzado en los ensayos, tipo de unidad y de mortero usados en la construcción de los muros y tipo de unión entre el paño y los pilares de confinamiento (Tabla B.2^{iv})
- Propiedades geométricas del paño de albañilería y de los elementos de confinamiento de hormigón armado (ver Tabla B.3 y Tabla B.4^v)
- Propiedades mecánicas de los materiales usados en la construcción de los muros (Tabla B.5)

^{iv}Donde:

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

E : muro con unión panel-marco endentada

S/E : muros sin unión panel-marco endentada

^vDonde:

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 B.2: Propiedades de los muros ensayados (Cabezas, 2011).

Autor	Serie	Muros	Esbeltez λ	Tipo de ensayo			Unidades		Mortero	Conexión
				Tipo de ensayo	Nivel de daño	Carga axial [kN]	Unidad	Comercial		
Diez (1987)	MRG	MRG1	1	Voladizo	Severo	0	Cerámica/Rejilla	Titán Liviano	1:1/2:4	E
		MRG2	1	Voladizo	Severo	0	Cerámica/Rejilla	Titán Liviano	1:1/2:4	E
	MRE	MRE1	2	Voladizo	Severo	0	Cerámica/Rejilla	Titán Liviano	1:1/2:4	E
		MRE2	2	Voladizo	Severo	0	Cerámica/Rejilla	Titán Liviano	1:1/2:4	E
Herrera (1992)	A	A11	1	Voladizo	Leve	0	Cerámica/Rejilla	Titán Liviano	1:1/2:4	E
		A12	1	Voladizo	Severo	80	Cerámica/Rejilla	Titán Liviano	1:1/2:4	E
		A13	1	Voladizo	Leve	160	Cerámica/Rejilla	Titán Liviano	1:1/2:4	E
		A14	1	Voladizo	Severo	160	Cerámica/Rejilla	Titán Liviano	1:1/2:4	E
		A2	1	Voladizo	Severo	80	Cerámica/Rejilla	Titán Liviano	1:1/2:4	S/E
	B	B11	1	Voladizo	Leve	0	Fiscal/Artesanal	Fiscal Princesa	1:1/2:4	E
		B12	1	Voladizo	Severo	160	Fiscal/Artesanal	Fiscal Princesa	1:1/2:4	E
		B13	1	Voladizo	Leve	160	Fiscal/Artesanal	Fiscal Princesa	1:1/2:4	E
		B14	1	Voladizo	Severo	160	Fiscal/Artesanal	Fiscal Princesa	1:1/2:4	E
		B2	1	Voladizo	Severo	80	Fiscal/Artesanal	Fiscal Princesa	1:1/2:4	S/E
Muñoz (1992)	C11	C11	1	Voladizo	Severo	140	Bloque tipo A		1:1/2:4	E
	C12	C12	1	Voladizo	Severo	140	Bloque tipo B		1:1/2:4	E
Galleguillos (2009)	MV	MV1	0,8	Voladizo	Leve	0	MqHv/Rejilla	Princesa	1:1/4:2	E
		MV3	0,7	Voladizo	Leve	0	MqHv/Rejilla	Princesa	1:1/4:2	E
Ogaz (2004)	MLC	MLC-T1-01	0,62	Voladizo	Severo	0	Cerámica/Rejilla	Gran Titán	A14	E
		MLC-T1-02	0,62	Voladizo	Severo	0	Cerámica/Rejilla	Gran Titán	A14	E
	MBH	MBH-T1-01	0,61	Voladizo	Severo	0	Bloque tipo A	Domenico EC-15	A14	E
		MBH-T1-02	0,61	Voladizo	Severo	0	Bloque tipo A	Domenico EC-15	A14	E

Tabla B.3: Propiedades geométricas de los paños de albañilería y de los elementos de confinamiento de H.A. de los muros ensayados (Cabezas, 2011)

Muros	Panel de albañilería y marco					
	L_m [mm]	h_m [mm]	h_p [mm]	h_c [mm]	d_m [mm]	t [mm]
MRG1	2000	2200	200	200	2973	139,2
MRG2	2000	2200	200	200	2973	139,2
MRE1	800	2200	200	200	2341	139,2
MRE2	800	2200	200	200	2341	139,2
A11	2000	2200	200	200	2973	140,3
A12	2000	2200	200	200	2973	140,3
A13	2000	2200	200	200	2973	140,3
A14	2000	2200	200	200	2973	140,3
A2	2000	2200	200	200	2973	140,3
B11	2000	2200	200	200	2973	156
B12	2000	2200	200	200	2973	156
B13	2000	2200	200	200	2973	156
B14	2000	2200	200	200	2973	156
B2	2000	2200	200	200	2973	156
C11	2000	2200	200	200	2973	139,9
C12	2000	2200	200	200	2973	139,9
MV1	2020	1800	200	250	2706	140
MV3	2020	1600	300	250	2577	140
MLC-T1-01	3250	2050	200	200	3843	140
MLC-T1-02	3250	2050	200	200	3843	140
MHB-T1-01	3200	2000	200	200	3774	140
MHB-T1-02	3200	2000	200	200	3774	140

Tabla B.4: Propiedades de las barras de refuerzo de los elementos de confinamiento de los muros (Cabezas, 2011)

Muros	Pilar longitudinal			Pilar transversal			Cadena longitudinal		Cadena transversal		
	Acero	Tipo	f_y [MPa] ^{vi}	z_c	z_n	Tipo	Acero	Tipo	z_c	z_n	Tipo
MRG1	4φ12	A63-42H	445,81	Eφ8 @ 12	Eφ6@20	A44-28H	4φ12	A44-28H	Eφ6@12	Eφ6@20	A44-28H
MRG2	4φ12	A63-42H	445,81	Eφ8 @ 12	Eφ6@20	A44-28H	4φ12	A44-28H	Eφ6@12	Eφ6@20	A44-28H
MRE1	4φ12	A63-42H	445,81	Eφ8 @ 12	Eφ6@20	A44-28H	4φ12	A44-28H	Eφ6@10	*	A44-28H
MRE2	4φ12	A63-42H	445,81	Eφ8 @ 12	Eφ6@20	A44-28H	4φ12	A44-28H	Eφ6@10	*	A44-28H
A11	4φ12	A63-42H	445,81	Eφ8 @ 12	Eφ6@20	A44-28H	4φ12	A63-42H	Eφ6@10	Eφ6@20	A44-28H
A12	4φ12	A63-42H	445,81	Eφ8 @ 12	Eφ6@20	A44-28H	4φ12	A63-42H	Eφ6@10	Eφ6@20	A44-28H
A13	4φ12	A63-42H	445,81	Eφ8 @ 12	Eφ6@20	A44-28H	4φ12	A63-42H	Eφ6@10	Eφ6@20	A44-28H
A14	4φ12	A63-42H	445,81	Eφ8 @ 12	Eφ6@20	A44-28H	4φ12	A63-42H	Eφ6@10	Eφ6@20	A44-28H
A2	4φ12	A63-42H	445,81	Eφ8 @ 12	Eφ6@20	A44-28H	4φ12	A63-42H	Eφ6@10	*	A44-28H
B11	4φ10	A63-42H	440,71	Eφ6@10	Eφ6@20	A44-28H	4φ10	A63-42H	Eφ6@10	Eφ6@20	A44-28H
B12	4φ10	A63-42H	440,71	Eφ6@10	Eφ6@20	A44-28H	4φ10	A63-42H	Eφ6@10	Eφ6@20	A44-28H
B13	4φ10	A63-42H	440,71	Eφ6@10	Eφ6@20	A44-28H	4φ10	A63-42H	Eφ6@10	Eφ6@20	A44-28H
B14	4φ10	A63-42H	440,71	Eφ6@10	Eφ6@20	A44-28H	4φ10	A63-42H	Eφ6@10	Eφ6@20	A44-28H
B2	4φ10	A63-42H	440,71	Eφ6@10	Eφ6@20	A44-28H	4φ10	A63-42H	Eφ6@10	Eφ6@20	A44-28H
C11	4φ10	A63-42H	440,71	Eφ6@10	Eφ6@20	A44-28H	4φ10	A63-42H	Eφ6@10	Eφ6@20	A44-28H
C12	4φ10	A63-42H	440,71	Eφ6@10	Eφ6@20	A44-28H	4φ10	A63-42H	Eφ6@10	Eφ6@20	A44-28H
MV1	4φ10	A63-42H	*	Eφ6@10	Eφ6@20	A44-28H	4φ10	A44-28H	Eφ6@10	Eφ6@20	A44-28H
MV3	4φ10	A63-42H	*	Eφ6@10	*	A44-28H	4φ10	A44-28H	Eφ6@10	*	A44-28H
MLC-T1-01	4φ10	A63-42H	553	Eφ6@15	Eφ6@15	A63-42H	4φ10	A63-42H	Eφ6@15	Eφ6@15	A63-42H
MLC-T1-02	4φ10	A63-42H	553	Eφ6@15	Eφ6@15	A63-42H	4φ10	A63-42H	Eφ6@15	Eφ6@15	A63-42H
MHB-T1-01	4φ10	A63-42H	553	Eφ6@15	Eφ6@15	A63-42H	4φ10	A63-42H	Eφ6@15	Eφ6@15	A63-42H
MHB-T1-02	4φ10	A63-42H	553	Eφ6@15	Eφ6@15	A63-42H	4φ10	A63-42H	Eφ6@15	Eφ6@15	A63-42H

^{vi} Valor empírico, superior al valor nominal dado por el tipo de acero.

Tabla B.5: Propiedades mecánicas de materiales usados en la construcción de los muros (Cabezas, 2011)

Muro	Unidades					Hormigón			Mortero	Albañilería			
	Tipo unidades	b [mm]	D [mm]	t [mm]	f _p [MPa]	f' _c [MPa]	f' _t [MPa]	E _c [MPa]	R ₂₈ [MPa]	f' _m ^{vii} [MPa]	E [MPa]	τ _m [MPa]	G [Mpa]
MRG1	Titán Liviano	70,4	287	139	30,56	29,1	3	20790	25,41	13,76	8032	1,056	1566
MRG2	Titán Liviano	70,4	287	139	30,56	31,4	3,1	21348	21,48	13,76	8032	1,056	1566
MRE1	Titán Liviano	70,4	287	139	30,56	24,1	3	20699	26,76	13,76	8032	1,056	1566
MRE2	Titán Liviano	70,4	287	139	30,56	25,37	3,1	21348	22,75	13,76	8032	1,056	1566
A11	Titán Liviano	70,2	288	140	25,87	27,7	3,3	22536	22,7	12,2	5690	0,8	1261
A12	Titán Liviano	70,2	288	140	25,87	42,7	4,1	29042	25,3	12,2	5690	0,8	1261
A13	Titán Liviano	70,2	288	140	25,87	27,7	3,3	22536	24,3	12,2	5690	0,8	1261
A14	Titán Liviano	70,2	288	140	25,87	40,6	4	28222	23,9	12,2	5690	0,8	1261
A2	Titán Liviano	70,2	288	140	25,87	27,8	3,3	22585	29,3	12,2	5690	0,8	1261
B11	Chonchón	64	303	156	8,44	20,7	2,8	19248	24,9	2,37	347,8	0,235	230
B12	Chonchón	64	303	156	8,44	20,7	2,8	19248	24,3	2,37	347,8	0,235	230
B13	Chonchón	64	303	156	8,44	28,6	3,3	22978	22,1	2,37	347,8	0,235	230
B14	Chonchón	64	303	156	8,44	42,7	4,1	29042	25,9	2,37	347,8	0,235	230
B2	Chonchón	64	303	156	8,44	43,3	4,1	29273	23,7	2,37	347,8	0,235	230
C11	Bloque A	191	390	140	21,5	39,1	3,9	27803	35,63	9,12	6137	0,71	1551
C12	Bloque B	190	392	140	10,62	39	3,9	27803	34,19	7,17	7489	0,707	1532
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

^{vii} Medida sobre el área bruta

B.2.3. Estimación de los parámetros no disponibles experimentalmente (Cabezas, 2011)

B.2.3.1. 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 B.6 se entrega la resistencia a la tracción de la unidad que resulta al usar los porcentajes destacados.

Tabla B.6 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 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 de esta Memoria de Título, se usarán los valores determinados con las recomendaciones de Francis et al. (1971), considerando que las resistencias a la compresión de las unidades son comparables a las resistencias de las unidades nacionales.

ii: *Bloques de hormigón*

La razón entre la resistencia a la tracción de la unidad (determinada en un *splitting test*) y su resistencia a la compresión varía entre 0,08 y 0,16 (Drysdale and Hamid, 2008).

Para los efectos de esta Memoria de Título 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 B.7

Tabla B.7: 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	21,5	2,58
C12	10,62	1,274
MBH	16,13	1,936

B.2.3.2. Adherencia unitaria, τ_0

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 unidades cerámicas hechas a máquina del tipo rejilla con huecos, con denominación comercial Titán Liviano y con un mortero de dosificación en volumen igual a 1: 1/2: 4, es posible utilizar los resultados obtenidos del ensayo de tripletas sometidas a corte directo (Fernández et al., 1986)

En la Tabla B.8 se entregan los resultados obtenidos por Fernández et al. (1986)

Tabla B.8: Ensayos de tripletas con las características de las series MRE, MRG, A (Fernández et. al, 1986).

Serie	Probeta	Mortero (volumen)	Unidad	τ_0 [MPa]	τ_0 (promedio) [MPa]	σ [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	P7	1:1/2:4	Titán Liviano	0,456	0,405	0,073	18	AJS
	P8			0,333				AJS
	P9			0,425				AJS
4	P10	1:1/4:3 ³ /4	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.

$\tau_0 = Q/2A$ Resistencia de adherencia al corte

σ : desviación estándar de la serie

C.V: Coeficiente de variación de la serie.

Para los muros de la serie B, construidos con unidades cerámicas de fabricación artesanal, se presenta una considerable variación de los valores de la adherencia. Teniendo en cuenta este 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 B.9., y para la cual se obtienen los valores de adherencia de la Tabla B.10

Tabla B.9: Dosificación de morteros en kg/m³ de cada componente. Cal hidratada. (Bustos y Margery, 1996).

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

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

Tabla B.10: 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	Probeta D	
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 B.10, en especial para la dos probetas construidas con mortero M9, no es posible aplicar el valor entregado por la probetas con mortero M9 como adherencia unitaria de la serie B.

Considerando que el contenido de cemento se mantiene constante (300 kg/m³) 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 $\tau_0 = 0,123$ MPa (ver Figura B.1).

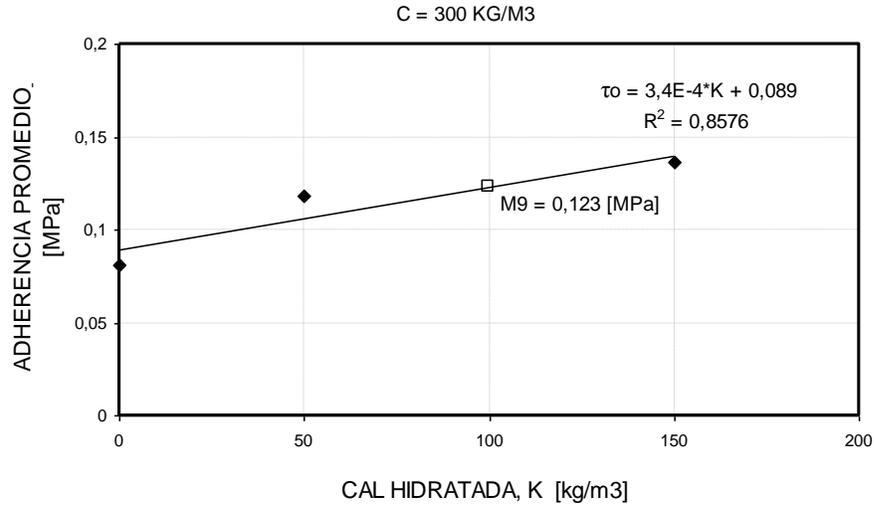


Figura B.1: Adherencia en función de la cantidad de cal en un metro cúbico de mortero con 300 kg de cemento (Cabezas, 2011).

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:

$$\tau_0 = -2,54 + 1,4 \cdot \ln(M) \quad (B.1)$$

Donde

$$M = R_{C-ASTM} \cdot \frac{\text{Retentividad}}{100} \quad (B.2)$$

Considerando que el mortero utilizado en la serie MV tiene una resistencia a la compresión de 253 kg/cm² y que la dosificación asegura una retentividad de por lo menos 70%, al utilizar las ecuaciones (B.1) y (B.2) se obtiene una adherencia para los muros de la serie MV igual a 4,71 kg/cm² 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 B.9; según Fernández et al. (1986) para este mortero se obtiene la resistencia de adherencia destacada en la Tabla B.10, $\tau_0 = 0,47$ MPa, la cual se utilizará para los muros de la serie MV.

Tabla B.11: 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
1	1	0	3	1	0	2,89
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 B.12: Ensayos de tripletas (Fernández et. al, 1986)

Serie	Probeta	Mortero (volumen)	Unidad	τ_0 [MPa]	τ_0 (promedio) [MPa]	σ [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 en su construcción unidades “Gran Titán” y un mortero de fábrica premezclado denominado “A14 pega albañilería M10” de la empresa “Presec S.A”, 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 B.13

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 B.14, es decir, 1: 1/4: 3 3/4.

Tabla B.13 Ensayos de tripletas con características de la serie MLC.

Serie	Probeta	Mortero (volumen)	Unidad	τ_0 [MPa]	τ_0 (promedio) [MPa]	σ [Mpa]	C.V. [%]	Falla
2	P19	1:1/4:3 ³ /4	Hércules	0,536	0,47	0,3	6,4	AJS
	P20			0,548				AJI
	P21			0,597				AJS
3	P22	1:1:6	Hércules	0,536	0,47	0,3	6,4	AJS
	P23			0,542				AJS
	P24			0,548				AJS

Tabla B.14: 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%.

Nº	Dosificación (volumen)	Densidad [tonf / m ³]	ASTM Compresión [MPa]	RILEM Compresión [MPa]	Flexo tracción [MPa]	σ [MPa]
1	1:1/2:4	2,3	20,56	19,87	5,04	
2	1:1/4:3 ³ /4	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 los 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 B.14 que el mortero “A14 pega albañilería M10” es de propiedades similares al mortero 1: 1/2: 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.

B.2.3.3. Coeficiente de fricción entre unidad y mortero, μ

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

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

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: $\mu = 0,8$

B.2.3.4. 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: 1/4: 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 está limitado 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 B.15

^{viii} Meli, R., Reyes A. "Propiedades mecánicas de la mampostería" Instituto de ingeniería, Publicación N° 288 UNAM México, Julio 1971.

^{ix} Hamid et al. "Shear strength of concrete masonry joints" ASCE Journal of structural division Vol. 105(st7) Jul. 1979.

^x Gallegos, H., Casabone, C. "Ensayo de corte directo de albañilerías" Colloquia'83 Stgo. Nov. 1983.

^{xi} Crisafulli, F.J. Op. Cit.

Tabla B.15: Prismas construidos con unidades Titán Liviano y morteros con una alta dosificación de cemento (Parada, 1986; Fernández, 1986).

Fuente	Dosificación en peso	Dosificación en volumen	R ₂₈ Mortero [MPa]	f' _m [MPa]	E _m [MPa]	τ _m [MPa]	G [MPa]
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
Valores promedio				11,43	6186		

De la Tabla B.15 es posible comprobar que existen variaciones pequeñas entre las resistencias prismáticas cuando se comparan los prismas construidos 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 construidos con unidad Titán Liviano y morteros con las dosificaciones indicadas en la Tabla B.15, obteniendo un valor igual a $f'_m = 11,43$ MPa

Finalizada la estimación de los valores experimentales faltantes, se está en condiciones de aplicar el modelo teórico propuesto a las series de muros seleccionados utilizando los parámetros indicados en la Tabla B.16

Tabla B.16: Parámetros utilizados en el modelo teórico propuesto (Cabezas, 2011)

Serie	τ ₀ [MPa]	μ []	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	0,38	0,8	2,58	9,12
C12	0,38	0,8	1,274	7,17
MV	0,471	0,7	0,99	11,4
MLC	0,56	0,7	1,295	6,89
MBH	0,38	0,8	1,936	6,04

B.3. ESTADOS LÍMITE DE CARGA DE LOS MUROS ENSAYADOS

Para comparar la resistencia teórica al corte de los muros de albañilería confinada con la carga lateral aplicada en el ensayo, se han considerado tres niveles de carga durante el ensayo:

- **Carga de agrietamiento horizontal:** Fuerza para la cual se observan las primeras grietas visibles en las zonas en tracción de los muros, generalmente en los extremos inferiores de los pilares. Esta carga representa el fin de rango elástico de comportamiento.
- **Carga de agrietamiento diagonal:** Corresponde a la fuerza en que se visualiza el patrón de agrietamiento diagonal 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.

La carga que se calcula con el modelo teórico propuesto corresponde a la carga de agrietamiento diagonal.

En las Figuras B.2, B.3 y B.4 se grafican las fuerzas de estos tres estados de carga para cada muro de las diferentes series. En las Tablas B.17 y B.18 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.

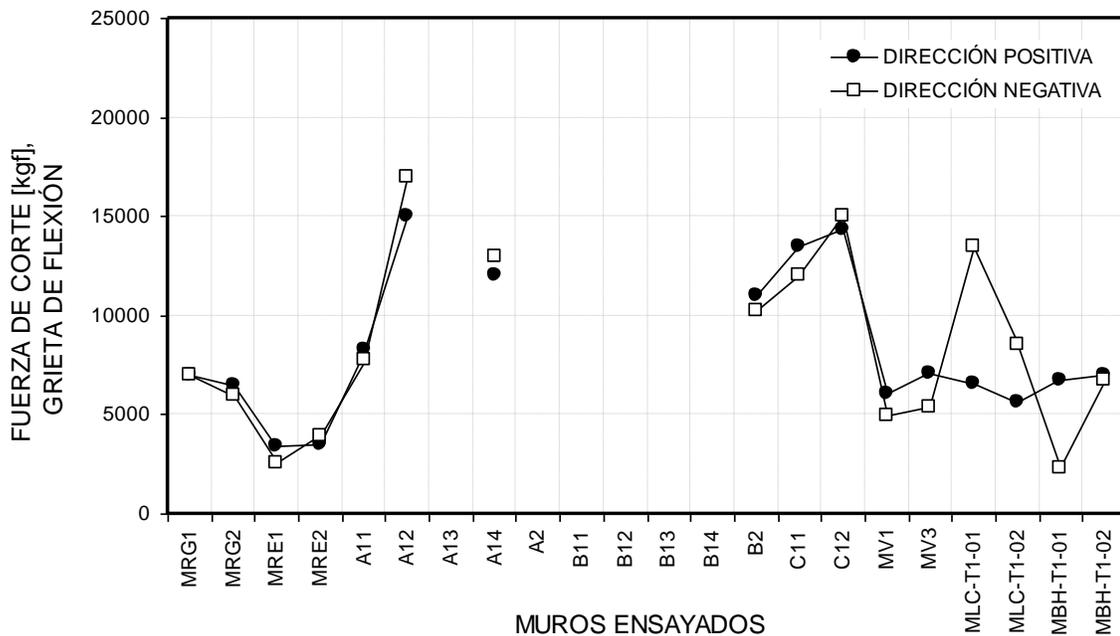


Figura B.2: Fuerza de agrietamiento horizontal en los muros de albañilería confinada ensayados (Cabezas, 2011).

