

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN  
CRISTÓBAL DE HUAMANGA

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS,  
GEOLOGÍA Y CIVIL

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA AL CORTE Y  
FLEXIÓN DE MUROS DE ALBAÑILERÍA CONFINADA  
ARTESANAL CON CARGA DINÁMICA CÍCLICA

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO CIVIL

PRESENTADO POR:

BACH. GREGORIO LEGUÍA DAMIANO

ASESORES:

MSC. ING. CRISTIAN CASTRO PÉREZ - UNSCH  
MAG. ING. DANIEL QUIUN WONG - PUCP

AYACUCHO - PERÚ

2018

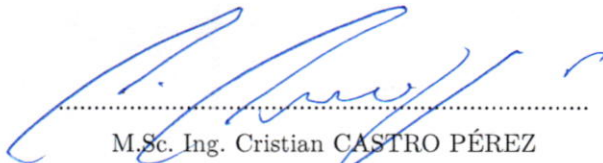
“EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA AL CORTE Y FLEXIÓN DE MUROS DE ALBAÑILERÍA CONFINADA ARTESANAL CON CARGA DINÁMICA CÍCLICA”

APROBACIÓN DE LA BORRADORA DE TESIS: 25 DE MAYO DE 2018

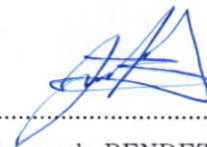
APROBACIÓN DE SUSTENTACIÓN: 07 DE JUNIO DE 2018



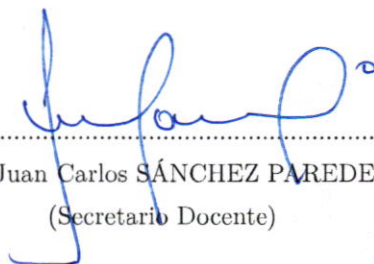
.....  
M.Sc. Ing. José Ernesto ESTRADA CÁRDENAS  
(Presidente)



.....  
M.Sc. Ing. Cristian CASTRO PÉREZ  
(Miembro)



.....  
M.Sc. Ing. Jaime Leonardo BENDEZÚ PRADO  
(Miembro)

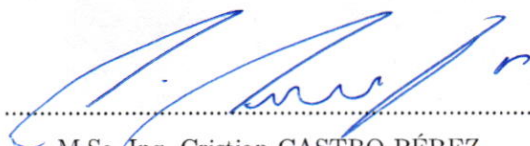


.....  
Arq. Juan Carlos SÁNCHEZ PAREDES  
(Secretario Docente)

Según el acuerdo constatado en el acta, levantada el 07 de junio del 2018, en la sustentación de tesis profesional, presentado por el Bachiller en Ciencias de la Ingeniería Civil Bach. **GREGORIO LEGUÍA DAMIANO**, con el Trabajo de Investigación Experimental Titulado “**EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA AL CORTE Y FLEXIÓN DE MUROS DE ALBAÑILERÍA CONFINADA ARTESANAL CON CARGA DINÁMICA CÍCLICA**”, fue calificado con la nota de EXCELENCIA de DIECIOCHO (18) por lo que se da la respectiva **APROBACIÓN**.



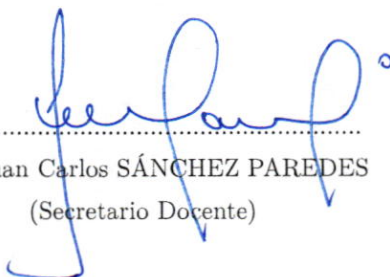
.....  
M.Sc. Ing. José Ernesto ESTRADA CÁRDENAS  
(Presidente)



.....  
M.Sc. Ing. Cristian CASTRO PÉREZ  
(Miembro)



.....  
M.Sc. Ing. Jaime Leonardo BENDEZÚ PRADO  
(Miembro)



.....  
Arq. Juan Carlos SÁNCHEZ PAREDES  
(Secretario Docente)



**UNIVERSIDAD  
NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL  
DE HUAMANGA**

*Real, Pontificia y Nacional  
1677*

*Dedico esta Tesis a mis padres Antonio y Elisa, quienes siempre me han brindado su apoyo incondicional en todo momento de mi vida, por sus enseñanzas, consejos y por su eterna paciencia.*

*A mi esposa Yudy y mi hija Yeo Min, quienes son mis pilares fundamentales que me dan fortaleza y alegría día a día en mi sendero.*

*A mis hermanos Gloria, Guillerma, Alejandro, Maximiliano, Donato y Lázaro, por sus consejos y alientos para seguir adelante en este proyecto trazado.*

# AGRADECIMIENTOS

---

- ☞ A la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, mi alma máter y sus profesionales como docentes Ingenieros y trabajadores administrativos de la facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Civil, especialmente a la Escuela de Formación Profesional de Ingeniería Civil, por contribuir y ser parte de mi formación académica profesional, durante mi vida universitaria.
- ☞ A la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP), por brindarme una Beca Integral, para realizar ensayos del proyecto de Investigación Experimental a escala natural, en el Laboratorio de Estructuras Antisísmicas, a través de vía RPU.
- ☞ Al Msc. Ing. Cristian Castro Pérez, mi asesor por su orientación incondicional para el desarrollo de la presente tesis.
- ☞ Al Mag. Ing. Daniel Quiun Wong, mi co-asesor de la Pontificia Universidad Católica del Perú, por su preocupación y disposición incansable durante el desarrollo de esta tesis.
- ☞ Al Dr. Ing. Hugo Niversión Gutiérrez Orozco, Vicerrector de Investigación que dió apertura para el convenio con la Pontificia Universidad Católica del Perú, vía RPU.
- ☞ Al Msc. Ing. Ernesto Estrada Cárdenas, como Director de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, por haberme brindado todo el apoyo para poder seguir con el proyecto emprendido.
- ☞ Al Mag. Ing. Wilson Silva Berrios, por haberme brindado todo el apoyo en todo el proceso constructivo, para poder realizar mis ensayos del proyecto.
- ☞ A la Lic. Vanessa Navarro Chávez, coordinadora académica de RPU, por haberme brindado el apoyo de los trámites para optar la Beca en la PUCP.
- ☞ A mis amigos y compañeros de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga y otros que contribuyeron en el desarrollo de este trabajo.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA  
AYACUCHO, JUNIO DE 2018

*Gregorio Leguía Damiano*

# ÍNDICE GENERAL

---

	<i>Página</i>
<b>Portada</b>	<b>I</b>
<b>Dedicatoria</b>	<b>I</b>
<b>Agradecimientos</b>	<b>II</b>
<b>Índice General</b>	<b>III</b>
<b>Lista de Figuras</b>	<b>VII</b>
<b>Lista de Tablas</b>	<b>XI</b>
<b>Lista de siglas y símbolos</b>	<b>XIII</b>
<b>Resumen</b>	<b>XIV</b>
<b>Introducción</b>	<b>XV</b>
<b>1. Generalidades</b>	<b>1</b>
1.1. Antecedentes bibliográficos . . . . .	1
1.1.1. Antecedentes a nivel local . . . . .	1
1.1.2. Antecedentes a nivel nacional . . . . .	1
1.2. Descripción de la realidad problemática . . . . .	3
1.3. Formulación del problema . . . . .	6
1.3.1. Problema principal . . . . .	6
1.3.2. Problemas secundarios . . . . .	7
1.4. Justificación e importancia de la investigación . . . . .	9
1.4.1. Justificación . . . . .	9
1.4.2. Importancia . . . . .	10
1.5. Objetivos . . . . .	10
1.5.1. Objetivo General . . . . .	10
1.5.2. Objetivos Específicos . . . . .	10
1.6. Hipótesis . . . . .	11
1.6.1. Hipótesis Global . . . . .	11
1.6.2. Subhipótesis . . . . .	11
1.7. Limitaciones . . . . .	11

1.8. Variables e indicadores . . . . .	12
1.9. Unidad de análisis . . . . .	12
1.10. Metodología de la investigación . . . . .	12
1.10.1. Tipo y nivel de investigación . . . . .	14
1.11. Periodo de análisis . . . . .	15
1.12. Fuentes de información . . . . .	15
1.13. Instrumentos utilizados . . . . .	15
1.14. Recolección de datos . . . . .	16
1.15. Procesamiento de datos . . . . .	16
<b>2. Estado del Arte</b>	<b>17</b>
2.1. Avance de las investigaciones hasta la actualidad . . . . .	17
2.2. Avance de la investigación en el Perú . . . . .	24
<b>3. Materiales y Metodología</b>	<b>25</b>
3.1. Componentes de la albañilería . . . . .	25
3.1.1. Características de los materiales . . . . .	25
3.1.1.1. Unidad de albañilería . . . . .	25
3.1.1.2. Ubicación y accesibilidad del proyecto de investigación . . . . .	26
3.1.1.3. Fabricación de unidades artesanales de arcilla . . . . .	28
3.1.1.4. Proceso de producción de ladrillos artesanales . . . . .	29
3.1.1.5. Muestreo de las unidades artesanales - Pruebas clasificatorias . . . . .	33
3.1.1.6. Pruebas no clasificatorias . . . . .	38
3.2. Prismas de albañilería . . . . .	43
3.2.1. Pilas . . . . .	44
3.2.1.1. Procedimientos de construcción . . . . .	44
3.2.1.2. Montaje e Instrumentación . . . . .	46
3.2.1.3. Evaluación de Resultados . . . . .	47
3.2.2. Muretes . . . . .	49
3.2.2.1. Procedimientos de construcción . . . . .	49
3.2.2.2. Instrumentación y montaje . . . . .	50
3.2.2.3. Evaluación de resultados . . . . .	50
3.2.2.4. Cálculo de la Resistencia al Corte . . . . .	52
3.3. Construcción del muro . . . . .	53
3.3.1. Características del muro . . . . .	53
3.4. Verificación previa del refuerzo . . . . .	55
3.5. Construcción de la viga de cimentación . . . . .	59
3.6. Construcción del muro de albañilería . . . . .	60

3.7. Construcción de las columnas . . . . .	61
3.8. Construcción de la viga solera . . . . .	62
3.8.1. Fenómeno de eflorescencia en el muro de albañilería . . . . .	64
3.9. Análisis de muros de albañilería a escala natural . . . . .	64
3.9.1. Rigidez lateral . . . . .	64
3.9.2. Fisuración de tracción por flexión . . . . .	66
3.9.3. Agrietamiento diagonal teórico . . . . .	67
3.9.4. Momento flector nominal máximo . . . . .	68
3.9.5. Tipo de falla esperada . . . . .	68
3.10. Modelamiento numérico computacional. . . . .	69
3.11. Presentación y análisis de resultados . . . . .	70
3.11.1. Deformada del muro para fuerza lateral $F = 70,34 \text{ kN}$ . . . . .	70
3.11.2. Deformada del muro para fuerza lateral $F = 74,47 \text{ kN}$ . . . . .	71
3.11.3. Deformada del muro para fuerza lateral $F = 190 \text{ kN}$ . . . . .	72
3.12. Rigidez lateral . . . . .	73
3.13. Ensayo de carga lateral cíclica . . . . .	74
3.13.1. Descripción del ensayo . . . . .	74
3.13.2. Montaje e instrumentación . . . . .	75
3.13.3. Comportamiento sísmico del muro durante el ensayo . . . . .	79
3.14. Diagnóstico visual post ensayo del muro confinado . . . . .	87
<b>4. Análisis de Resultados</b>	<b>88</b>
4.1. Diagrama de lazos histeréticos . . . . .	88
4.2. Rigidez lateral elástica (K) y degradación (%) . . . . .	89
4.3. Resistencia de tracción por flexión . . . . .	91
4.4. Comportamiento de refuerzo vertical . . . . .	92
4.5. Distorsión angular . . . . .	94
4.6. Límite de reparación . . . . .	95
4.7. Carga de agrietamiento diagonal ( $V_m$ ) . . . . .	95
4.8. Resistencia de máxima carga lateral soportada . . . . .	98
4.9. Envolvente de diagrama de lazos histeréticos . . . . .	98
4.10. Módulo de corte (G) . . . . .	99
<b>Conclusiones y Recomendaciones</b>	<b>102</b>
Conclusiones . . . . .	102
Recomendaciones . . . . .	102
Temas afines por investigar . . . . .	102

<b>Referencias Bibliográficas</b>	<b>108</b>
<b>A. Apéndice A</b>	<b>110</b>
A.1. Tabla de pruebas clasificatorias para fines estructurales . . . . .	110
A.2. Limitaciones en el Uso de la Unidad de Albañilería . . . . .	111
A.3. Resistencia Característica de la Albañilería . . . . .	111

# LISTA DE FIGURAS

---

1.1. Déficit habitacional en Ayacucho. . . . .	5
1.2. Déficit habitacional de Ayacucho y distritos. . . . .	5
1.3. Ayacucho - Viviendas y uso de ladrillo como material predominante (%). . . . .	6
1.4. Viviendas con ladrillo artesanal como material predominante. . . . .	6
1.5. Unidad de albañilería con rasgos físicos de vacíos. . . . .	7
1.6. Unidades con presencia de caliches después de la cocción. . . . .	7
1.7. Albañilería expuesta a intemperismo sin acabados. . . . .	8
1.8. Cangrejeras en la conexión albañilería - columna. . . . .	8
1.9. Unidad fisurada en muro de albañilería confinada. . . . .	9
1.10. Espesor de juntas desiguales en muros de albañilería. . . . .	9
2.1. Albañilería Mesopotámica, Zigurat de Ur. . . . .	17
2.2. Lugar sagrado: Mezquita Al Askari (Samarra / Irak). . . . .	18
2.3. Albañilería de tapial - cultura Caral. . . . .	18
2.4. Albañilería de piedra - cultura Wari. . . . .	19
3.1. Plano de ubicación del proyecto de investigación. . . . .	27
3.2. Identificación de materia prima de ladrillo king kong artesanal. . . . .	28
3.3. Diagrama de flujo de fabricación de ladrillos. . . . .	28
3.4. Retroexcavadora extrayendo arcilla desde la cantera. . . . .	29
3.5. Zaranda manual y con retroexcavadora. . . . .	30
3.6. Secuencia de mezclado y amasado. . . . .	30
3.7. Moldeado de ladrillos artesanales. . . . .	31
3.8. Formas de secado de ladrillos artesanales en Ayacucho. . . . .	31
3.9. Carbón mineral y sus componentes. . . . .	32
3.10. Cargado y distribución de carbón mineral en ladrillos artesanales. . . . .	32
3.11. Almacén de ladrillos artesanales. . . . .	33
3.12. Prueba de variación dimensional. . . . .	34
3.13. Prueba de alabeo. . . . .	36

3.14. Preparación de capping y prensa hidráulica. . . . .	37
3.15. Secado en horno eléctrico y pesado de unidades. . . . .	38
3.16. Prueba de succión de unidad en 1 minuto. . . . .	39
3.17. Peso de unidad saturado. . . . .	40
3.18. Ensayo de absorción, peso de la unidad saturado y sumergido. . . . .	41
3.19. Ensayo de absorción máxima saturado en ebullición de 5 horas. . . . .	42
3.20. Peso saturado en ebullición y peso sumergido. . . . .	42
3.21. Construcción de pilas y aplicación de refrentado (capping). . . . .	45
3.22. Pilas con capping colocado. . . . .	46
3.23. Dispositivos de ensayo para pilas de albañilería. . . . .	46
3.24. Pilas de albañilería ensayadas. . . . .	47
3.25. Construcción de muretes - murete con capping. . . . .	49
3.26. Traslado, colocación y ensayo de muretes. . . . .	50
3.27. Falla típica del murete 01. . . . .	51
3.28. Falla típica del murete 02. . . . .	51
3.29. Falla escalonada del murete 03. . . . .	51
3.30. Dimensiones y refuerzo del muro la albañilería. . . . .	54
3.31. Estribos en vigas y columnas. . . . .	55
3.32. Equilibrio de fuerzas internas en muro agrietado. . . . .	57
3.33. Habilitación de encofrado y acero. . . . .	59
3.34. Refuerzos verticales, vaciado y desencofrado de cimentación. . . . .	60
3.35. Regado, emplantillado y colocación de escantillón de albañilería. . . . .	61
3.36. Control de verticalidad y primera jornada del muro. . . . .	61
3.37. Verificación de refuerzos, estribos y encofrado de las columnas. . . . .	62
3.38. Refuerzos en la viga solera. . . . .	63
3.39. Encofrado, vaciado y desencofrado de viga solera. . . . .	63
3.40. Sales solubles en la albañilería artesanal. . . . .	64
3.41. Sección real y transformada de muros de albañilería. . . . .	65
3.42. Muro de albañilería confinada discretizado. . . . .	70
3.43. Deformación del muro confinado ( $F = 70,34 \text{ kN}$ ). . . . .	70
3.44. Máximo esfuerzo cortante del muro confinado ( $F = 70,34 \text{ kN}$ ). . . . .	71
3.45. Máximo esfuerzo principal del muro confinado ( $F = 70,34 \text{ kN}$ ). . . . .	71

*Lista de Figuras*

3.46. Deformación del muro confinado ( $F = 74,47 \text{ kN}$ ). . . . .	71
3.47. Máximo esfuerzo cortante del muro confinado ( $F = 74,47 \text{ kN}$ ). . . . .	72
3.48. Máximo esfuerzo principal del muro confinado ( $F = 74,47 \text{ kN}$ ). . . . .	72
3.49. Deformación del muro confinado ( $F = 190 \text{ kN}$ ). . . . .	72
3.50. Máximo esfuerzo cortante del muro confinado ( $F = 190 \text{ kN}$ ). . . . .	73
3.51. Máximo esfuerzo principal del muro confinado ( $F = 190 \text{ kN}$ ). . . . .	73
3.52. Transporte de muro a la sala de ensayo. . . . .	75
3.53. Nivelación del muro con capping de yeso - cemento y fijación con gatas hidráulicas. . . . .	76
3.54. Calibración de LVDT con precarga horizontal de 300kg. . . . .	76
3.55. Distribución de LVDT's. . . . .	77
3.56. Distribución de LVDT y el equipo de monitoreo. . . . .	78
3.57. Sensores en el muro de albañilería. . . . .	78
3.58. Etapas de ensayo cíclico del muro. . . . .	79
3.59. Grietómetro para medir fisuras. . . . .	79
3.60. Fase 1, fisuras en el talón derecho. . . . .	80
3.61. Fase 2, fisuras en ambos talones y escalonado. . . . .	80
3.62. Muro agrietado diagonalmente derecha en el plano. . . . .	81
3.63. Muro agrietado diagonalmente derecha en la fase 3. . . . .	81
3.64. Plano del muro agrietado diagonalmente en la fase 4. . . . .	82
3.65. Muro agrietado diagonalmente derecha en la fase 4. . . . .	82
3.66. Plano del muro agrietado diagonalmente en la fase 5. . . . .	83
3.67. Muro agrietado diagonalmente izquierda en la fase 5. . . . .	83
3.68. Muro agrietado diagonalmente superior izquierda en la fase 6. . . . .	84
3.69. Muro agrietado real de la fase 6. . . . .	84
3.70. Muro agrietado con repetición de la fase anterior. . . . .	85
3.71. Muro agrietado diagonal de fase 7. . . . .	85
3.72. Muro agrietado diagonalmente de la fase 8 con repetición anterior. . . . .	86
3.73. Muro agrietado de la fase final en diagonal. . . . .	86
3.74. Desplazamiento lateral de unidades en la mitad del muro. . . . .	87
4.1. Lazos histeréticos del muro confinado artesanal. . . . .	89
4.2. Lazo histerético de la fase 1 del muro de albañilería confinada. . . . .	90

*Lista de Figuras*

4.3. Lazos histeréticos de las 8 fases en su primer ciclo estable. . . . .	90
4.4. Degradación de rigidez lateral bajo carga lateral cíclica. . . . .	91
4.5. Cálculo de resistencia a tracción por flexión experimental. . . . .	92
4.6. Sensor D7, máximos desplazamientos. . . . .	93
4.7. Sensor D8, máximos desplazamientos. . . . .	93
4.8. Distorsión angular de comportamiento del muro. . . . .	94
4.9. Valor máximo permisible por norma E-030 para albañilería. . . . .	96
4.10. Lazo histerético de agrietamiento diagonal del muro confinado. . . . .	97
4.11. Lazo histerético de agrietamiento diagonal de muro - Fase 5. . . . .	97
4.12. Envoltorio de máximos valores de lazos histeréticos estables. . . . .	99
4.13. Sensores D2 y D3. . . . .	99
4.14. Lazo histerético de módulo de corte. . . . .	100
4.15. Patrón de fisuras de muretes en muro confinado. . . . .	105
4.16. Trituración de los talones del muro confinado en la fase final. . . . .	105
4.17. Simulación sísmica de carga lateral cíclica del muro confinado. . . . .	106
4.18. Nuevo material de arcilla para unidades artesanales. . . . .	107
A.1. Norma Técnica de Edificaciones, 2006. . . . .	110
A.2. Norma Técnica de Edificaciones, 2006. . . . .	111
A.3. Norma Técnica de Edificaciones, 2006. . . . .	111

# LISTA DE TABLAS

---

1.1. Población estimada por departamentos 2015 – 2017. . . . .	4
1.2. Variables e indicadores . . . . .	12
2.1. Resultados de compresión axial de las unidades de Piura. . . . .	21
2.2. Resultados de compresión diagonal muretes de Piura. . . . .	22
2.3. Resultados de la investigación experimental de las unidades en el Perú. . . . .	24
3.1. Características de la unidad artesanal. . . . .	26
3.2. Clasificación de unidades para fines estructurales. . . . .	34
3.3. Variación dimensional de ladrillo artesanal. . . . .	35
3.4. Alabeo de unidad de albañilería – Compañía. . . . .	36
3.5. Compresión simple de ladrillos artesanales. . . . .	37
3.6. Cálculo de la humedad natural. . . . .	39
3.7. Cálculo de ensayo de succión. . . . .	40
3.8. Cálculo de ensayo de absorción, absorción máxima y densidad. . . . .	43
3.9. Modelo de prisma para pilas de albañilería. . . . .	45
3.10. Resistencia a la compresión de las pilas. . . . .	48
3.11. Factores de corrección según la Norma E-070. . . . .	48
3.12. Resistencia final $f'_m$ corregida por esbeltez. . . . .	48
3.13. Tabla característica de los muretes (velocidad de carga $2 \frac{ton}{min}$ ). . . . .	52
3.14. Cálculo de resistencia característica al corte de la albañilería. . . . .	53
3.15. Tabla de la Norma E-070. . . . .	57
3.16. Resistencia del concreto de viga de cimentación. . . . .	60
3.17. Resistencia del concreto de columnas a los 28 días. . . . .	62
3.18. Resistencia del concreto de viga solera a los 28 días. . . . .	63
3.19. Cálculo de sección transformada "0,1145 · n". . . . .	65
3.20. Fuerza asociada a la primera fisura de tracción por flexión. . . . .	67
3.21. Cálculo de carga de agrietamiento diagonal. . . . .	68
3.22. Cuadro comparativo. . . . .	69

*Lista de Tablas*

3.23. Propiedades de materiales de albañilería y concreto armado. . . . .	69
3.24. Comparación de resultados de la rigidez del muro confinado. . . . .	73
3.25. Desplazamiento controlado por cada fase de ensayo con sus respectivos ciclos. . . . .	75
4.1. Cálculo de rigidez lateral promedio y degradación. . . . .	91
4.2. Deformación unitaria alcanzada por refuerzos verticales. . . . .	94
4.3. Envolvente de lazos histeréticos estables del muro artesanal. . . . .	98
4.4. Tabla de cálculo de módulo de corte. . . . .	101

# LISTA DE SIGLAS Y SÍMBOLOS

---

$L$ : Longitud del Muro incluido los extremos del confinamiento las columnas	[m]
$f'_b$ : Resistencia característica a compresión axial de las unidades de la albañilería	[kg/cm <sup>2</sup> ]
$f'_m$ : Resistencia característica a compresión axial de la Albañilería	[kg/cm <sup>2</sup> ]
$v'_m$ : Resistencia característica al Corte diagonal de la albañilería	[kg/cm <sup>2</sup> ]
$f'_c$ : Resistencia a compresión axial del Concreto	[kg/cm <sup>2</sup> ]
$f_y$ : Esfuerzo de Fluencia de Acero de esfuerzo	[kg/cm <sup>2</sup> ]
$f'_t$ : Esfuerzo admisible a Tracción por Flexión de la albañilería	[kg/cm <sup>2</sup> ]
$V_m$ : Resistencia al Corte o Agrietamiento Diagonal del Muro	[kN]
$K$ : Rigidez Lateral del Muro confinado	[kN/mm]
$G_m$ : Módulo de Corte de Muro o Albañilería	[kg/cm <sup>2</sup> ]
$E$ : Módulo de Elasticidad del Muro o Albañilería	[kg/cm <sup>2</sup> ]
$LVDT$ : Sensor de Desplazamiento ( <i>LinearVariableDifferentialTransformer</i> )	
$MEF$ : Método de Elementos Finitos	
$INEI$ : Instituto Nacional de Estadística e Informática	
$NTP$ : Norma Técnica Peruana	

# RESUMEN

---

El objetivo principal de la presente investigación experimental consiste en evaluar la Resistencia al Corte y Flexión de Muros de Albañilería Confinada Artesanal sometidos a Carga Lateral Cíclica, construidos con unidades King Kong sólido artesanal, el comportamiento físico como fisuras y grietas que se generan durante el ensayo, finalmente analizar y evaluar los datos generados por los sensores o LVDT's que están distribuidos en el muro, servirán como información para graficar y obtener diagrama de histéresis de cortante vs desplazamiento, envolvente cortante vs desplazamiento, rigidez lateral, carga de agrietamiento diagonal en tracción por flexión, capacidad de carga máxima, distorsión angular asociada a la fractura, módulo de corte y degradación de la resistencia. El ensayo fue con desplazamiento progresivo controlado de 8 fases, por cada fase tuvo ciclos variables, los resultados experimentales son comparados con análisis teóricos y modelamientos numéricos computacionales(M.E.F.) con el programa Ansys v 18.2. La resistencia teórica y experimental de tracción por flexión del muro de albañilería resultó 100.04kN y 70.4kN respectivamente y la resistencia teórica y experimental al corte diagonal del muro de albañilería resultó 95.12kN y 92.95kN respectivamente.

**PALABRAS CLAVES:** Albañilería confinada, resistencia, corte y flexión.

## Abstract

The main objective of the present experimental research is to evaluate the Resistance to Cutting and Bending of Artisan Confined Masonry Walls subjected to Cyclic Side Loading, built with solid King Kong units, physical behavior such as fissures and cracks that are generated during the test, finally analyzing and evaluating the data generated by the sensors or LVDT's that are distributed in the wall, will serve as information to graph and obtain hysteresis diagram of shear vs. displacement, shear envelope vs. displacement, side rigidity, load of cracking diagonal in flexion traction, maximum load capacity, angular distortion associated with fracture, cutting modulus and resistance degradation. The trial was with controlled progressive displacement of 8 phases, for each phase had variable cycles, the experimental results are compared with theoretical analysis and computational numerical modeling (M.E.F.) With the program Ansys v 18.2. The theoretical and experimental resistance of bending tensile strength of the masonry wall was 100.04kN and 70.4kN respectively, and the theoretical and experimental resistance to the diagonal cut of the masonry wall was 95.12kN and 92.95kN respectively.

**KEY WORDS:** Confined masonry, resistance, court and flexion.

# INTRODUCCIÓN

---

Las estructuras de albañilería constituyen una alternativa económica y sencilla de aplicar en nuestro medio para resolver el alto déficit habitacional, mediante la construcción de edificios de mediana altura, en donde se aprovecha el área del terreno con una sola cimentación y se comparten los servicios comunes de agua, desagüe y electricidad. Sin embargo, vivimos en un país sísmico, donde además el medio ambiente es altamente agresivo, por lo que estas edificaciones tienen que ser convenientemente analizadas, diseñadas y construidas de modo que tengan un adecuado comportamiento ante todo tipo de sollicitaciones sísmicas. (San Bartolomé *et al.*, 2014).

El estudio pretende evaluar la resistencia al corte y flexión de muros de albañilería confinada artesanal sometidos a carga lateral cíclica, construidos con unidades de albañilería de tipo king kong sólido artesanal de arcilla, asentadas con mortero de agregado fino, juntas de 1.5 cm y con una conexión dentada entre confinamientos verticales (columnas)-albañilería.

Antes se procederá realizar un análisis numérico computacional mediante elementos finitos con el programa Ansys v18.2, sobre el comportamiento del muro de albañilería confinada artesanal, utilizando los valores tradicionales de las propiedades físicas y mecánicas de la albañilería confinada.

Para tal caso, se construyó un muro de albañilería confinada a escala natural con técnica de acuerdo con la norma E-070, los confinamientos con sus respectivos refuerzos de acero acorde al diseño estructural lo cual estará sujeto adecuado a una integración de un solo sistema estructural, es instrumentado con los dispositivos (LVDT's o sensores), luego se ensayó a carga lateral cíclica con desplazamiento progresivo controlado de 8 fases, evaluar los datos generados por los LVDT's que están distribuidos en el muro, datos obtenidos de los LVDT se evaluará en la gráfica del diagrama de lazo histerético para los resultados de los objetivos del proyecto.

En las unidades de albañilería artesanal, se realizaron las pruebas de variación dimensional, alabeo, succión, absorción, absorción máxima, resistencia característica a compresión axial de las unidades de albañilería.

En los prismas de albañilería, se realizaron las pruebas de la resistencia a compresión axial en pilas, la resistencia al corte diagonal en muretes y sin instrumentación de los dispositivos (LVDT's).

El desarrollo de la estructura de la presente investigación está organizado de la siguiente manera:

- ☞ **Capítulo 1 – Generalidades:** Contiene los antecedentes bibliográficos, descripción de la realidad problemática, formulación del problema, justificación e importancia de la investigación, objetivos, hipótesis, variables e indicadores, tipo y nivel de investigación, periodo de análisis, fuentes de información e instrumentos utilizados, técnicas de recolección.
- ☞ **Capítulo 2 – Estado del arte:** Se desarrolla la cronología del avance de investigación de las unidades artesanales para los componentes prismáticos de los muros de albañilería confinada a través del tiempo hasta la actualidad y el uso de la tecnología de software.
- ☞ **Capítulo 3 – Desarrollo del trabajo de tesis:** Identificación de las características físicas y mecánicas de los componentes de la albañilería, resistencia de prismas de albañilería y el ensayo de simulación sísmica del muro real a carga lateral cíclica, con procedimientos constructivos y sus respectivas pruebas de ensayos, para alcanzar los objetivos planteados de la investigación.
- ☞ **Capítulo 4 – Análisis y resultado de la investigación:** Análisis de resultados, herramienta de evaluación software Ansys v18.2, sensores LVDT's, evaluación histerético, estadística de escenarios para cuantificar el grado de deterioro del espécimen.
- ☞ **Conclusiones y recomendaciones:** Se presenta las conclusiones de la investigación y la recomendación según la experiencia adquirida durante el ensayo, sobre el comportamiento estructural del muro en relación a los objetivos establecidos.
- ☞ **Referencias bibliográficas:** Se presenta información de los materiales consultados, citados durante el desarrollo de la tesis.
- ☞ **Anexos:** Contiene los resultados gráficos, tabulares documentados y los planos.

*“El futuro tiene muchos nombres. Para los débiles es lo inalcanzable. Para los temerosos, lo desconocido. Para los valientes es la oportunidad”*

— Víctor Hugo

Capítulo

1

## GENERALIDADES

### 1.1 Antecedentes bibliográficos

El estudio de los muros de albañilería confinada a escala natural a nivel experimental mediante los ensayos de laboratorio de estructuras con carga lateral cíclica, es ampliamente estudiado por muchos autores que realizaron trabajos de investigación, se consideran:

#### 1.1.1 Antecedentes a nivel local

**Evaluación de la calidad de ladrillo y la albañilería fabricados en Ayacucho. (Alfaro Asto, 2007)**

Esta investigación da a conocer de las 07 ladrilleras estudiadas, sólo M-3, M-5 y M-7 (ladrilleras del Sr. Teófilo Cajamarca, Lucinda Gonzales y Martha Jara) pueden llegar a ser clasificados como TI, TI y TII respectivamente, pueden ser utilizados en la construcción de viviendas de albañilería confinada de hasta 2 pisos, Absorción máx. es alta (21 - 23%). Significa que se trata de unidades permeables (con gran capacidad de almacenaje de agua), la resistencia característica a compresión axial de las unidades de la albañilería  $f'_b = 69 \frac{kg}{cm^2}$  para la muestra M-7 fábrica del centro poblado de Compañía.

#### 1.1.2 Antecedentes a nivel nacional

**Estudio de la conexión columna y albañilería en muros confinados diseñados a la rotura. (Gonzáles Galgani, 1993)**

Esta investigación da a conocer el efecto de la conexión que existe entre la albañilería y los confinamientos verticales (columnas) durante el comportamiento sísmico.

Para ello se construyeron dos muros con técnicas diferentes. Un muro con conexión al ras, adicionando los refuerzos horizontales o mechas de anclaje y otro muro con conexión dentada. Ambos muros fueron ensayados a carga lateral cíclica y carga ortogonal al plano.

Las conclusiones de los ensayos que los muros tienen un comportamiento similar y la conexión al ras mejora la adherencia en la zona de interface albañilería – columna, en cambio la conexión dentada genera cangrejas o ladrillos quebrados al momento de vaciar y vibrar el concreto de las columnas.

**Diseño y construcción de estructuras sismoresistentes de albañilería.  
(San Bartolomé *et al.*, 2014).**

Esta publicación muestra en detalle sobre la norma técnica peruana de la albañilería E-070 (SENCICO, 2006) nos brinda los conocimientos necesarios que permita analizar, diseñar y construir de edificaciones de mediana altura hasta de 5 pisos hechas de albañilería estructural. Para alcanzar estos conocimientos, es necesario estudiar el comportamiento de las edificaciones de albañilería ante los terremotos ocurridos en el pasado, así como la influencia de diversos parámetros que han sido investigados a nivel teóricos y experimental.

**Evaluación de las características estructurales de la albañilería producida con unidades fabricadas en la región central Junín. (Aguirre Gaspar, 2004)**

Esta investigación se desarrolló con finalidad de determinar principalmente las características estructurales de la albañilería y sus componentes con unidades fabricadas artesanalmente en la región Junín, las pruebas de laboratorio se inició con la unidad (variación dimensional, alabeo, compresión, absorción, densidad, succión y tracción por flexión). De los resultados obtenidos se concluye que las unidades ensayadas a compresión no alcanzan el valor mínimo especificado en la Norma E.070 vigente, siendo el promedio de las cuatro zonas de  $39,4 \frac{kg}{cm^2}$ ; sin embargo, con los resultados de los otros ensayos, estas clasifican como II o III.

