

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**MODELO ELASTOPLÁSTICO PARA LA ESTIMACIÓN DE LA
CAPACIDAD POR CORTE DE MUROS DE LADRILLO PANDERETA**

Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Civil

AUTOR:

Díaz Esquivel, Christian Manuel

ASESOR:

Tarque Ruiz, Sabino Nicola

Lima, Diciembre, 2020

Resumen

Durante las últimas décadas, muchas personas han construido sus viviendas sin supervisión alguna de un ingeniero civil. Asimismo, se ha decidido emplear unidades que no son adecuadas para muros portantes y estas unidades son los ladrillos tubulares o ladrillos pandereta.

La presente investigación se enfocó en analizar la información recogida y sistematizada sobre ensayos realizados en ladrillos pandereta en nuestro país. Se presentó la información relevante de todas las investigaciones como resistencia característica a corte puro, resistencia característica a compresión axial de unidades, resistencia característica a compresión axial y curvas de capacidad. Asimismo, se pudo establecer curvas de capacidad simplificadas identificando tres puntos notables: agrietamiento diagonal, resistencia máxima y resistencia última. Con esta información, se pudo realizar comparaciones para determinar el incremento de resistencia por el uso de malla electrosoldada. Se propuso, preliminarmente, un modelo elastoplástico para la estimación de la capacidad por corte de muros de ladrillo pandereta con y sin refuerzo sísmico exterior de malla electrosoldada. También, se correlacionaron valores obtenidos de unidades, pilas y muretes de ladrillo pandereta.

La metodología de esta tesis comprendió la revisión amplia de referencias bibliográficas peruanas y normas internacionales (México y Colombia), la evaluación de resultados obtenidos en ensayos experimentales previos y la determinación de un modelo elastoplástico para la estimación de la capacidad por corte sobre la base de la revisión de la NTE E.070 Albañilería (2006) y la propuesta de la NTE E.070 Albañilería (2020). En las conclusiones, se corroboró que la malla electrosoldada cambia el tipo de falla de frágil a dúctil en pilas y muretes y que la resistencia a corte de un muro reforzado preliminarmente resultó ser la misma que la que señala la NTE E.070 Albañilería (2006). Sin embargo, no se puede garantizar que tenga el mismo daño que un muro de ladrillo sólido o hueco reforzado con malla electrosoldada.

Agradecimientos

Me gustaría tomar esta oportunidad para agradecer a todas las personas que han creído en mí. Es claro para mí que no hubiese podido ser capaz de conseguir muchas cosas sin el apoyo, amor y cuidado de mi papá y mi mamá, Erika y Percy, y mis abuelos, Nina y Pepe. También, quiero agradecer a mis amigos del colegio; Brissa y Grace; y la universidad; Anatoliy, Brian, Nikita, Natalia, Frank y André; por su comprensión y buenos deseos. Agradezco a Nicola Tarque Ph.D., Mg. Alvaro Rubiños y Mg. Daniel Quiun por sus consejos y enseñanzas. Asimismo, quiero agradecer a EERI PUCP Student Chapter, un lugar donde aprendí muchas cosas de ingeniería civil y tuve la oportunidad de haber conocido gente muy talentosa. Finalmente, quiero terminar diciendo que esto es solo el comienzo y me gustaría dejar esta importante frase de John Wesley que sigo cada día de mi vida.

***“Haz todo el bien que puedas,
a todas las personas que puedas,
en todas las formas que puedas,
durante todo el tiempo que puedas.”***

Índice

Resumen	ii
Agradecimientos.....	iii
Lista de figuras.....	vii
Lista de tablas.....	xi
Nomenclatura	xiv
Capítulo 1. Introducción	15
1. 1. Planteamiento y justificación del problema.....	15
1. 2. Preguntas de investigación.....	16
1. 3. Objetivo principal.....	16
1. 4. Objetivos específicos.....	16
1. 5. Hipótesis	16
1. 6. Metodología	17
1. 6. 1. Etapas del proyecto.....	17
1. 6. 2. Flujograma de ejecución.....	18
Capítulo 2. Estado del arte.....	19
2. 1. Albañilería confinada	19
2. 2. Albañilería confinada de ladrillos pandereta	19
2. 3. Investigaciones experimentales en ladrillos pandereta.....	20
2. 3. 1. Albañilería confinada tubular.....	20
2. 3. 2. Albañilería confinada tubular con refuerzo exterior de malla electrosoldada.	21
Capítulo 3. Ensayos de control de unidades	24
3. 1. Resistencia característica a compresión	24
3. 2. Ensayos realizados en investigaciones o tesis de grado	24
Capítulo 4. Ensayos de compresión de pilas.....	29
4. 1. Definición	29
4. 2. Esbeltez de la pila.....	29
4. 3. Técnica de ensayo	29
4. 4. Módulo de elasticidad.....	30
4. 5. Pilas no reforzadas.....	30
4. 5. 1. 2007: Lazares y Salinas.	30
4. 5. 2. 2012: Araoz y Velezmoro.....	31
4. 5. 3. 2016: Sáenz.....	34

4. 5. 4.	2017a: CISMID.....	37
4. 5. 5.	2020: Bazalar y Espinoza.....	38
4. 6.	Pilas reforzadas	42
4. 6. 1.	2015: Mamani.....	42
4. 6. 2.	2020: Bazalar y Espinoza.....	45
Capítulo 5. Ensayos de compresión diagonal de muretes		49
5. 1.	Definición	49
5. 2.	Técnica de ensayo	49
5. 3.	Formas de falla.....	49
5. 4.	Módulo de corte	49
5. 5.	Muretes no reforzados	50
5. 5. 1.	2007: Lazares y Salinas.....	50
5. 5. 2.	2012: Araoz y Velezmoro.....	51
5. 5. 3.	2016: Sáenz.....	52
5. 5. 4.	2017a: CISMID.....	54
5. 5. 5.	2018: Cevallos y Diaz.....	55
5. 5. 6.	2020: Bazalar y Espinoza.....	57
5. 6.	Muretes reforzados	61
5. 6. 1.	2015: Mamani.....	61
5. 6. 2.	2018: Cevallos y Diaz.....	64
5. 6. 3.	2020: Bazalar y Espinoza.....	66
Capítulo 6. Ensayos de muros.....		71
6. 1.	Comportamiento sísmico experimental.....	71
6. 2.	Muros confinados de ladrillo pandereta sin refuerzo exterior	74
6. 2. 1.	2007: Lazares y Salinas.....	75
6. 2. 2.	2012: Araoz y Velezmoro.....	79
6. 2. 3.	2014: Zavala et al.....	82
6. 2. 4.	2017b: CISMID.....	85
6. 2. 5.	2017: Diaz et al.....	90
6. 3.	Muros confinados de ladrillo pandereta con refuerzo exterior	96
6. 3. 1.	2012: Araoz y Velezmoro.....	96
6. 3. 2.	2015: Mamani.....	99
6. 3. 3.	2017: Diaz et al.....	104

Capítulo 7. Modelo elastoplástico para estimar la capacidad a corte de los muros de ladrillo pandereta.....	110
7. 1. Albañilería confinada de ladrillo pandereta sin refuerzo exterior.....	111
7. 1. 1. Correlaciones propuestas para prismas sin refuerzo exterior.....	112
7. 1. 2. Modelo elastoplástico preliminar para muros de ladrillo pandereta sin refuerzo sísmico exterior.....	116
7. 2. Albañilería confinada de ladrillo pandereta con refuerzo exterior.....	118
7. 2. 1. Correlaciones propuestas para prismas con refuerzo exterior.	118
7. 2. 2. Modelo elastoplástico preliminar para muros de ladrillo pandereta con refuerzo sísmico exterior.....	120
Capítulo 8. Conclusiones y planteamiento de línea de investigación y refuerzo en el Perú	123
8. 1. Conclusiones	123
8. 2. Futuras líneas de investigación	127
8. 2. 1. Primera línea de investigación: Ensayos experimentales en ladrillo pandereta..	127
8. 2. 2. Segunda línea de investigación: Modelación numérica de muros, prismas y viviendas de ladrillo pandereta, sólido y hueco.....	128
8. 2. 3. Tercera línea de investigación: Caracterización y refuerzo de viviendas de ladrillo pandereta, ladrillo sólido y hueco.	128
Capítulo 9. Bibliografía.....	129

Lista de figuras

Figura 1.1. Flujograma de la primera parte.....	18
Figura 1.2. Flujograma de la segunda parte	18
Figura 2.1. Viviendas de albañilería confinada tubular	20
Figura 3.1. Ensayo de compresión (Araoz y Velezmoro, 2012).....	25
Figura 4.1. Forma de falla a compresión de pilas de albañilería. Artesanal (izquierda) e industrial (derecha) (Lazares y Salinas, 2007).....	31
Figura 4.2. Ladrillo pandereta acanalado (Araoz y Velezmoro, 2012)	32
Figura 4.3. Colocación de una pila a ensayar (Araoz y Velezmoro, 2012)	32
Figura 4.4. Gráfico Fuerza versus Desplazamiento de compresión de pilas no reforzadas (Araoz y Velezmoro, 2012)	33
Figura 4.5. Falla del capping por trituración en la base de la pila PNRI-4-AV (Araoz y Velezmoro, 2012)	34
Figura 4.6. LVDT en la pila PNRI-1-S (Sáenz, 2016).....	35
Figura 4.7. Gráfico Fuerza versus Desplazamiento de compresión de pilas no reforzadas (Sáenz, 2016).....	36
Figura 4.8. Falla de la pila PNRI-1-S (Sáenz, 2016)	37
Figura 4.9. Falla de la pila PNRI-2-S (Sáenz, 2016)	37
Figura 4.10. Ensayo de una pila de ladrillo pandereta industrial (CISMID, 2017a).....	38
Figura 4.11. Ensayo de una pila de ladrillo pandereta industrial (Bazalar y Espinoza, 2020).....	39
Figura 4.12. Falla de la pila PNRI-1-BE (Bazalar y Espinoza, 2020)	39
Figura 4.13. Falla de la pila PNRI-2-BE (Bazalar y Espinoza, 2020)	39
Figura 4.14. Falla de la pila PNRI-3-BE (Bazalar y Espinoza, 2020)	40
Figura 4.15. Gráfico Fuerza versus Desplazamiento de compresión de pilas no reforzadas (Bazalar y Espinoza, 2020)	41
Figura 4.16. Esquema de una pila reforzada en metros (Mamani, 2015).....	43
Figura 4.17. Ensayo de una pila reforzada con malla electrosoldada (Mamani, 2015).....	44
Figura 4.18. Gráfico Fuerza versus Desplazamiento de compresión de pilas reforzadas (Mamani, 2015)	44
Figura 4.19. Fisura vertical de la pila PRI-2-M (Mamani, 2015)	45
Figura 4.20. Pila a reforzar (Bazalar y Espinoza, 2020)	45
Figura 4.21. Pilas reforzadas con malla electrosoldada (Bazalar y Espinoza, 2020)	46
Figura 4.22. Pila PRI-1-BE (Bazalar y Espinoza, 2020).....	47
Figura 4.23. Pila PRI-2-BE (Bazalar y Espinoza, 2020).....	47
Figura 4.24. Pila PRI-3-BE (Bazalar y Espinoza, 2020).....	47
Figura 5.1. Ensayo de tracción diagonal de muretes (Lazares y Salinas, 2007)	51
Figura 5.2. Llaves de mortero en los huecos de los bordes de la unidad (Lazares y Salinas, 2007)	51
Figura 5.3. Murete típico con medidas en centímetros (Araoz y Velezmoro, 2012)	51
Figura 5.4. Forma de falla de los muretes MUNRI-3-AV y MUNRI-4-AV (Araoz y Velezmoro, 2012)	52
Figura 5.5. Falla del murete MUNRI-1-S (Sáenz, 2016).....	53
Figura 5.6. Falla del murete MUNRI-2-S (Sáenz, 2016).....	54
Figura 5.7. Falla del murete MUNRI-3-S (Sáenz, 2016).....	54
Figura 5.8. Ensayo de un murete de ladrillo industrial pandereta (CISMID, 2017a).....	55

Figura 5.9. Falla mixta del murete MUNRI-1-CD (Cevallos y Diaz, 2018)	56
Figura 5.10. Falla por tracción diagonal del murete MUNRI-2-CD (Cevallos y Diaz, 2018).....	57
Figura 5.11. Falla por tracción diagonal del murete MUNRI-3-CD (Cevallos y Diaz, 2018).....	57
Figura 5.12. Detalle típico de muretes (Bazalar y Espinoza, 2020).....	58
Figura 5.13. Gráfico Fuerza versus Desplazamiento Horizontal – Vertical (Bazalar y Espinoza, 2020).....	58
Figura 5.14. Falla del murete MUNRI-1-BE (Bazalar y Espinoza, 2020)	59
Figura 5.15. Falla del murete MUNRI-2-BE (Bazalar y Espinoza, 2020)	59
Figura 5.16. Falla del murete MUNRI-3-BE (Bazalar y Espinoza, 2020)	60
Figura 5.17. Detalle típico de muretes reforzados (Mamani, 2015)	62
Figura 5.18. Murete reforzado instrumentado (Mamani, 2015)	62
Figura 5.19. Gráfico Fuerza versus Desplazamiento Horizontal – Vertical (Mamani, 2015)	63
Figura 5.20. Forma de falla de los muretes MURI-2-M y MURI-3-M (Mamani, 2015)	63
Figura 5.21. Muretes reforzados con malla electrosoldada (Cevallos y Diaz, 2018).....	64
Figura 5.22. Falla local en la parte inferior del murete MURI-1-CD (Cevallos y Diaz, 2018)	65
Figura 5.23. Falla de tracción diagonal del murete MURI-2-CD (Cevallos y Diaz, 2018).....	65
Figura 5.24. Falla local del murete MURI-3-CD (Cevallos y Diaz, 2018)	66
Figura 5.25. Detalle típico de muretes reforzados (Bazalar y Espinoza, 2020).....	67
Figura 5.26. Gráfico Fuerza versus Desplazamiento Horizontal – Vertical (Bazalar y Espinoza, 2020).....	68
Figura 5.27. Falla del murete MURI-1-BE (Bazalar y Espinoza, 2020)	68
Figura 5.28. Falla del murete MURI-2-BE (Bazalar y Espinoza, 2020)	69
Figura 5.29. Falla del murete MURI-3-BE (Bazalar y Espinoza, 2020)	69
Figura 6.1. Fisuras horizontales (Mamani, 2015).....	73
Figura 6.2. Fisuras horizontales en las columnas y diagonales en la albañilería (Mamani, 2015).....	73
Figura 6.3. Trituración de talones en las columnas (Mamani, 2015).....	74
Figura 6.4. Estado final de muros (izquierda: ladrillo industrial, derecha: ladrillo artesanal) (Lazares y Salinas, 2007)	76
Figura 6.5. Lazos histeréticos (izquierda: ladrillo industrial, derecha: ladrillo artesanal) (Lazares y Salinas, 2007)	77
Figura 6.6. Curvas de capacidad de los muros MNRI-CCA-LS y MNRA-CCA-LS (Lazares y Salinas, 2007) ..	77
Figura 6.7. Curvas de capacidad simplificadas de los muros MNRI-CCA-LS y MNRA-CCA-LS (Lazares y Salinas, 2007).....	78
Figura 6.8. Ubicación LVDT (Araoz y Velezmoro, 2012)	80
Figura 6.9. Lazos histeréticos del muro MNRI-SCA-AV (Araoz y Velezmoro, 2012).....	80
Figura 6.10. Curva de capacidad del muro MNRI-SCA-1-AV (Araoz y Velezmoro, 2012)	81
Figura 6.11. Curva de capacidad simplificada del muro MNRI-SCA-AV (Araoz y Velezmoro, 2012).....	82
Figura 6.12. Configuración del espécimen (Zavala et al., 2014).....	83
Figura 6.13. Ubicación de strain gauge (Zavala et al., 2014).....	83
Figura 6.14. Curva de capacidad del muro MNRI-CCA-Z (Zavala et al., 2014).....	84
Figura 6.15. Estado final del muro MNRI-CCA-Z (Zavala et al., 2014)	84
Figura 6.16. Curva de capacidad simplificada del muro MNRI-CCA-Z (Zavala et al., 2014).....	85

Figura 6.17. Vista del mecano y carga (CISMID, 2017b).....	86
Figura 6.18. Instrumentación del espécimen (CISMID, 2017b).....	86
Figura 6.19. Características geométricas (CISMID, 2017b)	87
Figura 6.20. Curvas de capacidad y el promedio MNRI-SCA-C (CISMID, 2017b)	88
Figura 6.21. Curva de capacidad simplificada del promedio MNRI-SCA-C (CISMID, 2017b).....	89
Figura 6.22. Curvas de capacidad y el promedio MNRI-CCA-C (CISMID, 2017b).....	89
Figura 6.23. Curva de capacidad simplificada del promedio MNRI-CCA-C (CISMID, 2017b).....	90
Figura 6.24. Dispositivos de medición (Diaz et al., 2017).....	91
Figura 6.25. Curva de capacidad promedio de MNRI-CCA-D (Diaz et al., 2017).....	92
Figura 6.26. Curva de capacidad simplificada del muro MNRI-CCA-1-D (Diaz et al., 2017)	93
Figura 6.27. Curvas de capacidad simplificadas de los muros confinados de ladrillo industrial pandereta sin carga axial.....	94
Figura 6.28. Curvas de capacidad simplificadas de muros confinados de ladrillo industrial pandereta con carga axial.....	96
Figura 6.29. Colocación de la malla electrosoldada (Araoz y Velezmoro, 2012)	97
Figura 6.30. Proceso constructivo del muro MRI-SCA-AV (Araoz y Velezmoro, 2012)	97
Figura 6.31. Curva de capacidad del muro MRI-SCA-AV (Araoz y Velezmoro, 2012)	98
Figura 6.32. Lazos histeréticos del muro MRI-SCA-AV (Araoz y Velezmoro, 2012).....	98
Figura 6.33. Curva de capacidad simplificada del muro MRI-SCA-AV (Araoz y Velezmoro, 2012).....	99
Figura 6.34. Esquema del muro a ensayar (Mamani, 2015).....	100
Figura 6.35. Colocación y conexión de las mallas (Mamani, 2015).....	100
Figura 6.36. Tarrajeo del muro y las columnas (Mamani, 2015).....	101
Figura 6.37. Ubicación de LVDT (Mamani, 2015)	102
Figura 6.38. Curvas de capacidad de los muros reforzados con malla electrosoldada (Mamani, 2015)	103
Figura 6.39. Curvas de capacidad simplificadas de los muros confinados reforzados (Mamani, 2015)	104
Figura 6.40. Curva de capacidad del muro MRI-CCA-D (Diaz et al., 2017).....	105
Figura 6.41. Curva de capacidad simplificada del muro MRI-CCA-D (Diaz et al., 2017)	106
Figura 6.42. Curvas de capacidad simplificadas de los muros confinados de ladrillo pandereta sin carga axial	107
Figura 6.43. Curvas de capacidad simplificadas de los muros confinados reforzados de ladrillo pandereta con carga axial.....	108
Figura 6.44. Curvas de capacidad simplificadas de los muros de ladrillo pandereta sometidos a carga axial....	109
Figura 7.1. Curvas de capacidad simplificadas de muros confinados de ladrillo pandereta no reforzados con carga axial empleados para el modelo elastoplástico.....	117
Figura 7.2. Modelo elastoplástico preliminar propuesto para muros de ladrillo pandereta sin refuerzo sísmico exterior	118
Figura 7.3. Curvas de capacidad simplificadas de muros confinados de ladrillo industrial pandereta reforzados con carga axial empleados para el modelo elastoplástico.....	122
Figura 7.4. Modelo elastoplástico preliminar propuesto para muros de ladrillo pandereta con refuerzo sísmico exterior	122

Figura 8.1. Curvas de capacidad simplificadas de muros de ladrillo pandereta industrial presentados en el Capítulo 7 125

Figura 8.2. Curvas de capacidad simplificadas de muros confinados de ladrillo industrial pandereta no reforzados con carga axial 126



Lista de tablas

Tabla 3.1. Resultados de compresión axial de unidades (Modificado de Lazares y Salinas, 2007).....	25
Tabla 3.2. Cálculo de la resistencia característica a compresión (Modificado de Araoz y Velezmoro, 2012).....	26
Tabla 3.3. Cálculo de la resistencia característica a compresión (Modificado de Mamani, 2015)	26
Tabla 3.4. Cálculo de la resistencia característica a compresión (Modificado de CISMID, 2017a)	26
Tabla 3.5. Cálculo de la resistencia característica a compresión (Modificado de Cevallos y Diaz, 2018).....	27
Tabla 3.6. Resumen de las resistencias características a compresión axial de ladrillo pandereta industrial.....	27
Tabla 4.1. Factores de corrección de f_m por esbeltez (NTE E.070 Albañilería, 2006).....	29
Tabla 4.2. Resultados de los ensayos de compresión de pilas no reforzadas (Modificado de Lazares y Salinas, 2007)	31
Tabla 4.3. Descripción de las pilas no reforzadas (Araoz y Velezmoro, 2012).....	32
Tabla 4.4. Resultados de los ensayos de compresión de pilas no reforzadas (Araoz y Velezmoro, 2012).....	33
Tabla 4.5. Cálculo del módulo de elasticidad de pilas no reforzadas (Modificado de Araoz y Velezmoro, 2012)	34
Tabla 4.6. Descripción de las pilas no reforzadas (Sáenz, 2016).....	35
Tabla 4.7. Resultados de los ensayos de compresión de pilas no reforzadas (Sáenz, 2016)	35
Tabla 4.8. Cálculo del módulo de elasticidad de pilas no reforzadas (Modificado de Sáenz, 2016)	36
Tabla 4.9. Descripción de las pilas no reforzadas (CISMID, 2017a).....	37
Tabla 4.10. Resultados de los ensayos de compresión de pilas no reforzadas (CISMID, 2017a).....	38
Tabla 4.11. Descripción de las pilas no reforzadas (Bazalar y Espinoza, 2020).....	38
Tabla 4.12. Resultados de los ensayos de compresión de pilas no reforzadas (Bazalar y Espinoza, 2020)	40
Tabla 4.13. Cálculo del módulo de elasticidad de pilas no reforzadas (Modificado de Bazalar y Espinoza, 2020)	40
Tabla 4.14. Resumen de pilas no reforzadas de ladrillo pandereta industrial.....	41
Tabla 4.15. Resumen de valores estimados empleando la correlación 4.1	42
Tabla 4.16. Descripción de las pilas reforzadas (Mamani, 2015).....	43
Tabla 4.17. Resultados de los ensayos de compresión de pilas reforzadas (Mamani, 2015).....	43
Tabla 4.18. Cálculo del módulo de elasticidad de pilas reforzadas (Mamani, 2015).....	44
Tabla 4.19. Descripción de las pilas reforzadas (Bazalar y Espinoza, 2020)	45
Tabla 4.20. Resultados de los ensayos de compresión de pilas reforzadas (Bazalar y Espinoza, 2020)	46
Tabla 4.21. Cálculo del módulo de elasticidad de pilas reforzadas (Modificado de Bazalar y Espinoza, 2020) ..	46
Tabla 4.22. Resumen comparativo de pilas reforzadas	48
Tabla 4.23. Resumen de valores estimados empleando la correlación 4.2.....	48
Tabla 5.1. Resultados obtenidos de los muretes no reforzados (Lazares y Salinas, 2007).....	50
Tabla 5.2. Descripción de los muretes no reforzados (Araoz y Velezmoro, 2012).....	51
Tabla 5.3. Resultados de los ensayos de compresión diagonal de muretes no reforzados (Araoz y Velezmoro, 2012)	52
Tabla 5.4. Descripción de los muretes no reforzados (Sáenz, 2016)	53
Tabla 5.5. Resultados de los ensayos de compresión diagonal de muretes no reforzados (Sáenz, 2016)	53
Tabla 5.6. Descripción de los muretes no reforzados (CISMID, 2017a)	55

Tabla 5.7. Resultados de los ensayos de compresión diagonal de muretes no reforzados (CISMID, 2017a).....	55
Tabla 5.8. Descripción de los muretes no reforzados (Cevallos y Diaz, 2018)	56
Tabla 5.9. Resultados de los ensayos de compresión diagonal de muretes no reforzados (Cevallos y Diaz, 2018)	56
Tabla 5.10. Descripción de los muretes no reforzados (Bazalar y Espinoza, 2020).	57
Tabla 5.11. Resultados de los ensayos de compresión diagonal de muretes no reforzados (Modificado de Bazalar y Espinoza, 2020).....	58
Tabla 5.12. Cálculo del módulo de corte de muretes no reforzados (Modificado de Bazalar y Espinoza, 2020).	59
Tabla 5.13. Resumen de muretes no reforzados de ladrillo pandereta industrial.....	60
Tabla 5.14. Descripción de los muretes reforzados con malla electrosoldada (Mamani, 2015)	61
Tabla 5.15. Resultados de los ensayos de compresión diagonal de muretes reforzados con malla electrosoldada (Mamani, 2015).....	62
Tabla 5.16. Cálculo del módulo de corte de muretes reforzados con malla electrosoldada (Modificado de Mamani, 2015)	63
Tabla 5.17. Descripción de los muretes reforzados con malla electrosoldada (Cevallos y Diaz, 2018)	64
Tabla 5.18. Resultados de los ensayos de compresión diagonal de muretes reforzados con malla electrosoldada (Cevallos y Diaz, 2018)	65
Tabla 5.19. Descripción de los muretes reforzados con malla electrosoldada (Bazalar y Espinoza, 2020)	66
Tabla 5.20. Resultados de los ensayos de compresión diagonal de muretes reforzados (Bazalar y Espinoza, 2020)	67
Tabla 5.21. Cálculo del módulo de corte de muretes reforzados (Modificado de Bazalar y Espinoza, 2020).....	68
Tabla 5.22. Resumen de muretes reforzados de ladrillo industrial	69
Tabla 5.23. Resumen de valores estimados empleando la correlación 5.2.....	70
Tabla 6.1. Resultados de interés del muro MNRI-CCA-LS (Lazares y Salinas, 2007)	78
Tabla 6.2. Resultados de interés del muro MNRA-CCA-LS (Lazares y Salinas, 2007).....	78
Tabla 6.3. Características de las fases del ensayo de carga cíclica (Araoz y Velezmoro, 2012)	80
Tabla 6.4. Resultados de interés del muro MNRI-SCA-AV (Araoz y Velezmoro, 2012)	81
Tabla 6.5. Resultados de interés del muro MNRI-CCA-Z (Zavala et al., 2014)	84
Tabla 6.6. Características de las fases del ensayo de carga cíclica (CISMID, 2017b).....	87
Tabla 6.7. Condiciones de ensayo en muros de ladrillo pandereta industrial (CISMID, 2017b).....	87
Tabla 6.8. Resultados de interés del promedio MNRI-SCA-C (CISMID, 2017b).....	88
Tabla 6.9. Resultados de interés del promedio MNRI-CCA-C (CISMID, 2017b).....	90
Tabla 6.10. Resultados de interés del muro MNRI-CCA-D (Diaz et al., 2017)	92
Tabla 6.11. Cuadro comparativo de los muros confinados no reforzados de ladrillo industrial pandereta sin carga axial.....	93
Tabla 6.12. Cuadro comparativo de los muros confinados no reforzados de ladrillo industrial pandereta con carga axial.....	95
Tabla 6.13. Resultados de interés del muro MRI-SCA-AV (Araoz y Velezmoro, 2012)	98
Tabla 6.14. Características de las fases en el ensayo de carga cíclica (Mamani, 2015).....	102
Tabla 6.15. Resultados de interés del muro MRI-CCA-1-M (Mamani, 2015).....	103

Tabla 6.16. Resultados de interés del muro MRI-CCA-2-M (Mamani, 2015).....	103
Tabla 6.17. Resultados de interés del muro MRI-CCA-D (Diaz et al., 2017).....	105
Tabla 6.18. Cuadro comparativo de los muros confinados de ladrillo industrial pandereta sin carga axial	106
Tabla 6.19. Cuadro comparativo de los muros confinados reforzados de ladrillo industrial pandereta con carga axial.....	108
Tabla 7.1. Resumen de correlaciones 7.7 y 7.8	113
Tabla 7.2. Resumen de correlaciones 7.11 y 7.12	114
Tabla 7.3. Resumen de correlaciones 7.13 y 7.14	115
Tabla 7.4. Resumen de correlaciones 7.15 y 7.16	115
Tabla 7.5. Valores obtenidos experimentalmente y con las correlaciones 7.11, 7.13 y 7.17.....	116
Tabla 7.6. Resultados de interés para el modelo elastoplástico de muros de ladrillo pandereta sin refuerzo sísmico exterior	116
Tabla 7.7. Resultados obtenidos con la correlación 7.18.....	117
Tabla 7.8. Resumen de la correlación 7.19	118
Tabla 7.9. Resumen de la correlación 7.20	119
Tabla 7.10. Resumen de resistencias características a compresión axial	119
Tabla 7.11. Resumen de resistencias características a corte puro.....	120
Tabla 7.12. Resultados de interés para el modelo elastoplástico de muros de ladrillo pandereta con refuerzo sísmico exterior.....	121
Tabla 7.13. Resultados obtenidos con la correlación 7.21	121

Nomenclatura

α	: Factor de reducción de resistencia al corte por efectos de esbeltez
Ac	: Área de corte del muro
Em	: Módulo de elasticidad de la albañilería no reforzada
Em_R	: Módulo de elasticidad de la albañilería reforzada
fb	: Resistencia a la compresión axial de las unidades de albañilería
$f'b$: Resistencia característica a la compresión axial de las unidades de albañilería
$f'm$: Resistencia característica a compresión axial de pilas no reforzadas
$f'm_R$: Resistencia característica a compresión axial de pilas reforzadas
Gm	: Módulo de corte de la albañilería no reforzada
Gm_R	: Módulo de corte de la albañilería reforzada
Pg	: Carga gravitacional de servicio en un muro con sobrecarga reducida
$v'm$: Resistencia característica a corte puro para muretes no reforzados
$v'm_R$: Resistencia característica a corte puro para muretes reforzados
Vm	: Resistencia a corte de un muro no reforzado
Vm_R	: Resistencia a corte de un muro reforzado
$V_{máx}$: Fuerza cortante (lateral) máxima de un muro no reforzado
$V_{máxR}$: Fuerza cortante (lateral) máxima de un muro reforzado
V_u	: Fuerza cortante (lateral) última de un muro no reforzado
V_{uR}	: Fuerza cortante (lateral) última de un muro reforzado

Capítulo 1. Introducción

En este capítulo, se detalla el contexto de la presente tesis, a través del planteamiento del problema de la albañilería confinada de ladrillos pandereta en el Perú. También, se mencionan los objetivos, las hipótesis y la justificación.

1. 1. Planteamiento y justificación del problema

Según los resultados del Censo Nacional 2017: XII de Población y VII de Vivienda del Perú del Instituto Nacional de Estadística e Informática del Perú, revelaron que alrededor de 4 millones 300 mil viviendas particulares tenían en sus paredes exteriores como material predominante el ladrillo o bloque de cemento, lo que representó el 55.80% del total de viviendas (INEI, 2017). Además, desde la década de 1990, se ha comenzado a construir masivamente viviendas con ladrillos pandereta (Lazares y Salinas, 2007). Esto significa que, durante los últimos 30 años, muchas personas han optado por construir sus casas, cuyo material predominante es el ladrillo pandereta y que, probablemente, ningún ingeniero civil haya participado en todo el proceso.

El ladrillo pandereta es un tipo de ladrillo de arcilla cocida que debe ser usado exclusivamente para muros portantes de hasta dos pisos en la zona sísmica 1 como se indica en la NTE E.070 Albañilería (2006). Por ende, la construcción masiva de viviendas de muros portantes de ladrillo pandereta, como se puede ver en muchas ciudades de la costa del Perú, debe ser de conocimiento público y los responsables en la búsqueda de soluciones de refuerzo externo a solicitaciones sísmicas son el gobierno e ingenieros civiles. Así, se podría evitar consecuencias lamentables ante un sismo severo cerca de la costa peruana.

También, es necesario reducir la vulnerabilidad de viviendas de ladrillo pandereta, a través de investigaciones experimentales o numéricas y del conocimiento del comportamiento del material compuesto anteriormente mencionado.

1. 2. Preguntas de investigación

- ¿Cómo se puede interpretar la información sistematizada de ensayos experimentales para evaluar la resistencia de muros y prismas de ladrillo pandereta?
- ¿Cómo generar modelos elastoplásticos basados en el comportamiento real de la albañilería confinada tubular con y sin refuerzo sísmico exterior de malla electrosoldada?

1. 3. Objetivo principal

Proponer un modelo preliminar elastoplástico para la estimación de la capacidad por corte de muros de ladrillo pandereta con y sin refuerzo exterior de malla electrosoldada

1. 4. Objetivos específicos

- Interpretar resultados de ensayos experimentales de muros y prismas y encontrar las mejoras en el material debido al refuerzo exterior de malla electrosoldada, a través de correlaciones
- Comparar las curvas de capacidad y determinar el incremento de resistencia debido al uso de malla electrosoldada como refuerzo sísmico exterior
- Proponer un modelo elastoplástico para estimar la capacidad por corte de muros de ladrillo pandereta con y sin refuerzo sísmico exterior de malla electrosoldada

1. 5. Hipótesis

Se espera que se puedan determinar correlaciones entre muretes, pilas y unidades de ladrillo pandereta. Asimismo, se espera establecer un modelo preliminar elastoplástico de albañilería confinada tubular con y sin refuerzo sísmico exterior de malla electrosoldada que permita estimar la capacidad por corte. Esto se puede conseguir a través de la evaluación de resultados obtenidos de ensayos experimentales como curvas de capacidad y resistencias de prismas de albañilería.

1. 6. Metodología

Para lograr este objetivo principal, se decidió establecer dos partes de la tesis como se detalla a continuación.

1. 6. 1. Etapas del proyecto.

La primera parte estuvo relacionada a la interpretación y sistematización de resultados de ensayos experimentales existentes sobre la base de la recopilación de información de pilas, muretes y muros. En esta parte, se realizó una examinación detallada de cada resultado obtenido. De las investigaciones que se emplean en esta tesis, se obtuvieron las curvas de capacidad y se representaron a través de tres puntos notables de manera simplificada: agrietamiento diagonal (cracking), resistencia máxima y resistencia última (0.80 veces la resistencia máxima o el valor más cercano a esta). La finalidad de estas curvas de capacidad simplificadas fue corroborar si se había incrementado la resistencia de los muros por el uso de malla electrosoldada como refuerzo sísmico exterior y afirmar si es que se logró cumplir con la deriva máxima inelástica de 5 por mil que establece la NTE E.030 Diseño Sismorresistente (2018).