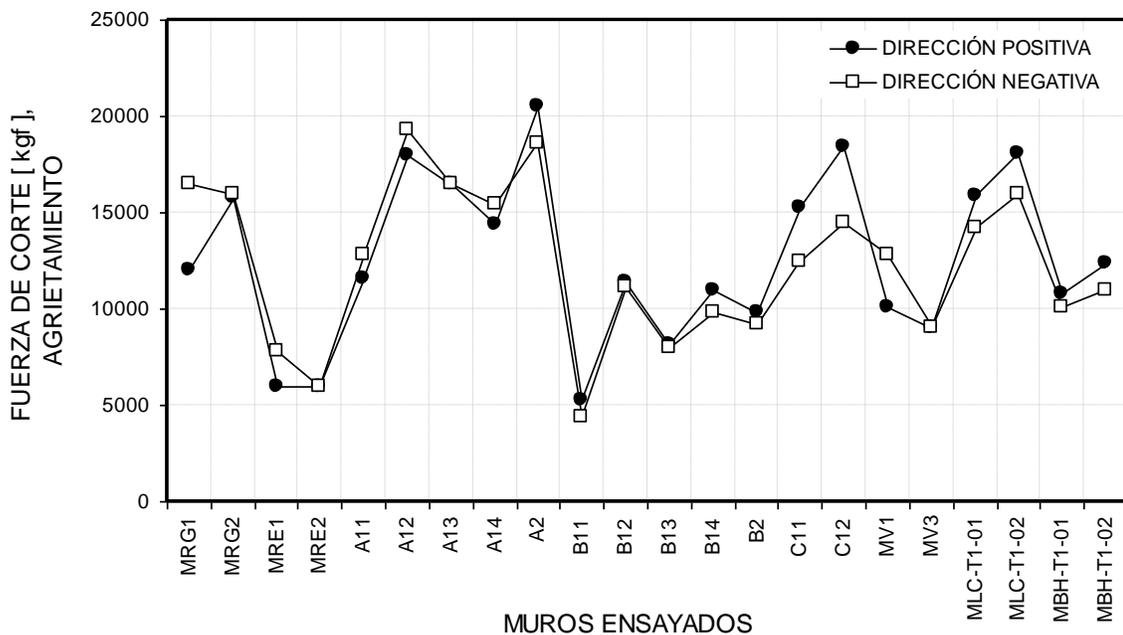


Figura B.3: Fuerza de agrietamiento diagonal en el paño de albañilería de los muros de albañilería confinada ensayados (Cabezas, 2011).

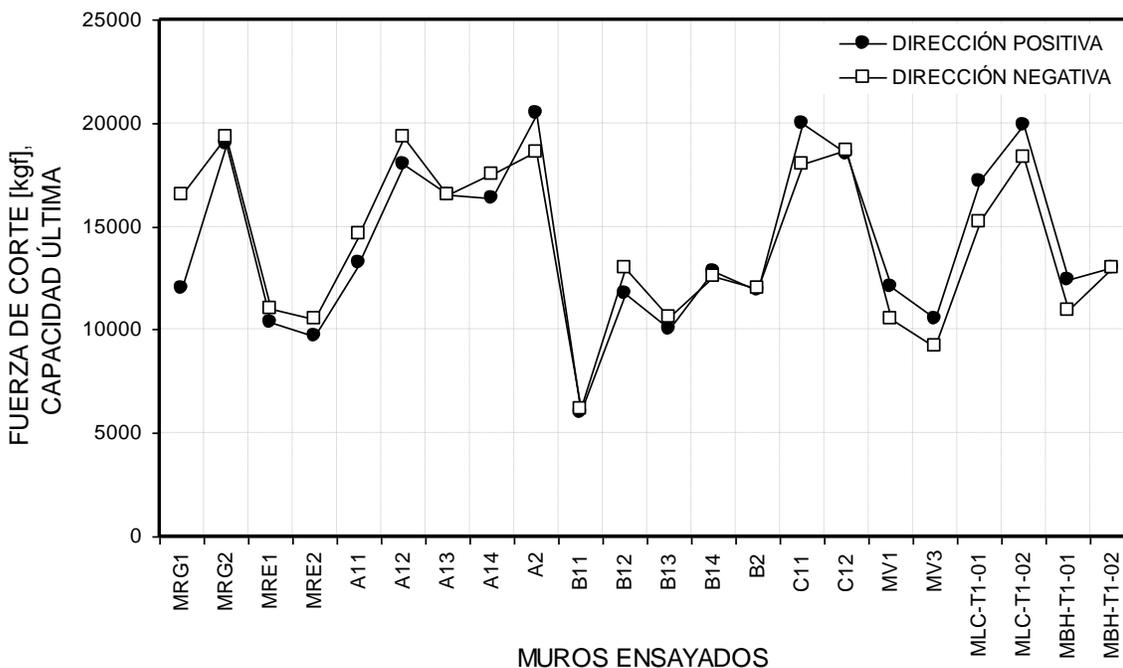


Figura B.4: Fuerza máxima en los muros de albañilería confinada ensayados (Cabezas, 2011).

El modo de “*falla aparente*” fue determinado con la información entregada por los autores de los ensayos en cuanto a la forma de las grietas que se generaron en el paño de albañilería y figuras donde es posible observar el estado agrietado y último de cada muro.

Tabla B.17: Modo de falla correspondiente a cada muro ensayado.

Autor	Muro	N [kN]	V_u/V_{ag} []	Modo de falla
Diez	MRG1	0	1	Aparente falla por adherencia
Diez	MRG2	0	1,2	Aparente falla por tracción
Diez	MRE1	0	1,73	Aparente falla por tracción
Diez	MRE2	0	1,62	Aparente falla por tracción
Herrera	A11	0	1,14	Aparente falla por adherencia
Herrera	A12	80	1	Aparente falla por tracción
Herrera	A13	160	1	Aparente falla por tracción
Herrera	A14	160	1,14	Aparente falla por deslizamiento, luego por adherencia
Herrera	A2	80	1	Aparente falla por tracción
Herrera	B11	0	1,36	Aparente falla por adherencia
Herrera	B12	160	1,06	Aparente falla mixta: por adherencia y tracción
Herrera	B13	160	1,25	Aparente falla por tracción
Herrera	B14	160	1,29	Aparente falla por adherencia
Herrera	B2	80	1,29	Aparente falla por adherencia
Muñoz	C11	140	1,44	Aparente falla por adherencia
Muñoz	C12	140	1,28	Aparente falla por tracción
Galleguillos	MV1	0	1,05	Aparente falla por tracción
Galleguillos	MV3	0	1,01	Aparente falla por tracción
Ogaz	MBH-T1-01	0	1,08	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

Tabla B.18: Resistencias y deformaciones asociadas a cada muro ensayado.

Muro	Agrietamiento horizontal						Agrietamiento diagonal						Capacidad máxima					
	Carga [Kgf]		Tensión de corte [Kgf/cm ²]		Distorsión angular [‰]		Carga [Kgf]		Tensión de corte [Kgf/cm ²]		Distorsión angular [‰]		Carga [Kgf]		Tensión de corte [Kgf/cm ²]		Distorsión angular [‰]	
	→	←	→	←	→	←	→	←	→	←	→	←	→	←	→	←	→	←
MRG1	7000	7000	2,14	2,14	0,42	0,46	12000	16500	3,67	5,04	2,61	3,2	12000	16500	3,67	5,04	2,61	3,2
MRG2	6500	6000	1,99	1,83	0,33	0,12	15800	16000	4,83	4,89	2,86	1,74	19000	19300	5,81	5,9	7,26	2,9
MRE1	3400	2600	2,12	1,62	0,87	0,25	6000	7850	3,75	4,91	2,99	3,24	10350	11030	6,47	6,89	13	11,7
MRE2	3500	3900	2,19	2,44	0,66	0,95	6000	6000	3,75	3,75	2,2	2,41	9700	10500	6,06	6,56	9,88	9,59
A11	8300	7800	2,47	2,32	0,94	1,02	11600	12800	3,44	3,8	1,49	2,36	13200	14600	3,94	4,34	2,11	3,58
A12	15000	17000	4,46	5,06	3,38	3,28	18000	19300	5,35	5,74	3,47	4,17	18000	19300	5,35	5,74	3,47	4,17
A13	*	*	*	*	*	*	16500	16500	4,91	4,91	1,77	1,93	16500	16500	4,91	4,91	1,77	1,93
A14	12000	13000	3,57	3,87	0,52	0,58	14400	15400	4,3	4,6	1,11	1,01	16400	17500	4,89	5,21	2,05	1,58
A2	*	*	*	*	*	*	20500	18600	6,1	5,54	1,64	1,34	20500	18600	6,1	5,54	1,64	1,34
B11	*	*	*	*	*	*	5300	4400	1,48	1,21	0,62	0,72	6000	6200	1,67	1,71	1,02	2,56
B12	*	*	*	*	*	*	11400	11100	3,16	3,08	1,49	2,39	11800	13000	3,28	3,61	2,84	3,57
B13	*	*	*	*	*	*	8200	8000	2,28	2,22	1,19	1,28	10000	10600	2,78	2,94	1,85	1,95
B14	*	*	*	*	*	*	11000	9800	3,06	2,72	1,06	1,15	12800	12600	3,56	3,49	2,16	1,96
B2	11000	10200	3,31	2,82	3,65	3,51	9800	9200	2,72	2,55	2,39	2,28	11900	12000	3,31	3,34	4,63	6,21

Tabla B.18: Resistencias y deformaciones asociadas a cada muro ensayado (continuación).

Muro	Agrietamiento horizontal						Agrietamiento diagonal						Capacidad máxima					
	Carga [Kgf]		Tensión de corte [Kgf/cm ²]		Distorsión angular [‰]		Carga [Kgf]		Tensión de corte [Kgf/cm ²]		Distorsión angular [‰]		Carga [Kgf]		Tensión de corte [Kgf/cm ²]		Distorsión angular [‰]	
	→	←	→	←	→	←	→	←	→	←	→	←	→	←	→	←	→	←
C11	13500	12000	4,02	3,57	1,44	2,29	15300	12500	4,55	3,72	2,55	2,68	20000	18000	5,95	5,36	5,07	5,03
C12	14300	15000	4,26	4,46	1,27	2,38	18400	14500	5,48	4,32	2,06	2,89	18500	18700	5,51	5,57	3,88	6,13
MV1	6020	4960	1,96	1,61	0,48	0,55	10072	12768	3,27	3,36	2,1	3,6	12120	10550	3,94	3,43	2,08	2,65
MV3	7090	5410	2,3	1,76	0,64	0,47	9055	9055	2,94	2,94	1,3	1,2	10540	9190	3,42	2,98	1,62	1,53
MBH-T1-01	6700	2300	1,309	0,449	0,2	0,3	10800	10100	2,109	1,973	2,4	2,5	12400	10900	2,422	2,129	3,2	1,4
MBH-T1-02	7000	6700	1,367	1,309	0,3	0,2	12400	11000	2,422	2,149	2,8	6,5	13000	13000	2,539	2,539	4,7	2,8
MLC-T1-01	6600	13500	1,289	2,637	0,2	0,2	15900	14200	3,106	2,774	2,4	2,4	17200	15200	3,36	2,969	6,2	4,7
MLC-T1-02	5600	8500	1,094	1,66	0,2	0,2	18100	16000	3,535	3,125	3,7	3,4	19900	18300	3,887	3,574	6,5	6,1

ANEXO C:

APLICACIÓN DEL MODELO TEÓRICO

En este Anexo se entrega en detalle la información utilizada para construir las figuras mostradas en el capítulo 4 de esta Memoria de Título considerando que el 100% de la carga vertical actúa sobre el paño de albañilería.

C.1. COEFICIENTES χ Y F PARA CADA MURO.

El coeficiente χ se determina utilizando la ecuación (3.1).

El coeficiente F se determina según tipo de unidad, usando los valores siguientes: (a) **0.5** para muros construidos con unidades cerámicas hechas a máquina del tipo rejilla con huecos, (b) **1.0** para muros construidos con unidades cerámicas macizas de fabricación artesanal, y (c) **0.35** para muros construidos con bloques de hormigón.

Los valores de los coeficientes se resumen en la Tabla C.1.

Tabla C.1: Valor de coeficientes χ y F para cada muro.

Muro	χ []	F []	Muro	χ []	F []	Muro	χ []	F []
MRG1	0,45	0,5	A2	0,45	0,5	C12	0,45	0,35
MRG2	0,45	0,5	B11	0,45	1	MV1	0,69	0,5
MRE1	0,01	0,5	B12	0,45	1	MV3	0,83	0,5
MRE2	0,01	0,5	B13	0,45	1	MLC-T1-01	1,09	0,5
A11	0,45	0,5	B14	0,45	1	MLC-T1-02	1,09	0,5
A12	0,45	0,5	B2	0,45	1	MBH-T1-01	1,1	0,35
A13	0,45	0,5	C11	0,45	0,35	MBH-T1-02	1,1	0,35
A14	0,45	0,5						

C.2. ESTIMACIÓN DE LA TENSIÓN Y MODO DE FALLA DEL PUNTAL

Para calcular la resistencia del puntal de compresión que modela la presencia del paño de albañilería en el modelo teórico, se utilizan las ecuaciones de f'_{m0} del capítulo 2 para los distintos tipos de falla que pueden ocurrir en el paño de albañilería: adherencia en las juntas de mortero (AD), tracción en la unidad (TD) y compresión en la albañilería (CA).

En la Tabla C.2 se entregan los valores de las tensiones asociadas a los distintos tipos de falla y el tipo de falla que controla la resistencia al corte del muro según el modelo teórico.

Tabla C.2: Resistencia del puntal de compresión y tipo de falla del paño de albañilería de los muros ensayados

Muro	AD [MPa]	TD [MPa]	CA [MPa]	Falla [MPa]	Modo de falla
MRG1	2,07	2,26	11,34	2,07	AD
MRG2	2,07	2,26	11,34	2,07	AD
MRE1	*	4,62	12,16	4,62	TD
MRE2	*	4,62	12,16	4,62	TD
A11	2,08	1,92	10,05	1,92	TD
A12	2,08	1,92	10,05	1,92	TD
A13	2,08	1,92	10,05	1,92	TD
A14	2,08	1,92	10,05	1,92	TD
A2	2,08	1,92	10,05	1,92	TD
B11	0,8	1,13	2,44	0,8	AD
B12	0,8	1,13	2,44	0,8	AD
B13	0,8	1,13	2,44	0,8	AD
B14	0,8	1,13	2,44	0,8	AD
B2	0,8	1,13	2,44	0,8	AD
C11	1,47	3,83	7,51	1,47	AD
C12	1,48	1,89	5,91	1,48	AD
MV1	2,51	1,48	9,39	1,48	TD
MV3	3,25	1,55	9,52	1,55	TD
MLC-T1-01	1,71	1,85	4,42	1,71	AD
MLC-T1-02	1,71	1,85	4,42	1,71	AD
MBH-T1-01	1,05	2,76	3,87	1,05	AD
MBH-T1-02	1,05	2,76	3,87	1,05	AD

C.3. ANCHO DEL PUNTAL Y FUERZA AXIAL EN EL PUNTAL DE COMPRESIÓN DE CADA MURO

El cálculo del ancho del puntal se realiza con la ecuación (2.49), considerando que N_m es igual al 100% de la carga vertical que actúa sobre el muro ensayado.

Los resultados que se obtienen se entregan en la Tabla C.3

Tabla C.3: Área y fuerza axial del puntal de compresión para cada muro ensayado.

Muro	d_m [mm]	N_m [kN]	f'_m [MPa]	L_m [mm]	t [mm]	a_s [mm]	a_s/d_m []	A_{ms} [mm ²]	R_c [kN]
MRG1	2973	0	13,76	2000	139	743	0,25	103467	214,29
MRG2	2973	0	13,76	2000	139	743	0,25	103467	214,29
MRE1	2341	0	13,76	800	139	585	0,25	81464	376,38
MRE2	2341	0	13,76	800	139	585	0,25	81464	376,38
A11	2973	0	12,2	2000	140	743	0,25	104285	200,24
A12	2973	80	12,2	2000	140	802	0,27	112571	216,15
A13	2973	160	12,2	2000	140	861	0,29	120857	232,06
A14	2973	160	12,2	2000	140	861	0,29	120857	232,06
A2	2973	80	12,2	2000	140	802	0,27	112571	216,15
B11	2973	0	2,96	2000	156	743	0,25	115955	93,21
B12	2973	160	2,96	2000	156	1181	0,4	184259	148,12
B13	2973	160	2,96	2000	156	1181	0,4	184259	148,12
B14	2973	160	2,96	2000	156	1181	0,4	184259	148,12
B2	2973	80	2,96	2000	156	962	0,32	150108	120,67
C11	2973	140	9,12	2000	140	882	0,3	123386	181,29
C12	2973	140	7,17	2000	140	920	0,31	128662	190,52
MV1	2706	0	11,4	2020	140	676	0,25	94697	139,92
MV3	2577	0	11,4	2020	140	644	0,25	90191	139,36
MLC-T1-01	3843	0	6,89	3250	140	961	0,25	134488	230,61
MLC-T1-02	3843	0	6,89	3250	140	961	0,25	134488	230,61
MBH-T1-01	3774	0	6,04	3200	140	943	0,25	132076	138,79
MBH-T1-02	3774	0	6,04	3200	140	943	0,25	132076	138,79

C.4. RESISTENCIA AL CORTE DE CADA MURO.

La resistencia al corte (V) de los muros se calcula de acuerdo a lo indicado en el diagrama de la Figura 2.10. Los resultados obtenidos se entregan en la Tabla C.4 junto con la carga de agrietamiento diagonal (V_{exp}) obtenida en el ensayo y la relación entre la resistencia al corte teórica y la carga de agrietamiento diagonal (V/V_{exp}).

Tabla C.4: Resistencia al corte teórica de los muros ensayados.

Muro	θ [°]	N [kN]	N_y [kN]	R_c [kN]	V_c [kN]	T [kN]	T_y* [kN]	V_y [kN]	V [kN]	V_{exp} [kN]	V/V_{exp} []
MRG1	47,73	0	0	214,29	144,15	158,56	201,68	183,35	144,15	120	1,2
MRG2	47,73	0	0	214,29	144,15	158,56	201,68	183,35	144,15	158	0,91
MRE1	70,02	0	0	376,38	128,62	353,72	201,68	73,34	73,34	60	1,22
MRE2	70,02	0	0	376,38	128,62	353,72	201,68	73,34	73,34	60	1,22
A11	47,73	0	0	200,24	134,7	148,17	201,68	183,35	134,7	116	1,16
A12	47,73	80	0	216,15	145,4	159,94	201,68	183,35	145,4	180	0,81
A13	47,73	160	0	232,06	156,1	171,71	201,68	183,35	156,1	165	0,95
A14	47,73	160	0	232,06	156,1	171,71	201,68	183,35	156,1	144	1,08
A2	47,73	80	0	216,15	145,4	159,94	201,68	183,35	145,4	186	0,78
B11	47,73	0	0	93,21	62,7	68,97	138,45	125,87	62,7	44	1,43
B12	47,73	160	0	148,12	99,64	109,6	138,45	125,87	99,64	111	0,9
B13	47,73	160	0	148,12	99,64	109,6	138,45	125,87	99,64	80	1,25
B14	47,73	160	0	148,12	99,64	109,6	138,45	125,87	99,64	98	1,02
B2	47,73	80	0	120,67	81,17	89,29	138,45	125,87	81,17	92	0,88
C11	47,73	140	0	181,29	121,95	134,15	138,45	125,87	121,95	125	0,98
C12	47,73	140	0	190,52	128,16	140,97	138,45	125,87	125,87	145	0,87
MV1	48,3	0	0	139,92	93,09	104,47	131,95	117,58	93,09	100,72	0,92
MV3	51,62	0	0	139,36	86,53	109,24	131,95	104,51	86,53	90,55	0,96
MLC-T1-01	32,24	0	0	230,61	195,05	123,03	173,73	275,43	195,05	142	1,37
MLC-T1-02	32,24	0	0	230,61	195,05	123,03	173,73	275,43	195,05	160	1,22
MBH-T1-01	32,01	0	0	138,79	117,69	73,56	173,73	277,97	117,69	101	1,17
MBH-T1-02	32,01	0	0	138,79	117,69	73,56	173,73	277,97	117,69	110	1,07

ANEXO D:

EFFECTO DE LOS PARÁMETROS USADOS EN EL MODELO TEÓRICO EN EL CÁLCULO DE LA RESISTENCIA AL CORTE DE MUROS DE ALBAÑILERÍA CONFINADA

En este Anexo se entrega el detalle de los resultados del análisis de sensibilidad de la resistencia al corte de los muros de albañilería confinada ante variaciones de los parámetros χ , τ_0 , μ , F y f'_{tb}

D.1. EFECTO DEL COEFICIENTE χ

Al no haber suficiente información experimental sobre el valor del coeficiente χ , no hay antecedentes que permitan establecer un rango de variación para este coeficiente.

Por lo anterior, el análisis de sensibilidad se realiza con un margen de error arbitrario de 50%, usando valores de 0.5χ , χ y 1.5χ , donde χ es el valor establecido para cada muro de acuerdo con lo indicado en el capítulo 3.

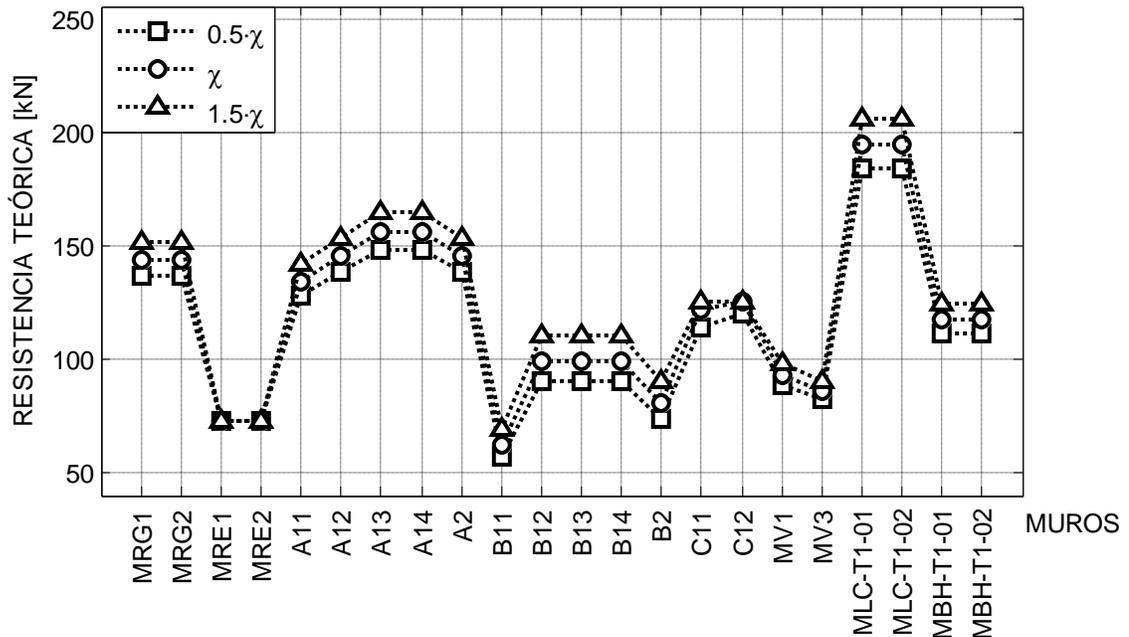


Figura D.1: Efecto del coeficiente χ en la resistencia al corte teórica de los muros de albañilería confinada ensayados.

En la Figura D.1 se muestra la variación de la resistencia al corte teórica (V) de los muros ensayados frente a una variación del coeficiente χ , y en la Figura D.2 se muestra la variación de la relación entre la resistencia al corte teórica (V) y la carga de agrietamiento diagonal experimental para los muros ensayados.

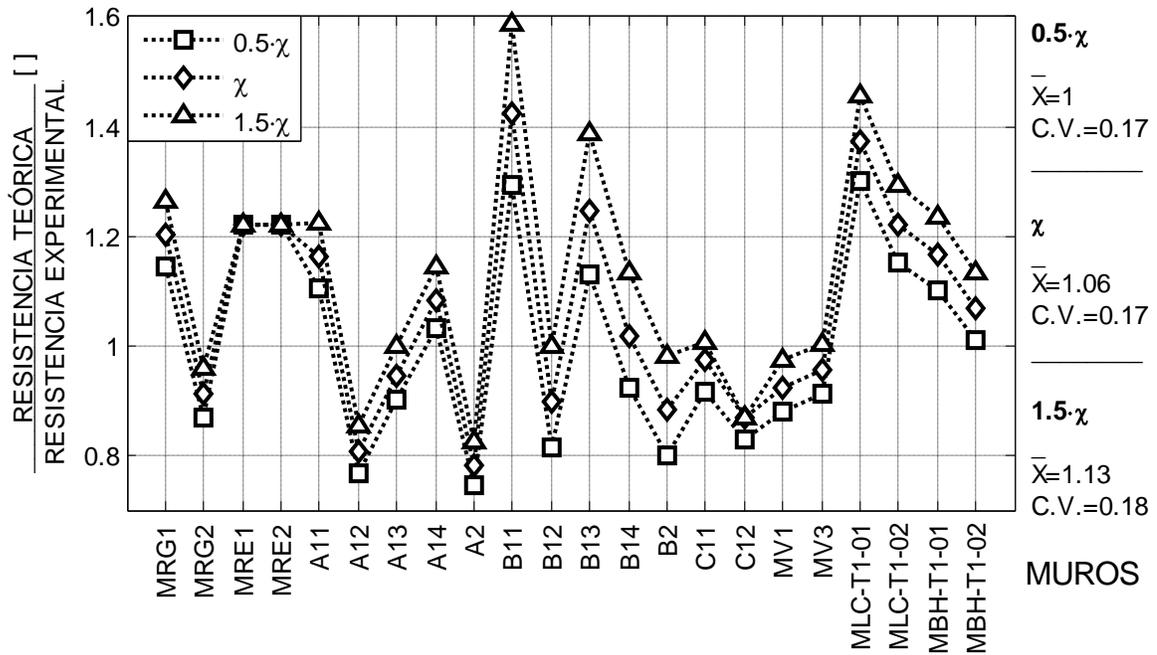


Figura D.2: Efecto del coeficiente χ en la relación entre la resistencia al corte teórica de los muros de albañilería confinada ensayados y la carga de agrietamiento diagonal experimental.