Ensayos de la albañilería simple fabricadas con estas unidades: compresión de pilas donde se determinó la resistencia promedio  $f'_m = 27,9 \frac{kg}{cm^2}$  ( $2,84 MPa$ ) y el módulo de elasticidad promedio  $E_m = 11570 \frac{kg}{cm^2}$  ( $1,18 GPa$ ); compresión diagonal de muretes donde se obtuvo la resistencia promedio al corte  $v'_m = 5,7 \frac{kg}{cm^2}$  ( $0,58 MPa$ ) y el módulo de corte promedio  $G_m = 6640 \frac{kg}{cm^2}$  ( $0,68 GPa$ ). De los resultados obtenidos se puede decir que la albañilería tiene baja resistencia en compresión y regular comportamiento en corte.

Ensayos del mortero fabricado con agregado de la cantera del río Mantaro; se obtuvo los siguientes resultados: resistencia en compresión  $R_c = 86,1 \frac{kg}{cm^2}$  (8,77 MPa), fluidez = 186 % y la adherencia por flexión es de  $7,24 \frac{kg}{cm^2}$  (0,74 MPa).

## 1.2 Descripción de la realidad problemática

---

En el Perú, así como en la región Ayacucho, hay un crecimiento poblacional urbano cada vez más acelerado según censo 2017, se crea una necesidad de generar un alto déficit habitacional, al mismo tiempo existe el crecimiento desmesurado de las fábricas ladrilleras artesanales y semi industriales sin control, todo esto induce a tener efectos en la baja calidad de las unidades de albañilería, autoconstrucción de las viviendas informales, por lo que las construcciones son vulnerables probablemente en los lugares de barrios populares, asentamientos humanos, como viviendas precarias inseguras, están expuestas a sufrir colapsos masivos cuando ocurre un evento de movimiento sísmico inesperado, resultados de los daños causados por el terremoto trae tragedias, pérdida de vidas humanas y las estructuras irreparables después del sismo, como es el caso del terremoto ocurrido en Pisco de 2007 llegó a tener una intensidad de 7,9 grados a escala Richter.

Según (Ludeña Urquiza, 2016), en el Perú faltan 1.8 millones de viviendas, el debate sobre la necesidad de políticas de vivienda social empieza hoy en Limápolis 2016 “Las barriadas son una especie de costra precaria, un infierno urbano que algún día tendrá que ser reemplazado por nuevas ciudades dotadas con servicios y espacios públicos”, dice Wiley Ludeña, Arquitecto, docente universitario y director de la revista “Urbe”. Es la amarga reflexión que ofrece a El Comercio tras analizar el fenómeno del autoconstrucción en el país y la ausencia de políticas de vivienda social, este último uno de los temas centrales del taller Limápolis 2016 que empieza hoy en la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP). El infierno urbano del que habla Ludeña no solo es una realidad en Lima, una ciudad en la que el 70 % de las viviendas fueron producto de la construcción informal (sin orientación técnica y con materiales de baja calidad), según el Plan Metropolitano de Desarrollo Urbano (PLAM) al 2035. El caos se vive también, por ejemplo, en el cono norte de Arequipa, donde hoy viven 150 mil personas, o en Chiclayo, donde más de 400 mil personas viven en 360 barriadas. En total, se estima que en el Perú hay 7.6 millones de personas en asentamientos humanos.

Según los organizadores de Limápolis, la precariedad de las barriadas es un problema que no podemos seguir eludiendo. Los riesgos son múltiples: contaminación, falta de áreas verdes, déficit de equipamiento urbano. Pero lo que más preocupa es la vulnerabilidad ante los desastres. Si ocurriera en Lima un terremoto de magnitud 8, se derrumbarían

200 mil viviendas y otras 350 mil quedarían dañadas, según el PLAM 2035. Los distritos más golpeados serían aquellos donde primó la autoconstrucción como Villa El Salvador o Ventanilla.

El crecimiento poblacional en la región Ayacucho se ha incrementado en los tres últimos años con un total de 14972 habitantes, esto implica a generar nuevas demandas de déficit habitacional así lo demuestra INEI-2017.

Fuente: Tabla tomada desde (INEI, 2010)

UBIGEO	DEPARTAMENTO	2015			2016			2017		
		Total	Hombre	Mujer	Total	Hombre	Mujer	Total	Hombre	Mujer
000000	PERÚ	31,151,643	15,605,814	15,545,829	31,488,625	15,772,385	15,716,240	31,826,018	15,939,059	15,886,959
010000	AMAZONAS	422,629	222,536	200,093	423,898	223,215	200,683	424,952	223,779	201,173
020000	ÁNCASH	1,148,634	582,978	565,656	1,154,639	586,623	568,016	1,160,490	590,184	570,306
030000	APURÍMAC	458,830	234,224	224,606	460,868	235,390	225,478	462,791	236,495	226,296
040000	AREQUIPA	1,287,205	638,480	648,725	1,301,298	645,128	656,170	1,315,528	651,841	663,687
050000	AYACUCHO	688,657	351,747	336,910	696,152	355,966	340,186	703,629	360,171	343,458
060000	CAJAMARCA	1,529,755	770,434	759,321	1,533,783	772,636	761,147	1,537,172	774,515	762,657
070000	CALLAO	1,010,315	502,923	507,392	1,024,439	509,525	514,914	1,038,706	516,194	522,512
080000	CUSCO	1,316,729	667,502	649,227	1,324,371	671,215	653,156	1,331,758	674,793	656,965
090000	HUANCAVELICA	494,963	248,341	246,622	498,556	250,366	248,190	502,084	252,357	249,727
100000	HUÁNUCO	860,537	437,223	423,314	866,631	440,379	426,252	872,523	443,431	429,092
110000	ICA	787,170	395,398	391,772	794,919	399,454	395,465	802,610	403,476	399,134
120000	JUNÍN	1,350,783	682,129	668,654	1,360,506	687,070	673,436	1,370,274	692,031	678,243
130000	LA LIBERTAD	1,859,640	927,260	932,380	1,882,405	938,754	943,651	1,905,301	950,309	954,992
140000	LAMBAYEQUE	1,260,650	612,304	648,346	1,270,794	616,960	653,834	1,280,788	621,543	659,245
150000	LIMA	9,838,251	4,791,877	5,046,374	9,989,369	4,863,113	5,126,256	10,143,003	4,935,630	5,207,373
160000	LORETO	1,039,372	542,646	496,726	1,049,364	547,866	501,498	1,058,946	552,865	506,081
170000	MADRE DE DIOS	137,316	78,863	58,453	140,508	80,690	59,818	143,687	82,506	61,181

Tabla 1.1: Población estimada por departamentos 2015 – 2017.

La provincia de Huamanga tiene mayor **déficit habitacional** 16030 viviendas en falta, 27 % de déficit habitacional de la región Ayacucho y la provincia con menor déficit habitacional es Paúcar de Sara Sara con 852 viviendas en falta, según el análisis del censo 2007 y estimando para una población futura hasta el año 2013.

Un estudio de investigación UNSCH “Evaluación de la calidad de ladrillo y la albañilería fabricados en Ayacucho” (Alfaro Asto, 2007). Analizó 07 ladrilleras estudiadas, solo tres ladrilleras llegaron a clasificarse hasta clase II y el resto no cumplieron con las exigencia de la **Norma E-070** incluso llegando a obtener una resistencia a compresión axial de las unidades de  $28 \frac{kg}{cm^2}$ .

Fuente: Figura tomada desde (INEI, 2007)

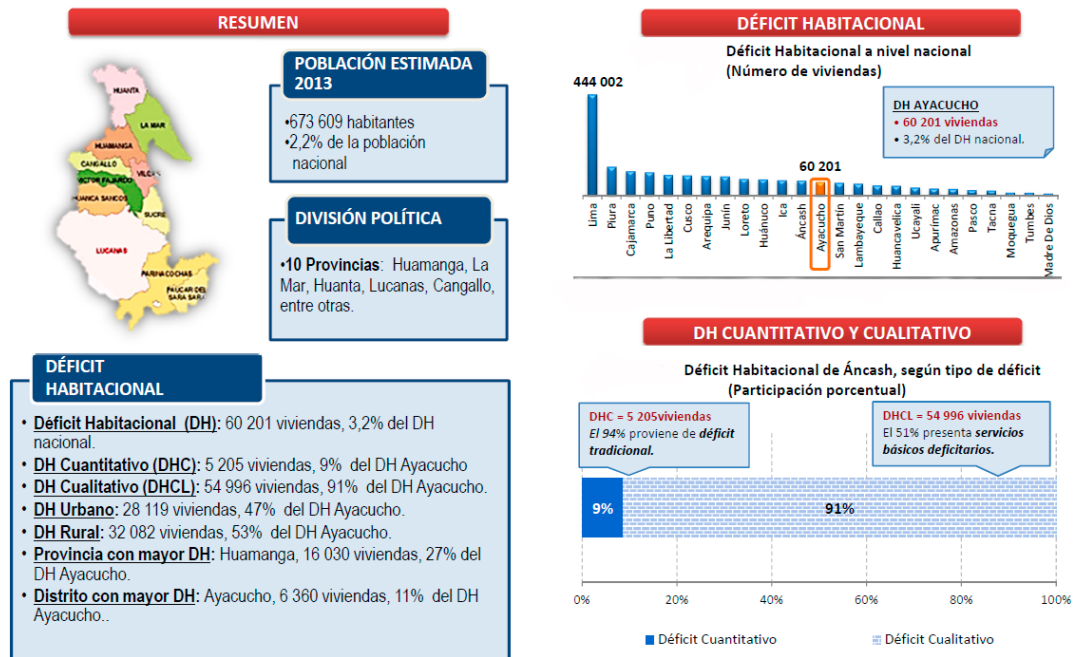


Figura 1.1: Déficit habitacional en Ayacucho.

Fuente: Figura tomada desde (INEI, 2007)

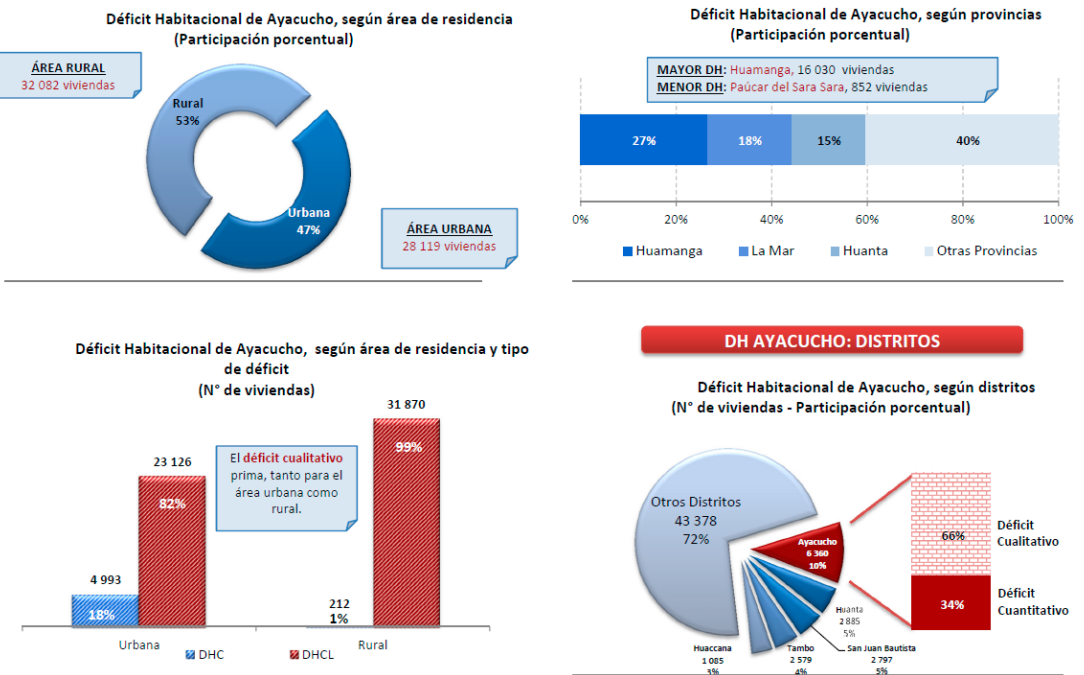


Figura 1.2: Déficit habitacional de Ayacucho y distritos.

Fuente: Figura tomada desde (INEI, 2007)

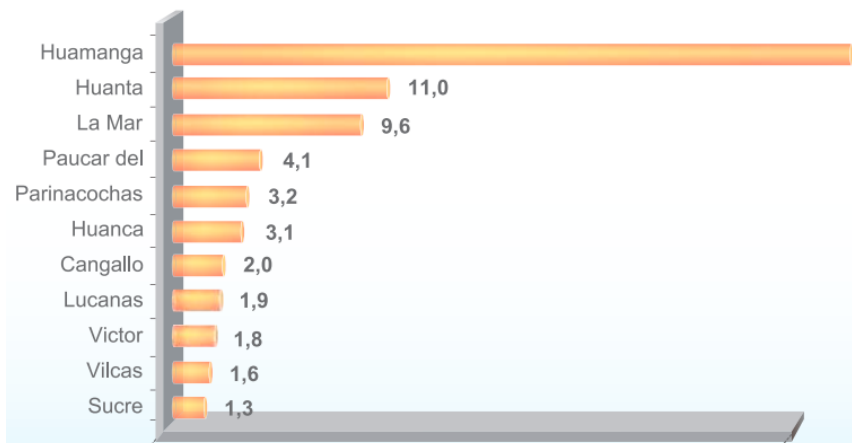


Figura 1.3: Ayacucho - Viviendas y uso de ladrillo como material predominante (%).

Fuente: Elaboración propia



Figura 1.4: Viviendas con ladrillo artesanal como material predominante.

## 1.3 Formulación del problema

### 1.3.1 Problema principal

- ¿Qué efectos genera la calidad de las unidades artesanales en la resistencia al corte y flexión de los muros de albañilería confinada?

Fuente: Elaboración propia



Figura 1.5: Unidad de albañilería con rasgos físicos de vacíos.

### 1.3.2 Problemas secundarios

1. ¿De qué manera influye las piedras caliches (cal, sulfatos y otros) en la calidad de las unidades artesanales en la resistencia al corte de los muros de albañilería confinada?

Fuente: Elaboración propia



Figura 1.6: Unidades con presencia de caliches después de la cocción.

2. ¿Qué efectos genera la calidad de las unidades artesanales en la durabilidad de la albañilería confinada?

Fuente: Elaboración propia



Figura 1.7: Albañilería expuesta a intemperismo sin acabados.

3. ¿Qué efectos genera las malas prácticas de las construcciones en la resistencia al corte de muros de albañilería confinada?

Fuente: Elaboración propia

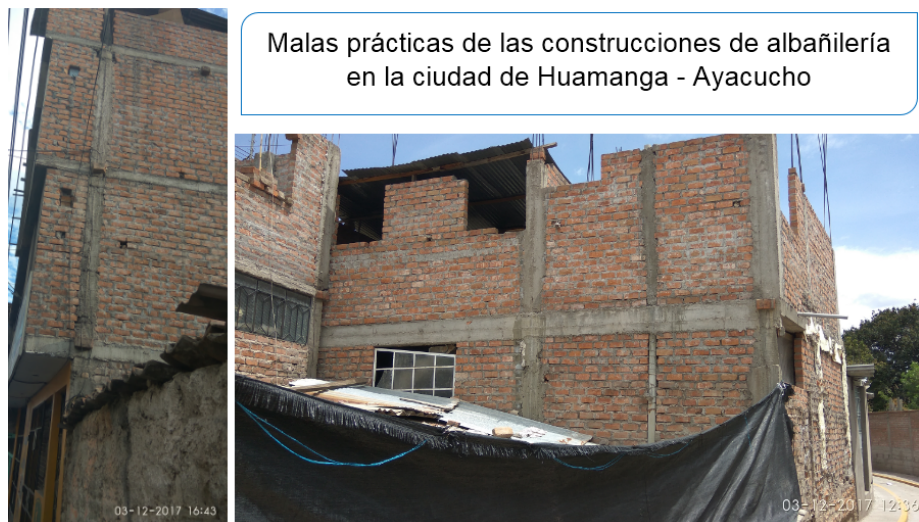


Figura 1.8: Cangrejas en la conexión albañilería - columna.

Las malas prácticas de las construcciones de la albañilería con cangrejas, errores en las instalaciones de los servicios de agua y desagüe, como viviendas autoconstruidas, suman la producción de la baja calidad de las unidades artesanales, muros sin acabados, todo hace efecto que sea vulnerable la edificación de albañilería confinada ante los efectos sísmicos y agentes externos.

4. ¿Qué efectos genera las fisuras de las unidades artesanales en la resistencia al corte de muros de albañilería confinada?

Fuente: Elaboración propia



Figura 1.9: Unidad fisurada en muro de albañilería confinada.

5. ¿Qué efectos genera los espesores desiguales de las juntas de mortero en la resistencia al corte de muros de albañilería confinada?

Fuente: Elaboración propia



Figura 1.10: Espesor de juntas desiguales en muros de albañilería.

## 1.4 Justificación e importancia de la investigación

### 1.4.1 Justificación

La investigación servirá también para identificar las debilidades y deficiencias en las fábricas respecto al diseño y elaboración de los ladrillos artesanales, las cuales muchas de ellas o en

la mayoría no cumplen con las especificaciones de la **Norma Técnica de Edificaciones E-070**, no hay control de calidad, a esto se suma los errores de las malas prácticas de los albañiles en los procesos constructivos de las viviendas formales e informales, es decir el crecimiento desordenado de las viviendas autoconstruidas generando la vulnerabilidad de las estructuras ante los eventos sísmicos, finalmente el proyecto de investigación creará expectativas de mejora en la competencia estructural de la resistencia y la durabilidad de la albañilería confinada en la región Ayacucho.

### 1.4.2 Importancia

---

La investigación constituye un aporte beneficiario para la región Ayacucho, el uso de la calidad de unidades artesanales actualmente para la construcción de viviendas unifamiliares generalmente de 2 a 3 pisos y las prácticas autoconstruidas de la albañilería confinada, que en el futuro haya mejoras en la producción de las unidades artesanales más resistentes, luego se mostrarán estructuras competentes, más seguras y menos vulnerables ante los sismos severos.

## 1.5 Objetivos

---

### 1.5.1 Objetivo General

---

- ☛ Evaluación de la resistencia al corte y flexión de muros de albañilería confinada artesanal a carga lateral cíclica.

### 1.5.2 Objetivos Específicos

---

1. Investigar y evaluar experimentalmente las propiedades físicas, mecánicas y las resistencias características de los componentes de la albañilería para clasificarlos según la Norma Técnica Peruana E-070 y sirva como aporte para mejorar la calidad de ladrillos en la región Ayacucho.
2. Realizar ensayos estáticos cíclicos con desplazamiento progresivo controlado, del muro de albañilería confinada, con la finalidad de determinar su comportamiento sismorresistente y comparar los resultados experimentales, análisis teórico y modelamientos numéricos computacionales (M.E.F.) con el programa Ansys v18.2.
3. Evaluar el comportamiento físico del muro durante el ensayo al generar fisuras, grietas, la resistencia al corte diagonal y la carga de agrietamiento diagonal en tracción por flexión.

## 1.6 Hipótesis

---

### 1.6.1 Hipótesis Global

---

- ☞ La evaluación de la resistencia al corte y flexión de muros de albañilería confinada con carga lateral cíclica, nos permitirá mejorar la calidad de las unidades artesanales en sus propiedades físicas y mecánicas, con ello mejorará la resistencia al corte y flexión del muro confinado.

### 1.6.2 Subhipótesis

---

1. La evaluación experimental de las propiedades físicas, mecánicas de los componentes de la albañilería servirá para poder clasificarlos según la NTP. E-070 y tendrá mejor control de calidad los ladrillos artesanales en la región Ayacucho.
2. La evaluación de influencias de las piedras caliches (cal, sulfatos y otros) en la baja calidad de las unidades artesanales nos permitirá hacer mejoras, disminuyendo las fisuras y cráteres en la unidad; con ello tendrá un buen comportamiento estructural el muro confinado.
3. La evaluación de errores de las malas prácticas de las construcciones, como cangrejeras, instalaciones sanitarias incorrectas trae consecuencias de baja resistencia al corte de los muros de albañilería confinada, permitirá mejorar las construcciones de las viviendas inseguras.

## 1.7 Limitaciones

---

La investigación experimental se limita a probar, las pruebas de ensayo de laboratorio a partir de prismas de albañilería como pilas y muretes, mucho menos muros de albañilería a escala natural en la ciudad misma, porque no cuenta con equipos necesarios para dichos ensayos; en el caso de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, existe equipos solamente para hacer pruebas básicas como el ensayo de compresión axial de las unidades, variación dimensional, alabeo, tampoco se practica.

Otras limitaciones de los labradores o fábricas de las unidades no conocen el concepto de calidad, resistencia, durabilidad de las unidades que están produciendo, la justificación es solamente el sustento económico familiar y no están capacitados para asumir retos de mejoras. También tienen temor a cambiar la implementación de sus equipos para las mejoras de las unidades, por el costo de inversión.

## 1.8 Variables e indicadores

La Tabla 1.2 muestra la relación entre las variables e indicadores identificados en la presente investigación según la Norma Técnica de Edificaciones: NTE E-070, 2006.

Variables	Indicadores
Resistencia de la albañilería (Dependiente)	Resistencia a la compresión axial de la unidad
	Variabilidad dimensional
	Alabeo
	Succión
	Densidad natural
Durabilidad de la albañilería (Dependiente)	Resistencia a la compresión axial de la unidad
	Absorción
	Absorción máxima
	Coefficiente de saturación
	Humedad natural
Resistencia al corte del muro (Dependiente)	Adherencia del mortero
	Mano de obra
	Ladrillo artesanal
Resistencia a flexión del muro (Dependiente)	Confinamientos (columnas y vigas)

Tabla 1.2: Variables e indicadores

## 1.9 Unidad de análisis

La unidad de análisis es la evaluación de la resistencia al corte y flexión de muros de albañilería confinada a escala natural sometidos a carga lateral cíclica, hechos con unidades artesanales King Kong sólido de la fábrica de la Sra. Martha Jara en el centro poblado de Compañía.

## 1.10 Metodología de la investigación

La metodología de la investigación es cumplir con los objetivos planteados, por lo tanto, debe preservar y emplear las estrategias, tácticas y procedimientos adecuados para alcanzar la meta del proyecto emprendido, se buscó una cantera producción artesanal representativo en el Centro Poblado de Compañía del distrito de Pacaycasa, Provincia de Huamanga, de región Ayacucho.

☞ **Investigaciones bibliográficas.** La recopilación de la información digital y físico relacionado al tema del proyecto de investigación. La situación actual de la ciudad Huamanga en el crecimiento demográfico y la construcción de viviendas de 2 a 3 pisos generalmente en las zonas perimetrales de la ciudad, en otros casos como las zonas centrales hasta de 3 a 5 pisos, el tipo de sistema de las construcciones es de albañilería confinada con unidades artesanales.

☞ **Análisis experimental de las unidades y especímenes.** Para ello se seleccionaron 10 unidades de ladrillos artesanales de los cuales, 5 unidades se ensayaron a compresión simple y 5 unidades restantes se ensayaron a absorción. Se realizó los siguientes ensayos relacionados a la resistencia de la albañilería:

- Variabilidad dimensional.
- Alabeo.
- Resistencia a la compresión simple.
- Succión.
- Densidad natural.

Se realizó los siguientes ensayos relacionados a la durabilidad de la albañilería:

- Absorción, absorción máxima.
- Humedad.
- Coeficiente de saturación.
- Resistencia a la compresión simple.

☞ **Análisis experimental de prismas de albañilería simple.** Se ensayaron 03 pilas y 03 muretes de albañilería, para obtener la resistencia característica a compresión axial de la albañilería ( $f'_m$ ), resistencia característica a corte puro ( $v'_m$ ) respectivamente.

☞ **Análisis experimental del muro de albañilería confinada a escala natural.** Se ensayó 01 muro, con conexión dentada entre la columna-albañilería, instrumentado con LVDT's, sometido a carga lateral cíclica con desplazamiento progresivo controlado a través de las fases y ciclos, el comportamiento de la estructura como simulación sísmica a nivel rango lineal y no lineal para obtener los siguientes parámetros:

- La rigidez lateral elástica ( $K$ ).
- Distorsión angular ( $\gamma$ ).
- Módulo de corte ( $G$ ).

- Agrietamiento diagonal (rotura diagonal).
- Fisuración en tracción por flexión.

☞ **Análisis teórico del muro a escala natural.** Se hizo el análisis teórico para la estimación de los siguientes cálculos y se comparan con los resultados experimentales a nivel rango elástico:

- Rigidez lateral.
- Fisuras de tracción por flexión.
- Agrietamiento diagonal teórico.
- Momento flector nominal máximo.
- Fuerza cortante máximo asociada a la fractura.
- Tipo de falla esperada.

☞ **Análisis e interpretación de resultados.** A partir de la envolvente de lazos histeréticos estables a nivel elástico, se puede construir el diagrama de lazos histeréticos de fuerza cortante versus desplazamientos, luego obtener las curvas de capacidad y los picos máximos en cada ensayo.

☞ **Análisis comparativo de resultados.** La evaluación de los siguientes resultados:

- La rigidez lateral elástica ( $K$ ).
- Distorsión angular ( $\gamma$ ).
- Módulo de corte ( $G$ ).
- Agrietamiento diagonal (rotura diagonal).
- Fisuras de tracción por flexión.
- Comportamiento de refuerzo vertical

### 1.10.1 Tipo y nivel de investigación

---

La presente investigación es de tipo APLICATIVO EXPERIMENTAL y un nivel EXPLICATIVO, porque busca contribuir a la ampliación del conocimiento científico en la evaluación de la resistencia al corte y flexión de las estructuras de albañilería confinada.

## 1.11 Periodo de análisis

---

El periodo de análisis para la evaluación de la resistencia al corte y flexión de muros de albañilería confinada artesanal sometido a carga lateral cíclica es a los 28 días de edad, éste periodo de análisis se considera para el muro, en base a las pruebas de las 04 probetas por cada elemento estructural, es decir los confinamientos de concreto armado se ensaya 02 probetas a los 7 días de edad y 02 probetas a los 28 días serán ensayados en el laboratorio y posteriormente procesos de los datos.

## 1.12 Fuentes de información

---

La información solicitada al Instituto Nacional de Estadística e informática (INEI-2017), resultados del último Censo Nacional de Población y Vivienda 2007- 2016, sobre crecimiento demográfico de la región Ayacucho, porcentaje de incremento de la demanda en áreas de expansión urbana; es decir mapa del déficit habitacional y material de construcción en viviendas, toda esta información recabada en digital y en formato Excel.

## 1.13 Instrumentos utilizados

---

Las aplicaciones y equipos utilizados para alcanzar las metas de los objetivos de la investigación presentados en dos rubros:

### 1. Aplicaciones:

- ☞ Microsoft Excel 2016
- ☞ Ansys versión v18.2
- ☞ Autocad 2016
- ☞ PTC Mathcad prime 4.0
- ☞ MiKTEX 2.9
- ☞ T<sub>E</sub>Xmaker
- ☞ JabRef 2.10
- ☞ LYX 2.1

### 2. Equipos de ensayo:

- ☞ Pie de Rey o Vernier

- ☞ Gata hidráulica
- ☞ Celda de Carga
- ☞ Actuador Dinámico
- ☞ LVDT's
- ☞ Grietómetro

## 1.14 Recolección de datos

---

La investigación se ha ceñido en la base a la recolección de datos estadísticos cuantitativos y cualitativos de cada prueba de ensayo que se desarrolló en el laboratorio de estructuras, ejemplo los promedios de las pruebas de variación dimensional de las 10 unidades, pruebas de prismas de albañilería como pilas y muretes, finalmente los puntos para construir la gráfica de los lazos histeréticos del muro ensayado.

## 1.15 Procesamiento de datos

---

Los datos recogidos de todas las pruebas de ensayo son procesadas mediante los programas de cálculos como *M. Excel, Mathcad prime 4.0, Ansys v18.2*, con la finalidad de contrastar la hipótesis y validación de la investigación, se desea demostrar la resistencia al corte y flexión de muros de albañilería confinada hechos con unidades artesanales.

*“Cuando amamos, siempre nos esforzamos por ser mejores de lo que somos. Cuando nos esforzamos por ser mejor de lo que somos, todo a nuestro alrededor se vuelve mejor”*

— El Alquimista de Paulo Coelho

Capítulo

# 2

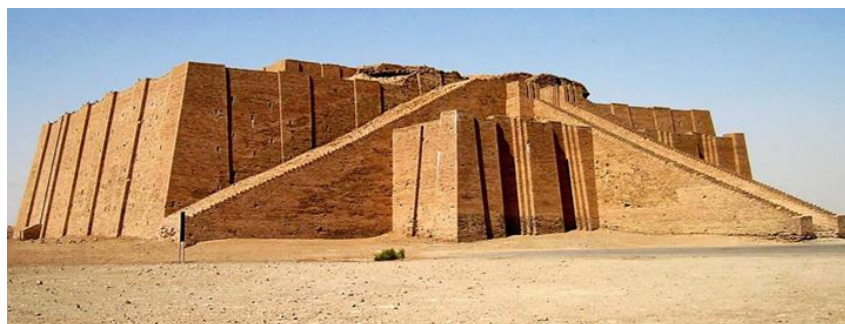
## ESTADO DEL ARTE

En este capítulo se desarrolla el avance de las investigaciones en albañilería confinada o las edificaciones hechos con ladrillos artesanales en el mundo, Perú y la región Ayacucho a través de los años, su origen hasta la actualidad, citamos las siguientes investigaciones a través de la cronología de las culturas.

### 2.1 Avance de las investigaciones hasta la actualidad

Según (Gallegos y Casabonne, 2005), la revolución de las ciudades en las construcciones de albañilería nacieron en Jericó en medio Oriente, en Mesopotamia, hace 7 mil años, con los ladrillos cónicas crudos llamado adobe en los países actuales Iraq, Irán y Siria, el adobe es la mezcla de arcilla más fibra vegetal(paja), este último sirve para mejorar la rigidez y cohesión de la unidad, finalmente moldeada y secada a la intemperie, luego levantaron grandes edificaciones como, Zigurats de Ur y la Muralla de Babilonia que fue el templo de ceremonia que recibía al dios protector de la ciudad, estas construcciones pertenecían al siglo babilónico VI y VII a.c. En la costa norte del Perú, en la huaca Prieta, en el valle del río Chicama, con una antigüedad de 5 mil años.

**Fuente:** Figura tomada desde (Espinoza García, 2011)



**Figura 2.1:** Albañilería Mesopotámica, Zigurat de Ur.

Fuente: Figura tomada desde (Máximo, 2018)



Figura 2.2: Lugar sagrado: Mezquita Al Askari (Samarra / Irak).

Según (Shady Solis, 2015), la aparición de la albañilería en el Perú, se dio a través de la cronología histórica de las culturas peruanas, la aparición de la cultura Caral, hace 3000 años a.c., ubicado en el valle de Supe, sus influencias se han expandido en las siguientes culturas, el inicio de la urbanización con la cultura Nazca, la cultura Moche muestra monumentos históricos como la huaca del sol y la luna con la consolidación y la revolución urbana, la cultura Wari, muestra construcciones de albañilería de adobe y piedra con mortero de barro, como la ciudad de Piquillaqta, construcción de grandes canales de irrigación desde laguna Razohuilca, la cultura Chimú muestra la fortaleza de Paramonga, la cultura Chan Chan llegó a tener 1500 habitantes construyeron canales de irrigación subterráneos .

Fuente: Figura adaptada desde (Wikipedia, 2018a)



Figura 2.3: Albañilería de tapial - cultura Caral.

**Fuente:** Figura tomada desde (Wikipedia, 2018b)



**Figura 2.4:** Albañilería de piedra - cultura Wari.

**Manual de Técnica Ladrillera (Splinger, 1954), citado por (Arquíñigo Trujillo, 2011, pág 24).**

El texto contiene información acerca de la materia prima, el yacimiento de arcilla, la preparación de la arcilla, el moldeo de en la fabricación de ladrillos y tejas, el secado, la cocción, instalación de ensayos y normas técnicas y finalmente una descripción completa acerca de las fábricas de ladrillo.

“**Defectos en la fabricación de ladrillos y tejas**”, por (Splinger, 1954), este libro complementa al anterior, analizando los defectos que comúnmente se presentan en la fabricación de ladrillos y tejas, se incluye las causa y medidas para remediarlos. Trata principalmente de Grietas y deterioros en la fabricación, durante el secado, durante la cocción y en ladrillos y tejas terminados; deformaciones durante el secado y la cocción, defectos de colorido y otros que no se pueden determinar inmediatamente en los productos terminados.

**Estudio integral de la construcción con albañilería: en busca de una solución económica para la vivienda multifamiliar (Gallegos *et al.*, 1977), citado por (Arquíñigo Trujillo, 2011, pág 21).**

Como primera etapa del proyecto, efectuaron un diagnóstico de la realidad nacional de la industria del ladrillo. Para ello seleccionaron 15 ciudades que pertenecen a las 3 regiones

del país (costa, sierra y selva), siendo seleccionadas como las más representativas en función a su población, número de viviendas, demanda y consumo de materiales de construcción.

Llegaron a determinar importantes diferencias respecto a la producción del ladrillo de arcilla en cuanto a las características de la materia prima, tecnología de fabricación, grado de mecanización, condiciones climatológicas, etc. entre una región y otra e incluso entre ciudades de una misma región.

Determinaron también que es muy variado el poder adquisitivo de los consumidores y diferentes los requerimientos de las características del ladrillo según sea su uso y destino. Con todo ello, propusieron una Norma Técnica Nacional que contemple requisitos categorizados por las cualidades definitorias del ladrillo, de manera que puedan disponerse en cada región del Perú, de ladrillos convenientemente normalizados y susceptibles de ser fabricados en cada zona, con sus propios recursos.

**Estudio de la conexión columna y albañilería en muros confinados diseñados a la rotura. (González Galgani, 1993)**

El trabajo de investigación se realizó con el objeto de estudiar el efecto de la conexión existente entre la albañilería y las columnas sobre el comportamiento sísmico de los muros confinados, se ensayaron dos muros de  $2,30 \times 2,40 \times 0,13m$ , construidos con dos técnicas diferentes. En la primera técnica, la conexión fue dentada (“tradicional”); mientras que, en la segunda la conexión fue a ras, adicionando chicotes de anclaje.