La segunda parte estuvo relacionada con la elaboración de la propuesta de modelo elastoplástico para estimar la capacidad por corte de muros de ladrillo pandereta con y sin refuerzo sísmico exterior de malla electrosoldada. Se correlacionaron los resultados de pilas, muretes y unidades, en función a lo recolectado en la primera parte. Esto se realizó con la finalidad de estimar las resistencias características a compresión axial y a corte puro y para que sirva de referencia en futuras investigaciones. Para esta parte, se debió realizar una revisión de la NTE E.070 Albañilería (2006), los comentarios de la NTC Mampostería (2020), la NSR – 10 – Título D Mampostería Estructural (2010) y las investigaciones que realizó San Bartolomé para poder estimar la capacidad por corte de muros confinados de albañilería. Luego, en función del agrietamiento diagonal obtenido de las curvas de capacidad y las correlaciones

entre unidades, pilas y muretes, se propuso el modelo elastoplástico para muros con y sin refuerzo exterior de malla electrosoldada.

1. 6. 2. Flujograma de ejecución.

Seguidamente, se explica el proceso a seguir durante toda la tesis a través de un flujograma.

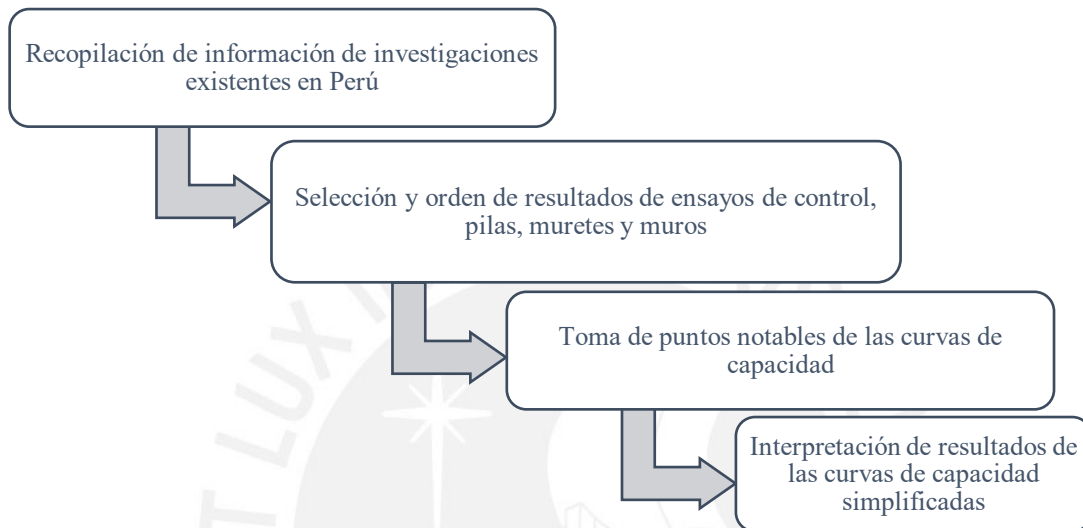


Figura 1.1. Flujograma de la primera parte

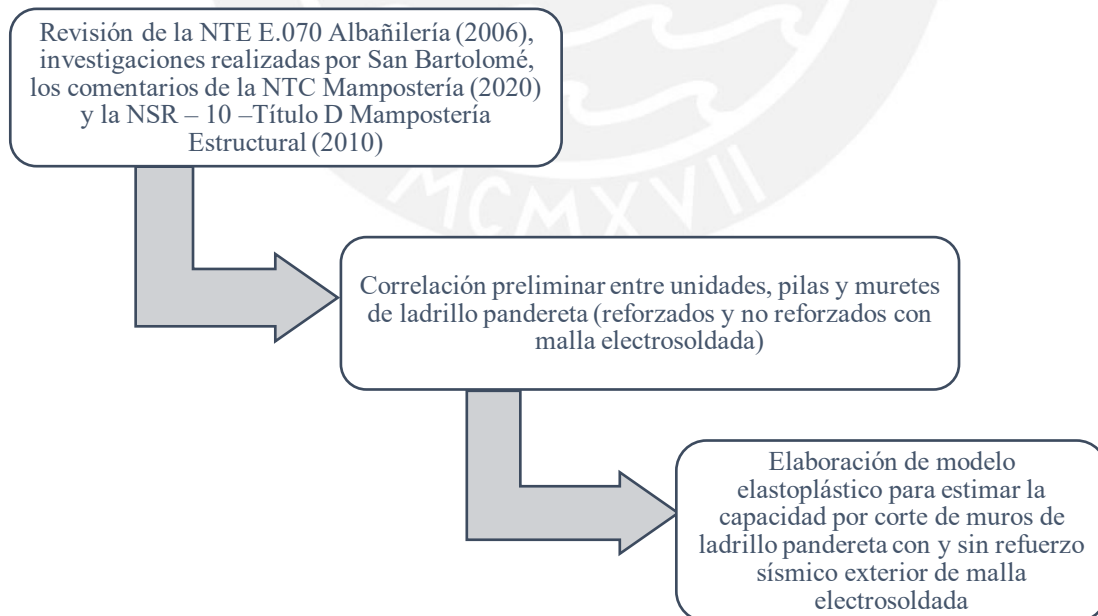


Figura 1.2. Flujograma de la segunda parte

Capítulo 2. Estado del arte

En este capítulo, se presentan definiciones relacionadas a la albañilería confinada en el Perú. A su vez, se detalla brevemente las investigaciones experimentales existentes de ladrillo pandereta hasta la fecha.

2. 1. Albañilería confinada

Las construcciones de albañilería confinada normada en el Perú se realizan en el siguiente orden (San Bartolomé, Quiun y Silva, 2018):

1. Cimentación: Cimentación corrida de concreto ciclópeo.
2. Sobrecimiento: Hecho de concreto ciclópeo, pero con piedras medianas.
3. Muros de albañilería: Se levantan los muros de albañilería hasta 1.30 m por jornada y se emplean unidades sólidas. Estas tienen un área de huecos verticales que ocupa no más del 30% del área bruta.
4. Columnas de concreto armado: Las columnas se vacían luego de haber levantado los muros.
5. Viga solera, dinteles y losa: Para terminar con el confinamiento del muro, se vacían estos elementos estructurales.

2. 2. Albañilería confinada de ladrillos pandereta

Consiste en el confinamiento de muros de ladrillo pandereta por elementos de concreto armado en todos sus lados, luego de haber realizado el levantamiento de muros. En otras palabras, es un trabajo similar a la albañilería confinada normada, pero empleando unidades tubulares. En la Figura 2.1, se pueden apreciar viviendas de muros confinados de ladrillo pandereta en la ciudad de Lima.



Figura 2.1. Viviendas de albañilería confinada tubular

2. 3. Investigaciones experimentales en ladrillos pandereta

Desde el 2007, en el Perú, se han realizado ensayos experimentales con la intención de comprender el comportamiento de la albañilería confinada de ladrillo pandereta y proponer algún tipo de refuerzo para disminuir la vulnerabilidad de estas viviendas.

2. 3. 1. Albañilería confinada tubular.

Se presentan las investigaciones de los ensayos experimentales donde solamente se analizaron el comportamiento de pilas, muretes y muros de ladrillo pandereta sin algún tipo de refuerzo exterior.

- **2007: Lazares y Salinas**

Ellos realizaron ensayos de pilas, muretes y muros con la finalidad de obtener resultados que reflejen el comportamiento de este tipo de edificaciones de muros portantes de ladrillo pandereta. En los ensayos de carga lateral cíclica de muros, la falla que originó la disminución de la capacidad resistente fue la de tracción diagonal por corte y la resistencia característica a corte puro fue elevada debido al efecto de llave entre los huecos de las unidades y el mortero de las juntas.

- **2014: Zavala, Lavado, Taira, Cardenas y Diaz**

Uno de sus objetivos fue entender el límite de fluencia del confinamiento de elementos debido a la poca resistencia al corte de la albañilería. Asimismo, esta investigación comparó el comportamiento de dos tipos de muros: muros no ingenieriles de ladrillos tubulares y muros ingenieriles de ladrillos sólidos. No se presentaron ensayos de prismas de albañilería.

- **2016: Sáenz**

Esta tesis de pregrado estaba enfocada a evaluar experimentalmente el comportamiento sísmico de tabiques construidos con ladrillo pandereta enmarcados por pórticos de concreto armado ante cargas perpendiculares al plano, mediante ensayos de mesa vibradora y cargas coplanares en ensayos de carga lateral cíclica. De esta investigación, solamente se recopilaron los resultados de los ensayos de unidades, pilas y muretes para efecto de comparación con las demás investigaciones.

2. 3. 2. Albañilería confinada tubular con refuerzo exterior de malla electrosoldada.

Se presentan las investigaciones en las cuales se realizaron ensayos de muretes, pilas y muros reforzados.

- **2012: Araoz y Velezmoro**

Los primeros ensayos experimentales de muros de ladrillo pandereta reforzados exteriormente con malla electrosoldada en la PUCP fueron realizados por ellos en su tesis de pregrado. Esta tesis analizó una medida preventiva para evitar el colapso sísmico de viviendas construidas con ladrillos pandereta; para esto, se realizaron ensayos para entender el comportamiento del material no reforzado y reforzado. Se pudo concluir, sin considerar las cangrejeras de uno de los muros, que la malla electrosoldada recubierta con mortero cumplió con el objetivo planteado de evitar la trituración de los ladrillos pandereta.

- **2015: Mamani**

La tesis de maestría de Mamani (2015) tuvo como objetivo estudiar el comportamiento mecánico de muros de ladrillo pandereta reforzados con malla electrosoldada sometidos a cargas sísmicas y gravitacionales. Una de las conclusiones fue que, durante la fase 5 del ensayo, se presentó la degradación de la resistencia para una deriva de 6 por mil. Este valor fue 20% más que la deriva máxima inelástica de 5 por mil de la NTE E.030 Diseño Sismorresistente (2018) y, además, la falla de los muros fue por deslizamiento. Esto se debió inicialmente a la falla por corte de las columnas en los talones con presencia de trituración y la fluencia del refuerzo vertical para ese nivel.

- **2017a y 2017b: CISMID**

El CISMID (2017a y 2017b) realizó ensayos experimentales de muros con y sin carga axial aplicada, prismas y unidades de ladrillo pandereta y ladrillo sólido, con la finalidad de elaborar curvas de fragilidad. Una de las conclusiones relacionadas a los ensayos experimentales de muros de ladrillo pandereta fue recomendar que, para este tipo de albañilería sin refuerzo exterior alguno, se debería reducir el límite de deriva máxima inelástica a 2.2 por mil. Este valor de deriva es menor que lo que dice la NTE E.030 Diseño Sismorresistente (2018) para estructuras de albañilería.

- **2017: Diaz, Zavala, Gallardo y Lavado**

En una parte de esta investigación, se ensayaron dos muros de ladrillo pandereta (uno reforzado con malla electrosoldada y otro sin refuerzo). La finalidad de estos ensayos era registrar el comportamiento de los muros ante sollicitaciones paralelas a su plano y determinar el incremento del uso de malla electrosoldada en la resistencia al corte.

- **2018: Cevallos y Diaz**

Cevallos y Diaz (2018) plantearon realizar una contribución a la protección sísmica de las viviendas construidas sin algún tipo de asesoramiento ingenieril. Para esto, se construyeron

muretes reforzados y no reforzados para verificar la efectividad estructural. Una de las conclusiones que establecieron fue que los muretes sin refuerzo exterior fallaron de manera frágil y repentina. Por otro lado, los muretes reforzados con malla electrosoldada tuvieron un comportamiento de falla gradual y se pudo evidenciar la reducción de la fragilidad del murete por el confinamiento de la malla.

- **2020: Bazalar y Espinoza**

El proyecto de tesis de pregrado de Bazalar y Espinoza (2020) en parte consistió en complementar la información obtenida en ensayos experimentales previos de pilas y muretes reforzados con malla electrosoldada. Una de las conclusiones más resaltantes fue que, a pesar de que los valores fueron similares en compresión axial de pilas reforzadas y no reforzadas, se pudo evitar el tipo de falla frágil y explosiva por una falla dúctil y predecible. También, se logró que los muretes reforzados con malla electrosoldada tengan una falla dúctil y progresiva.

Capítulo 3. Ensayos de control de unidades

En este capítulo, se detalla uno de los procedimientos importantes en el control de las unidades de arcilla cocida: la resistencia característica a compresión ($f'b$).

3. 1. Resistencia característica a compresión

Los especímenes para medir la resistencia a compresión son unidades secas, sobre cuyas superficies de asiento se colocan capping de yeso. Luego, se aplica una carga axial a una velocidad de desplazamiento entre los cabezales de la máquina de ensayos de 1.25 mm/min o se controla la velocidad de carga de manera que se llegue a la rotura en 3 o 5 minutos (San Bartolomé et al., 2018).

La resistencia a la compresión axial de unidades de albañilería ($f'b$) se expresa como el valor de la carga de rotura dividida entre el área bruta para todo tipo de unidad y, en el caso de las unidades huecas, se puede afirmar que son muy frágiles (San Bartolomé et al., 2018). Asimismo, según la NTE E.070 Albañilería (2006), la resistencia característica a la compresión axial de las unidades de albañilería ($f'b$) es el resultado promedio menos una desviación estándar.

Debe tenerse en cuenta que, el valor de $f'b$ expresa solo la calidad de la unidad empleada ensayada bajo las mismas condiciones. También, el valor de $f'b$ depende de la altura de la probeta (a menor altura, mayor resistencia), del capping empleado y de la restricción del desplazamiento lateral impuesto por los cabezales de la máquina de ensayos. Es decir, para fines comparativos, debe analizarse unidades que presenten la misma geometría (San Bartolomé et al., 2018).

3. 2. Ensayos realizados en investigaciones o tesis de grado

Se presentan los resultados que obtuvieron las investigaciones de unidades de ladrillo pandereta. Para este caso, se considera que el ancho es la mayor longitud de la unidad, el largo es la longitud intermedia y el espesor es la menor de todas.

Lazares y Salinas (2007) ejecutaron ensayos de resistencia a la compresión de 10 unidades de ladrillos (5 artesanales y 5 industriales), estos resultados se presentan en la Tabla 3.1. Mientras que los ladrillos industriales llegaron al colapso con grietas y rotura de paredes externas, los ladrillos artesanales fallaron presentando fisuras y grietas de menor espesor, sin rotura. A su vez, se pudo obtener un valor de $f'b$ de 3.50 MPa y 3.70 MPa para el ladrillo industrial (LPI-LS) y artesanal (LPA-LS) respectivamente.

Tabla 3.1. Resultados de compresión axial de unidades (Modificado de Lazares y Salinas, 2007)

Espécimen	Área bruta (mm ²)	$fb\ prom.$ (MPa)	σ (MPa)	$f'b$ (MPa)
LPI-LS	26 360	4.25	0.76	3.50
LPA-LS	26 330	3.96	0.25	3.70

Luego, Araoz y Velezmoro (2012) realizaron ensayos de resistencia a la compresión de 5 unidades de albañilería. Cabe mencionar que, en la Figura 3.1, se aprecia el ensayo de compresión de unidades tubulares.



Figura 3.1. Ensayo de compresión (Araoz y Velezmoro, 2012)

Los resultados de los ensayos de compresión de unidades se presentan en la Tabla 3.2 y se tuvo un valor de $f'b$ de 5.50 MPa.

Tabla 3.2. Cálculo de la resistencia característica a compresión (Modificado de Araoz y Velezmore, 2012)

Espécimen	Ancho (mm)	Largo (mm)	Carga máxima (kN)	Área bruta (mm ²)	<i>fb</i> (MPa)
LPI-1-AV	229	109	147.69	24 872	5.94
LPI-2-AV	228	110	128.45	25 193	5.10
LPI-3-AV	229	109	179.46	25 085	7.15
LPI-4-AV	232	108	160.69	24 954	6.44
LPI-5-AV	231	109	166.69	25 213	6.61
<i>fb prom.</i> (MPa)					6.25
σ (MPa)					0.78
<i>f'b</i> (MPa)					5.50

Después, Mamani (2015) desarrolló ensayos de compresión de las unidades industriales de ladrillo pandereta. Estos resultados se muestran en la Tabla 3.3 y se obtuvo un valor de *f'b* de 5.60 MPa.

Tabla 3.3. Cálculo de la resistencia característica a compresión (Modificado de Mamani, 2015)

Espécimen	Ancho (mm)	Largo (mm)	Carga máxima (kN)	Área bruta (mm ²)	<i>fb</i> (MPa)
LPI-1-M	107	213	138.70	22 844	6.07
LPI-2-M	109	215	133.10	23 511	5.66
LPI-3-M	109	214	139.90	23 262	6.01
LPI-4-M	108	216	182.60	23 252	7.85
LPI-5-M	109	218	158.01	23 784	6.64
<i>fb prom.</i> (MPa)					6.45
σ (MPa)					0.86
<i>f'b</i> (MPa)					5.60

El CISMID (2017a) desarrolló ensayos de compresión de unidades industriales de ladrillo pandereta y se muestran los resultados obtenidos en la Tabla 3.4. Se calculó que la resistencia característica a compresión axial de las unidades fue 3.50 MPa.

Tabla 3.4. Cálculo de la resistencia característica a compresión (Modificado de CISMID, 2017a)

Espécimen	Ancho (mm)	Largo (mm)	Carga máxima (kN)	Área bruta (mm ²)	<i>fb</i> (MPa)
LPI-1-C	110	227	95.75	24 970	3.83
LPI-2-C	111	227	91.23	25 028	3.65
LPI-3-C	108	230	92.61	24 843	3.73
LPI-4-C	112	230	134.79	25 589	5.27
LPI-5-C	112	227	121.84	25 311	4.81
<i>fb prom.</i> (MPa)					4.26
σ (MPa)					0.74
<i>f'b</i> (MPa)					3.50

Asimismo, Cevallos y Diaz (2018) escogieron 5 especímenes a ensayar del lote de unidades de ladrillos pandereta puestos a obra. En la Tabla 3.5, se puede apreciar que se obtuvo 6.00 MPa como valor de $f'b$.

Tabla 3.5. Cálculo de la resistencia característica a compresión (Modificado de Cevallos y Diaz, 2018)

Espécimen	Ancho (mm)	Largo (mm)	Carga máxima (kN)	Área bruta (mm ²)	fb (MPa)
LPI-1-CD	229	114	159.59	26 209	6.09
LPI-2-CD	225	110	166.40	24 817	6.71
LPI-3-CD	227	111	163.00	25 074	6.50
LPI-4-CD	226	110	148.30	24 769	5.99
LPI-5-CD	229	112	179.30	25 694	6.98
fb prom. (MPa)					6.45
σ (MPa)					0.42
$f'b$ (MPa)					6.00

Bazalar y Espinoza (2020) afirmaron que usaron las mismas unidades de la marca utilizada en investigaciones anteriores que se mencionan en su proyecto de tesis. Sin embargo, para efectos comparativos, no se consideró su tesis en esta parte, ya que no hicieron ensayos propios de $f'b$.

Comentarios sobre la resistencia característica a la compresión axial de unidades

En la Tabla 3.6, se presentan los resultados de las resistencias características a compresión junto con otros datos relevantes para discutir. Cabe mencionar que se enumeran las marcas como Marca 1, Marca 2 y así sucesivamente.

Tabla 3.6. Resumen de las resistencias características a compresión axial de ladrillo pandereta industrial

Año	Autor	Huecos horizontales	Marca	$f'b$ (MPa)
2007	Lazares y Salinas	6 huecos	Marca 1	3.50
2012	Aráoz y Velezmoro	6 huecos	No precisa.	5.50
2014	Zavala et al.	6 huecos	No precisa.	No precisa.
2015	Mamani	6 huecos	No precisa.	5.60
2016	Sáenz	6 huecos	Marca 2	No precisa.
2017a	CISMID	6 huecos	No precisa.	3.50
2017	Diaz et al.	6 huecos	No precisa.	No precisa.
2018	Cevallos y Diaz	6 huecos	Marca 3	6.00

Se puede apreciar que la marca del ladrillo define la resistencia característica a compresión. A su vez, se tiene una desviación estándar de 1.20 MPa entre los valores calculados (rango de valores entre 3.50 MPa y 6.00 MPa). Este rango de valores está por debajo de lo que la NTE E.070 Albañilería (2006) establece para las unidades de King Kong industrial, que es un valor de $f'b$ de 14.20 MPa. Esto significa que las unidades de ladrillo pandereta son frágiles.



Capítulo 4. Ensayos de compresión de pilas

En este capítulo, se presentan los resultados de ensayos de compresión de pilas reforzadas y no reforzadas con malla electrosoldada. Finalmente, se presentan tablas resumen para realizar conclusiones relevantes.

4. 1. Definición

El ensayo de compresión de las pilas de albañilería se realiza para determinar la resistencia característica a compresión axial, referida al área bruta de la sección transversal. Eventualmente, si se instrumenta y registra la deformación axial de la pila, se puede determinar el módulo de elasticidad (San Bartolomé et al., 2018).

4. 2. Esbeltez de la pila

Se define como la relación entre la altura de la pila y su espesor (menor dimensión de la sección transversal). Este valor debe estar comprendido entre 2 y 5, aunque los valores más representativos del comportamiento de la albañilería oscilan entre 4 y 5. Asimismo, la NTE E.070 Albañilería (2006) adopta como estándar una esbeltez de valor 5. Esto se debe a que, en pilas pequeñas, los valores de resistencia a compresión son mayores que los que arrojarían las pilas esbeltas, por su mayor restricción al desplazamiento lateral inducida por los cabezales del equipo de ensayo en las pilas de poca esbeltez (San Bartolomé et al., 2018). Por esta razón, la Tabla 4.1 (tabla 10 de la NTE E.070 Albañilería, 2006) proporciona factores de corrección por esbeltez.

Tabla 4.1. Factores de corrección de f_m por esbeltez (NTE E.070 Albañilería, 2006)

Esbeltez	2.0	2.5	3.0	4.0	4.5	5.0
Factor	0.73	0.80	0.91	0.95	0.98	1.00

4. 3. Técnica de ensayo

Las pilas pueden ensayarse en una máquina universal o en una máquina de ensayos parecida. El ensayo tiene que realizarse a velocidad uniforme, sin producir impactos, de modo que su duración esté comprendida entre 3 y 4 minutos. Además, si el ensayo se realiza

controlando la velocidad de aplicación de carga, esta puede ser de 50 kN/min. Cuando existe la posibilidad de medir el desplazamiento entre los cabezales del equipo de ensayo, se puede adoptar una velocidad de 1 mm/min (San Bartolomé et al., 2018). La NTP 399.605 señala las consideraciones de ensayo con más detalle y la norma ASTM C1314-10 es la base de la norma técnica peruana mencionada.

4. 4. Módulo de elasticidad

Para determinar el módulo de elasticidad de la albañilería, se tienen que instrumentar las pilas. Se usan dos instrumentos LVDT que miden la deformación axial de una porción central equidistante de los extremos de la pila. A su vez, las bases de esos instrumentos se colocan en la parte intermedia de las unidades, separadas al menos por una junta horizontal de mortero. Durante el ensayo, se registra el gráfico Carga Vertical – Desplazamiento Axial captado de cada instrumento; y, al llegar a un valor del orden del 60% de la carga de rotura estimada, se retiran los LVDT a fin de que no se dañen durante la falla de la pila. Además, para el cálculo del módulo de elasticidad, se trabaja con la parte más lineal del gráfico Carga Vertical – Desplazamiento Axial y se elimina la porción inicial producto del reacomodo de los elementos. Usualmente, la porción del gráfico a analizar está comprendido entre el 10% y el 50% de la carga de rotura o última (San Bartolomé et al., 2018).

4. 5. Pilas no reforzadas

Se utilizó un sistema de códigos para enumerar los ensayos y se recalcularon todos los resultados a manera de comparación. Por ejemplo, la pila PNRI-1-AV tiene el nombre de “Pila no reforzada de ladrillo industrial – Número de pila – Araoz y Velezmoro”. A continuación, se muestra el orden cronológico de los ensayos.

4. 5. 1. 2007: Lazares y Salinas.

Los ensayos de compresión de pilas presentaron resultados diferentes según el tipo de ladrillo (industrial o artesanal), tanto en valores de resistencia máxima como en tipo de falla.

Mientras que las pilas de ladrillo industrial tuvieron un valor de $f'm$ de 2.20 MPa, las de ladrillo artesanal tuvieron un valor de $f'm$ de 3.30 MPa como se muestra en la Tabla 4.2. Además, en esta investigación, no se realizó medición alguna para calcular el módulo de elasticidad y los investigadores no brindaron información sobre las dimensiones de las pilas no reforzadas.

Tabla 4.2. Resultados de los ensayos de compresión de pilas no reforzadas (Modificado de Lazares y Salinas, 2007)

Espécimen	$f'm$ (MPa)
PNRI-LS	2.20
PNRA-LS	3.30

Claramente, se puede apreciar en la Figura 4.1 que las pilas de ladrillo artesanal tuvieron una falla local en el medio y las pilas de ladrillo industrial tuvieron una falla total. Se considera que estas fallas frágiles estuvieron relacionadas al tipo de ladrillo que, en este caso, fue el ladrillo pandereta.



Figura 4.1. Forma de falla a compresión de pilas de albañilería. Artesanal (izquierda) e industrial (derecha) (Lazares y Salinas, 2007)

4. 5. 2. 2012: Araoz y Velezmoro.

Se utilizaron ladrillos pandereta industrial acanalado, producidos por una empresa del mercado peruano. En la Figura 4.2, se puede apreciar la unidad empleada.



Figura 4.2. Ladrillo pandereta acanalado (Araoz y Velezmoro, 2012)

Además, las pilas que se ensayaron fueron cuatro y tenían las siguientes características como se muestran en la Tabla 4.3.

Tabla 4.3. Descripción de las pilas no reforzadas (Araoz y Velezmoro, 2012)

Tipo de ladrillo	Pandereta industrial acanalado
Dimensiones	Largo: 230 mm Alto: 600 mm (6 hiladas) Espesor: 110 mm
Dosificación del mortero	1:4 (cemento – arena)
Espesor de juntas	10 mm
Capping	De yeso – cemento en los extremos

El montaje de las pilas se realizó manualmente por el personal del Laboratorio de Estructuras de la PUCP, quienes se encargaron de que estas estuvieran lo más centradas posible en los ejes de los cabezales.



Figura 4.3. Colocación de una pila a ensayar (Araoz y Velezmoro, 2012)

Esta investigación presentó un valor de $f'm$ de 2.30 MPa y, en la Tabla 4.4, se presentan todos los cálculos y mediciones realizadas. Debido a la falla de la pila PNRI-4-AV, no se consideró en los cálculos ni se presenta en la Tabla 4.4.

Tabla 4.4. Resultados de los ensayos de compresión de pilas no reforzadas (Araoz y Velezmoro, 2012)

Espécimen	Largo (mm)	Alto H (mm)	Espesor t (mm)	Esbeltez H/t	Carga máxima (kN)	Área (mm ²)	f_m (MPa)	Factor de corrección	f_m correg. (MPa)
PNRI-1-AV	230	600	107	5.607	59.33	24 610	2.41	1.024	2.47
PNRI-2-AV	230	599	108	5.546	63.55	24 840	2.56	1.026	2.62
PNRI-3-AV	230	600	105	5.714	87.58	24 150	3.63	1.029	3.73
f_m prom. (MPa)									2.94
σ (MPa)									0.69
$f'm$ (MPa)									2.30

Se muestra el gráfico de los ensayos de compresión de pilas no reforzadas de Araoz y Velezmoro (2012) en la Figura 4.4.

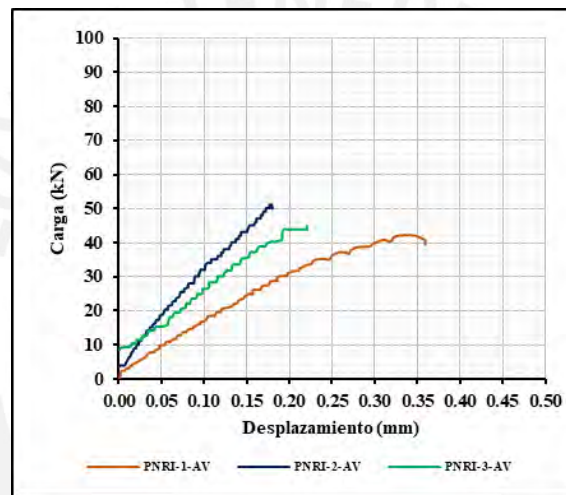


Figura 4.4. Gráfico Fuerza versus Desplazamiento de compresión de pilas no reforzadas (Araoz y Velezmoro, 2012)

Se puede apreciar en la Figura 4.4 que, para la pila PNRI-3-AV, no se realizó corrección alguna ya que el valor comenzó en aproximadamente 10 kN y no en cero. Además, la linealidad y la pendiente mayor de la pila PNRI-2-AV permitió que los autores tengan un valor alto de módulo de elasticidad. Finalmente, se presenta la Tabla 4.5 correspondiente al cálculo del módulo de elasticidad que resultó ser 2 525 MPa.

Tabla 4.5. Cálculo del módulo de elasticidad de pilas no reforzadas (Modificado de Araoz y Velezmoro, 2012)

Especímen	Distancia LVDT <i>Le</i> (mm)	Datos		Deformación unitaria ϵ	$\Delta\sigma$ (MPa)	<i>Em</i> (MPa)
		ΔP (kN)	ΔD (mm)			
PNRI-1-AV	300	41.97	0.339	0.00113	1.71	1 509
PNRI-2-AV	300	51.29	0.176	0.00059	2.06	3 520
PNRI-3-AV	300	45.11	0.220	0.00073	1.87	2 547
<i>Em</i> (MPa)						2 525
σ (MPa)						1 005

En todos los casos, se obtuvo una falla frágil y explosiva con valores pequeños en la resistencia en comparación al valor de 6.40 MPa que indica la NTE E.070 Albañilería (2006) para ladrillos King Kong industrial. Esto sirve de base para considerar cuán riesgoso es el uso de ladrillos pandereta en la construcción de muros portantes en zonas de alta sismicidad. Además, en el ensayo de la pila PNRI-4-AV, se detectó que el capping en la base falló por trituración, por haber absorbido agua de lluvia durante los días previos al ensayo. En las otras pilas, el capping de la base terminó intacto y esto permitió transmitir adecuadamente la carga hacia a los ladrillos. Debido a lo anterior mencionado y como se muestra en la Figura 4.5, se excluye la pila PNRI-4-AV del cálculo de $f'm$, σ y Em y no se muestra en los resultados.



Figura 4.5. Falla del capping por trituración en la base de la pila PNRI-4-AV (Araoz y Velezmoro, 2012)

4. 5. 3. 2016: Sáenz.

Las pilas que se ensayaron fueron tres y sus características fueron las que se presentan en la Tabla 4.6.

Tabla 4.6. Descripción de las pilas no reforzadas (Sáenz, 2016)

Tipo de ladrillo	Pandereta industrial acanalado
Dimensiones	Largo: 230 mm
	Alto: 500 mm (5 hiladas)
	Espesor: 110 mm
Dosificación del mortero	1:4 (cemento – arena)
Espesor de juntas	15 mm
Capping	De yeso y cemento de aproximadamente 10 mm en la base y en la superficie de cada pila

Se colocaron los LVDT siguiendo las instrucciones del ensayo de compresión axial de pilas de albañilería; es decir, estos midieron el acortamiento en la zona media de las pilas como se muestra en la Figura 4.6.



Figura 4.6. LVDT en la pila PNRI-1-S (Sáenz, 2016)

Se obtuvo un valor de $f'm$ de 1.30 MPa. A continuación, se muestra la Tabla 4.7 con los cálculos y mediciones realizadas.

Tabla 4.7. Resultados de los ensayos de compresión de pilas no reforzadas (Sáenz, 2016)

Espécimen	Largo (mm)	Alto H (mm)	Espesor t (mm)	Esbeltez H/t	Carga máxima (kN)	Área (mm ²)	f_m (MPa)	Factor de corrección	f_m correg. (MPa)
PNRI-1-S	220	523	105	4.981	33.593	23 100	1.45	0.999	1.45
PNRI-2-S	220	525	105	5.000	29.090	23 100	1.26	1.000	1.26
PNRI-3-S	220	527	105	5.019	37.749	23 100	1.63	1.000	1.63
f_m prom. (MPa)									1.45
σ (MPa)									0.19
$f'm$ (MPa)									1.30

Con los dos LVDT, se pudo calcular experimentalmente el módulo de elasticidad y ambos fueron retirados antes de llegar a la rotura de los elementos, con la intención de que la falla explosiva no dañe a los instrumentos.

Para esto, el módulo de elasticidad se halló en la zona elástica del gráfico de Fuerza versus Desplazamiento Local obtenido en cada uno de los ensayos de compresión de pilas no reforzadas y se estableció que la “zona elástica” se ubicaba entre el 15% y 50% de la fuerza máxima hallada. Se determinó que el módulo de elasticidad fue 2 487 MPa como se muestra en la Tabla 4.8.

Tabla 4.8. Cálculo del módulo de elasticidad de pilas no reforzadas (Modificado de Sáenz, 2016)

Especímen	Distancia LVDT <i>Le</i> (mm)	Datos		Deformación unitaria ϵ	$\Delta\sigma$ (MPa)	<i>E_m</i> (MPa)
		ΔP (kN)	ΔD (mm)			
PNRI-1-S	210	11.47	0.0405	0.000193	0.50	2 573
PNRI-2-S	210	10.18	0.0305	0.000145	0.44	3 039
PNRI-3-S	210	13.21	0.0649	0.000309	0.57	1 850
<i>E_m</i> (MPa)						2 487
σ (MPa)						599

A continuación, se presenta la Figura 4.7 obtenida de los ensayos de compresión pilas no reforzadas.

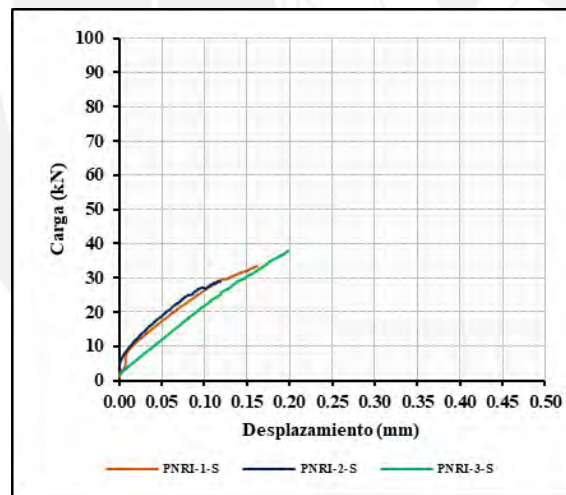


Figura 4.7. Gráfico Fuerza versus Desplazamiento de compresión de pilas no reforzadas (Sáenz, 2016)

Al igual que en la tesis de grado de Araoz y Velezmoro (2012), se tiene que la pila PNRI-2-S no comenzó el registro en cero. La pila PNRI-1-S presentó una falla frágil producida por el aplastamiento en las hiladas superiores e inferiores. Esto generó que las caras laterales se trituren como se puede ver en la Figura 4.8.