Los cálculos efectuados para dibujar estas figuras se detallan en las tablas D.1, D.2, D.3, D.4 y D.5

Tabla D.1: Efecto de la variación del coeficiente χ en la resistencia del puntal de compresión para cada tipo de falla según modelo teórico.

Muro	θ [°]	b/d []	μ []	τ_0 [MPa]	F []	0.5χ			χ	χ		1.5χ		f'_{m0CA} [MPa]	
						f'_{m0} AD [MPa]	f'_{m0} TD [MPa]			f'_{m0} AD [MPa]	f'_{m0} TD [MPa]	f'_{m0} AD [MPa]	f'_{m0} TD [MPa]		
MRG1	47,7	0,25	0,7	0,41	0,5	0,22	1,97	2,15	0,45	2,07	2,26	0,67	2,18	2,39	11,33
MRG2	47,7	0,25	0,7	0,41	0,5	0,22	1,97	2,15	0,45	2,07	2,26	0,67	2,18	2,39	11,33
MRE1	70,0	0,25	0,7	0,41	0,5	0,00	*	4,60	0,01	*	4,62	0,01	*	4,64	12,16
MRE2	70,0	0,25	0,7	0,41	0,5	0,00	*	4,60	0,01	*	4,62	0,01	*	4,64	12,16
A11	47,7	0,24	0,7	0,41	0,5	0,22	1,98	1,83	0,45	2,08	1,92	0,67	2,18	2,03	10,04
A12	47,7	0,24	0,7	0,41	0,5	0,22	1,98	1,83	0,45	2,08	1,92	0,67	2,18	2,03	10,04
A13	47,7	0,24	0,7	0,41	0,5	0,22	1,98	1,83	0,45	2,08	1,92	0,67	2,18	2,03	10,04
A14	47,7	0,24	0,7	0,41	0,5	0,22	1,98	1,83	0,45	2,08	1,92	0,67	2,18	2,03	10,04
A2	47,7	0,24	0,7	0,41	0,5	0,22	1,98	1,83	0,45	2,08	1,92	0,67	2,18	2,03	10,04
B11	47,7	0,21	0,7	0,12	1	0,22	0,73	1,07	0,45	0,80	1,13	0,67	0,89	1,19	2,44
B12	47,7	0,21	0,7	0,12	1	0,22	0,73	1,07	0,45	0,80	1,13	0,67	0,89	1,19	2,44
B13	47,7	0,21	0,7	0,12	1	0,22	0,73	1,07	0,45	0,80	1,13	0,67	0,89	1,19	2,44
B14	47,7	0,21	0,7	0,12	1	0,22	0,73	1,07	0,45	0,80	1,13	0,67	0,89	1,19	2,44
B2	47,7	0,21	0,7	0,12	1	0,22	0,73	1,07	0,45	0,80	1,13	0,67	0,89	1,19	2,44
C11	47,7	0,49	0,8	0,38	0,35	0,22	1,38	3,64	0,45	1,47	3,83	0,67	1,57	4,04	7,51
C12	47,7	0,48	0,8	0,38	0,35	0,22	1,39	1,80	0,45	1,48	1,89	0,67	1,58	1,99	5,90
MV1	48,3	0,24	0,7	0,47	0,5	0,21	2,39	1,41	0,43	2,51	1,48	0,64	2,64	1,56	8,80
MV3	51,6	0,24	0,7	0,47	0,5	0,15	3,09	1,48	0,30	3,25	1,55	0,45	3,42	1,62	8,29
MLC-T1-01	32,2	0,40	0,7	0,56	0,5	0,54	1,62	1,78	1,09	1,71	1,85	1,63	1,82	1,92	4,44
MLC-T1-02	32,2	0,40	0,7	0,56	0,5	0,54	1,62	1,78	1,09	1,71	1,85	1,63	1,82	1,92	4,44
MBH-T1-01	32,0	0,48	0,8	0,38	0,35	0,55	0,99	2,67	1,10	1,05	2,76	1,64	1,11	2,87	3,87
MBH-T1-02	32,0	0,48	0,8	0,38	0,35	0,55	0,99	2,67	1,10	1,05	2,76	1,64	1,11	2,87	3,87

Tabla D.2: Efecto de la variación del coeficiente χ en el modo de falla que controla y en la resistencia del puntal de compresión según el modelo teórico.

Muro	0.5 χ		χ		1.5 χ		A_{ms} (mm ²)	0.5 χ	χ	1.5 χ
	f'_{m0} [MPa]	Tipo de falla	f'_{m0} [MPa]	Tipo de falla	f'_{m0} [MPa]	Tipo de falla		R_c [kN]	R_c [kN]	R_c [kN]
MRG1	1,97	AD	2,07	AD	2,18	AD	103468	137,28	144,15	151,74
MRG2	1,97	AD	2,07	AD	2,18	AD	103468	137,28	144,15	151,74
MRE1	4,60	FL	4,62	FL	4,64	FL	81465	73,34	73,34	73,34
MRE2	4,60	FL	4,62	FL	4,64	FL	81465	73,34	73,34	73,34
A11	1,83	TD	1,92	TD	2,03	TD	104285	128,18	134,70	142,19
A12	1,83	TD	1,92	TD	2,03	TD	112571	138,37	145,40	153,48
A13	1,83	TD	1,92	TD	2,03	TD	120857	148,55	156,10	164,78
A14	1,83	TD	1,92	TD	2,03	TD	120857	148,55	156,10	164,78
A2	1,83	TD	1,92	TD	2,03	TD	112571	138,37	145,40	153,48
B11	0,73	AD	0,80	AD	0,89	AD	115955	56,91	62,70	69,80
B12	0,73	AD	0,80	AD	0,89	AD	184259	90,44	99,64	110,92
B13	0,73	AD	0,80	AD	0,89	AD	184259	90,44	99,64	110,92
B14	0,73	AD	0,80	AD	0,89	AD	184259	90,44	99,64	110,92
B2	0,73	AD	0,80	AD	0,89	AD	150107	73,67	81,17	90,36
C11	1,38	AD	1,47	AD	1,57	FL	123386	114,56	121,95	125,87
C12	1,39	AD	1,48	FL	1,58	FL	128661	120,40	125,87	125,87
MV1	1,41	TD	1,48	TD	1,56	TD	94697	88,62	93,09	98,22
MV3	1,48	TD	1,55	TD	1,62	TD	90191	82,74	86,53	90,81
MLC-T1-01	1,62	AD	1,71	AD	1,82	AD	134488	184,55	195,05	206,83
MLC-T1-02	1,62	AD	1,71	AD	1,82	AD	134488	184,55	195,05	206,83
MBH-T1-01	0,99	AD	1,05	AD	1,11	AD	132076	111,30	117,69	124,85
MBH-T1-02	0,99	AD	1,05	AD	1,11	AD	132076	111,30	117,69	124,85

Tabla D.3: Resistencia al corte teórica de los muros de albañilería confinada ensayados considerando un 50% del valor original del coeficiente χ .

Muro	θ [°]	N [kN]	N_y [kN]	R_c [kN]	V_c [kN]	T [kN]	T_y^* [kN]	V_y [kN]	V [kN]	V_{exp} [kN]	V/V_{exp} []
MRG1	47,7	0	0	204,08	137,28	151,01	201,68	183,35	137,28	120	1,14
MRG2	47,7	0	0	204,08	137,28	151,01	201,68	183,35	137,28	158	0,87
MRE1	70,0	0	0	374,48	127,98	351,93	201,68	73,34	73,34	60	1,22
MRE2	70,0	0	0	374,48	127,98	351,93	201,68	73,34	73,34	60	1,22
A11	47,7	0	0	190,55	128,18	141,00	201,68	183,35	128,18	116	1,11
A12	47,7	80	0	205,70	138,37	152,20	201,68	183,35	138,37	180	0,77
A13	47,7	160	0	220,84	148,55	163,41	201,68	183,35	148,55	165	0,90
A14	47,7	160	0	220,84	148,55	163,41	201,68	183,35	148,55	144	1,03
A2	47,7	80	0	205,70	138,37	152,20	201,68	183,35	138,37	186	0,74
B11	47,7	0	0	84,61	56,91	62,60	138,45	125,87	56,91	44	1,29
B12	47,7	160	0	134,44	90,44	99,48	138,45	125,87	90,44	111	0,81
B13	47,7	160	0	134,44	90,44	99,48	138,45	125,87	90,44	80	1,13
B14	47,7	160	0	134,44	90,44	99,48	138,45	125,87	90,44	98	0,92
B2	47,7	80	0	109,52	73,67	81,04	138,45	125,87	73,67	92	0,80
C11	47,7	140	0	170,30	114,56	126,01	138,45	125,87	114,56	125	0,92
C12	47,7	140	0	178,99	120,40	132,45	138,45	125,87	120,40	145	0,83
MV1	48,30	0	0	133,21	88,62	99,45	131,95	117,58	88,62	100,72	0,88
MV3	51,62	0	0	133,27	82,74	104,47	131,95	104,51	82,74	90,55	0,91
MLC-T1-01	32,2	0	0	218,19	184,55	116,41	173,73	275,43	184,55	142	1,30
MLC-T1-02	32,2	0	0	218,19	184,55	116,41	173,73	275,43	184,55	160	1,15
MBH-T1-01	32,0	0	0	131,26	111,30	69,57	173,73	277,97	111,30	101	1,10
MBH-T1-02	32,0	0	0	131,26	111,30	69,57	173,73	277,97	111,30	110	1,01

Tabla D.4: Resistencia al corte teórica de los muros de albañilería confinada ensayados considerando el valor original del coeficiente χ .

Muro	θ [°]	N [kN]	N_y [kN]	R_c [kN]	V_c [kN]	T [kN]	T_y* [kN]	V_y [kN]	V [kN]	V_{exp} [kN]	V/V_{exp} []
MRG1	47,7	0	0	214,29	144,15	158,56	201,68	183,35	144,15	120	1,20
MRG2	47,7	0	0	214,29	144,15	158,56	201,68	183,35	144,15	158	0,91
MRE1	70,0	0	0	376,38	128,62	353,72	201,68	73,34	73,34	60	1,22
MRE2	70,0	0	0	376,38	128,62	353,72	201,68	73,34	73,34	60	1,22
A11	47,7	0	0	200,24	134,70	148,17	201,68	183,35	134,70	116	1,16
A12	47,7	80	0	216,15	145,40	159,94	201,68	183,35	145,40	180	0,81
A13	47,7	160	0	232,06	156,10	171,71	201,68	183,35	156,10	165	0,95
A14	47,7	160	0	232,06	156,10	171,71	201,68	183,35	156,10	144	1,08
A2	47,7	80	0	216,15	145,40	159,94	201,68	183,35	145,40	186	0,78
B11	47,7	0	0	93,21	62,70	68,97	138,45	125,87	62,70	44	1,43
B12	47,7	160	0	148,12	99,64	109,60	138,45	125,87	99,64	111	0,90
B13	47,7	160	0	148,12	99,64	109,60	138,45	125,87	99,64	80	1,25
B14	47,7	160	0	148,12	99,64	109,60	138,45	125,87	99,64	98	1,02
B2	47,7	80	0	120,67	81,17	89,29	138,45	125,87	81,17	92	0,88
C11	47,7	140	0	181,29	121,95	134,15	138,45	125,87	121,95	125	0,98
C12	47,7	140	0	190,52	128,16	140,97	138,45	125,87	125,87	145	0,87
MV1	48,30	0	0	139,92	93,09	104,47	131,95	117,58	93,09	100,72	0,92
MV3	51,62	0	0	139,36	86,53	109,24	131,95	104,51	86,53	90,55	0,96
MLC-T1-01	32,2	0	0	230,61	195,05	123,03	173,73	275,43	195,05	142	1,37
MLC-T1-02	32,2	0	0	230,61	195,05	123,03	173,73	275,43	195,05	160	1,22
MBH-T1-01	32,0	0	0	138,79	117,69	73,56	173,73	277,97	117,69	101	1,17
MBH-T1-02	32,0	0	0	138,79	117,69	73,56	173,73	277,97	117,69	110	1,07

Tabla D.5: Resistencia al corte teórica de los muros de albañilería confinada ensayados considerando un 150% del valor original del coeficiente χ .

Muro	θ [°]	N [kN]	N_y [kN]	R_c [kN]	V_c [kN]	T [kN]	T_y^* [kN]	V_y [kN]	V [kN]	V_{exp} [kN]	V/V_{exp} []
MRG1	47,7	0	0	225,58	151,74	166,91	201,68	183,35	151,74	120	1,26
MRG2	47,7	0	0	225,58	151,74	166,91	201,68	183,35	151,74	158	0,96
MRE1	70,0	0	0	378,30	129,28	355,52	201,68	73,34	73,34	60	1,22
MRE2	70,0	0	0	378,30	129,28	355,52	201,68	73,34	73,34	60	1,22
A11	47,7	0	0	211,38	142,19	156,41	201,68	183,35	142,19	116	1,23
A12	47,7	80	0	228,17	153,48	168,83	201,68	183,35	153,48	180	0,85
A13	47,7	160	0	244,97	164,78	181,26	201,68	183,35	164,78	165	1,00
A14	47,7	160	0	244,97	164,78	181,26	201,68	183,35	164,78	144	1,14
A2	47,7	80	0	228,17	153,48	168,83	201,68	183,35	153,48	186	0,83
B11	47,7	0	0	103,77	69,80	76,78	138,45	125,87	69,80	44	1,59
B12	47,7	160	0	164,90	110,92	122,01	138,45	125,87	110,92	111	1,00
B13	47,7	160	0	164,90	110,92	122,01	138,45	125,87	110,92	80	1,39
B14	47,7	160	0	164,90	110,92	122,01	138,45	125,87	110,92	98	1,13
B2	47,7	80	0	134,33	90,36	99,40	138,45	125,87	90,36	92	0,98
C11	47,7	140	0	193,80	130,36	143,40	138,45	125,87	125,87	125	1,01
C12	47,7	140	0	203,62	136,97	150,67	138,45	125,87	125,87	145	0,87
MV1	48,3	0	0	147,64	98,22	110,22	131,95	117,58	98,22	100,72	0,98
MV3	51,6	0	0	146,26	90,81	114,65	131,95	104,51	90,81	90,55	1,00
MLC-T1-01	32,2	0	0	244,53	206,83	130,46	173,73	275,43	206,83	142	1,46
MLC-T1-02	32,2	0	0	244,53	206,83	130,46	173,73	275,43	206,83	160	1,29
MBH-T1-01	32,0	0	0	147,23	124,85	78,03	173,73	277,97	124,85	101	1,24
MBH-T1-02	32,0	0	0	147,23	124,85	78,03	173,73	277,97	124,85	110	1,14

D.2. EFECTO DE LA ADHERENCIA UNITARIA T_0

Como reporta Cabezas (2011), trabajos nacionales sobre la resistencia a la adherencia de unidades de albañilería (Fernández et al (1986), Bustos y Margery (1996), Larraín (1971), Delfín y Bullemore (1968)) permiten observar que los resultados experimentales presentan una variación natural cercana al 20%.

Teniendo en cuenta esta variación, el análisis de sensibilidad de la resistencia al corte se realiza usando valores para la adherencia unitaria de $0.8\tau_0$, τ_0 y $1.2\tau_0$, donde τ_0 es el valor de adherencia unitaria considerado para la albañilería de cada muro, valores que se entregan en el Anexo B.

En la Figura D.3 se muestra la variación de la resistencia al corte teórica de los muros ensayados frente a una variación de la adherencia unitaria, y en la Figura D.4 se muestra la variación de la relación entre la resistencia al corte teórica y la carga de agrietamiento diagonal experimental para los muros ensayados.

Los cálculos efectuados para dibujar estas figuras se detallan en las tablas D.6, D.7, D.8, D.9 y D.10

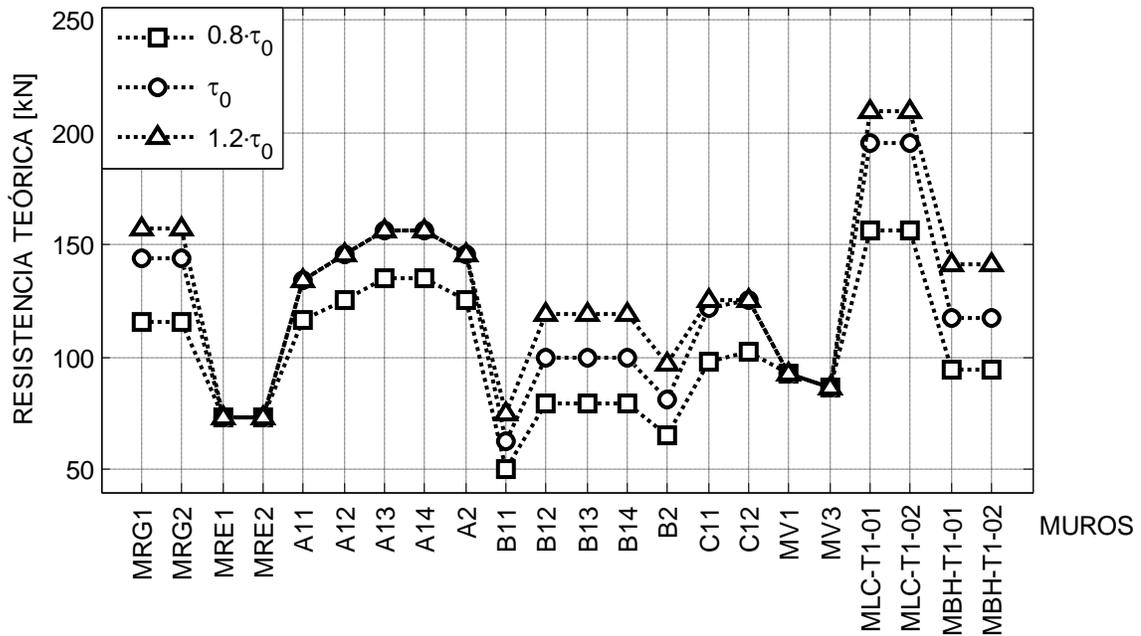


Figura D.3: Efecto de la variación de la adherencia unitaria en la resistencia al corte teórica de los muros de albañilería confinada ensayados.

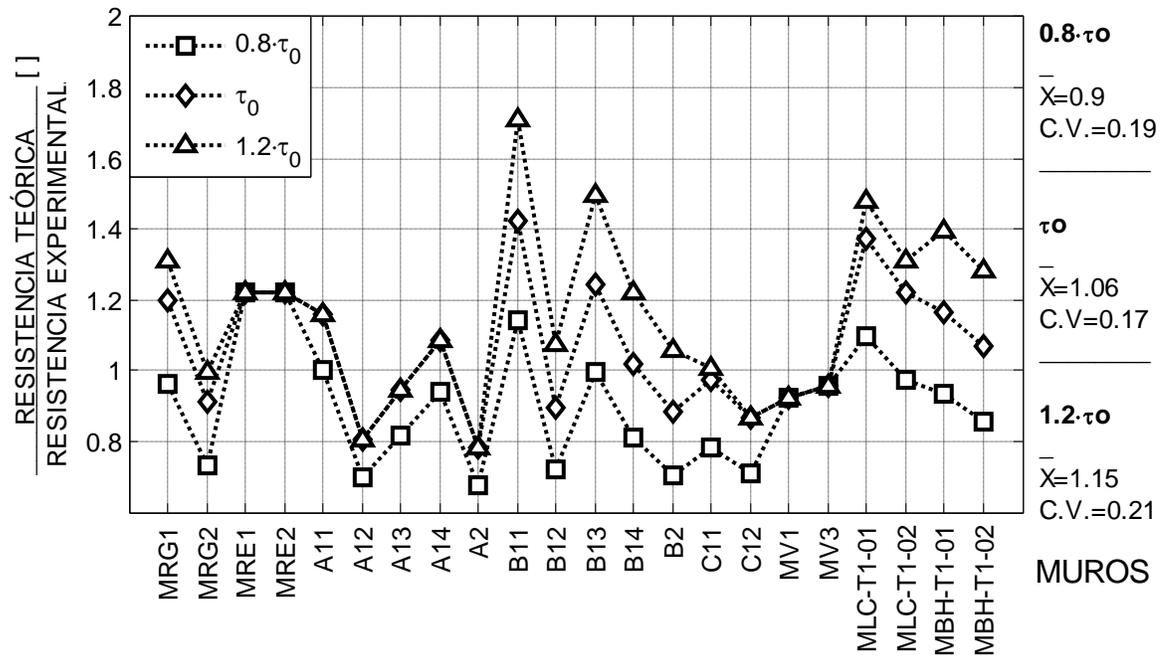


Figura D.4: Efecto de la variación de la adherencia unitaria en la relación entre la resistencia al corte teórica y la carga de agrietamiento diagonal experimental de los muros de albañilería confinada ensayados.

Tabla D.6: Efecto de la variación de la adherencia unitaria en la resistencia del puntal de compresión para cada tipo de falla según modelo teórico.

Muro	θ [°]	b/d []	χ []	μ []	F []	$0.8\tau_0$ [MPa]	$f'_{m\theta}$ AD [MPa]	τ_0 [MPa]	$f'_{m\theta}$ AD [MPa]	$1.2\tau_0$ [MPa]	$f'_{m\theta}$ AD [MPa]	$f'_{m\theta}$ TD [MPa]	$f'_{m\theta}$ CA [MPa]
MRG1	47,7	0,25	0,45	0,7	0,5	0,32	1,66	0,41	2,07	0,49	2,49	2,26	11,33
MRG2	47,7	0,25	0,45	0,7	0,5	0,32	1,66	0,41	2,07	0,49	2,49	2,26	11,33
MRE1	70,0	0,25	0,01	0,7	0,5	0,32	*	0,41	*	0,49	*	4,62	12,16
MRE2	70,0	0,25	0,01	0,7	0,5	0,32	*	0,41	*	0,49	*	4,62	12,16
A11	47,7	0,24	0,45	0,7	0,5	0,32	1,66	0,41	2,08	0,49	2,49	1,92	10,04
A12	47,7	0,24	0,45	0,7	0,5	0,32	1,66	0,41	2,08	0,49	2,49	1,92	10,04
A13	47,7	0,24	0,45	0,7	0,5	0,32	1,66	0,41	2,08	0,49	2,49	1,92	10,04
A14	47,7	0,24	0,45	0,7	0,5	0,32	1,66	0,41	2,08	0,49	2,49	1,92	10,04
A2	47,7	0,24	0,45	0,7	0,5	0,32	1,66	0,41	2,08	0,49	2,49	1,92	10,04
B11	47,7	0,21	0,45	0,7	1	0,10	0,64	0,12	0,80	0,15	0,96	1,13	2,44
B12	47,7	0,21	0,45	0,7	1	0,10	0,64	0,12	0,80	0,15	0,96	1,13	2,44
B13	47,7	0,21	0,45	0,7	1	0,10	0,64	0,12	0,80	0,15	0,96	1,13	2,44
B14	47,7	0,21	0,45	0,7	1	0,10	0,64	0,12	0,80	0,15	0,96	1,13	2,44
B2	47,7	0,21	0,45	0,7	1	0,10	0,64	0,12	0,80	0,15	0,96	1,13	2,44
C11	47,7	0,49	0,45	0,8	0,35	0,30	1,18	0,38	1,47	0,46	1,76	3,83	7,51
C12	47,7	0,48	0,45	0,8	0,35	0,30	1,18	0,38	1,48	0,46	1,78	1,89	5,90
MV1	48,3	0,24	0,43	0,7	0,5	0,38	2,01	0,47	2,51	0,57	3,01	1,48	9,40
MV3	51,6	0,24	0,30	0,7	0,5	0,38	2,60	0,47	3,25	0,57	3,90	1,55	9,50
MLC-T1-01	32,2	0,40	1,09	0,7	0,5	0,45	1,37	0,56	1,71	0,67	2,06	1,85	4,44
MLC-T1-02	32,2	0,40	1,09	0,7	0,5	0,45	1,37	0,56	1,71	0,67	2,06	1,85	4,44
MBH-T1-01	32,0	0,48	1,10	0,8	0,35	0,30	0,84	0,38	1,05	0,46	1,26	2,76	3,87
MBH-T1-02	32,0	0,48	1,10	0,8	0,35	0,30	0,84	0,38	1,05	0,46	1,26	2,76	3,87

Tabla D.7: Efecto de la variación de la adherencia unitaria en el modo de falla que controla y en la resistencia del puntal de compresión según el modelo teórico.