En conclusión, con el empleo de la conexión a ras (con chicotes), se logró una gran adherencia en la zona interface columna-albañilería, manteniéndose de esta forma la integridad del sistema. La adición de los chicotes de anclaje en el muro 2, incrementó un bajo porcentaje (0.87 %) en costo de este muro en relación al muro 1; mientras que el muro de conexión dentada produce cangrejas o ladrillos quebrados en proceso de vaciado y vibrado del concreto de las columnas.

El refuerzo horizontal disminuyó, en etapas de grandes desplazamientos laterales, el deterioro de la albañilería y el de las columnas. Además, mayor refuerzo se originan más fisuras, pero estas a su vez son más finas.

**Evaluación de las características estructurales de la albañilería producida con unidades fabricadas en la región Grau - Piura (Fontana Palacios, 1999), citado por (Arquíñigo Trujillo, 2011, pág 24).**

Se estudiaron a 36 productores de ladrillos de arcilla cocida en la ciudad de Piura, seleccionados en función de presencia en el mercado.

De los resultados podemos destacar que la materia prima consiste de arcillas de origen continental de aguas someras, tipo limoníticas, de colores: gris verdoso, gris amarillento y gris claro. Agruparon cuatro zonas de producción que mantienen similares procesos de fabricación:

- ☞ Fábrica 1: Noreste y Noroeste.
- ☞ Fábrica 2: Simbilá-Catacaos, Unión y Porvenir.
- ☞ Fábrica 3: Sur, La Encantada y Pueblo Nuevo.
- ☞ Fábrica 4: Marcavelica.

La producción artesanal, en algunas zonas con un leve tratamiento de humedecimiento de la arcilla durante 24 horas. Moldeo manual sin uniformidad de dimensiones. Secado de duración arbitraria, sin cobertizos. Cocción sin ningún tipo de control en los parámetros de temperatura, cantidad de combustible, etc., las rumas para cocción varían entre 5000 a 25000 ladrillos, para el estudio de las propiedades de la albañilería simple, se escogieron 04 productores de producción artesanal los resultados indican en la Tabla 2.2.

**Fuente:** Tabla tomada desde (Fontana Palacios, 1999)

Zona	Peso Específico gr/cm <sup>3</sup>	Absorción (%)	Absorción Máxima (%)	Succión gr/200cm <sup>2</sup> /min	f <sub>b</sub> Kg/cm <sup>2</sup>	Tipo de Ladrillo
Nor - Oeste	1,702	11.96	20.02	59.67	90.22	Corriente
Nor - Este	650	13.12	14.85	48.70	87.34	corriente
Semi-industrial	1,846	15.16	16.90	42.73	143.96	King Kong
Marcavelica	1,536	18.45	24.27	83.79	58.73	King Kong
Simbilá-Catacaos	1,636	18.81	20.54	107.00	71.44	King Kong
Bernal	560	15.75	18.50	61.73	35.31	Corriente
La Unión	1,625	15.23	16.61	45.30	81.78	King Kong
Sur	1,415	16.15	18.08	56.98	68.38	King Kong
La Encantada	1,465	25.7	27.75	94.20	69.74	Semi KK
Pueblo Nuevo	1,460	26.85	30.75	58.70	36.17	Semi KK

**Tabla 2.1:** Resultados de compresión axial de las unidades de Piura.

**Fuente:** Tabla tomada desde (Fontana Palacios, 1999)

Procedencia	Ensayos de compresión en Prismas				Ensayos de Compresión Diagonal en Muretes		
	$f'_m$ Kg/cm <sup>2</sup>	$f'_b$ Kg/cm <sup>2</sup>	E Kg/cm <sup>2</sup>	E/ $f'_m$	$v'_m$ Kg/cm <sup>2</sup>	G Kg/cm <sup>2</sup>	G/E
Bernal	40.12	48.27	11235	280	8.33	5811	0.5
Nor-oeste	33.69	48.67	5389	212	5.74	2047	0.5
Sur Chulucanas	29.03	37.28	2571	89	4.51	1371	0.5
Nor-este	25.44	54.36	4295	128	5.30	5611	1

**Tabla 2.2:** Resultados de compresión diagonal muretes de Piura.

### Conclusiones:

- ☞ Con referencia a las unidades se han encontrado una gran variabilidad dimensional. La succión natural es muy elevada y las variaciones de la resistencia están sujetas a diferencias en los procesos de fabricación de cada zona. Según la norma E-070, las unidades se clasifican como ladrillos tipo I.
- ☞ En cuanto a las propiedades de la albañilería simple, no se han podido fijar con certeza valores característicos de la resistencia a compresión  $f'_m$ . la relación entre el módulo de elasticidad  $E$ , difieren notoriamente de los valores indicados en la norma E-070.
- ☞ El esfuerzo cortante máximo obtenido de los ensayos sobre los muretes es aceptable.

Concluye el trabajo recomendado uniformizar la producción de los ladrillos de arcilla cocida en la ciudad de Piura, mejorando los procesos de fabricación y estableciendo sistemas de control en su producción. Así mismo se sugiere extender este tipo de estudios a otras ciudades del país. Apara conocer la calidad de estos materiales de construcción y proponer en consecuencia las mejoras que sean necesarias.

**Evaluación de las características estructurales de la albañilería producida con unidades fabricadas en la región central Junín. (Aguirre Gaspar, 2004)**

Ensayos de la unidad (variación dimensional, alabeo, compresión, absorción, densidad, succión tracción por flexión). De los resultados obtenidos se concluye que las unidades ensayadas a compresión no alcanzan el valor mínimo especificado en la **norma E-070** vigente, siendo promedio de las cuatro zonas de  $39,4 \frac{kg}{cm^2}$ ; sin embargo, con los resultados de otros ensayos, estas clasifican como II o III.

Ensayos de la albañilería simple fabricadas con estas unidades: compresión de pilas donde se determinó la resistencia promedio  $f'_m = 27,9 \frac{kg}{cm^2}$  y el módulo de Elasticidad promedio  $E_m = 11570 \frac{kg}{cm^2}$  y compresión diagonal de muretes dónde se obtuvo la resistencia promedio al corte  $v'_m = 5,7 \frac{kg}{cm^2}$  y módulo de corte promedio  $G_m = 6640 \frac{kg}{cm^2}$  de los resultados obtenidos se puede decir que la albañilería tiene baja resistencia y regular comportamiento al corte.

**Control de la trituración de los ladrillos huecos en muros de albañilería confinada sujetos a carga lateral cíclica. (Paredes Castro y Caycho Pérez, 2009)**

Para la realización del mencionado proyecto, se construyeron dos muros a escala natural, uno de manera tradicional (M1) y otro con el refuerzo horizontal propuesto (M2). Ambos muros fueron sometidos a un ensayo de carga lateral cíclica con desplazamientos controlados, con el objetivo de comparar su comportamiento sísmico.

Al término de los ensayos se pudo observar que la adición de refuerzo horizontal atenúa el grosor de las grietas diagonales, retardando la trituración de las unidades de albañilería huecas, lo que evita la pérdida de resistencia y rigidez en los muros en las etapas tempranas del ensayo.

**Propuesta para mejorar la calidad estructural de los ladrillos artesanales de arcilla cocida de Huánuco. (Arquíñigo Trujillo, 2011)**

La inclusión de huecos en la cara de asiento y aserrín en la composición del crudo, permite que los ladrillos artesanales de arcilla cocida, cumplan con exigencias de la norma E-070, clasificándola por lo menos del tipo II, en condición de sólido o macizo permite mejor circulación del aire caliente, cociendo mejor la parte central, un mejor grado de cocción permite que el ladrillo alcance una mayor resistencia y durabilidad frente a las inclemencias del clima y finalmente la inclusión de aserrín en la composición del crudo evita fisuras o grietas por contracción del secado.

**Diseño y construcción de estructuras sismorresistentes de albañilería. (San Bartolomé *et al.*, 2014)**

Desde 1979, la PUCP ha ejecutado un programa de investigación teórico-experimental, con materiales y técnicas constructivas locales. Como resultado, en el año 2006 se oficializo un moderno reglamento de diseño y construcción, la Norma Técnica de edificaciones E-070

“Albañilería”, cuya formulación y aplicación es tratada en este libro ganador del concurso de textos PUCP del 2011.

**Análisis experimental de muros de albañilería confinada en viviendas de baja altura en Lima, Perú. (Pari Quispe y Manchego Meza, 2017)**

Conclusión de los resultados en los ensayos cuasi-estáticos se apreció que los muros sin carga vertical (M1, M2 y M3) fallaron por flexión y corte, esto se apreció en la forma de propagación de grietas y sus ángulos de inclinación. En promedio, la resistencia a tensión por flexión fue alcanzada para un drift de 0.03% y una carga lateral de 90 KN, asociados a una reducción de 20% de su rigidez lateral inicial. La resistencia máxima se presentó para un drift de 0.65%, carga lateral de 25 KN y asociado a una reducción del 90% de su rigidez lateral inicial.

## 2.2 Avance de la investigación en el Perú

Las investigaciones se han venido desarrollando en los laboratorios de estructuras antisísmicas de la Pontificia Universidad católica del Perú y otras universidades, se puede rescatar de la Tabla .2.3, el mejoramiento en la resistencia de unidad artesanal de clase I en 2007 a clase II en 2018, influencia de la temperatura, antes se utilizaba leña y ahora carbón mineral como combustible para el quemado de las unidades artesanales a nivel del valle de Pacaycasa.

**Fuente:** Elaboración propia

CARACTERÍSTICAS	INVESTIGACIONES EXPERIMENTALES DE LAS UNIDADES DE ALBAÑILERÍA EN EL PERÚ					
Lugar de estudio	Junín	Ayacucho	Lima	Huánuco	Lima	Ayacucho
	Aguirre	Alfaro	Paredes	Arquiñigo	Pari	Leguía
Laboratorio	Pucp-2004	Unsch-2007	Pucp-2009	Pucp-2011	Pucp-2017	Pucp-2018
Tipo	KKS Artesanal	KKS Artesanal	KK.18 H. Indust.	KK8H. Artesanal	KK.18H. Indust.	KKS. Artesanal
Dimensiones (cm)	8.11x11.99 x23.56	8.50x11.50 x21.5	9x12.5x23	7x13x23	9.05x12.81 x23.39	8.18x11.45 x21.23
Peso promedio (kg)			2.70		3.30	2.85
Rendimiento (unidades/m2)	-	-	36	-	36	48
Resistencia de la Unidad (f´b:kg/cm2)	46.16	69	144	140.68	112.78	81.54
Absorción (%)	17.73	23	13.00	-	10.24	20.82
Densidad (gr/cm3)	1.68	1.48	1.95	-	-	1.46
Coefficiente de saturación	0.71	0.90	-	-	-	0.93
Clasificación (clase)	no clasif.	I	IV	IV	III	II
Resistencia en Pilas (f´m:kg/cm2)	35.56	25	60	36	96.47	37.24
Resistencia en Muretes (v´m:kg/cm2)	6.53	-	7.14	10	12.75	5.61

**Tabla 2.3:** Resultados de la investigación experimental de las unidades en el Perú.

“Queda prohibido no sonreír a los problemas, no luchar por lo que quieres, abandonarlo todo por miedo, no convertir en realidad tus sueños”

— Pablo Neruda

Capítulo

# 3

## MATERIALES Y METODOLOGÍA

### 3.1 Componentes de la albañilería

La albañilería está definida por un conjunto de unidades llamados ladrillos apilados (hiladas) entre sí, unidas con mortero que sirve de adherencia en la juntas horizontales y verticales. El mortero está conformado: cemento, arena, cal y agua.

#### 3.1.1 Características de los materiales

Para continuar con el estudio de la investigación, es fundamental conocer las propiedades básicas de la unidad, para poder abordar el tema de la albañilería.

##### 3.1.1.1 Unidad de albañilería

Según la *Norma Técnica de Edificaciones E-070*, se denomina ladrillo aquella unidad cuya dimensión y peso permite que sea manipulada con una sola mano, se llama bloque a aquella unidad que por su dimensión y peso requiere de dos manos para su manipuleo.

La unidad de albañilería que se utilizó para el propósito de esta investigación fue el tipo King Kong sólido artesanal, producido artesanalmente en la región de Ayacucho, después de las pruebas alcanza su clasificación hasta clase II, son aptos para ser empleados en la construcción de muros portantes, confinados y no portantes hasta 2 pisos de acuerdo a la *Norma técnica Peruana E-070*.

Fuente: Elaboración propia

Características	Valor
Tipo	king kong sólido
Dimensiones	8.18x11.45x21.23 cm
Peso Promedio	2.85 kg
Rendimiento	48 $\frac{und}{m^2}$
R. Compresión	$f'_b = 81.54 \frac{kg}{cm^2}$
Absorción	20.82%
Densidad	1.46 $\frac{gr}{cm^3}$
C. Saturación	0.93
Humedad Nat.	0.08%



Tabla 3.1: Características de la unidad artesanal.

### 3.1.1.2 Ubicación y accesibilidad del proyecto de investigación

La fábrica de ladrillos artesanales cuya propietaria Sra. Martha Jara, quien se dedica a la producción de unidades artesanales, con dos hornos de capacidad 55 y 75 millares respectivamente, según la investigación (Alfaro Asto, 2007) esta fábrica tiene mayor volumen de ventas 60 millares mensuales, está ubicado en:

- ☛ **Región:** Ayacucho.
- ☛ **Provincia:** Huamanga.
- ☛ **Distrito:** Pacaycasa.
- ☛ **Centro Poblado:** Compañía.
- ☛ **Cordenadas:** E=581493, N=8555304.
- ☛ **Altitud:** 2303 m.s.n.m.
- ☛ **Vía de accesibilidad:** Vía asfaltada Huamanga – Huanta con desvío en el punto Lagunilla con dirección Julcamarca promedio 17km.
- ☛ **Tiempo de viaje:** 33 minutos.

Fuente: Elaboración propia

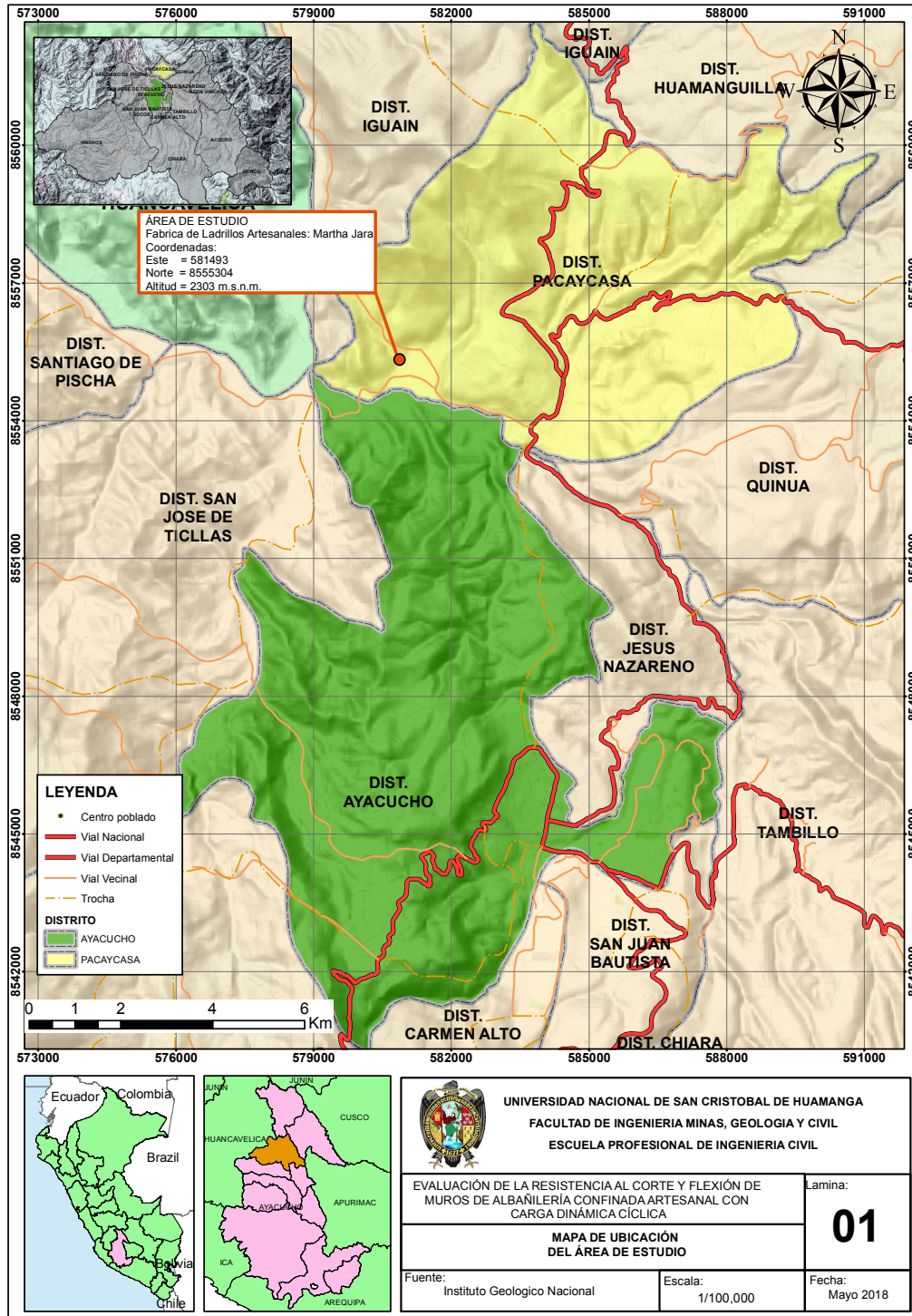


Figura 3.1: Plano de ubicación del proyecto de investigación.

**3.1.1.3** Fabricación de unidades artesanales de arcilla

Toda materia para el labrado de ladrillos artesanales en la región Ayacucho, son arcillas de dos colores encontrados en el valle del centro poblado de Compañía, uno de color negro (vista lado izquierdo) y el otro de color rojizo (vista lado derecho) y tierra limoso (vista centro), como se muestra en la Figura 3.2. El ladrillo es el producto de la mezcla de arcilla negra más tierra limosa más agua.

Fuente: Elaboración propia



**Figura 3.2:** Identificación de materia prima de ladrillo king kong artesanal.

Las arcillas empleadas como materia prima para la fabricación de los ladrillos se clasifican calcáreas y no calcáreas. Las primeras contienen un 15% de carbonato de calcio, que da lugar a unidades de color amarillento; en las segundas predominan silicato de alúmina con un 5% de óxido de hierro que le proporciona color rojizo. Además, las mejores arcillas tienen arena y limo; es necesario que contengan arena para reducir los efectos de contracción por secado de la arcilla, que podría generar fisuras en los ladrillos (San Bartolomé *et al.*, 2014).

Fuente: Elaboración propia



**Figura 3.3:** Diagrama de flujo de fabricación de ladrillos.

### 3.1.1.4 Proceso de producción de ladrillos artesanales

#### ☞ Extracción de arcilla y tierra

Es la primera etapa, consiste en la ubicación de la cantera de arcilla que está en las coordenadas U.T.M aproximadas (medidas con G.P.S.): 581493E, 8555304N a 2303 m.s.n.m, en el centro poblado de Compañía, la materia prima se puede extraer manualmente o con máquina retroexcavadora, para estudio encontramos la arcilla negra que se encuentran en el terreno agrícola.

La arcilla negra, es el único material que encontramos en el lugar de estudio, tiene la característica de reducir sus dimensiones y peso, más que la arcilla roja después de la cocción, las fisuras generadas durante en secado y cocción es mínimo.

Según **Luis Alfaro Asto**, en la muestra (M-7) de la cantera de Martha Jara, el análisis de mecánica de suelos, se trata de ML, limos inorgánicos y arena muy fina con ligera plasticidad y baja compresibilidad. Cualitativamente presenta una dilatancia lenta, tenacidad media cerca del límite plástico y una ligera resistencia en estado seco.

La arcilla roja, es transportado desde el valle de **Llamuqtachi y Trigopampa**, tienen características de contener piritas, carbonatos, sulfatos y caliches, después de la cocción presenta un cráter en el interior de las unidades, tipo nódulos blanquecinas generando fisuras y fragmentaciones en la unidad, los productores en la mayoría prefieren trabajar con la arcilla negra.

Fuente: Elaboración propia



Figura 3.4: Retroexcavadora extrayendo arcilla desde la cantera.

#### ☞ Zaranda

En este estudio encontramos dos tipos de zarandeada, el primero de tipo manual con una malla metálica, su rendimiento es  $4 \frac{m^3}{día}$  la más recomendable por el zarandador porque va escogiendo piedras caliches que siguen el material y el otro mecanizado su rendimiento es  $35 \frac{m^3}{día}$  con un sueldo jornal de  $S/ 50$  soles.

Fuente: Elaboración propia



Figura 3.5: Zaranda manual y con retroexcavadora.

### Mezclado y amasado

Existe una secuencia a seguir, primero hacer una banqueta en la tierra limosa, mezclarlo con la arcilla negra que está al lado, a ello agregarle agua, toda mezcla se realiza por tanteo ya que no existe una dosificación adecuada, la preparación se lleva a cabo de tres horas con un maestro y su peón, finalmente dejar planchado y dormida hasta día siguiente para que se pueda uniformizar la humedad en las partes que faltan (grumos).

Fuente: Elaboración propia



Figura 3.6: Secuencia de mezclado y amasado.

### Moldeado

La masa dormida se voltea dos veces más mezclando, luego se echa con fuerza de las dos manos la masa al molde o gamera de 4 unidades. Cada 20 ladrillos sacadas se lava la gamera de madera; el rendimiento del maestro y su peón es 1  $\frac{\text{millar}}{\text{día}}$ .

Fuente: Elaboración propia



Figura 3.7: Moldeado de ladrillos artesanales.

### Secado

Secado total de 22 días, se realiza en forma horizontal, canto y vertical hasta dos días, secado en arrumado 18 días, las unidades deben colocarse de canto y ser nivelado en la base, entre las unidades se debe dejar espacios para la ventilación, así seca de manera uniforme sin deformaciones, se debe evitar el efecto de alabeo y variación dimensional.

Fuente: Elaboración propia

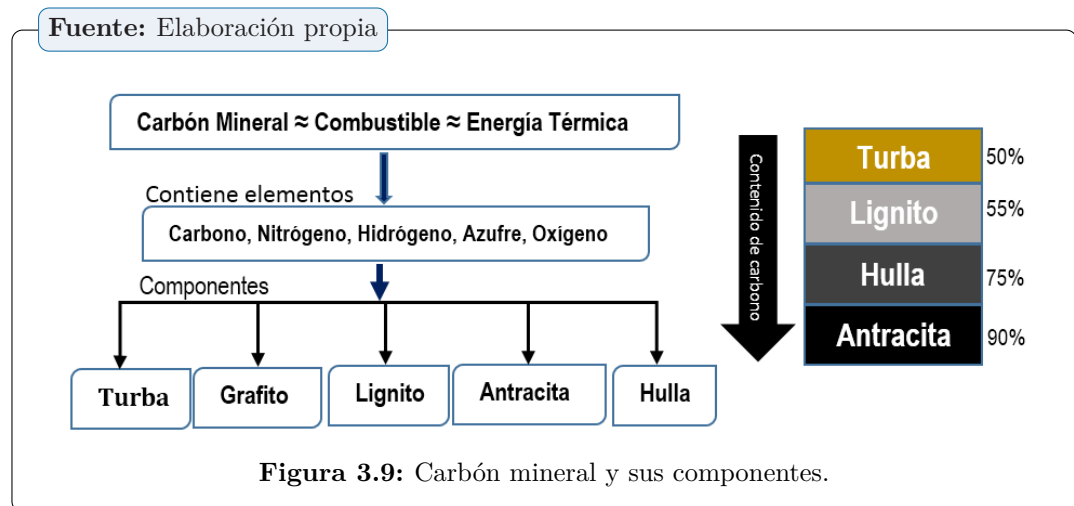


Figura 3.8: Formas de secado de ladrillos artesanales en Ayacucho.

### ☞ Cargado y quemado

El cargado del horno (capacidad 55 millares) durante 1 - 2 días, en la base se deja un vacío en forma cónica para el encendido con troncos de eucalipto y el 80 % de uso de carbón mineral distribuido uniforme cada hilada entre ladrillos, el quemado varía de 4 a 6 días.

El carbón mineral es una roca sedimentaria de color negro, muy rica en carbono y con cantidades variables de otros elementos, principalmente hidrógeno, azufre, nitrógeno y oxígeno, utilizada como combustible fósil, es un recurso no renovable, la experiencia de los labradores nos indica que las unidades hechos con arcilla roja necesitan mayor calor que las unidades hechos con la arcilla negra. La calidad del mejor carbón mineral contiene normalmente en un 90 % de antracita que viene desde la formación antigua, de color negro brillante sonoro a la percusión, arde sin dejar humo y poca ceniza.



### ☞ Descarga, selección, almacenamiento y transporte

Es la etapa final, después de la descarga se procede a la selección de las unidades que debe tener ciertas características como la homogeneidad en toda la masa (fisuras y defectos), formas regulares (aristas vivas, ángulos rectos) y coloración. Luego las unidades seleccionadas deben almacenarse para ser transportados a los centros de acopio de la ciudad de huamanga, para venderlos; hay que mencionar que la mayoría no pasa el control de selección.

Fuente: Elaboración propia



**Figura 3.11:** Almacén de ladrillos artesanales.

#### 3.1.1.5 Muestreo de las unidades artesanales - Pruebas clasificatorias

La clasificación de las unidades para fines estructurales, tendrán las características indicadas en la Tabla 3.2, según la Norma Técnica de Edificaciones E-070. Las pruebas de muestreo serán efectuadas al pie de la obra. Por cada lote compuesto por hasta 50 millares de unidades, se seleccionará al azar una muestra de 10 unidades, sobre las que se efectuarán las pruebas de variación dimensional y de alabeo, 5 de estas unidades se ensayarán a compresión y las otras 5 a absorción.

La cantera representativa de la producción de ladrillos artesanales del Centro Poblado de Compañía es 60 millares por mes de volumen de ventas según Luis Alfaro Tesis 2007, el muestreo se hizo in situ mismo del horno que tiene una capacidad de 55 millares, se tomó al azar 500 unidades artesanales de King kong sólido para el traslado a la ciudad Lima al

Laboratorio de estructuras de la Pontificia Universidad Católica del Perú, luego se proseguió con las pruebas de ensayo como indica la normativa en el párrafo anterior.

**Fuente:** Tabla tomada desde (MVCS, 2006)

CLASE DE UNIDAD DE ALBAÑILERÍA PARA FINES ESTRUCTURALES					
CLASE	VARIACIÓN DE LA DIMENSIÓN (máxima en porcentaje)			ALABEO (máximo en mm)	RESISTENCIA CARACTERÍSTICA A COMPRESIÓN f'b mínimo en Mpa (kg/cm <sup>2</sup> ) sobre área bruta
	Hasta 100 mm	Hasta 150 mm	Más de 150 mm		
Ladrillo I	±8	±6	±4	10	4,9 (50)
Ladrillo II	±7	±6	±4	8	6,9 (70)
Ladrillo III	±5	±4	±3	6	9,3 (95)
Ladrillo IV	±4	±3	±2	4	12,7 (130)
Ladrillo V	±3	±2	±1	2	17,6 (180)
Bloque P(1)	±4	±3	±2	4	4,9 (50)
Bloque NP(2)	±7	±6	±4	8	2,0 (20)

(1) Bloque usado en la construcción de muros portantes

(2) Bloque usado en la construcción de muros no portantes

**Tabla 3.2:** Clasificación de unidades para fines estructurales.

### ☞ Variación dimensional

Para la determinación de la variación dimensional de las unidades de la albañilería, se seguirá el procedimiento indicado en las Normas NTP 399.613 y 399.604.

Consiste en limpiar la unidad antes de la prueba con escobilla, eliminando las partículas sueltas, luego medir con vernier o pie de rey calibrada al milímetro. Obtenemos medidas de largo, ancho y altura, a la mitad de la arista que limitan cada cara, se realiza 4 mediciones por cada una de las dimensiones, finalmente el promedio de cada uno.

**Fuente:** Elaboración propia



**Figura 3.12:** Prueba de variación dimensional.

La variabilidad dimensional está expresada en porcentaje de la siguiente manera:

**Variabilidad dimensional**

$$V \% = \frac{ME - MP}{ME} \cdot 100 \tag{3.1}$$

Donde:

- ☞  $V \%$  : Variación dimensional (%)
- ☞  $ME$  : Medida especificada por el fabricante (mm).
- ☞  $MP$  : Medida Promedio (mm).

Se ha encontrado una mayor variación dimensional debido a las imperfecciones geométricas del ladrillo, esto implica tener mayor espesor de las juntas de mortero, lo cual genera una reducción significativa de la resistencia característica a compresión axial de la albañilería y al corte. Se observa en la Tabla 3.3, la variabilidad excede al 1 %, la variación 9.08 % en altura, entonces no clasifica.

**Fuente:** Elaboración propia

Ensayo: VARIACIÓN DIMENSIONAL		Precisión: 1mm				Instrumento : Pie de Rey, Bloque de guía de madera										
Dimensiones Nominales:		L=220 mm				A=120 mm				H=90 mm						
Especimen N°	Largo (mm)					Ancho (mm)				Altura (mm)						
	L1	L2	L3	L4	Lp	A1	A2	A3	A4	Ap	H1	H2	H3	H4	Hp	
C-01	211	212	211	210	211.00	114	114	113	115	114.00	83	84	83	83	83.25	
C-02	213	214	214	213	213.50	117	117	117	118	117.25	80	80	82	80	80.50	
C-03	213	213	214	213	213.25	115	115	116	115	115.25	81	80	81	80	80.50	
C-04	212	213	213	212	212.50	114	114	115	114	114.25	81	81	82	81	81.25	
C-05	210	211	210	210	210.25	112	115	113	114	113.50	82	81	82	82	81.75	
C-06	211	211	213	210	211.25	115	114	115	115	114.75	81	81	80	80	80.50	
C-07	214	213	216	214	214.25	114	115	115	114	114.50	83	83	82	83	82.75	
C-08	211	212	213	212	212.00	112	112	112	111	111.75	85	84	84	84	84.25	
C-09	212	211	212	211	211.50	113	114	114	112	113.25	82	83	83	83	82.75	
C-10	213	213	214	213	213.25	116	115	117	116	116.00	81	79	81	82	80.75	
Medida de Fabricante					L:	220.00	A:				120.00	H:				90.00
Desviación estandar					σ:	1.28	σ:				1.52	σ:				1.35
Medida promedio					Lp:	212.28	Ap:				114.45	Hp:				81.83
Variación Dimensional					%:	3.51	%:				4.63	%:				9.08

**Tabla 3.3:** Variación dimensional de ladrillo artesanal.

☞ **Alabeo**

El mayor alabeo (concavidad o convexidad) del ladrillo conduce a un mayor espesor de la junta. Asimismo, puede disminuir el área de contacto con el mortero al formarse vacíos en la zona más alabeada, incluso puede producir fallas de tracción por flexión en la unidad por el peso existente en las hiladas superiores de la albañilería.

Esta prueba se realiza colocando la superficie del asiento de la unidad sobre una mesa plana (Figura 3.13), para luego introducir una cuña metálica graduada al milímetro en la zona más alabeada; también debe colocarse una regla que conecte los extremos

diagonalmente opuestos de la unidad, para después introducir la cuña en el punto de mayor deflexión. El resultado promedio se expresa en milímetros. La unidad llega a clasificarse en clase IV de acuerdo a la prueba, porque el mayor valor de alabeo alcanza hasta 4, como se muestra en la Tabla 3.4.

Fuente: Elaboración propia

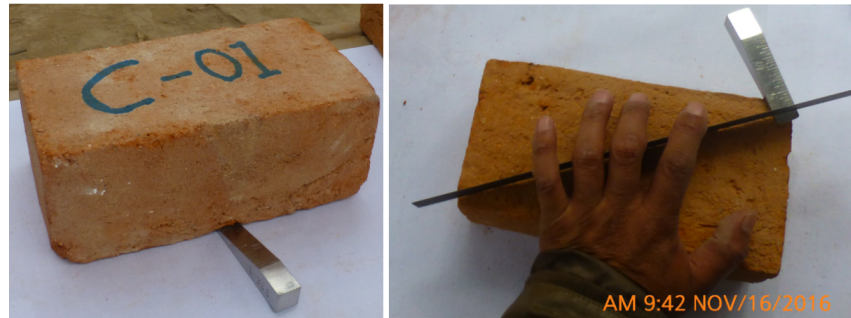


Figura 3.13: Prueba de alabeo.

Fuente: Elaboración propia

Especimen N°	Cara A (mm)		Cara B (mm)		Alabeo (mm)	
	Cóncavo	Convexo	Cóncavo	Convexo	C1	C2
C-01	2	1	1	3	2	4
C-02	0	1	1	2	1	3
C-03	0	0	1	1	2	2
C-04	3	2	1	1	4	3
C-05	2	1	2	2	2	3
C-06	2	1	2	4	2	3
C-07	1	1	2	2	1	4
C-08	0	0	1	1	2	3
C-09	1	1	1	1	1	2
C-10	0	1	1	1	3	2

Tabla 3.4: Alabeo de unidad de albañilería – Compañía.

### ☛ Resistencia a compresión axial de unidades de albañilería ( $f'_b$ )

Para la determinación de la resistencia a la compresión de las unidades de la albañilería, se efectuará los ensayos de laboratorio correspondientes de acuerdo lo indicado en las Normas NTP 399.613 y 399.604. Los especímenes para medir la resistencia a compresión son medias unidades secas, sobre cuyas superficies de asiento capping (azufre) y luego, se aplica carga axial a una velocidad de desplazamiento entre los cabezales de la máquina de ensayo de  $1,27 \frac{mm}{min}$ ; o también se controla la velocidad de carga de manera que se llegue a la rotura en 3 o 5 minutos. Finalmente, la resistencia unitaria se expresa como el valor de la carga de rotura dividida entre el área bruta para todo tipo de unidad sólida o hueca. Para ello se ha empleado 6 unidades artesanales de región Ayacucho.

Fuente: Elaboración propia



Figura 3.14: Preparación de capping y prensa hidráulica.