Figura 4.8. Falla de la pila PNRI-1-S (Sáenz, 2016)

La falla de la pila PNRI-2-S también fue frágil producida por trituración. Esta falla fue rápida, lo que provocó que el espécimen se separe como se ve en la Figura 4.9.



Figura 4.9. Falla de la pila PNRI-2-S (Sáenz, 2016)

La pila PNRI-3-S tuvo una falla frágil producida por trituración que fue explosiva y el espécimen se desmoronó completamente. Esta falla pudo haberse producido porque la base del capping no permitió transmitir adecuadamente la carga a la pila.

4. 5. 4. 2017a: CISMID.

Las pilas que se ensayaron fueron cinco y tenían las siguientes características como se presentan en la Tabla 4.9. En la Figura 4.10, se puede apreciar una pila que se ensayó en esta investigación.

Tabla 4.9. Descripción de las pilas no reforzadas (CISMID, 2017a)

Tipo de ladrillo	Pandereta industrial acanalado
Dimensiones	Largo: 230 mm Alto: 400 mm (4 hiladas) Espesor: 110 mm
Dosificación del mortero	1:6 (cemento – arena)
Espesor de juntas	15 mm



Figura 4.10. Ensayo de una pila de ladrillo pandereta industrial (CISMID, 2017a)

Se obtuvo que el valor de $f'm$ fue 1.70 MPa y los resultados se presentan en la Tabla

4.10.

Tabla 4.10. Resultados de los ensayos de compresión de pilas no reforzadas (CISMID, 2017a)

Espécimen	Largo (mm)	Alto H (mm)	Espesor t (mm)	Esbeltez H/t	Carga máxima (kN)	Área (mm ²)	f_m (MPa)	Factor de corrección	f_m correg. (MPa)
PNRI-1-C	231	401	110	3.640	43.84	25 410	1.73	0.936	1.61
PNRI-2-C	228	401	110	3.660	49.03	24 966	1.96	0.936	1.84
PNRI-3-C	230	405	110	3.680	48.64	25 300	1.92	0.937	1.8
PNRI-4-C	230	402	112	3.580	49.03	25 760	1.90	0.933	1.78
PNRI-5-C	223	400	111	3.620	52.37	24 642	2.13	0.935	1.99
f_m prom. (MPa)									1.80
σ (MPa)									0.13
$f'm$ (MPa)									1.70

No se realizó medición alguna para el cálculo del módulo de elasticidad ni se mostraron gráficos para calcularlo experimentalmente.

4. 5. 5. 2020: Bazalar y Espinoza.

Las pilas que se ensayaron fueron tres y tenían las siguientes características como se presentan en la Tabla 4.11. Se presenta una pila no reforzada antes de ser ensayada en la Figura 4.11.

Tabla 4.11. Descripción de las pilas no reforzadas (Bazalar y Espinoza, 2020)

Tipo de ladrillo	Pandereta industrial acanalado
Dimensiones	Largo: 230 mm Alto: 500 mm (5 hiladas) Espesor: 125 mm
Dosificación del mortero	1:3 (cemento – arena)
Dosificación del tarrajeo	1:4 (cemento – arena) de aproximadamente 10 mm de tarrajeo
Espesor de juntas	12 mm



Figura 4.11. Ensayo de una pila de ladrillo pandereta industrial (Bazalar y Espinoza, 2020)

La pila PNRI-1-BE tuvo una falla explosiva por aplastamiento como se muestra en la Figura 4.12.



Figura 4.12. Falla de la pila PNRI-1-BE (Bazalar y Espinoza, 2020)

Asimismo, la pila PNRI-2-BE tuvo una falla frágil y esta se ubicó en las tres primeras hiladas del espécimen como se muestra en la Figura 4.13.



Figura 4.13. Falla de la pila PNRI-2-BE (Bazalar y Espinoza, 2020)

La pila PNRI-3-BE también tuvo una falla local en la primera hilada y fue frágil como se muestra en la Figura 4.14.



Figura 4.14. Falla de la pila PNRI-3-BE (Bazalar y Espinoza, 2020)

Se obtuvo que el valor de $f'm$ fue 1.80 MPa y los resultados se presentan en la Tabla

4.12.

Tabla 4.12. Resultados de los ensayos de compresión de pilas no reforzadas (Bazalar y Espinoza, 2020)

Espécimen	Largo (mm)	Alto, H (mm)	Espesor, t (mm)	Esbeltez, H/t	Carga máxima (kN)	Área (mm ²)	f_m (MPa)	Factor de corrección	f_m correg. (MPa)
PNRI-1-BE	230	540	138	3.913	58.41	31 740	1.84	0.990	1.82
PNRI-2-BE	230	545	136	4.007	60.88	31 280	1.95	1.000	1.95
PNRI-3-BE	230	546	134	4.075	66.50	30 820	2.16	1.000	2.16
f_m prom. (MPa)									1.98
σ (MPa)									0.17
$f'm$ (MPa)									1.80

Debido a que se instrumentaron las pilas con LVDT, se pudo calcular el módulo de elasticidad que resultó ser 2 871 MPa como se muestra en la Tabla 4.13.

Tabla 4.13. Cálculo del módulo de elasticidad de pilas no reforzadas (Modificado de Bazalar y Espinoza, 2020)

Espécimen	Distancia LVDT L_e (mm)	$\Delta P/\Delta D$ (kN/mm)	$\Delta P/\Delta D$ (kN/mm)	E_m (MPa)
PNRI-1-BE	401	364.18	103.77	2 952
PNRI-2-BE	400	333.36	182.27	3 297
PNRI-3-BE	400	181.31	182.55	2 364
E_m (MPa)				2 871
σ (MPa)				472

Se presenta la Figura 4.15 en la cual se relaciona la carga aplicada sobre cada pila versus el desplazamiento.

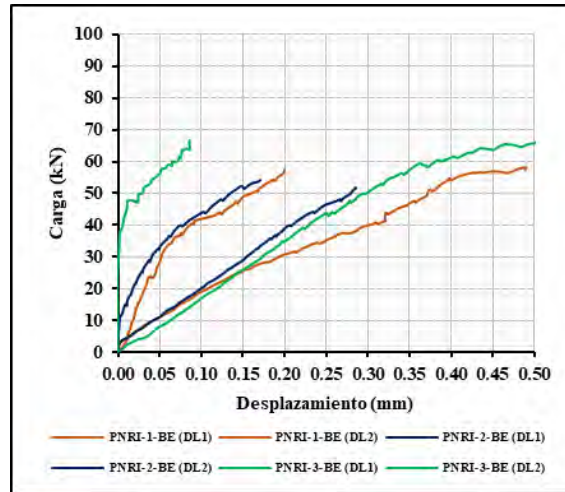


Figura 4.15. Gráfico Fuerza versus Desplazamiento de compresión de pilas no reforzadas (Bazalar y Espinoza, 2020)

Comentarios sobre las pilas no reforzadas

Se presenta la Tabla 4.14 como un resumen para las pilas no reforzadas.

Tabla 4.14. Resumen de pilas no reforzadas de ladrillo pandereta industrial

Año	Autor	Espesor de junta	Dosificación del mortero	Velocidad de ensayo	¿Se tarrajearon?	$f'm$ (MPa)	Em (MPa)
2007	Lazares y Salinas	No precisa.	No precisa.	No precisa.	No	2.20	No calculó.
2012	Araoz y Velezmoro	10 mm	1:4 (cemento – arena)	50 kN/min	No	2.30	2 525
2014	Zavala et al.	No precisa.	No precisa.	No precisa.	No precisa.	3.00	No calculó.
2016	Sáenz	No precisa.	1:4 (cemento – arena)	50 kN/min	No	1.30	2 487
2017a	CISMID	No precisa.	1:6 (cemento – arena)	No precisa.	No	1.70	No calculó.
2020	Bazalar y Espinoza	12 mm	1:3 (cemento – arena)	50 kN/min	Sí, 1:4 (cemento – arena) de 10 mm de espesor	1.80	2 871

Se puede mostrar la variabilidad de resistencia de pilas no reforzadas a través de una desviación estándar de 0.59 MPa (valores entre 1.30 MPa y 3.00 MPa) para ladrillo industrial. Según la NTE E.070 Albañilería (2006), el valor de $f'm$ para ladrillo King Kong industrial es de 6.40 MPa. Este valor es mucho mayor que el rango presentado para el ladrillo pandereta industrial. Asimismo, es pertinente mencionar que Cevallos y Diaz (2018) no realizaron ensayos de compresión de pilas no reforzadas.

Se correlacionaron los valores de $f'm$ y E_m (ambos en MPa) y se pudo obtener la correlación 4.1 con un valor de R^2 de 0.95, que es aceptable porque está cerca a uno el valor de R^2 .

$$E_m = 1\,400 f'm \quad 4.1$$

Se muestra la Tabla 4.15 con los valores estimados y corroborados para la estimación de E_m en función de $f'm$.

Tabla 4.15. Resumen de valores estimados empleando la correlación 4.1

Año	Autor	$f'm$ (MPa)	E_m (MPa)	E_m estimado 4.1 (MPa)	Ratio 4.1
2007	Lazares y Salinas	2.20	No calculó.	3 080	No se puede.
2012	Araoz y Velezmoro	2.30	2 525	3 220	1.28
2014	Zavala et al.	3.00	No calculó.	4 200	No se puede.
2016	Sáenz	1.30	2 487	1 820	0.73
2017a	CISMID	1.70	No calculó.	2 380	No se puede.
2020	Bazalar y Espinoza	1.80	2 871	2 520	0.88

4. 6. Pilas reforzadas

Se utilizó el siguiente código para enumerar los ensayos y se recalcularon todos los cálculos a manera de comparación. Por ejemplo, la pila PRI-1-M tiene el nombre de “Pila reforzada de ladrillo industrial – Número de pila – Mamani”. A continuación, se muestra el orden cronológico de los ensayos.

4. 6. 1. 2015: Mamani.

Las pilas que se ensayaron fueron tres y tenían las siguientes características como se presentan en la Tabla 4.16. En la Figura 4.16, se presenta un esquema de una pila reforzada de la investigación.

Tabla 4.16. Descripción de las pilas reforzadas (Mamani, 2015)

Tipo de ladrillo	Pandereta industrial rayado
Dimensiones	Ancho: 220 mm
	Alto: 620 mm (6 hiladas)
	Espesor: 160 mm
Dosificación del mortero de juntas	1:4 (cemento – arena)
Dosificación del mortero de tarrajeo	1:4 (cemento – arena)
Capping	De yeso – cemento
Espesor de juntas	15 mm
Malla electrosoldada (refuerzo)	Límite de fluencia: 490 MPa
	Resistencia a la rotura: 549 MPa
	Medida: 2 400 mm x 6 000 mm
	Cocada: 150 mm x 150 mm
	Diámetro: 6 mm
	Peso: 29 N/m ²

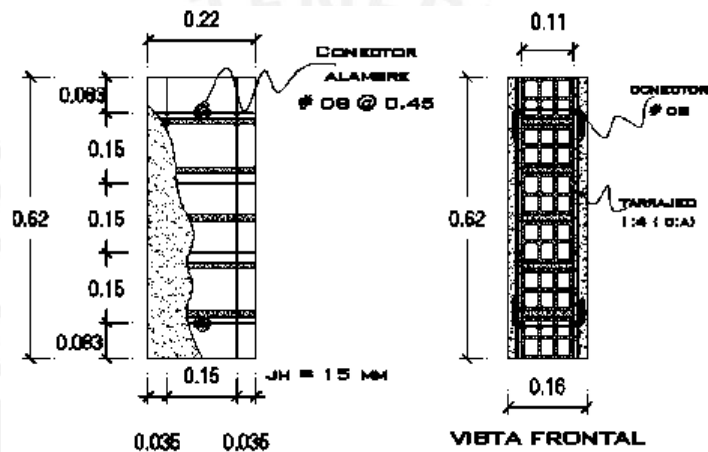


Figura 4.16. Esquema de una pila reforzada en metros (Mamani, 2015)

Los resultados obtenidos indicaron que $f'm_R$ fue 2.70 MPa. Se muestran en la Tabla 4.17 los cálculos y mediciones realizadas y, a su vez, en la Figura 4.17, se puede apreciar el ensayo de una pila reforzada.

Tabla 4.17. Resultados de los ensayos de compresión de pilas reforzadas (Mamani, 2015)

Espécimen	Largo (mm)	Alto H (mm)	Ancho t (mm)	Esbeltez H/t	Carga máxima (kN)	Área (mm ²)	$f m_R$ (MPa)	Factor de corrección	$f m_R$ correg. (MPa)
PRI-1-M	225	622	157	3.962	113.76	35 325	3.22	0.948	3.05
PRI-2-M	225	622	160	3.888	161.81	36 000	4.49	0.946	4.25
PRI-3-M	226	622	156	3.987	108.86	35 256	3.09	0.950	2.93
								$f m_R$ prom. (MPa)	3.41
								σ (MPa)	0.73
								$f'm_R$ (MPa)	2.70



Figura 4.17. Ensayo de una pila reforzada con malla electrosoldada (Mamani, 2015)

Para determinar el módulo de elasticidad de las pilas reforzadas, se dispuso la colocación de dos instrumentos de medición de deformaciones en los lados tarrajeados para las tres pilas ensayadas. Se presenta el gráfico obtenido en la Figura 4.18.

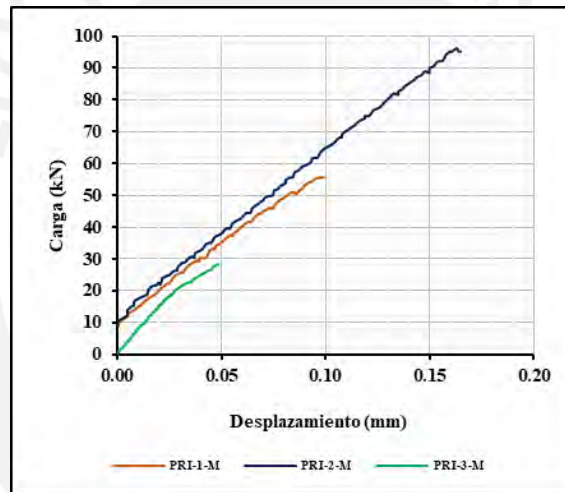


Figura 4.18. Gráfico Fuerza versus Desplazamiento de compresión de pilas reforzadas (Mamani, 2015)

Se pudo calcular el módulo de elasticidad de las pilas reforzadas que resultó ser 5 837 MPa como se señala en la Tabla 4.18.

Tabla 4.18. Cálculo del módulo de elasticidad de pilas reforzadas (Mamani, 2015)

Espécimen	Distancia LVDT L_e (mm)	$\Delta P / \Delta D$ (kN/mm)	$E m_R$ (MPa)
PRI-1-M	443	486.00	6 095
PRI-2-M	443	524.90	6 459
PRI-3-M	443	394.50	4 957
		$E m_R$ (MPa)	5 837
		σ (MPa)	784

La falla presentada en las pilas fue concentrada principalmente en la unidad y se produjeron grietas verticales, además, no se presentaron fallas explosivas en los especímenes como se aprecia en la Figura 4.19.



Figura 4.19. Fisura vertical de la pila PRI-2-M (Mamani, 2015)

4. 6. 2. 2020: Bazalar y Espinoza.

Las pilas que se ensayaron fueron tres y tenían las siguientes características según se presentan en la Tabla 4.19. En la Figura 4.20, se muestra un esquema de una pila a reforzar.

Tabla 4.19. Descripción de las pilas reforzadas (Bazalar y Espinoza, 2020)

Tipo de ladrillo	Pandereta industrial rayado
Dimensiones	Ancho: 230 mm
	Alto: 500 mm (5 hiladas)
	Espesor: 140 mm
Dosificación del mortero de juntas	1:3 (cemento – arena)
Dosificación del mortero de tarrajeo	1:4 (cemento – arena) de aproximadamente 10 mm de tarrajeo por cara
Capping	De yeso – cemento
Espesor de juntas	12 mm
Malla electrosoldada (refuerzo)	Límite de fluencia: 490 MPa
	Resistencia a la rotura: 549 MPa
	Medida: 2 400 mm x 6 000 mm
	Cocada: 150 mm x 150 mm
	Diámetro: 4.50 mm Peso: 195 N



Figura 4.20. Pila a reforzar (Bazalar y Espinoza, 2020)

A continuación, se muestran en la Tabla 4.20 los cálculos realizados para obtener el valor de $f'm_R$ de 1.70 MPa.

Tabla 4.20. Resultados de los ensayos de compresión de pilas reforzadas (Bazalar y Espinoza, 2020)

Espécimen	Largo (mm)	Alto H (mm)	Ancho t (mm)	Esbeltez H/t	Carga máxima (kN)	Área (mm ²)	$f m_R$ (MPa)	Factor de corrección	$f m_R$ correg. (MPa)
PRI-1-BE	230	539	142	3.80	57.70	32 660	1.77	0.980	1.73
PRI-2-BE	230	550	140	3.93	91.65	32 200	2.85	0.990	2.82
PRI-3-BE	230	544	139	3.91	68.60	31 970	2.15	0.990	2.12
$f m_R$ prom. (MPa)									2.22
σ (MPa)									0.55
$f'm_R$ (MPa)									1.70

Se calculó el módulo de elasticidad de las pilas reforzadas que resultó ser 2 834 MPa con lo que se muestra en la Figura 4.21. En la Tabla 4.21, se presentan los cálculos realizados para el cálculo del módulo de elasticidad.

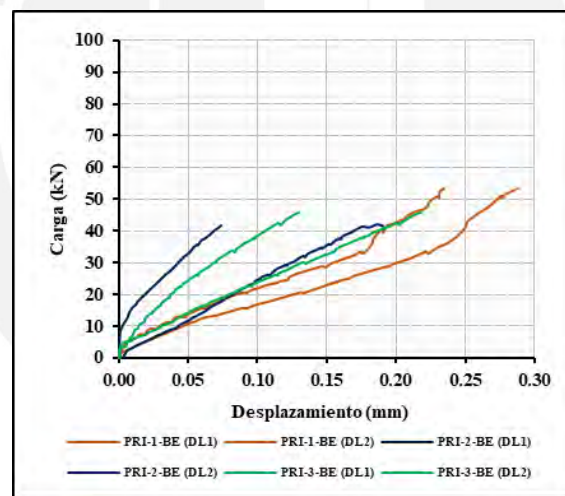


Figura 4.21. Pilas reforzadas con malla electrosoldada (Bazalar y Espinoza, 2020)

Tabla 4.21. Cálculo del módulo de elasticidad de pilas reforzadas (Modificado de Bazalar y Espinoza, 2020)

Espécimen	Distancia LVDT L_e (mm)	$\Delta P/\Delta D$ (kN/mm)	$\Delta P/\Delta D$ (kN/mm)	$E m_R$ (MPa)
PRI-1-BE	401	191.71	166.27	2 195
PRI-2-BE	400	406.66	230.73	3 959
PRI-3-BE	401	187.62	295.03	2 348
$E m_R$ (MPa)				2 834
σ (MPa)				977

La pila PRI-1-BE tuvo una falla dúctil y las dos primeras hiladas tuvieron grietas longitudinales como se muestra en la Figura 4.22.



Figura 4.22. Pila PRI-1-BE (Bazalar y Espinoza, 2020)

Asimismo, la pila PRI-2-BE tuvo una falla dúctil y se presentó fracturas longitudinales en la dirección de los huecos, lo que provocó la inestabilidad del espécimen como se muestra en la Figura 4.23.



Figura 4.23. Pila PRI-2-BE (Bazalar y Espinoza, 2020)

Por último, la pila PRI-3-BE tuvo una falla dúctil y presentó una grieta vertical a lo largo de la interfaz mortero, malla y unidad como se muestra en la Figura 4.24.



Figura 4.24. Pila PRI-3-BE (Bazalar y Espinoza, 2020)

Comentarios sobre las pilas reforzadas

Se muestra la Tabla 4.22 en la que se comparan los valores de pilas reforzadas.

Tabla 4.22. Resumen comparativo de pilas reforzadas

Año	Autor	Espesor de junta	Dosificación del mortero	Velocidad de ensayo	¿Se tarrajearon?	$f'm_R$ (MPa)	Em_R (MPa)
2015	Mamani	15 mm	1:4 (cemento – arena)	50kN/min	Sí, 25 mm de espesor ambas caras de relación 1:4 (cemento – arena)	2.70	5 837
2020	Bazalar y Espinoza	12 mm	1:3 (cemento – arena)	50kN/min	Sí, 10 mm de espesor ambas caras de relación 1:4 (cemento – arena)	1.70	2 834

Aunque es necesario tener más ensayos, se propone la correlación 4.2 entre Em_R y $f'm_R$ según lo obtenido por Mamani (2015) y Bazalar y Espinoza (2020) con un valor de R^2 de 0.99.

$$Em_R = 2\,000 f'm_R \quad 4.2$$

Finalmente, se muestra la Tabla 4.23 con las estimaciones de cada investigación.

Tabla 4.23. Resumen de valores estimados empleando la correlación 4.2

Año	Autor	$f'm_R$ (MPa)	Em_R (MPa)	Em_R estimado 4.2 (MPa)	Ratio 4.2
2015	Mamani	2.70	5 837	5 400	0.93
2020	Bazalar y Espinoza	1.70	2 834	3 400	1.20

Capítulo 5. Ensayos de compresión diagonal de muretes

Se muestran los ensayos de muretes reforzados y no reforzados exteriormente con malla electrosoldada en este capítulo. Además, se realiza una comparación de resistencias características a corte puro.

5. 1. Definición

El ensayo de compresión diagonal de muretes de albañilería sirve para determinar la resistencia característica a corte puro y, si es que se instrumenta y registra las deformaciones diagonales, se puede determinar el módulo de corte de la albañilería (San Bartolomé et al., 2018).

5. 2. Técnica de ensayo

El ensayo de compresión diagonal se realiza según el procedimiento de la norma técnica peruana NTP 399.621, que es similar a la ASTM E 519-00. Asimismo, la carga es aplicada monotónicamente creciente a una velocidad de 10 kN/min, hasta alcanzar la rotura del espécimen (San Bartolomé et al., 2018).

5. 3. Formas de falla

La resistencia a corte puro y la forma de falla del murete dependen del grado de adherencia entre unidades y el mortero. Además, en base a los resultados de estos ensayos, se puede predecir la resistencia a fuerza cortante y la forma de falla que tendrían los muros a escala natural. Se pueden presentar los siguientes tipos de falla (San Bartolomé et al., 2018):

- Falla que atraviesa tanto a las unidades como al mortero: adherencia óptima
- Falla escalonada a través de las juntas o mixta entre escalonada y cortando unidades
- Por deslizamiento: débil adherencia unidad – mortero de la junta horizontal
- Por trituración de la unidad, ubicado en la zona de aplicación de carga

5. 4. Módulo de corte

Para el cálculo del módulo de corte, es necesario instrumentar los muretes con 2 LVDT que midan la deformación en ambas diagonales. Las bases de estos instrumentos deben

colocarse en la parte intermedia de las unidades, separados por los menos por dos juntas horizontales de mortero. Además, para el cálculo del módulo de corte, se trabaja con la parte más lineal del gráfico Fuerza versus Desplazamiento y se elimina la porción inicial producto del reacomodo de los elementos. Los LVDT son retirados cuando se llega al 60% de la carga última y, usualmente, la porción del gráfico a analizar está comprendida entre el 10% y el 50% de la carga de rotura o última (San Bartolomé et al., 2018).

5. 5. Muretes no reforzados

Se utilizó el siguiente código para enumerar los ensayos y se recalcularon todos los cálculos a manera de comparación. Por ejemplo, el murete MUNRI-1-AV tiene el nombre de “Murete no reforzado de ladrillo industrial – Número de murete – Araoz y Velezmoro”. A continuación, se muestra el orden cronológico de los ensayos.

5. 5. 1. 2007: Lazares y Salinas.

Esta investigación no presentó las características de los especímenes ensayados. A su vez, se obtuvo que el ladrillo industrial tuvo un valor de $v'm$ de 0.70 MPa a diferencia del ladrillo artesanal que tuvo un valor de $v'm$ de 0.90 MPa como se muestra en la Tabla 5.1.

Tabla 5.1. Resultados obtenidos de los muretes no reforzados (Lazares y Salinas, 2007)

Especímen	$v'm$ (MPa)
MUNRI-LS	0.70
MUNRA-LS	0.90

Los valores obtenidos de resistencia al corte puro en ambos tipos de ladrillos fueron relativamente altos en comparación con lo que usualmente se especifica para ladrillos de muros portantes. Esto pudo asociarse a la unión que se produjo entre el mortero y las caras laterales de las unidades.

En la Figura 5.1, se presenta la forma de falla general en el ensayo y, en la Figura 5.2, un detalle de la superficie del plano de falla, donde se observa la formación de pequeños bloques de mortero que actuaron como llaves (conexiones entre caras laterales) incrementando la resistencia al corte en el plano de falla.



Figura 5.1. Ensayo de tracción diagonal de muretes (Lazares y Salinas, 2007)



Figura 5.2. Llaves de mortero en los huecos de los bordes de la unidad (Lazares y Salinas, 2007)

5. 5. 2. 2012: Araoz y Velezmoreo.

Los muretes que se ensayaron fueron cuatro y tenían las siguientes características como se muestran en la Tabla 5.2. En la Figura 5.3, se muestra un murete típico no reforzado.

Tabla 5.2. Descripción de los muretes no reforzados (Araoz y Velezmoreo, 2012)

Tipo de ladrillo	Pandereta industrial acanalado
Dimensiones	Ancho: 600 mm
	Alto: 600 mm (6 hiladas)
	Espesor: 110 mm
Dosificación del mortero	1:4 (cemento – arena)
Espesor de juntas	10 mm
Relleno con Mortero	Para evitar la falla local por aplastamiento del ladrillo
Capping	Yeso – cemento en las esquinas opuestas

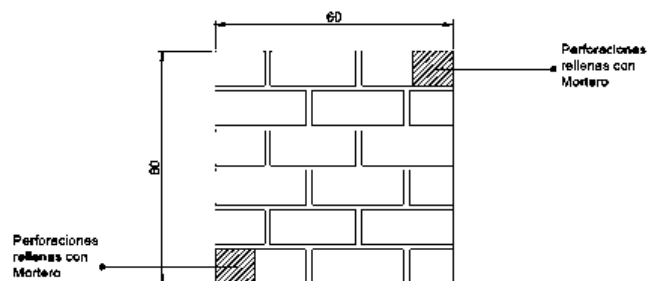


Figura 5.3. Murete típico con medidas en centímetros (Araoz y Velezmoreo, 2012)

Se calculó que el valor de $v'm$ fue 0.90 MPa y los resultados se presentan en la Tabla

5.3.

Tabla 5.3. Resultados de los ensayos de compresión diagonal de muretes no reforzados (Araoz y Velezmoro, 2012)

Espécimen	Largo (mm)	Alto (mm)	Ancho t (mm)	Diagonal D (mm)	Carga máxima (kN)	Área $A = Dt$ (mm ²)	vm (MPa)
MUNRI-1-AV	600	600	109	875	93.66	95 375	0.98
MUNRI-2-AV	598	601	110	869	87.68	95 590	0.92
MUNRI-3-AV	597	602	110	869	87.45	95 590	0.91
MUNRI-4-AV	600	599	109	864	90.12	94 176	0.96
vm prom. (MPa)							0.94
σ (MPa)							0.03
$v'm$ (MPa)							0.90

Cabe resaltar que no se reportaron resultados de cálculo del módulo de corte de la albañilería tubular no reforzada. En todos los casos de esta investigación, la falla fue por tracción diagonal en forma frágil y explosiva.



Figura 5.4. Forma de falla de los muretes MUNRI-3-AV y MUNRI-4-AV (Araoz y Velezmoro, 2012)

El valor de $v'm$ de 0.90 MPa resultó ser elevado y parecido al ladrillo rejilla industrial según la NTE E.070 Albañilería (2006). Esto se debió a que, probablemente, se formaron llaves en las juntas verticales, generadas por la penetración del mortero en los huecos tubulares del ladrillo pandereta, similar a lo que se apreció en Lazares y Salinas (2007).

5. 5. 3. 2016: Sáenz.

Los muretes que se ensayaron fueron tres y tenían las siguientes características como se indican en la Tabla 5.4.

Tabla 5.4. Descripción de los muretes no reforzados (Sáenz, 2016)

Tipo de ladrillo	Pandereta industrial acanalado
Dimensiones	Ancho: 600 mm
	Alto: 600 mm
	Espesor: 110 mm
Dosificación del mortero	1:4 (cemento – arena)
Espesor de juntas	No precisa.
Capping	De 10 mm en las esquinas opuestas

Se obtuvo una resistencia característica a corte puro de 0.90 MPa. A continuación, se muestra en la Tabla 5.5 todos los valores calculados.

Tabla 5.5. Resultados de los ensayos de compresión diagonal de muretes no reforzados (Sáenz, 2016)

Espécimen	Largo (mm)	Alto (mm)	Ancho t (mm)	Diagonal D (mm)	Carga máxima (kN)	Área $A = Dt$ (mm ²)	vm (MPa)
MUNRI-1-S	590	588	105	833	81.60	87 462	0.93
MUNRI-2-S	585	585	105	827	89.90	86 868	1.03
vm prom. (MPa)							0.98
σ (MPa)							0.07
$v'm$ (MPa)							0.90

El murete MUNRI-1-S presentó una falla por tracción diagonal en las tres hiladas superiores y una falla escalonada en dos hiladas inferiores (la cuarta y la sexta, contando desde la parte superior) por baja adherencia en las juntas.



Figura 5.5. Falla del murete MUNRI-1-S (Sáenz, 2016)

El murete MUNRI-2-S tuvo una falla mixta también. Presentó una falla por tracción diagonal en todas las hiladas y pequeñas fallas escalonadas en dos hiladas (la primera y la tercera, contando desde la parte superior), por baja adherencia en las juntas como se muestra en la Figura 5.6.



Figura 5.6. Falla del murete MUNRI-2-S (Sáenz, 2016)

El murete MUNRI-3-S tuvo una falla escalonada en la zona inferior como se muestra en la Figura 5.7, por falta de adherencia en las juntas horizontales y verticales. Se detuvo el ensayo cuando se detectó este tipo de falla ya que los resultados no correspondían a lo esperado en esta investigación. Por esta razón, este murete no fue parte de la Tabla 5.5.



Figura 5.7. Falla del murete MUNRI-3-S (Sáenz, 2016)

5. 5. 4. 2017a: CISMID.

El ensayo de compresión diagonal se realizó siguiendo las indicaciones de la norma peruana NTP 399.621 – 2004 (revisada 2015) Unidades de Albañilería. Método de ensayo de compresión diagonal en muretes de albañilería y la norma ASTM E 519 2000 Standard Test Method for Diagonal Tension (Shear) in Masonry Assemblages.

Se presenta la Tabla 5.6 con la descripción de los muretes no reforzados que se ensayaron y, en la Figura 5.8, se muestra una fotografía del ensayo. Se puede apreciar que los muretes no tuvieron tarrajeo.

Tabla 5.6. Descripción de los muretes no reforzados (CISMID, 2017a)

Tipo de ladrillo	Pandereta industrial acanalado
Dimensiones	Ancho: 600 mm
	Alto: 600 mm
	Espesor: 110 mm
Dosificación del mortero	1:6 (cemento – arena)
Espesor de juntas	No precisa.

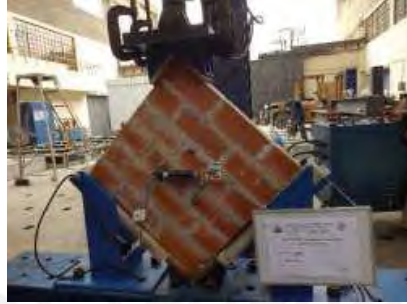


Figura 5.8. Ensayo de un murete de ladrillo industrial pandereta (CISMID, 2017a)

En esta investigación, se obtuvo una resistencia característica a corte puro de 0.40 MPa y los cálculos y mediciones realizados se encuentran en la Tabla 5.7.

Tabla 5.7. Resultados de los ensayos de compresión diagonal de muretes no reforzados (CISMID, 2017a)

Espécimen	Largo (mm)	Alto (mm)	Ancho t (mm)	Diagonal D (mm)	Carga máxima (kN)	Área $A = Dt$ (mm²)	vm (MPa)
MUNRI-1-C	617	620	110	875	31.28	95 779	0.33
MUNRI-2-C	616	623	110	876	45.60	96 334	0.47
MUNRI-3-C	620	620	111	877	43.74	96 888	0.45
MUNRI-4-C	618	618	109	874	48.64	95 264	0.51
MUNRI-5-C	618	615	110	872	46.88	95 905	0.49
vm prom. (MPa)							0.45
σ (MPa)							0.07
$v'm$ (MPa)							0.40

A su vez, no se instrumentaron los muretes para calcular el módulo de corte. Cabe mencionar que el valor de $v'm$ de 0.40 MPa fue muy bajo en comparación a lo obtenido en los demás ensayos de esta sección.

5. 5. 5. 2018: Cevallos y Diaz.

Los muretes que se ensayaron fueron tres y tenían las siguientes características como se muestran en la Tabla 5.8.

Tabla 5.8. Descripción de los muretes no reforzados (Cevallos y Diaz, 2018)

Tipo de ladrillo	Pandereta industrial
Dimensiones	Ancho: 600 mm
	Alto: 600 mm
	Espesor: 110 mm
Dosificación del mortero	1:5 (cemento – arena)
Dosificación del tarrajeo	1:6 (cemento – arena)
Espesor de juntas	15 mm

Se obtuvo que la resistencia característica a corte puro fue 0.90 MPa como se muestra en la Tabla 5.9 y no se instrumentaron los muretes para el cálculo del módulo de corte.

Tabla 5.9. Resultados de los ensayos de compresión diagonal de muretes no reforzados (Cevallos y Diaz, 2018)

Espécimen	Largo (mm)	Alto (mm)	Ancho t (mm)	Diagonal D (mm)	Carga máxima (kN)	Área $A = Dt$ (mm ²)	vm (MPa)
MUNRI-1-CD	630	640	132	898	111.85	118 543	0.94
MUNRI-2-CD	625	640	130	895	111.12	116 292	0.96
MUNRI-3-CD	630	640	130	898	119.77	116 747	1.03
vm prom. (MPa)							0.97
σ (MPa)							0.04
$v'm$ (MPa)							0.90

El murete MUNRI-1-CD presentó una falla por tracción diagonal, en forma frágil y explosiva. La falla atravesó los ladrillos y las juntas, asimismo, produjo el desprendimiento de una junta horizontal como se muestra en la Figura 5.9.