Muro	$0.8\tau_0$		τ_0		$1.2\tau_0$		A_{ms} (mm ²)	R_c [kN]	R_c [kN]	R_c [kN]
	f'_{m0} [MPa]	Tipo de falla	f'_{m0} [MPa]	Tipo de falla	f'_{m0} [MPa]	Tipo de falla				
MRG1	1,66	AD	2,07	AD	2,26	TD	103468	115,32	144,15	157,38
MRG2	1,66	AD	2,07	AD	2,26	TD	103468	115,32	144,15	157,38
MRE1	4,62	FL	4,62	FL	4,62	FL	81465	73,34	73,34	73,34
MRE2	4,62	FL	4,62	FL	4,62	FL	81465	73,34	73,34	73,34
A11	1,66	AD	1,92	TD	1,92	TD	104285	116,50	134,70	134,70
A12	1,66	AD	1,92	TD	1,92	TD	112571	125,76	145,40	145,40
A13	1,66	AD	1,92	TD	1,92	TD	120857	135,01	156,10	156,10
A14	1,66	AD	1,92	TD	1,92	TD	120857	135,01	156,10	156,10
A2	1,66	AD	1,92	TD	1,92	TD	112571	125,76	145,40	145,40
B11	0,64	AD	0,80	AD	0,96	AD	115955	50,16	62,70	75,24
B12	0,64	AD	0,80	AD	0,96	AD	184259	79,71	99,64	119,56
B13	0,64	AD	0,80	AD	0,96	AD	184259	79,71	99,64	119,56
B14	0,64	AD	0,80	AD	0,96	AD	184259	79,71	99,64	119,56
B2	0,64	AD	0,80	AD	0,96	AD	150107	64,94	81,17	97,40
C11	1,18	AD	1,47	AD	1,76	FL	123386	97,56	121,95	125,87
C12	1,18	AD	1,48	FL	1,78	FL	128661	102,52	125,87	125,87
MV1	1,48	TD	1,48	TD	1,48	TD	94697	93,09	93,09	93,09
MV3	1,55	TD	1,55	TD	1,55	TD	90191	86,53	86,53	86,53
MLC-T1-01	1,37	AD	1,71	AD	1,85	TD	134488	156,04	195,05	209,95
MLC-T1-02	1,37	AD	1,71	AD	1,85	TD	134488	156,04	195,05	209,95
MBH-T1-01	0,84	AD	1,05	AD	1,26	AD	132076	94,15	117,69	141,23
MBH-T1-02	0,84	AD	1,05	AD	1,26	AD	132076	94,15	117,69	141,23

Tabla D.8: Resistencia al corte teórica de los muros de albañilería confinada ensayados considerando un 80% del valor original de la adherencia unitaria

Muro	θ [°]	N [kN]	N_y [kN]	R_c [kN]	V_c [kN]	T [kN]	T_y^* [kN]	V_y [kN]	V [kN]	V_{exp} [kN]	V/V_{exp} []
MRG1	47,7	0	0	171,43	115,32	126,85	201,68	183,35	115,32	120,00	0,96
MRG2	47,7	0	0	171,43	115,32	126,85	201,68	183,35	115,32	158,00	0,73
MRE1	70,0	0	0	376,38	128,62	353,72	201,68	73,34	73,34	60,00	1,22
MRE2	70,0	0	0	376,38	128,62	353,72	201,68	73,34	73,34	60,00	1,22
A11	47,7	0	0	173,19	116,50	128,15	201,68	183,35	116,50	116,00	1,00
A12	47,7	80	0	186,95	125,76	138,33	201,68	183,35	125,76	180,00	0,70
A13	47,7	160	0	200,71	135,01	148,51	201,68	183,35	135,01	165,00	0,82
A14	47,7	160	0	200,71	135,01	148,51	201,68	183,35	135,01	144,00	0,94
A2	47,7	80	0	186,95	125,76	138,33	201,68	183,35	125,76	186,00	0,68
B11	47,7	0	0	74,57	50,16	55,18	138,45	125,87	50,16	44,00	1,14
B12	47,7	160	0	118,50	79,71	87,68	138,45	125,87	79,71	111,00	0,72
B13	47,7	160	0	118,50	79,71	87,68	138,45	125,87	79,71	80,00	1,00
B14	47,7	160	0	118,50	79,71	87,68	138,45	125,87	79,71	98,00	0,81
B2	47,7	80	0	96,53	64,94	71,43	138,45	125,87	64,94	92,00	0,71
C11	47,7	140	0	145,03	97,56	107,32	138,45	125,87	97,56	125,00	0,78
C12	47,7	140	0	152,41	102,52	112,78	138,45	125,87	102,52	145,00	0,71
MV1	51,6	0	0	139,36	86,53	109,24	131,95	104,51	86,53	90,55	0,96
MV3	32,2	0	0	184,49	156,04	98,43	173,73	275,43	156,04	142,00	1,10
MLC-T1-01	32,2	0	0	184,49	156,04	98,43	173,73	275,43	156,04	142,00	1,10
MLC-T1-02	32,2	0	0	184,49	156,04	98,43	173,73	275,43	156,04	160,00	0,98
MBH-T1-01	32,0	0	0	111,03	94,15	58,84	173,73	277,97	94,15	101,00	0,93
MBH-T1-02	32,0	0	0	111,03	94,15	58,84	173,73	277,97	94,15	110,00	0,86

Tabla D.9: Resistencia al corte teórica de los muros de albañilería confinada ensayados considerando el valor original de la adherencia unitaria

Muro	θ [°]	N [kN]	N_y [kN]	R_c [kN]	V_c [kN]	T [kN]	T_y* [kN]	V_y [kN]	V [kN]	V_{exp} [kN]	V/V_{exp} []
MRG1	47,7	0	0	214,29	144,15	158,56	201,68	183,35	144,15	120	1,20
MRG2	47,7	0	0	214,29	144,15	158,56	201,68	183,35	144,15	158	0,91
MRE1	70,0	0	0	376,38	128,62	353,72	201,68	73,34	73,34	60	1,22
MRE2	70,0	0	0	376,38	128,62	353,72	201,68	73,34	73,34	60	1,22
A11	47,7	0	0	200,24	134,70	148,17	201,68	183,35	134,70	116	1,16
A12	47,7	80	0	216,15	145,40	159,94	201,68	183,35	145,40	180	0,81
A13	47,7	160	0	232,06	156,10	171,71	201,68	183,35	156,10	165	0,95
A14	47,7	160	0	232,06	156,10	171,71	201,68	183,35	156,10	144	1,08
A2	47,7	80	0	216,15	145,40	159,94	201,68	183,35	145,40	186	0,78
B11	47,7	0	0	93,21	62,70	68,97	138,45	125,87	62,70	44	1,43
B12	47,7	160	0	148,12	99,64	109,60	138,45	125,87	99,64	111	0,90
B13	47,7	160	0	148,12	99,64	109,60	138,45	125,87	99,64	80	1,25
B14	47,7	160	0	148,12	99,64	109,60	138,45	125,87	99,64	98	1,02
B2	47,7	80	0	120,67	81,17	89,29	138,45	125,87	81,17	92	0,88
C11	47,7	140	0	181,29	121,95	134,15	138,45	125,87	121,95	125	0,98
C12	47,7	140	0	190,52	128,16	140,97	138,45	125,87	125,87	145	0,87
MV1	48,3	0	0	139,92	93,09	104,47	131,95	117,58	93,09	100,72	0,92
MV3	51,6	0	0	139,36	86,53	109,24	131,95	104,51	86,53	90,55	0,96
MLC-T1-01	32,2	0	0	230,61	195,05	123,03	173,73	275,43	195,05	142	1,37
MLC-T1-02	32,2	0	0	230,61	195,05	123,03	173,73	275,43	195,05	160	1,22
MBH-T1-01	32,0	0	0	138,79	117,69	73,56	173,73	277,97	117,69	101	1,17
MBH-T1-02	32,0	0	0	138,79	117,69	73,56	173,73	277,97	117,69	110	1,07

Tabla D.10: Resistencia al corte teórica de los muros de albañilería confinada ensayados considerando un 120% del valor original de la adherencia unitaria.

Muro	θ [°]	N [kN]	Ny [kN]	Rc [kN]	Vc [kN]	T [kN]	Ty* [kN]	Vy [kN]	V [kN]	V_{exp} [kN]	V/V_{exp} []
MRG1	47,7	0	0	233,96	157,38	173,11	201,68	183,35	157,38	120	1,31
MRG2	47,7	0	0	233,96	157,38	173,11	201,68	183,35	157,38	158	1,00
MRE1	70,0	0	0	376,38	128,62	353,72	201,68	73,34	73,34	60	1,22
MRE2	70,0	0	0	376,38	128,62	353,72	201,68	73,34	73,34	60	1,22
A11	47,7	0	0	200,24	134,70	148,17	201,68	183,35	134,70	116	1,16
A12	47,7	80	0	216,15	145,40	159,94	201,68	183,35	145,40	180	0,81
A13	47,7	160	0	232,06	156,10	171,71	201,68	183,35	156,10	165	0,95
A14	47,7	160	0	232,06	156,10	171,71	201,68	183,35	156,10	144	1,08
A2	47,7	80	0	216,15	145,40	159,94	201,68	183,35	145,40	186	0,78
B11	47,7	0	0	111,86	75,24	82,77	138,45	125,87	75,24	44	1,71
B12	47,7	160	0	177,74	119,56	131,52	138,45	125,87	119,56	111	1,08
B13	47,7	160	0	177,74	119,56	131,52	138,45	125,87	119,56	80	1,49
B14	47,7	160	0	177,74	119,56	131,52	138,45	125,87	119,56	98	1,22
B2	47,7	80	0	144,80	97,40	107,14	138,45	125,87	97,40	92	1,06
C11	47,7	140	0	217,55	146,34	160,97	138,45	125,87	125,87	125	1,01
C12	47,7	140	0	228,62	153,79	169,17	138,45	125,87	125,87	145	0,87
MV1	48,3	0	0	139,92	93,09	104,47	131,95	117,58	93,09	100,72	0,92
MV3	51,6	0	0	139,36	86,53	109,24	131,95	104,51	86,53	90,55	0,96
MLC-T1-01	32,2	0	0	248,23	209,95	132,43	173,73	275,43	209,95	142	1,48
MLC-T1-02	32,2	0	0	248,23	209,95	132,43	173,73	275,43	209,95	160	1,31
MBH-T1-01	32,0	0	0	166,54	141,23	88,27	173,73	277,97	141,23	101	1,40
MBH-T1-02	32,0	0	0	166,54	141,23	88,27	173,73	277,97	141,23	110	1,28

D.3. EFECTO DEL COEFICIENTE DE FRICCIÓN μ

Por lo general, como reporta Cabezas (2011), los valores del coeficiente de fricción son superiores a 0.6 para todo tipo de unidad de albañilería. Crisafulli (1997) reporta valores de μ entre 0.7 y 0.85.

Teniendo en cuenta estos antecedentes, el análisis de sensibilidad se realiza para valores del coeficiente de fricción μ iguales a 0.6, 0.7, 0.8 y 0.9

En la Figura D.5 se muestra la variación de la resistencia al corte teórica de los muros ensayados frente a una variación del coeficiente de fricción, y en la Figura D.6 se muestra la variación de la relación entre la resistencia al corte teórica y la carga de agrietamiento diagonal experimental de los muros ensayados.

Los cálculos efectuados para dibujar estas figuras se detallan en las tablas D.11, D.12, D.13, D.14, D.15 y D.16

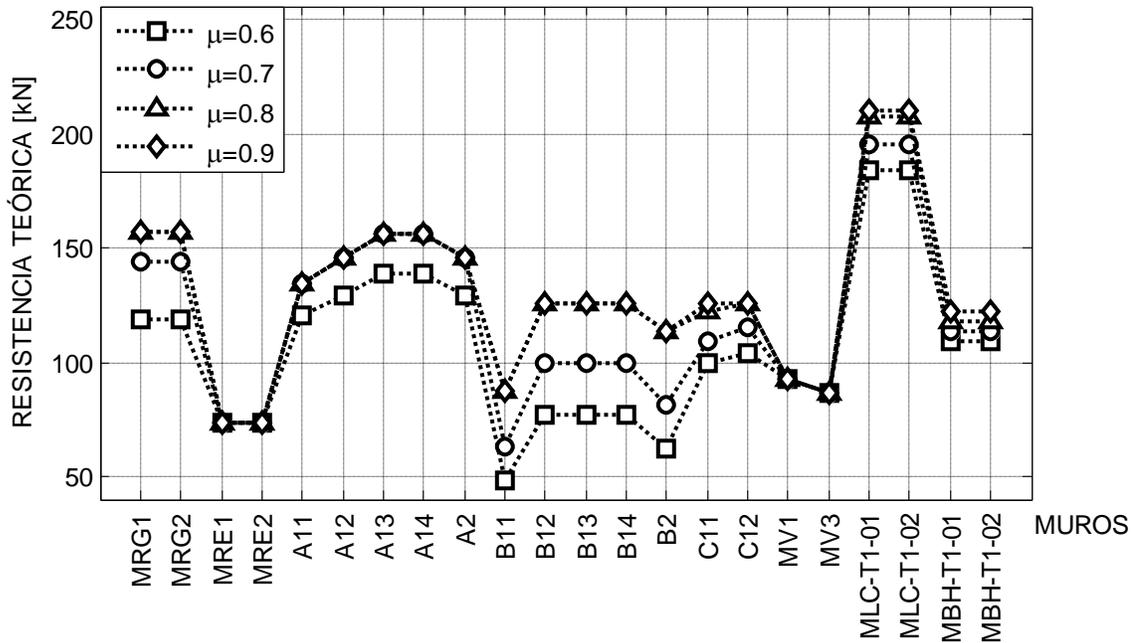


Figura D.5: Efecto de la variación del coeficiente de fricción en la resistencia al corte teórica de los muros de albañilería confinada ensayados.

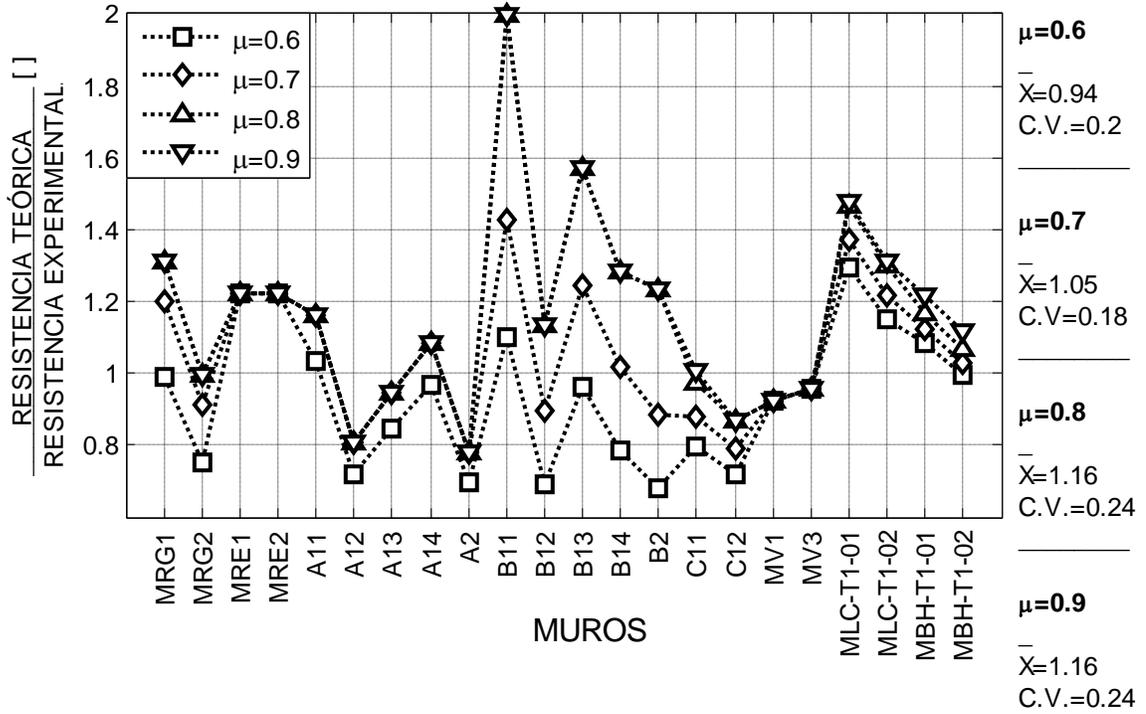


Figura D.6: Efecto de la variación del coeficiente de fricción en la relación entre la resistencia al corte teórica y la carga de agrietamiento diagonal experimental de los muros de albañilería confinada ensayados.

Tabla D.11: Efecto de la variación del coeficiente de fricción en la resistencia del puntal de compresión para cada tipo de falla según modelo teórico.

Muro	$\theta [^\circ]$	b/d []	$\chi []$	τ_0 [MPa]	F []	$\mu=0.6$	$\mu=0.7$	$\mu=0.8$	$\mu=0.9$	$f'_{m\theta}$ TD [MPa]	$f'_{m\theta}$ CA [MPa]
						$f'_{m\theta}$ AD [MPa]	$f'_{m\theta}$ AD [MPa]	$f'_{m\theta}$ AD [MPa]	$f'_{m\theta}$ AD [MPa]		
MRG1	47,7	0,25	0,45	0,405	0,5	1,71	2,07	2,62	3,54	2,26	11,33
MRG2	47,7	0,25	0,45	0,405	0,5	1,71	2,07	2,62	3,54	2,26	11,33
MRE1	70,0	0,25	0,01	0,405	0,5	*	*	*	*	4,62	12,16
MRE2	70,0	0,25	0,01	0,405	0,5	*	*	*	*	4,62	12,16
A11	47,7	0,24	0,45	0,405	0,5	1,71	2,08	2,63	3,55	1,92	10,04
A12	47,7	0,24	0,45	0,405	0,5	1,71	2,08	2,63	3,55	1,92	10,04
A13	47,7	0,24	0,45	0,405	0,5	1,71	2,08	2,63	3,55	1,92	10,04
A14	47,7	0,24	0,45	0,405	0,5	1,71	2,08	2,63	3,55	1,92	10,04
A2	47,7	0,24	0,45	0,405	0,5	1,71	2,08	2,63	3,55	1,92	10,04
B11	47,7	0,21	0,45	0,123	1	0,62	0,80	1,13	1,88	1,13	2,44
B12	47,7	0,21	0,45	0,123	1	0,62	0,80	1,13	1,88	1,13	2,44
B13	47,7	0,21	0,45	0,123	1	0,62	0,80	1,13	1,88	1,13	2,44
B14	47,7	0,21	0,45	0,123	1	0,62	0,80	1,13	1,88	1,13	2,44
B2	47,7	0,21	0,45	0,123	1	0,62	0,80	1,13	1,88	1,13	2,44
C11	47,7	0,49	0,45	0,38	0,35	1,20	1,32	1,47	1,65	3,83	7,51
C12	47,7	0,48	0,45	0,38	0,35	1,20	1,33	1,48	1,67	1,89	5,90
MV1	48,3	0,24	0,43	0,471	0,5	2,05	2,51	3,23	4,48	1,48	9,40
MV3	51,6	0,24	0,30	0,471	0,5	2,47	3,25	4,71	8,42	1,55	9,50
MLC-T1-01	32,2	0,40	1,09	0,56	0,5	1,62	1,71	1,83	1,96	1,85	4,44
MLC-T1-02	32,2	0,40	1,09	0,56	0,5	1,62	1,71	1,83	1,96	1,85	4,44
MBH-T1-01	32,0	0,48	1,10	0,38	0,35	0,98	1,01	1,05	1,10	2,76	3,87
MBH-T1-02	32,0	0,48	1,10	0,38	0,35	0,98	1,01	1,05	1,10	2,76	3,87

Tabla D.12: Efecto de la variación del coeficiente de fricción en el modo de falla que controla y en la resistencia del puntal de compresión según el modelo teórico.

Muro	$\mu=0.6$		$\mu=0.7$		$\mu=0.8$		$\mu=0.9$		A_{ms} (mm ²)	$\mu=0.6$	$\mu=0.7$	$\mu=0.8$	$\mu=0.9$
	f'_{m0} [MPa]	Tipo de falla		R_c [kN]	R_c [kN]	R_c [kN]	R_c [kN]						
MRG1	1,71	AD	2,07	AD	2,26	TD	2,26	TD	103468	119,01	144,15	157,38	157,38
MRG2	1,71	AD	2,07	AD	2,26	TD	2,26	TD	103468	119,01	144,15	157,38	157,38
MRE1	4,62	FL	4,62	FL	4,62	FL	4,62	FL	81465	73,34	73,34	73,34	73,34
MRE2	4,62	FL	4,62	FL	4,62	FL	4,62	FL	81465	73,34	73,34	73,34	73,34
A11	1,71	AD	1,92	TD	1,92	TD	1,92	TD	104285	120,14	134,70	134,70	134,70
A12	1,71	AD	1,92	TD	1,92	TD	1,92	TD	112571	129,69	145,40	145,40	145,40
A13	1,71	AD	1,92	TD	1,92	TD	1,92	TD	120857	139,24	156,10	156,10	156,10
A14	1,71	AD	1,92	TD	1,92	TD	1,92	TD	120857	139,24	156,10	156,10	156,10
A2	1,71	AD	1,92	TD	1,92	TD	1,92	TD	112571	129,69	145,40	145,40	145,40
B11	0,62	AD	0,80	AD	1,13	TD	1,13	TD	115955	48,38	62,70	87,78	87,78
B12	0,62	AD	0,80	AD	1,13	FL	1,13	FL	184259	76,88	99,64	125,87	125,87
B13	0,62	AD	0,80	AD	1,13	FL	1,13	FL	184259	76,88	99,64	125,87	125,87
B14	0,62	AD	0,80	AD	1,13	FL	1,13	FL	184259	76,88	99,64	125,87	125,87
B2	0,62	AD	0,80	AD	1,13	TD	1,13	TD	150107	62,63	81,17	113,63	113,63
C11	1,20	AD	1,32	AD	1,47	AD	1,65	FL	123386	99,51	109,63	121,95	125,87
C12	1,20	AD	1,33	AD	1,48	FL	1,67	FL	128661	104,27	115,03	125,87	125,87
MV1	1,48	TD	1,48	TD	1,48	TD	1,48	TD	94697	93,09	93,09	93,09	93,09
MV3	1,55	TD	1,55	TD	1,55	TD	1,55	TD	90191	86,53	86,53	86,53	86,53
MLC-T1-01	1,62	AD	1,71	AD	1,83	AD	1,85	TD	134488	183,91	195,05	207,99	209,95
MLC-T1-02	1,62	AD	1,71	AD	1,83	AD	1,85	TD	134488	183,91	195,05	207,99	209,95
MBH-T1-01	0,98	AD	1,01	AD	1,05	AD	1,10	AD	132076	109,46	113,32	117,69	122,66
MBH-T1-02	0,98	AD	1,01	AD	1,05	AD	1,10	AD	132076	109,46	113,32	117,69	122,66

Tabla D.13: Resistencia al corte teórica de los muros de albañilería confinada ensayados considerando un coeficiente de fricción igual a 0.6.