De acuerdo a la **Norma E-070**, la resistencia característica ( $f'_b$ ) es el resultado promedio menos una desviación estándar, se expresa en la siguiente formula:

$$f_b = \frac{P_{m\acute{a}x}}{A_b} \quad (3.2)$$

$$f'_b = f_b - \sigma \quad (3.3)$$

Donde:

$f_b$  : Resistencia a la compresión de la unidad de la albañilería ( $\frac{kg}{cm^2}$ ).

$P_{m\acute{a}x}$  : Carga Máxima de Rotura ( $kg$ ).

$A_b$  : Área bruta de la unidad de albañilería ( $cm^2$ ).

$f'_b$  : Resistencia característica de las unidades de albañilería ( $\frac{kg}{cm^2}$ ).

$\sigma$  : Desviación estándar.

Fuente: Elaboración propia

Especimen N°	Largo (mm)		Ancho (mm)		Espesor (mm)		Peso Seco (gr)	Carga Máxima		Área Bruta (cm <sup>2</sup> )	Resistencia(fb) (Kg/cm <sup>2</sup> )
	L1	L2	A1	A2	E1	E2		(KN)	(Kg)		
M-01	207	208	111	115	82	82	2830.50	189.30	19308.60	234.48	82.35
M-02	211	214	113	114	83	81	2970.10	227.00	23154.00	241.19	96.00
M-03	207	211	110	112	84	81	2904.20	195.60	19951.20	231.99	86.00
M-04	207	208	110	112	83	81	2794.70	204.50	20859.00	230.33	90.56
M-05	208	209	114	112	80	80	2873.30	215.10	21940.20	235.61	93.12
M-06	207	211	112	114	80	79	2870.30	184.20	18788.40	236.17	79.55
										fb =	87.93
										σ =	6.39
										<b>fb =</b>	<b>81.54</b>

Tabla 3.5: Compresión simple de ladrillos artesanales.

Los resultados de los ensayos de las unidades artesanales, según la Norma E-070, se clasifica en clase II, con una resistencia característica a compresión de  $81,54 \frac{kg}{cm^2}$ .

### 3.1.1.6 Pruebas no clasificatorias

Son ensayos poco necesarios para clasificar a las unidades de albañilería, pero son indispensables para definir el procedimiento constructivo de los muros de albañilería.

#### ☛ Humedad natural

Es el porcentaje del agua que posee la unidad de albañilería en su estado natural con respecto a su peso en estado seco.

Primero se obtiene el peso de las unidades en estado natural, luego su peso en estado seco, colocando las unidades de albañilería en un horno eléctrico durante 24 horas a una temperatura de  $110^{\circ}C$ , como se muestra en la Figura 3.15.

Fuente: Elaboración propia



Figura 3.15: Secado en horno eléctrico y pesado de unidades.

Para el cálculo de la humedad natural de las unidades artesanales, se presenta la siguiente formula:

$$Humedad (\%) = \frac{100x (Peso_{natural} - Peso_{seco})}{Peso_{seco}} \quad (3.4)$$

Fuente: Elaboración propia

Unidad	Peso (gr)		Humedad Natural (%)
	Natural	Seco	
C-01	2972.50	2969.20	0.11
C-02	2870.70	2868.60	0.07
C-03	2821.20	2818.40	0.10
C-04	2984.80	2982.80	0.07
C-05	2730.60	2728.80	0.07
	PROM(%)		0.08

Tabla 3.6: Cálculo de la humedad natural.

Por lo tanto, los resultados de los ensayos muestran una humedad natural de 0.08 %.

### ☛ Succión

Según (Paredes Castro y Caycho Pérez, 2009), es la medida de avidez de la unidad de albañilería y la predisposición a quitarle agua al mortero, lo que ocasiona una adherencia muy débil con la unidad de albañilería. Al debilitar la adherencia murete-unidad, la succión es determinante en la resistencia a fuerza cortante de la albañilería.

Las muestras se secaron en el horno (Figura 3.15) a una temperatura de  $110^{\circ}C$ , luego de 24 horas se retiró para obtener el peso seco. Se registra varias veces hasta no obtener variaciones, obtenido los pesos, se coloca las unidades en una bandeja con un fluido constante de agua alimentado por un recipiente externo, la muestra debe estar en contacto con el agua durante 1 minuto, luego se retira, secar e inmediatamente se pesa la muestra en una balanza electrónica que tiene una precisión de  $0,5\text{ gr}$ .

La Norma E-070, recomienda que la succión de las unidades antes de asentarlas esté comprendida entre  $10\text{ y }20 \frac{\text{gr}}{(200\text{cm}^2-\text{min})}$ , de lo contrario succionarán el agua del mortero.

Fuente: Elaboración propia



Figura 3.16: Prueba de succión de unidad en 1 minuto.

Fuente: Elaboración propia



Figura 3.17: Peso de unidad saturado.

Para el cálculo de la succión se presenta la siguiente formula:

$$S = \frac{200xW}{LxB} \quad (3.5)$$

Donde:

$W$  : Aumento de peso, en *gramos*.

$L$  : Largo promedio de la superficie de contacto, en *cm*.

$B$  : Ancho promedio de la superficie de contacto, en *cm*.

$S$  : Succión normalizada en 200  $cm^2$ .

Fuente: Elaboración propia

Especimen N°	Largo (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Peso(gr)		Succión (gr)	Área Bruta (cm <sup>2</sup> )	S (gr)
				Inicial-Seco	Final+agua			
C-01	212.00	114.00	83.00	2920.00	3114.40	194.40	241.68	160.87
C-02	214.00	115.00	81.00	2924.10	3089.00	164.90	246.10	134.01
C-03	213.00	115.00	81.00	2941.60	3110.90	169.30	244.95	138.23
C-04	213.00	114.00	81.00	2941.60	3105.80	164.20	242.82	135.24
C-05	211.00	114.00	82.00	2949.70	3072.80	123.10	240.54	102.35
<b>PROMEDIO</b>							<b>134.14</b>	

Tabla 3.7: Cálculo de ensayo de succión.

Según NTE E-070, la Succión excedió a 80 gr por 200 cm<sup>2</sup>-min para ladrillos artesanales.

### ☞ Absorción, absorción máxima, coeficiente de saturación y la densidad de las unidades de albañilería

El ensayo de absorción está relacionado con la propiedad de durabilidad de las unidades de albañilería, donde la unidad tiene alto porcentaje de índice de absorción, esto implica que el material es bastante poroso, lo que induce a que la unidad sea menos resistente al intemperismo.

La **absorción** es la medida de la permeabilidad de la unidad de albañilería, la **absorción máxima** es la medida impermeabilidad de las unidades, de la cantidad de agua que puede contener una unidad saturada, **el coeficiente de saturación** es una medida de durabilidad de la unidad, la facilidad con una unidad puede saturarse de agua; finalmente la **densidad** está relacionada con la resistencia a compresión y para su evaluación se usa el principio de Arquímedes.

Los ensayos se realizan con las mediciones de los pesos de las unidades en estado seco después de secarlos en el horno eléctrico durante 24 horas a  $110^{\circ}C$  y luego en estado saturado durante 24 horas, a esta diferencia de pesos se llama absorción, cuando las unidades se dejan en una recipiente con agua a una temperatura de  $15^{\circ}C$  y  $30^{\circ}C$ , luego se calienta progresivamente el agua hasta que llegue al punto de ebullición y finalmente dejar hervir durante 5 horas antes de pesarlo en el estado saturado se le conoce como absorción máxima, ambas se expresan en porcentaje, el coeficiente de saturación es la razón entre dichos porcentajes (NTP 399.604).

Fuente: Elaboración propia



Figura 3.18: Ensayo de absorción, peso de la unidad saturado y sumergido.

Los resultados están expresados en porcentajes con la siguiente fórmula:

$$A = \frac{100 \times (P_{sat} - P_{seco})}{P_{seco}} \quad (3.6)$$

Donde:

- $A$  : Porcentaje de absorción, contenido de agua absorbida (%).
- $P_{sat}$  : Peso de unidad saturada, durante 24 horas en poza de agua .

- $P_{seco}$  : Peso de la unidad secada en horno durante 24 horas a 110°C.

$$A_{m\acute{a}x} = \frac{100 \times (P_{sat.ebull.} - P_{seco})}{P_{seco}} \quad (3.7)$$

Donde:

- $A_{m\acute{a}x}$  : Absorción máxima (%).
- $P_{sat.ebull.}$  : Peso de la unidad saturada durante 5 horas en ebullición.

La Norma NTE E-070, la absorción de las unidades de arcilla ensayadas debe estar debajo de 22% y se alcanzó 20.82% está dentro del límite admisible.

Fuente: Elaboración propia



Figura 3.19: Ensayo de absorción máxima saturado en ebullición de 5 horas.

Fuente: Elaboración propia



Figura 3.20: Peso saturado en ebullición y peso sumergido.

$$C_{sat.} = \frac{A}{A_{m\acute{a}x}} \quad (3.8)$$

Donde:

$C_{sat.}$  : Coeficiente de saturación.

$$D = \frac{P_{seco}}{V_{sat}} \quad (3.9)$$

Donde:

$D$  : Densidad de la unidad.

$V_{sat}$  : Volumen saturado ( $\frac{gr}{cm^3}$ ) es la diferencia de peso saturado en ebullición durante 5 horas y peso sumergido en agua fría o peso aparente, todo esto multiplicado por  $1 \frac{gr}{cm^3}$ .

**Fuente:** Elaboración propia

Unidad N°	Peso (gr)					Absorción (%)	Absorción Máxima (%)	Coeficiente de Saturación	Densidad (gr/cm <sup>3</sup> )
	Natural	Seco	Sumergido Fria	Saturado (24 h)	Saturado (5 h.Ebull.)				
A-01	2972.50	2969.20	1621.70	3575.20	3585.80	20.41	20.77	0.98	1.51
A-02	2870.70	2868.60	1616.50	3465.10	3452.10	20.79	20.34	1.02	1.56
A-03	2821.20	2818.40	1569.10	3431.20	3518.70	21.74	24.85	0.88	1.45
A-04	2984.80	2982.80	1645.10	3582.80	3663.40	20.12	22.82	0.88	1.48
A-05	2730.60	2728.80	1303.10	3303.20	3389.00	21.05	24.19	0.87	1.31
<b>PROMEDIO</b>						<b>20.82</b>	<b>22.59</b>	<b>0.93</b>	<b>1.46</b>

**Tabla 3.8:** Cálculo de ensayo de absorción, absorción máxima y densidad.

### **Importante!**

Según la **Norma NTE E-070**, las unidades deben tener coeficientes de saturación menor que 0.85 en el caso de las unidades ensayadas nos muestra resultados de coeficiente de saturación de 0.93, quiere decir que son demasiados absorbentes (muy porosas) y son poco durables, de baja densidad, por lo tanto las unidades son de baja calidad, esto implica tenga baja Resistencia y Durabilidad.

## **3.2** Prismas de albañilería

Cuando se construyan un conjunto de edificaciones de concreto armado se deben fabricar probetas estándar que se ensayan a compresión axial para verificar la calidad del concreto especificado en los planos de estructuras (resistencia a compresión  $f'_c$ ), de manera similar la Norma Técnica Peruana E-070 exige, elaborar las prismas de albañilería simple para

edificios de tres a más pisos en las zonas sísmicas 3 y 2 (Ayacucho, zona 2) cantidad 3 pilas por cada  $500 m^2$  de área techada y 3 muretes cada  $500 m^2$  de área techada, construidos bajo las mismas condiciones con que se edificarán los muros reales y no es suficiente controlar las unidades llamados ladrillos para predecir el comportamiento estructural de un muro de albañilería, por esta razón es necesario construir pequeñas pilas y muretes que nos permitan determinar:

- ☞ Las resistencias características a compresión ( $f'_m$ ) y a corte ( $v'_m$ ) de la albañilería.
- ☞ Los módulos de elasticidad ( $E_m$ ) y de corte ( $G_m$ ).
- ☞ Las formas de falla.
- ☞ La calidad de la albañilería y de la mano de obra.

### 3.2.1 Pilas

---

Las pilas son prismas de albañilería simple, se caracteriza por el asentado de unidades (ladrillos macizos) uno encima de otro (hiladas) mediante juntas de mortero y consistencia misma que se empleará en la construcción del muro real, de tal manera que la esbeltez esté dentro de un valor nominal igual a 5 y además establecen los coeficientes de corrección para esbelteces menores que 5, la resistencia característica a compresión axial de las pilas ( $f'_m$ ) depende de la esbeltez, que es la relación que existe entre la altura y el espesor de la prisma ( $\frac{h}{b} = 5$ ).

#### 3.2.1.1 Procedimientos de construcción

---

Se construyeron 3 pilas conformadas por 5 unidades de ladrillos de tipo King Kong sólido artesanal.

Debido a la alta succión de los ladrillos artesanales de arcilla, se regó las unidades media hora un día antes de asentado para evitar la pérdida repentina de agua antes de la fragua y este fenómeno hace efecto a la reducción de adherencia entre el mortero y la unidad.

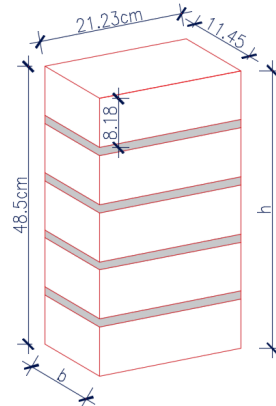
- ☞ Las pilas 1, 2 y 3 con mortero: cemento-cal-arena: 1:0:4.

según la NTE E-070 2006 en la tabla 4, que indica la normativa tipos de mortero, la relación anterior se practica en la construcción de albañilería confinada en la región Ayacucho.

Fuente: Elaboración propia

**Cálculo de esbeltez de las pilas de albañilería**

Altura	$h = 48,5 \text{ cm}$
Espesor	$b = 11,45 \text{ cm}$
Esbeltez	$\frac{h}{b} = 4,24$
Cumple la condición E-070: $2 < \text{Esbeltez} < 5$ ok	



**Tabla 3.9:** Modelo de prisma para pilas de albañilería.

En la construcción de las pilas se controló la verticalidad mediante una plomada, para evitar errores por excentricidad en los ensayos de compresión axial, de manera similar se controló el grosor de las juntas verticales y horizontales del mortero entre unidades con un escantillón.

Fuente: Elaboración propia



**Figura 3.21:** Construcción de pilas y aplicación de refrentado (capping).

La aplicación de refrentado (capping = 3mm de grosor) blando de yeso - cemento. Una vez terminada la construcción de las 3 pilas, en las zonas donde el prisma va a estar en contacto

con los cabezales metálicos del equipo de ensayo, 2 días antes del ensayo, el capping tiene una característica de fragua acelerada y sirve para corregir las irregularidades que presenta las superficies de las pilas de albañilería.

Fuente: Elaboración propia



Figura 3.22: Pilas con capping colocado.

### 3.2.1.2 Montaje e Instrumentación

Compresión axial de las pilas a la edad de 28 días, fue trasladado a la zona de ensayo y colocado al dispositivo mecánico, armado con perfiles de acero, donde está suspendido un dispositivo llamado celda de cargas en forma vertical que toma lectura de datos y almacena en el equipo amplificador de instrumentación, este transforma los datos de energía eléctrica en datos de ingeniería. En la PC mediante un programa **Labview** llamado sistema de adquisición de datos durante el ensayo y una gata hidráulica conectado a una bomba hidráulica a presión, la velocidad de ensayo fue  $5 \frac{\text{ton}}{\text{min}}$  hasta alcanzar su carga máxima de rotura.

Fuente: Elaboración propia



Figura 3.23: Dispositivos de ensayo para pilas de albañilería.

### 3.2.1.3 Evaluación de Resultados

Después del ensayo, las fallas observadas en las pilas de albañilería se detallan a continuación en la Figura 3.24.

- ☞ La primera pila presentó una falla que desarrolló una trituración desde la zona intermedia baja en forma diagonal, la unidad es frágil.
- ☞ La falla que presenta en la segunda pila, es una trituración explosiva, debido a la tracción de expansión lateral efecto de poisson, porque la unidad es frágil.
- ☞ En la tercera pila la falla presentó fisuración en forma de línea con curva.

Fuente: Elaboración propia



Figura 3.24: Pilas de albañilería ensayadas.

La resistencia a compresión axial de cada pila se determinó dividiendo la carga máxima de rotura que resiste la pila entre el área bruta que viene hacer el producto de largo por su espesor de la pila y se expresa de la siguiente manera:

$$P_{m\acute{a}x} = 10129,62 \text{ kg}$$

$$A_b = 244,88 \text{ cm}^2$$

$$f_m = \frac{P_{m\acute{a}x}}{A_b} = 41,37 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

Donde:

- ☞  $f_m$  : Resistencia a compresión axial ( $\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$ ).
- ☞  $P_{m\acute{a}x}$  : Carga máxima que resiste la pila (kg).

☞  $A_b$  : Área bruta transversal a la fuerza ( $cm^2$ ).

Fuente: Elaboración propia

Pila N°	Altura (cm)	Ancho (cm)	Espesor(b) (cm)	Esbeltez (h/b)	Pmáx (KN)
01	48.50	21.02	11.65	4.16	99.31
02	48.48	20.91	11.20	4.33	97.02
03	48.47	21.04	11.50	4.21	130.51

Tabla 3.10: Resistencia a la compresión de las pilas.

Fuente: Tabla tomada desde (MVCS, 2006)

TABLA 10 FACTORES DE CORRECCIÓN DE $f'_m$ POR ESBELTEZ						
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

Tabla 3.11: Factores de corrección según la Norma E-070.

Luego de hacer la corrección de  $f_m$  por esbeltez aplicando la interpolación con la tabla 10 de la norma NTE E-070, se calcula la resistencia característica a compresión axial de la albañilería ( $f'_m$ ), restando al valor promedio una desviación estándar, con la siguiente fórmula:

$$f'_m = Promedio(f_m) - \sigma \quad (3.10)$$

Donde:

☞  $\sigma$  : Desviación estándar de las resistencias ( $\frac{kg}{cm^2}$ ).

Fuente: Elaboración propia

Pmáx (KN)	Pmáx (Kg)	Área (cm <sup>2</sup> )	$f_m$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	Factor de Corrección	$f'_m$ (Kg/cm <sup>2</sup> )
99.31	10129.62	244.88	41.37	0.960	39.71
97.02	9896.04	234.19	42.26	0.970	40.99
130.51	13312.02	241.96	55.02	0.963	52.98
Promedio de las resistencias corregidas:				Promedio	44.56
Desv.( $\sigma$ ) de las resistencias corregidas:				Desv.( $\sigma$ )	7.32
Resistencia característica de la albañilería:				$f'_m$	37.24
Error de las resistencias corregidas:				Error	16%

Tabla 3.12: Resistencia final  $f'_m$  corregida por esbeltez.

### 3.2.2 Muretes

Los muretes son prismas de albañilería simple, forma cuadra de  $66 \times 66 \text{ cm}$ , se caracteriza por ser pequeños especímenes, fáciles de almacenar y transportar desde la obra hasta el laboratorio, luego es ensayado a compresión diagonal, para calcular la resistencia característica de la albañilería al corte ( $v'_m$ ).

#### 3.2.2.1 Procedimientos de construcción

Se construyeron 3 muretes conformadas con ladrillos sólidos artesanales, con la dosificación del mortero para las juntas y la consistencia misma que se empleará en la construcción del muro real, en el mismo tiempo:

- ☛ Dosificación del mortero: cemento-cal-arena: 1:0:4

Los ladrillos artesanales antes de construir los muretes, se regó durante media hora un día antes del asentado, se verificó el alineamiento horizontal con una regla de aluminio, la altura con escantillón y la verticalidad con nivel y plomada. El espesor de las juntas osciló entre 1 y 1,5cm.

La aplicación del refrentado (*capping*), 4 días antes del ensayo, solamente en una de las esquinas para uniformizar la superficie de contacto con los cabezales del dispositivo de ensayo y la otra esquina se completó con triplay en el momento de ensayo, motivo por la fragilidad del murete y evitar fisuras en el traslado.

Fuente: Elaboración propia



Figura 3.25: Construcción de muretes - murete con capping.

### 3.2.2.2 Instrumentación y montaje

A los 28 días de edad, antes iniciar los ensayos, fueron transportados al laboratorio de ensayo y colocados en la máquina de ensayo, Figura 3.26.

Para el ensayo se armó una estructura con marcos de aceros o perfiles de la cual se suspendió un dispositivo lector de datos de ensayo llamado **Celda de carga** de 50 ton de capacidad y en la parte baja se colocó la grata hidráulica de 60 ton que genera una fuerza de empuje vertical hacia arriba. Luego se procedió a aplicar la carga a una velocidad de  $2 \frac{\text{ton}}{\text{min}}$  hasta alcanzar la máxima resistencia de rotura.

Fuente: Elaboración propia



Figura 3.26: Traslado, colocación y ensayo de muretes.

### 3.2.2.3 Evaluación de resultados

Los muretes fallaron de las siguientes formas:

- ☞ **Muretes 01 y 02.** Se observó la falla fue repentino explosiva, cortando las unidades por tracción diagonal, sin tendencia a propagarse por las juntas y esto indica que hubo buena adherencia entre la unidad y el mortero.
- ☞ **Murete 03,** la falla fue escalonada con tendencia a propagarse por las juntas y esto indica que no hubo buena adherencia entre la unidad y el mortero.

Fuente: Elaboración propia



Figura 3.27: Falla típica del murete 01.

Fuente: Elaboración propia



Figura 3.28: Falla típica del murete 02.

Fuente: Elaboración propia



Figura 3.29: Falla escalonada del murete 03.

### 3.2.2.4 Cálculo de la Resistencia al Corte

La carga máxima de rotura soportada por cada murete se ha registrado y la resistencia al corte se calculó con la siguiente expresión:

$$P_{m\acute{a}x} = 7374,60 \text{ kg}$$

$$A_d = 1044,65 \text{ cm}^2$$

$$v_m = \frac{P_{m\acute{a}x}}{A_d} = 7,06 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

Donde:

- ☞  $v_m$  : Resistencia característica de la albañilería al corte ( $\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$ ).
- ☞  $P_{m\acute{a}x}$  : Máxima carga diagonal a la rotura que resiste el murete (kg).
- ☞  $A_d$  : Área diagonal (diagonal de murete x espesor) en  $\text{cm}^2$ .

Resistencia característica de la albañilería al corte se calculó con la siguiente expresión:

$$v'_m = \text{Promedio}(v_m) - \sigma \quad (3.11)$$

Donde:

- ☞  $v'_m$  : Resistencia característica de la albañilería al corte ( $\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$ ).
- ☞  $\sigma$  : Desviación estándar.

**Fuente:** Elaboración propia

Murete N°	Largo (cm)	Ancho (cm)	Espesor(b) (cm)	Diagonal (cm)	Pmáx (KN)
01	66.04	66.00	11.35	92.04	72.30
02	65.04	66.03	11.45	92.07	80.70
03	66.04	66.07	11.40	92.05	56.56

**Tabla 3.13:** Tabla característica de los muretes (velocidad de carga  $2 \frac{\text{ton}}{\text{min}}$ ).

Fuente: Elaboración propia

Murete N°	P <sub>máx</sub> (KN)	P <sub>máx</sub> (ton)	P <sub>máx</sub> (Kg)	Área (cm <sup>2</sup> )	V <sub>m</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )
01	72.30	7.37	7374.60	1044.65	7.06
02	80.70	8.23	8231.40	1054.20	7.81
03	56.56	5.77	5769.12	1049.37	5.50
Promedio de las Resistencias al Corte:				Prom(v <sub>m</sub> )	6.79
Desv.(σ) de las Resistencias al Corte:				Desv.(σ)	1.18
Resistencia característica al Corte:				v' <sub>m</sub>	5.61
Dispersión porcentual de los Resultados:				Error	17%

**Tabla 3.14:** Cálculo de resistencia característica al corte de la albañilería.



**Nota:**

Según la **Norma E-070**, una dispersión de los resultados superior a 30% es inaceptable, quiere decir que existen fallas en la mano de obra o que los materiales utilizados no tienen la calidad adecuada.

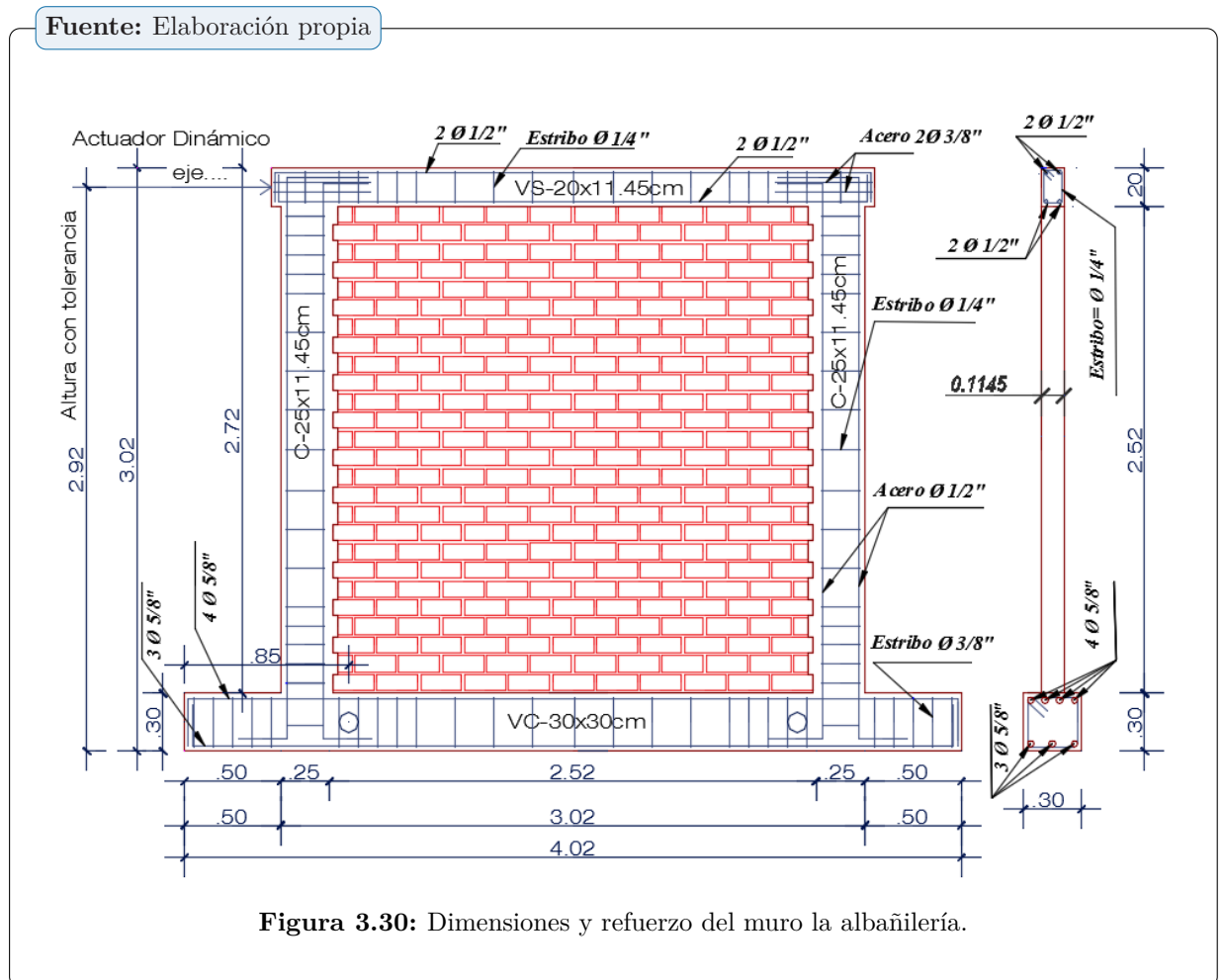
### 3.3 Construcción del muro

#### 3.3.1 Características del muro

Se construyó el muro de albañilería confinada a escala natural, de la medidas de 3.02m de largo y 2.72m de altura, con unidades de tipo *King Kong* sólido artesanal de arcilla, asentadas con mortero de arena fina, juntas de 1,5 cm y con una conexión dentada entre albañilería-columnas de confinamiento, se presenta los detalles en el plano de estructuras como se muestras en la Figura 3.30., luego será sometido a un actuador dinámico instrumentado llamado carga lateral cíclica a través de un desplazamiento controlado progresivo mediante de un total de 8 fases, lo cual genera un comportamiento estructural lineal y no lineal del muro creando fuerzas internas como resistencia de tracción por Flexión, resistencia al agrietamiento diagonal o al corte del muro, de los cuales podemos obtener la información de calcular envolvente de Lazo histerético, Módulo de Corte, Rigidez lateral, degradación de la rigidez, la máxima carga soportada, desplazamiento máximo permisible económicamente reparable y la distorsión angular del muro.

La verificación del plano, tanto el proceso de la construcción y el ensayo final del muro estuvo bajo el cargo de supervisión del Ingeniero Daniel Quiun Wong como asesor del Proyecto de investigación de la Pontificia Universidad Católica del Perú y también todas

las pruebas de ensayo como variación dimensional, alabeo, absorción, construcción de las prismas de albañilería como Pilas y Muretes.



#### Refuerzo de acero en la estructura:

- ☞ Viga de cimentación :  $7\text{Ø}5/8''$ , estribos  $\text{Ø}3/8''1@5$ ,  $4@10$ , Resto  $@20\text{ cm}$ .
- ☞ Columnas de confinamiento:  $4\text{Ø}1/2''$ , estribos  $\text{Ø}1/4''1@5$ ,  $4@10$ ,  $3@20$ ,  $R@21\text{ cm}$ .
- ☞ Viga solera :  $4\text{Ø}12''$ , estribos  $\text{Ø}1/4''1@5$ ,  $4@10$ ,  $3@20$ ,  $R@21\text{ cm}$ .
- ☞ Albañilería/Columnas : conexión dentada.

Los estribos en las columnas vigas tuvieron ganchos  $135^\circ$  de diámetro  $1/4''$  con la finalidad de evitar la formación de cangrejas por la congestión de refuerzo.

Fuente: Elaboración propia



Figura 3.31: Estribos en vigas y columnas.

**La resistencia nominal del concreto:**

- ☞ Viga de cimentación :  $210 \frac{kg}{cm^2}$ .
- ☞ Columnas :  $175 \frac{kg}{cm^2}$ .
- ☞ Viga solera :  $175 \frac{kg}{cm^2}$ .

**Mortero:**

- ☞ Ladrillo King Kong sólido artesanal sin cal : 1:4 (cemento: arena).
- ☞ Espesor : 1,5 cm.

### 3.4 Verificación previa del refuerzo

La armadura para el refuerzo de los elementos de confinamiento cumplió con los requisitos mínimos establecidos por la norma E-070:

☞ **Para columnas:**

$$A_{s_{min}} = \frac{0,1(f'_c)A_c}{f_y} = 1,19 \text{ cm}^2$$

Donde:

$f'_c$  : Resistencia de concreto ( $f'_c = 175 \frac{kg}{cm^2}$ ).

$A_c$  : Área de la columna =  $25 \times 11,45 = 286,25 \text{ cm}^2$

$f_y$  : Fluencia de acero =  $4200 \frac{kg}{cm^2}$ .

Aceros longitudinales de las columnas es de  $4\emptyset 1/2'' = 5,16 \text{ cm}^2$ .

☞ **Para Viga solera:**

$$A_{s_{min}} = \frac{0,1(f'_c)A_{vs}}{f_y} = 0,95 \text{ cm}^2$$

Donde.

$f'_c$  : Resistencia de concreto ( $f'_c = 175 \frac{kg}{cm^2}$ ).

$A_{vs}$  : Área de la viga solera =  $20 \times 11,45 = 229,00 \text{ cm}^2$

$f_y$  : Fluencia de acero =  $4200 \frac{kg}{cm^2}$ .

Aceros longitudinales de las columnas es de  $4\emptyset 1/2'' = 5,16 \text{ cm}^2$ .

☞ **Diseño de refuerzo para elementos de confinamientos:**

Según la norma E-070, para una resistencia característica al corte puro de la albañilería, obtenido de ensayos de muretes a compresión diagonal  $v'_m = 5,61 \frac{kg}{cm^2}$ , el diseño a la rotura es:

La resistencia a corte, para unidades de arcilla está dada:

$$V_m = 0,5v'_m (\alpha) t \cdot L + 0,23 \cdot P_g = 9699,41 \text{ kg}$$

$$V_m = 9,7 \text{ ton} - f$$

Donde:

$V_m$  : Fuerza Cortante Asociada al agrietamiento diagonal de la albañilería.

$t$  : Espesor efectivo del muro (cm) =  $11,45 \text{ cm}$ .

$L$  : Longitud total del muro incluyendo el peralte de las columnas de confinamiento =  $302 \text{ cm}$ .

$P_g$  : Carga axial = 0.

$\alpha$  : Factor de esbeltez =  $\frac{V_x L}{M} = \frac{V_x L}{V_x h} = \frac{L}{h} = \frac{3,02}{2,62} = 1,15 \approx 1,0$  por la condición de la norma:  $\frac{1}{3} < \alpha \leq 1$  por lo tanto  $\alpha = 1$ ,  $h = 262 \text{ cm}$ .

☞ **Determinación de las Fuerzas Internas en los confinamientos del piso agrietado**

Producida la falla por la fuerza cortante en los muros de un paño con fuerza "VR", las fuerzas internas en los confinamientos pueden calcularse por equilibrio. Se asume que las columnas y la solera no presentan momento flector, debido a que su curvatura por flexión es nula, porque los confinamientos continúan conectados a la albañilería incluso después del agrietamiento diagonal (Figura 3.32). De este modo, las columnas trabajan a tracción ( $T$ ), a fuerza cortante ( $V_c$ ) y a compresión ( $C$ ), por equilibrio de fuerzas horizontales en el nudo, la viga solera trabaja a tracción con una fuerza  $T_s = V_c$  (San Bartolomé *et al.*, 2014).