Figura 5.9. Falla mixta del murete MUNRI-1-CD (Cevallos y Diaz, 2018)

El murete MUNRI-2-CD presentó una falla por tracción diagonal, en forma frágil y explosiva también. Se apreció que la falla atravesó tanto los ladrillos como las juntas.



Figura 5.10. Falla por tracción diagonal del murete MUNRI-2-CD (Cevallos y Diaz, 2018)

El murete MUNRI-3-CD presentó una falla de tracción diagonal y la grieta atravesó las juntas y los ladrillos.



Figura 5.11. Falla por tracción diagonal del murete MUNRI-3-CD (Cevallos y Diaz, 2018)

5. 5. 6. 2020: Bazalar y Espinoza.

Se construyeron tres muretes tarrajeados, los cuales fueron ensayados a compresión diagonal y su descripción se encuentra en la Tabla 5.10. En la Figura 5.12, se muestra un esquema típico del murete no reforzado.

Tabla 5.10. Descripción de los muretes no reforzados (Bazalar y Espinoza, 2020).

Tipo de ladrillo	Pandereta industrial rayado
Dimensiones	Largo: 600 mm
	Alto: 615 mm (6 hiladas)
	Espesor: 130 mm
Dosificación del mortero de juntas	1:3 (cemento – arena)
Dosificación del mortero de tarrajeo	1:4 (cemento – arena)
Capping	De yeso – cemento
Espesor de juntas	12 mm (verticales y horizontales)

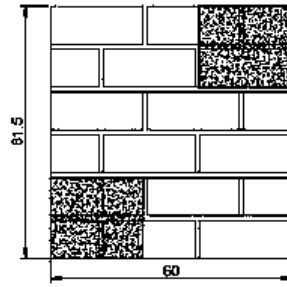


Figura 5.12. Detalle típico de muretes (Bazalar y Espinoza, 2020)

Se obtuvo que la resistencia característica a corte puro fue 0.90 MPa como se muestra en la Tabla 5.11.

Tabla 5.11. Resultados de los ensayos de compresión diagonal de muretes no reforzados (Modificado de Bazalar y Espinoza, 2020)

Espécimen	Largo (mm)	Alto (mm)	Ancho t (mm)	Diagonal D (mm)	Carga máxima (kN)	Área $A = Dt$ (mm ²)	vm (MPa)
MURI-1-BE	605	620	132	866	148.39	114 348	1.30
MURI-2-BE	605	615	135	863	136.39	116 464	1.17
MURI-3-BE	608	622	136	870	100.89	118 292	0.85
vm prom. (MPa)							1.11
σ (MPa)							0.23
$v'm$ (MPa)							0.90

Para determinar el módulo de corte de los muretes de ladrillo pandereta, se colocaron LVDT para medir las deformaciones en las diagonales. A continuación, se muestra el gráfico de los muretes reforzados en la Figura 5.13.

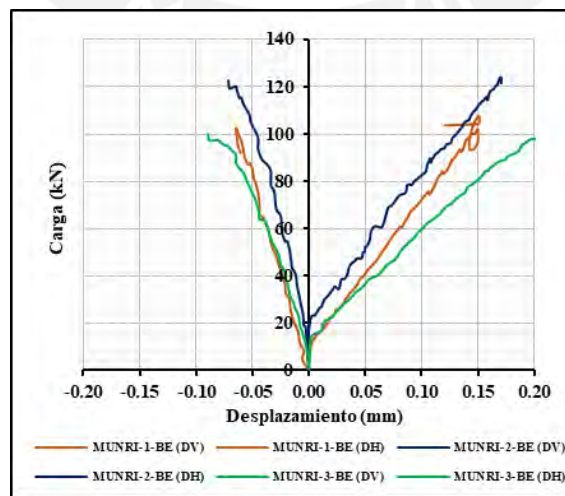


Figura 5.13. Gráfico Fuerza versus Desplazamiento Horizontal – Vertical (Bazalar y Espinoza, 2020)

Se muestra en la Tabla 5.12 que el módulo de corte resultó ser 1 456 MPa.

Tabla 5.12. Cálculo del módulo de corte de muretes no reforzados (Modificado de Bazalar y Espinoza, 2020)

Espécimen	Distancia horizontal LVDT (mm)	Distancia vertical LVDT (mm)	Área (mm ²)	ΔP (kN)	ΔD_{ver} (mm)	ΔD_{hor} (kN/mm)	$G_m = \Delta\tau/\Delta\gamma$ (MPa)
MUNRI-1-BE	400	402	114 347	59.89	0.0971	0.0345	1 594
MUNRI-2-BE	401	400	116 464	60.03	0.0953	0.0290	1 661
MUNRI-3-BE	400	400	118 292	59.98	0.1355	0.0469	1 112
						G_m (MPa)	1 456
						σ (MPa)	300

La falla del murete MUNRI-1-BE fue por tracción diagonal de forma escalonada, frágil y explosiva como se muestra en la Figura 5.14.

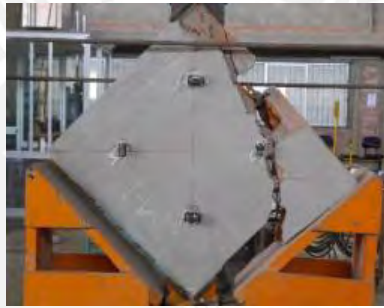


Figura 5.14. Falla del murete MUNRI-1-BE (Bazalar y Espinoza, 2020)

Asimismo, la falla del murete MUNRI-2-BE fue frágil, de tracción diagonal y explosiva como se muestra en la Figura 5.15.



Figura 5.15. Falla del murete MUNRI-2-BE (Bazalar y Espinoza, 2020)

El murete MUNRI-3-BE tuvo una falla por tracción diagonal, escalonada de extremo a extremo y frágil.



Figura 5.16. Falla del murete MUNRI-3-BE (Bazalar y Espinoza, 2020)

Comentarios sobre muretes no reforzados

Se presenta la Tabla 5.13 en la cual se resumen los valores obtenidos.

Tabla 5.13. Resumen de muretes no reforzados de ladrillo pandereta industrial

Año	Autor	Espesor de junta	Dosificación del mortero	Velocidad de ensayo	¿Se tarrajearon?	$v'm$ (MPa)
2007	Lazares y Salinas	No precisa.	No precisa.	No precisa.	No	0.70
2012	Araoz y Velezmore	10 mm	1:4 (cemento – arena)	10 kN/min	No	0.90
2016	Sáenz	No precisa.	1:4 (cemento – arena)	10 kN/min	No	0.90
2017a	CISMID	No precisa.	1:6 (cemento – arena)	No precisa.	No Sí.	0.40
2018	Cevallos y Diaz	15 mm	1:5 (cemento – arena)	10 kN/min	El tarrajeo fue de relación 1:6 (cemento – arena) y espesor de 10 mm. Sí.	0.90
2020	Bazalar y Espinoza	12 mm	1:3 (cemento – arena)	10 kN/min	El tarrajeo fue de relación 1:4 (cemento – arena) y espesor de 10 mm.	0.90

Se puede concluir que la resistencia característica a corte puro de muretes no reforzados de ladrillo industrial pandereta tiene una variación de 0.20 MPa (rango de valores enter 0.40 MPa a 0.90 MPa), debido a las llaves en las juntas de los muretes. Según lo mostrado por Lazares y Salinas (2007) y Araoz y Velezmore (2012), el mortero entra en los huecos de las unidades e incrementa su resistencia. Asimismo, se determinó la correlación preliminar 5.1 entre E_m y G_m según la investigación de Bazalar y Espinoza (2020).

$$G_m = 0.50E_m$$

5.1

5. 6. Muretes reforzados

Se utilizó el siguiente código para enumerar los ensayos y se recalcularon todos los cálculos a manera de comparación. Por ejemplo, el murete MURI-1-M tiene el nombre de “Murete reforzado de ladrillo industrial – Número de murete – Mamani”. A continuación, se muestra el orden cronológico de los ensayos.

5. 6. 1. 2015: Mamani.

Se construyeron tres muretes reforzados con malla de acero electrosoldada, los cuales fueron ensayados a compresión diagonal y su descripción se encuentra en la Tabla 5.14.

Tabla 5.14. Descripción de los muretes reforzados con malla electrosoldada (Mamani, 2015)

Tipo de ladrillo	Pandereta industrial rayado
Dimensiones	Largo: 620 mm Alto: 620 mm (6 hiladas) Espesor: 160 mm
Dosificación del mortero de juntas	1:4 (cemento – arena)
Dosificación del mortero de tarrajeo	1:4 (cemento – arena)
Capping	De yeso – cemento
Espesor de juntas	15 mm (verticales y horizontales)
Malla electrosoldada (refuerzo)	Límite de fluencia: 490 MPa Resistencia a la rotura: 549 MPa Medida: 2 400 mm x 6 000 mm Diámetro: 6 mm Peso: 29 N/m ²

Primero, se construyeron las hiladas y se emplearon ladrillos guía y cordel. Segundo, se rellenaron los huecos de las esquinas opuestas con mortero para evitar la falla local en el ensayo. Tercero, se colocó la malla electrosoldada mediante un conector de alambre #8 en cuatro puntos a 0.45 m. Cuarto, se tarrajearon los muretes y, un día antes del ensayo, se colocó el capping de yeso – cemento en los extremos opuestos donde se rellenaron los huecos con mortero, para que se garantice la transmisión de esfuerzos de una manera uniforme hacia el prisma. En la Figura 5.17, se muestra el detalle típico del murete reforzado.

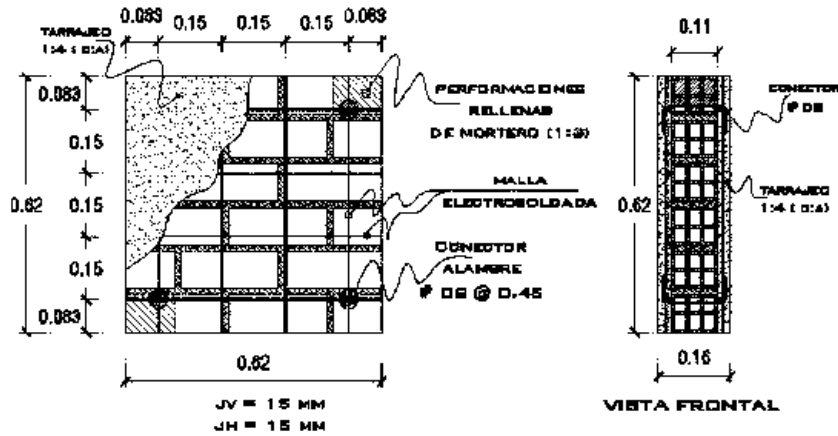


Figura 5.17. Detalle típico de muretes reforzados (Mamani, 2015)

Se colocaron dos LVDT ortogonales para la medición de desplazamientos como se muestra en la Figura 5.18.



Figura 5.18. Murete reforzado instrumentado (Mamani, 2015)

Se obtuvo un valor de $v'm_R$ de 0.90 MPa como se muestra en la Tabla 5.15.

Tabla 5.15. Resultados de los ensayos de compresión diagonal de muretes reforzados con malla electrosoldada (Mamani, 2015)

Espécimen	Largo (mm)	Alto (mm)	Ancho t (mm)	Diagonal D (mm)	Carga máxima (kN)	Área $A = Dt$ (mm ²)	vm_R (MPa)
MURI-1-M	619	618	156	875	118.66	136 452	0.87
MURI-2-M	619	619	158	875	154.95	138 313	1.12
MURI-3-M	620	620	160	877	175.54	140 290	1.25
vm_R prom. (MPa)							1.08
σ (MPa)							0.19
$v'm_R$ (MPa)							0.90

A continuación, se muestra el gráfico obtenido de los ensayos de muretes reforzados en la Figura 5.19.

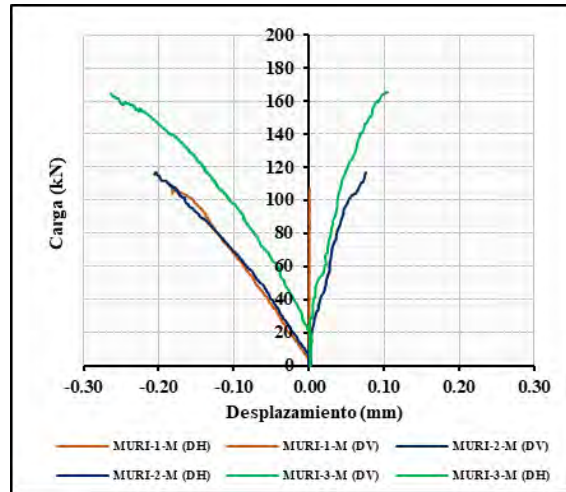


Figura 5.19. Gráfico Fuerza versus Desplazamiento Horizontal – Vertical (Mamani, 2015)

Se muestra en la Tabla 5.16 el cálculo de módulo de corte que resultó ser 1 275 MPa.

Tabla 5.16. Cálculo del módulo de corte de muretes reforzados con malla electrosoldada (Modificado de Mamani, 2015)

Espécimen	Distancia horizontal LVDT (mm)	Distancia vertical LVDT (mm)	Área (mm ²)	$\Delta P / \Delta D_{ver}$ (kN/mm)	$\Delta P / \Delta D_{hor}$ (kN/mm)	$G_m = \Delta \tau / \Delta \gamma$ (MPa)
MURI-1-M	502	502	136 450	609.60	744.50	1 233
MURI-2-M	505	504	138 310	475.10	1 551.90	1 326
MURI-3-M	499	507	140 290	521.10	1 085.50	1 266
					G_m (MPa)	1 275
					σ (MPa)	47

La forma de falla de los muretes no fue explosiva, tampoco se presentó una forma de falla frágil como se aprecia en la Figura 5.20. Además, las fallas se concentraron en los apoyos de aplicación de la carga (falla local) y se presentaron fisuras de tracción diagonal de hasta 0.80 mm (Mamani, 2015).



Figura 5.20. Forma de falla de los muretes MURI-2-M y MURI-3-M (Mamani, 2015)

5. 6. 2. 2018: Cevallos y Diaz.

Aparte de construir muretes reforzados con malla para tarrajeo y sin refuerzo, se construyeron tres muretes reforzados en ambos lados con malla electrosoldada. La descripción de los muretes reforzados se encuentra en la Tabla 5.17 y el esquema de los muretes reforzados se muestra en la Figura 5.21.

Tabla 5.17. Descripción de los muretes reforzados con malla electrosoldada (Cevallos y Diaz, 2018)

Tipo de ladrillo	Pandereta industrial rayado
Dimensiones	Ancho: 600 mm Alto: 600 mm (6 hiladas) Espesor: 140 mm
Dosificación del mortero de juntas	1:5 (cemento – arena)
Dosificación del mortero de tarrajeo	1:6 (cemento – arena)
Capping	De yeso – cemento
Espesor de juntas	15 mm
Malla electrosoldada	Malla electrosoldada Q-139 cocada de 100 mm x 100 mm: 0.36 m ² en ambos lados Se usó alambre No. 16 para amarrar la malla electrosoldada.

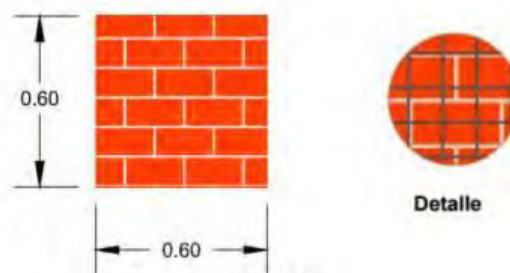


Figura 5.21. Muretes reforzados con malla electrosoldada (Cevallos y Diaz, 2018)

El proceso de construcción se realizó colocando cordeles y ladrillos guía. El refuerzo de los muretes con malla electrosoldada comenzó con la previa introducción de alambres de acuerdo al avance de colocación de las hiladas. Luego, los alambres se colocaron con cierta separación tal que permitieran sujetar la malla electrosoldada. Después, se colocó la malla sobre el murete y se amarró a este empleando alambres para que quede sujeta firmemente y, finalmente, se procedió con el tarrajeo. Se tuvo que la resistencia característica a corte puro de muretes reforzados fue 0.90 MPa. En la Tabla 5.18, se muestran los cálculos respectivos.

Tabla 5.18. Resultados de los ensayos de compresión diagonal de muretes reforzados con malla electrosoldada (Cevallos y Diaz, 2018)

Espécimen	Largo (mm)	Alto (mm)	Ancho t (mm)	Diagonal D (mm)	Carga máxima (kN)	Área $A = Dt$ (mm ²)	vm_R (MPa)
MURI-1-CD	630	630	145	891	108.55	129 188	0.84
MURI-2-CD	620	640	145	891	132.18	129 205	1.02
MURI-3-CD	621	650	144	899	125.90	129 451	0.97
vm_R prom. (MPa)							0.95
σ (MPa)							0.09
$v'm_R$ (MPa)							0.90

Cabe mencionar que no se instrumentaron los muretes. Asimismo, los muretes reforzados exteriormente con malla electrosoldada no presentaron falla explosiva ni tampoco fallaron de forma frágil. Esto significa que el comportamiento fue el esperado. Los muretes MURI-1-CD y MURI-3-CD no alcanzaron su máxima resistencia al corte y el murete MURI-2-CD presentó una fisura de tracción diagonal. Esto se presenta en la Figura 5.22, la Figura 5.23 y la Figura 5.24.



Figura 5.22. Falla local en la parte inferior del murete MURI-1-CD (Cevallos y Diaz, 2018)



Figura 5.23. Falla de tracción diagonal del murete MURI-2-CD (Cevallos y Diaz, 2018)



Figura 5.24. Falla local del murete MURI-3-CD (Cevallos y Diaz, 2018)

De los muretes reforzados de las investigaciones de Mamani (2015) y Cevallos y Diaz (2018), se pudo concluir que el comportamiento fue aceptable, pero debido a concentración de cargas no se pudo conocer el $v'm_R$ real (Mamani, 2015) y, también, no se pudo encontrar la resistencia característica a corte puro real en Cevallos y Diaz (2018) por la misma razón. Por lo tanto, se recomienda tener cuidado y evitar las fallas locales en futuros ensayos.

5. 6. 3. 2020: Bazalar y Espinoza.

Se construyeron tres muretes reforzados con malla electrosoldada, los cuales fueron ensayados a compresión diagonal y la descripción se encuentra en la Tabla 5.19.

Tabla 5.19. Descripción de los muretes reforzados con malla electrosoldada (Bazalar y Espinoza, 2020)

Tipo de ladrillo	Pandereta industrial rayado
Dimensiones	Largo: 600 mm
	Alto: 620 mm (6 hiladas)
	Espesor: 140 mm
Dosificación del mortero de juntas	1:3 (cemento – arena)
Dosificación del mortero de tarrajeo	1:4 (cemento – arena)
Capping	De yeso – cemento
Espesor de juntas	12 mm (verticales y horizontales)
Malla electrosoldada (refuerzo)	Límite de fluencia: 490 MPa
	Resistencia a la rotura: 549 MPa
	Medida: 2 400 mm x 6 000 mm
	Diámetro: 4.50 mm
	Peso: 195 N

Luego de 28 días de haber construido los muretes, se delimitaron los puntos sobre los cuales se iba a perforar el mortero para amarrar la malla. Se usó un taladro para que se perforara en las zonas del mortero con la finalidad de conservar la integridad del ladrillo. Después, se colocó un alambre N°16 que sobresalga de ambas partes del murete para amarrar la malla

electrosoldada y sujetarla al murete. Finalmente, se tarrajearon los muretes y se muestra un detalle típico de estos en la Figura 5.25.



Figura 5.25. Detalle típico de muretes reforzados (Bazalar y Espinoza, 2020)

Se obtuvo un valor de $v'm_R$ de 0.80 MPa como se muestra en la Tabla 5.20.

Tabla 5.20. Resultados de los ensayos de compresión diagonal de muretes reforzados (Bazalar y Espinoza, 2020)

Espécimen	Largo (mm)	Alto (mm)	Ancho t (mm)	Diagonal D (mm)	Carga máxima (kN)	Área $A = Dt$ (mm ²)	vm_R (MPa)
MURI-1-BE	603	620	138	865	96.83	119 353	0.81
MURI-2-BE	605	623	143	868	137.47	124 184	1.11
MURI-3-BE	597	615	140	857	137.40	119 995	1.15
vm_R prom. (MPa)							1.02
σ (MPa)							0.18
$v'm_R$ (MPa)							0.80

Para determinar el módulo de corte de los muretes de ladrillo pandereta, se colocaron LVDT para medir las deformaciones en las diagonales. A continuación, se muestra el gráfico obtenido de los ensayos de los muretes reforzados en la Figura 5.26.

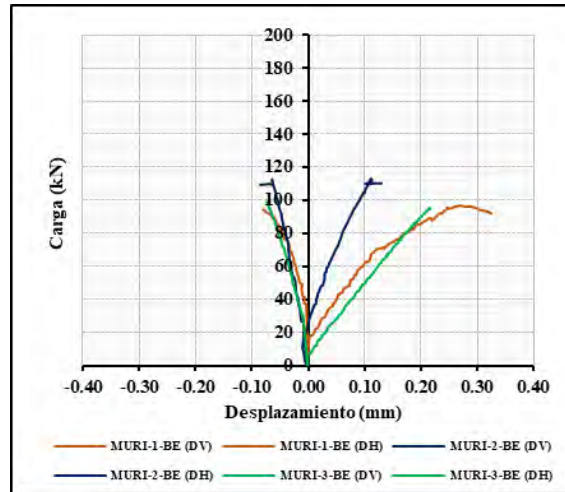


Figura 5.26. Gráfico Fuerza versus Desplazamiento Horizontal – Vertical (Bazalar y Espinoza, 2020)

Se muestra en la Tabla 5.21 el cálculo de módulo de corte que resultó ser 1 286 MPa.

Tabla 5.21. Cálculo del módulo de corte de muretes reforzados (Modificado de Bazalar y Espinoza, 2020)

Espécimen	Distancia horizontal LVDT (mm)	Distancia vertical LVDT (mm)	Área (mm ²)	ΔP (kN)	ΔD_{ver} (mm)	ΔD_{hor} (kN/mm)	$Gm_R = \Delta\tau/\Delta\gamma$ (MPa)
MURI-1-BE	401	400	119 353	50.01	0.1394	0.0438	917
MURI-2-BE	400	402	124 184	49.97	0.0575	0.0271	1 907
MURI-3-BE	400	400	119 995	49.95	0.1187	0.0422	1 035
						Gm_R (MPa)	1 286
						σ (MPa)	541

La falla del murete MURI-1-BE fue lenta y progresiva. La grieta no pasó por todos los ladrillos, pero sí por el tarrajeo como se presenta en la Figura 5.27.



Figura 5.27. Falla del murete MURI-1-BE (Bazalar y Espinoza, 2020)

Asimismo, la falla del murete MURI-2-BE fue lenta, progresiva y atravesó toda la diagonal del murete como se aprecia en la Figura 5.28.



Figura 5.28. Falla del murete MURI-2-BE (Bazalar y Espinoza, 2020)

El murete MURI-3-BE tuvo una falla lenta, progresiva y atravesó toda la diagonal del murete como se ve en la Figura 5.29.



Figura 5.29. Falla del murete MURI-3-BE (Bazalar y Espinoza, 2020)

Comentarios sobre muretes reforzados

Se presenta la Tabla 5.22 como resumen de los datos correspondientes a los muretes reforzados.

Tabla 5.22. Resumen de muretes reforzados de ladrillo industrial

Año	Autor	Espesor de junta	Dosificación del mortero	Velocidad de ensayo	¿Se tarrajearon?	$v'm_R$ (MPa)
2015	Mamani	15 mm	1:4 (cemento – arena)	10 kN/min	Sí. El tarrajeo fue de relación 1:4 (cemento – arena) y espesor de 25mm.	0.90
2018	Cevallos y Diaz	15 mm	1:5 (cemento – arena)	10 kN/min	Sí. El tarrajeo fue de relación 1:6 (cemento – arena) y espesor de 20 mm.	0.90
2020	Bazalar y Espinoza	12 mm	1:3 (cemento – arena)	10 kN/min	Sí. El tarrajeo fue de relación 1:4 (cemento – arena) y espesor de 10 mm.	0.80

A su vez, se comparó la relación entre Gm_R y Em_R según lo obtenido por Mamani (2015) y Bazalar y Espinoza (2020) en la Tabla 5.22. Se obtuvo la correlación 5.2 con un valor de R^2 de 0.89. Se muestra la Tabla 5.23 como resumen de la correlación 5.2.

$$Gm_R = 0.30Em_R \quad 5.2$$

Tabla 5.23. Resumen de valores estimados empleando la correlación 5.2

Investigación	Em_R (MPa)	Gm_R (MPa)	Gm_R estimado 5.2 (MPa)	Ratio 5.2
Mamani (2015)	5 837	1 275	1 751	1.37
Bazalar y Espinoza (2020)	2 834	1 286	850	0.66

La correlación 5.2 es preliminar ya que es necesario tener más ensayos para observar la influencia de la variabilidad.



Capítulo 6. Ensayos de muros

En este capítulo, se detalla sobre el comportamiento experimental de muros de ladrillo pandereta con y sin refuerzo sísmico exterior con malla electrosoldada sometidos a cargas coplanares y/o gravitacionales. Se presentan las curvas de capacidad simplificadas sobre los siguientes puntos notables:

- Agrietamiento diagonal
- Resistencia máxima
- Resistencia última

Asimismo, se interpretan los resultados obtenidos para poder verificar el incremento de resistencia y deriva máxima inelástica por el uso de malla electrosoldada.

6. 1. Comportamiento sísmico experimental

En un proyecto de investigación sobre comportamiento sísmico experimental, se recomienda seguir los siguientes pasos según San Bartolomé et al. (2018).

Estudio preliminar

Se identifica el parámetro a analizar, como la incidencia del uso de malla electrosoldada como refuerzo sísmico exterior para incrementar la resistencia. Luego, se recopila información existente y, después, se elabora un estudio teórico del tema. Finalmente, se deben dibujar los planos y/o realizar alguna modelación en algún programa, indicando la ubicación de los instrumentos a utilizar en el ensayo.

Construcción, traslado, montaje y ensayos de control

Se busca que el proceso constructivo de los especímenes este acorde con la realidad. En esta etapa, se fabrican prismas de la unidad que se va a estudiar y se realizan ensayos de control de la misma. También, se construyen los muros y se fijan en la losa de ensayos para obtener los lazos histeréticos cuando se realicen los ensayos.

Técnicas de ensayo

Existen cuatro técnicas de ensayo para muros de albañilería: ensayo de carga lateral monotónica creciente, ensayo de carga lateral cíclica, ensayo de simulación sísmica y ensayo pseudo dinámico. Debido a que el ensayo más utilizado es el de carga lateral cíclica, se muestran algunos comentarios sobre este ensayo a continuación.

En esta técnica, se establecen valores determinados del desplazamiento lateral, que incluyen el comportamiento elástico e inelástico del muro. Cuando el espécimen ya no soporta más carga lateral y su inestabilidad está en peligro, se dice que el espécimen ha colapsado. Luego, se seleccionan los lazos correspondientes a los ciclos estables.

Los valores máximos de la carga lateral determinan la envolvente de los ciclos estables y la rama negativa se revierte sobre la positiva; sin embargo, para efectos comparativos de esta tesis, únicamente se consideraron las ramas positivas.

Además, la curva promedio se conoce como la envolvente promedio Fuerza Lateral versus Desplazamiento de los lazos histeréticos estables. La envolvente promedio es la que se usa para comparar los efectos de un parámetro sobre el comportamiento sísmico – experimental de los muros. En general, los muros confinados presentan lazos histeréticos muy delgados, propios de sistemas que disipan poca energía sísmica.

Fisura de tracción por flexión

La primera fisura se forma en la base de los muros y se debe a las tracciones que origina el momento flector como se muestra en la Figura 6.1. Para el caso de muros confinados, esa fisura se forma, primero, en alguna columna para que, después, se propague hacia la albañilería. Esta debe vencer la resistencia a flexión del concreto.



Figura 6.1. Fisuras horizontales (Mamani, 2015)

Rotura diagonal

Al incrementar la carga lateral, el muro se agrieta diagonalmente, y se produce una caída leve en la resistencia. Esta falla inmediatamente después es contenida por el confinamiento como se muestra en la Figura 6.2 y se produce para una deriva del orden de 1.25 por mil. Además, si el muro se encuentra reforzado, se puede aplicar desplazamientos o fuerzas mayores.



Figura 6.2. Fisuras horizontales en las columnas y diagonales en la albañilería (Mamani, 2015)

Límite de reparación

Si se aplican desplazamientos mayores al muro luego de su rotura diagonal, surgen otras fisuras y la rigidez lateral se sigue degradando. Se alcanza un instante en que, también, se disminuye la resistencia, debido a la formación de fallas no deseables (inicio de trituración de los talones, inicio de trituración de unidades de albañilería, etc.).

Se considera que, hasta una deriva de 5 por mil, el sistema se puede reparar sin altos costos económicos. Este es el límite de deriva máxima inelástica para las edificaciones de albañilería según la NTE. E.030 Diseño Sismorresistente (2018).

Falla final

Si se tienen desplazamientos laterales por encima del límite de reparación, se puede tener la trituración de los talones de los muros como se muestra en la Figura 6.3 (sea la falla por corte o por flexión), con el consiguiente pandeo del acero vertical o la trituración de los ladrillos. De esta manera, se pierde la última línea de protección, lo que produce una drástica disminución de resistencia.



Figura 6.3. Trituración de talones en las columnas (Mamani, 2015)

6. 2. Muros confinados de ladrillo pandereta sin refuerzo exterior

Desde el año 2007 en el Perú, se han realizado ensayos experimentales de muros de ladrillo pandereta, con la finalidad de analizar su comportamiento y establecer posibles mecanismos de refuerzo externo bajo solicitaciones sísmicas. En esta sección, se presentan los resultados y las características de los ensayos realizados, con la finalidad de calcular esfuerzos y derivas. Para la determinación de los puntos notables de las curvas de capacidad simplificadas, se tuvo en cuenta lo siguiente:

- La fuerza de agrietamiento diagonal (V_m o V_{m_R}) se produce cuando se obtiene el menor valor entre el resultado reportado en la investigación y el 60% de la fuerza máxima alcanzada ($0.60V_{m_{\max}}$ o $0.60V_{m_{\max_R}}$). De esta manera, la deriva, el esfuerzo, el desplazamiento y la fuerza correspondiente se utilizan para la elaboración del modelo elastoplástico en el siguiente capítulo. El desarrollo de esta consideración se basa en el hecho de que la NTE E.070 Albañilería (2006) no presenta algún factor de reducción

de resistencia adicional de la albañilería que se multiplique a la fuerza de agrietamiento y esto se complementa con lo que se presenta a continuación.

La NSR – 10 – Título D Mampostería Estructural (2010) menciona que el coeficiente de reducción de resistencia (ϕ) debido a fuerzas paralelas al plano para cortante es 0.60. Asimismo, los comentarios de la NTC Mampostería (2020) establecen que el factor de resistencia (FR) es 0.70. Este factor de resistencia es un factor de seguridad parcial menor que la unidad, que se aplica a la resistencia calculada (o nominal) para cubrir las incertidumbres que se tienen en su determinación.

San Bartolomé (1994) demostró que el factor de reducción de resistencia para albañilería es 0.60, de modo que el factor de seguridad para el diseño por corte es 2.

- La fuerza máxima ($V_{m\acute{a}x}$ o $V_{m\acute{a}xR}$) es el máximo valor que se encuentra gráficamente.
- La fuerza última (V_u o V_{uR}) es aquella que se obtiene como el 80% de la fuerza máxima alcanzada o la última fuerza cercana a esta, si es que el desplazamiento último está cerca del máximo.
- En caso se cuente con varios ensayos por investigación, se obtendrá el promedio de las curvas de capacidad de manera gráfica.
- La carga axial aplicada sobre los muros y los valores obtenidos en el Capítulo 3, Capítulo 4 y Capítulo 5 sirvieron de comparación entre especímenes.

Esta lista de consideraciones se aplicó para todos los casos a tratar de la presente tesis.

6. 2. 1. 2007: Lazares y Salinas.

Consistió en cuatro ensayos de carga cíclica lateral, dos de ellos con carga coplanar y los otros dos con la carga ortogonal al plano del muro (dos construidos con ladrillo industrial y los otros dos con ladrillo artesanal). Sin embargo, para esta tesis, se utilizaron solo los dos relacionados al ensayo de carga lateral cíclica para fines comparativos (un muro de ladrillo industrial MNRI-CCA-LS y un muro de ladrillo artesanal MNRA-CCA-LS).

Se utilizó un actuador lateral apoyado sobre un muro de reacción, para obtener la respuesta del muro frente a sollicitaciones de carga cíclica lateral. La fuerza lateral fue aplicada en ciclos de carga para llegar a niveles de distorsión angular en el muro progresivamente mayores. Asimismo, se confinó verticalmente el muro con una carga axial (CCA) de 118.40 kN (Zavala et al., 2014), por lo que se utilizó un pórtico de acero para que sirva de reacción a un actuador vertical, el cual aplicó la carga vertical de confinamiento.

El acero de los elementos de confinamiento consistió, en los elementos verticales, de 4 varillas de 1/2" y, en los elementos horizontales, de 4 varillas de 3/8". Los estribos fueron hechos con varillas de 1/4". Además, los muros fueron 2.65 m de largo, 2.37 m de alto y 0.12 m de espesor para ladrillo industrial y 0.11 m de espesor para ladrillo artesanal.

Las formas de falla fueron similares en ambos tipos de muro como se muestra en la Figura 6.4. A su vez, la falla que provocó la disminución de la capacidad resistente fue la de la tracción diagonal por corte.

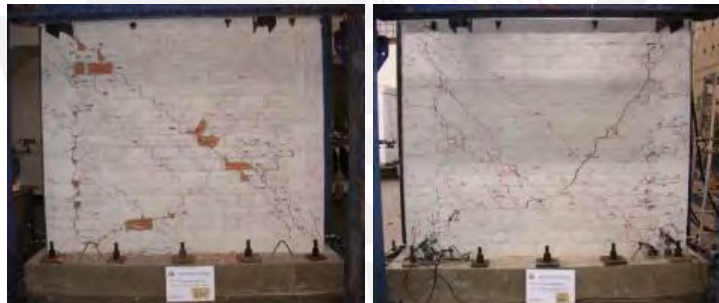


Figura 6.4. Estado final de muros (izquierda: ladrillo industrial, derecha: ladrillo artesanal) (Lazares y Salinas, 2007)

Los lazos histeréticos fueron angostos como se muestra en la Figura 6.5 y; por lo tanto, revelaron la baja capacidad de disipación de energía ante cargas cíclicas de esta clase de unidad de albañilería. Se muestran las curvas de capacidad de los especímenes ensayados en la Figura 6.6.