Muro	θ [°]	N [kN]	N_y [kN]	R_c [kN]	V_c [kN]	T [kN]	T_y^* [kN]	V_y [kN]	V [kN]	V_{exp} [kN]	V/V_{exp} []
MRG1	47,7	0	0	176,92	119,01	130,91	201,68	183,35	119,01	120,00	0,99
MRG2	47,7	0	0	176,92	119,01	130,91	201,68	183,35	119,01	158,00	0,75
MRE1	70,0	0	0	376,38	128,62	353,72	201,68	73,34	73,34	60,00	1,22
MRE2	70,0	0	0	376,38	128,62	353,72	201,68	73,34	73,34	60,00	1,22
A11	47,7	0	0	178,61	120,14	132,16	201,68	183,35	120,14	116,00	1,04
A12	47,7	80	0	192,80	129,69	142,66	201,68	183,35	129,69	180,00	0,72
A13	47,7	160	0	206,99	139,24	153,16	201,68	183,35	139,24	165,00	0,84
A14	47,7	160	0	206,99	139,24	153,16	201,68	183,35	139,24	144,00	0,97
A2	47,7	80	0	192,80	129,69	142,66	201,68	183,35	129,69	186,00	0,70
B11	47,7	0	0	71,93	48,38	53,22	138,45	125,87	48,38	44,00	1,10
B12	47,7	160	0	114,29	76,88	84,57	138,45	125,87	76,88	111,00	0,69
B13	47,7	160	0	114,29	76,88	84,57	138,45	125,87	76,88	80,00	0,96
B14	47,7	160	0	114,29	76,88	84,57	138,45	125,87	76,88	98,00	0,78
B2	47,7	80	0	93,11	62,63	68,90	138,45	125,87	62,63	92,00	0,68
C11	47,7	140	0	147,93	99,51	109,46	138,45	125,87	99,51	125,00	0,80
C12	47,7	140	0	155,01	104,27	114,70	138,45	125,87	104,27	145,00	0,72
MV1	48,3	0	0	139,92	93,09	104,47	131,95	117,58	93,09	100,72	0,92
MV3	51,6	0	0	139,36	86,53	109,24	131,95	104,51	86,53	90,55	0,96
MLC-T1-01	32,2	0	0	217,44	183,91	116,00	173,73	275,43	183,91	142,00	1,30
MLC-T1-02	32,2	0	0	217,44	183,91	116,00	173,73	275,43	183,91	160,00	1,15
MBH-T1-01	32,0	0	0	129,08	109,46	68,41	173,73	277,97	109,46	101,00	1,08
MBH-T1-02	32,0	0	0	129,08	109,46	68,41	173,73	277,97	109,46	110,00	1,00

Tabla D.14: Resistencia al corte teórica de los muros de albañilería confinada ensayados considerando un coeficiente de fricción igual a 0.7.

Muro	θ [°]	N [kN]	N_y [kN]	R_c [kN]	V_c [kN]	T [kN]	T_y* [kN]	V_y [kN]	V [kN]	V_{exp} [kN]	V/V_{exp} []
MRG1	47,7	0	0	214,29	144,15	158,56	201,68	183,35	144,15	120	1,20
MRG2	47,7	0	0	214,29	144,15	158,56	201,68	183,35	144,15	158	0,91
MRE1	70,0	0	0	376,38	128,62	353,72	201,68	73,34	73,34	60	1,22
MRE2	70,0	0	0	376,38	128,62	353,72	201,68	73,34	73,34	60	1,22
A11	47,7	0	0	200,24	134,70	148,17	201,68	183,35	134,70	116	1,16
A12	47,7	80	0	216,15	145,40	159,94	201,68	183,35	145,40	180	0,81
A13	47,7	160	0	232,06	156,10	171,71	201,68	183,35	156,10	165	0,95
A14	47,7	160	0	232,06	156,10	171,71	201,68	183,35	156,10	144	1,08
A2	47,7	80	0	216,15	145,40	159,94	201,68	183,35	145,40	186	0,78
B11	47,7	0	0	93,21	62,70	68,97	138,45	125,87	62,70	44	1,43
B12	47,7	160	0	148,12	99,64	109,60	138,45	125,87	99,64	111	0,90
B13	47,7	160	0	148,12	99,64	109,60	138,45	125,87	99,64	80	1,25
B14	47,7	160	0	148,12	99,64	109,60	138,45	125,87	99,64	98	1,02
B2	47,7	80	0	120,67	81,17	89,29	138,45	125,87	81,17	92	0,88
C11	47,7	140	0	162,98	109,63	120,59	138,45	125,87	109,63	125	0,88
C12	47,7	140	0	171,00	115,03	126,53	138,45	125,87	115,03	145	0,79
MV1	48,3	0	0	139,92	93,09	104,47	131,95	117,58	93,09	100,72	0,92
MV3	51,6	0	0	139,36	86,53	109,24	131,95	104,51	86,53	90,55	0,96
MLC-T1-01	32,2	0	0	230,61	195,05	123,03	173,73	275,43	195,05	142	1,37
MLC-T1-02	32,2	0	0	230,61	195,05	123,03	173,73	275,43	195,05	160	1,22
MBH-T1-01	32,0	0	0	133,63	113,32	70,82	173,73	277,97	113,32	101	1,12
MBH-T1-02	32,0	0	0	133,63	113,32	70,82	173,73	277,97	113,32	110	1,03

Tabla D.15: Resistencia al corte teórica de los muros de albañilería confinada ensayados considerando un coeficiente de fricción igual a 0.8.

Muro	θ [°]	N [kN]	N_y [kN]	R_c [kN]	V_c [kN]	T [kN]	T_y^* [kN]	V_y [kN]	V [kN]	V_{exp} [kN]	V/V_{exp} []
MRG1	47,7	0	0	233,96	157,38	173,11	201,68	183,35	157,38	120	1,31
MRG2	47,7	0	0	233,96	157,38	173,11	201,68	183,35	157,38	158	1,00
MRE1	70,0	0	0	376,38	128,62	353,72	201,68	73,34	73,34	60	1,22
MRE2	70,0	0	0	376,38	128,62	353,72	201,68	73,34	73,34	60	1,22
A11	47,7	0	0	200,24	134,70	148,17	201,68	183,35	134,70	116	1,16
A12	47,7	80	0	216,15	145,40	159,94	201,68	183,35	145,40	180	0,81
A13	47,7	160	0	232,06	156,10	171,71	201,68	183,35	156,10	165	0,95
A14	47,7	160	0	232,06	156,10	171,71	201,68	183,35	156,10	144	1,08
A2	47,7	80	0	216,15	145,40	159,94	201,68	183,35	145,40	186	0,78
B11	47,7	0	0	130,49	87,78	96,56	138,45	125,87	87,78	44	2,00
B12	47,7	160	0	207,36	139,49	153,44	138,45	125,87	125,87	111	1,13
B13	47,7	160	0	207,36	139,49	153,44	138,45	125,87	125,87	80	1,57
B14	47,7	160	0	207,36	139,49	153,44	138,45	125,87	125,87	98	1,28
B2	47,7	80	0	168,93	113,63	125,00	138,45	125,87	113,63	92	1,24
C11	47,7	140	0	181,29	121,95	134,15	138,45	125,87	121,95	125	0,98
C12	47,7	140	0	190,52	128,16	140,97	138,45	125,87	125,87	145	0,87
MV1	48,3	0	0	139,92	93,09	104,47	131,95	117,58	93,09	100,72	0,92
MV3	51,6	0	0	139,36	86,53	109,24	131,95	104,51	86,53	90,55	0,96
MLC-T1-01	32,2	0	0	245,91	207,99	131,20	173,73	275,43	207,99	142	1,46
MLC-T1-02	32,2	0	0	245,91	207,99	131,20	173,73	275,43	207,99	160	1,30
MBH-T1-01	32,0	0	0	138,79	117,69	73,56	173,73	277,97	117,69	101	1,17
MBH-T1-02	32,0	0	0	138,79	117,69	73,56	173,73	277,97	117,69	110	1,07

Tabla D.16: Resistencia al corte teórica de los muros de albañilería confinada ensayados considerando un coeficiente de fricción igual a 0.9.

Muro	θ [°]	N [kN]	N_y [kN]	R_c [kN]	V_c [kN]	T [kN]	T_y^* [kN]	V_y [kN]	V [kN]	V_{exp} [kN]	V/V_{exp} []
MRG1	47,7	0	0	233,96	157,38	173,11	201,68	183,35	157,38	120	1,31
MRG2	47,7	0	0	233,96	157,38	173,11	201,68	183,35	157,38	158	1,00
MRE1	70,0	0	0	376,38	128,62	353,72	201,68	73,34	73,34	60	1,22
MRE2	70,0	0	0	376,38	128,62	353,72	201,68	73,34	73,34	60	1,22
A11	47,7	0	0	200,24	134,70	148,17	201,68	183,35	134,70	116	1,16
A12	47,7	80	0	216,15	145,40	159,94	201,68	183,35	145,40	180	0,81
A13	47,7	160	0	232,06	156,10	171,71	201,68	183,35	156,10	165	0,95
A14	47,7	160	0	232,06	156,10	171,71	201,68	183,35	156,10	144	1,08
A2	47,7	80	0	216,15	145,40	159,94	201,68	183,35	145,40	186	0,78
B11	47,7	0	0	130,49	87,78	96,56	138,45	125,87	87,78	44	2,00
B12	47,7	160	0	207,36	139,49	153,44	138,45	125,87	125,87	111	1,13
B13	47,7	160	0	207,36	139,49	153,44	138,45	125,87	125,87	80	1,57
B14	47,7	160	0	207,36	139,49	153,44	138,45	125,87	125,87	98	1,28
B2	47,7	80	0	168,93	113,63	125,00	138,45	125,87	113,63	92	1,24
C11	47,7	140	0	204,07	137,27	151,00	138,45	125,87	125,87	125	1,01
C12	47,7	140	0	214,87	144,54	158,99	138,45	125,87	125,87	145	0,87
MV1	48,3	0	0	139,92	93,09	104,47	131,95	117,58	93,09	100,72	0,92
MV3	51,6	0	0	139,36	86,53	109,24	131,95	104,51	86,53	90,55	0,96
MLC-T1-01	32,2	0	0	248,23	209,95	132,43	173,73	275,43	209,95	142	1,48
MLC-T1-02	32,2	0	0	248,23	209,95	132,43	173,73	275,43	209,95	160	1,31
MBH-T1-01	32,0	0	0	144,65	122,66	76,66	173,73	277,97	122,66	101	1,21
MBH-T1-02	32,0	0	0	144,65	122,66	76,66	173,73	277,97	122,66	110	1,12

D.4. EFECTO DEL COEFICIENTE F

Como este coeficiente está relacionado con la anisotropía de la albañilería, la cual depende de la calidad de la construcción de las juntas verticales entre otras variables, es razonable suponer que el valor del coeficiente F puede variar dentro de un rango amplio de valores. Considerando que la información experimental reunida en el capítulo 3 es escasa para cuantificar esta variación, para los efectos del estudio de sensibilidad se consideran arbitrariamente rangos de variación según el tipo de unidad.

D.4.1. Unidades cerámicas hechas a máquina del tipo rejilla con huecos

En este caso, el análisis de sensibilidad se realiza para valores del coeficiente F iguales a $0.5F$, F y $1.5F$, valores que para este tipo de unidad de albañilería equivalen a 0.25, 0.5 y 0.75, respectivamente.

En la Figura D.7 se muestra la variación de la resistencia al corte teórica de los muros ensayados frente a una variación del *factor de calidad*, y en la Figura D.8 se muestra la variación de la relación entre la resistencia al corte teórica y la carga de agrietamiento diagonal experimental de los muros ensayados.

Los cálculos efectuados para dibujar estas figuras se detallan en las tablas D.17, D.18, D.19, D.20 y D.21

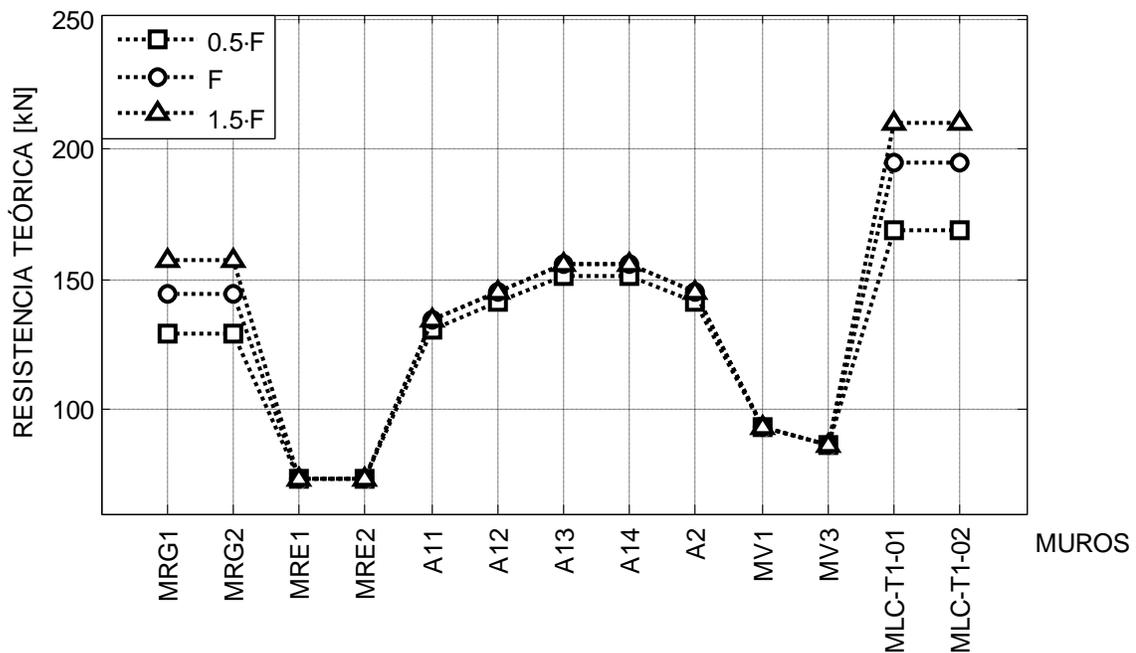


Figura D.7: Efecto de la variación del *factor de calidad* en la resistencia al corte teórica de los muros de albañilería confinada construidos con unidades cerámicas hechas a máquina del tipo rejilla con huecos.

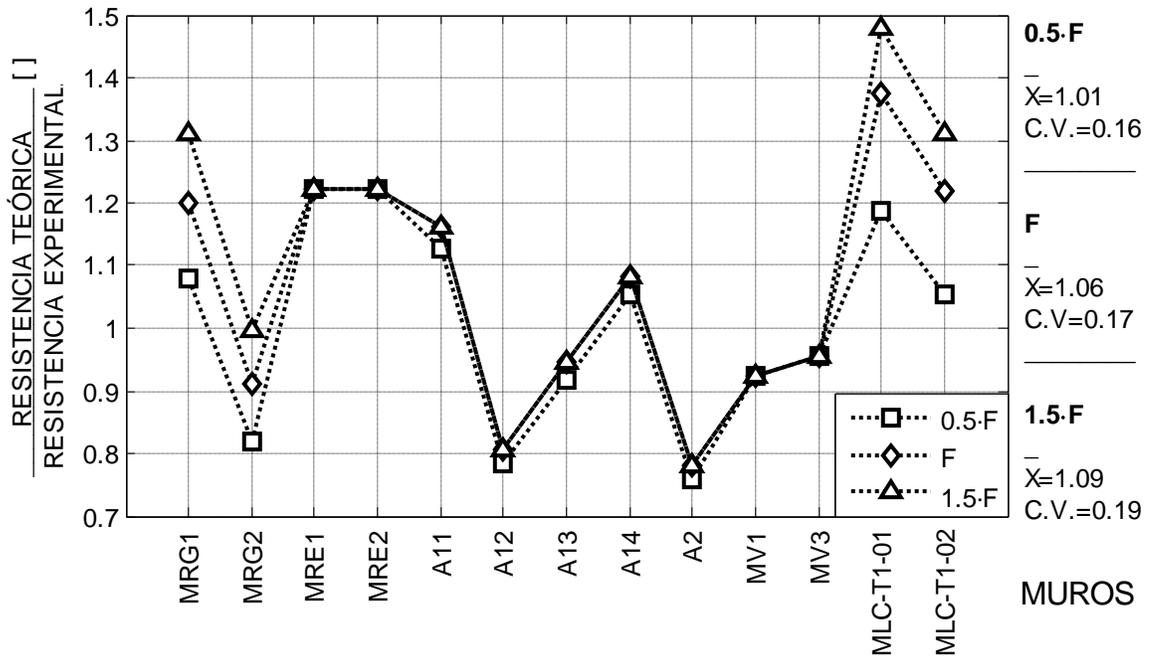


Figura D.8: Efecto de la variación del *factor de calidad* en la relación entre la resistencia al corte teórica y la carga de agrietamiento diagonal experimental de los muros de albañilería confinada construidos con unidades cerámicas hechas a máquina del tipo rejilla con huecos.

Tabla D.17: Efecto de la variación del *factor de calidad* en la resistencia del puntal de compresión para cada tipo de falla según el modelo teórico. Caso de los muros de albañilería confinada construidos con unidades cerámicas hechas a máquina del tipo rejilla con huecos.

Muro	θ [°]	b/d []	χ []	τ_0 [MPa]	μ []	0.5F=0.25	F=0.5	1.5F=0.75	f' m0 TD [MPa]	f' m0 CA [MPa]
						f' m0 AD [MPa]	f' m0 AD [MPa]	f' m0 AD [MPa]		
MRG1	47,7	0,25	0,45	0,41	0,70	1,86	2,07	2,30	2,26	11,33
MRG2	47,7	0,25	0,45	0,41	0,70	1,86	2,07	2,30	2,26	11,33
MRE1	70,0	0,25	0,01	0,41	0,70	*	*	*	4,62	12,16
MRE2	70,0	0,25	0,01	0,41	0,70	*	*	*	4,62	12,16
A11	47,7	0,24	0,45	0,41	0,70	1,87	2,08	2,31	1,92	10,04
A12	47,7	0,24	0,45	0,41	0,70	1,87	2,08	2,31	1,92	10,04
A13	47,7	0,24	0,45	0,41	0,70	1,87	2,08	2,31	1,92	10,04
A14	47,7	0,24	0,45	0,41	0,70	1,87	2,08	2,31	1,92	10,04
A2	47,7	0,24	0,45	0,41	0,70	1,87	2,08	2,31	1,92	10,04
MV1	48,3	0,24	0,43	0,47	0,70	2,26	2,51	2,79	1,40	1,48
MV3	51,6	0,24	0,30	0,47	0,70	2,92	3,25	3,61	1,38	1,55
MLC-T1-01	32,2	0,40	1,09	0,56	0,70	1,48	1,71	1,97	1,85	4,44
MLC-T1-02	32,2	0,40	1,09	0,56	0,70	1,48	1,71	1,97	1,85	4,44

Tabla D.18: Efecto de la variación del *factor de calidad* en el modo de falla que controla y en la resistencia del puntal de compresión según el modelo teórico. Caso de los muros de albañilería confinada construidos con unidades cerámicas hechas a máquina del tipo rejilla con huecos

Muro	0.5F=0.25		F=0.5		1.5F=0.75		A _{ms} [mm ²]	0.5F=0.25	F=0.5	1.5F=0.75
	f' _{m0} [MPa]	Tipo de falla	f' _{m0} [MPa]	Tipo de falla	f' _{m0} [MPa]	Tipo de falla		R _c [kN]	R _c [kN]	R _c [kN]
MRG1	1,86	AD	2,07	AD	2,26	TD	103468	129,44	144,15	157,38
MRG2	1,86	AD	2,07	AD	2,26	TD	103468	129,44	144,15	157,38
MRE1	4,62	FL	4,62	FL	4,62	FL	81465	73,34	73,34	73,34
MRE2	4,62	FL	4,62	FL	4,62	FL	81465	73,34	73,34	73,34
A11	1,87	AD	1,92	TD	1,92	TD	104285	130,83	134,70	134,70
A12	1,87	AD	1,92	TD	1,92	TD	112571	141,23	145,40	145,40
A13	1,87	AD	1,92	TD	1,92	TD	120857	151,62	156,10	156,10
A14	1,87	AD	1,92	TD	1,92	TD	120857	151,62	156,10	156,10
A2	1,87	AD	1,92	TD	1,92	TD	112571	141,23	145,40	145,40
MV1	1,48	TD	1,48	TD	1,48	TD	94697	93,09	93,09	93,09
MV3	1,55	TD	1,55	TD	1,55	TD	90191	86,53	86,53	86,53
MLC-T1-01	1,48	AD	1,71	AD	1,85	TD	134488	168,69	195,05	209,95
MLC-T1-02	1,48	AD	1,71	AD	1,85	TD	134488	168,69	195,05	209,95

Tabla D.19: Resistencia al corte teórica de los muros de albañilería confinada ensayados considerando un 50% del valor original del factor de calidad ($F=0.25$). Caso de los muros de albañilería confinada construidos con unidades cerámicas hechas a máquina del tipo rejilla con huecos.

Muro	θ [°]	N [kN]	N_y [kN]	R_c [kN]	V_c [kN]	T [kN]	T_y^* [kN]	V_y [kN]	V [kN]	V_{exp} [kN]	V/V_{exp} []
MRG1	47,7	0	0	192,43	129,44	142,38	201,68	183,35	129,44	120	1,08
MRG2	47,7	0	0	192,43	129,44	142,38	201,68	183,35	129,44	158	0,82
MRE1	70,0	0	0	376,38	128,62	353,72	201,68	73,34	73,34	60	1,22
MRE2	70,0	0	0	376,38	128,62	353,72	201,68	73,34	73,34	60	1,22
A11	47,7	0	0	194,49	130,83	143,91	201,68	183,35	130,83	116	1,13
A12	47,7	80	0	209,95	141,23	155,35	201,68	183,35	141,23	180	0,78
A13	47,7	160	0	225,40	151,62	166,78	201,68	183,35	151,62	165	0,92
A14	47,7	160	0	225,40	151,62	166,78	201,68	183,35	151,62	144	1,05
A2	47,7	80	0	209,95	141,23	155,35	201,68	183,35	141,23	186	0,76
MV1	48,3	0	0	139,92	93,09	104,47	131,95	117,58	93,09	100,72	0,92
MV3	51,6	0	0	139,36	86,53	109,24	131,95	104,51	86,53	90,55	0,96
MLC-T1-01	32,2	0	0	199,45	168,69	106,40	173,73	275,43	168,69	142	1,19
MLC-T1-02	32,2	0	0	199,45	168,69	106,40	173,73	275,43	168,69	160	1,05

Tabla D.20: Resistencia al corte teórica de los muros de albañilería confinada ensayados considerando el valor original del *factor de calidad* ($F=0.5$). Caso de los muros de albañilería confinada construidos con unidades cerámicas hechas a máquina del tipo rejilla con huecos.

Muro	θ [°]	N [kN]	N_y [kN]	R_c [kN]	V_c [kN]	T [kN]	T_y^* [kN]	V_y [kN]	V [kN]	V_{exp} [kN]	V/V_{exp} []
MRG1	47,7	0	0	214,29	144,15	158,56	201,68	183,35	144,15	120	1,20
MRG2	47,7	0	0	214,29	144,15	158,56	201,68	183,35	144,15	158	0,91
MRE1	70,0	0	0	376,38	128,62	353,72	201,68	73,34	73,34	60	1,22
MRE2	70,0	0	0	376,38	128,62	353,72	201,68	73,34	73,34	60	1,22
A11	47,7	0	0	200,24	134,70	148,17	201,68	183,35	134,70	116	1,16
A12	47,7	80	0	216,15	145,40	159,94	201,68	183,35	145,40	180	0,81
A13	47,7	160	0	232,06	156,10	171,71	201,68	183,35	156,10	165	0,95
A14	47,7	160	0	232,06	156,10	171,71	201,68	183,35	156,10	144	1,08
A2	47,7	80	0	216,15	145,40	159,94	201,68	183,35	145,40	186	0,78
MV1	48,3	0	0	139,92	93,09	104,47	131,95	117,58	93,09	100,72	0,92
MV3	51,6	0	0	139,36	86,53	109,24	131,95	104,51	86,53	90,55	0,96
MLC-T1-01	32,2	0	0	230,61	195,05	123,03	173,73	275,43	195,05	142	1,37
MLC-T1-02	32,2	0	0	230,61	195,05	123,03	173,73	275,43	195,05	160	1,22

Tabla D.21: Resistencia al corte teórica de los muros de albañilería confinada ensayados considerando un 150% del valor original del factor de calidad ($F=0.75$). El caso de los muros de albañilería confinada construidos con unidades cerámicas hechas a máquina del tipo rejilla con huecos.