Fuente: Elaboración propia

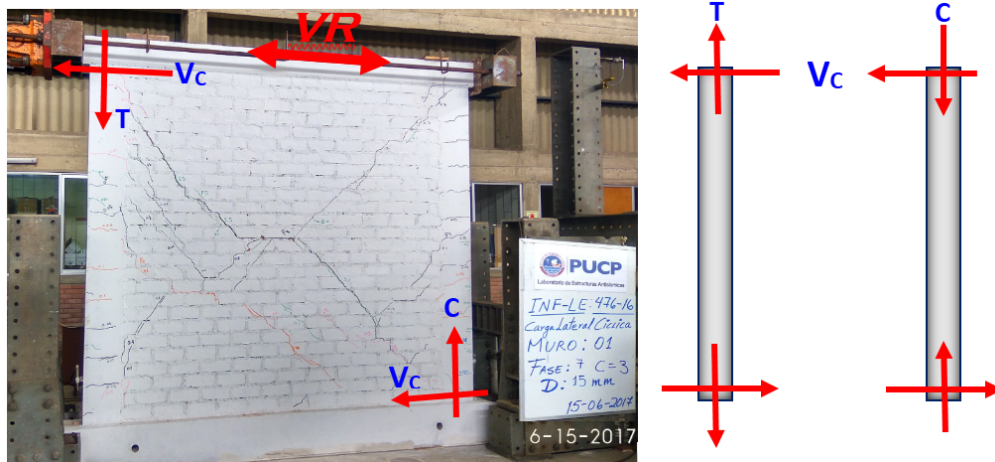


Figura 3.32: Equilibrio de fuerzas internas en muro agrietado.

Para el cálculo de las fuerzas internas se utilizó la Tabla 3.15 de la norma E-070:

Fuente: Tabla tomada desde (MVCS, 2006)

Fuerzas Internas en columnas de confinamiento			
Columna	$V_c$ (Fuerza cortante)	$T$ (Tracción)	$C$ (Compresión)
Interior	$\frac{V_{m1} \cdot L_m}{L(N_c+1)}$	$V_{m1} \left(\frac{h}{L}\right) - P_c$	$P_c - \frac{V_{m1} \cdot h}{2L}$
Extrema	$1,5 \left(\frac{V_{m1} \cdot L_m}{L(N_c+1)}\right)$	$F + P_c$	$P_c + F$

Tabla 3.15: Tabla de la Norma E-070.

☞ **Diseño de las columnas y la solera del muro**

Una vez determinadas las fuerzas internas en las columnas del muro, sus extremos superiores se diseñan a tracción ( $T$ ) combinada con corte - fricción ( $V_c$ ), mientras que

su base se diseña para resistir el aplastamiento producido por la compresión ( $C$ ), los cálculos se presentan con las siguientes ecuaciones.

- Diseño por corte - fricción ( $V_c$ ):

$$L_m = L = 3,02 \text{ m} \quad N_c = 2 \text{ columnas}$$

$$V_c = \frac{1,5 \cdot V_m \cdot L_m}{L(N_c+1)} = 4,85 \text{ ton} - f$$

Donde:

$V_c$  : Fuerza cortante generada en el extremo superior de las columnas.

$N_c$  : Número de columnas.

- Diseño por tracción ( $T$ ), por equilibrio de fuerzas horizontales en el nudo, la viga solera trabaja a tracción con una fuerza  $T_s = V_c$  :

$$T = V_c = 4850 \text{ kg} - f$$

- Diseño por compresión ( $C$ ), por equilibrio de fuerzas verticales se puede calcular la compresión, como  $P_g = \text{Carga axial} = 0$ , la siguiente expresión:

$$C = T + P_g = 4850 \text{ kg} - f$$

- La sección transversal ( $A_{cf}$ ) de las columnas de confinamiento:

$$\phi = 0,85 \text{ factor de reducción.}$$

$$t = 11,45 \text{ cm espesor efectivo del muro.}$$

$$A_{cf} = \frac{V_c}{0,2 \cdot f'_c \cdot \phi} \geq A_c \geq 15 \cdot t \text{ (cm}^2\text{) condición.}$$

$$A_{cf} = \frac{V_c}{0,2 \cdot f'_c \cdot \phi} = 163,03 \text{ cm}^2$$

$$A_c = 15 \cdot t \cdot \text{cm} = 171,72 \text{ cm}^2 \text{ sección mínima.}$$

$$A = 25 \cdot t \cdot \text{cm} = 286,25 \text{ cm}^2 \quad \text{ok se toma.}$$

- Determinación de refuerzo vertical:

$$\mu = 0,80 \quad \text{coeficiente de fricción.}$$

$$A_{cf} = \frac{V_c}{f_y \cdot \mu \cdot \phi} = 1,7 \text{ cm}^2 \text{ Refuerzo requerido por corte - fricción.}$$

$$A_{st} = \frac{T}{f_y \cdot \phi} = 1,36 \text{ cm}^2 \text{ Refuerzo requerido por tracción.}$$

$$A_s = A_{cf} + A_{st} = 3,06 \text{ cm}^2 \text{ Mínimo se necesita.}$$

$$4 \text{ varillas de acero } 4\phi 1/2'' \Rightarrow A_s = 4(1,29) \text{ cm}^2 = 5,16 \text{ cm}^2$$

- Diseño de la viga solera:

El área de la sección transversal de la solera ( $A_{vs}$ ) será suficiente para alojar el refuerzo longitudinal ( $A_s$ ):

$$A_{smin} = \frac{0,1(f'_c)A_{vs}}{f_y} = 0,95 \text{ cm}^2 \text{ Se necesita mínimo.}$$

$$\phi = 0,90 \text{ factor de reducción.}$$

$$A_{st} = \frac{T}{f_y \cdot \phi} = 1,28 \text{ cm}^2 \text{ Refuerzo requerido por tracción.}$$

$$A_{sv} = 20 \text{ cm } (11,45 \text{ cm}) = 229 \text{ cm}^2 \text{ sección elegida.}$$

### 3.5 Construcción de la viga de cimentación

Se iniciaron los trabajos con la habilitación de encofrados y aceros tipo canastilla para la viga de cimentación según lo indicado en los planos, luego se procedió con la colocación y amarre del refuerzo vertical de los confinamientos (columnas) al refuerzo de la cimentación, se utilizó alambre #16.

En el encofrado se usó el desmoldante de madera, luego se colocaron dos tubos PVC (2" de diámetro) a una distancia 85 cm del extremo de la viga de cimentación de ambos lados que servirá para el izaje y traslado del muro a la zona de ensayo.

Fuente: Elaboración propia



Figura 3.33: Habilidad de encofrado y acero.

Fuente: Elaboración propia



Figura 3.34: Refuerzos verticales, vaciado y desencofrado de cimentación.

El muestreo de 4 probetas para el control de calidad del concreto, a compresión axial, se ensayaron dos probetas a los 7 días y dos restantes a los 28 días de edad, luego para determinar la resistencia del concreto, superando al diseño nominal ( $f'_c = 210 \frac{kg}{cm^2}$ ) que se muestra en la Tabla 3.16.

Fuente: Elaboración propia

Especimen	Fecha de Vaciado	Edad días	Diámetro(cm)		Carga Máxima KN	Tipo de Falla	Carga Máxima Kg	Área cm2	$\sigma$ Kg/cm2
			D1	D2					
Probeta 1	04/05/2017	7	15.22	15.29	463.30	2	47256.60	182.77	258.55
Probeta 2	04/05/2017	7	15.32	15.38	471.50	2	48093.00	185.06	259.88
Probeta 3	04/05/2017	28	15.22	15.31	544.20	2	55508.40	183.01	303.30
Probeta 4	04/05/2017	28	15.19	15.29	547.90	3	55885.80	182.41	306.37
<b>PROMEDIO</b>									<b>304.83</b>

Tabla 3.16: Resistencia del concreto de viga de cimentación.

### 3.6 Construcción del muro de albañilería

Antes del inicio de asentado de las unidades de arcilla se regó 30 minutos el día anterior, se recomienda en la tarde. Para determinar la cantidad de ladrillos por hilada se emplantilló la viga de cimentación, donde calzaron 11 unidades por hilada, total 26 hiladas en todo el muro con conexión de columna - albañilería dentada, la zona rayada de la cimentación se limpió, se humedeció para lograr una buena adherencia de la primera capa del mortero.

Fuente: Elaboración propia



Figura 3.35: Regado, emplantillado y colocación de escantillón de albañilería.

Fuente: Elaboración propia



Figura 3.36: Control de verticalidad y primera jornada del muro.

La jornada de asentado de unidades de la albañilería según la **Norma Técnica Peruana E-070**, la altura máxima es de  $1,30\text{ m}$ , en el primer día de jornada solo se avanzó a asentar hasta noveno hilada, la causa se pudo observar a una altura  $90\text{ cm}$  de avance la vibración del muro, porque la unidad es de espesor muy delgado de  $11,45\text{ cm}$ , por lo tanto, se suspendió la actividad dejando a la junta vertical para continuar hasta  $50\%$  llenado de mortero, luego se terminó en tres jornadas.

### 3.7 Contrucción de las columnas

Una vez terminada la construcción de la albañilería se procedió a emplantillar las dimensiones de la columna en la viga de cimentación, se verificó la verticalidad de refuerzo de las columnas y luego se encofró los lados de las columnas.

La dosificación del concreto ( $f'_c = 175 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$ ), con agregado confitillo de  $\frac{1}{4}$ " a fin de darle mayor trabajabilidad a la mezcla de concreto, con ello evitar la formación de cangrejas; luego se hizo el vaciado hasta antes de la conexión de la viga solera y finalmente se extrajo muestra de 4 probetas para el ensayo.

Fuente: Elaboración propia



Figura 3.37: Verificación de refuerzos, estribos y encofrado de las columnas.

El ensayo de 04 probetas de las columnas de confinamiento, dos probetas se ensayaron a los 7 días y dos probetas a los 28 días para verificar el diseño de resistencia a compresión  $f'_c = 175 \frac{kg}{cm^2}$  es el límite de diseño.

Fuente: Elaboración propia

Especimen	Fecha de Vaciado	Edad días	Diámetro(cm)		Carga Máxima KN	Tipo de Falla	Carga Máxima Kg	Área cm2	$\sigma$ Kg/cm2
			D1	D2					
Probeta 1	15/05/2017	7	15.26	15.29	337.7	2	34445.40	183.25	187.97
Probeta 2	15/05/2017	7	15.31	15.28	317	2	32334.00	183.73	175.98
Probeta 3	15/05/2017	28	15.23	15.29	481.8	2	49143.60	182.89	268.70
Probeta 4	15/05/2017	28	15.19	15.25	483.5	2	49317.00	181.94	271.07
								PROMEDIO	269.88

Tabla 3.17: Resistencia del concreto de columnas a los 28 días.

### 3.8 Construcción de la viga solera

Finalizado el desencofrado de las columnas, se procedió con la habilitación de aceros para construcción de la viga solera de acuerdo al plano indicado.

La colocación de los refuerzos longitudinales con sus respectivos estribos tipo canastilla sobre el muro de albañilería, con recubrimiento de 2 cm, seguidamente colocación del encofrado impregnado con desmoldante.

La dosificación del concreto ( $f'_c = 175 \frac{kg}{cm^2}$ ), fue el mismo diseño de mezcla para las columnas, y finalmente el vaciado de la solera, donde se usó el equipo vibrador que sirvió de mucha ayuda para distribución de mezcla de concreto durante el vaciado.

Fuente: Elaboración propia



Figura 3.38: Refuerzos en la viga solera.

Fuente: Elaboración propia



Figura 3.39: Encofrado, vaciado y desencofrado de viga solera.

La resistencia del ensayo de las probetas del concreto a superado a la resistencia nominal de diseño para la viga solera.

Fuente: Elaboración propia

Especímen	Fecha de Vaciado	Edad días	Diámetro(cm)		Carga Máxima KN	Tipo de Falla	Carga Máxima Kg	Área cm2	$\sigma$ Kg/cm2
			D1	D2					
Probeta 1	18/05/2017	7	15.26	15.29	369.2	2	37658.40	183.25	205.50
Probeta 2	18/05/2017	7	15.31	15.28	351.4	2	35842.80	183.73	195.08
Probeta 3	18/05/2017	28	15.26	15.29	507.4	2	51754.80	183.25	282.42
Probeta 4	18/05/2017	28	15.17	15.24	501.6	2	51163.20	181.58	281.77
<b>PROMEDIO</b>									<b>282.10</b>

Tabla 3.18: Resistencia del concreto de viga solera a los 28 días.

### 3.8.1 Fenómeno de eflorescencia en el muro de albañilería

La formación de pequeñas cantidades de sales solubles en forma cristal en la superficie de la albañilería al evaporarse la humedad, normalmente aparece en la composición de unidad de albañilería y el mortero de color característico blanquecinos, todo ello se llama fenómeno de **eflorescencia**, en este caso se presentó en los bordes cerca de los confinamientos al hacer el curado constante a las columnas, especialmente en las unidades que están más cerca como dentado al confinamiento, este fenómeno sucede porque la cal o sulfatos se encuentran dentro del ladrillo o mortero en forma de polvillo después de la cocción en el horno a altas temperaturas, ya sea en mínima cantidad, luego son disueltas por el agua capilarmente, todo comportamiento físico se presentó en el proceso durante los 28 días de secado hasta alcanzar una resistencia óptima del muro; particularmente de las columnas.

Fuente: Elaboración propia



Figura 3.40: Sales solubles en la albañilería artesanal.

## 3.9 Análisis de muros de albañilería a escala natural

### 3.9.1 Rigidez lateral

Para calcular la rigidez lateral teórica ( $K$ ), se considera que los muros actúan en voladizo y en la sección transformada según la Norma Técnica Peruana E-070.

La rigidez lateral está expresada en  $\frac{ton}{m}$ , viene dada por la siguiente relación:

$$K = \left( \frac{E_m}{\frac{h^3}{3 \cdot I_{st}} + \frac{f \cdot h \cdot E_m}{A_{st} \cdot G_m}} \right) \frac{kg}{cm} \quad (3.12)$$

Donde:

$K$  : Rigidez lateral ( $\frac{ton}{m}$ ).

$E_m$  : Módulo de elasticidad experimental de la albañilería.

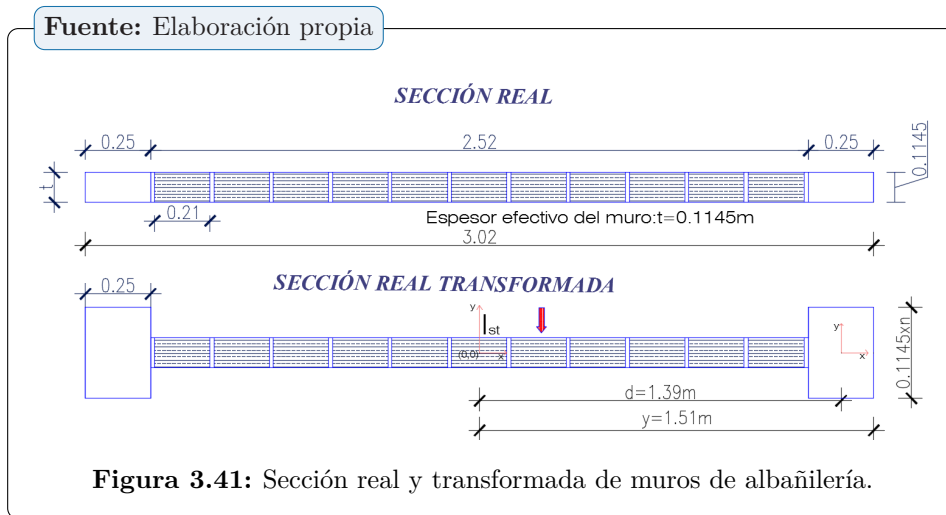
$h$  : Altura del muro, desde la base hasta el eje de la carga (2,62 m).

$I_{st}$  : Inercia de la sección transformada no agrietada ( $cm^4$ ).

$f$  : Factor de forma.

$G_m$  : Módulo de corte de la albañilería ( $\frac{kg}{cm^2}$ ).

$A_{st}$  : Área de la sección transformada ( $cm^2$ ).



Determinamos el valor de "n" es igual al cociente de módulo de elasticidad del concreto de las columnas de confinamiento entre el módulo de elasticidad de la albañilería, de acuerdo a la Norma E-070, el módulo de elasticidad del concreto de las columnas después del ensayo.

Para una resistencia promedio a compresión:  $f'_c = 269,88 \frac{kg}{cm^2}$ .

$$E_c = 15000 \cdot \sqrt{(f'_c) \frac{kg}{cm^2}} = 246420 \frac{kg}{cm^2}$$

**Fuente:** Elaboración propia

Tipo de mortero	$f'_c$ $\frac{kg}{cm^2}$	$f'_m$ $\frac{kg}{cm^2}$	$E_m$ $\frac{kg}{cm^2}$	$E_c$ $\frac{kg}{cm^2}$	$t$ $m$	$n = \left(\frac{E_c}{E_m}\right) \cdot t$ $m$
Cemento:arena	269,88	37,24	18620	246420	0,1145	1,52

**Tabla 3.19:** Cálculo de sección transformada "0,1145 · n".

La inercia para el muro de albañilería o la sección transformada es igual a:

$$I_{st} = I_m + 2(I_c + A_c \cdot d^2)$$

$$I_{st} = \left( \frac{11,45(252^3)}{12} + 2 \left( \frac{152(25^3)}{12} + 152(25)139^2 \right) \right) \cdot cm^4 = 162504970 cm^4$$

El factor de forma es el área total de la sección transformada entre el área del alma:

$$A_{st} = 2(25)152 + 11,45(252) cm^2 = 10485,4 cm^2$$

$$A_{al} = 302(11,45) cm^2 = 3457,9 cm^2$$

$$f = \frac{A_{st}}{A_{al}} = 3,03$$

La rigidez lateral teórico del muro ( $K$ ) es:

$$K = \left( \frac{18620}{\frac{262^3}{3 \cdot 162504970} + \frac{3,03(262)18620}{10485,4(7448)}} \right) \frac{kg}{cm} = 8,23 \frac{ton}{mm}$$

$$K = \left( \frac{18620}{\frac{262^3}{3 \cdot 162504970} + \frac{3,03(262)18620}{10485,4(7448)}} \right) \frac{kg}{cm} = 80,74 \frac{kN}{mm}$$

### 3.9.2 Fisuración de tracción por flexión

Para la determinación teórica de la carga asociada a la primera fisura, se utilizó el criterio de la sección transformada no agrietada.

El esfuerzo de tracción máximo al cual estaba sujeto el muro se igualó a la capacidad de tracción del concreto ( $2\sqrt{f'_c}$ ) transformado a albañilería.

$$\sigma_t = \frac{M \cdot y}{I_{st}} = \frac{f'_t}{n} = \frac{2\sqrt{f'_c}}{n} \quad (3.13)$$

Donde:

$\sigma_t$  : Esfuerzo de tracción máximo.

$M$  : F(carga asociada a la primera fisura) $xh$ .

$I_{st}$  : Inercia de la sección transformada no agrietada ( $cm^4$ ).

$f'_c$  : Resistencia del concreto de los elementos de confinamiento  $f'_c = 269,88 \frac{kg}{cm^2}$ .

$$n = 13,23 = \frac{E_c}{E_m}.$$

$y = 151 \text{ cm}$  (distancia del centroide al extremo traccionado).

Despejando  $F$ , tenemos:

$$F = \frac{2 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot I_{st}}{y \cdot h \cdot n} \quad (3.14)$$

Fuente: Elaboración propia

Muro	$f'_c$ $\frac{kg}{cm^2}$	$I_{st}$ $cm^4$	$y$ $cm$	$h$ $cm$	$n = \left(\frac{E_c}{E_m}\right)$ $m$	$F$ $kN$	$\sigma_t$ $\frac{ton}{m^2}$
$M_1$ (sin cal)	269,88	162504970	151	262	13,23	100	25

**Tabla 3.20:** Fuerza asociada a la primera fisura de tracción por flexión.

### 3.9.3 Agrietamiento diagonal teórico

La resistencia teórica al corte, asociada al primer agrietamiento diagonal, se calculó con la siguiente fórmula:

$$V_m = 0,5 \cdot v'_m \cdot \alpha \cdot t \cdot L + 0,23 \cdot P_g \quad (3.15)$$

Donde:

$V_m$  : Resistencia al corte diagonal de la albañilería (del ensayo de muretes a compresión diagonal)  $\leq \sqrt{f'_m}$ .

$t$  : Espesor efectivo del muro ( $cm$ ) = 11,45  $cm$ .

$L$  : Longitud total del muro incluyendo el peralte de las columnas de confinamiento = 302  $cm$ .

$P_g$  : Carga axial = 0.

$\alpha$  : Factor de esbeltez =  $\frac{V_x L}{M} = \frac{V_x L}{V_x h} = \frac{L}{h} = 1,15$ , por condición se asume  $\alpha \approx 1$ ,  
 $h = 262 \text{ cm}$ .

Fuente: Elaboración propia

Muro	$V'_m$	$\alpha$	$L$	$t$	$V_m$	$V_m$
	$\frac{kg}{cm^2}$	$\frac{L}{h}$	cm	cm	ton	kN
$M_1$ (sin cal)	5,61	1,00	302,00	11,45	9,70	95,09

**Tabla 3.21:** Cálculo de carga de agrietamiento diagonal.

### 3.9.4 Momento flector nominal máximo

Para los muros de sección rectangular, la capacidad resistente a flexión " $M_n$ " se calcula con la siguiente formula:

$$M_n = A_s \cdot f_y \cdot D \quad (3.16)$$

Donde:

$M_n$  : Momento flector nominal Máximo ( $kg - cm$ ).

$A_s = \text{Área del refuerzo vertical en el extremo del muro } (4\varnothing 1/2") = 4 \times 1,29 = 5,16 \text{ cm}^2$ ,  $D = 0,8L$

$A_s = 5,16 \text{ cm}^2$        $L = 3,02 \text{ m}$        $D = 0,8 \cdot L = 2,42 \text{ m}$

$f_y = 4200 \frac{kg}{cm^2}$        $h = 2,62 \text{ m}$

$M_n = A_s \cdot f_y \cdot D = 52,36 \text{ ton} \cdot m$

La Fuerza Cortante asociada a la fractura es:

$$V_f = \frac{M_n}{h} = 195,98 \text{ kN.}$$

### 3.9.5 Tipo de falla esperada

Se define teóricamente el tipo de falla, comparando las resistencias ( $V_m < V_f$ ), cuando  $V_m$  es menor que  $V_f$  entonces el muro falla por corte con una grieta diagonal.

Comparando los resultados, tenemos:

Fuente: Elaboración propia

Muro	$V_m$	$V_f$	$V_m < V_f$	Tipo de falla
	$kN$	$kN$	<i>ok</i>	Por corte
$M_1$ (sin cal)	95,09	195,88		

Tabla 3.22: Cuadro comparativo.

### 3.10 Modelamiento numérico computacional.

Se procedió realizar un análisis numérico computacional mediante elementos finitos con el programa software **Ansys v18.2**, sobre el comportamiento del muro de albañilería confinada artesanal, utilizando los valores tradicionales de las propiedades físicas y mecánicas de la albañilería confinada, el cual proporciona los resultados que servirán para hacer comparaciones tanto teórico como experimental, para ello, el muro se ha discretizado en el programa como los confinamientos verticales (peralte de la columna 25cm) y horizontales (peralte de la viga 20cm) para tener parecido comportamiento ideal del muro frente a las confinamientos, aparte con la finalidad de obtener los resultados de buena aproximación, la aplicación de los elementos finitos provee valores de alta confiabilidad y exactitud cuando se analiza los resultados del comportamiento lineal del muro, no se considera carga vertical (peso propio), la carga lateral ha sido variado, se analizó para  $F = 70,34, 74,47$  y  $190 kN$ .

La definición de propiedades de los materiales (ideal) de albañilería y concreto armado.

Fuente: Elaboración propia

Material	M. elasticidad (E)	M. Poisson ( $\nu$ )
Concreto ( $f'_c = 175 \frac{kg}{cm^2}$ )	$198431,35 \frac{kg}{cm^2}$	0,15
Albañilería ( $f'_m = 37,24 \frac{kg}{cm^2}$ )	$18620 \frac{kg}{cm^2}$	0,25

Tabla 3.23: Propiedades de materiales de albañilería y concreto armado.

Fuente: Elaboración propia

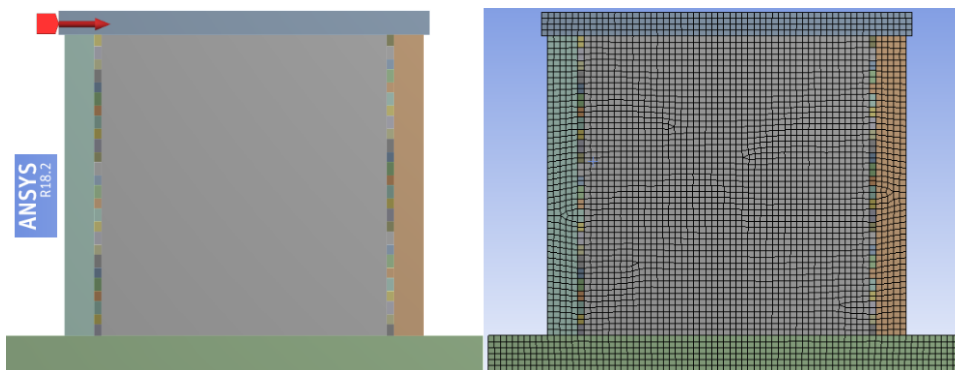


Figura 3.42: Muro de albañilería confinada discretizado.

### 3.11 Presentación y análisis de resultados

#### 3.11.1 Deformada del muro para fuerza lateral $F = 70,34 \text{ kN}$

La aplicación de carga lateral induce a que el muro sufra una deformación máximo y mínimo a nivel elástico o comportamiento lineal, obteniendo un máximo esfuerzo cortante y finalmente un máximo esfuerzo principal, como se muestra en las siguientes figuras.

Fuente: Elaboración propia

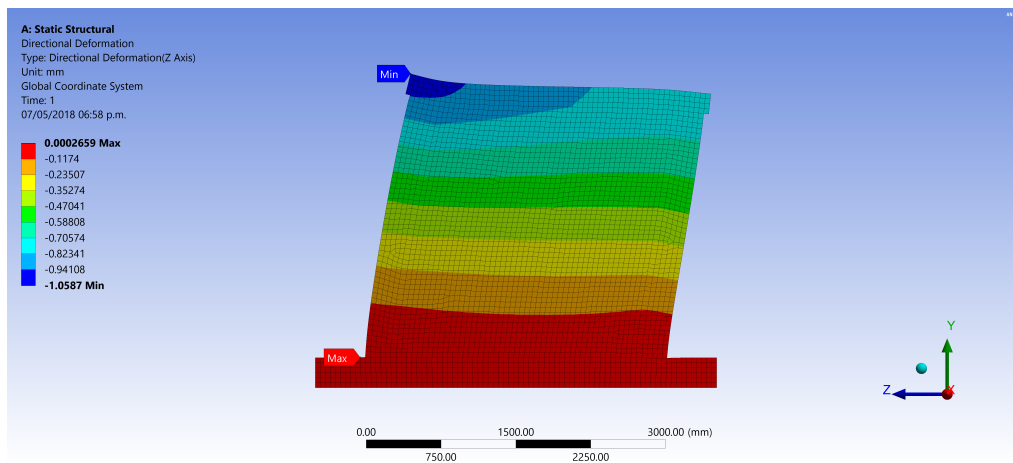


Figura 3.43: Deformación del muro confinado ( $F = 70,34 \text{ kN}$ ).

Fuente: Elaboración propia

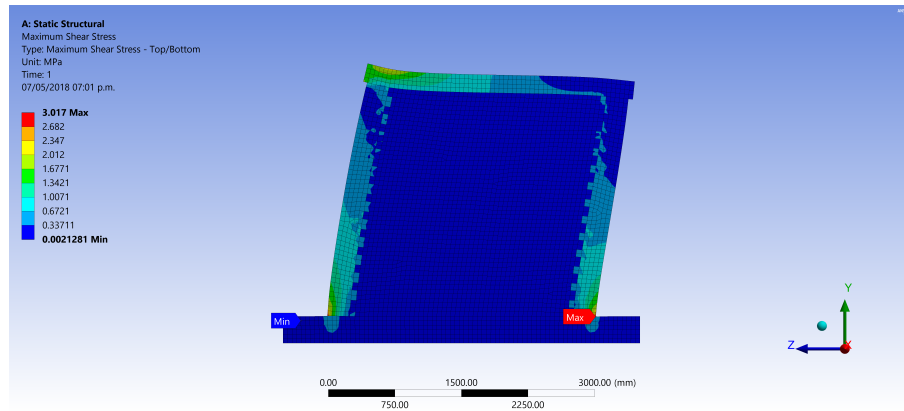


Figura 3.44: Máximo esfuerzo cortante del muro confinado ( $F = 70,34 \text{ kN}$ ).

Fuente: Elaboración propia

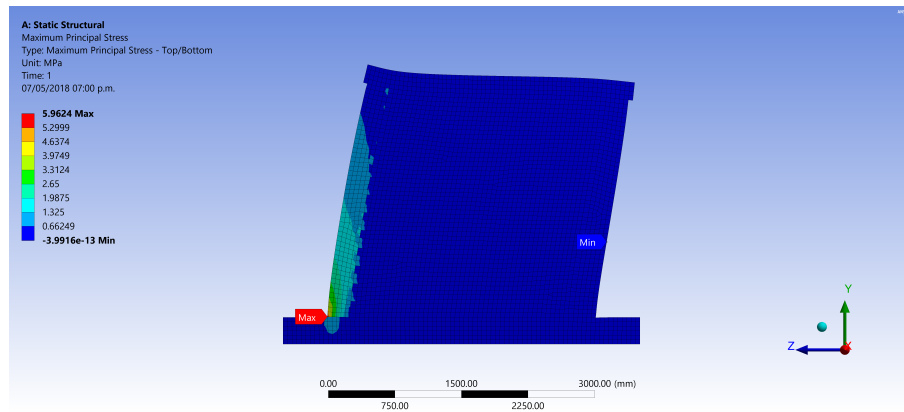


Figura 3.45: Máximo esfuerzo principal del muro confinado ( $F = 70,34 \text{ kN}$ ).

### 3.11.2 Deformada del muro para fuerza lateral $F = 74,47 \text{ kN}$

Fuente: Elaboración propia

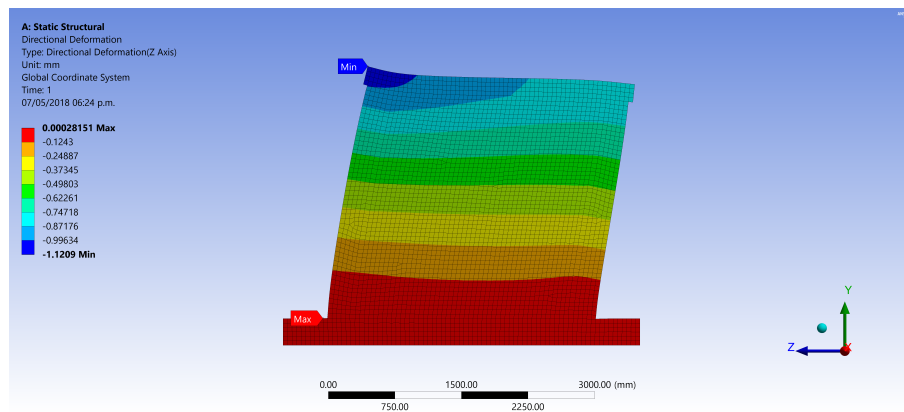


Figura 3.46: Deformación del muro confinado ( $F = 74,47 \text{ kN}$ ).

Fuente: Elaboración propia

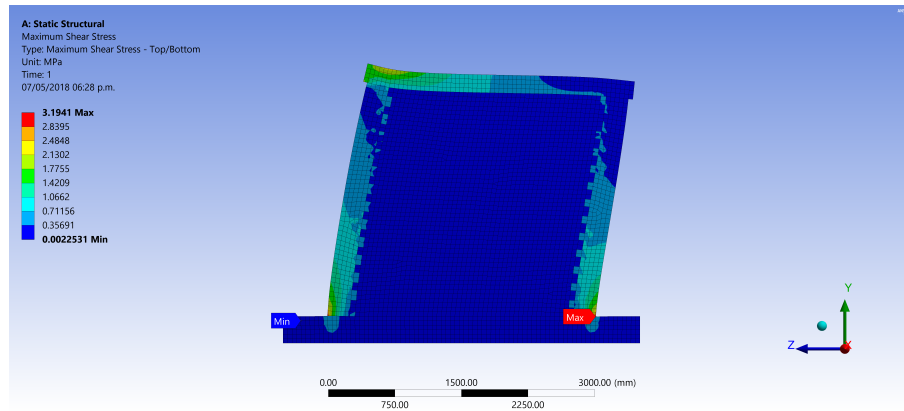


Figura 3.47: Máximo esfuerzo cortante del muro confinado ( $F = 74,47 \text{ kN}$ ).

Fuente: Elaboración propia

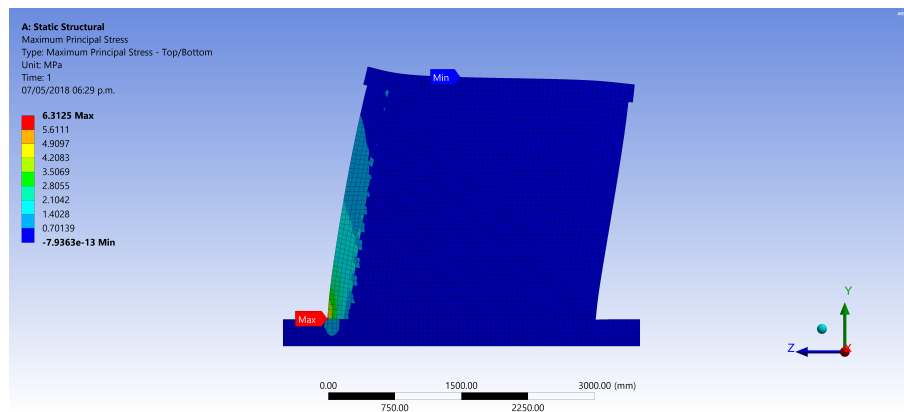


Figura 3.48: Máximo esfuerzo principal del muro confinado ( $F = 74,47 \text{ kN}$ ).

### 3.11.3 Deformada del muro para fuerza lateral $F = 190 \text{ kN}$

Fuente: Elaboración propia

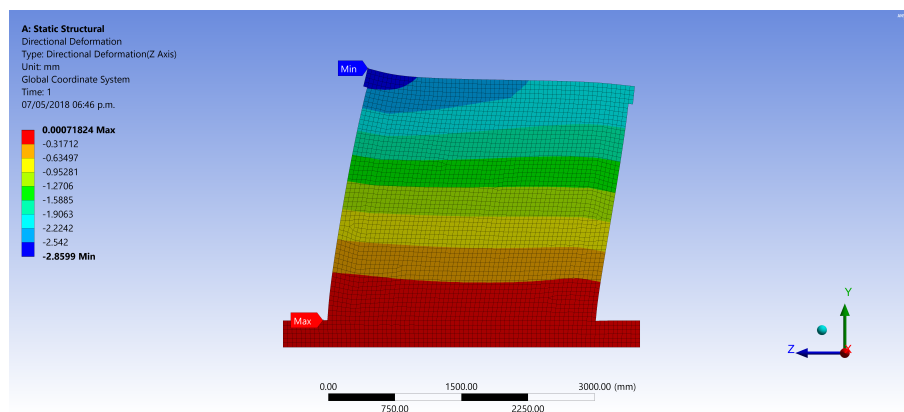


Figura 3.49: Deformación del muro confinado ( $F = 190 \text{ kN}$ ).