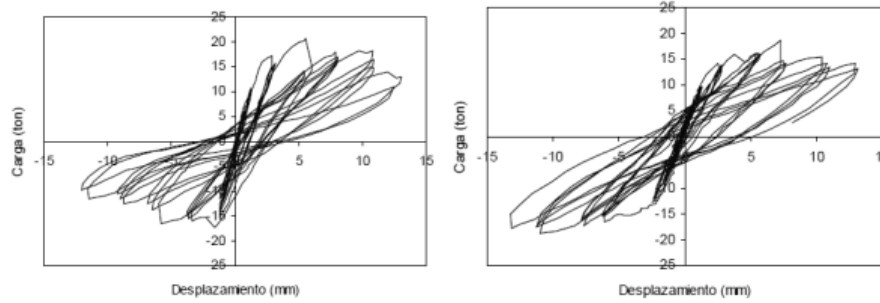


Figura 6.5. Lazos histeréticos (izquierda: ladrillo industrial, derecha: ladrillo artesanal) (Lazares y Salinas, 2007)

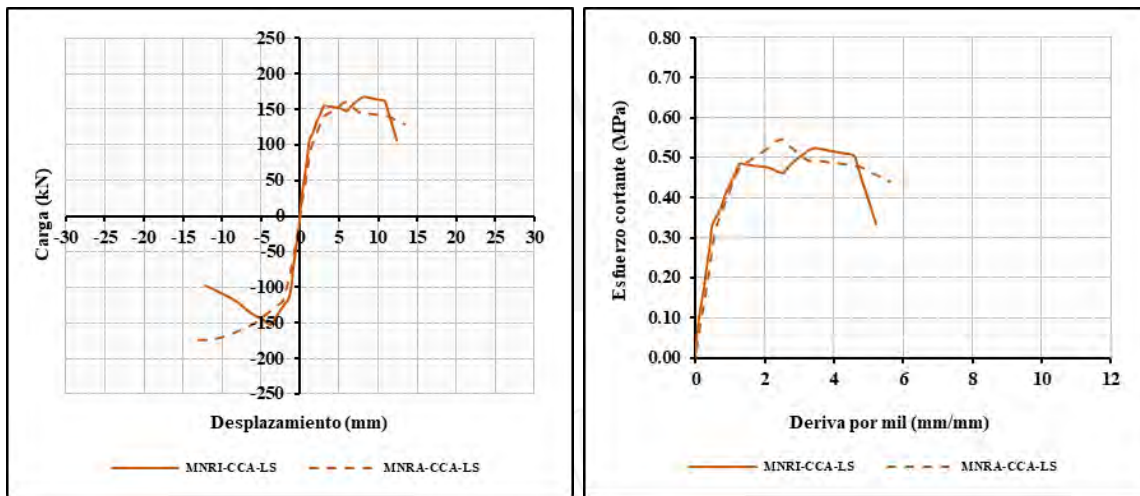


Figura 6.6. Curvas de capacidad de los muros MNRI-CCA-LS y MNRA-CCA-LS (Lazares y Salinas, 2007)

De la Figura 6.6, se puede comentar que el comportamiento del muro de ladrillo pandereta industrial y artesanal es similar. Los investigadores afirmaron que el primer agrietamiento ocurrió en ambos muros cuando se llegó a una deriva de 2 por mil. Con este valor registrado, se llegó a conseguir una fuerza de agrietamiento diagonal de 150 kN para ambos muros y este valor representa el 0.91 y 0.94 de la fuerza máxima para ladrillo industrial y artesanal respectivamente. Por lo tanto, el valor de agrietamiento diagonal se definió como el 0.60 de la fuerza cortante máxima. Los resultados de interés se presentan en la Tabla 6.1 y la Tabla 6.2.

Tabla 6.1. Resultados de interés del muro MNRI-CCA-LS (Lazares y Salinas, 2007)

Resultado de interés	Valor	Resultados de interés	Valor
Fuerza de agrietamiento (kN)	100.0	Esfuerzo de agrietamiento (MPa)	0.3
Desplazamiento de agrietamiento (mm)	1.0	Deriva de agrietamiento por mil (mm/mm)	0.4
Fuerza máxima (kN)	165.0	Esfuerzo máximo (MPa)	0.5
Desplazamiento máximo (mm)	8.0	Deriva máxima por mil (mm/mm)	3.4
Fuerza última (kN)	135.0	Esfuerzo último (MPa)	0.4
Desplazamiento último (mm)	11.5	Deriva última por mil (mm/mm)	4.8

Tabla 6.2. Resultados de interés del muro MNRA-CCA-LS (Lazares y Salinas, 2007)

Resultado de interés	Valor	Resultados de interés	Valor
Fuerza de agrietamiento (kN)	95.0	Esfuerzo de agrietamiento (MPa)	0.3
Desplazamiento de agrietamiento (mm)	1.5	Deriva de agrietamiento por mil (mm/mm)	0.6
Fuerza máxima (kN)	160.0	Esfuerzo máximo (MPa)	0.6
Desplazamiento máximo (mm)	6.0	Deriva máxima por mil (mm/mm)	2.5
Fuerza última (kN)	130.0	Esfuerzo último (MPa)	0.4
Desplazamiento último (mm)	13.0	Deriva última por mil (mm/mm)	5.4

Con estos valores, se construyeron las curvas de capacidad simplificadas y se presentan en la Figura 6.7.

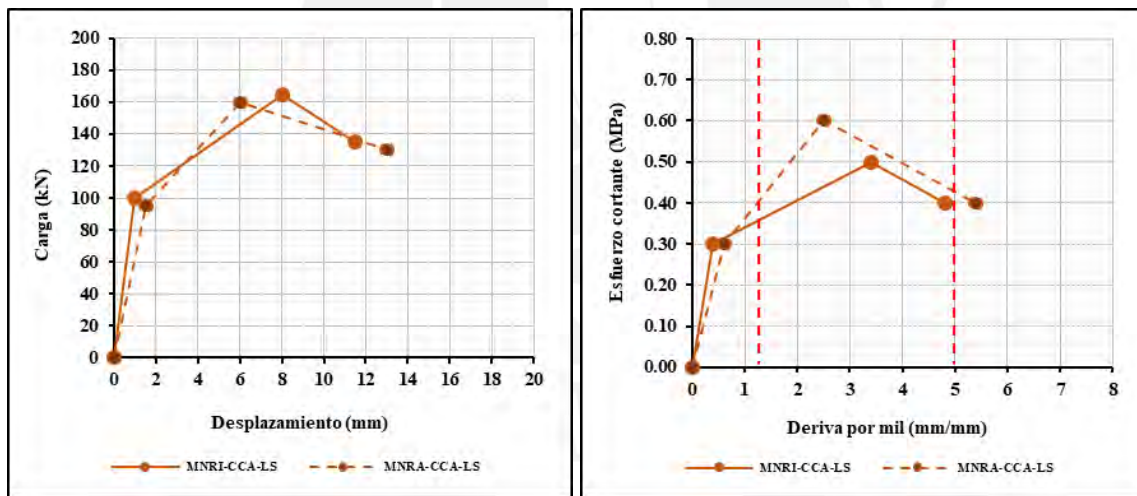


Figura 6.7. Curvas de capacidad simplificadas de los muros MNRI-CCA-LS y MNRA-CCA-LS (Lazares y Salinas, 2007)

De la Figura 6.7, se puede comentar que ambos muros tienen un esfuerzo de agrietamiento similar de 0.30 MPa a una deriva de 0.40 por mil aproximadamente. Este valor de deriva es mucho menor que 1.25 por mil del modelo elastoplástico propuesto en San Bartolomé et al. (2018). También, se puede ver que el muro MNRA-CCA-LS es el único que llega a una deriva de 5 por mil. La curva de Esfuerzo versus Deriva por mil del muro MNRA-

CCA-LS es mayor que la curva del muro MNRI-CCA-LS porque el área de corte es menor por el espesor del muro del ladrillo artesanal.

6. 2. 2. 2012: Araoz y Velezmoro.

Se construyeron dos muros de ladrillo pandereta. En esta sección, se detalla el muro no reforzado MNRI-SCA-AV. Los autores afirmaron que se trató de seguir el proceso constructivo aplicado en la vida diaria; es decir, levantar los muros primero y, luego, vaciar los elementos de confinamiento. Se procuró eliminar defectos encontrados en investigaciones previas, como llenar los huecos tubulares de los ladrillos que estaban en contacto con las columnas. Esto se hizo con la finalidad de evitar pérdida de lechada y el debilitamiento del concreto de los elementos de confinamiento.

El muro fue 2.20 m de largo, 2.20 m de alto y 0.11 m de espesor. La mano de obra empleada fue la misma durante toda la construcción y se emplearon juntas de 15 mm de espesor con una relación cemento – arena gruesa de 1:4. A su vez, el recubrimiento del refuerzo para columnas y soleras fue de 30 mm y, para las vigas de cimentación, fue 40 mm. La resistencia del concreto para las columnas y vigas soleras fue 17 MPa y, para las vigas de cimentación, fue 21 MPa. Se colocaron 6 LVDT en cada muro como se muestra en la Figura 6.8 y se registraron los siguientes desplazamientos:

- D1: desplazamiento lateral superior (viga solera)
- D2: desplazamiento horizontal relativo entre columnas
- D3 y D4: desplazamiento horizontal en la conexión columna – albañilería
- D6: desplazamiento vertical en los talones de columnas

En la segunda parte del ensayo, se aplicó un desplazamiento de amplitud $D1 = 15 \text{ mm}$ con una frecuencia de 2 Hz. Se presenta la curva de capacidad del muro MNRI-SCA-AV en la Figura 6.10.

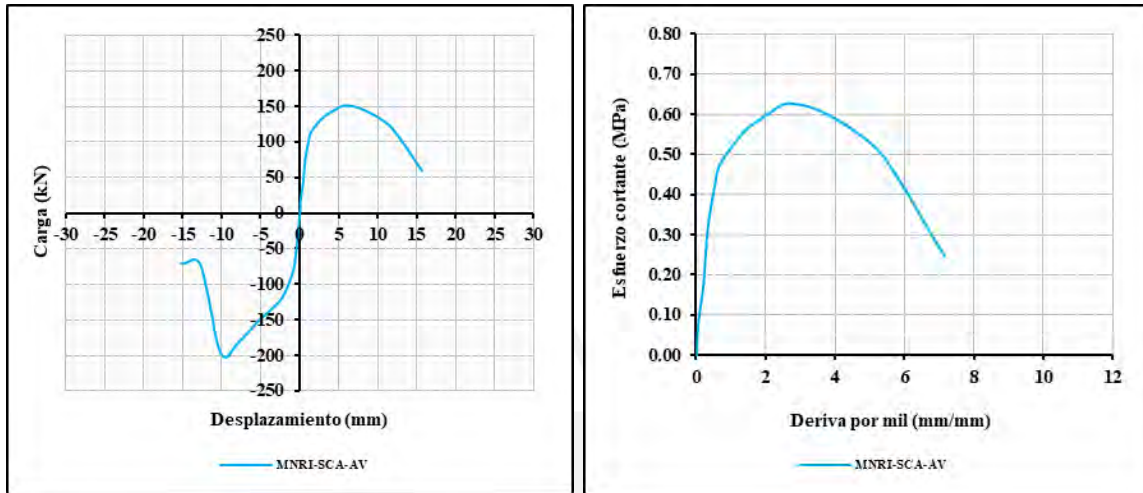


Figura 6.10. Curva de capacidad del muro MNRI-SCA-1-AV (Araoz y Velezmoro, 2012)

Araoz y Velezmoro (2012) (MNRI-SCA-AV) afirmaron que el primer agrietamiento diagonal se produjo a una carga de 150 kN (15.18 tonf). Este valor representó la fuerza máxima registrada. Por lo tanto, el valor de agrietamiento diagonal se definió como el 0.60 de la fuerza cortante máxima y se muestran los resultados de interés en la Tabla 6.4.

Tabla 6.4. Resultados de interés del muro MNRI-SCA-AV (Araoz y Velezmoro, 2012)

Resultados de interés	Valor	Resultados de interés	Valor
Fuerza de agrietamiento (kN)	90.0	Esfuerzo de agrietamiento (MPa)	0.4
Desplazamiento de agrietamiento (mm)	1.0	Deriva de agrietamiento por mil (mm/mm)	0.5
Fuerza máxima (kN)	150.0	Esfuerzo máximo (MPa)	0.6
Desplazamiento máximo (mm)	6.0	Deriva máxima por mil (mm/mm)	2.7
Fuerza última (kN)	120.0	Esfuerzo último (MPa)	0.5
Desplazamiento último (mm)	12.0	Deriva última por mil (mm/mm)	5.4

Se construyó la curva de capacidad simplificada como se aprecia en la Figura 6.11 con los datos de la Tabla 6.4.

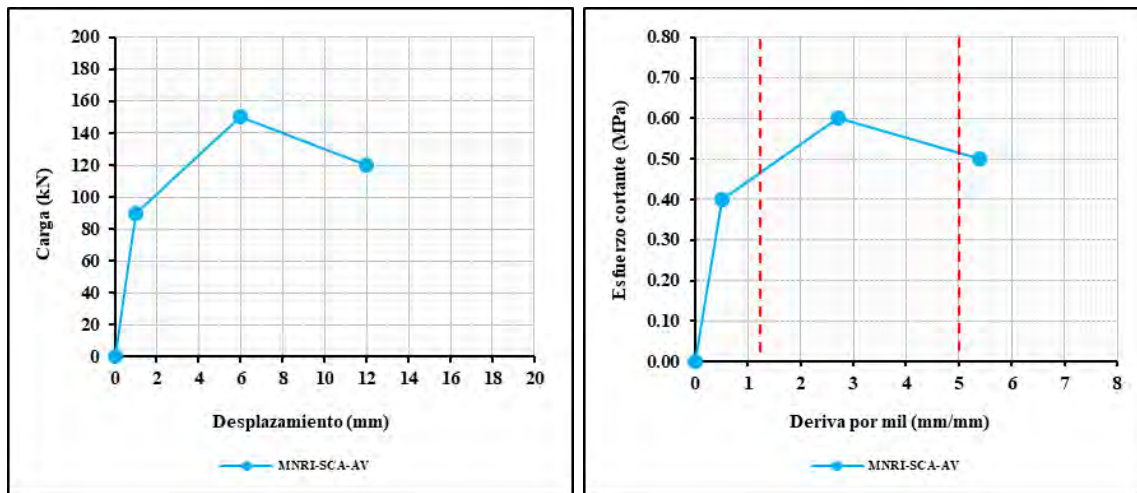


Figura 6.11. Curva de capacidad simplificada del muro MNRI-SCA-AV (Araoz y Velezmoro, 2012)

De la Figura 6.11, se puede comentar que esfuerzo cortante del agrietamiento corresponde al valor de 0.40 MPa y se obtiene para una deriva mucho menor que 1.25 por mil. Asimismo, el espécimen sobrepasa ligeramente la deriva reglamentaria de 5 por mil.

6. 2. 3. 2014: Zavala et al.

El ensayo se realizó sobre un muro de ladrillo pandereta y se aplicaron una carga horizontal cíclica y una carga axial constante de 200 kN, simulando la carga aplicada proveniente de cargar cuatro pisos. Estos resultados fueron comparados con los ensayos experimentales anteriores de la base de datos del Laboratorio de Estructuras del CISMID.

El muro tenía columnas de confinamiento en las esquinas y cada columna tenía cuatro barras #4 (1/2") con estribos #2 (1/4") cada 250 mm. La Figura 6.12 muestra la configuración del espécimen. Además, el espécimen se construyó sobre una cimentación que medía 900 mm x 300 mm y se trató de que todo el proceso constructivo sea lo más cercano a lo usual; es decir, que se levanten los muros primero y, después, se confinan con elementos de concreto armado.

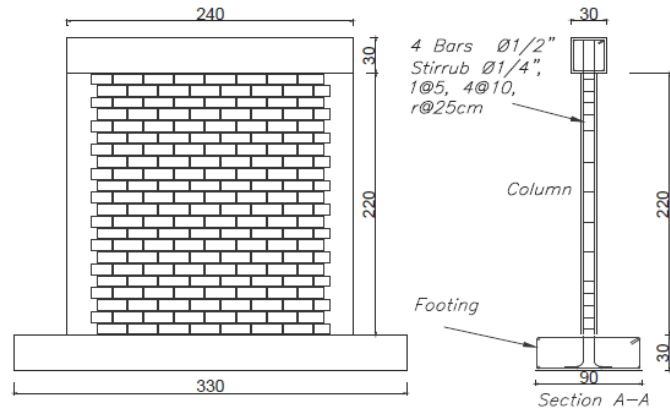


Figura 6.12. Configuración del espécimen (Zavala et al., 2014)

El muro fue 2.40 m de largo, 2.30 m de alto y 0.12 m de espesor. Para el ensayo, se instalaron cuatro gatas para aplicar la carga axial constante. Como se muestra en la Figura 6.13, se colocaron transductores para medir los desplazamientos en varios puntos del muro. Los sensores se instalaron diagonal, vertical y horizontalmente para que se registren los desplazamientos en todas las direcciones. A su vez, para medir las deformaciones, se colocaron strain gauge pegados sobre la superficie de concreto y las barras de refuerzo.

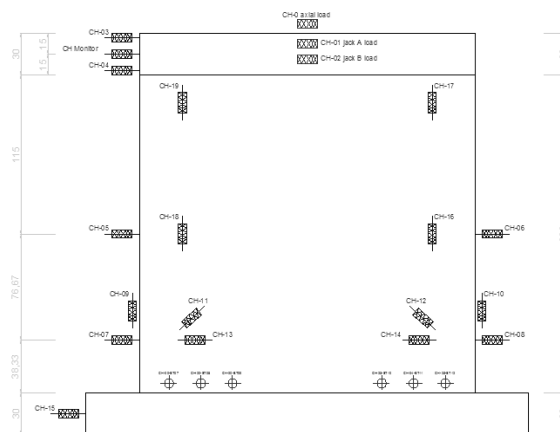


Figura 6.13. Ubicación de strain gauge (Zavala et al., 2014)

A continuación, se muestra la curva de capacidad del muro (MNRI-CCA-Z) en la Figura 6.14.

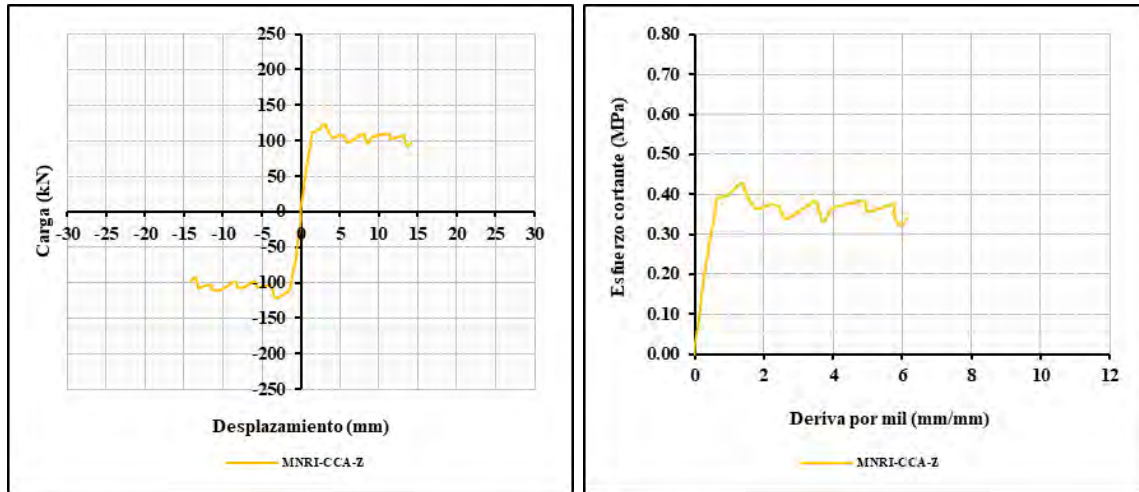


Figura 6.14. Curva de capacidad del muro MNRI-CCA-Z (Zavala et al., 2014)

Zavala et al. (2014) reportaron que las grietas diagonales comenzaron a propagarse a una deriva de 0.93 por mil (1/1075). Esta deriva estaba relacionada con una fuerza de 115 kN y fue 0.92 de la fuerza máxima registrada. Por lo tanto, se tomó el 60% de la carga máxima registrada como el valor de V_m y se muestran los resultados de interés en la Tabla 6.5.

Tabla 6.5. Resultados de interés del muro MNRI-CCA-Z (Zavala et al., 2014)

Resultados de interés	Valor	Resultados de interés	Valor
Fuerza de agrietamiento (kN)	75.0	Esfuerzo de agrietamiento (MPa)	0.3
Desplazamiento de agrietamiento (mm)	1.0	Deriva de agrietamiento por mil (mm/mm)	0.4
Fuerza máxima (kN)	125.0	Esfuerzo máximo (MPa)	0.4
Desplazamiento máximo (mm)	3.0	Deriva máxima por mil (mm/mm)	1.3
Fuerza última (kN)	100.0	Esfuerzo último (MPa)	0.3
Desplazamiento último (mm)	6.0	Deriva última por mil (mm/mm)	2.6

Además, se presenta en la Figura 6.15 el estado final del muro ensayado en esta investigación.



Figura 6.15. Estado final del muro MNRI-CCA-Z (Zavala et al., 2014)

Con los valores de la Tabla 6.5, se construyó la curva de capacidad simplificada como se aprecia en la Figura 6.16.

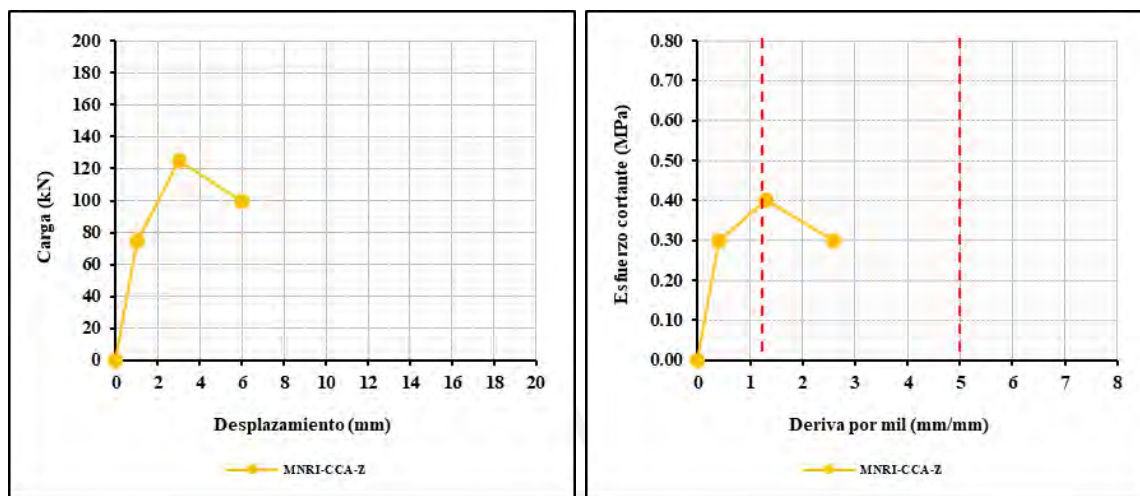


Figura 6.16. Curva de capacidad simplificada del muro MNRI-CCA-Z (Zavala et al., 2014)

De la Figura 6.16, se puede ver que el esfuerzo de agrietamiento es 0.30 MPa y se obtiene este valor para una deriva mucho menor que 1.25 por mil. También, el muro MNRI-CCA-Z no cumple con la deriva máxima inelástica.

6. 2. 4. 2017b: CISMID.

En una parte de esta investigación, se realizaron varios ensayos estáticos cíclicos de carga lateral de muros de albañilería sin y con carga axial de acuerdo con el procedimiento del FEMA 461. Para estos ensayos, se tuvo que emplear un pórtico de acero que rodeó al muro como un elemento de reacción en cada extremo de las gatas hidráulicas y que proporcionó soporte fuera del plano de este. También, se empleó un sistema de aplicación de carga conformado por gatas hidráulicas, un sistema para medir usando celdas de carga y LVDT.

Cabe mencionar que las gatas hidráulicas que aplicaron una carga constante se apoyaron en uno de sus extremos sobre la losa de reacción, mientras que las gatas hidráulicas horizontales, que aplican la carga lateral cíclica, se apoyaron en uno de los extremos sobre el muro de reacción.

La aplicación de la carga se realizó con cuatro gatas hidráulicas estáticas de capacidad de aplicar carga de 500 kN con una amplitud del émbolo (stroke) de +/- 250 mm. Dos gatas

hidráulicas se utilizaron para aplicar la carga lateral y las otras dos se utilizaron para mantener una carga axial constante aplicada para simular los niveles superiores a esta. A continuación, se presenta en la Figura 6.17 el sistema de aplicación de carga en los ensayos.

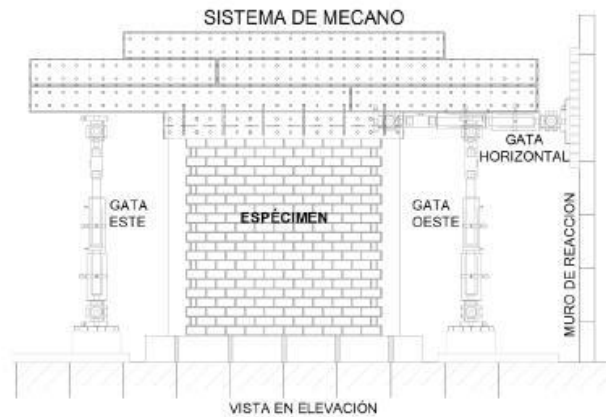


Figura 6.17. Vista del mecano y carga (CISMID, 2017b)

En la Figura 6.18, se puede apreciar que se colocaron los 23 canales para adquirir la información y, para controlar las gatas hidráulicas horizontales, se utilizó el sensor que monitorea el desplazamiento de un punto de la viga a nivel del eje del lugar donde se aplica la carga.

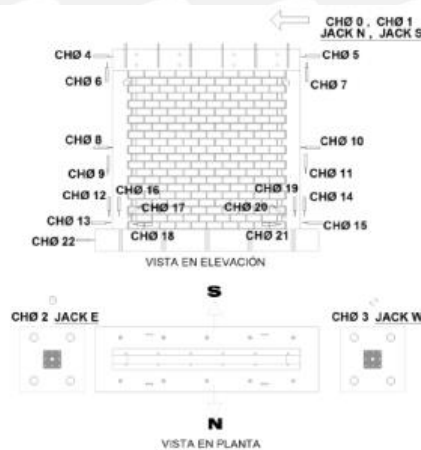


Figura 6.18. Instrumentación del espécimen (CISMID, 2017b)

Se estableció que el límite de reparabilidad ocurre a una distorsión de 5 por mil y el desplazamiento de rotura fue 10 por mil. En la Tabla 6.6, se muestra el desplazamiento objetivo para el control de desplazamiento por ciclo.

Tabla 6.6. Características de las fases del ensayo de carga cíclica (CISMID, 2017b)

Fases	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Deriva por mil (mm/mm)	0.20	0.35	0.50	0.65	1.00	1.25	1.80	2.50	3.30	5.00	6.70	10.00

Con la finalidad de obtener curvas de histéresis más estables, la amplitud objetivo fue aplicada en dos ciclos consecutivos. Es decir, el ciclo donde alcanza por primera vez el ciclo objetivo se denominó ciclo 1 y su repetición ciclo 2. Sin embargo, para fines comparativos de la presente tesis, se trabajó con los resultados del ciclo 2 y se promediaron las curvas correspondientes gráficamente. Asimismo, solo se consideran los resultados relacionados a ladrillo pandereta industrial. Los muros fueron 2.60 m de largo, 2.20 m de alto y 0.11 m de espesor como se muestra en la Figura 6.19.

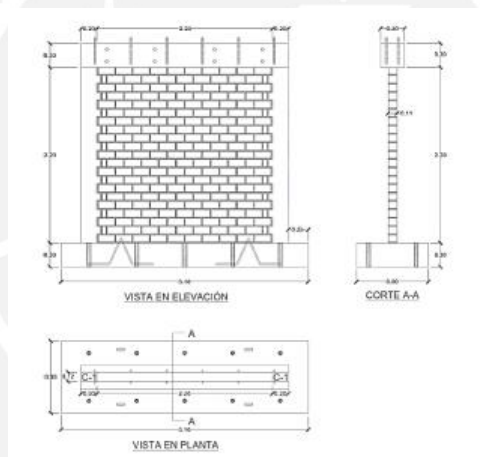


Figura 6.19. Características geométricas (CISMID, 2017b)

Luego, en la Tabla 6.7, se muestran los especímenes que fueron sometidos al ensayo cíclico de carga lateral.

Tabla 6.7. Condiciones de ensayo en muros de ladrillo pandereta industrial (CISMID, 2017b)

Identificación	Carga axial (kN)	Límite de deriva por mil (mm/mm)	Condiciones del ensayo
MNRI-SCA-1-C	0	10.00	Sin carga axial hasta la rotura
MNRI-SCA-2-C			
MNRI-SCA-3-C			
MNRI-CCA-1-C	140	10.00	Con carga axial hasta la rotura
MNRI-CCA-2-C			
MNRI-CCA-3-C			

Se ensayaron seis muros de ladrillo industrial pandereta hasta la rotura (tres con carga axial aplicada y tres sin carga axial aplicada). A continuación, se muestran las curvas de capacidad y se indica el promedio gráficamente de la rama positiva para los muros sin carga axial (MNRI-SCA-C) en la Figura 6.20.

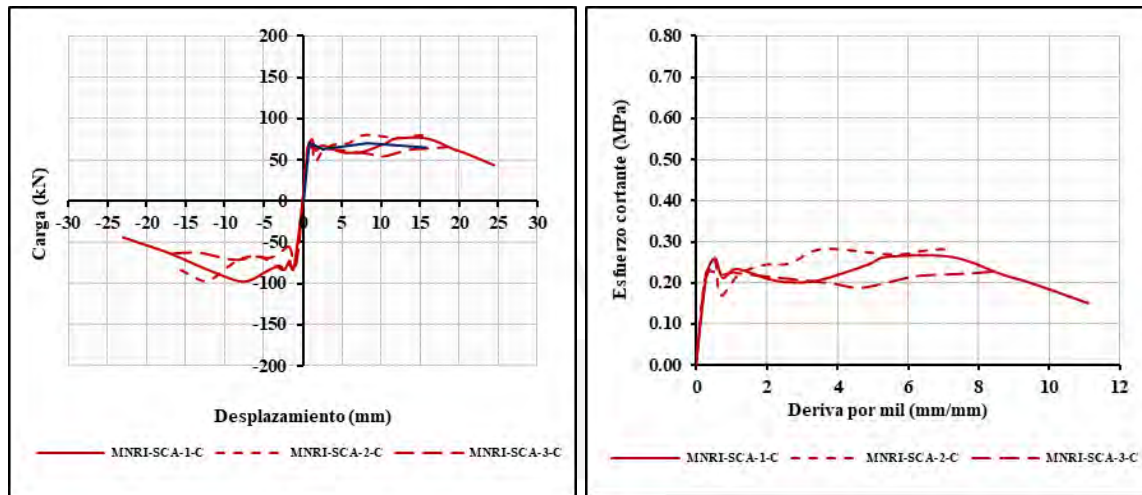


Figura 6.20. Curvas de capacidad y el promedio MNRI-SCA-C (CISMID, 2017b)

Se consideró que el fin del comportamiento elástico se dio para un desplazamiento de 1.12 mm. Sin embargo, para este desplazamiento, se obtuvo una carga de 65 kN, que es el 0.93 de la carga máxima alcanzada. Por lo tanto, se consideró el valor de V_m como el 60% de la carga máxima alcanzada y se muestran los resultados de interés en la Tabla 6.8.

Tabla 6.8. Resultados de interés del promedio MNRI-SCA-C (CISMID, 2017b)

Resultado de interés	Valor	Resultado de interés	Valor
Fuerza de agrietamiento (kN)	40.0	Esfuerzo de agrietamiento (MPa)	0.1
Desplazamiento de agrietamiento (mm)	0.5	Deriva de agrietamiento por mil (mm/mm)	0.2
Fuerza máxima (kN)	70.0	Esfuerzo máximo (MPa)	0.2
Desplazamiento máximo (mm)	8.0	Deriva máxima por mil (mm/mm)	3.6
Fuerza última (kN)	65.0	Esfuerzo último (MPa)	0.2
Desplazamiento último (mm)	15.0	Deriva última por mil (mm/mm)	6.8

Con los valores de la Tabla 6.8, se construyó la curva de capacidad simplificada como se aprecia en la Figura 6.21.

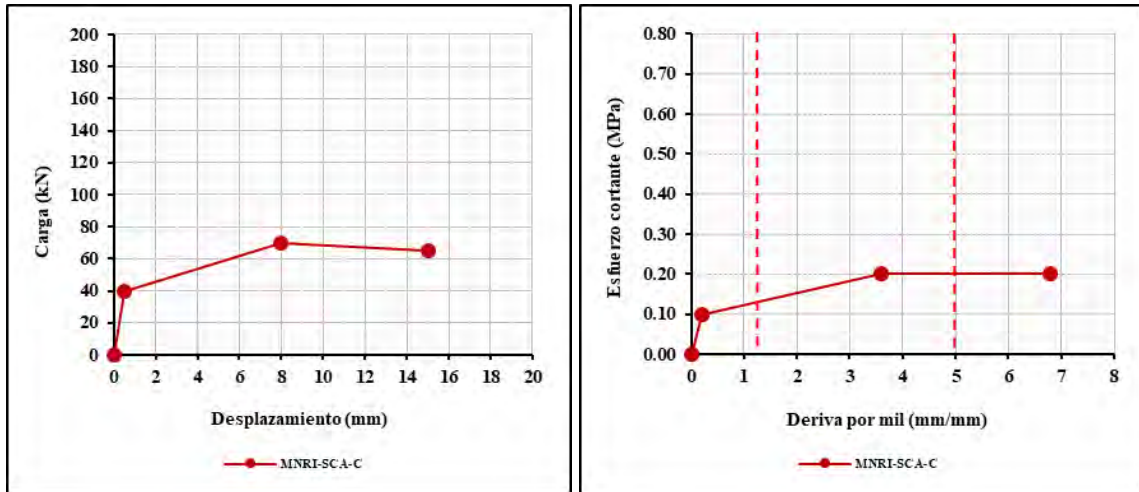


Figura 6.21. Curva de capacidad simplificada del promedio MNRI-SCA-C (CISMID, 2017b)

Para la curva promedio obtenida gráficamente, se tiene que el esfuerzo agrietamiento es 0.10 MPa y se obtiene para un valor de deriva mucho menor que 1.25 por mil. También, este ensayo superó la deriva máxima inelástica de 5 por mil.