Muro	θ [°]	N [kN]	N_y [kN]	R_c [kN]	V_c [kN]	T [kN]	T_y^* [kN]	V_y [kN]	V [kN]	V_{exp} [kN]	V/V_{exp} []
MRG1	47,7	0	0	233,96	157,38	173,11	201,68	183,35	157,38	120	1,31
MRG2	47,7	0	0	233,96	157,38	173,11	201,68	183,35	157,38	158	1,00
MRE1	70,0	0	0	376,38	128,62	353,72	201,68	73,34	73,34	60	1,22
MRE2	70,0	0	0	376,38	128,62	353,72	201,68	73,34	73,34	60	1,22
A11	47,7	0	0	200,24	134,70	148,17	201,68	183,35	134,70	116	1,16
A12	47,7	80	0	216,15	145,40	159,94	201,68	183,35	145,40	180	0,81
A13	47,7	160	0	232,06	156,10	171,71	201,68	183,35	156,10	165	0,95
A14	47,7	160	0	232,06	156,10	171,71	201,68	183,35	156,10	144	1,08
A2	47,7	80	0	216,15	145,40	159,94	201,68	183,35	145,40	186	0,78
MV1	48,3	0	0	139,92	93,09	104,47	131,95	117,58	93,09	100,72	0,92
MV3	51,6	0	0	139,36	86,53	109,24	131,95	104,51	86,53	90,55	0,96
MLC-T1-01	32,2	0	0	248,23	209,95	132,43	173,73	275,43	209,95	142	1,48
MLC-T1-02	32,2	0	0	248,23	209,95	132,43	173,73	275,43	209,95	160	1,31

D.4.2. Unidades cerámicas macizas de fabricación artesanal.

En este caso el análisis de sensibilidad se realiza para valores del coeficiente F iguales a $0.5F$, $0.75F$ y F , valores que para este tipo de unidad de albañilería equivalen a 0.5, 0.75 y 1, respectivamente.

En la Figura D.9 se muestra la variación de la resistencia al corte teórica de los muros ensayados frente a una variación del *factor de calidad*, y en la Figura D.10 se muestra la variación de la relación entre la resistencia al corte teórica y la carga de agrietamiento diagonal experimental de los muros ensayados.

Los cálculos efectuados para dibujar estas figuras se detallan en las tablas D.22, D.23, D.24, D.25 y D.26

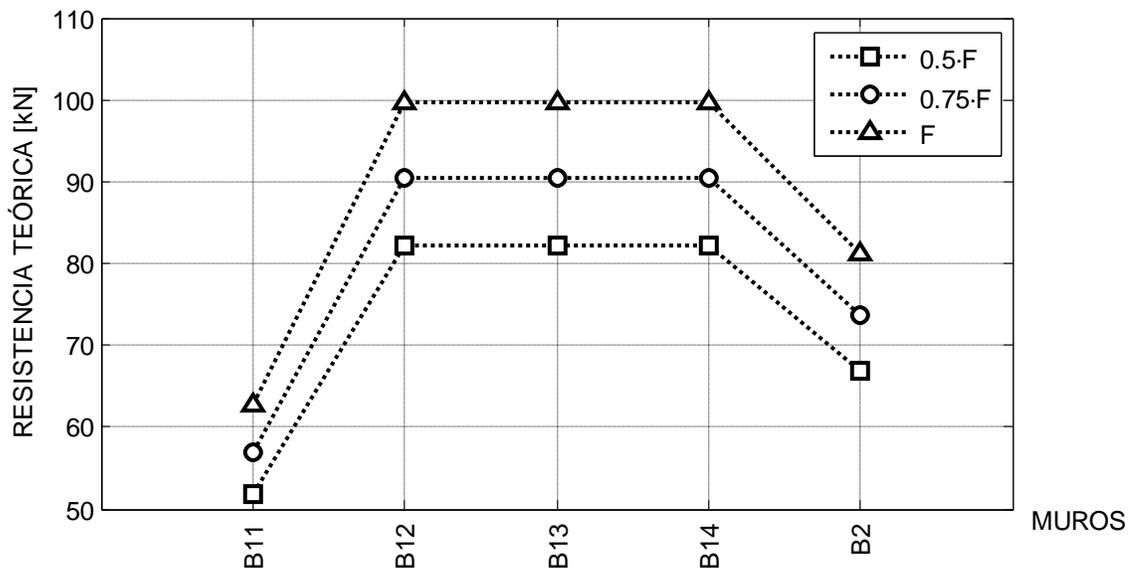


Figura D.9: Efecto de la variación del *factor de calidad* en la resistencia al corte teórica de los muros de albañilería confinada construidos con unidades cerámicas macizas de fabricación artesanal.

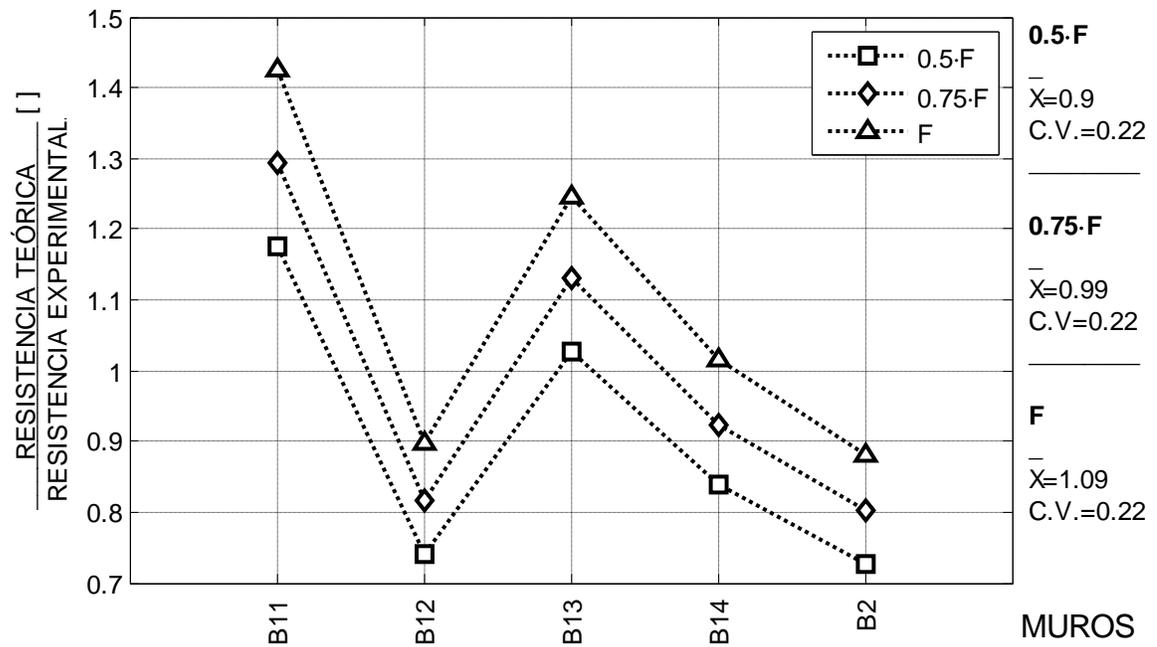


Figura D.10: Efecto de la variación del *factor de calidad* en la relación entre la resistencia al corte teórica y la carga de agrietamiento diagonal experimental de los muros de albañilería confinada construidos con unidades cerámicas macizas de fabricación artesanal.

Tabla D.22: Efecto de la variación del *factor de calidad* en la resistencia del puntal de compresión para cada tipo de falla según modelo teórico. El caso de los muros de albañilería confinada construidos con unidades cerámicas macizas de fabricación artesanal.

Muro	θ [°]	b/d []	χ []	τ_0 [MPa]	μ []	0.5F=0.5	0.75F=0.75	F=1	f'_{m0} TD [MPa]	f'_{m0} CA [MPa]
						f'_{m0} AD [MPa]	f'_{m0} AD [MPa]	f'_{m0} AD [MPa]		
B11	47,7	0,21	0,45	0,123	0,7	0,66	0,73	0,80	1,13	2,44
B12	47,7	0,21	0,45	0,123	0,7	0,66	0,73	0,80	1,13	2,44
B13	47,7	0,21	0,45	0,123	0,7	0,66	0,73	0,80	1,13	2,44
B14	47,7	0,21	0,45	0,123	0,7	0,66	0,73	0,80	1,13	2,44
B2	47,7	0,21	0,45	0,123	0,7	0,66	0,73	0,80	1,13	2,44

Tabla D.23: Efecto de la variación del *factor de calidad* en el modo de falla que controla y en la resistencia del puntal de compresión según el modelo teórico. El caso de los muros de albañilería confinada construidos con unidades cerámicas macizas de fabricación artesanal.

Muro	0.5F=0.5		0.75F=0.75		F=1		A_{ms} [mm ²]	0.5F=0.5	0.75F=0.75	F=1
	f'_{m0} [MPa]	Tipo de falla	f'_{m0} [MPa]	Tipo de falla	f'_{m0} [MPa]	Tipo de falla		R_c [kN]	R_c [kN]	R_c [kN]
B11	0,66	AD	0,73	AD	0,80	AD	115955	51,74	56,96	62,70
B12	0,66	AD	0,73	AD	0,80	AD	184259	82,22	90,50	99,64
B13	0,66	AD	0,73	AD	0,80	AD	184259	82,22	90,50	99,64
B14	0,66	AD	0,73	AD	0,80	AD	184259	82,22	90,50	99,64
B2	0,66	AD	0,73	AD	0,80	AD	150107	66,98	73,73	81,17

Tabla D.24: Resistencia al corte teórica de los muros de albañilería confinada ensayados considerando un 50% del valor original del factor de calidad ($F=0.5$). El caso de los muros de albañilería confinada construidos con unidades cerámicas macizas de fabricación artesanal.

Muro	θ [°]	N [kN]	N_y [kN]	R_c [kN]	V_c [kN]	T [kN]	T_y^* [kN]	V_y [kN]	V [kN]	V_{exp} [kN]	V/V_{exp} []
B11	47,7	0	0	76,92	51,74	56,91	138,45	125,87	51,74	44	1,18
B12	47,7	160	0	122,22	82,22	90,44	138,45	125,87	82,22	111	0,74
B13	47,7	160	0	122,22	82,22	90,44	138,45	125,87	82,22	80	1,03
B14	47,7	160	0	122,22	82,22	90,44	138,45	125,87	82,22	98	0,84
B2	47,7	80	0	99,57	66,98	73,68	138,45	125,87	66,98	92	0,73

Tabla D.25: Resistencia al corte teórica de los muros de albañilería confinada ensayados considerando un 75% del valor original del factor de calidad ($F=0.75$). El caso de los muros de albañilería confinada construidos con unidades cerámicas macizas de fabricación artesanal.

Muro	θ [°]	N [kN]	N_y [kN]	R_c [kN]	V_c [kN]	T [kN]	T_y^* [kN]	V_y [kN]	V [kN]	V_{exp} [kN]	V/V_{exp} []
B11	47,7	0	0	84,67	56,96	62,65	138,45	125,87	56,96	44	1,29
B12	47,7	160	0	134,55	90,50	99,56	138,45	125,87	90,50	111	0,82
B13	47,7	160	0	134,55	90,50	99,56	138,45	125,87	90,50	80	1,13
B14	47,7	160	0	134,55	90,50	99,56	138,45	125,87	90,50	98	0,92
B2	47,7	80	0	109,61	73,73	81,10	138,45	125,87	73,73	92	0,80

Tabla D.26: Resistencia al corte teórica de los muros de albañilería confinada ensayados considerando el valor original del *factor de calidad* (F=1). El caso de los muros de albañilería confinada construidos con unidades cerámicas macizas de fabricación artesanal.

Muro	θ [°]	N [kN]	N_y [kN]	R_c [kN]	V_c [kN]	T [kN]	T_y* [kN]	V_y [kN]	V [kN]	V_{exp} [kN]	V/V_{exp} []
B11	47,7	0	0	93,21	62,70	68,97	138,45	125,87	62,70	44	1,43
B12	47,7	160	0	148,12	99,64	109,60	138,45	125,87	99,64	111	0,90
B13	47,7	160	0	148,12	99,64	109,60	138,45	125,87	99,64	80	1,25
B14	47,7	160	0	148,12	99,64	109,60	138,45	125,87	99,64	98	1,02
B2	47,7	80	0	120,67	81,17	89,29	138,45	125,87	81,17	92	0,88

D.4.3. Bloques huecos de hormigón hechos en fábrica.

En este caso el análisis de sensibilidad se realiza para valores del coeficiente F iguales a $0.5F$, F y $1.5F$, valores que para estas unidades de albañilería equivalen a 0.175 , 0.35 y 0.525 , respectivamente.

En la Figura D.11 se muestra la variación de la resistencia al corte teórica de los muros ensayados frente a una variación del *factor de calidad*, y en la Figura D.12 se muestra la variación de la relación entre la resistencia al corte teórica y la carga de agrietamiento diagonal experimental de los muros ensayados.

Los cálculos efectuados para dibujar estas figuras se detallan en las tablas D.27, D.28, D.29, D.30 y D.31

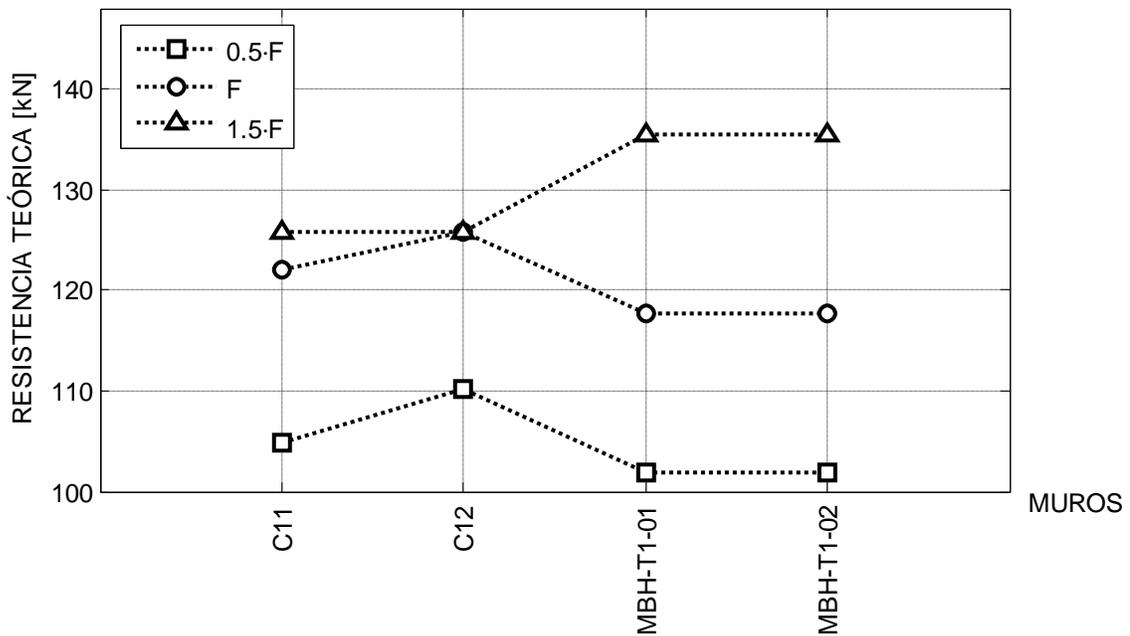


Figura D.11: Efecto de la variación del *factor de calidad* en la resistencia al corte teórica de los muros de albañilería confinada construidos con bloques huecos de hormigón hechos en fábrica.

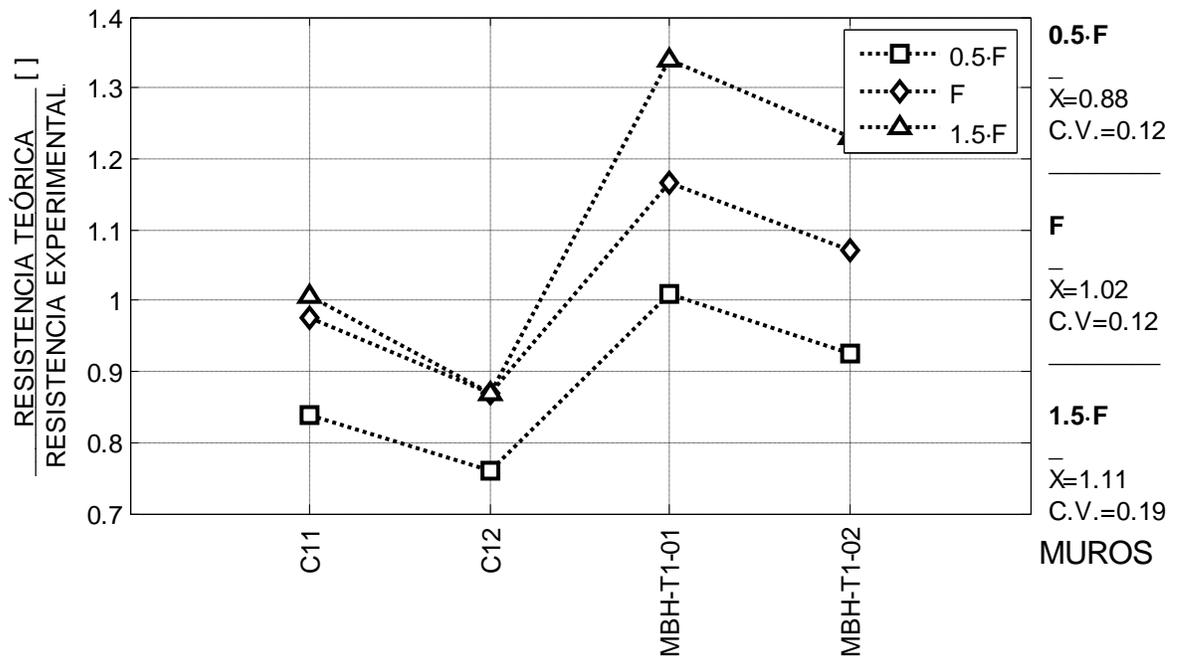


Figura D.12: Efecto de la variación del *factor de calidad* en la relación entre la resistencia al corte teórica y la carga de agrietamiento diagonal experimental de los muros de albañilería confinada construidos con bloques huecos de hormigón hechos en fábrica.

Tabla D.27: Efecto de la variación del *factor de calidad* en la resistencia del puntal de compresión para cada tipo de falla según modelo teórico. El caso de los muros de albañilería confinada construidos con bloques huecos de hormigón hechos en fábrica.

Muro	θ [°]	b/d []	χ []	τ_0 [MPa]	μ []	0.5F=0.175	F=0.35	1.5F=0.525	$f'_{m\theta}$ TD [MPa]	$f'_{m\theta}$ CA [MPa]
						$f'_{m\theta}$ AD [MPa]	$f'_{m\theta}$ AD [MPa]	$f'_{m\theta}$ AD [MPa]		
C11	47,7	0,49	0,45	0,38	0,8	1,26	1,47	1,70	3,83	7,51
C12	47,7	0,48	0,45	0,38	0,8	1,27	1,48	1,72	1,89	5,90
MBH-T1-01	32,0	0,48	1,10	0,38	0,8	0,91	1,05	1,21	2,76	3,87
MBH-T1-02	32,0	0,48	1,10	0,38	0,8	0,91	1,05	1,21	2,76	3,87

Tabla D.28: Efecto de la variación del *factor de calidad* en el modo de falla que controla y en la resistencia del puntal de compresión del puntal según el modelo teórico. El caso de los muros de albañilería confinada construidos con bloques huecos de hormigón hechos en fábrica.

Muro	0.5F=0.175		F=0.35		1.5F=0.75		A_{ms} [mm ²]	0.5F=0.175	F=0.35	1.5F=0.75
	$f'_{m\theta}$ [MPa]	Tipo de falla	$f'_{m\theta}$ [MPa]	Tipo de falla	$f'_{m\theta}$ [MPa]	Tipo de falla		R_c [kN]	R_c [kN]	R_c [kN]
C11	1,26	AD	1,47	AD	1,70	FL	123386	104,79	121,95	125,87
C12	1,27	AD	1,48	FL	1,72	FL	128661	110,24	125,87	125,87
MBH-T1-01	0,91	AD	1,05	AD	1,21	AD	132076	101,93	117,69	135,36
MBH-T1-02	0,91	AD	1,05	AD	1,21	AD	132076	101,93	117,69	135,36

Tabla D.29: Resistencia al corte teórica de los muros de albañilería confinada considerando un 50% del valor original del *factor de calidad* ($F=0.175$). El caso de los muros de albañilería confinada construidos con bloques huecos de hormigón hechos en fábrica.

Muro	θ [°]	N [kN]	N_y [kN]	R_c [kN]	V_c [kN]	T [kN]	T_y^* [kN]	V_y [kN]	V [kN]	V_{exp} [kN]	V/V_{exp} []
C11	47,7	140	0	155,79	104,79	115,27	138,45	125,87	104,79	125	0,84
C12	47,7	140	0	163,89	110,24	121,27	138,45	125,87	110,24	145	0,76
MBH-T1-01	32,0	0	0	120,20	101,93	63,71	173,73	277,97	101,93	101	1,01
MBH-T1-02	32,0	0	0	120,20	101,93	63,71	173,73	277,97	101,93	110	0,93

Tabla D.30: Resistencia al corte teórica de los muros de albañilería confinada considerando el valor original del *factor de calidad* ($F=0.35$). El caso de los muros de albañilería confinada construidos con bloques huecos de hormigón hechos en fábrica.

Muro	θ [°]	N [kN]	N_y [kN]	R_c [kN]	V_c [kN]	T [kN]	T_y^* [kN]	V_y [kN]	V [kN]	V_{exp} [kN]	V/V_{exp} []
C11	47,7	140	0	181,29	121,95	134,15	138,45	125,87	121,95	125	0,98
C12	47,7	140	0	190,52	128,16	140,97	138,45	125,87	125,87	145	0,87
MBH-T1-01	32,0	0	0	138,79	117,69	73,56	173,73	277,97	117,69	101	1,17
MBH-T1-02	32,0	0	0	138,79	117,69	73,56	173,73	277,97	117,69	110	1,07

Tabla D.31: Resistencia al corte teórica de los muros de albañilería confinada considerando un 150% del valor original del *factor de calidad* ($F=0.525$). El caso de los muros de albañilería confinada construidos con bloques huecos de hormigón hechos en fábrica.

Muro	θ [°]	N [kN]	N_y [kN]	R_c [kN]	V_c [kN]	T [kN]	T_y^* [kN]	V_y [kN]	V [kN]	V_{exp} [kN]	V/V_{exp} []
C11	47,7	140	0	210,32	141,47	155,62	138,45	125,87	125,87	125	1,01
C12	47,7	140	0	220,81	148,53	163,38	138,45	125,87	125,87	145	0,87
MBH-T1-01	32,0	0	0	159,63	135,36	84,60	173,73	277,97	135,36	101	1,34
MBH-T1-02	32,0	0	0	159,63	135,36	84,60	173,73	277,97	135,36	110	1,23

D.5. EFECTO DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DE LA UNIDAD f_{tb}

Las propuestas para determinar la resistencia a la tracción de una unidad están dentro de distintos rangos según sea el tipo de unidad (Cabezas, 2011). Por esto, el análisis de sensibilidad de la resistencia a la tracción de la unidad se efectúa por separado para las unidades cerámicas hechas a máquina, las unidades cerámicas de fabricación artesanal y los bloques de hormigón hechas a máquina.

D.5.1. Unidades cerámicas hechas a máquina del tipo rejilla con huecos

La resistencia a la tracción de estas unidades se puede estimar como un 5% de su resistencia a la compresión (Cabezas, 2011). No obstante, autores como Thomas (1972, reportado por Cabezas, 2011) muestran valores cercanos al 9% cuando se trata de unidades de alta resistencia. Por otra parte, en el trabajo de Mann y Müller (1982, reportado por Cabezas, 2011) se propone un límite inferior cercano al 2.5% de la resistencia a la compresión.

Teniendo en cuenta los antecedentes anteriores, el análisis de sensibilidad al valor de f_{tb} se realiza para valores de la resistencia a tracción igual al 3%, 5% y 7% de su resistencia a compresión. En la Figura D.13 se muestra la variación de la resistencia al corte teórica de los muros ensayados frente a una variación de la resistencia a la tracción de la unidad, y en la Figura D.14 se muestra la variación de la relación entre la resistencia al corte teórica y la carga de agrietamiento diagonal experimental de los muros ensayados.