Fuente: Elaboración propia

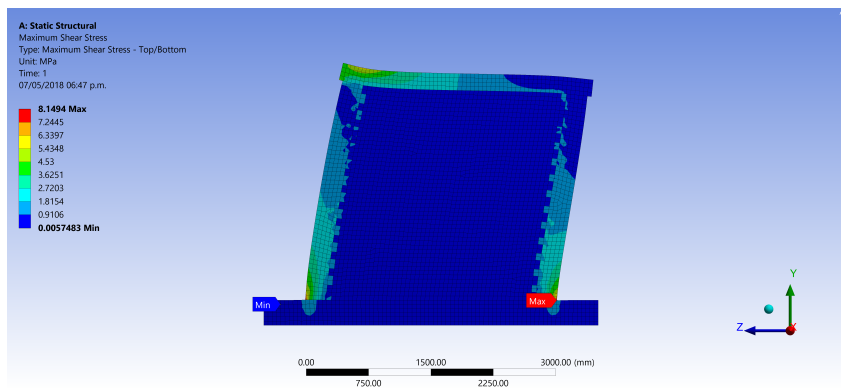


Figura 3.50: Máximo esfuerzo cortante del muro confinado ( $F = 190 \text{ kN}$ ).

Fuente: Elaboración propia

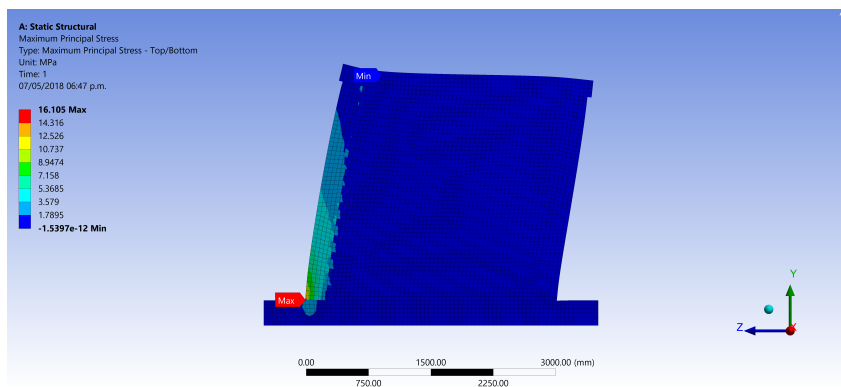


Figura 3.51: Máximo esfuerzo principal del muro confinado ( $F = 190 \text{ kN}$ ).

### 3.12 Rigidez lateral

La rigidez lateral se calculó con los desplazamientos producidos por el efecto de la carga lateral inducida, la rigidez con el programa ANSYS es más cercano a la rigidez experimental que la rigidez teórica, como se muestra en la Tabla 3.24.

Fuente: Elaboración propia

CARGA LATERAL	DESPLAZAMIENTO DATO ANSYS	RIGIDEZ LATERAL ANSYS	RIGIDEZ LATERAL TEÓRICO	RIGIDEZ LATERAL EXPERIMENTAL
$\Delta F(\text{kN})$	$\Delta D(\text{mm})$	(KN/mm)	(KN/mm)	(KN/mm)
70.34	1.0587	66.439974		
74.47	1.1209	66.437684	80.74	70.74
190	2.8599	66.435889		
<b>RIGIDEZ PROMEDIO</b>		<b>66.44</b>	<b>80.74</b>	<b>70.74</b>

Tabla 3.24: Comparación de resultados de la rigidez del muro confinado.

### 3.13 Ensayo de carga lateral cíclica

---

#### 3.13.1 Descripción del ensayo

---

El ensayo consiste en someter al muro de albañilería confinada, con mortero sin cal, a carga lateral cíclica con desplazamiento progresivo controlado de 8 fases.

Para realizar este ensayo, fue necesario utilizar los equipos de laboratorio de estructuras antisísmicas de la Pontificia Universidad Católica del Perú, entre ellos son:

- ☞ Marcos de reacción.
- ☞ Actuador dinámico.
- ☞ Gatas hidráulicas.
- ☞ Soportes y sensores de desplazamiento (LVDT's).
- ☞ Sistema de adquisición de datos.

El objetivo de realizar el ensayo, es comprobar el comportamiento estructural del muro con la aplicación de la carga lateral cíclica, simulando semejante a la fuerza de un movimiento sísmico en ambos sentidos de la dirección coplanar.

Se colocaron al muro 9 sensores (LVDT's), con ello se permitió determinar la información con las siguientes características:

- ☞ Rigidez lateral.
- ☞ Capacidad de carga máxima.
- ☞ Diagrama histérico de fuerza cortante vs desplazamiento.
- ☞ Envolvente de fuerza cortante vs desplazamiento.
- ☞ Carga de agrietamiento por flexión y cortante
- ☞ Módulo de corte
- ☞ Distorsión angular
- ☞ Degradación de la rigidez

Los desplazamientos fueron controlados en 8 fases, se muestra en la Tabla 3.25.

Fuente: Elaboración propia

Fase	1	2	3	4	5	6	7	8
D(mm)	1	2.5	5	7.5	10	12.5	15	20
N° Ciclos	1	2	3	3	3	3	3	3
Color	Azul	Naranja	Negro	Rosado	Verde	Morado	Rojo	Verdelima

**Tabla 3.25:** Desplazamiento controlado por cada fase de ensayo con sus respectivos ciclos.

Finalmente, fase 9 se sometió al muro a un movimiento armónico de frecuencia  $0,1Hz$  y con una amplitud de  $25mm$ , para poder apreciar con mayor notoriedad el comportamiento estructural del muro de albañilería confinada quedando en un sistema no reparable desde el inicio de las fisuras hasta adquirir grandes grietas y la trituration de los talones del muro.

### 3.13.2 Montaje e instrumentación

El muro fue transportado al lugar de ensayo mediante el puente grúa motorizado desde el patio de la construcción, cuando los elementos de confinamiento cumplieron los 28 días de edad de adquirir una resistencia adecuada para el ensayo.

Fuente: Elaboración propia



**Figura 3.52:** Transporte de muro a la sala de ensayo.

Se utilizó un capping de yeso-cemento para nivelar y empotrar la viga de cimentación del muro. Una vez nivelado, fijó la cimentación a la losa de ensayo con la ayuda de las gatas hidráulicas, las cuales aplicaron una fuerza horizontal y vertical de  $30\ ton$ , cada una.

Fuente: Elaboración propia



**Figura 3.53:** Nivelación del muro con capping de yeso - cemento y fijación con gatas hidráulicas.

Luego, en el eje de la viga solera, se colocó el actuador dinámico de  $500\text{ kN}$ , para proporcionar la fuerza horizontal.

Una vez instalado el muro, se procedió la colocación de los 9 LVDT's.

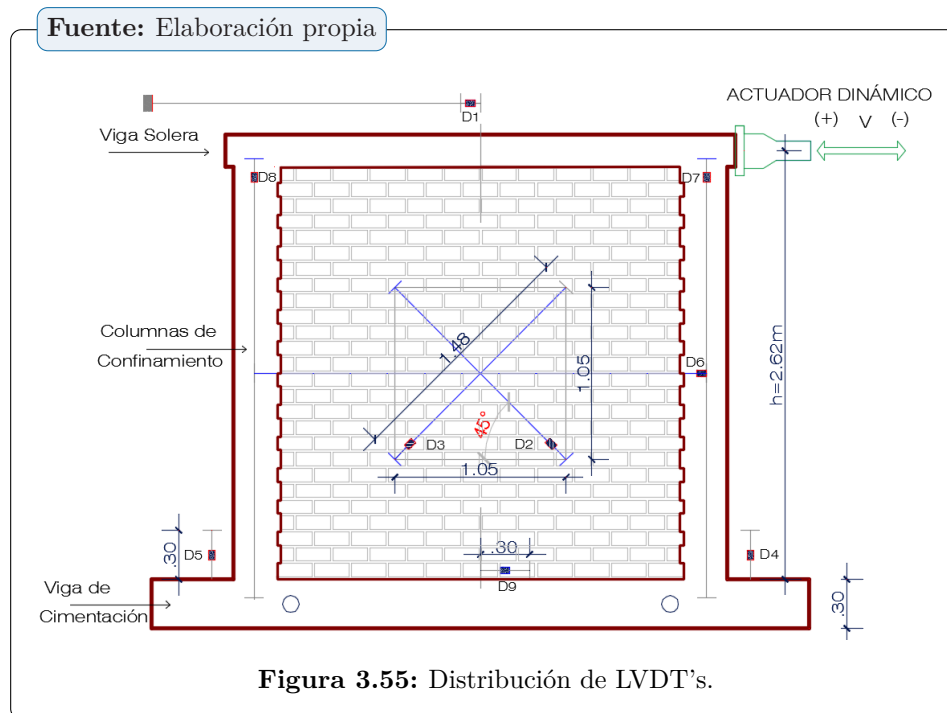
Antes de dar inicio al ensayo lateral de carga cíclica, se sometió al muro a una precarga horizontal cuyo empuje tuvo una magnitud de  $300\text{ kg}$ . Una vez aplicada la precarga, se regresó la carga a cero, para enseguida calibrar a cero a todos los LVDT.

El actuador dinámico su función principal es proporcionar una carga lateral cíclica, con desplazamiento progresivo controlado de 8 fases, es decir empujando y jalando, mediante un cable de acero llamado tirante que sirve para aplicar cargas negativas.

Fuente: Elaboración propia



**Figura 3.54:** Calibración de LVDT con precarga horizontal de  $300\text{ kg}$ .



La función de los 8 sensores (LVDT) fueron:

- ☞ **D1**, es un sensor que sirve para registrar los desplazamientos laterales del muro, que está ubicado en la parte central de la viga solera.
- ☞ **D2 y D3**, miden las deformaciones producidas por las fuerzas de corte en la albañilería, que están ubicados en las mitades de las diagonales del muro y con ellos se puede determinar módulo de corte ( $G_m$ ) del muro.
- ☞ **D4 y D5**, registran las primeras fisuras de tracción por flexión y el comportamiento de los talones de las columnas de confinamiento, que está ubicado a 30 cm de cada lado de los talones.
- ☞ **D6**, mide el desplazamiento horizontal relativo entre columnas y está colocado a la altura intermedia del muro de albañilería, para obtener el instante asociado a la primera fractura diagonal del muro.
- ☞ **D7 y D8**, mide los desplazamientos axiales en el extremo superior de las columnas de confinamiento.
- ☞ **D9**, mide el desplazamiento horizontal por cizalle entre la viga de cimentación y la base del muro, está ubicado a 10 cm en la zona central del muro.

Fuente: Elaboración propia



Figura 3.56: Distribución de LVDT y el equipo de monitoreo.

Para registro de datos, se conectaron los LVDT a un amplificador de instrumentación lo que hace es convertir energía eléctrica (voltaje) en unidades de ingeniería y mostrando la carga ( $kN$ ) en el tiempo a través del sistema de adquisición de datos, las informaciones fueron emitidos a una computadora ( $PC$ ) usando el programa llamado Labview éste utiliza la transformada de fourier. Los sensores de desplazamientos existen dos tipos; uno llamado WA's y el otro LVDT's, que sirven para ver el fenómeno del comportamiento físico y mecánico del muro de albañilería.

Fuente: Elaboración propia



Figura 3.57: Sensores en el muro de albañilería.

**3.13.3 Comportamiento sísmico del muro durante el ensayo**

El comportamiento del muro de albañilería, construido con mortero sin cal, con unidades artesanales, en cada ciclo presenta 2 etapas como se muestra en la Figura 3.58.

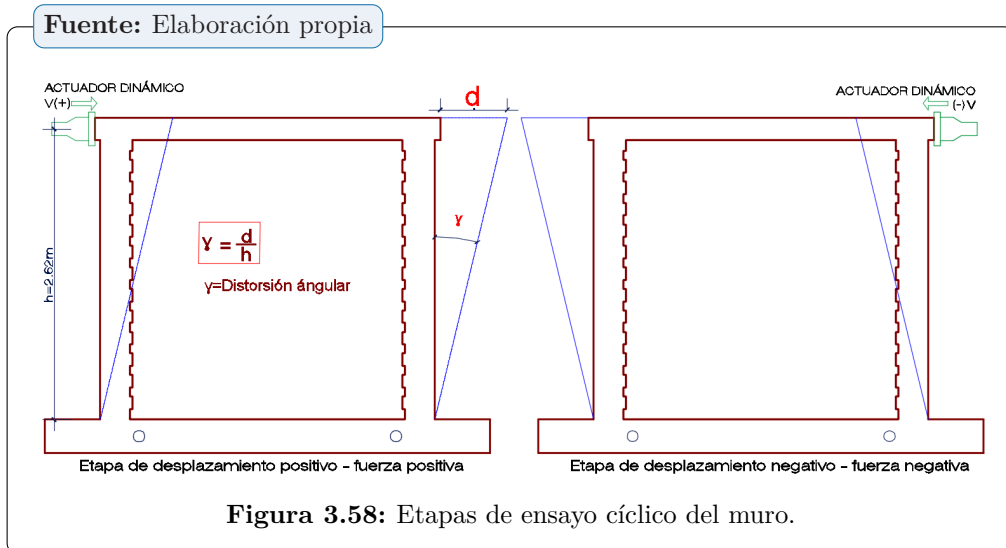


Figura 3.58: Etapas de ensayo cíclico del muro.

☞ **Grietómetro**, es una lámina de material plástico en unidades milímetro y pulgadas, sirve para medir las fisuras y grietas hasta 2.5mm en concreto, muros de albañilería, etc, generalmente en los ensayos del laboratorio de estructuras antisísmicas.



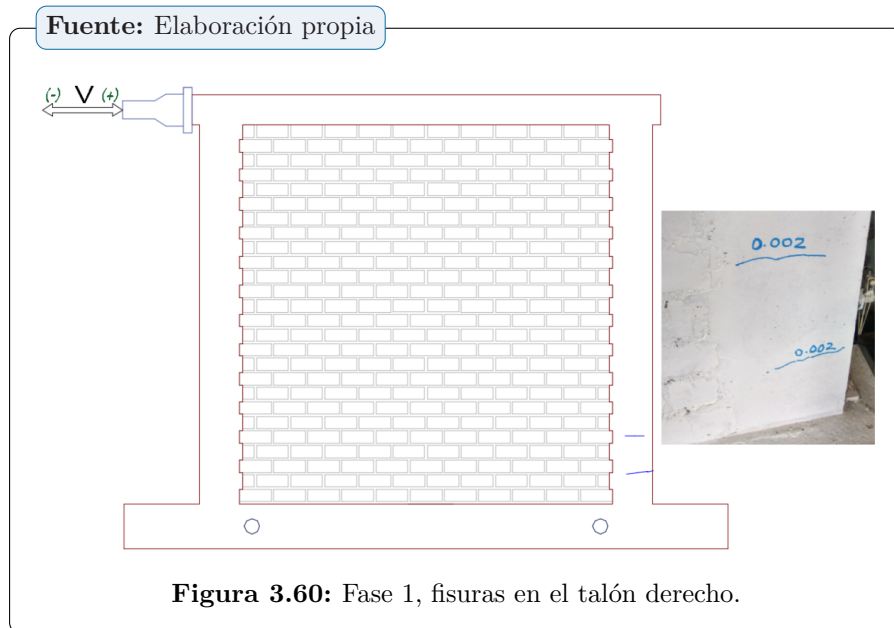
Figura 3.59: Grietómetro para medir fisuras.

El comportamiento físico y mecánico estructural del muro, durante el ensayo con desplazamientos controlado entre fases y ciclos tiene los siguientes detalles:

☞ **Fase 1: D = 1 mm - 1 ciclo.**

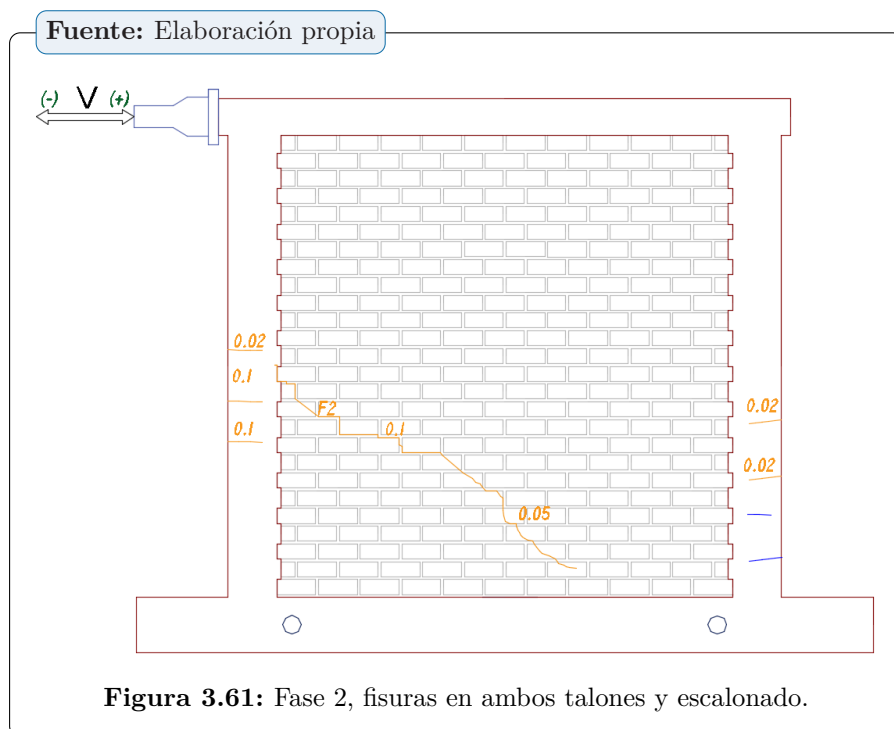
Línea de **fisura color azul**. El actuador dinámico imprime un desplazamiento controlado con una velocidad de muestreo  $2 \frac{m}{s}$ , el muro presenta un comportamiento elástico, aparición de las pequeñas fisuras de 0,002 pulgadas es equivalente a 0,05 mm

horizontales en el talón derecho de la columna de confinamiento, posteriormente terminará triturándose los talones.



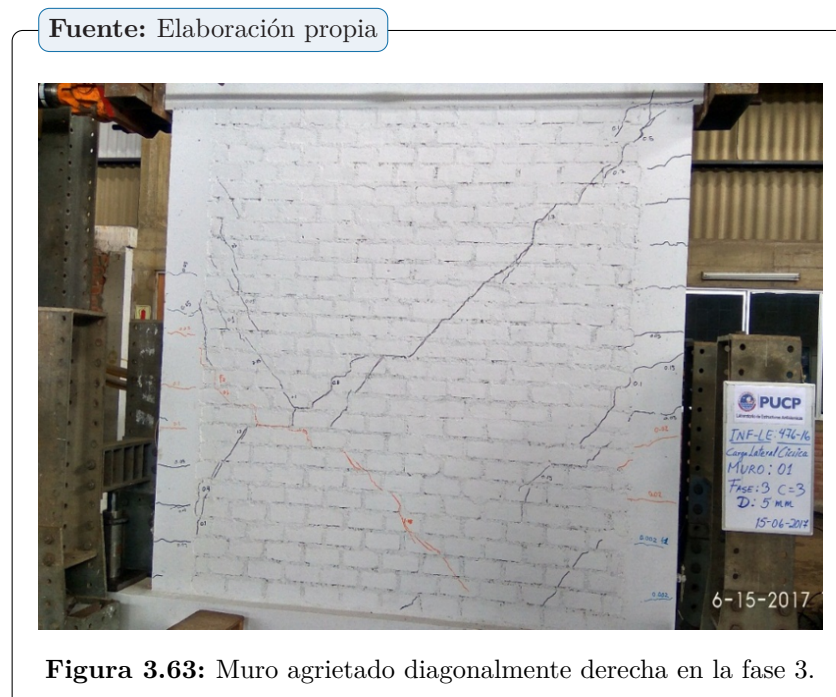
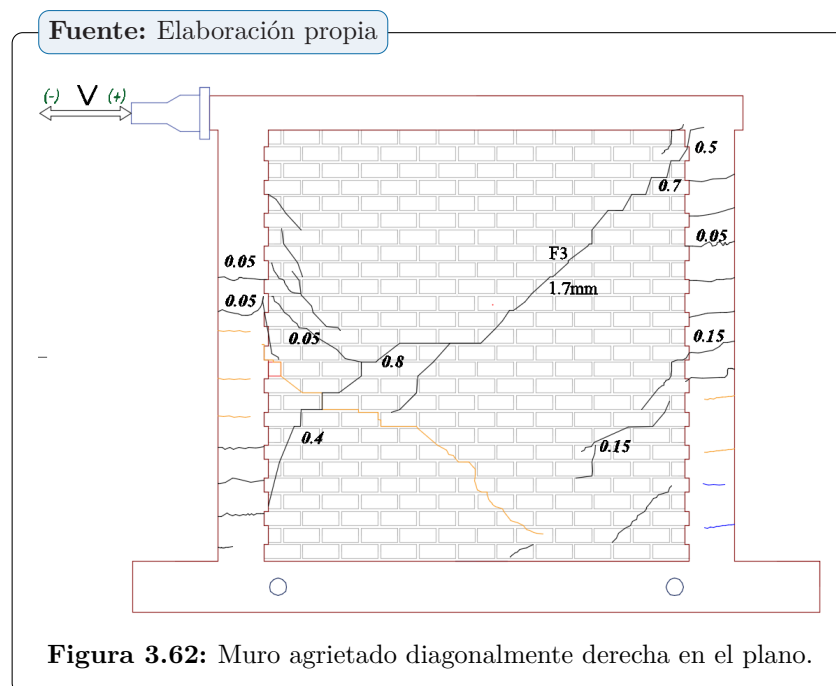
☞ Fase 2:  $D = 2.5 \text{ mm}$  - 2 ciclos.

Línea de fisura color naranja. Las fisuras se presentaron primero en los confinamientos, en la mitad de la columna izquierda de  $0,1 \text{ mm}$ , siguiendo las fisuras escalonadas por las juntas del muro de  $0,1 \text{ mm}$ , luego en la columna derecha aparecieron las fisuras de  $0,02 \text{ mm}$ .



☞ Fase 3:  $D = 5 \text{ mm}$  - 3 ciclos.

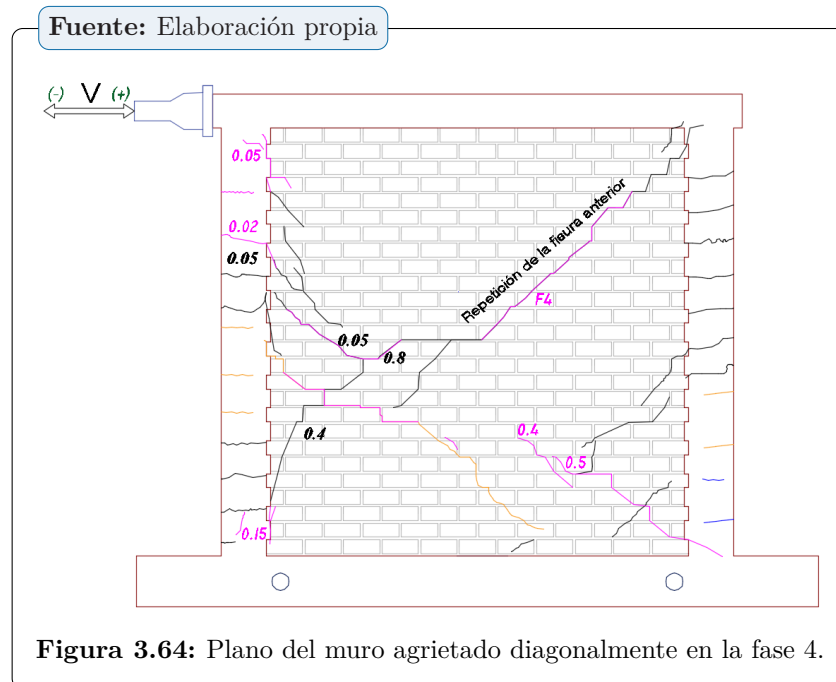
Línea de **fisura color negro**. Las fisuras se presentaron en la mitad de la columna izquierda de 0,05 mm y hasta 0,15 mm en la derecha, la aparición de fisuras de 0,05 mm en el extremo superior de la columna derecha, siguiendo las fisuras escalonadas y cortes por las juntas y unidades del muro hasta alcanzar una grieta de 1,7 mm con sonido repentino de fracturarse diagonalmente y un deslizamiento en la mitad del muro de dos unidades.



☞ **Fase 4: D = 7.5 mm - 3 ciclos.**

Línea de **fisura color rosado**. Las fisuras se presentan en el extremo superior de la

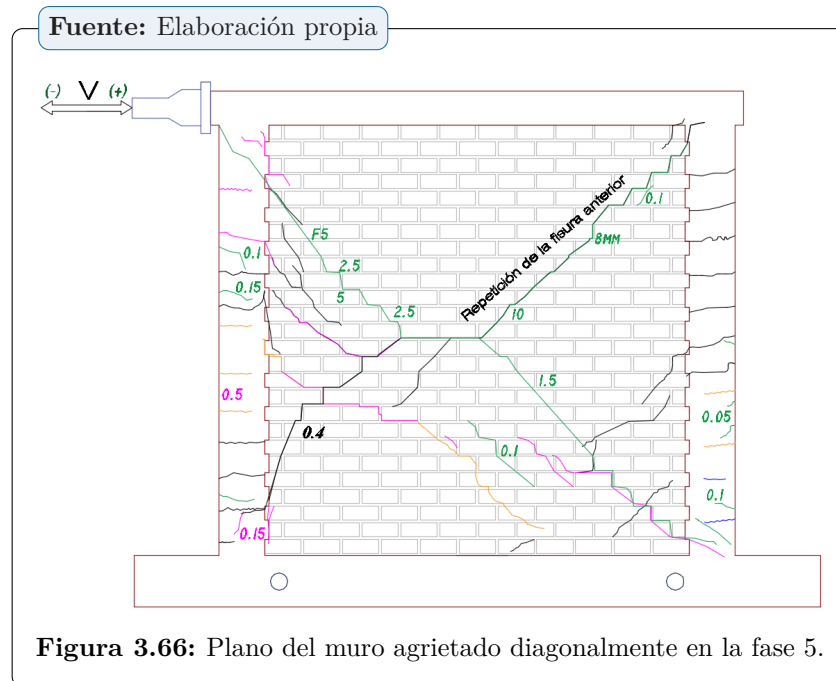
columna izquierda de  $0,05\text{ mm}$  y al mismo tiempo aparece en el talón de la columna derecha diagonalmente de  $0,5\text{ mm}$  sin llegar a la mitad, fisuras de fase anterior forman repeticiones reabriéndose las mismas fisuras hasta alcanzar de  $0,8\text{ mm}$ .



☛ **Fase 5:  $D = 10\text{ mm}$  - 3 ciclos.**

Línea de **fisura color verde**. Las fisuras iniciaron por la unión de la viga solera y columna en la parte superior izquierda con la dirección diagonal del muro haciendo cortes de unidades y escalonadamente hasta alcanzar la fractura agrietado diagonalmente de  $5\text{ mm}$ , resto de las fisuras anterior formando repeticiones hasta llegar grietas

de 10 mm.



☞ **Fase 6:  $D = 12.5 \text{ mm} - 3 \text{ ciclos}$ .**

Línea de **fisura color morado**. Las fisuras se presentaron en la esquina superior izquierda del muro llegando fracturarlo escalonadamente hasta 0,30 mm diagonalmente paralelo a la fase anterior conectando en la parte inferior de la fisura diagonal y reabriendo con la repetición de las fisuras o grietas de la fase anterior hasta 10 mm.

Fuente: Elaboración propia

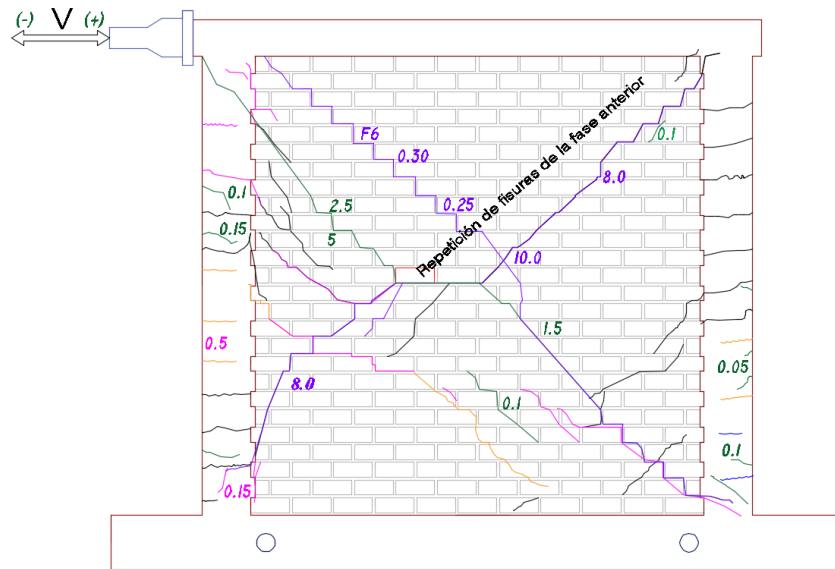


Figura 3.68: Muro agrietado diagonalmente superior izquierda en la fase 6.

Fuente: Elaboración propia

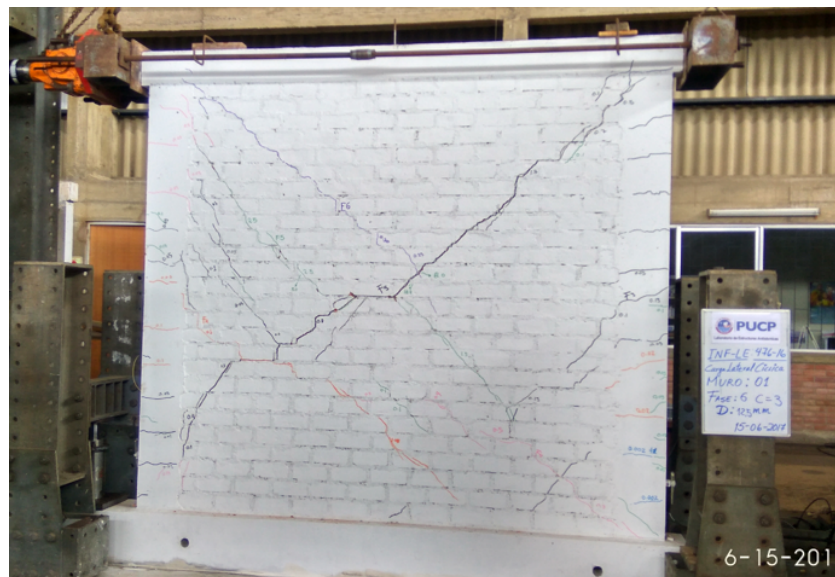


Figura 3.69: Muro agrietado real de la fase 6.

☛ Fase 7:  $D = 15 \text{ mm} - 3 \text{ ciclos}$ .

Línea de **fisura color rojo**. Las fisuras se presentan en los extremos superiores del muro en particular en la unión de viga solera y confinamientos con algunas fisuras diagonales haciendo corte en las unidades otras escalonadamente, la repetición de las grietas de las dos diagonales de la fase anterior hasta  $8 \text{ mm}$  como se muestra en las Figuras: 3.70 y 3.71.





### 3.14 Diagnóstico visual post ensayo del muro confinado

En el comportamiento final del muro de albañilería confinada, se observó una falla por desplazamiento horizontal de tres unidades concentración un cizalle en la mitad de la altura del muro, desprendimiento y la trituration de las unidades en donde se conectan los agrietamientos diagonales a causa de la carga lateral, tal como se observa en la Figura 3.74.

Fuente: Elaboración propia

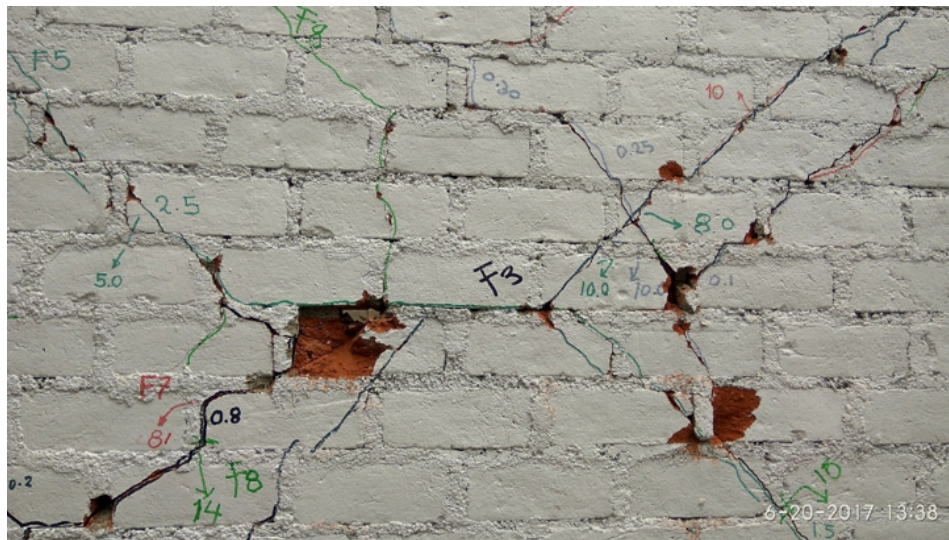


Figura 3.74: Desplazamiento lateral de unidades en la mitad del muro.

*“Austeridad no es menor gasto, sino mejor gasto. Economizar no es apostar por lo más barato, sino elegir la opción que más se ajusta al fin que persigue”*

— Rafael del Pino

## ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 4.1 Diagrama de lazos histeréticos

Los datos proporcionados por el laboratorio de estructuras antisísmicas de la PUCP después de los ensayos realizados del muro de albañilería confinada se tienen:

- ☞ Desplazamientos de cada LVDT's o sensores instalados en el muro.
- ☞ Fuerzas laterales o cargas asociadas a los desplazamientos.