De la misma manera que los muros sin carga axial, se muestran las curvas de capacidad y se indica el promedio gráficamente para la rama positiva de los muros con carga axial (MNRI-CCA-C) en la Figura 6.22.

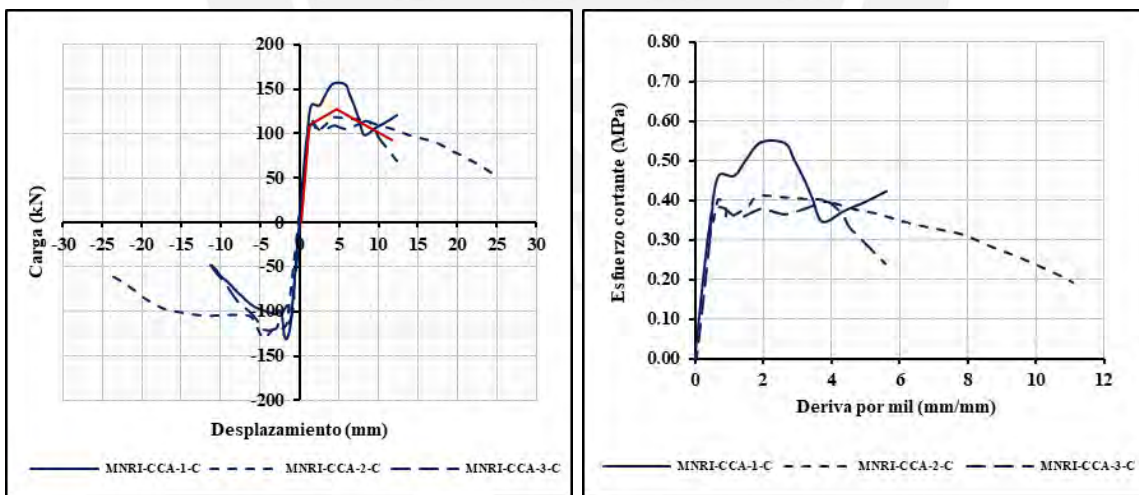


Figura 6.22. Curvas de capacidad y el promedio MNRI-CCA-C (CISMID, 2017b)

La fuerza de agrietamiento diagonal se estimó que se produjo al 60% de la carga máxima. Se escogió este valor ya que el fin del comportamiento elástico se dio para un desplazamiento de 1.14 mm (CISMID, 2017b), lo que correspondió a una fuerza de 110 kN ($0.85 V_{máx}$) y

resultó ser mayor que el 60% de la fuerza máxima. Se presentan los resultados de interés en la Tabla 6.9.

Tabla 6.9. Resultados de interés del promedio MNRI-CCA-C (CISMID, 2017b)

Resultado de interés	Valor	Resultado de interés	Valor
Fuerza de agrietamiento (kN)	75.0	Esfuerzo de agrietamiento (MPa)	0.3
Desplazamiento de agrietamiento (mm)	1.0	Deriva de agrietamiento por mil (mm/mm)	0.5
Fuerza máxima (kN)	130.0	Esfuerzo máximo (MPa)	0.5
Desplazamiento máximo (mm)	5.0	Deriva máxima por mil (mm/mm)	2.3
Fuerza última (kN)	105.0	Esfuerzo último (MPa)	0.4
Desplazamiento último (mm)	9.5	Deriva última por mil (mm/mm)	4.3

Con los valores de la Tabla 6.9, se construyó la curva de capacidad simplificada como se aprecia en la Figura 6.23.

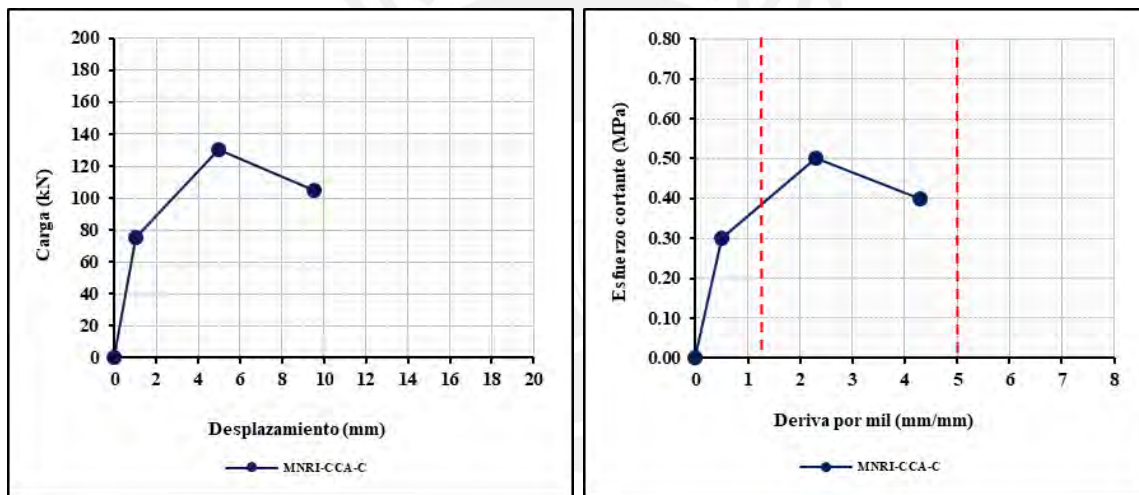


Figura 6.23. Curva de capacidad simplificada del promedio MNRI-CCA-C (CISMID, 2017b)

Se puede apreciar que se obtuvo un esfuerzo cortante de agrietamiento de 0.30 MPa para una deriva menor que 1.25 por mil y se consiguió una deriva última menor que la deriva máxima inelástica de 5 por mil.

6. 2. 5. 2017: Diaz et al.

Se realizaron ensayos de muros con dos tipos de ladrillos (ladrillos artesanales sólidos y ladrillos industriales pandereta), pero solamente se consideraron los resultados de los muros de ladrillo pandereta (con y sin refuerzo). Se confinó la albañilería con vigas de peralte de 300 mm y columnas de largo de 200 mm con espesor del muro. Cada columna y viga tuvo cuatro barras longitudinales #3 (3/8”) y estribos de #1 con la siguiente distribución: 1 @ 50 mm, 4 @

100 mm y el resto @ 250 mm. Asimismo, los muros tuvieron una cimentación que se conectó al piso de reacción (900 mm x 300 mm x 3 200 mm). A este muro, se le aplicó una carga de 100 kN.

El muro fue 2.40 m de largo, 2.50 m de alto y 0.11 m de espesor. Cabe resaltar que se ensayaron seis prismas de albañilería para cada tipo y el promedio fue 2.20 MPa. La aplicación de la carga se realizó con cuatro gatas hidráulicas estáticas de capacidad para aplicar carga de 500 kN con una amplitud del émbolo (stroke) de +/- 250 mm. Además, dos gatas se utilizaron para aplicar la carga lateral y las otras dos se utilizaron para mantener una carga axial constante aplicada para simular los niveles superiores. A continuación, se presenta la distribución de dispositivos de medición instalados en la Figura 6.24.

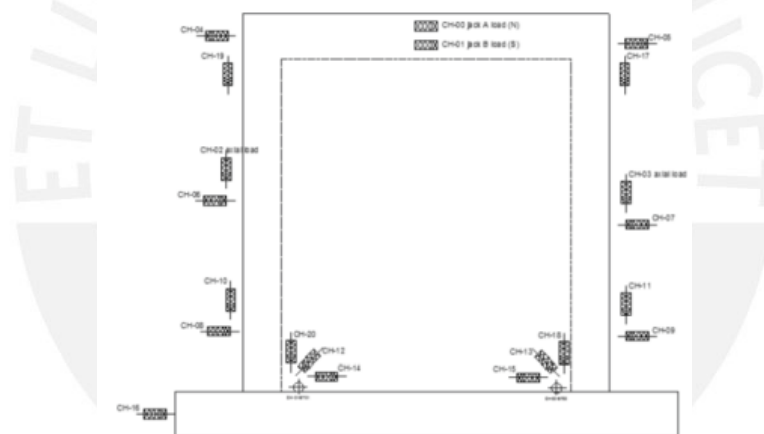


Figura 6.24. Dispositivos de medición (Diaz et al., 2017)

Las amplitudes definidas se alcanzaron dos veces porque se aplicaron dos ciclos consecutivos de la misma amplitud. A continuación, en la Figura 6.25, se muestra la curva de capacidad obtenida mediante los picos de los ciclos de las repetidas amplitudes objetivo.

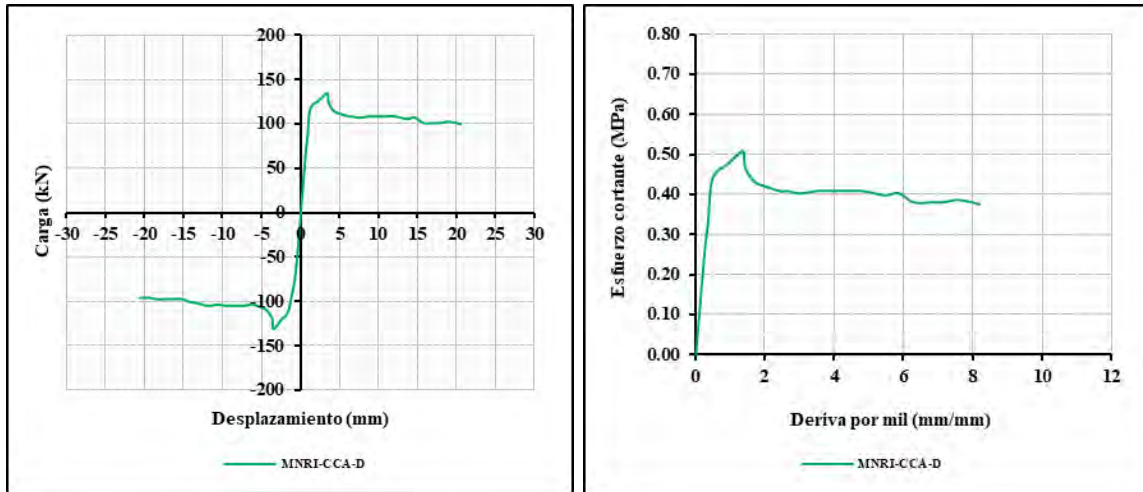


Figura 6.25. Curva de capacidad promedio de MNRI-CCA-D (Diaz et al., 2017)

Se afirma que el punto de la primera fisura en el muro se obtuvo para un desplazamiento de 1.1 mm y una carga de 94 kN. Este valor resultó ser el 70% de la carga máxima registrada. Por lo tanto, se escogió como fuerza de agrietamiento al 60% de la carga máxima registrada y se muestran los resultados de interés en la Tabla 6.10.

Tabla 6.10. Resultados de interés del muro MNRI-CCA-D (Diaz et al., 2017)

Resultado de interés	Valor	Resultado de interés	Valor
Fuerza de agrietamiento (kN)	80.0	Esfuerzo de agrietamiento (MPa)	0.3
Desplazamiento de agrietamiento (mm)	0.8	Deriva de agrietamiento por mil (mm/mm)	0.3
Fuerza máxima (kN)	135.0	Esfuerzo máximo (MPa)	0.5
Desplazamiento máximo (mm)	3.5	Deriva máxima por mil (mm/mm)	1.4
Fuerza última (kN)	110.0	Esfuerzo último (MPa)	0.4
Desplazamiento último (mm)	5.5	Deriva última por mil (mm/mm)	2.2

Con los valores de la Tabla 6.10, se construyó la curva de capacidad simplificada como se aprecia en la Figura 6.26.

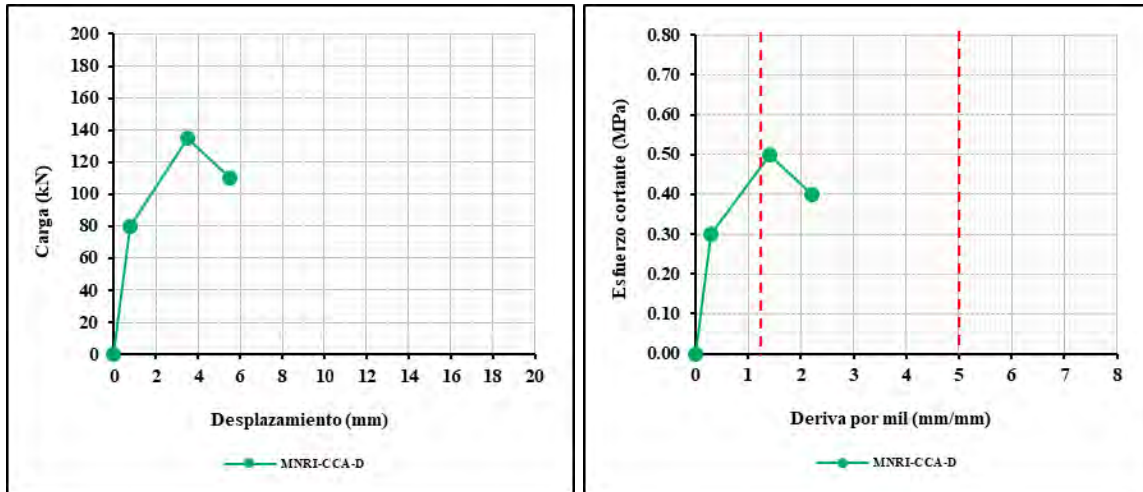


Figura 6.26. Curva de capacidad simplificada del muro MNRI-CCA-1-D (Diaz et al., 2017)

Se puede comentar que se tiene un esfuerzo de agrietamiento de 0.30 MPa para una deriva de 0.30 por mil. Asimismo, la deriva última es mucho menor que la reglamentaria (5 por mil).

Comentarios sobre los muros no reforzados sin carga axial

Se presentan los resultados de los especímenes ensayados sin carga axial en la Tabla 6.11.

Tabla 6.11. Cuadro comparativo de los muros confinados no reforzados de ladrillo industrial pandereta sin carga axial

Características y parámetros de interés	MNRI-SCA-AV (1)	MNRI-SCA-C (2)	Ratio = $\frac{(1)}{(2)}$
Autor	Araoz y Velezmoro (2012)	CISMID (2017a y 2017b)	---
Espesor de junta en muro (mm)	15	15	---
Relación cemento – arena (mortero)	1:4	1:6	---
Área de corte del muro (m ²)	0.242	0.286	0.8
$f'b$ (MPa)	5.5	3.5	1.5
$f'm$ (MPa)	2.3	1.7	1.3
$v'm$ (MPa)	0.9	0.4	2.2
Esfuerzo de agrietamiento (MPa)	0.4	0.1	4.0
Deriva de agrietamiento por mil (mm/mm)	0.5	0.2	2.5
Esfuerzo máximo (MPa)	0.6	0.2	3.0
Deriva máxima por mil (mm/mm)	2.7	3.6	0.7
Deriva última por mil (mm/mm)	5.4	6.8	0.7

Sin considerar las derivas máximas y últimas de estos muros, se aprecia que la investigación de Araoz y Velezmoro (2012) tiene mayores resultados que la investigación del CISMID (2017b). Esto se puede deber a que se tiene mayor área de corte en la investigación

del CISMID (2017b). Asimismo, se aprecia que la deriva de agrietamiento es 40% y 20% el valor en el que se espera que se produzca el agrietamiento (1.25 por mil) para el muro MNRI-SCA-AV y MNRI-SCA-C respectivamente.

Se puede ver un incremento de 1.5 por usar una unidad de mayor resistencia a compresión característica al comparar la investigación de Araoz y Velezmore (2012) respecto de la investigación del CISMID (2017a y 2017b). El incremento producido se puede deber al uso de unidades de mayor resistencia característica a compresión y mejor relación de cemento – arena del mortero de las juntas. Por consiguiente, se muestran las curvas de capacidad simplificadas en la Figura 6.27.

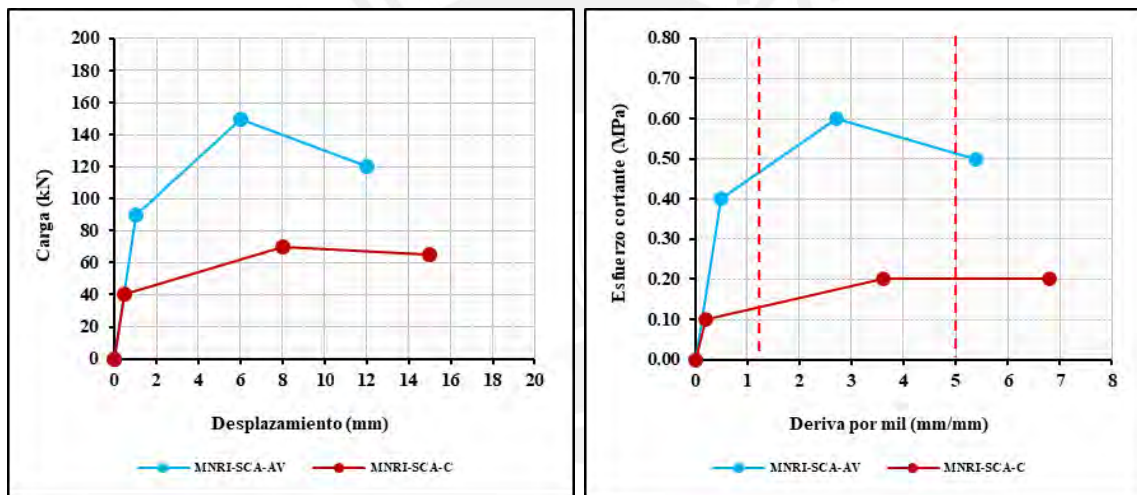


Figura 6.27. Curvas de capacidad simplificadas de los muros confinados de ladrillo industrial pandereta sin carga axial

Comentarios sobre los muros no reforzados con carga axial

Se presentan los resultados de los especímenes ensayados con carga axial en la Tabla 6.12.

Tabla 6.12. Cuadro comparativo de los muros confinados no reforzados de ladrillo industrial pandereta con carga axial

Características y parámetros de interés	MNRI-CCA-D	MNRI-CCA-LS	MNRI-CCA-C	MNRI-CCA-Z
Autor	Díaz et al. (2017)	Lazares y Salinas (2007)	CISMID (2017a y 2017b)	Zavala et al. (2014)
Espesor de junta en muro (mm)	No precisa.	No precisa.	15.00	No precisa.
Relación cemento – arena (mortero)	No precisa.	No precisa.	1:6	No precisa.
Área de corte del muro (m ²)	0.264	0.318	0.286	0.288
$f'c$ (MPa)	No realizó.	3.5	3.5	No realizó.
$f'm$ (MPa)	2.2	2.2	1.7	3.0
$v'm$ (MPa)	No realizó.	0.7	0.4	No realizó.
Esfuerzo de agrietamiento (MPa)	0.3	0.3	0.3	0.3
Deriva de agrietamiento por mil (mm/mm)	0.3	0.4	0.5	0.4
Esfuerzo máximo (MPa)	0.5	0.5	0.5	0.4
Deriva máxima por mil (mm/mm)	1.4	3.4	2.3	1.3
Deriva última por mil (mm/mm)	2.2	4.8	4.3	2.6
Carga axial (kN)	100.00	118.40	140.00	200.00

Sin importar la carga axial aplicada, se consiguió un esfuerzo de agrietamiento de 0.30 MPa a una deriva de agrietamiento promedio de 0.4 por mil. Se obtuvo un valor promedio de esfuerzo máximo de 0.50 MPa y una deriva máxima promedio de 2.1 por mil.

Se puede apreciar que, en ninguna de las investigaciones, se logró llegar a la deriva máxima inelástica reglamentaria de 5 por mil. En la Figura 6.28, se muestran las curvas de capacidad simplificadas de los muros confinados con carga axial.

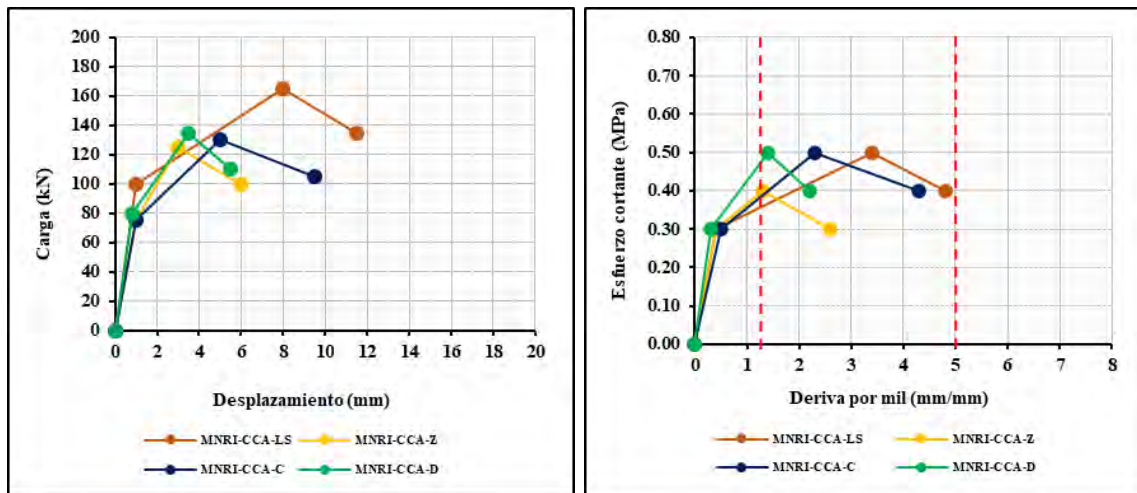


Figura 6.28. Curvas de capacidad simplificadas de muros confinados de ladrillo industrial pandereta con carga axial

6. 3. Muros confinados de ladrillo pandereta con refuerzo exterior

Al igual que los muros confinados sin refuerzo sísmico exterior, se procede a realizar las comparaciones respectivas para muros con refuerzo externo de malla electrosoldada.

6. 3. 1. 2012: Araoz y Velezmore.

Al segundo muro construido, se le colocó un refuerzo sísmico exterior de malla electrosoldada. La malla tuvo las mismas dimensiones que el muro (2.20 m x 2.20 m) y no fue conectada con las columnas ni con las vigas, ya que la idea era que cierre las grietas para evitar el deterioro de los ladrillos pandereta.

Para la colocación del refuerzo, se comenzó cortando la malla para luego alinearla. Luego, con un cincel, se perforaron los ladrillos por donde pasan los conectores (alambres # 8) ubicados cada 450 mm, equivalente a tres veces la distancia (cocadas) entre nudos de la malla. Esos conectores se doblaron a 90° y se ataron a las dos mallas con alambre #16 como se muestra en Figura 6.29.



Figura 6.29. Colocación de la malla electrosoldada (Araoz y Velezmoro, 2012)

Después, se procedió a cerrar las perforaciones con una lechada de mortero de cemento y arena fina en proporción 1:3. Esta mezcla debió ser casi líquida para que pueda ingresar a todos los agujeros sin problema. El proceso de tarrajeo se comenzó fijando guías maestras, con el fin de controlar el grosor esperado (25 mm).

Luego, se echó la primera capa de mortero (cemento y arena fina en proporción 1:4) al muro con un badilejo como se muestra en la Figura 6.30 y, después, se lanzó otra capa de mortero, la cual fue enrasada con una regla. Eventualmente, se tuvo que espolvorear cemento seco y se dio el acabado final con una plancha, cortanto las rebabas con un badilejo.



Figura 6.30. Proceso constructivo del muro MRI-SCA-AV (Araoz y Velezmoro, 2012)

El ensayo de este muro tuvo el mismo procedimiento que el muro confinado sin refuerzo. Además, el muro fue 2.20 m de largo, 2.20 m de alto y 0.16 m de espesor. Los comentarios relacionados al muro confinado no reforzado sobre espesor de junta, relación cemento – arena del mortero, las medidas de columnas y vigas y disposición de los LVDT fueron los mismos para este muro MRI-SCA-AV. En la Figura 6.31, se muestra la curva de capacidad y los lazos histeréticos se muestran en la Figura 6.32.

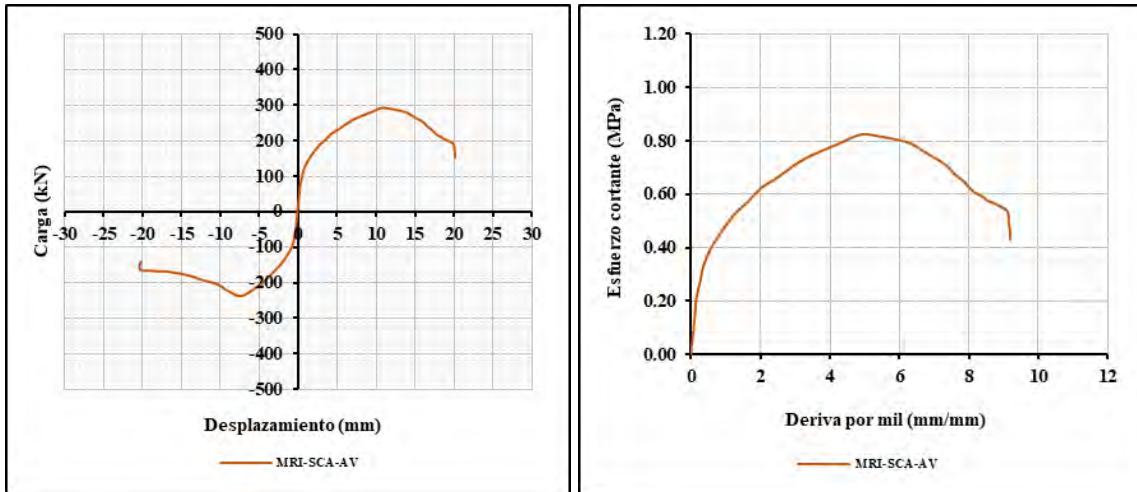


Figura 6.31. Curva de capacidad del muro MRI-SCA-AV (Araoz y Velezmoro, 2012)

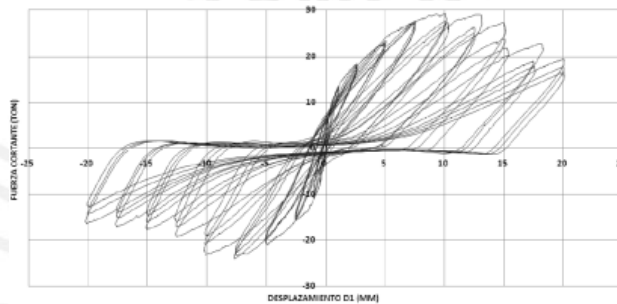


Figura 6.32. Lazos histeréticos del muro MRI-SCA-AV (Araoz y Velezmoro, 2012)

Araoz y Velezmoro (2012) afirmaron que el primer agrietamiento diagonal se produjo a una carga de 190 kN (19.78 tonf). Este valor correspondió al 66% de $V_{máxR}$; por lo tanto, se estableció que la fuerza de agrietamiento sea el 60% de la fuerza máxima registrada. Se muestran los resultados de interés en la Tabla 6.13.

Tabla 6.13. Resultados de interés del muro MRI-SCA-AV (Araoz y Velezmoro, 2012)

Resultado de interés	Valor	Resultado de interés	Valor
Fuerza de agrietamiento (kN)	175.0	Esfuerzo de agrietamiento (MPa)	0.5
Desplazamiento de agrietamiento (mm)	2.5	Deriva de agrietamiento por mil (mm/mm)	1.1
Fuerza máxima (kN)	290.0	Esfuerzo máximo (MPa)	0.8
Desplazamiento máximo (mm)	11.0	Deriva máxima por mil (mm/mm)	5.0
Fuerza última (kN)	235.0	Esfuerzo último (MPa)	0.7
Desplazamiento último (mm)	17.0	Deriva última por mil (mm/mm)	7.7

Con estos valores, se construyó la curva de capacidad simplificada como se aprecia en la Figura 6.33.

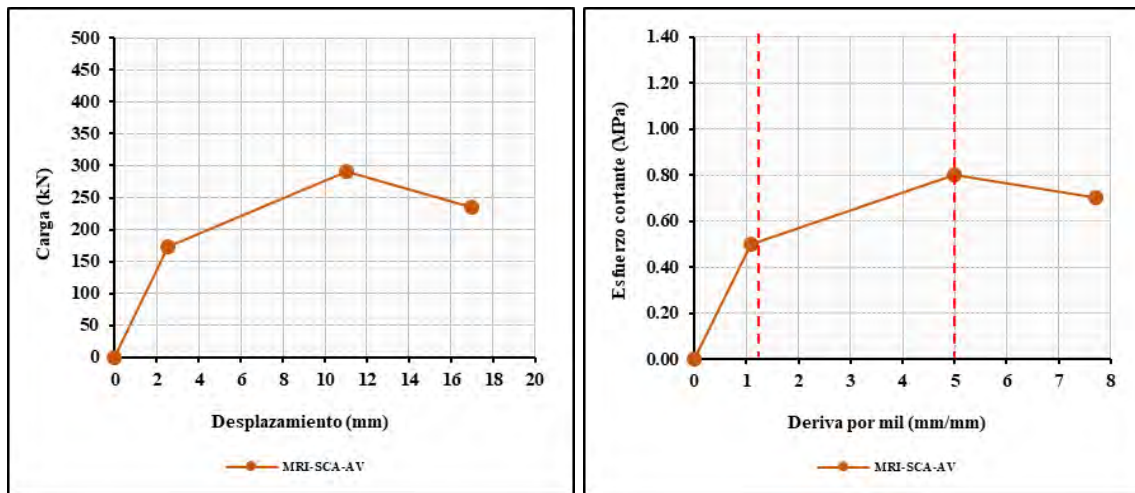


Figura 6.33. Curva de capacidad simplificada del muro MRI-SCA-AV (Araoz y Velezmoro, 2012)

Se puede comentar que se tiene un esfuerzo de agrietamiento de 0.50 MPa para una deriva de 1.1 por mil (91% de 1.25 por mil) y que la resistencia máxima se obtiene para una deriva de 5 por mil.

6. 3. 2. 2015: Mamani.

Se ensayaron dos muros: MRI-CCA-1-M y MRI-CCA-2-M. Estos muros fueron 2.20 m de largo, 2.20 m de alto y 0.16 m de espesor. Las juntas verticales y horizontales fueron de 15 mm. Asimismo, la malla electrosoldada fue de diámetro 6 mm, 150 mm de cocada y estuvo sujeta con alambre #8 cada 450 mm en ambas caras de la albañilería. La proporción del mortero empleado para las juntas y el tarrajeo fue de 1:4 (cemento – arena). A continuación, se muestran las dimensiones del muro en la Figura 6.34.

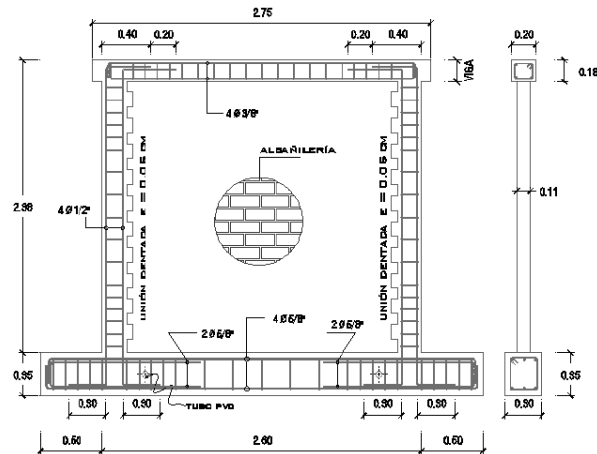


Figura 6.34. Esquema del muro a ensayar (Mamani, 2015)

El proceso de construcción se realizó con las mismas consideraciones de la realidad que es levantar, primero, el muro y, luego, confinar al muro con columnas de concreto armado. Se colocaron mallas a ambas caras de los muros y fueron interconectadas con alambre #8 doblado a 90°. Asimismo, la malla se conectó con las columnas y, con la finalidad de garantizar la continuidad como se muestra en la Figura 6.35, fue traslapada cada 200 mm y se sujetó en el perímetro extremo de las columnas. Se cerraron las perforaciones con una lechada de mortero con una relación cemento – arena 1:3.



Figura 6.35. Colocación y conexión de las mallas (Mamani, 2015)

Al final, se tarrajearon los muros con un mortero de relación cemento – arena de 1:4 y un espesor de 25 mm como se muestra en la Figura 6.36.



Figura 6.36. Tarrajeo del muro y las columnas (Mamani, 2015)

Es necesario detallar que las mallas solo cubrieron la albañilería y las columnas de confinamiento, pero no se conectaron a la viga solera ni a la viga de cimentación. El autor realizó esto con la intención de ver el efecto producido en las columnas al conectar todo con malla electrosoldada y tarrajar en todo su perímetro.

Ambos muros se sometieron a un ensayo de carga lateral cíclica con desplazamiento horizontal controlado junto con la aplicación de cargas axiales constantes (110 kN para el muro MRI-CCA-1-M y 160 kN para el muro MRI-CCA-2-M). Para estos ensayos, se colocaron 10 LVDT como se indica en la Figura 6.37 y cada LVDT registró lo siguiente:

- D1: desplazamiento lateral superior (viga solera)
- D2: desplazamiento vertical en tramo central del muro
- D3, D4: desplazamientos diagonales en la parte central del muro
- D5, D6: desplazamiento vertical en los talones de la columna
- D7, D8: desplazamiento horizontal en la conexión columna – albañilería
- D9: desplazamiento horizontal relativo entre columnas
- D10: desplazamiento del muro sobre la cimentación

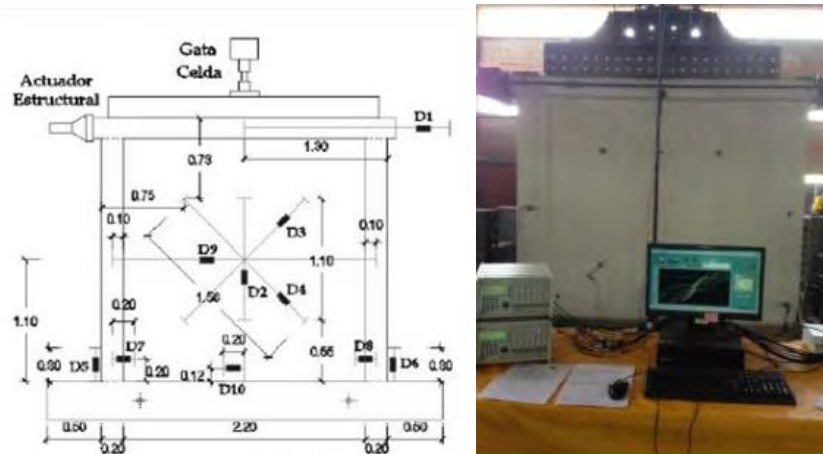


Figura 6.37. Ubicación de LVDT (Mamani, 2015)

Las fases del ensayo fueron 6 como se indica en la Tabla 6.14 y el número de ciclos fue variable para cada fase hasta estabilizar el lazo histerético Cortante – Desplazamiento D1.