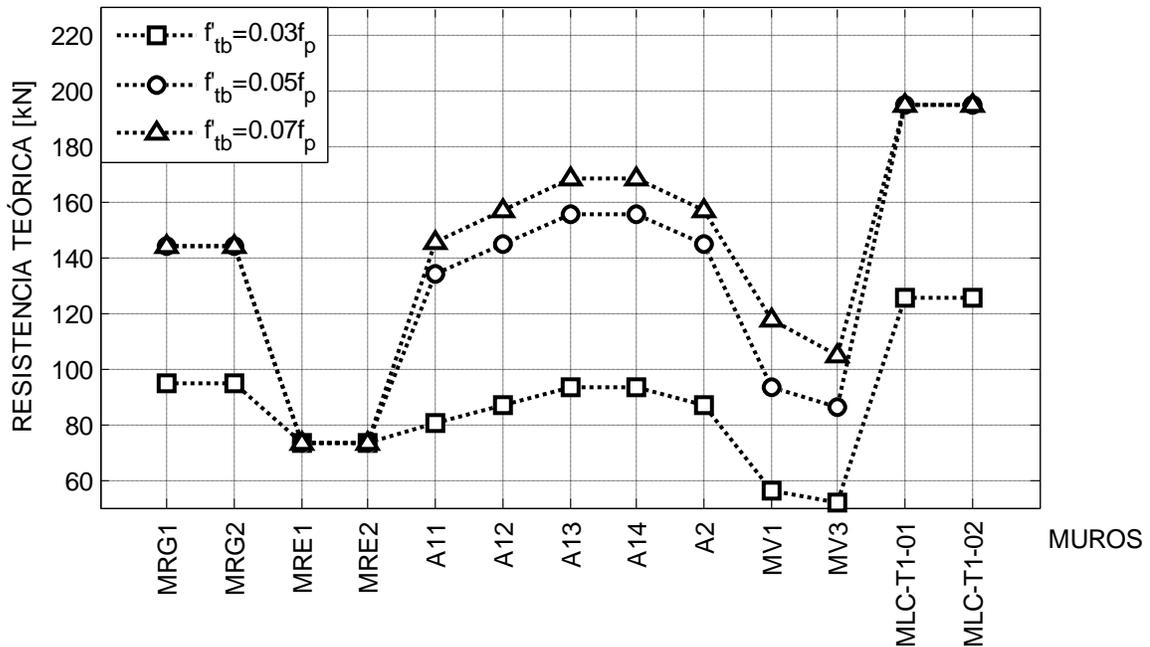


Figura D.13: Efecto de la variación de la resistencia a la tracción de la unidad en la resistencia al corte teórica de los muros de albañilería confinada construidos con unidades cerámicas hechas a máquina del tipo rejilla con huecos

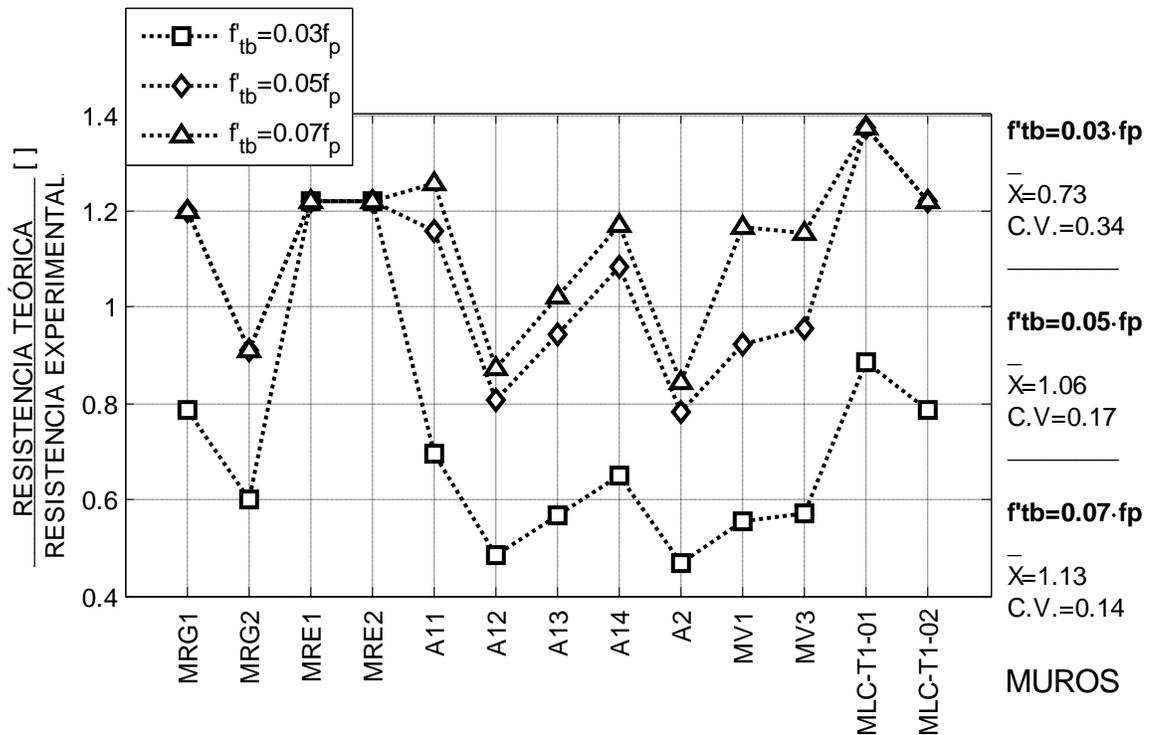


Figura D.14: Efecto de la variación de la resistencia a la tracción de la unidad en la relación entre la resistencia al corte teórica y la carga de agrietamiento diagonal experimental de los muros de albañilería confinada construidos con unidades cerámicas hechas a máquina del tipo rejilla con huecos

Los cálculos efectuados para realizar el análisis de sensibilidad se detallan en las tablas D.32, D.33, D.34, D.35 y D.36

Tabla D.32: Efecto de la variación de la resistencia a la tracción de la unidad en la resistencia del puntal de compresión para cada tipo de falla según modelo teórico. El caso de los muros de albañilería confinada construidos con unidades cerámicas hechas a máquina del tipo rejilla con huecos

Muro	θ [°]	b/d []	χ []	τ_0 [MPa]	μ []	F []	$f'_{m\theta}$ AD [MPa]	$f'_{tb=0.03f_p}$ [MPa]	$f'_{m\theta}$ TD [MPa]	$f'_{tb=0.05f_p}$ [MPa]	$f'_{m\theta}$ TD [MPa]	$f'_{tb=0.07f_p}$ [MPa]	$f'_{m\theta}$ TD [MPa]	$f'_{m\theta}$ CA [MPa]
MRG1	47,7	0,25	0,45	0,41	0,7	0,5	2,07	0,92	1,36	1,53	2,27	2,14	3,17	11,33
MRG2	47,7	0,25	0,45	0,41	0,7	0,5	2,07	0,92	1,36	1,53	2,27	2,14	3,17	11,33
MRE1	70,0	0,25	0,01	0,41	0,7	0,5	*	0,92	2,78	1,53	4,63	2,14	6,48	12,16
MRE2	70,0	0,25	0,01	0,41	0,7	0,5	*	0,92	2,78	1,53	4,63	2,14	6,48	12,16
A11	47,7	0,24	0,45	0,41	0,7	0,5	2,08	0,78	1,15	1,29	1,92	1,81	2,69	10,04
A12	47,7	0,24	0,45	0,41	0,7	0,5	2,08	0,78	1,15	1,29	1,92	1,81	2,69	10,04
A13	47,7	0,24	0,45	0,41	0,7	0,5	2,08	0,78	1,15	1,29	1,92	1,81	2,69	10,04
A14	47,7	0,24	0,45	0,41	0,7	0,5	2,08	0,78	1,15	1,29	1,92	1,81	2,69	10,04
A2	47,7	0,24	0,45	0,41	0,7	0,5	2,08	0,78	1,15	1,29	1,92	1,81	2,69	10,04
MV1	48,3	0,24	0,43	0,47	0,7	0,5	2,51	0,59	0,89	0,99	1,48	1,39	2,07	9,40
MV3	51,6	0,24	0,30	0,47	0,7	0,5	3,25	0,59	0,93	0,99	1,55	1,39	2,16	9,50
MLC-T1-01	32,2	0,40	1,09	0,56	0,7	0,5	1,71	0,78	1,11	1,30	1,85	1,81	2,58	4,44
MLC-T1-02	32,2	0,40	1,09	0,56	0,7	0,5	1,71	0,78	1,11	1,30	1,85	1,81	2,58	4,44

Tabla D.33: Efecto de la variación de la resistencia a la tracción de la unidad en el modo de falla que controla y en la resistencia del puntal de compresión según el modelo teórico. El caso de los muros construidos con unidades cerámicas hechas a máquina del tipo rejilla con huecos

Muro	$f'_{tb}=0.03f_p$		$f'_{tb}=0.05f_p$		$f'_{tb}=0.07f_p$		A_{ms} [mm ²]	$f'_{tb}=0.03f_p$	$f'_{tb}=0.05f_p$	$f'_{tb}=0.07f_p$
	f'_{m0} [MPa]	Tipo de falla	f'_{m0} [MPa]	Tipo de falla	f'_{m0} [MPa]	Tipo de falla		R_c [kN]	R_c [kN]	R_c [kN]
MRG1	1,36	TD	2,07	AD	2,07	AD	103468	94,61	144,15	144,15
MRG2	1,36	TD	2,07	AD	2,07	AD	103468	94,61	144,15	144,15
MRE1	2,78	FL	4,63	FL	6,48	FL	81465	73,34	73,34	73,34
MRE2	2,78	FL	4,63	FL	6,48	FL	81465	73,34	73,34	73,34
A11	1,15	TD	1,92	TD	2,08	AD	104285	80,72	134,54	145,62
A12	1,15	TD	1,92	TD	2,08	AD	112571	87,14	145,23	157,20
A13	1,15	TD	1,92	TD	2,08	AD	120857	93,55	155,92	168,77
A14	1,15	TD	1,92	TD	2,08	AD	120857	93,55	155,92	168,77
A2	1,15	TD	1,92	TD	2,08	AD	112571	87,14	145,23	157,20
MV1	0,89	TD	1,48	TD	2,07	FL	112571	55,85	93,09	117,58
MV3	0,93	TD	1,55	TD	2,16	FL	112571	51,92	86,53	104,51
MLC-T1-01	1,11	TD	1,71	AD	1,71	AD	134488	125,97	195,05	195,05
MLC-T1-02	1,11	TD	1,71	AD	1,71	AD	134488	125,97	195,05	195,05

Tabla D.34: Resistencia al corte teórica de los muros de albañilería confinada ensayados considerando la resistencia a la tracción de la unidad como un 3% de la resistencia a la compresión de la unidad. El caso de los muros construidos con unidades cerámicas hechas a máquina del tipo rejilla con huecos

Muro	θ [°]	N [kN]	N_y [kN]	R_c [kN]	V_c [kN]	T [kN]	T_y^* [kN]	V_y [kN]	V [kN]	V_{exp} [kN]	V/V_{exp} []
MRG1	47,7	0	0	140,65	94,61	104,07	201,68	183,35	94,61	120	0,79
MRG2	47,7	0	0	140,65	94,61	104,07	201,68	183,35	94,61	158	0,60
MRE1	70,0	0	0	226,27	77,33	212,65	201,68	73,34	73,34	60	1,22
MRE2	70,0	0	0	226,27	77,33	212,65	201,68	73,34	73,34	60	1,22
A11	47,7	0	0	120,01	80,72	88,80	201,68	183,35	80,72	116	0,70
A12	47,7	80	0	129,54	87,14	95,85	201,68	183,35	87,14	180	0,48
A13	47,7	160	0	139,08	93,55	102,91	201,68	183,35	93,55	165	0,57
A14	47,7	160	0	139,08	93,55	102,91	201,68	183,35	93,55	144	0,65
A2	47,7	80	0	129,54	87,14	95,85	201,68	183,35	87,14	186	0,47
MV1	48,3	0	0	83,95	55,85	62,68	131,95	117,58	55,85	100,72	0,55
MV3	51,6	0	0	83,62	51,92	65,55	131,95	104,51	51,92	90,55	0,57
MLC-T1-01	32,2	0	0	148,94	125,97	79,46	173,73	275,43	125,97	142	0,89
MLC-T1-02	32,2	0	0	148,94	125,97	79,46	173,73	275,43	125,97	160	0,79

Tabla D.35: Resistencia al corte teórica de los muros de albañilería confinada ensayados considerando la resistencia a la tracción de la unidad como un 5% de la resistencia a la compresión de la unidad. El caso de los muros construidos con unidades cerámicas hechas a máquina del tipo rejilla con huecos

Muro	θ [°]	N [kN]	N_y [kN]	R_c [kN]	V_c [kN]	T [kN]	T_y^* [kN]	V_y [kN]	V [kN]	V_{exp} [kN]	V/V_{exp} []
MRG1	47,7	0	0	214,29	144,15	158,56	201,68	183,35	144,15	120	1,20
MRG2	47,7	0	0	214,29	144,15	158,56	201,68	183,35	144,15	158	0,91
MRE1	70,0	0	0	377,12	128,88	354,41	201,68	73,34	73,34	60	1,22
MRE2	70,0	0	0	377,12	128,88	354,41	201,68	73,34	73,34	60	1,22
A11	47,7	0	0	200,01	134,54	147,99	201,68	183,35	134,54	116	1,16
A12	47,7	80	0	215,90	145,23	159,75	201,68	183,35	145,23	180	0,81
A13	47,7	160	0	231,79	155,92	171,51	201,68	183,35	155,92	165	0,94
A14	47,7	160	0	231,79	155,92	171,51	201,68	183,35	155,92	144	1,08
A2	47,7	80	0	215,90	145,23	159,75	201,68	183,35	145,23	186	0,78
MV1	48,3	0	0	139,92	93,09	104,47	131,95	117,58	93,09	100,72	0,92
MV3	51,6	0	0	139,36	86,53	109,24	131,95	104,51	86,53	90,55	0,96
MLC-T1-01	32,2	0	0	230,61	195,05	123,03	173,73	275,43	195,05	142	1,37
MLC-T1-02	32,2	0	0	230,61	195,05	123,03	173,73	275,43	195,05	160	1,22

Tabla D.36: Resistencia al corte teórica de los muros de albañilería confinada ensayados considerando la resistencia a la tracción de la unidad como un 7% de la resistencia a la compresión de la unidad de cada muro. El caso de los muros construidos con unidades cerámicas hechas a máquina del tipo rejilla con huecos

Muro	θ [°]	N [kN]	N_y [kN]	R_c [kN]	V_c [kN]	T [kN]	T_y* [kN]	V_y [kN]	V [kN]	V_{exp} [kN]	V/V_{exp} []
MRG1	47,7	0	0	214,29	144,15	158,56	201,68	183,35	144,15	120	1,20
MRG2	47,7	0	0	214,29	144,15	158,56	201,68	183,35	144,15	158	0,91
MRE1	70,0	0	0	527,96	180,43	496,18	201,68	73,34	73,34	60	1,22
MRE2	70,0	0	0	527,96	180,43	496,18	201,68	73,34	73,34	60	1,22
A11	47,7	0	0	216,49	145,62	160,19	201,68	183,35	145,62	116	1,26
A12	47,7	80	0	233,69	157,20	172,91	201,68	183,35	157,20	180	0,87
A13	47,7	160	0	250,89	168,77	185,64	201,68	183,35	168,77	165	1,02
A14	47,7	160	0	250,89	168,77	185,64	201,68	183,35	168,77	144	1,17
A2	47,7	80	0	233,69	157,20	172,91	201,68	183,35	157,20	186	0,85
MV1	48,3	0	0	195,89	130,33	146,25	131,95	117,58	117,58	100,72	1,17
MV3	51,6	0	0	195,10	121,14	152,94	131,95	104,51	104,51	90,55	1,15
MLC-T1-01	32,2	0	0	230,61	195,05	123,03	173,73	275,43	195,05	142	1,37
MLC-T1-02	32,2	0	0	230,61	195,05	123,03	173,73	275,43	195,05	160	1,22

D.5.2. Unidades cerámicas macizas de fabricación artesanal

Para este tipo de unidades, como reporta Cabezas (2011), Francis (1992) estima su resistencia a la tracción como un 9% de la resistencia a la compresión de la unidad, y otros como Crisafulli (1997) proponen valores como un 7% y 10%

Con estos antecedentes, el análisis de sensibilidad se realiza para una resistencia a la tracción de la unidad igual a un 7%, 9% y 11% de su resistencia a la compresión.

En la Figura D.15 se muestra la variación de la resistencia al corte teórica de los muros ensayados frente a una variación de la resistencia a la tracción de la unidad, y en la Figura D.16 se muestra la variación de la relación entre la resistencia al corte teórica y la carga de agrietamiento diagonal experimental de los muros ensayados. Los cálculos efectuados para dibujar estas figuras se detallan en las tablas D.37, D.38 y D.39

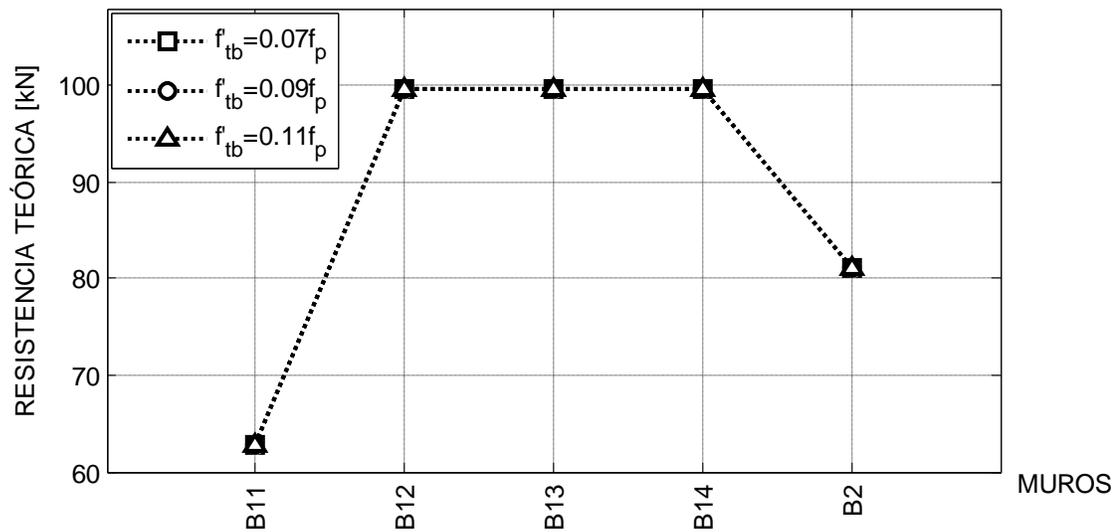


Figura D.15: Efecto de la variación de la resistencia a la tracción de la unidad en la resistencia al corte teórica de los muros de albañilería confinada construidos con unidades cerámicas macizas de fabricación artesanal.

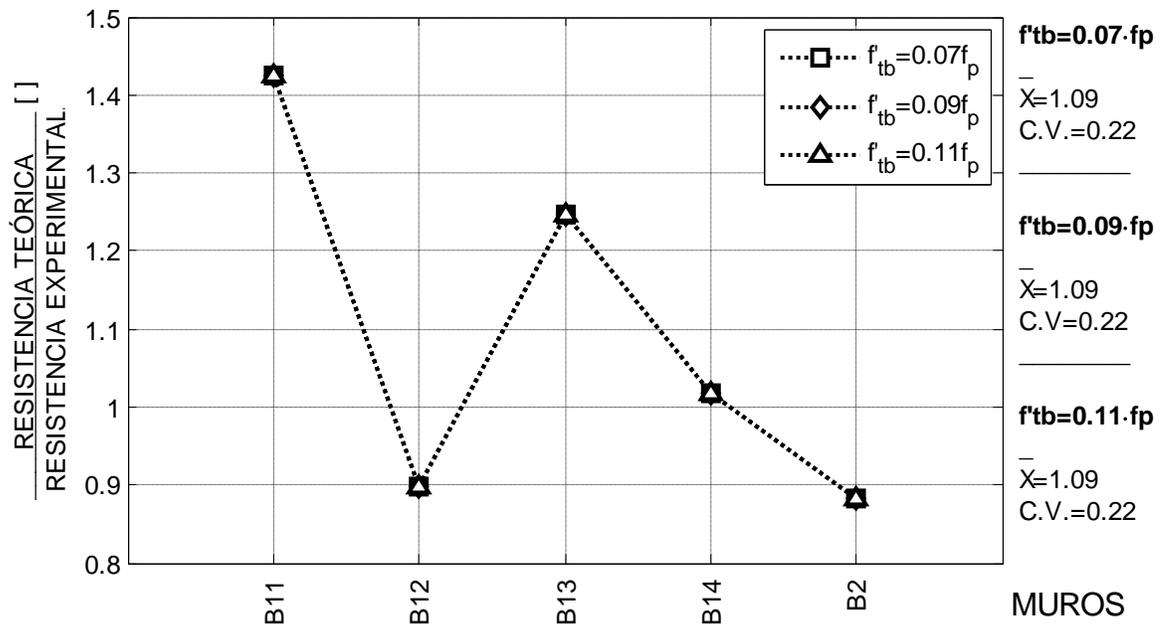


Figura D.16: Efecto de la variación de la resistencia a la tracción de la unidad en la relación entre la resistencia al corte teórica y la carga de agrietamiento diagonal experimental de los muros de albañilería confinada construidos con unidades cerámicas macizas de fabricación artesanal.

Tabla D.37: Efecto de la variación de la resistencia a la tracción de la unidad en la resistencia del puntal de compresión para cada tipo de falla según modelo teórico. El caso de los muros construidos con unidades cerámicas macizas de fabricación artesanal.

Muro	$\theta [^\circ]$	b/d []	$\chi []$	τ_0 [MPa]	$\mu []$	F []	$f'_{m\theta}$ AD [MPa]	$f'_{tb=0.07f_p}$ [MPa]	$f'_{m\theta}$ TD [MPa]	$f'_{tb=0.09f_p}$ [MPa]	$f'_{m\theta}$ TD [MPa]	$f'_{tb=0.11f_p}$ [MPa]	$f'_{m\theta}$ TD [MPa]	$f'_{m\theta}$ CA [MPa]
B11	47,7	0,21	0,45	0,123	0,7	1	0,80	0,59	0,88	0,76	1,13	0,93	1,38	2,44
B12	47,7	0,21	0,45	0,123	0,7	1	0,80	0,59	0,88	0,76	1,13	0,93	1,38	2,44
B13	47,7	0,21	0,45	0,123	0,7	1	0,80	0,59	0,88	0,76	1,13	0,93	1,38	2,44
B14	47,7	0,21	0,45	0,123	0,7	1	0,80	0,59	0,88	0,76	1,13	0,93	1,38	2,44
B2	47,7	0,21	0,45	0,123	0,7	1	0,80	0,59	0,88	0,76	1,13	0,93	1,38	2,44

Tabla D.38: Efecto de la variación de la resistencia a la tracción de la unidad en el modo de falla que controla y en la resistencia del puntal de compresión según el modelo teórico. El caso de los muros construidos con unidades cerámicas macizas de fabricación artesanal.

Muro	$f'_{tb=0.07f_p}$		$f'_{tb=0.09f_p}$		$f'_{tb=0.11f_p}$		A_{ms} [mm ²]	$f'_{tb=0.07f_p}$	$f'_{tb=0.09f_p}$	$f'_{tb=0.11f_p}$
	$f'_{m\theta}$ [MPa]	Tipo de falla	$f'_{m\theta}$ [MPa]	Tipo de falla	$f'_{m\theta}$ [MPa]	Tipo de falla		R_c [kN]	R_c [kN]	R_c [kN]
B11	0,80	AD	0,80	AD	0,80	AD	115955	62,70	62,70	62,70
B12	0,80	AD	0,80	AD	0,80	AD	184259	99,64	99,64	99,64
B13	0,80	AD	0,80	AD	0,80	AD	184259	99,64	99,64	99,64
B14	0,80	AD	0,80	AD	0,80	AD	184259	99,64	99,64	99,64
B2	0,80	AD	0,80	AD	0,80	AD	150107	81,17	81,17	81,17

Tabla D.39: Resistencia al corte teórica de los muros de albañilería confinada ensayados considerando la resistencia a la tracción de la unidad como un 7%, un 9% y un 11% de la resistencia a la compresión de la unidad de cada muro. El caso de los muros construidos con unidades cerámicas macizas de fabricación artesanal.