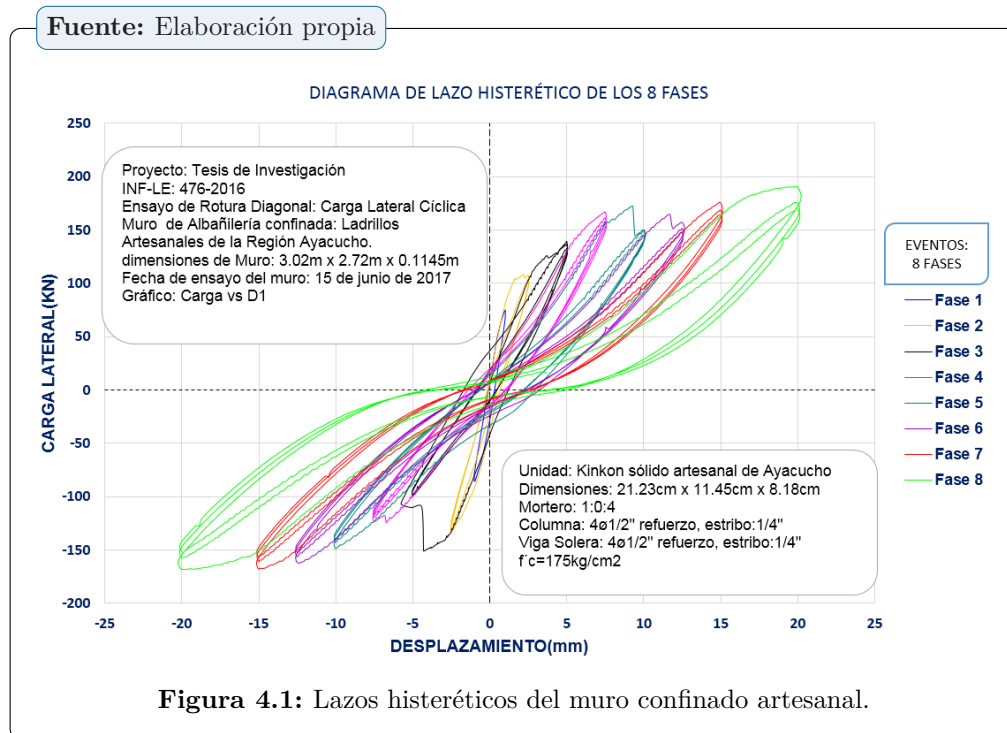
Diagrama histerético de Fuerza cortante Vs Desplazamiento lateral, a partir de la información obtenida del sensor o LVDT ( $D1$ ), el ensayo del muro tuvo 8 fases y 3 ciclos en cada fase a excepción de primera tiene 1 ciclo y la segunda fase tiene 2 ciclos, los resultados obtenidos fueron similares o parecidos a otros autores con investigaciones realizados en albañilería confinada en otras regiones del Perú.

Durante el ensayo del muro, hubo un registro de agrietamiento y poniendo señales a las grietas utilizando los instrumentos como el Grietómetro y los plumones para hacer pintas sobre las fisuras y grietas afectadas por la carga lateral.

Los lazos histeréticos son delgados, propio comportamiento de los sistemas de muros de albañilería que disipan poca energía sísmica, las curvas tienen una tendencia de pasar por el origen de coordenadas y luego tienden a degradar su rigidez lateral es decir pierde su resistencia.

El agrietamiento del muro, se aprecia a mayor desplazamiento lateral se genera mayor cantidad de fisuras normalmente en los confinamientos en un modo de abrirse y cerrarse hasta llegar a generar grietas con mayores aberturas cuya concentración se sitúa en la zona deslizable en la mitad del muro como tenía 26 hileras, el deslizamiento fue en la hilera 13, todo ello da a lugar al deterioro, pérdida de la rigidez y la resistencia.

Finalmente se obtiene los cálculos de **rigidez lateral experimental**, **resistencia de tracción por flexión experimental**, **agrietamiento diagonal experimental** a nivel comportamiento elástico, a partir del diagrama de los lazos histeréticos.

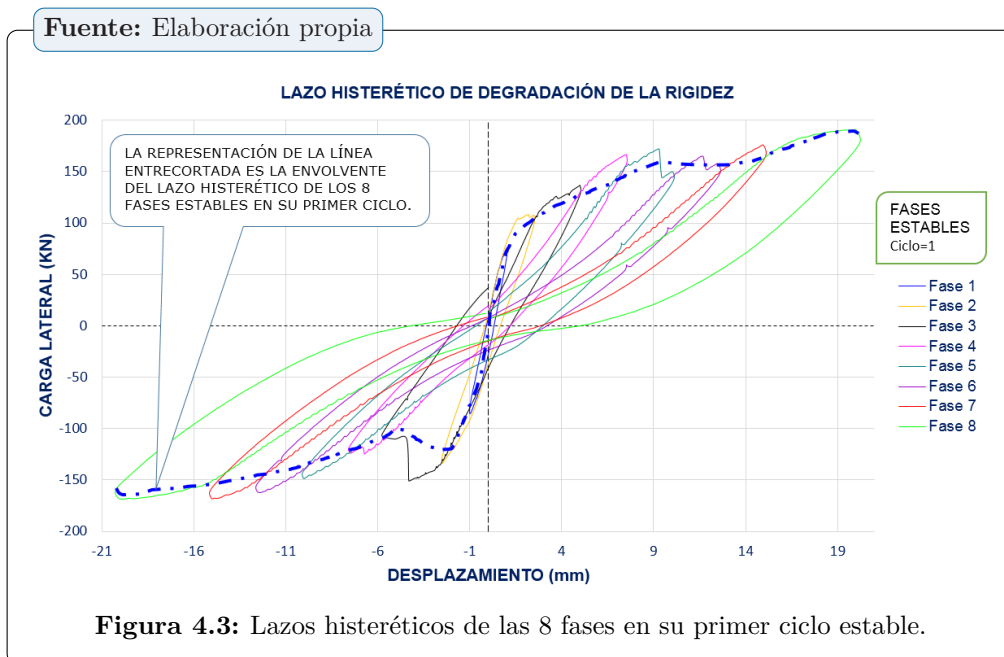
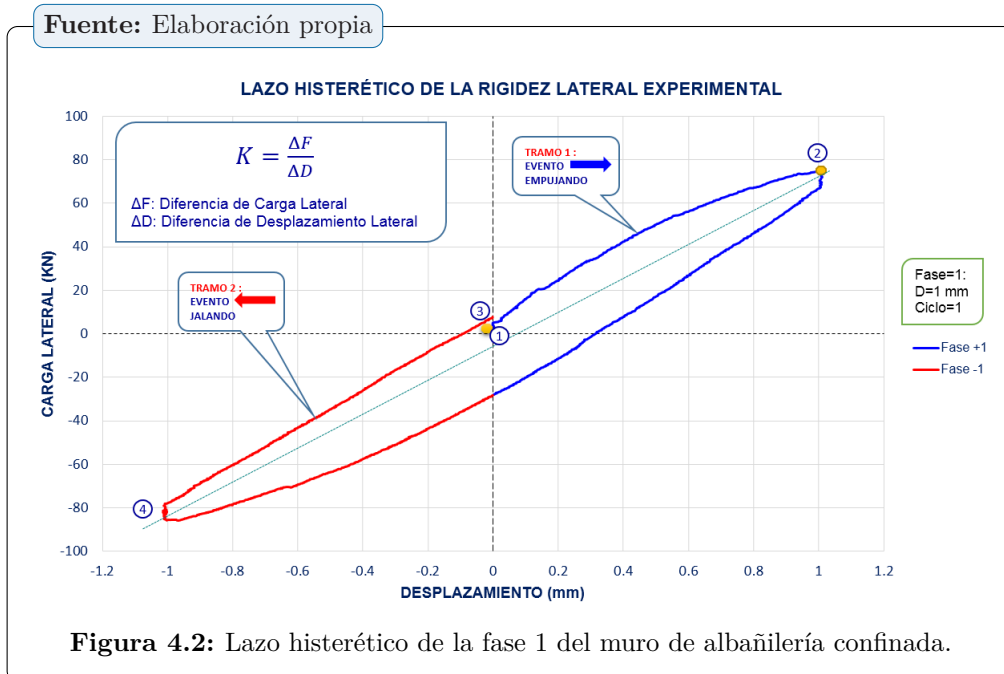


## 4.2 Rigidez lateral elástica (K) y degradación (%)

Para obtener la rigidez experimental ( $K$ ) a nivel elástico del muro, se usó la gráfica fuerza cortante versus desplazamiento, que fue obtenida el desplazamiento del sensor LVDT  $D1$ , tomando en consideración los lazos histeréticos del primer ciclo de la fase 1, donde se trazó sobre la gráfica una línea de tendencia que nos permite calcular una rigidez lateral, a través de su pendiente de la recta que une los puntos máximos extremos de la curva de un ciclo de cada fase.

El método de evaluar para obtener la rigidez lateral fue tomar 4 puntos en un ciclo, considerando 2 puntos para cada tramo como indica la Figura 4.2, luego se permite calcular la rigidez lateral promedio de ambos tramos a rango elástico asociado a un determinado desplazamiento lateral y el actuador dinámico cumplía un fenómeno físico mecánico en la posición empujando y jalando.

La degradación de la rigidez lateral que se calculó como la pendiente del lazo histerético referente al ciclo 1 que es más estable de cada fase en porcentajes.



El muro confinado alcanza durante el ensayo experimental una rigidez lateral máximo de  $70,74 \frac{kN}{mm}$  y estuvo previsto la rigidez teórica de  $80,74 \frac{kN}{mm}$  resultando 14 % de diferencia, lo cual indica una variación de contener unidades no homogéneas.

Fuente: Elaboración propia

FASE	PUNTO 1		PUNTO 2		PUNTO 3		PUNTO 4		RIGIDEZ(KN/mm)	DEGRADACIÓN
	mm	kN	mm	kN	mm	kN	mm	kN	PROMEDIO	%
Fase 1	0.01411	6.47995	0.99787	74.94485	-0.00229	-7.64465	-1.00641	-79.8328	70.74	100%
Fase 2	0.00218	8.18000	1.67192	103.74075	0.0218	8.18	-2.48567	-133.67	56.90	80%
Fase 3	0.01603	6.32050	3.6199	125.8578	-0.0095	36.7106	-5.76505	-106.7046	29.04	41%
Fase 4	0.05927	16.8509	7.50622	166.83885	0.191415	19.53655	-7.10921	-119.8596	19.62	28%
Fase 5	-0.09086	6.8674	-10.08169	-142.5066	0.084145	14.76475	9.29317	172.08125	16.02	23%
Fase 6	0.00366	6.91535	11.614265	164.5352	0.00366	6.91535	-12.61336	-156.8661	13.28	19%
Fase 7	0.15419	7.6471	14.819315	174.99945	0.15419	7.6471	-15.02863	-167.9321	11.49	16%
Fase 8	0.21075	7.74235	-20.22373	-164.0549	-0.31663	11.4544	19.762415	190.3697	8.66	12%

Tabla 4.1: Cálculo de rigidez lateral promedio y degradación.

Fuente: Elaboración propia

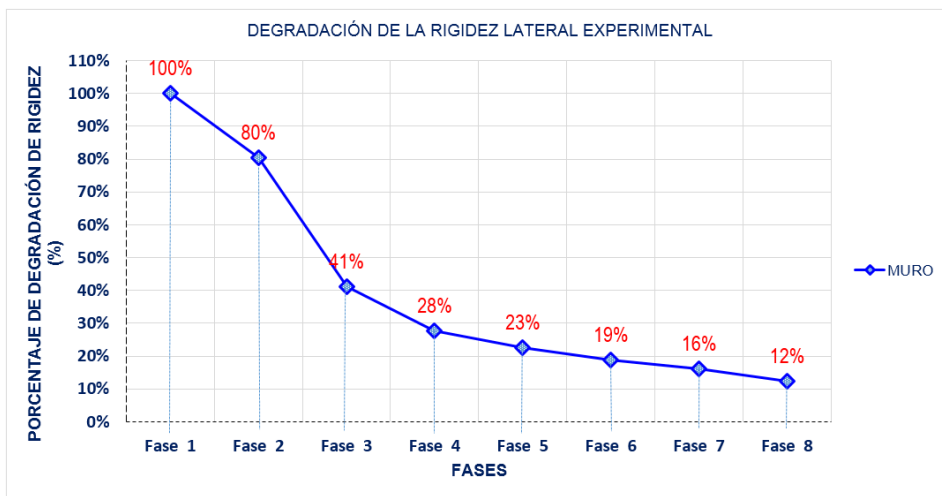


Figura 4.4: Degradación de rigidez lateral bajo carga lateral cíclica.

### 4.3 Resistencia de tracción por flexión

La primera fisura de tracción por flexión se presentó pequeñas fisuras de dos líneas casi horizontales en el talón derecho de la columna, medida con Grietómetro de 0,002 pulgadas es equivalente a 0,05 mm de espesor, las pequeñas fisuras son originadas por las tracciones que genera el momento flector provocado por la acción de la carga lateral, los resultados de la gráfica carga lateral vs desplazamiento nos muestra el cambio o quiebre de la curvatura, donde es señal de las primeras fisuras a tracción por flexión, produciendo una cortante experimental de  $F = 70,34 \text{ kN}$  para un desplazamiento 0,61641 mm según la gráfica. Además, estuvo previsto teóricamente para alcanzar una cortante de  $F = 100,04 \text{ kN}$ , cuando el actuador dinámico se encontraba en la posición negativa jalando.

La variación de los resultados se debe a que para un mismo horno existen varias canteras de fabricación como acopiadores acostumbran realizar para completar la capacidad del horno de 75 millares en la cocción de las unidades.

Fuente: Elaboración propia

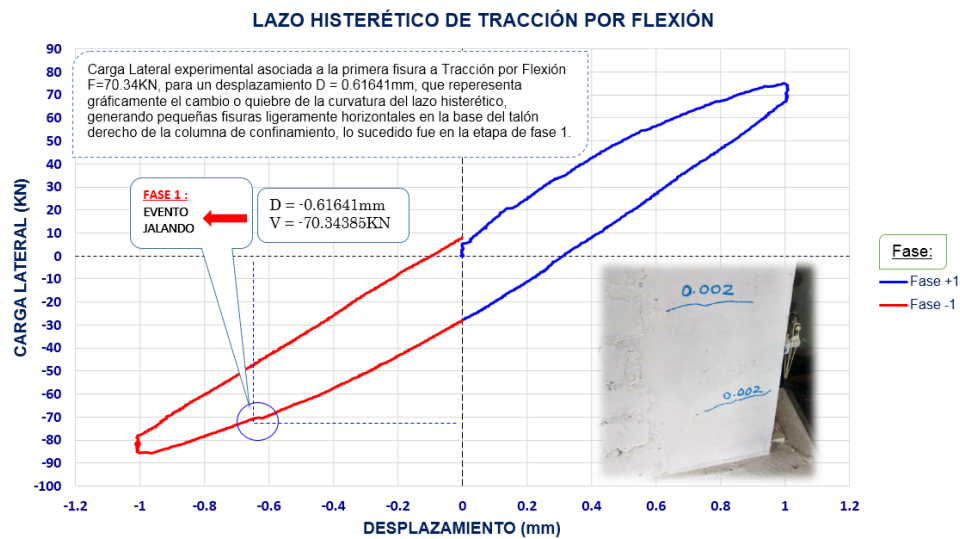


Figura 4.5: Cálculo de resistencia a tracción por flexión experimental.

#### 4.4 Comportamiento de refuerzo vertical

Las columnas de confinamiento teóricamente logran alcanzar una fluencia de refuerzo una fuerza cortante máxima de  $V_f = 195\text{ kN} \approx 19,98\text{ ton}$ , durante el ensayo del muro alcanzan  $190,45\text{ kN} \approx 19,43\text{ ton}$  de fuerza cortante experimental máxima para un desplazamiento máximo de  $19,98\text{ mm}$  en la fase 8, lo que significa el refuerzo de confinamiento vertical está a punto de iniciar la etapa de endurecimiento.

Finalmente, la verificación se hace con los datos registrados por el LVDT  $D7$  y  $D8$ , ubicados en los confinamientos verticales, con la finalidad de controlar y determinar la deformación unitaria en la etapa de endurecimiento del acero.

$$\varepsilon = \frac{D_m}{h} \quad (4.1)$$

Donde:

$D_m$  : Valor promedio absoluto del máximo desplazamiento de LVDT  $D7$  y  $D8$ .

$h$  : Altura de la columna.

Fuente: Elaboración propia

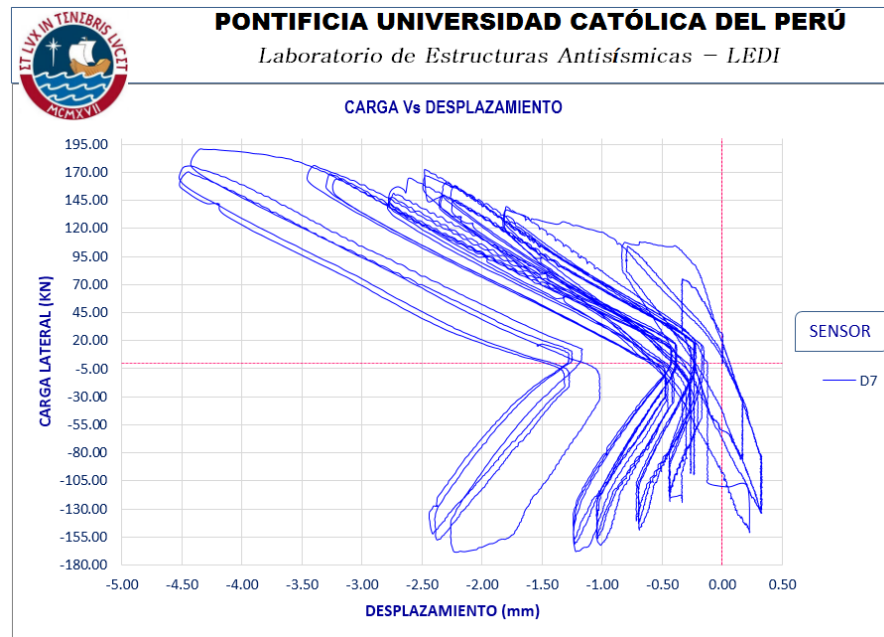


Figura 4.6: Sensor D7, máximos desplazamientos.

Fuente: Elaboración propia

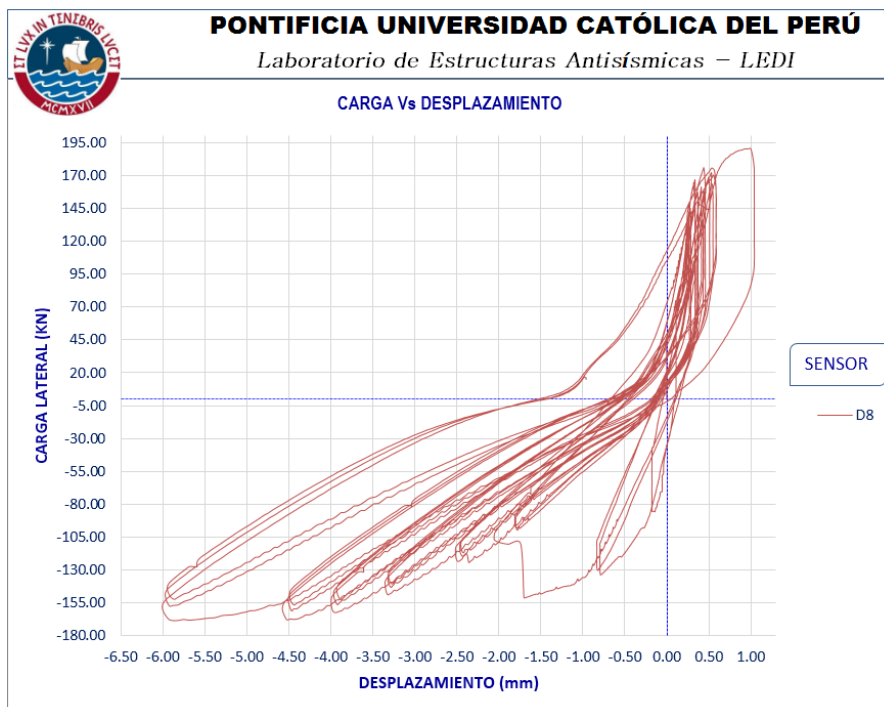


Figura 4.7: Sensor D8, máximos desplazamientos.

Fuente: Elaboración propia

SENSOR	MAX. DESPLAZAMIENTO	PROM.FINAL	h	DEFORMACIÓN
LVDT	P1(mm)	Dm(mm)	(mm)	UNITARIA ( $\xi$ )
D7	-4.490317	5.220506	2620	0.0019926
D8	-5.950695			

Tabla 4.2: Deformación unitaria alcanzada por refuerzos verticales.

Esta deformación unitaria alcanzada  $\xi = 0,0019926$  por los refuerzos en los confinamientos no ha excedido a la deformación unitaria del acero en fluencia ( $\frac{f_y}{E_s} = \frac{4200}{2100000} = 0,002$ ), con lo cual se demuestra que el acero no ha iniciado la etapa de endurecimiento.

## 4.5 Distorsión angular

Según la **norma E-030** para la albañilería, la máxima distorsión angular permisible es 0,005, económicamente reparable la distorsión menores que  $\frac{1}{200}$ , en el ensayo del muro, corresponde un desplazamiento lateral de  $0,005xh = 0,005x2620 = 13,10\text{ mm}$ , está asociado teóricamente a la fase 7, para el cual el muro puede ser reparado, por lo tanto en el ensayo real, el agrietamiento diagonal se inicia en el punto 1, para un desplazamiento lateral de  $d=1.3548\text{mm}$  como indica la gráfica, generando una distorsión angular de  $\gamma_1 = \frac{d}{h} = \frac{1,3548}{2620} = 0,0005$ , finalmente en el punto 2 se produce una falla de corte diagonal repentino, para un desplazamiento  $d = 4,25799\text{ mm}$ , donde  $h = 2,62\text{ m}$  altura del muro desde su base hasta el eje de la carga actuante, fracturándose diagonalmente con una distorsión angular final  $\gamma_2 = \frac{4,25799}{2620} = 0,0016$ .

Fuente: Elaboración propia

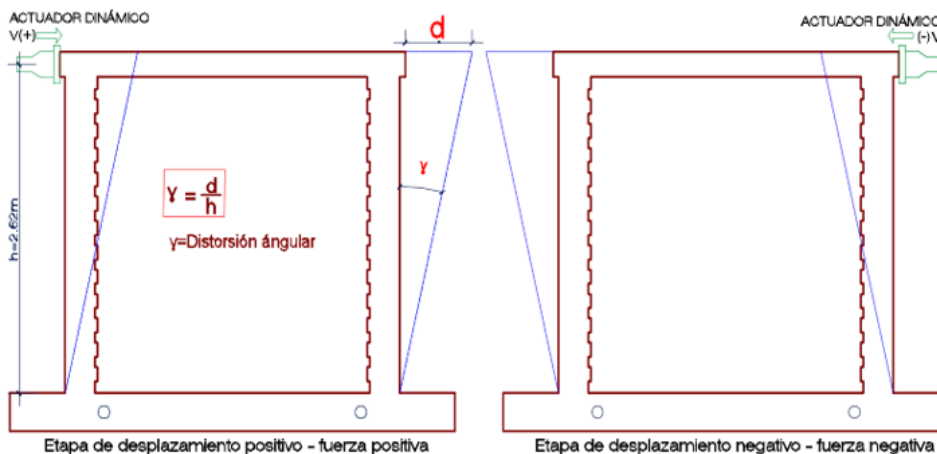


Figura 4.8: Distorsión angular de comportamiento del muro.

## 4.6 Límite de reparación

---

La consideración de la **norma E-030** del **diseño sismorresistente** para albañilería reforzada o confinado, tiene un control de límite hasta una deriva máxima inelástica o distorsión angular máximo de  $\gamma = \frac{1}{200} = 0,005$ , se considera hasta este momento que el sistema es económicamente reparable, después de este instante la aplicación del actuador dinámico como carga lateral cíclica va incrementando los mayores desplazamientos progresivos controlado al muro de albañilería confinada, después de su agrietamiento diagonal o la rotura diagonal por corte, surgen fallas indeseables con el inicio de la trituración de los talones, la rigidez lateral continúa degradándose y también disminuye su resistencia.

El instante de desplazamiento máximo inelástico está asociado a la fase 7, pues en esta fase el desplazamiento lateral progresivo controlado es  $13,10 \text{ mm}$ , considerando una altura de altura del muro de albañilería promedio de  $2,62 \text{ m}$  desde la base hasta el eje del actuador dinámico resulta  $0,005xh = 0,005x2620 = 13,10 \text{ mm}$  hasta aquí es el límite de que el muro debe ser como un sistema económicamente reparable.

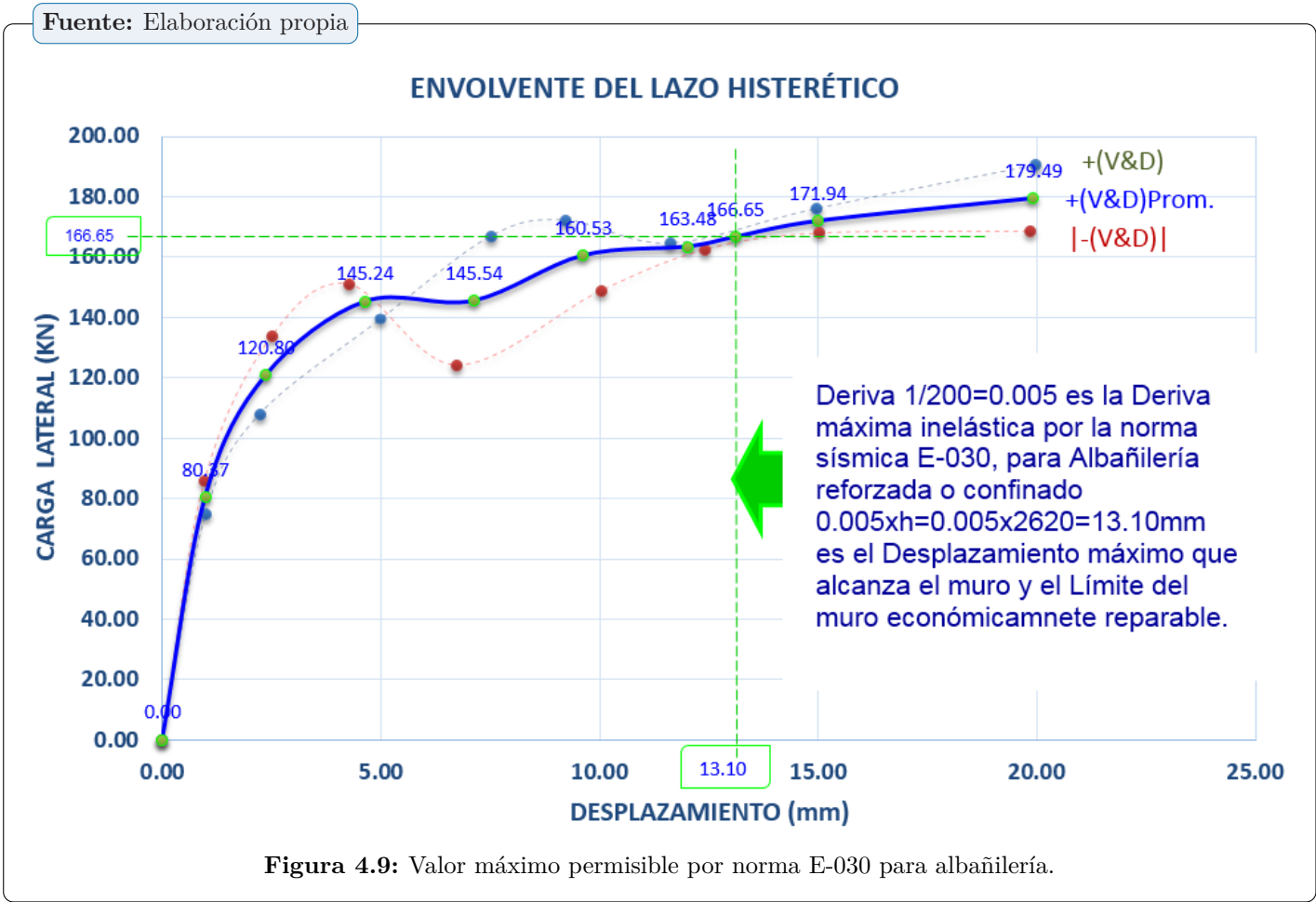
Según el diagrama de lazos histeréticos, datos del sensor o LVDT para este límite de  $13,10 \text{ mm}$  está asociado a la fase 7, así lo muestra la Figura 4.9.

## 4.7 Carga de agrietamiento diagonal ( $V_m$ )

---

El agrietamiento diagonal, se produce como una falla por corte diagonal, donde el muro se fractura diagonalmente con un sonido repentino explosivo, llegando a adquirir una fuerza de corte máximo que representa como una fuerza de resistencia.

- ☞ Primera fractura diagonal derecha se produce en la fase 3, en el ciclo 1, según el diagrama de lazos histeréticos se inicia en el punto 1, llegando al punto 2 con una carga lateral de corte máxima de  $V = -92,96 \text{ kN}$  para un desplazamiento  $D = -1,3548 \text{ mm}$ , concentrando un cizalle en dos unidades artesanales, en la mitad de la altura del muro.
- ☞ Segunda fractura diagonal izquierda se produce en la fase 5, en el ciclo 1, según el diagrama de lazos histeréticos se inicia en el punto 1, llegando al punto 2 con una carga lateral de corte máxima de  $V = 172,08 \text{ kN}$  para un desplazamiento  $D = 9,29 \text{ mm}$ .
- ☞ Tercera fractura diagonal izquierda escalonada siguiendo por las juntas, este fenómeno físico se produce en la fase 6 para un desplazamiento de  $0,30 \text{ mm}$ .



Para la comparación de resultados, el agrietamiento diagonal experimental es  $92,96\text{ kN}$  y el agrietamiento diagonal teórico es  $95,12\text{ kN}$ .

Fuente: Elaboración propia

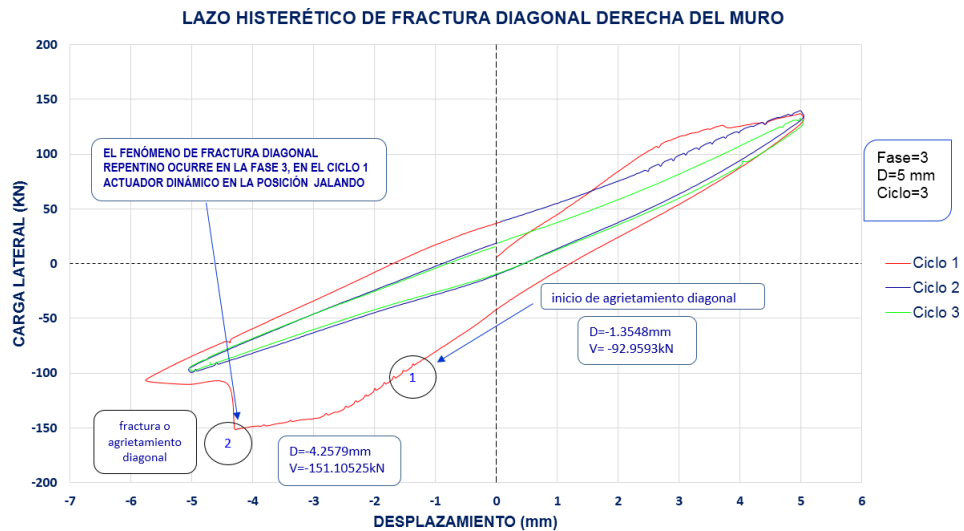


Figura 4.10: Lazo histerético de agrietamiento diagonal del muro confinado.

Fuente: Elaboración propia

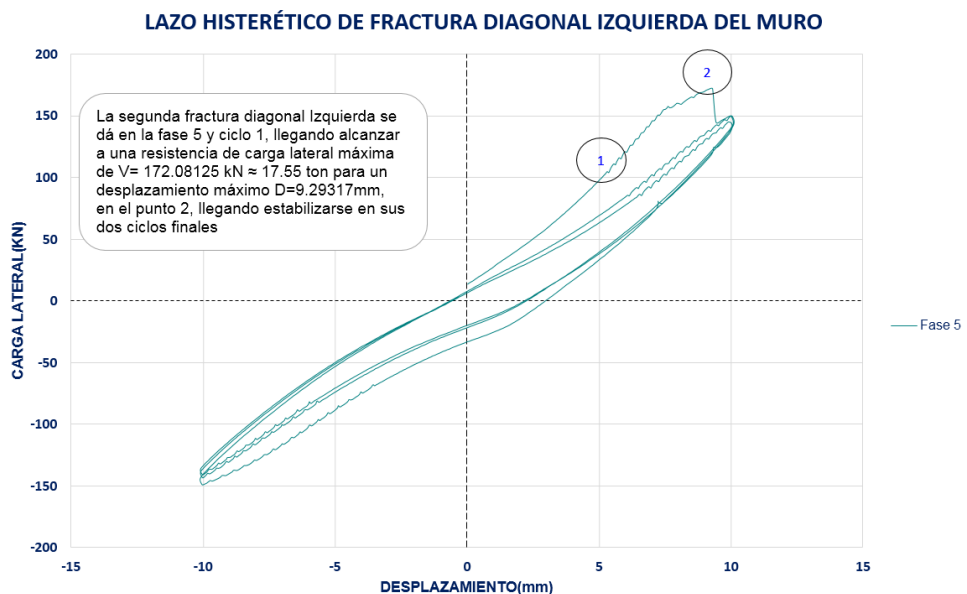


Figura 4.11: Lazo histerético de agrietamiento diagonal de muro - Fase 5.

## 4.8 Resistencia de máxima carga lateral soportada

La resistencia de máxima de carga lateral soportada por el muro de albañilería confinada, durante el ensayo cíclico llega alcanzar  $V = 190,4497 \text{ kN}$  para un desplazamiento lateral de  $D = 19,98068 \text{ mm}$  en la fase 8, en el primer ciclo más estable, se obtiene de los valores máximos (positivas y negativas) de las envolventes de carga lateral vs desplazamiento lateral, así lo muestra la Tabla 4.3.