Tabla 6.14. Características de las fases en el ensayo de carga cíclica (Mamani, 2015)

Fase	1	2	3	4	5	6
Nº de ciclos	1	2	3	3	3	3
D1 (mm)	1.0	2.5	5.0	10.0	15.0	20.0
Deriva por mil (mm/mm)	0.5	1.1	2.3	4.5	6.8	9.1

El ensayo se detuvo cada vez que apareció una grieta importante con la finalidad de registrar el instante asociado. El comportamiento que se visualizó en los muros según Mamani (2015) fue similar, con la variante de los niveles máximos de cargas que se alcanzaron y, además, se obtuvieron fisuras de hasta 1.3 mm como máximo en la albañilería, lo cual se debió a la malla colocada en su superficie fundamentalmente. A continuación, se muestran las curvas de capacidad de los muros en la Figura 6.38.

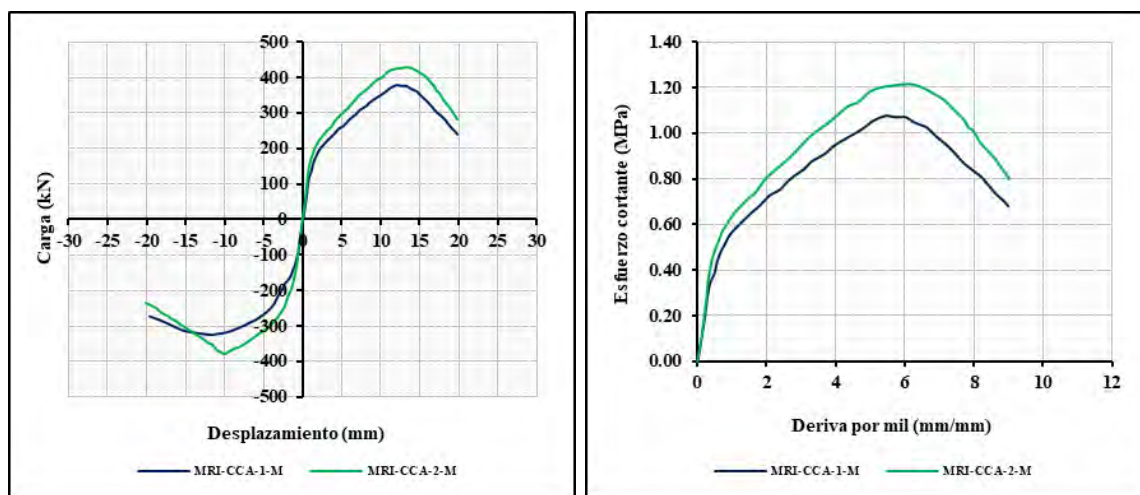


Figura 6.38. Curvas de capacidad de los muros reforzados con malla electrosoldada (Mamani, 2015)

La fuerza de agrietamiento diagonal se produjo a una fuerza de 360 kN (37.2 tonf) para el muro MRI-CCA-1-M y 415 kN (42.2 tonf) para el muro MRI-CCA-2-M. Estos valores corresponden a la fuerza máxima alcanzada; por lo tanto, se usó como fuerza de agrietamiento diagonal el 60% de la carga máxima obtenida. A partir de los resultados y comentarios en las fases del ensayo, se muestran los resultados de interés en la Tabla 6.15 y Tabla 6.16.

Tabla 6.15. Resultados de interés del muro MRI-CCA-1-M (Mamani, 2015)

Resultado de interés	Valor	Resultado de interés	Valor
Fuerza de agrietamiento (kN)	215.0	Esfuerzo de agrietamiento (MPa)	0.6
Desplazamiento de agrietamiento (mm)	3.0	Deriva de agrietamiento por mil (mm/mm)	1.4
Fuerza máxima (kN)	360.0	Esfuerzo máximo (MPa)	1.0
Desplazamiento máximo (mm)	12.0	Deriva máxima por mil (mm/mm)	5.5
Fuerza última (kN)	290.0	Esfuerzo último (MPa)	0.8
Desplazamiento último (mm)	18.0	Deriva última por mil (mm/mm)	8.1

Tabla 6.16. Resultados de interés del muro MRI-CCA-2-M (Mamani, 2015)

Resultado de interés	Valor	Resultado de interés	Valor
Fuerza de agrietamiento (kN)	245.0	Esfuerzo de agrietamiento (MPa)	0.7
Desplazamiento de agrietamiento (mm)	4.5	Deriva de agrietamiento por mil (mm/mm)	2.0
Fuerza máxima (kN)	415.0	Esfuerzo máximo (MPa)	1.2
Desplazamiento máximo (mm)	13.5	Deriva máxima por mil (mm/mm)	6.1
Fuerza última (kN)	335.0	Esfuerzo último (MPa)	0.9
Desplazamiento último (mm)	18.0	Deriva última por mil (mm/mm)	8.1

Con estos valores, se construyeron las curvas de capacidad simplificadas como se ve en la Figura 6.39.

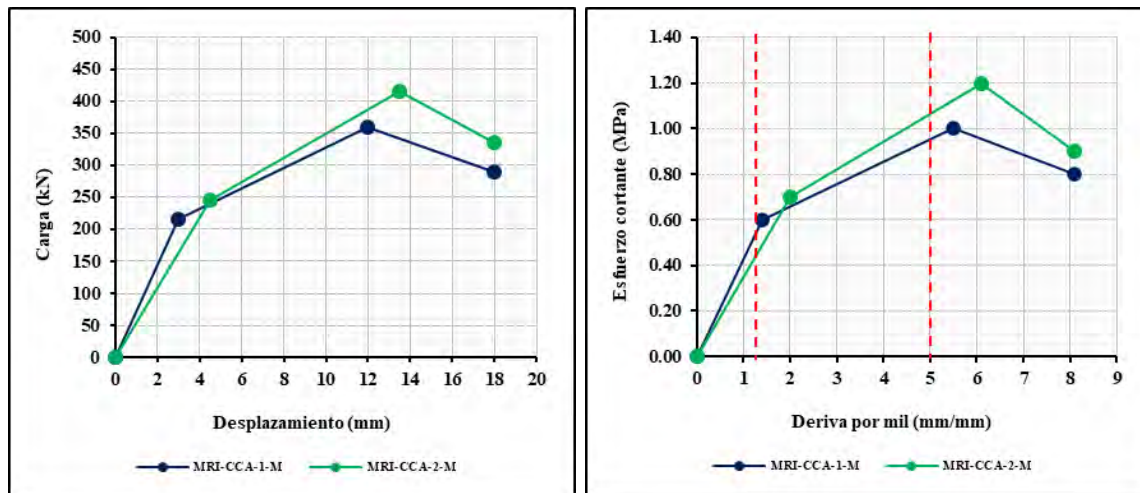


Figura 6.39. Curvas de capacidad simplificadas de los muros confinados reforzados (Mamani, 2015)

De la Figura 6.39, se puede apreciar que el esfuerzo de agrietamiento se obtuvo para un valor promedio de 0.65 MPa y las derivas por mil de agrietamiento fueron 1.1 (para el muro MRI-CCA-1-M) y 1.6 (para el muro MRI-CCA-2-M) mayores que 1.25 por mil. Asimismo, ambos muros cumplieron con la deriva máxima inelástica de 5 por mil.

6. 3. 3. 2017: Diaz et al.

Se tuvieron las mismas consideraciones que el muro MNRI-CCA-D y se le aplicó una carga de 100 kN también. El muro fue 2.40 m de largo, 2.50 m de alto y 0.156 m de espesor. Además, la malla electrosoldada se colocó en ambos lados del muro y se amarró a las columnas y vigas. Se tarrajearon los muros con una relación de cemento y arena de 1:4 con un espesor de 22.5 mm por ambos lados.

Esta malla electrosoldada de 100 mm x 100 mm y 4.2 mm de diámetro (Q-139) fue amarrada a los muros con un alambre de 1.65 mm de diámetro cada 200 mm. A continuación, en la Figura 6.40, se muestra la curva de capacidad obtenida mediante los picos de los ciclos de las repetidas amplitudes objetivo.

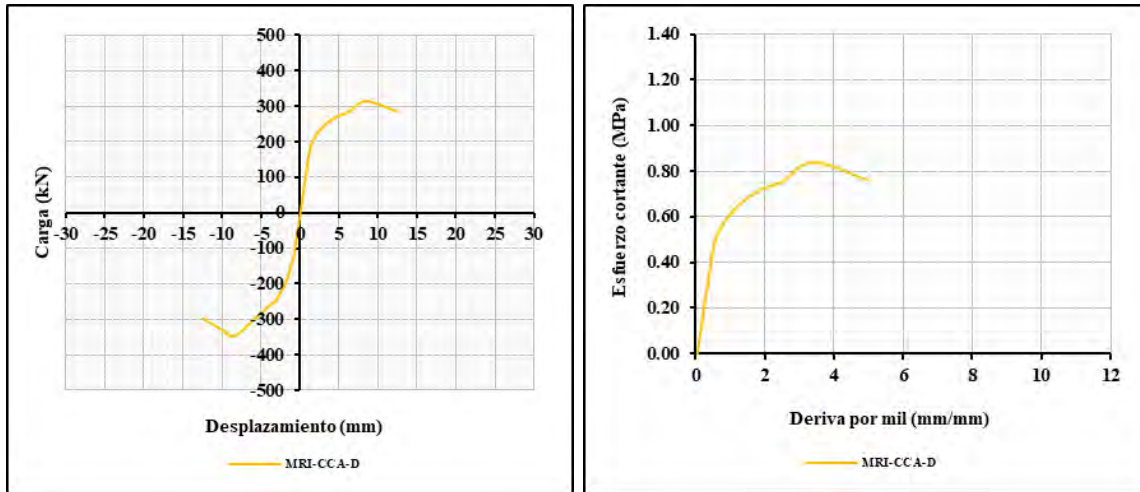


Figura 6.40. Curva de capacidad del muro MRI-CCA-D (Diaz et al., 2017)

A partir de los resultados, se determinaron los parámetros de interés como se muestran en la Tabla 6.17.

Tabla 6.17. Resultados de interés del muro MRI-CCA-D (Diaz et al., 2017)

Resultado de interés	Valor	Resultado de interés	Valor
Fuerza de agrietamiento (kN)	170.0	Esfuerzo de agrietamiento (MPa)	0.5
Desplazamiento de agrietamiento (mm)	1.5	Deriva de agrietamiento por mil (mm/mm)	0.6
Fuerza máxima (kN)	315.0	Esfuerzo máximo (MPa)	0.8
Desplazamiento máximo (mm)	8.5	Deriva máxima por mil (mm/mm)	3.4
Fuerza última (kN)	285.0	Esfuerzo último (MPa)	0.8
Desplazamiento último (mm)	12.5	Deriva última por mil (mm/mm)	5.0

Se consideró que la fuerza de agrietamiento se alcanzó para una fuerza de 170 kN. Este valor fue el 54% de la fuerza máxima obtenida; por lo tanto, este valor se consideró como Vm_R . Con los valores de la Tabla 6.17, se construye la curva de capacidad simplificada como se aprecia en la Figura 6.41.

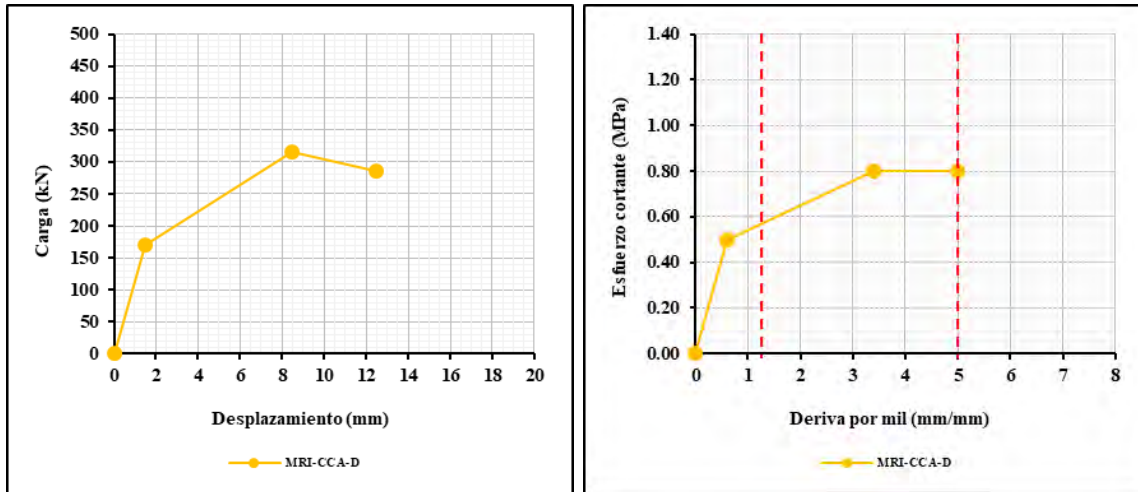


Figura 6.41. Curva de capacidad simplificada del muro MRI-CCA-D (Diaz et al., 2017)

De la Figura 6.41, se puede apreciar que el valor de deriva por mil de agrietamiento obtenida es el 48% de 1.25 por mil. También, se cumple con la deriva máxima inelástica de 5 por mil.

Comentarios sobre los muros reforzados y no reforzados sin carga axial

Se presentan los resultados de los especímenes ensayados en la Tabla 6.18.

Tabla 6.18. Cuadro comparativo de los muros confinados de ladrillo industrial pandereta sin carga axial

Características y parámetros de interés	MNRI-SCA-AV	MNRI-SCA-C	MRI-SCA-AV
Autor	Araoz y Velezmore (2012)	CISMID (2017a y 2017b)	Araoz y Velezmore (2012)
Espesor de junta en muro (mm)	15	15	15
Relación cemento – arena (mortero)	1:4	1:6	1:4
Área de corte del muro (m ²)	0.242	0.286	0.352
$f'c$ (MPa)	5.5	3.5	5.5
Esfuerzo de agrietamiento (MPa)	0.4	0.1	0.5
Deriva de agrietamiento por mil (mm/mm)	0.5	0.2	1.1
Esfuerzo máximo (MPa)	0.6	0.2	0.8
Deriva máxima por mil (mm/mm)	2.7	3.6	5.0
Deriva última por mil (mm/mm)	5.4	6.8	7.7

Comparando el muro MRI-SCA-AV y el muro MNRI-SCA-AV, se puede apreciar un incremento de 1.25 veces en el esfuerzo de agrietamiento, 2.2 veces en la deriva de

agrietamiento por mil y 1.33 veces en el esfuerzo máximo por el uso de malla electrosoldada. Asimismo, se tiene un incremento en la deriva máxima por mil de 1.85 veces debido al refuerzo del muro.

Del muro sin carga axial y no reforzado del CISMID (2017b) se obtuvo la quinta parte del esfuerzo de agrietamiento obtenido del muro reforzado de Araoz y Velezmore (2012). Además, la deriva de agrietamiento por mil del muro MRI-SCA-AV es 5.5 veces mayor respecto del valor obtenido del muro no reforzado sin carga axial del CISMID (2017b).

Se presenta la Figura 6.42 en la cual se muestran las curvas de capacidad simplificadas de los muros no reforzados sin carga axial.

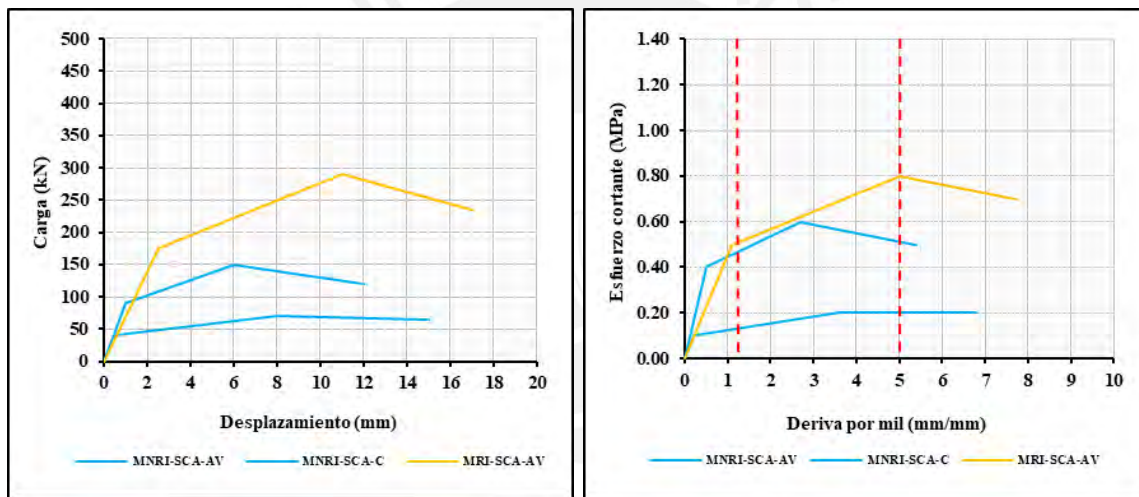


Figura 6.42. Curvas de capacidad simplificadas de los muros confinados de ladrillo pandereta sin carga axial

Comentarios sobre los muros reforzados con carga axial

Se presentan los resultados de los especímenes en la Tabla 6.19.

Tabla 6.19. Cuadro comparativo de los muros confinados reforzados de ladrillo industrial pandereta con carga axial

Características y parámetros de interés	MRI-CCA-D	MRI-CCA-1-M	MNRI-CCA-2-M
Autor	Diaz et al. (2017)		Mamani (2015)
Espesor de junta en muro (mm)	No precisa.		15
Relación cemento – arena mortero	No precisa.		1:4
Área de corte del muro (m ²)	0.374		0.352
$f'b$ (MPa)	No precisa.		5.6
Esfuerzo de agrietamiento (MPa)	0.5	0.6	0.7
Deriva de agrietamiento por mil (mm/mm)	0.6	1.4	2.0
Esfuerzo máximo (MPa)	0.8	1.0	1.2
Deriva máxima por mil (mm/mm)	3.4	5.5	6.1
Deriva última por mil (mm/mm)	5.0	8.1	8.1
Carga axial (kN)	100.00	110.00	160.00

Al comparar los muros MRI-CCA-D, MRI-CCA-1-M y MRI-CCA-2-M, se puede ver que la deriva última del muro MRI-CCA-1-M y MRI-CCA-2-M es 1.6 veces el valor obtenido del muro MRI-CCA-D. Se tiene que el esfuerzo de agrietamiento promedio es 0.60 MPa en la comparación de los tres muros. Se aprecia un incremento en los esfuerzos y derivas, conforme se aumenta la carga axial. A su vez, se puede ver que todos los muros reforzados exteriormente con malla electrosoldada por ambas caras del muro cumplen con la deriva máxima inelástica de 5 por mil. En la Figura 6.43, se muestran las curvas de capacidad simplificadas.

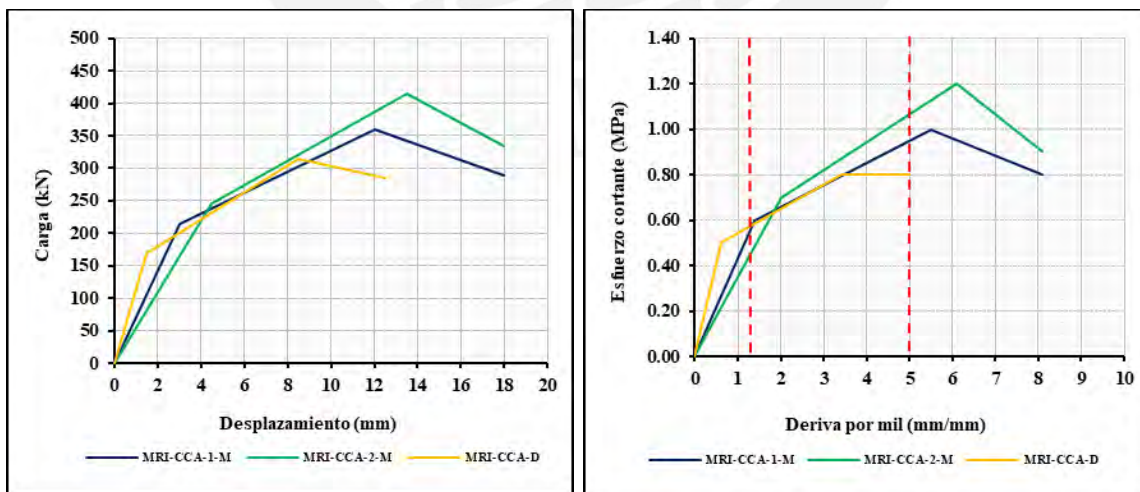


Figura 6.43. Curvas de capacidad simplificadas de los muros confinados reforzados de ladrillo pandereta con carga axial

Comentarios sobre los muros reforzados y no reforzados con carga axial

Se presentan las curvas de capacidad simplificadas de los muros confinados en la Figura 6.44.

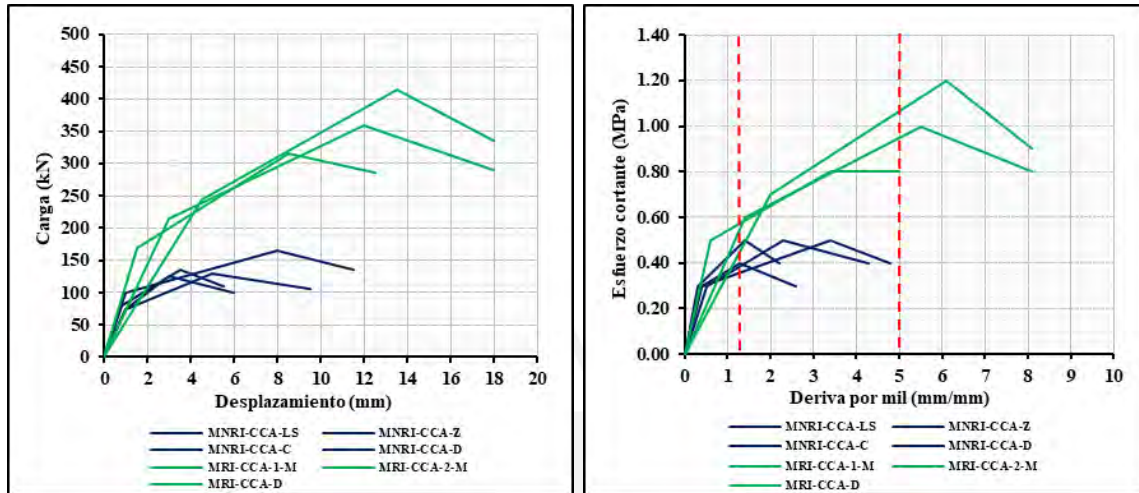


Figura 6.44. Curvas de capacidad simplificadas de los muros de ladrillo pandereta sometidos a carga axial

Cuando se refuerzan los muros por ambas caras, se llega a tener el doble de esfuerzo de agrietamiento y esfuerzo máximo en promedio. Además, se puede llegar a tener una deriva de agrietamiento de 1.25 por mil en promedio cuando los muros están reforzados. Por lo tanto, se puede concluir que el refuerzo de malla electrosoldada eleva la rigidez, la resistencia y la capacidad de llegar a derivas inelásticas mayores a 5 por mil.

Capítulo 7. Modelo elastoplástico para estimar la capacidad a corte de los muros de ladrillo pandereta

Se presentan las correlaciones entre prismas y unidades con la finalidad de estimar resistencias preliminarmente. Asimismo, se proponen modelos elastoplásticos para la estimación de la capacidad por corte de muros de ladrillo pandereta con y sin refuerzo sísmico exterior.

La NTE E.070 Albañilería (2006) y la propuesta de la NTE E.070 Albañilería (2020) establecen la siguiente correlación 7.1 para estimar la capacidad a corte de los muros de albañilería de unidades de arcilla:

$$V_m = 0.50 \cdot v'_m \cdot \alpha \cdot A_c + 0.23 \cdot P_g \quad 7.1$$

Asimismo, como se muestra en San Bartolomé (1983), se tuvo en cuenta lo siguiente:

- **Pilas y muretes.** Para determinar la resistencia a rotura, se considera la carga que origina el agrietamiento mayor visible. Por lo general, es la carga máxima registrada durante el ensayo.
- **Muros.** Para efectos de determinación de los modelos, se considera que el subíndice m (relacionado a la fuerza V_m) está asociado al agrietamiento diagonal del muro con una elevada degradación de resistencia y rigidez lateral. El punto donde se alcanza la fuerza V_m no corresponde a aquella que produce la rotura del muro.

San Bartolomé (1983) realizó una correlación de resultados entre la resistencia al corte de los muros y los prismas de albañilería. Se graficaron los valores de la resistencia al corte correspondientes al agrietamiento diagonal de los muros versus las resistencias características de los prismas. De esta manera, se estableció una correlación entre la capacidad a corte de los muros y los prismas de albañilería de arcilla como se muestra en la correlación 7.2.

$$\frac{V_m}{Ac} = 0.56 \cdot v'm = 0.56 \sqrt{f'm} \quad (\text{en kgf/cm}^2) \quad 7.2$$

Para muros de ladrillo de arcilla sometidos a carga axial, Echevarría y San Bartolomé (1985) obtuvieron la capacidad de corte (V_m) relacionando linealmente la carga lateral asociada al primer agrietamiento diagonal versus la carga axial (P_g). Con esto, se obtuvo la siguiente correlación 7.3.

$$V_m = 0.56 \cdot \sqrt{f'm} \cdot Ac + 0.23 \cdot P_g \quad 7.3$$

Se señaló que el factor 0.23 fue comparable contra el que se obtuvo en placas de concreto armado (Reglamento ACI-83). Esto se pudo deber posiblemente al tipo de falla de tracción diagonal.

Todas las investigaciones mencionadas anteriormente se realizaron en unidades de arcilla usadas en muros portantes (unidades sólidas). Además, ya que hasta la fecha no se han realizado ensayos de esbeltez para muros de ladrillo pandereta, se consideró que el factor de reducción de resistencia al corte por efectos de esbeltez (α) sea el de la propuesta NTE E.070 Albañilería (2020) para muros de ladrillo pandereta, como se muestra en la correlación 7.4.

$$\frac{1}{3} \leq \alpha = \frac{L}{0.8H} \leq 1 \quad 7.4$$

Asimismo, debido a la reducida cantidad de ensayos de muros de ladrillo pandereta presentados en el Capítulo 6, se propuso considerar que el aporte de la carga axial en el modelo elastoplástico sea 0.23 veces la carga gravitacional en servicio con sobrecarga reducida (P_g) como se indica en la NTE E.070 Albañilería (2006).

7. 1. Albañilería confinada de ladrillo pandereta sin refuerzo exterior

Se presentan dos secciones, la primera sobre las correlaciones obtenidas entre unidades y prismas y la segunda sobre el modelo elastoplástico preliminar.

7. 1. 1. Correlaciones propuestas para prismas sin refuerzo exterior.

Antes de establecer la propuesta de modelo elastoplástico, se correlacionaron los valores de interés de todas las investigaciones obtenidas de especímenes no reforzados. La propuesta de la NTE E.070 Albañilería (2020) y la NTE E.070 Albañilería (2006) proponen la siguiente ecuación 7.5:

$$v'm \leq 0.319\sqrt{f'm} \quad 7.5$$

Los comentarios de la NTC Mampostería (2020) establecen que la resistencia a compresión diagonal de unidades, que no son ladrillos pandereta, puede estimarse a partir de la resistencia a compresión cuando no se cuenta con determinaciones directas de esta propiedad como se aprecia en la ecuación 7.6.

$$v'm = 0.18\sqrt{f'm} \quad 7.6$$

A lo largo de las correlaciones entre unidades, prismas y muros, se considera que la ratio es el cociente entre el valor estimado y el valor obtenido experimentalmente y, además, se considera que la ratio es mejor si es que es menor que uno o cercano a uno. Se tiene en cuenta que el valor de R^2 es más confiable si es que se acerca a la unidad y este valor es usado únicamente en regresiones lineales simples.

La razón por la cual se tuvieron que estimar otros valores fue por la elaboración del modelo elastoplástico para estimar la capacidad por corte. Esto significa que, con la finalidad de tener datos de interés de manera adicional para poder estimar la resistencia al corte de muros de ladrillo pandereta, se correlacionaron propiedades de prismas y unidades.

Considerando lo anterior, se pudo obtener estas correlaciones: la correlación 7.7 con un R^2 de 0.91, la correlación 7.8 con un R^2 de 0.93, la correlación 7.9 con un R^2 de 0.001 y la correlación 7.10 con un R^2 de 0.0001.

$$v'm = 0.40f'm \quad 7.7$$

$$v'm = 0.50\sqrt{f'm} \quad 7.8$$

$$v'm = 0.70 + 0.018f'm \quad 7.9$$

$$v'm = 0.70 + 0.015\sqrt{f'm} \quad 7.10$$

Para fines comparativos, se consideran las ecuaciones 7.7 y 7.8 donde no se presenta constante alguna. Esto está de acuerdo con lo presentado en la propuesta de la NTE E.070 Albañilería (2020), la NTE E.070 Albañilería (2006) y los comentarios de la NTC Mampostería (2020). Es decir, se compara únicamente la correlación 7.7 y 7.8 y se muestran las estimaciones y las investigaciones empleadas en la Tabla 7.1.

Tabla 7.1. Resumen de correlaciones 7.7 y 7.8

Investigación	$f'm$ (MPa)	$\sqrt{f'm}$	$v'm$ (MPa)	$v'm$ estimado 7.7 (MPa)	$v'm$ estimado 7.8 (MPa)	Ratio 7.7	Ratio 7.8
Lazares y Salinas (2007)	2.20	1.48	0.70	0.88	0.74	1.26	1.06
Araoz y Velezmore (2012)	2.30	1.52	0.90	0.92	0.76	1.02	0.84
Sáenz (2016)	1.30	1.14	0.90	0.52	0.57	0.58	0.63
CISMID (2017)	1.70	1.30	0.40	0.68	0.65	1.70	1.63
Bazalar y Espinoza (2020)	1.80	1.34	0.90	0.72	0.67	0.80	0.75

Se puede apreciar que ambas comparaciones son buenas debido a la ratio y al valor de R^2 ; sin embargo, se escoge la correlación 7.8 para seguir con el formato de raíz cuadrada sin constante propuesto en la NTE E.070 Albañilería (2020), la NTE E.070 Albañilería (2006) y los comentarios de la NTC Mampostería (2020). Además de esta decisión, no se considera el dato de la investigación del CISMID (2017) ya que es un valor alejado de las demás investigaciones.

Por lo tanto, se obtuvieron otras dos correlaciones: la correlación 7.11 con un R^2 de 0.97 y la correlación 7.12 con un R^2 de 0.19. Se comparan los resultados en la Tabla 7.2.

$$v'm = 0.60\sqrt{f'm} \quad 7.11$$

$$v'm = 1.20 - 0.25\sqrt{f'm} \quad 7.12$$

Tabla 7.2. Resumen de correlaciones 7.11 y 7.12

Investigación	$f'm$ (MPa)	$\sqrt{f'm}$	$v'm$ (MPa)	$v'm$ estimado 7.11 (MPa)	$v'm$ estimado 7.12 (MPa)	Ratio 7.11	Ratio 7.12
Lazares y Salinas (2007)	2.20	1.48	0.70	0.89	0.83	1.27	1.18
Araoz y Velezmoro (2012)	2.30	1.52	0.90	0.91	0.82	1.01	0.91
Sáenz (2016)	1.30	1.14	0.90	0.68	0.91	0.76	1.02
Bazalar y Espinoza (2020)	1.80	1.34	0.90	0.80	0.86	0.89	0.96

A pesar de que tuvieron ratios similares ambas correlaciones, se escogió la correlación 7.11 ya que tiene un mejor ajuste en comparación a la correlación 7.12. Asimismo, se consideró el formato de raíz cuadrada sin constante propuesto en la NTE E.070 Albañilería (2020), la NTE E.070 (2006) y los comentarios de la NTC Mampostería (2020). Esto significa que se utilizó la correlación 7.11 para estimar valores que no se obtuvieron en otras investigaciones.

Asimismo, se correlacionaron los valores de $f'm$ y $f'b$ de las investigaciones como se presentan en la Tabla 7.3 y la Tabla 7.4. Se obtuvieron otras cuatro correlaciones: la correlación 7.13 con un R^2 de 0.97, la correlación 7.14 con un R^2 de 1.00, la correlación 7.15 con un R^2 de 0.96 y la correlación 7.16 con un R^2 de 1.00.

$$f'm = 0.45f'b \quad 7.13$$

$$f'm = 2.00 + 0.05f'b \quad 7.14$$

$$\sqrt{f'm} = 0.30f'b \quad 7.15$$

$$\sqrt{f'm} = 1.40 + 0.01f'b \quad 7.16$$

Tabla 7.3. Resumen de correlaciones 7.13 y 7.14

Investigación	$f'b$ (MPa)	$f'm$ (MPa)	$f'm$ estimado 7.13 (MPa)	$f'm$ estimado 7.14 (MPa)	Ratio 7.13	Ratio 7.14
Lazares y Salinas (2007)	3.50	2.20	1.58	2.18	0.72	0.99
Araoz y Velezmoro (2012)	5.50	2.30	2.48	2.12	1.08	0.92

Tabla 7.4. Resumen de correlaciones 7.15 y 7.16

Investigación	$f'b$ (MPa)	$\sqrt{f'm}$	$\sqrt{f'm}$ estimado 7.15	$\sqrt{f'm}$ estimado 7.16	Ratio 7.15	Ratio 7.16
Lazares y Salinas (2007)	3.50	1.48	1.05	1.44	0.71	0.97
Araoz y Velezmoro (2012)	5.50	1.52	1.65	1.645	1.09	0.96

Se puede comentar que las correlaciones que tienen constante tienen mejor ajuste y ratio porque se tienen solo dos puntos que se unen con una recta directamente. Sin embargo, el hecho de que se tenga solo dos valores no es suficiente para afirmar que estas correlaciones son las adecuadas para estimar el valor de $f'm$ partiendo de $f'b$. Por lo tanto, de manera preliminar, se decidió optar por la correlación 7.13 que no tiene constante. También, se definió la correlación alterna 7.17 que tuvo un R^2 de 0.96 y se utilizó únicamente en las investigaciones en las cuales no se realizaron ensayos de $f'b$.

$$f'b = 2.00f'm \quad 7.17$$

Se presenta la Tabla 7.5 con todas las investigaciones y las celdas que fueron completadas con las correlaciones 7.11, 7.13 y 7.17. Es necesario resaltar que el autor decidió no considerar la investigación del CISMID (2017a) debido al valor bajo de $v'm$.