Muro	θ [°]	N [kN]	N_y [kN]	R_c [kN]	V_c [kN]	T [kN]	T_y^* [kN]	V_y [kN]	V [kN]	V_{exp} [kN]	V/V_{exp} []
B11	47,7	0	0	93,21	62,70	68,97	138,45	125,87	62,70	44	1,43
B12	47,7	160	0	148,12	99,64	109,60	138,45	125,87	99,64	111	0,90
B13	47,7	160	0	148,12	99,64	109,60	138,45	125,87	99,64	80	1,25
B14	47,7	160	0	148,12	99,64	109,60	138,45	125,87	99,64	98	1,02
B2	47,7	80	0	120,67	81,17	89,29	138,45	125,87	81,17	92	0,88

D.5.3. Bloques huecos de hormigón hechos en fábrica

Experimentalmente se puede encontrar que la resistencia a la tracción de las unidades de bloques de hormigón hechas a máquina se puede estimar entre un 8% y un 16% de su resistencia a compresión (Drysdale and Hamid, 2008, reportado por Cabezas, 2011).

Con los antecedentes anteriores, se analiza la sensibilidad de la resistencia al corte teórica para valores de la resistencia a la tracción de la unidad igual a un 8%, 12% y 16% de la resistencia a la compresión de ella.

En la Figura D.17 se muestra la variación de la resistencia al corte teórica de los muros ensayados frente a una variación de la resistencia a la tracción de la unidad, y en la Figura D.18 se muestra la variación de la relación entre la resistencia al corte teórica y la carga de agrietamiento diagonal experimental de los muros ensayados. Los cálculos efectuados para dibujar estas figuras se detallan en las tablas D.40, D.41, D.42, D.43 y D.44

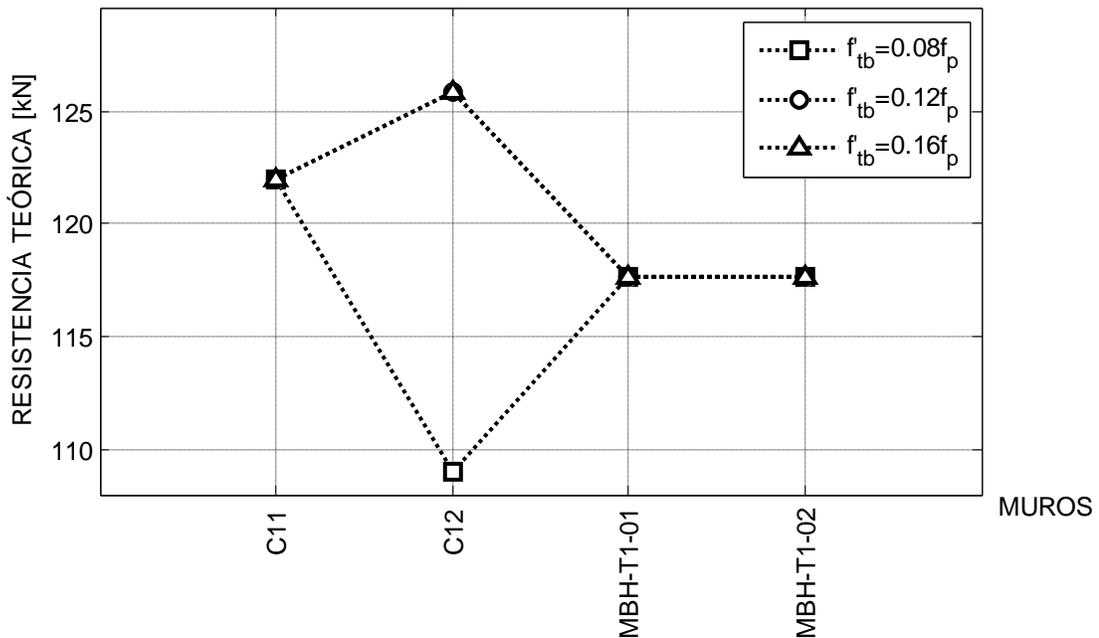


Figura D.17: Efecto de la variación de la resistencia a la tracción de la unidad en la resistencia al corte teórica de los muros de albañilería confinada construidos con bloques huecos de hormigón hechos en fábrica.

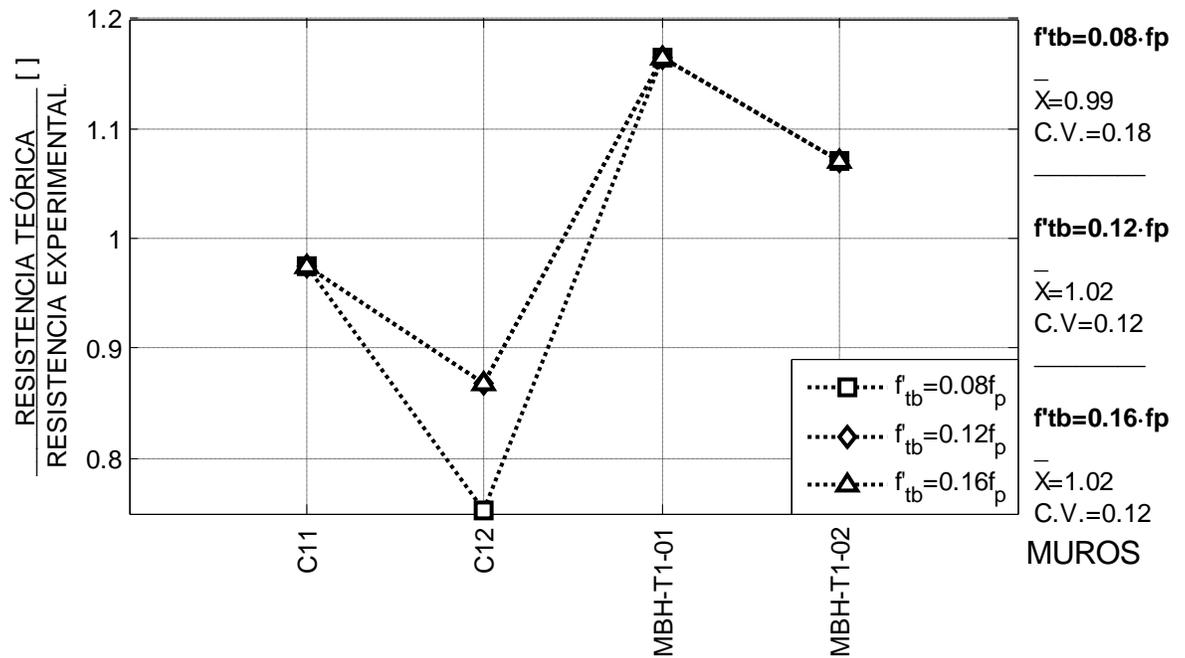


Figura D.18: Efecto de la variación de la resistencia a la tracción de la unidad en la relación entre la resistencia al corte teórica y la carga de agrietamiento diagonal experimental de los muros de albañilería confinada construidos con bloques huecos de hormigón hechos en fábrica.

D.6. COMENTARIOS GENERALES.

En general, todos los muros experimentan variaciones en la resistencia al corte teórica al variar el valor de los parámetros del modelo. Las diferencias son más apreciables para algunos parámetros, como es el caso del coeficiente de fricción en los muros construidos con unidades cerámicas de fabricación artesanal.

Teniendo en cuenta los resultados de este análisis de sensibilidad, se concluye que es necesario establecer el valor de estos parámetros mediante procedimientos experimentales para asegurar una buena precisión en los resultados que entrega el modelo teórico.

Tabla D.40: Efecto de la variación de la resistencia a la tracción de la unidad en la resistencia del puntal de compresión para cada tipo de falla según modelo teórico. El caso de los muros construidos con bloques huecos de hormigón hechos en fábrica.

Muro	$\theta [^\circ]$	b/d []	χ []	τ_0 [MPa]	μ []	F []	$f'_{m\theta}$ AD [MPa]	$f'_{tb=0.08f_p}$ [MPa]	$f'_{m\theta}$ TD [MPa]	$f'_{tb=0.12f_p}$ [MPa]	$f'_{m\theta}$ TD [MPa]	$f'_{tb=0.16f_p}$ [MPa]	$f'_{m\theta}$ TD [MPa]	$f'_{m\theta}$ CA [MPa]
C11	47,7	0,49	0,45	0,38	0,8	0,35	1,47	1,72	2,55	2,58	3,83	3,44	5,10	7,51
C12	47,7	0,48	0,45	0,38	0,8	0,35	1,48	0,85	1,26	1,27	1,89	1,70	2,52	5,90
MBH-T1-01	32,0	0,48	1,10	0,38	0,8	0,35	1,05	1,29	1,84	1,94	2,76	2,58	3,69	3,87
MBH-T1-02	32,0	0,48	1,10	0,38	0,8	0,35	1,05	1,29	1,84	1,94	2,76	2,58	3,69	3,87

Tabla D.41: Efecto de la variación de la resistencia a la tracción de la unidad en el modo de falla y en la resistencia del puntal de compresión del puntal según el modelo teórico. El caso de los muros construidos con bloques huecos de hormigón hechos en fábrica.

Muro	$f'_{tb=0.08f_p}$		$f'_{tb=0.12f_p}$		$f'_{tb=0.16f_p}$		A_{ms} [mm ²]	$f'_{tb=0.08f_p}$	$f'_{tb=0.12f_p}$	$f'_{tb=0.16f_p}$
	$f'_{m\theta}$ [MPa]	Tipo de falla	$f'_{m\theta}$ [MPa]	Tipo de falla	$f'_{m\theta}$ [MPa]	Tipo de falla		R_c [kN]	R_c [kN]	R_c [kN]
C11	1,47	AD	1,47	AD	1,47	AD	123386	121,95	121,95	121,95
C12	1,26	TD	1,48	FL	1,48	FL	128661	109,02	125,87	125,87
MBH-T1-01	1,05	AD	1,05	AD	1,05	AD	132076	117,69	117,69	117,69
MBH-T1-02	1,05	AD	1,05	AD	1,05	AD	132076	117,69	117,69	117,69

Tabla D.42: Resistencia al corte teórica de los muros de albañilería confinada ensayados considerando la resistencia a la tracción de la unidad como un 8% de la resistencia a la compresión de la unidad. El caso de los muros construidos con bloques huecos de hormigón hechos en fábrica.

Muro	θ [°]	N [kN]	N_y [kN]	R_c [kN]	V_c [kN]	T [kN]	T_y^* [kN]	V_y [kN]	V [kN]	V_{exp} [kN]	V/V_{exp} []
C11	47,7	140	0	181,29	121,95	134,15	138,45	125,87	121,95	125	0,98
C12	47,7	140	0	162,08	109,02	119,93	138,45	125,87	109,02	145	0,75
MBH-T1-01	32,0	0	0	138,79	117,69	73,56	173,73	277,97	117,69	101	1,17
MBH-T1-02	32,0	0	0	138,79	117,69	73,56	173,73	277,97	117,69	110	1,07

Tabla D.43: Resistencia al corte teórica de los muros de albañilería confinada ensayados considerando la resistencia a la tracción de la unidad como un 12% de la resistencia a la compresión de la unidad. El caso de los muros construidos con bloques huecos de hormigón hechos en fábrica.

Muro	θ [°]	N [kN]	N_y [kN]	R_c [kN]	V_c [kN]	T [kN]	T_y^* [kN]	V_y [kN]	V [kN]	V_{exp} [kN]	V/V_{exp} []
C11	47,7	140	0	181,29	121,95	134,15	138,45	125,87	121,95	125	0,98
C12	47,7	140	0	190,52	128,16	140,97	138,45	125,87	125,87	145	0,87
MBH-T1-01	32,0	0	0	138,79	117,69	73,56	173,73	277,97	117,69	101	1,17
MBH-T1-02	32,0	0	0	138,79	117,69	73,56	173,73	277,97	117,69	110	1,07

Tabla D.44: Resistencia al corte teórica de los muros de albañilería confinada ensayados considerando la resistencia a la tracción de la unidad como un 16% de la resistencia a la compresión de la unidad. El caso de los muros construidos con bloques huecos de hormigón hechos en fábrica.

Muro	Θ [°]	N [kN]	N_y [kN]	R_c [kN]	V_c [kN]	T [kN]	T_y^* [kN]	V_y [kN]	V [kN]	V_{exp} [kN]	V/V_{exp} []
C11	47,7	140	0	181,29	121,95	134,15	138,45	125,87	121,95	125	0,98
C12	47,7	140	0	190,52	128,16	140,97	138,45	125,87	125,87	145	0,87
MBH-T1-01	32,0	0	0	138,79	117,69	73,56	173,73	277,97	117,69	101	1,17
MBH-T1-02	32,0	0	0	138,79	117,69	73,56	173,73	277,97	117,69	110	1,07

ANEXO E:

DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE C_0

En este Anexo se detalla el método usado para determinar el coeficiente C_0 que permite calcular la resistencia teórica de corte cuando controla la resistencia a la compresión de la albañilería del paño. Además, se analiza el impacto que tiene utilizar este coeficiente en vez de usar la ecuación (2.42), deducida en el capítulo 2 de esta Memoria de Título.

E.1. DETERMINACIÓN DE C_0 (CABEZAS, 2011)

Para obtener una expresión para calcular el coeficiente C_0 , Cabezas (2011) usó los resultados de 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 E.1)

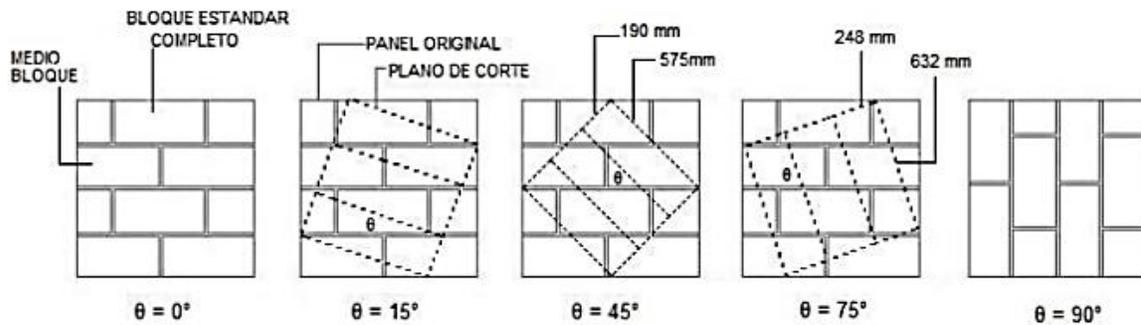


Figura E.1: Probetas ensayadas por Hamid y Drysdale (1978)

Considerando las características de los muros ensayados en Chile, para determinar el coeficiente C_0 , Cabezas utiliza los resultados de las probetas construidas con bloques huecos de hormigón sin relleno total de huecos, los cuales se detallan en la Tabla E.1 y se grafican en la Figura E.2.

Tabla E.1: Resultado del ensayo de probetas construidas con bloques huecos de hormigón sin relleno de los huecos (Hamid y Drysdale, 1978)

Ángulo θ [°]	f'_m bloque [MPa]	$f'_{m\theta}/f'_m$	Ángulo θ [°]	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			

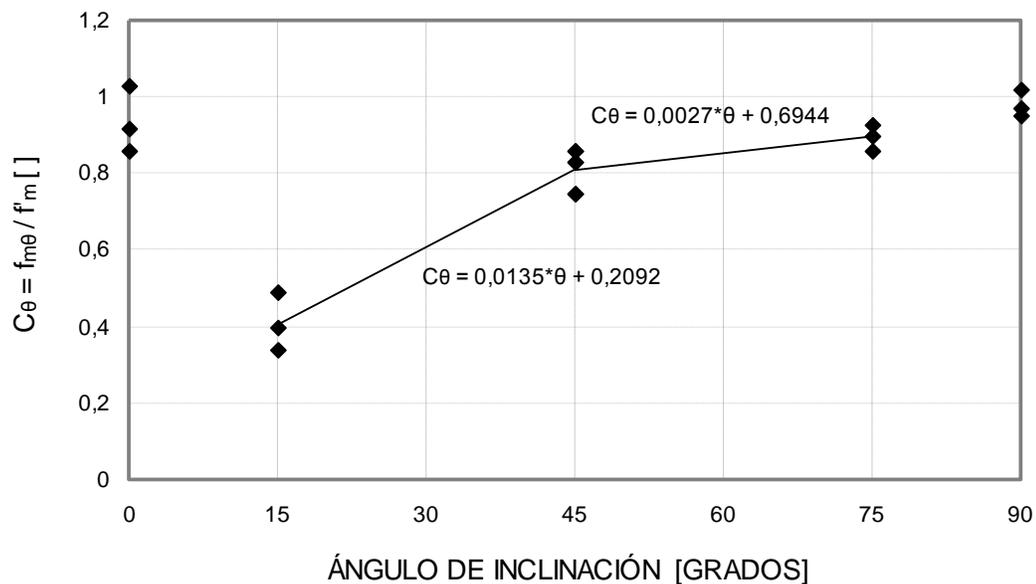


Figura E.2: Variación de la razón $f'_{m\theta}/f'_m$ en función del ángulo θ (Marín, 2009)

Respecto a los modos de falla observados en las probetas ensayadas se puede destacar lo siguiente:

- 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.
- 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.

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

Con los datos, en la Figura E.2 se trazan rectas entre dos zonas: $[15^\circ, 45^\circ]$ y $[45^\circ, 75^\circ]$ (Marín, 2009), lo que permite expresar el coeficiente C_θ por las ecuaciones:

$$C_\theta = 0,0135 \cdot \theta + 0,2092 \quad \text{Si } 15^\circ < \theta \leq 45^\circ \quad (2.44)$$

$$C_\theta = 0,0027 \cdot \theta + 0,6944 \quad \text{Si } 45^\circ < \theta \leq 75^\circ \quad (2.45)$$

Donde θ : ángulo que forma la diagonal del muro con la junta horizontal de mortero.

Con este coeficiente de corrección se puede calcular la resistencia en el puntal de compresión cuando la falla por corte está controlada por la resistencia a la compresión de la albañilería, 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 E.2

Tabla E.2: Resistencia a la compresión de la albañilería considerando la inclinación del puntal de compresión de los muros ensayados.

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

E.2. EFECTO DEL COEFICIENTE C_0 EN EL MODELO TEÓRICO

Como se vio en el capítulo 2, al expresar el estado de tensiones en la unidad en el espacio de tensiones principales, la resistencia del puntal de compresión cuando controla la resistencia a la compresión de la albañilería queda dada por:

$$f_1 = \frac{\frac{d}{1,5b} f_m + F \cdot \tau_{0yx}}{\text{sen}\theta \left(\cos\theta - \text{sen}\theta \left(F \cdot \mu_{yx} \cdot \chi - \frac{d}{1,5b} \right) \right)} \quad (2.42)$$

Crisafulli (1997) propone como alternativa la ecuación (A.3), la que determina la resistencia del puntal de compresión modificando la resistencia a la compresión de la albañilería por efecto de la inclinación del puntal de compresión.

$$f'_{m\theta} = C_0 \cdot f'_m \quad (2.43)$$

Donde f'_m : Resistencia prismática de la albañilería.

En las figuras E.3 y E.4 se muestran los resultados obtenidos al usar las ecuaciones (2.42) y (2.43).

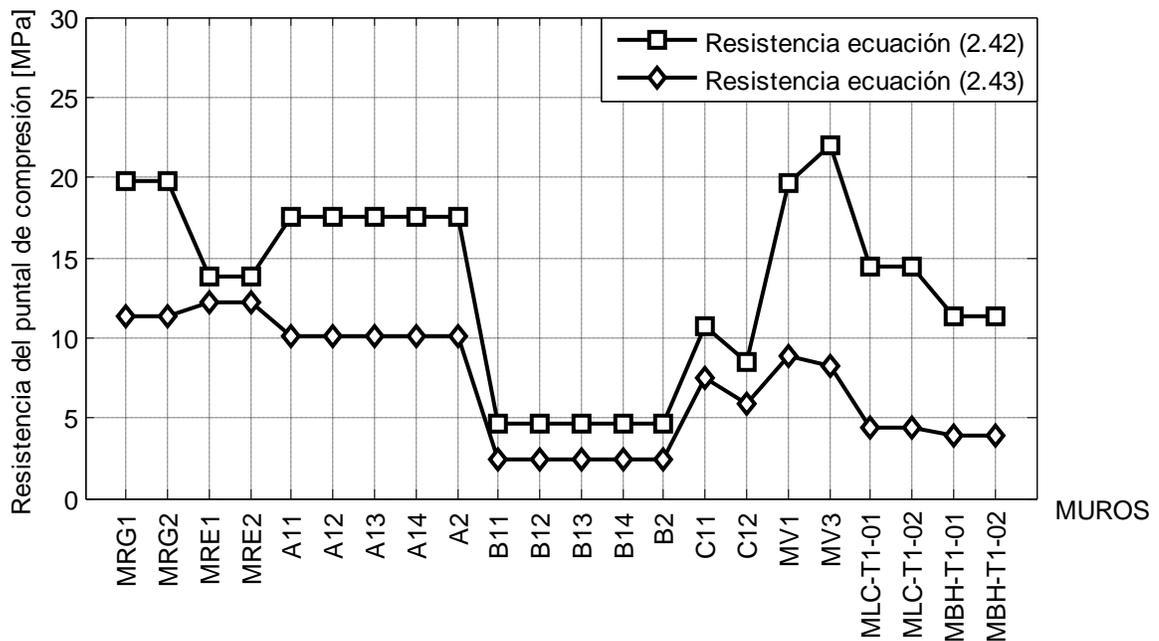


Figura E.3: Resistencias del puntal de compresión de los muros ensayados, cuando controla la resistencia a la compresión de la albañilería.

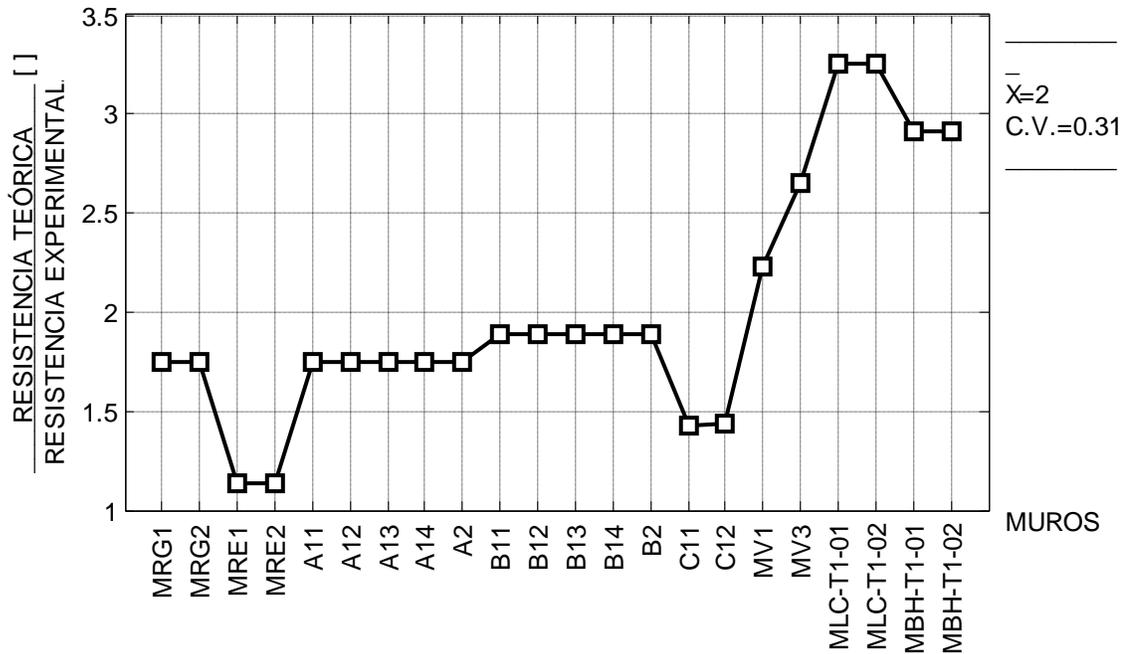


Figura E.4: Relación entre las resistencias de los puntales de compresión de los muros ensayados obtenidas con las ecuaciones (2.42) y (2.43)

De las figuras E.3 y E.4 se observa que la ecuación (2.42) entrega resistencias del puntal de compresión del orden de 2 veces la resistencia obtenida con la ecuación propuesta por Crisafulli.

Si bien esta resistencia no controla teórica ni experimentalmente, el uso de la expresión (2.42) sobreestima excesivamente la resistencia, lo cual podría ser una distorsión grave para muros construidos con unidades de muy baja resistencia a la compresión (unidades de fabricación artesanal, generalmente).

A la luz de estos resultados, en esta Memoria de Título se emplea la propuesta de Crisafulli para analizar el modo de falla controlado por la resistencia a la compresión de la albañilería.