## 4.9 Envoltente de diagrama de lazos histeréticos

Para calcular el envoltente de los lazos histeréticos de **Carga lateral vs Desplazamiento**, se selecciona los valores máximos registrados en el primer ciclo de cada fase del sensor D1 o LVDT que está ubicada en la mitad de parte superior de la viga solera, los valores obtenidos fueron de tanto del signo positivo y negativo, el signo del valor positivo pertenece a la etapa empujando y el signo del valor negativo a la etapa jalando, en la Tabla 4.3 se muestra los valores de todos los sensores o LVDT's colocados en el muro de ladrillo artesanal, para el análisis del envoltente únicamente se ha tomado los datos mas estables en su primer ciclo de cada fase en el sensor D1, así lo muestra la Figura 4.12, todo ello se ha generado del envoltente de Lazo histerético que se muestra en línea entrecortada en la Figura 4.3 .

Fuente: Elaboración propia

Muro	D (mm)	Carga Lateral (kN)	Sensor D1 (mm)	Sensor D2 (mm)	Sensor D3 (mm)	Sensor D4 (mm)	Sensor D5 (mm)	Sensor D6 (mm)	Sensor D7 (mm)	Sensor D8 (mm)	Sensor D9 (mm)
Fase 1	1	74.95440	0.99622	-0.18603	0.16650	-0.23032	0.08902	-0.02338	-0.33270	0.10629	0.00104
		-85.77825	-0.96622	0.15137	-0.15922	0.06505	-0.19376	-0.02266	0.15435	-0.14265	0.01113
Fase 2	2.5	107.86690	2.22510	-0.76896	0.30724	-0.38644	0.17772	-0.18007	-0.69094	0.36106	-0.01780
		-133.72865	-2.50618	0.20872	-0.32407	0.15057	-0.61089	-0.10520	0.32872	-0.79029	0.01420
Fase 3	5	139.36935	4.99545	-3.12650	0.41466	-0.48935	0.43374	-2.74999	-1.80157	0.25651	0.07061
		-151.10525	-4.25799	0.25160	-0.30309	0.26516	-0.79933	-0.84628	0.22592	-1.68253	0.31261
Fase 4	7.5	166.83885	7.50622	-4.39437	0.72981	-0.74742	0.62943	-3.62599	-2.47529	0.33463	0.06178
		-124.23175	-6.73952	1.70570	-4.25976	0.52119	-0.64263	-4.29959	-0.33481	-2.35846	0.12174
Fase 5	10	172.22805	9.21512	-5.56165	0.97405	-0.86899	0.77218	-4.79170	-2.46920	0.52908	0.05339
		-148.82435	-10.03236	3.54630	-7.14339	0.86401	-0.82558	-8.05536	-0.69075	-3.32303	0.12322
Fase 6	12.5	164.53520	11.61427	-8.20285	3.50820	-0.83239	0.95407	-7.70046	-2.59292	0.31909	0.04857
		-162.42165	-12.40481	4.53756	-9.16488	1.04789	-0.99914	-9.92780	-1.01382	-3.94550	0.12201
Fase 7	15	175.94950	14.95303	-10.67867	4.78352	-0.95769	1.10468	-9.38920	-3.40502	0.43973	0.05152
		-167.93210	-15.02863	5.77984	-11.28814	1.21447	-1.12569	-10.64736	-1.22189	-4.52026	0.12520
Fase 8	20	190.44970	19.98068	-14.15522	6.48763	-1.23554	1.39254	-10.64736	-4.35448	0.99820	0.04694
		-168.52105	-19.86208	8.20660	-16.13837	1.49704	-1.31313	-10.64736	-2.21923	-5.85809	0.13332

Tabla 4.3: Envoltente de lazos histeréticos estables del muro artesanal.

Fuente: Elaboración propia

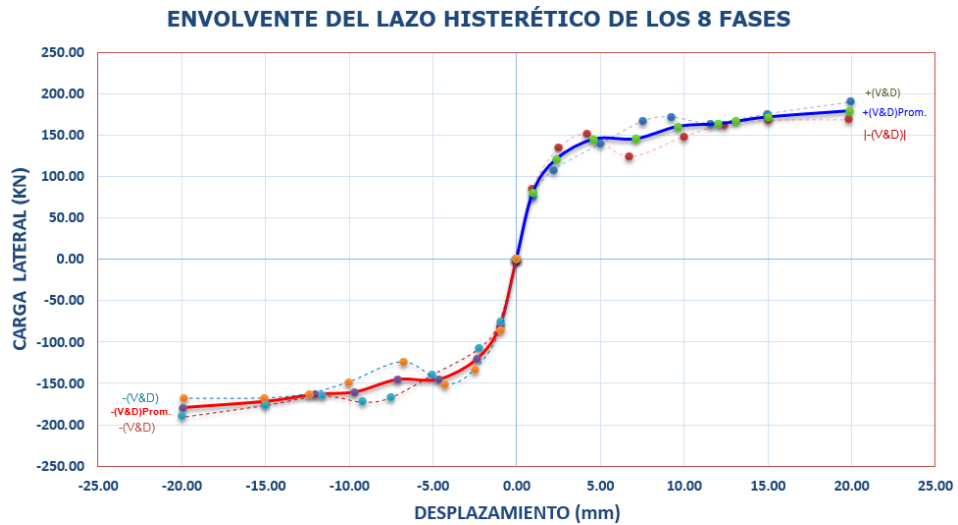


Figura 4.12: Envoltorio de máximos valores de lazos histeréticos estables.

## 4.10 Módulo de corte (G)

Para calcular el módulo de corte se utilizó la gráfica de **carga lateral vs desplazamiento** de los sensores de D2 y D3, ubicados a lo largo de las diagonales del muro de albañilería confinada después del ensayo de carga lateral cíclica.

Fuente: Elaboración propia

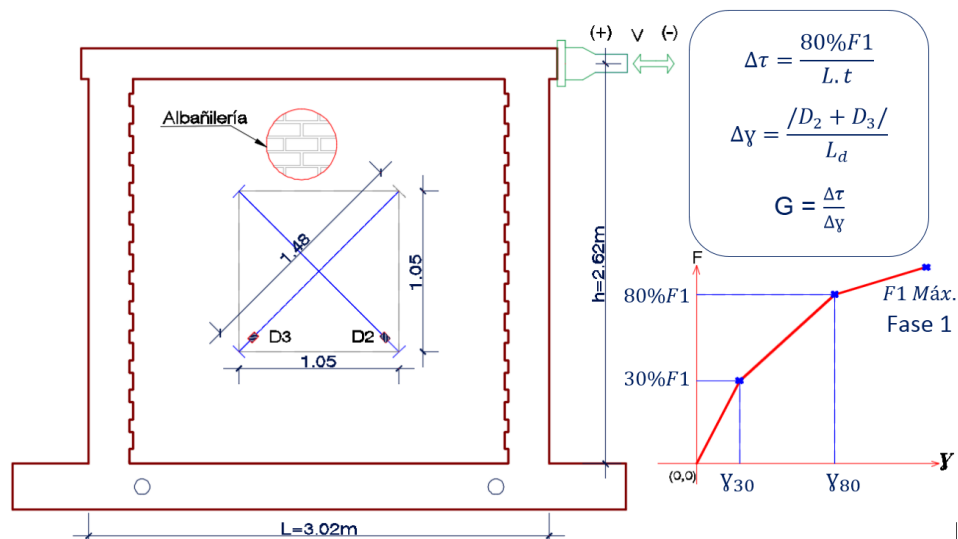
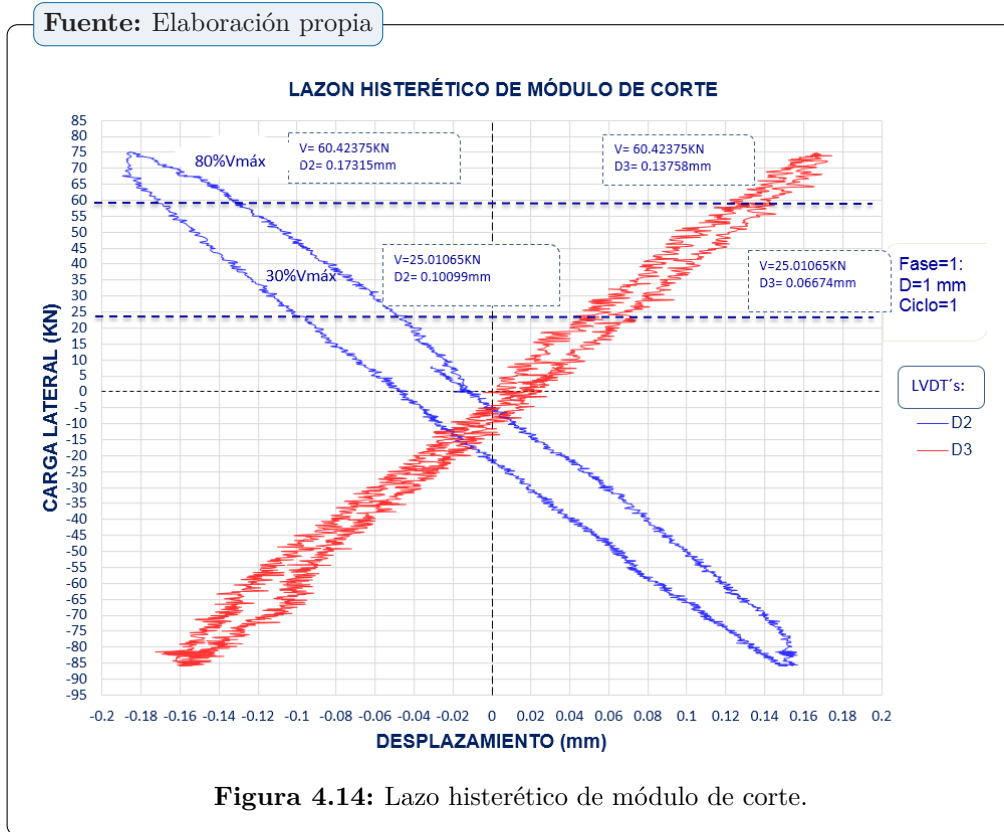


Figura 4.13: Sensores D2 y D3.



El esfuerzo de cortante para el análisis del muro a nivel comportamiento elástico se toma el 80 % de esfuerzo de corte máximo, desde grafica de lazo histerético de los sensores D2 y D3 en fase 1, a este instante mismo también se toma los desplazamientos laterales de los LVDTs D2 y D3 en la Figura 4.14 y luego se calcula la distorsión angular ( $\gamma$ ) que es igual a suma de los desplazamientos de D2 y D3 dividido entre la longitud diagonal de instrumento o sensor, se calcula el módulo de corte (G) es igual al esfuerzo de cortante máximo al 80 % dividido entre la Distorsion angular en ese mismo instante de tiempo, igualmente se hace al 30 %, finalmente se calcula el promedio del Módulo de Corte experimental, como indica en la Tabla 4.4.

Resistencia característica de la albañilería experimental es  $f'_m = 37,24 \frac{kg}{cm^2}$ , con ello calculamos módulo de elasticidad teórico del muro confinado con la siguiente formula de acuerdo a la Norma técnica Peruana E-070:

☞ El módulo de elasticidad de muro es:  $E_m = 500 \times f'_m = 500 \times 37,24 = 18620 \frac{kg}{cm^2}$ .

☞ El módulo de corte teórico del muro es:  $G_m = 0,4E_m = 0,4 \times 18620 = 7448 \frac{kg}{cm^2}$ .

La comparación del valor numérico calculado del módulo de corte teórico de  $7448 \frac{kg}{cm^2}$  es similar o cercano al valor numérico experimental de  $7502,54 \frac{kg}{cm^2}$ .

Fuente: Elaboración propia

Esfuerzo de Cortante Máximo ( $\Delta\tau$ )						
CARGA LATERAL		(80%F)	LONGITUD	ESPESOR DE	ÁREA BRUTA	$\Delta\tau$
F1máx	80%F1	ELEGIDA	L(mm)	MURO t(mm)	mm <sup>2</sup>	KN/mm <sup>2</sup>
74.9544	59.96352	60.42375	3020	114.5	345790	0.0001747
30%F	22.48632	25.01065	3020	114.5	345790	0.0000723

Distorsión Angular ( $\Delta\gamma$ )				
F	D2 (mm)	D3 (mm)	Ld	$\Delta\gamma$
60.42375	0.17315	0.13758	1480	0.00020995
25.01065	0.10099	0.06674	1480	0.00011333

Módulo de Corte Experimental ( $G_m$ )				
$\Delta\tau$	$\Delta\gamma$	G	G	$G_m$
KN/mm <sup>2</sup>		KN/mm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>
0.0001747	0.00020995	0.8323	8492.74	<b>7502.5416</b>
0.0000723	0.00011333	0.6382	6512.35	

Tabla 4.4: Tabla de cálculo de módulo de corte.

El proyecto de Tesis de la Investigación experimental *Evaluación de la Resistencia al Corte y Flexión de Muros de Albañilería Confinada Artesanal con Carga Dinámica Cíclica*, La verificación de los planos antes del inicio de la ejecución, durante el desarrollo y post desarrollo del proyecto en el laboratorio de estructuras antisísmicas de la PUCP, revisión de cálculos, análisis de resultados y conclusiones, estuvo a cargo bajo la supervisión y responsabilidad del asesor docente de la Pontificia Universidad Católica del Perú del Ingeniero DANIEL QUIUN WONG y conjuntamente con el tesista de investigación de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga de la region Ayacucho GREGORIO LEGUÍA DAMIANO.

# CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

---

## CONCLUSIONES

Las conclusiones del presente trabajo de investigación experimental, se ha enfocado en el comportamiento estructural del muro de albañilería confinada sometidos a carga lateral cíclica y sus características mecánicas y físicas de las unidades artesanales que las componen, a pesar de las unidades de baja resistencia y durabilidad el muro confinado constituye un buen comportamiento sísmico.

## Unidades

- ☞ No existe control en la calidad de producción en la zona de estudio (ladrillera muestreada), por lo que la dispersión es alta en prueba de variación dimensional y absorción que está relacionada en la propiedad de durabilidad y resistencia, por lo tanto, no hay garantía en calidad de producto.
- ☞ Según la **Norma E-070**, las características mínimas requeridas de las unidades deben cumplir la tabla de clasificación de unidades de albañilería para fines estructurales que son; la unidad no llega alcanzar a la mínima requerida por lo menos a clase I, por su variación dimensional de 9,08 % en altura, por lo tanto, no clasifica por su **variabilidad dimensional**, por su **alabeo** máxima alcanza 4mm y clasifica a clase IV, por su **resistencia característica máxima a compresión** ( $f'_b$ ) alcanza hasta  $81,54 \frac{kg}{cm^2}$  clasifica hasta clase II, todo este exceso de variación dimensional se debe a que la unidades artesanales son de origen de diferentes canteras de fabricación antes de la cocción.
- ☞ **Succión** En su estado natural, los ladrillos artesanales aproximadamente tienen una succión del orden 80gr/200 cm<sup>2</sup>-min. según la norma NTP 399.604 y 399.613 para las pruebas no clasificatorias, sin embargo el ensayo de succión alcanzó hasta 134.14gr/200 cm<sup>2</sup>-min, la unidad tiene alto capacidad de almacenaje de agua.
- ☞ **Absorción** alcanza hasta 20,82 % que está dentro de parámetro de mínimas condiciones requeridas debajo de 22 % según la norma NTP 399.604 y 399.613 para las pruebas no clasificatorias, **absorción máxima** de 22,59 %, **coeficiente de saturación** de 0,93 son valores mayores a 0,85 inaceptables por la norma y la baja **densidad** de  $1,46 \frac{kg}{cm^3}$ , los resultados muestran que las unidades artesanales en la zona de estudio son de poca durabilidad y resistencia.

## Prismas de albañilería

- ☞ Resistencia característica a compresión axial de la albañilería ( $f'_m$ ) alcanza  $37,24 \frac{kg}{cm^2}$  con un error de 16 %, superando el mínimo requisito indicado por la norma E-070 en su tabla N° 9 que  $f'_m = 35 \frac{kg}{cm^2}$  para las **pilas**, con tipo de falla que presenta trituración explosiva y frágil debido a la tracción de expansión lateral efecto de poisson, porque la unidad es frágil.
- ☞ Resistencia característica de la albañilería al corte ( $v'_m$ ) de los muretes construidos con los ladrillos de arcilla sólido King Kong artesanal llega alcanzar  $5,61 \frac{kg}{cm^2}$ , superando la condición de la norma E-070 de albañilería donde debe cumplir  $v'_m \leq \sqrt{f'_m}$ , es decir  $5,61 \frac{kg}{cm^2} \leq 6,10 \frac{kg}{cm^2}$  cumple la condición.

## Construcción del muro de albañilería confinada

- ☞ Se construyó el muro de albañilería confinada a escala natural, con unidades de tipo King Kong sólido artesanal de arcilla, asentadas con mortero de arena gruesa, juntas de  $1,5 \text{ cm}$  y con una conexión dentada entre albañilería-columnas menores de  $5 \text{ cm}$ , la técnica para el asentado del ladrillo artesanal de hacer el avance del muro hasta  $90 \text{ cm}$  de altura por jornada, después de esta altura ya empezaba vibrar, continuar no era adecuado seguir asentando, por lo tanto se suspendió para completar en tres etapas, ésta dificultad se tuvo porque el ancho de unidad era muy delgado de  $11,45 \text{ cm}$  y largo de muro era de  $2,52 \text{ m}$ , no tenía estabilidad hasta alcanzar la fragua o resistencia de adherencia del mortero.

## Rigidez lateral del muro confinado

- ☞ La rigidez lateral elástica experimental ( $K$ ) alcanzó hasta  $70,74 \frac{kN}{mm}$  y la rigidez lateral teórico del muro es  $80,74 \frac{kN}{mm}$  utilizando el criterio de la sección transformada no agrietada, con programa Ansys se obtuvo  $66,44 \frac{kN}{mm}$ , este último resultado es más cercano a la rigidez lateral experimental, tal caso las unidades artesanales que las componen al muro no son homogéneas.
- ☞ La degradación de rigidez lateral a rango elástico presenta  $70,74 \frac{kN}{mm}$  como 100 %, la mayor pérdida de la resistencia se dio en la fase 3, en el ciclo 1, se caracteriza en ésta fase se da la rotura diagonal repentina explosiva hasta llegar a la fase 8 de 12 %, con la rigidez de  $8,66 \frac{kN}{mm}$  del muro irreparable.

## Resistencia a tracción por flexión

- ☞ La resistencia teórica y experimental de tracción por flexión del muro de albañilería resultó  $100,04 \text{ kN}$  y  $70,4 \text{ kN}$  respectivamente dichos resultados difieren en 29,69 %,

- ☞ La resistencia de las columnas de concreto armado a tracción por flexión es  $f'_t = 2\sqrt{f'_c} = 2\sqrt{269,88} = 32,86 \frac{kg}{cm^2}$ , estas columnas de confinamiento dotan ductilidad al muro confinado.

### **Carga de agrietamiento diagonal ( $V_m$ )**

- ☞ La resistencia teórica y experimental al corte diagonal del muro de albañilería hechos con ladrillos artesanales resultó  $95,12 kN$  y  $92,95 kN$ , se produce como una falla por corte diagonal, donde el muro se fractura diagonalmente con un sonido explosivo repentino, llegando a adquirir una fuerza de corte máximo que representa como una fuerza de resistencia  $V_m = 0,5v'_m \cdot \alpha \cdot t \cdot L + 0,23P$ , sin carga vertical o axial, este fenómeno mecánico se produce en la fase 3, en el ciclo 1.

### **Resistencia de máxima carga lateral soportada**

- ☞ La resistencia de máxima carga lateral soportada del muro llega alcanzar hasta  $190,45 kN$ , a pesar con mayor porcentaje de  $20,82\%$  de absorción y una baja densidad de  $1,46 \frac{kg}{cm^3}$  llega alcanzar la máxima carga lateral de  $19,43 ton$ , la falla fue por corte con una grieta diagonal.
- ☞ La deformación unitaria de los refuerzos de las columnas de confinamiento no ha excedido a la deformación unitaria del acero, por lo tanto, no ha iniciado la etapa de endurecimiento de los refuerzos.

### **Comportamiento del muro confinado**

- ☞ Las fisuras y agrietamientos en el muro siguieron el mismo patrón de falla que los muretes, hasta alcanzar a nivel de grietas respectivamente, las fallas en el muro fueron mixtas tanto escalonadas como corte, diagonalmente cortando juntas y unidades, a la vez hubo deslizamiento en la mitad de la altura del muro concentrándose en dos unidades de ladrillo artesanal.
- ☞ El agrietamiento del muro, se aprecia a mayor desplazamiento lateral se genera mayor cantidad de fisuras en un modo de abrirse y cerrarse hasta llegar a generar grietas con mayores aberturas cuya concentración se sitúa en la zona deslizable en la mitad del muro.

Fuente: Elaboración propia



Las fisuras y grietas que tuvieron el muro confinado a escala natural durante el ensayo, siguieron el mismo patrón que tuvo los muretes.

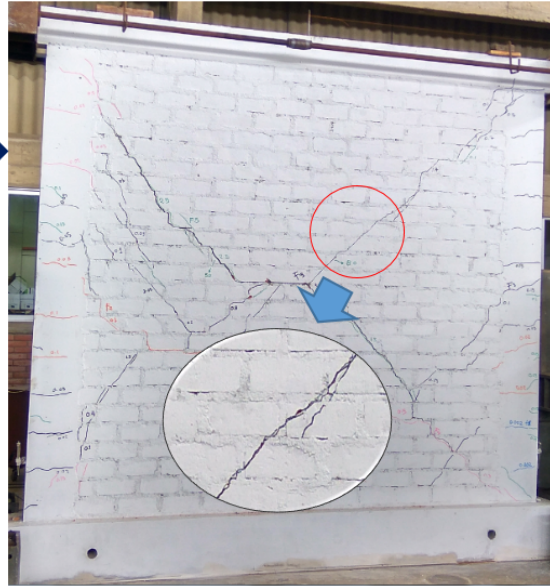


Figura 4.15: Patrón de fisuras de muretes en muro confinado.

- Se concluye la falla de muro fue por corte en su mayoría etapa del ensayo y finalmente falla por flexión triturando los talones de los confinamientos sin la presencia de pandeo en refuerzos de los extremos.
- El comportamiento del muro alcanzó la máxima distorsión angular permitida  $0,005$  en la fase 7 del ensayo cíclico de  $13,10\text{ mm}$  donde podría ser reparado.

Fuente: Elaboración propia

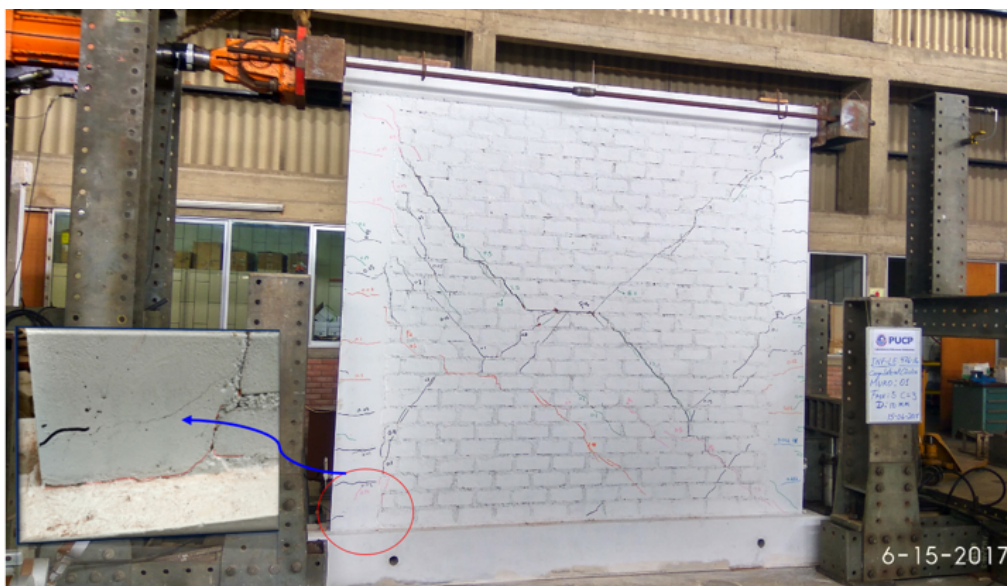


Figura 4.16: Trituración de los talones del muro confinado en la fase final.

Fuente: Elaboración propia



Figura 4.17: Simulación sísmica de carga lateral cíclica del muro confinado.

## RECOMENDACIONES

- ☞ Se recomienda sumergir durante media hora, entre 10 y 15 horas antes de asentarlas, normalmente en horas de la tarde del día anterior, las unidades artesanales por tener mayor porcentaje de absorción y coeficiente de saturación mayores a 0.85 son unidades muy porosas y de baja densidad, para evitar las fisuras horizontales y baja adherencia de las juntas del mortero por succión de ambas caras de la unidad.
- ☞ Se recomienda que las unidades artesanales para muestreo deben ser de una sola cantera de fabricación con ello tener representatividad y homogeneidad en los resultados después de las pruebas de ensayo.
- ☞ Se recomienda el avance para el asentado hasta 90cm de altura por jornada, a pesar de la recomendación por la Norma E-070 indica 1.30m de altura por jornada, para evitar las fisuras horizontales y vibraciones por esbeltez.

### Futuras líneas de investigación

- ☞ La investigación debe continuar con el estudio del mejoramiento de las propiedades físicas y mecánicas de las unidades artesanales, para ello se plantea diseño de proporcionalidad de los componentes de la mezcla para elaborar la unidad y control de temperatura usando como combustibles el carbón mineral.
- ☞ Estudio de las enfermedades patológicas que influyen en las propiedades físicas y mecánicas de las unidades artesanales, razón que existe, la zaranda no es adecuada, pasan la malla las piedras caliches que contienen sulfatos, cal y otros, durante la cocción no soportan altas temperaturas, al fragmentarse generan fisuras y cráter en la unidad con estudio mecánica de suelos y tipo de arcilla.
- ☞ La investigación de la nueva futura cantera de arcilla, la arcilla del terreno agrícola tiene un tiempo de límite de fenecer en el futuro, por esta razón ya se inició la extracción del nuevo material de arcilla y su fabricación de las unidades, que ha tenido una formación geológica durante largos años, el método de extracción con una máquina retroexcavadora y volquete trasladan a un espacio llamado tendal, luego hacer volteado del material de arcilla cada 4 a 6 meses que está expuesta al intemperismo durante 2 años, de estas materiales faltan investigar las características de las propiedades físicas y mecánicas.

Fuente: Elaboración propia



Figura 4.18: Nuevo material de arcilla para unidades artesanales.

# REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

- Aguirre Gaspar, D. R. (2004). *Evaluación de las características estructurales de la albañilería producida con unidades fabricadas en la región central Junín*. (Tesis para optar el grado de Magíster en Ingeniería Civil). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.
- Alfaro Asto, L. A. (2007). *Evaluación de la calidad de ladrillo y albañilería fabricados en Ayacucho*. (Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil). Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Ayacucho, Perú.
- Arquíñigo Trujillo, W. N. (2011). *Propuesta para mejorar la calidad estructural de los ladrillos artesanales de arcilla cocida de Huánuco*. (Tesis para optar el grado de Magíster en Ingeniería Civil). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.
- Espinoza García, S. (2011). *La gran construcción mesopotámica: Zigurat de Ur*. [Internet]. Recuperado de [https://www.homines.com/arte/mesopotamia\\_zigurat/index.htm](https://www.homines.com/arte/mesopotamia_zigurat/index.htm).
- Fontana Palacios, A. (1999). *Evaluación de las características estructurales de la albañilería producida con unidades fabricadas en la región Grau - Piura*. (Tesis para optar el grado de Magíster en Ingeniería Civil). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.
- Gallegos, Ríos, Casabonne, Ucelli, Icochea, y Arango (1977). *Estudio integral de la construcción con albañilería: en busca de una solución económica para la vivienda multifamiliar*. Lima: S.ED.
- Gallegos, H. y Casabonne, C. (2005). *Albañilería Estructural*. 3ra.Ed. Lima: Fondo Editorial Pontificia Universidad Católica del Perú.
- González Galgani, Í. (1993). *Estudio de la conexión columna y albañilería en muros confinados diseñados a la rotura*. (Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.
- INDECOPI (2005). *Norma Técnica Peruana: 399.613*. Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales, Lima, Perú.
- INEI (2007). *Ayacucho: Mapa de Déficit Habitacional*. Oficina de Planeamiento y Desarrollo.
- INEI (2010). *Perú: estimaciones y proyecciones de población departamental por años calendario y edades simples, 1995-2025*. Dirección Técnica de Demografía e Indicadores Sociales del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI).

## Referencias Bibliográficas

- Iparraquirre Cieza, Y. L. (2014). *Comportamiento sísmico de muros de albañilería confinada tipo Haití, ensayo de carga lateral y vertical*. (Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.
- Ludeña Urquiza, W. (2016). *El fenómeno del autoconstrucción en el país y la ausencia de políticas de vivienda social*. Taller Limápolis 2016 PUCP. Entrevista por el “El Comercio”. [Internet]. Recuperado de <https://elcomercio.pe/lima/peru-faltan-1-8-millones-viviendas-165624>.
- Máximo (2018). *Lugares sagrados del mundo*. [Figura]. Recuperado de <http://tarotdemaximo.blogspot.pe/2015/07/lugar-sagrado-mezquita-al-askari.html>.
- MVCS (2006). *Norma Técnica E.070 Albañilería*. Resolución Ministerial N 011-2006-Vivienda.
- Paredes Castro, J. G. y Caycho Pérez, D. J. (2009). *Control de la trituración de los ladrillos huecos en muros de albañilería confinada sujetos a carga lateral cíclica*. (Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.
- Pari Quispe, S. E. y Manchego Meza, J. A. (2017). *Análisis experimental de muros de albañilería confinada en viviendas de baja altura en Lima, Perú*. (Tesis para optar el grado de Magíster en Ingeniería Civil). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.
- San Bartolomé, A., Quiun, D., y Silva, W. (2014). *Diseño y construcciones de estructuras sismoresistentes de albañilería*. Lima: Fondo Editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú.
- SENCICO (2006). *Norma Técnica de Edificaciones E-070. Albañilería*. Lima, Perú.
- Shady Solis, R. (2015). *La civilización Caral y sus aportes al urbanismo y la construcción*. (09 de mayo de 2018). [Archivo de Vídeo]. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=9gR90G76Q8Y>.
- Splinger, K. (1954). *Defectos en la Fabricación de ladrillos y tejas: causas y medios a aplicar para evitarlos*. Barcelona: Editorial Reverté.
- Wikipedia (2018a). *Caral*. [Internet]. Recuperado de <https://es.wikipedia.org/wiki/Caral>.
- Wikipedia (2018b). *Complejo Arqueológico Wari*. [Internet]. Recuperado de [https://es.wikipedia.org/wiki/Complejo\\_Arqueol%C3%B3gico\\_Wari](https://es.wikipedia.org/wiki/Complejo_Arqueol%C3%B3gico_Wari).

“La vida no es sino una continua sucesión de oportunidades para sobrevivir”

— Gabriel García Márquez

Apéndice

# A

## APÉNDICE A

### A.1 Tabla de pruebas clasificatorias para fines estructurales

Fuente: NTE E-070, 2006

TABLA 1 CLASE DE UNIDAD DE ALBAÑILERÍA PARA FINES ESTRUCTURALES					
CLASE	VARIACIÓN DE LA DIMENSIÓN (máxima en porcentaje)			ALABEO (máximo en mm)	RESISTENCIA CARACTERÍSTICA A COMPRESIÓN $f'_b$ mínimo en MPa (kg/cm <sup>2</sup> ) sobre área bruta
	Hasta 100 mm	Hasta 150 mm	Más de 150 mm		
Ladrillo I	± 8	± 6	± 4	10	4,9 (50)
Ladrillo II	± 7	± 6	± 4	8	6,9 (70)
Ladrillo III	± 5	± 4	± 3	6	9,3 (95)
Ladrillo IV	± 4	± 3	± 2	4	12,7 (130)
Ladrillo V	± 3	± 2	± 1	2	17,6 (180)
Bloque P <sup>(1)</sup>	± 4	± 3	± 2	4	4,9 (50)
Bloque NP <sup>(2)</sup>	± 7	± 6	± 4	8	2,0 (20)

(1) Bloque usado en la construcción de muros portantes

(2) Bloque usado en la construcción de muros no portantes

Figura A.1: Norma Técnica de Edificaciones, 2006.

## A.2 Limitaciones en el Uso de la Unidad de Albañilería

Fuente: NTE E-070, 2006

TIPO	ZONA SÍSMICA 2 Y 3		ZONA SÍSMICA 1
	Muro portante en edificios de 4 pisos a más	Muro portante en edificios de 1 a 3 pisos	Muro portante en todo edificio
Sólido Artesanal *	No	Sí, hasta dos pisos	Sí
Sólido Industrial	Sí	Sí	Sí
Alveolar	Sí Celdas totalmente rellenas con grout	Sí Celdas parcialmente rellenas con grout	Sí Celdas parcialmente rellenas con grout
Hueca	No	No	Sí
Tubular	No	No	Sí, hasta 2 pisos

\*Las limitaciones indicadas establecen condiciones mínimas que pueden ser exceptuadas con el respaldo de un informe y memoria de cálculo sustentada por un ingeniero civil.

Figura A.2: Norma Técnica de Edificaciones, 2006.

## A.3 Resistencia Característica de la Albañilería

Fuente: NTE E-070, 2006

Materia Prima	Denominación	UNIDAD $f'_b$	PILAS $f'_m$	MURETES $v'_m$
Arcilla	King Kong Artesanal	5,4 (55)	3,4 (35)	0,5 (5,1)
	King Kong Industrial	14,2 (145)	6,4 (65)	0,8 (8,1)
	Rejilla Industrial	21,1 (215)	8,3 (85)	0,9 (9,2)
Sílice-cal	King Kong Normal	15,7 (160)	10,8 (110)	1,0 (9,7)
	Dédalo	14,2 (145)	9,3 (95)	1,0 (9,7)
	Estándar y mecano (*)	14,2 (145)	10,8 (110)	0,9 (9,2)
Concreto	Bloque Tipo P (*)	4,9 (50)	7,3 (74)	0,8 (8,6)
		6,4 (65)	8,3 (85)	0,9 (9,2)
		7,4 (75)	9,3 (95)	1,0 (9,7)
		8,3 (85)	11,8 (120)	1,1 (10,9)

Figura A.3: Norma Técnica de Edificaciones, 2006.