Tabla 7.5. Valores obtenidos experimentalmente y con las correlaciones 7.11, 7.13 y 7.17

Investigación	$f'b$ (MPa)	$f'm$ (MPa)	$v'm$ (MPa)
Lazares y Salinas (2007)	3.50	2.20	0.70
Araoz y Velezmoro (2012)	5.50	2.30	0.90
Zavala et al. (2014)	* 6.00	3.00	* 1.00
Sáenz (2016)	* 2.60	1.30	0.90
Díaz (2017)	* 4.40	2.20	* 0.80
Cevallos y Díaz (2018)	6.00	* 2.70	0.90
Bazalar y Espinoza (2020)	* 3.60	1.80	0.90

*: Valores estimados por correlaciones

7.1.2. Modelo elastoplástico preliminar para muros de ladrillo pandereta sin refuerzo sísmico exterior.

Se determinó el modelo elastoplástico preliminar para este tipo de muros con la información obtenida en la sección 6.2 de esta tesis y los valores de la Tabla 7.5. En la Tabla 7.6, se presentan los resultados de interés para la elaboración del modelo. Es relevante recordar que se emplearon los comentarios establecidos al inicio del capítulo sobre el valor de α y la fuerza V_m .

Tabla 7.6. Resultados de interés para el modelo elastoplástico de muros de ladrillo pandereta sin refuerzo sísmico exterior

Muros	P_g (kN)	V_m (kN)	α	$v'm$ (MPa)	$v'm \cdot Ac \cdot \alpha$ (kN)
MNRI-CCA-D	100.00	80.00	1.20	1.00	* 0.80 211.20
MNRI-CCA-LS	118.40	100.00	1.40	1.00	0.70 222.60
MNRI-CCA-Z	200.00	75.00	1.30	1.00	* 1.00 288.00

*: Valores estimados por correlaciones

Se decidió adoptar un coeficiente de 0.23 para el aporte de la carga axial como lo indica la NTE Albañilería E.070 (2006). Asimismo, a través de una regresión simple, se obtuvo el coeficiente correspondiente al primer sumando.

$$V_m = 0.20 \cdot v'm \cdot \alpha \cdot Ac + 0.23 \cdot P_g \quad 7.18$$

En base a lo mostrado en la Tabla 7.6, se obtuvo la correlación 7.18 con un valor de R^2 de 0.81. Se muestran los valores estimados de V_m en la Tabla 7.7.

Tabla 7.7. Resultados obtenidos con la correlación 7.18

Muros	V_m (kN)	V_m estimado 7.18 (kN)	Ratio 7.18
MNRI-CCA-D	80.00	65.24	0.82
MNRI-CCA-LS	100.00	71.75	0.72
MNRI-CCA-Z	75.00	103.60	1.38

Se puede apreciar que la estimación es preliminarmente aceptable por las ratios obtenidos y el valor de R^2 . Se debe considerar que el ratio del muro MNRI-CCA-Z es un poco mayor; sin embargo, debido a los pocos ensayos experimentales hasta la fecha, se considera esta correlación para el modelo elastoplástico. Asimismo, se tuvo en cuenta lo siguiente:

- CISMID (2017b) recomendó limitar la deriva máxima inelástica a 2.2 mil para muros de ladrillo pandereta.
- Se aprecia que la deriva de agrietamiento ocurre a un valor de 0.4 por mil aproximadamente en la Figura 7.1.

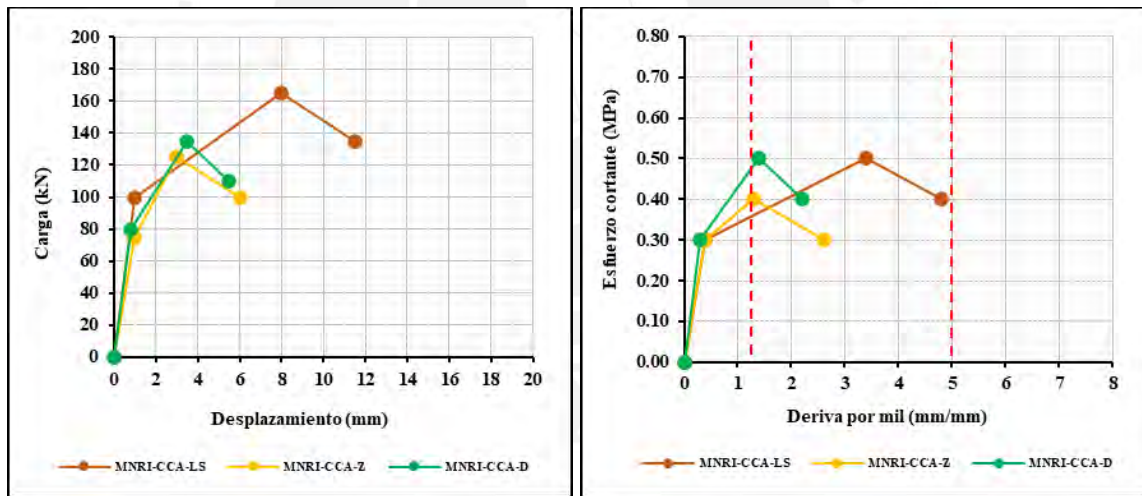


Figura 7.1. Curvas de capacidad simplificadas de muros confinados de ladrillo pandereta no reforzados con carga axial empleados para el modelo elastoplástico

Por lo tanto, se presenta el modelo elastoplástico propuesto preliminar para la estimación de la capacidad por corte de muros de ladrillo pandereta sin refuerzo sísmico exterior considerando las correlaciones 4.1, 5.1 y 7.18 como se muestra en la Figura 7.2. Asimismo, se establece que $\sigma = \frac{Pg}{tL} = \frac{Pg}{Ac}$.

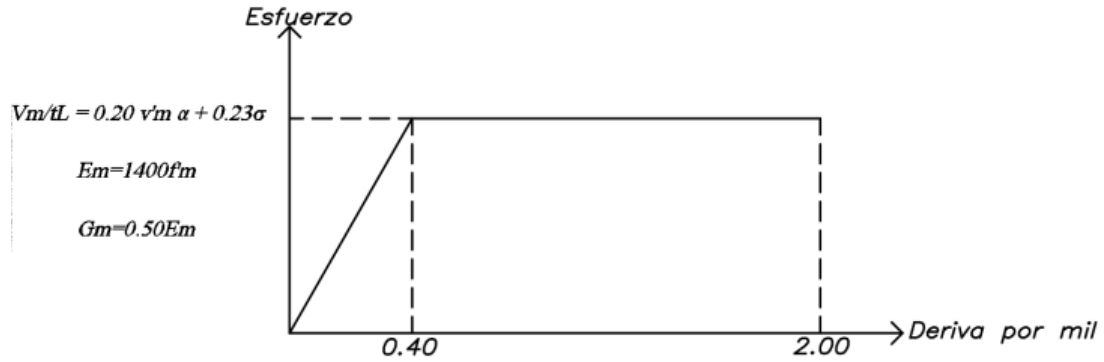


Figura 7.2. Modelo elastoplástico preliminar propuesto para muros de ladrillo pandereta sin refuerzo sísmico exterior

7. 2. Albañilería confinada de ladrillo pandereta con refuerzo exterior

Al igual que la sección anterior, se correlacionaron los valores de $f'b$, $f'm_R$ y $v'm_R$. Asimismo, se planteó un modelo elastoplástico preliminar para la estimación de la capacidad por corte de muros de ladrillo pandereta reforzados exteriormente con malla electrosoldada por ambas caras.

7. 2. 1. Correlaciones propuestas para prismas con refuerzo exterior.

Se realizaron correlaciones teniendo como referencia el formato obtenido en 7.11 y 7.13. La correlación 7.19 entre $f'm_R$ y $v'm_R$ tuvo un valor de R^2 de 1.00 y, en la Tabla 7.8, se muestran los resultados obtenidos.

$$v'm_R = 0.60\sqrt{f'm_R} \quad 7.19$$

Tabla 7.8. Resumen de la correlación 7.19

Investigación	$f'm_R$ (MPa)	$\sqrt{f'm_R}$	$v'm_R$ (MPa)	$v'm_R$ estimado 7.19 (MPa)	Ratio 7.19
Mamani (2015)	2.70	1.64	0.90	0.99	1.10
Bazalar y Espinoza (2020)	1.70	1.30	0.80	0.78	0.98

La correlación 7.19 tiene el mismo coeficiente de 0.60 que acompaña a $\sqrt{f'm_R}$ como en la correlación 7.11. Esto se debe a que se tuvieron valores de $v'm_R$ similares a los valores de

$v'm$. También, se correlacionó el valor de $f'm_R$ y $f'b$ con un valor de R^2 de 1, tal como se hizo en la correlación 7.13.

$$f'm_R = 0.50f'b \quad 7.20$$

Con la correlación 7.20, se muestran los resultados en la Tabla 7.9 y se complementa la información de Cevallos y Diaz (2018).

Tabla 7.9. Resumen de la correlación 7.20

Investigación	$f'b$ (MPa)	$f'm_R$ (MPa)	$v'm_R$ (MPa)	$f'm_R$ estimado 7.20 (MPa)	Ratio 7.20
Mamani (2015)	5.60	2.70	0.90	2.80	1.04
Bazalar y Espinoza (2020)	* 3.60	1.70	0.80	1.80	1.06
Cevallos y Diaz (2018)	6.00	---	0.90	* 3.00	---

*: Valores estimados por correlaciones

El valor de $f'm_R$ partiendo de $f'b$ es muy similar a la relación entre $f'm$ y $f'b$. Probablemente, esto se pudo obtener debido a que el refuerzo de las pilas con malla electrosoldada solamente tiene incidencia en garantizar una falla dúctil y progresiva, mas no un incremento notorio en el valor de resistencia a compresión axial.

Se muestra la Tabla 7.10 con los valores de $f'm$ y $f'm_R$ obtenidos experimentalmente.

Tabla 7.10. Resumen de resistencias características a compresión axial

Investigación	Valor (MPa)	Resistencia
Lazares y Salinas (2007)	2.20	$f'm$
Araoz y Velezmoro (2012)	2.30	
Zavala et al. (2014)	3.00	
Sáenz (2016)	1.30	
Diaz et al. (2017)	2.20	
Bazalar y Espinoza (2020)	1.80	$f'm_R$
Mamani (2015)	2.70	
Bazalar y Espinoza (2020)	1.70	

El promedio de $f'm$ fue 2.13 MPa y el promedio de $f'm_R$ fue 2.20 MPa, lo que significa que, aproximadamente, el refuerzo de pilas incrementa 1.03 veces más la resistencia. Por lo tanto, se puede concluir preliminarmente que no tiene relevancia en el incremento de resistencia y que solo se garantiza evitar una falla frágil cuando se refuerzan las pilas.

Asimismo, en la Tabla 7.11, se realiza la comparación entre los valores de $v'm$ y $v'm_R$ obtenidos experimentalmente.

Tabla 7.11. Resumen de resistencias características a corte puro

Investigación	Valor (MPa)	Resistencia
Lazares y Salinas (2007)	0.70	
Araoz y Velezmoro (2012)	0.90	$v'm$
Sáenz (2016)	0.90	
Bazalar y Espinoza (2020)	0.90	
Mamani (2015)	0.90	
Cevallos y Diaz (2018)	0.90	$v'm_R$
Bazalar y Espinoza (2020)	0.80	

De manera preliminar, el promedio de $v'm$ fue 0.85 MPa y el promedio de $v'm_R$ fue 0.87 MPa, lo que significa que, aproximadamente, el refuerzo de muretes incrementa 1.02 veces más la resistencia. Además, el valor de $v'm_R$ y $v'm$ son difíciles de obtener experimentalmente, debido a problemas con el capping en la zona de aplicación de carga (Mamani, 2015). Por eso, se sugiere tener sumo cuidado al realizar ensayos experimentales de muretes, ya que no se logra obtener el valor de $v'm_R$ real experimentalmente.

7.2.2. Modelo elastoplástico preliminar para muros de ladrillo pandereta con refuerzo sísmico exterior.

Se procedió a establecer el modelo elastoplástico para muros de ladrillo pandereta reforzado con malla electrosoldada por ambas caras y, para esto, se propuso emplear datos de ensayos de muros reforzados con carga axial. Se consideró que el aporte de la carga axial (Pg) tenga un coeficiente de 0.23. Asimismo, se decidió escoger únicamente el muro reforzado sometido a menor carga axial (MRI-CCA-1-M) de la investigación de Mamani (2015). Esto último se optó ya que se obtuvieron menores valores de resistencia en comparación al muro MRI-CCA-2-M que estaba sometido a mayor carga axial; es decir, fue una decisión conservadora.

Se presenta la Tabla 7.12 con los valores necesarios para proponer el modelo elastoplástico de muros de ladrillo pandereta reforzados.

Tabla 7.12. Resultados de interés para el modelo elastoplástico de muros de ladrillo pandereta con refuerzo sísmico exterior

Muros	Pg (kN)	Vm_R (kN)	α		$v'm_R$ (MPa)	$v'm_R \cdot Ac \cdot \alpha$ (kN)
MRI-CCA-D	100.00	170.00	1.20	1.00	* 0.89	333.19
MRI-CCA-1-M	110.00	215.00	1.25	1.00	0.90	316.80

*: Valor estimado por correlación

Con estos datos, se obtiene la siguiente correlación 7.21 del modelo elastoplástico para la estimación de la capacidad por corte de muros reforzados con malla electrosoldada por ambas caras con un valor de R^2 de 0.98.

$$Vm_R = 0.50 \cdot v'm_R \cdot \alpha \cdot Ac + 0.23 \cdot Pg \quad 7.21$$

Se muestran los resultados estimados según la correlación 7.21 en la Tabla 7.13.

Tabla 7.13. Resultados obtenidos con la correlación 7.21

Muros	Vm_R (kN)	Vm_R estimado 7.21 (MPa)	Ratio 7.21
MRI-CCA-D	170.00	189.60	1.12
MNRI-CCA-1-M	215.00	183.70	0.85

Se consideró que, debido a la poca cantidad de investigaciones, se decide mantener que el fin del comportamiento inelástico comienza en la deriva de 1.25 por mil. Asimismo, en la Figura 7.3, se muestra el límite alcanzado en las investigaciones empleadas para establecer la correlación 7.21, que resultó ser cercano a 1.25 por mil.

También, se puede comentar que los muros reforzados por ambas caras cumplen con la deriva máxima inelástica de la NTE E.030 Diseño Sismorresistente (2018).

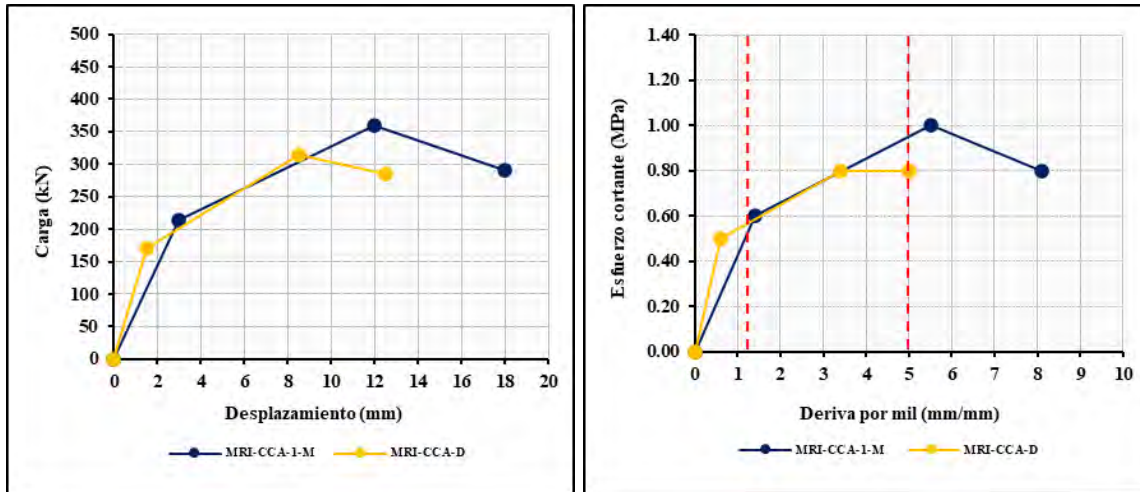


Figura 7.3. Curvas de capacidad simplificadas de muros confinados de ladrillo industrial pandereta reforzados con carga axial empleados para el modelo elastoplástico

Por lo tanto, se presenta el modelo elastoplástico propuesto preliminar para la estimación de la capacidad por corte muros de ladrillo pandereta con refuerzo sísmico exterior de malla electrosoldada considerando las correlaciones 4.2, 5.2 y 7.21 como se muestra en la Figura 7.4.

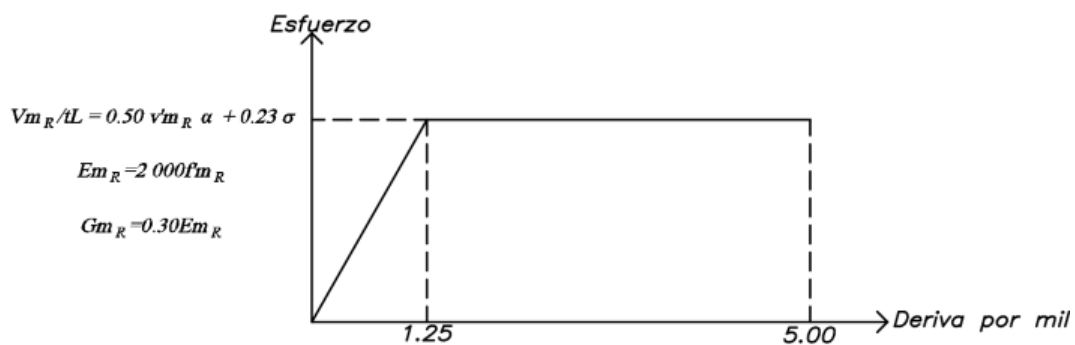


Figura 7.4. Modelo elastoplástico preliminar propuesto para muros de ladrillo pandereta con refuerzo sísmico exterior

Este modelo planteado considera que la capacidad por corte de los muros de ladrillo pandereta se incrementa si es que se refuerzan. Sin embargo, no se garantiza que tenga el mismo comportamiento a una deriva de 5 por mil que un muro de ladrillo sólido o hueco reforzado exteriormente, ya que las unidades de ladrillo pandereta son mucho más frágiles que las unidades sólidas.

Capítulo 8. Conclusiones y planteamiento de línea de investigación y refuerzo en el Perú

Se presentan las conclusiones y las futuras líneas de investigación relacionadas a muros de ladrillo pandereta.

8. 1. Conclusiones

Se muestran las conclusiones relevantes de todos los capítulos de la tesis.

1. Según lo que expresan Mamani (2015) y Bazalar y Espinoza (2020), se logra pasar de una falla frágil o abrupta a una falla dúctil y progresiva cuando se refuerzan las pilas. Además, si es que se refuerzan las pilas, la resistencia característica a compresión axial tiene un pequeño incremento de aproximadamente 1.03 veces en promedio. En otras palabras, el incremento es mínimo y solamente se logra cambiar el tipo de falla.
2. Se pudo corroborar que el efecto de llave entre los huecos de las unidades tubulares fue el responsable del incremento de resistencia característica a corte puro de muretes no reforzados, como se aprecia en las investigaciones de Araoz y Velezmoro (2012) y Lazares y Salinas (2007). Se logró conseguir un valor máximo de resistencia característica a corte puro de 0.90 MPa, que es igual al que se presenta en la NTE E.070 Albañilería (2006) para ladrillos de arcilla rejilla industrial. También, cuando se reforzaron los muretes, se pudo conseguir una falla dúctil en vez de una falla frágil y se presentó un ligero incremento de la resistencia al corte puro. Para esto, se recomienda tener sumo cuidado en la zona de aplicación de carga donde está el capping.
3. Se pudo conseguir que la correlación en MPa entre el módulo de elasticidad de la albañilería no reforzada y la resistencia característica a compresión axial de pilas no reforzadas sea la siguiente:

$$E_m = 1\ 400 f'_m$$

4. Se pudo obtener que la correlación en MPa entre el módulo de elasticidad de la albañilería reforzada y la resistencia característica axial de pilas reforzadas con malla electrosoldada sea la siguiente:

$$E m_R = 2\,000 f'_m$$

5. Se determinaron las siguientes correlaciones en MPa entre los módulos de elasticidad y módulos de corte para prismas reforzados y no reforzados. Es necesario recalcar que estas correlaciones son preliminares y se pueden usar como referencia inicial en futuras investigaciones.

$$G m = 0.50 E m$$

$$G m_R = 0.30 E m_R$$

6. Se pudo concluir que la deriva de agrietamiento fue el 40% y 20% del valor planteado (1.25 por mil) por San Batolomé et al. (2018) para el muro MNRI-SCA-AV y MNRI-SCA-C respectivamente. Asimismo, se pudo apreciar un incremento de 1.5 por usar una unidad de mayor resistencia a compresión característica al comparar la investigación de Araoz y Velezmoro (2012) respecto de la investigación del CISMID (2017b).

El incremento producido se pudo deber al uso de unidades de mayor resistencia característica a compresión y mejor relación de cemento – arena del mortero de las juntas.

7. Cuando se reforzaron los muros por ambas caras, se llegó a tener el doble de esfuerzo de agrietamiento y esfuerzo máximo en promedio como se aprecia en la Figura 8.1.

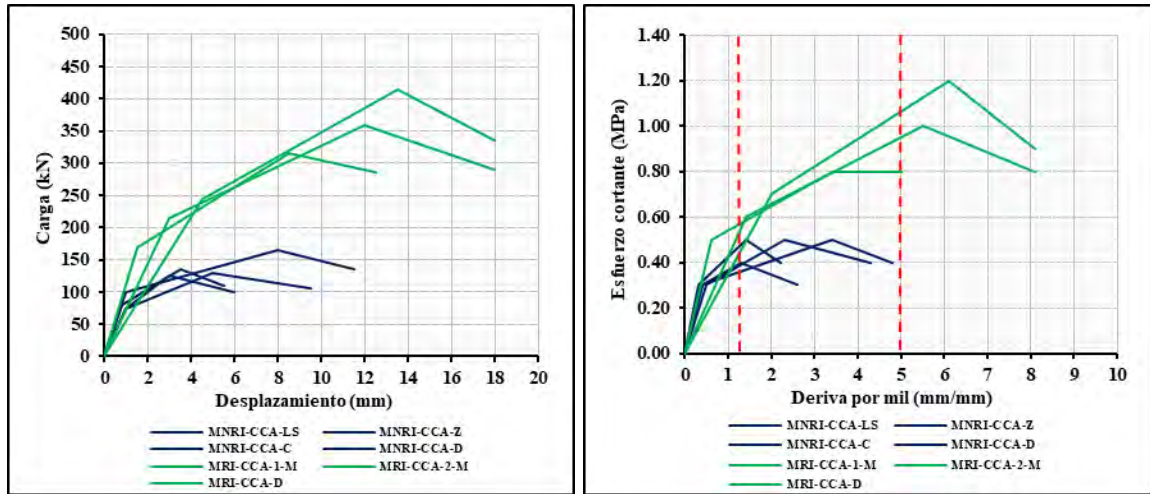


Figura 8.1. Curvas de capacidad simplificadas de muros de ladrillo pandereta industrial presentados en el

Capítulo 7

Asimismo, se pudo llegar a tener una deriva de agrietamiento de 1.25 por mil en promedio. Por ende, se pudo concluir que el refuerzo de malla electrosoldada eleva la resistencia, la rigidez y la capacidad de llegar a derivas inelásticas mayores a 5 por mil; sin embargo, no se puede afirmar que se tendría el mismo daño a esa deriva que un muro de ladrillo sólido o hueco reforzado con malla electrosoldada.

- Se pudo establecer correlaciones en MPa entre prismas no reforzados como presenta los comentarios a la NTC Mampostería (2020). Los valores de R^2 fueron cercanos a uno y las ratios también. Las correlaciones que se obtuvieron fueron las siguientes:

$$v'm = 0.60\sqrt{f'm}$$

$$f'm = 0.45f'b$$

$$f'b = 2.00f'm$$

Asimismo, con respecto a las correlaciones en MPa entre prismas reforzados, se obtuvieron valores referenciales preliminares ya que se contó únicamente con dos investigaciones en las cuales se realizaron ensayos de prismas reforzados con malla electrosoldada. Las correlaciones que se obtuvieron fueron las siguientes:

$$v'm_R = 0.60\sqrt{f'm_R}$$

$$f'm_R = 0.50f'b$$

9. Se pudo establecer, con las investigaciones recopiladas, la siguiente ecuación para la estimación de la capacidad por corte de muros de ladrillo pandereta industrial sin refuerzo sísmico exterior.

$$Vm = 0.20 \cdot v'm \cdot \alpha \cdot Ac + 0.23 \cdot Pg$$

El modelo elastoplástico propuesto para muros de ladrillo pandereta sin refuerzo consistió en limitar la resistencia al corte del muro (coeficiente de 0.20 en el primer sumando y 0.23 en el segundo sumando) por debajo de lo que propone la NTE E.070 Albañilería (2006). Además, consistió en establecer que la deriva de agrietamiento se alcanza 0.40 por mil y el límite de rotura para una deriva máxima inelástica sea 2 por mil. Estos límites de deriva se basaron de acuerdo a lo obtenido en las curvas de capacidad simplificadas, como se muestra en la Figura 8.2, y en la recomendación del CISMID (2017b) para que la deriva máxima sea 2.2 por mil.

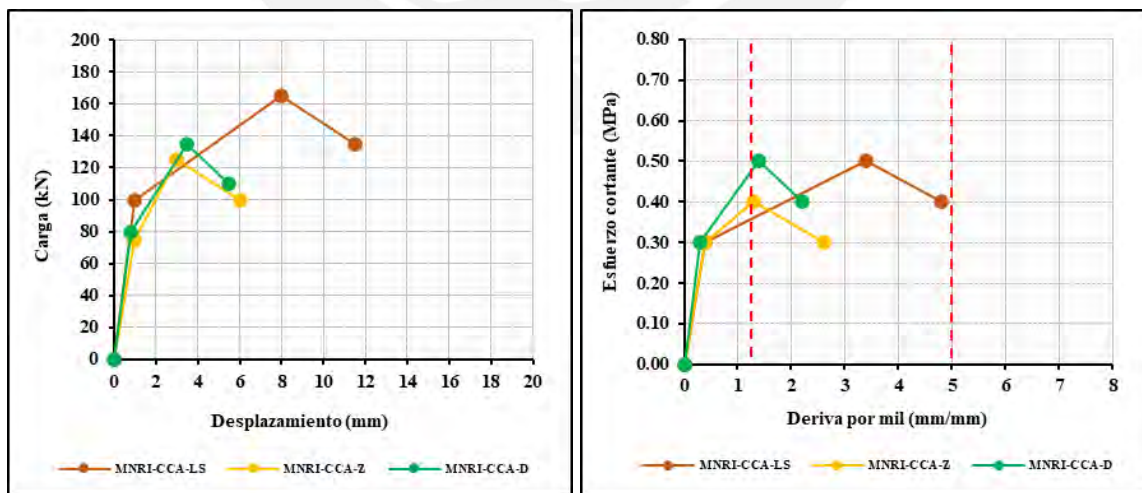


Figura 8.2. Curvas de capacidad simplificadas de muros confinados de ladrillo industrial pandereta no reforzados con carga axial

La NTE E.070 Albañilería (2006) y la propuesta de la NTE E.070 Albañilería (2020) no proponen un modelo elastoplástico para ladrillos pandereta. Asimismo, esta propuesta planteada para muros de ladrillo pandereta sin refuerzo debe ser empleada para viviendas existentes únicamente.

10. El modelo elastoplástico propuesto para muros de ladrillo pandereta con refuerzo sísmico exterior de malla electrosoldada consistió en corroborar lo propuesto por la NTE E.070 Albañilería (2006) como se muestra a continuación:

$$Vm_R = 0.50 \cdot v'm_R \cdot \alpha \cdot Ac + 0.23 \cdot Pg$$

Sin embargo, es necesario realizar muchos más ensayos, debido a que solo se correlacionaron los datos de la investigación de Diaz et al. (2017) y Mamani (2015).

11. El refuerzo de muros de ladrillos pandereta con malla electrosoldada por ambas caras cumple satisfactoriamente con la deriva máxima inelástica de 5 por mil de la NTE E.030 Diseño Sismorresistente (2018); sin embargo, se debe utilizar la propuesta únicamente para reforzar viviendas existentes.

8. 2. Futuras líneas de investigación

Se propone establecer tres líneas de investigación relacionada a la albañilería de ladrillo pandereta, ladrillo sólido y ladrillo hueco.

8. 2. 1. Primera línea de investigación: Ensayos experimentales en ladrillo pandereta.

Se sugiere realizar una serie de ensayos en muros y prismas reforzados de diversas marcas de ladrillo pandereta, con la intención de ajustar la variabilidad y establecer procedimientos de refuerzo y predicción de comportamiento. Asimismo, se sugiere realizar ensayos de muros reforzados por una cara, reforzar muros con juntas mayores entre unidades (20 mm o 30 mm) y ensayar muros alargados reforzados.

8. 2. 2. Segunda línea de investigación: Modelación numérica de muros, prismas y viviendas de ladrillo pandereta, sólido y hueco.

Se recomienda representar numéricamente el comportamiento en el plano de muros de ladrillo pandereta con y sin refuerzo exterior.

8. 2. 3. Tercera línea de investigación: Caracterización y refuerzo de viviendas de ladrillo pandereta, ladrillo sólido y hueco.

Se recomienda que se realicen evaluaciones estructurales en diversas zonas del Perú, con la finalidad de reforzar las viviendas y llamar la atención públicamente a las autoridades e ingenieros sobre este tema.



Capítulo 9. Bibliografía

- Araoz, T. y Velezmore, J. (2012). *Reforzamiento de viviendas existentes construidas con muros confinados hechos con ladrillos pandereta - segunda etapa.* (Tesis pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú). Recuperado de <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/1203>
- Bazalar, J. y Espinoza, C. (2020). *Estudio y comparación del comportamiento mecánico de prismas de albañilería tubular reforzada con malla electrosoldada.* (Proyecto de tesis pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú).
- Centro Peruano – Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (2017a). *Ensayos de muros a escala real y la elaboración de las correspondientes curvas de fragilidad orientados a desarrollar conocimiento referido al comportamiento sísmico de muros de albañilería informal y posibilitar la estimación de pérdidas para un escenario sísmico. Informe No. 2.*
- Centro Peruano – Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (2017b). *Ensayos de muros a escala real y la elaboración de las correspondientes curvas de fragilidad orientados a desarrollar conocimiento referido al comportamiento sísmico de muros de albañilería informal y posibilitar la estimación de pérdidas para un escenario sísmico. Informe No. 3.*
- Cevallos, O. y Diaz, V. (2018). *Reforzamiento estructural de muros de ladrillo pandereta con mallas para tarrajeo y electrosoldada.* (Tesis pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú). Recuperado de <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/12907>
- Diaz, M., Zavala, C., Gallardo, J. y Lavado, L. (Enero, 2017). *Experimental study of non-engineered confined masonry walls retrofitted with wire mesh and cement-sand mortar.* Ponencia presentada en 16th World Conference on Earthquake, 16WCEE 2017, Santiago de Chile. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/314282064_EXPERIMENTAL_STUDY_OF_NON-ENGINEERED_CONFINED_MASONRY_WALLS_RETROFITTED_WITH_WIRE_MESH_AND_CEMENT-SAND_MORTAR
- Gaceta Oficial de la Ciudad de México (2020). *Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería con comentarios.* Recuperado de <https://www.smie.org.mx/informacion-tecnica/ntc-mamposteria.php>
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (2017). *Perú: Perfil sociodemográfico – Informe nacional.* Recuperado de https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1539/libro.pdf
- Lazares, F. y Salinas, R. (Agosto, 2007). *La albañilería tubular y su uso en viviendas en zonas sísmicas.* Ponencia presentada en Conferencia Internacional de Ingeniería Sísmica, Lima. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/239536382_LA_ALBANILERIA_TUBULAR_Y_SU_USO_EN_VIVIENDAS_EN_ZONAS_SISMICAS

- Mamani, P. (2015). *Comportamiento mecánico de muros de albañilería tubular confinada reforzados con malla electrosoldada ante cargas sísmicas y gravitacionales*. (Tesis Maestría, Pontificia Universidad Católica del Perú). Recuperado de <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/6324>
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2010). Reglamento colombiano de construcción sísmo resistente NSR-10 Título D – Mampostería Estructural. Recuperado de <https://www.idrd.gov.co/sitio/idrd/sites/default/files/imagenes/4titulo-d-nsr-100.pdf>
- Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento – SENCICO (2018). *Norma Técnica de Edificación E.030 Diseño Sismorresistente*. Recuperado de https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/299950/d289856_opt.pdf
- Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento – SENCICO (2006). *Norma Técnica de Edificación E.070 Albañilería*. Recuperado de <https://www.gob.pe/institucion/sencico/informes-publicaciones/887225-normas-del-reglamento-nacional-de-edificaciones-rne>
- Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento – SENCICO (2020). *Propuesta de Norma Técnica de Edificación E.070 Albañilería*. Recuperado de <https://www.gob.pe/institucion/sencico/informes-publicaciones/887235-proyectos-de-normas-del-rne-en-discusion-publica>
- Sáenz, L. (2016). *Comportamiento sísmico de tabiques contruidos con ladrillos pandereta*. (Tesis Pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú). Recuperado de <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/6861>
- San Bartolomé, A., Quiun, D. y Silva, W. (2018). *Diseño y construcción de estructuras sismorresistentes de albañilería*. Lima: Fondo Editorial PUCP.
- San Bartolomé, A. y Echevarría, G. (1985). *Ensayos de carga lateral en muros de albañilería confinada – efectos de la carga vertical* –. (Tesis Pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú).
- San Bartolomé, A. (1983). *Ensayos de carga lateral cíclica en muros de albañilería confinada – correlación de resultados entre especímenes a escala natural y probetas pequeñas* –. Ponencia presentada en COLLOQUIA '83, XXII Jornadas Sudamericanas de Ingeniería Estructural, Santiago de Chile. Recuperado de <http://blog.pucp.edu.pe/blog/wp-content/uploads/sites/82/2007/06/Correlacion-Muro-Pila-Murete.pdf>
- San Bartolomé, A. (1994). *Construcciones de albañilería – Comportamiento sísmico y diseño estructural* –. Lima: Fondo Editorial PUCP. Recuperado de <http://repositorio.pucp.edu.pe/index/handle/123456789/72>
- Zavala C., Lavado, L., Taira, J., Cardenas, L. y Diaz, M. (2014). Comparison of Behaviors of Non-Engineered Masonry Tubular Block Walls and Solid Engineered Walls. *Journal of Disaster Research*, 9 (6), 1021-1025. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/297897023_Comparison_of_behaviors_of_non-engineered_masonry_tubular_blockwalls_and_solid_engineered_walls