

# **UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**

## **ESCUELA DE POSGRADO**



**UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA**

### **PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS**

#### **TESIS:**

#### **PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE LADRILLOS CON DOS TIPOS DE ACOPLÉS PARA ALBAÑILERÍA DE JUNTA SECA**

Para optar el Grado Académico de

#### **MAESTRO EN CIENCIAS**

#### **MENCIÓN: INGENIERÍA CIVIL**

Presentada por:

**Bachiller: LUIS ANTONIO MESTANZA HERAS**

Asesor:

**Dr. MIGUEL ANGEL MOSQUEIRA MORENO**

**Cajamarca – Perú**

**2021**

**COPYRIGHT © 2021 by**  
**LUIS ANTONIO MESTANZA HERAS**  
Todos los derechos reservados

# **UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**

## **ESCUELA DE POSGRADO**



**UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS**

**TESIS APROBADA:**

**PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE LADRILLOS CON DOS TIPOS  
DE ACOPLES PARA ALBAÑILERÍA DE JUNTA SECA**

Para optar el Grado Académico de

**MAESTRO EN CIENCIAS**

**MENCIÓN: INGENIERÍA CIVIL**

Presentada por:

**Bachiller: LUIS ANTONIO MESTANZA HERAS**

**JURADO EVALUADOR**

Dr. Miguel Ángel Mosqueira Moreno  
Asesor

M.Cs. Mauro Augusto Centurión Vargas  
Jurado Evaluador

M.Cs. José Luis Marchena Araujo  
Jurado Evaluador

Dra. Yvonne Katherine Fernández León  
Jurado Evaluador

**Cajamarca – Perú**

**2021**



**Universidad Nacional de Cajamarca**  
LICENCIADA CON RESOLUCIÓN DE CONSEJO DIRECTIVO N° 080-2018-SUNEDU/CD  
**Escuela de Posgrado**  
CAJAMARCA - PERU



## PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS

### ACTA DE SUSTENTACIÓN VIRTUAL DE TESIS

Siendo las 16.06 horas del día 21 de abril de dos mil veintiuno, reunidos a través de Gmeet [meet.google.com/bfs-hoqi-rtt](https://meet.google.com/bfs-hoqi-rtt), creado por la Unidad de Posgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca, el Jurado Evaluador presidido por el **M.Cs. MAURO AUGUSTO CENTURIÓN VARGAS, M.Cs. JOSÉ LUIS MARCHENA ARAUJO, Dra. YVONNE KATHERINE FERNÁNDEZ LEÓN**, y en calidad de Asesor el **Dr. MIGUEL ANGEL MOSQUEIRA MORENO**. Actuando de conformidad con el Reglamento Interno de la Escuela de Posgrado y la Directiva para la Sustentación de Proyectos de Tesis, Seminarios de Tesis, Sustentación de Tesis y Actualización de Marco Teórico de los Programas de Maestría y Doctorado, se dio inicio a la Sustentación de la Tesis titulada: **PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE LADRILLOS CON DOS TIPOS DE ACOPLES PARA ALBAÑILERÍA DE JUNTA SECA**; presentada por el **Bach. en Ing. Civil. LUIS ANTONIO MESTANZA HERAS**.

Realizada la exposición de la Tesis y absueltas las preguntas formuladas por el Jurado Evaluador, y luego de la deliberación, se acordó **APROBARLO** con la calificación de **DIECISIETE (17)** la mencionada Tesis; en tal virtud, el **Bach. en Ing. Civil. LUIS ANTONIO MESTANZA HERAS**, está apto para recibir en ceremonia especial el Diploma que lo acredita como **MAESTRO EN CIENCIAS**, de la Unidad de Posgrado de la Facultad de Ingeniería, con Mención en **INGENIERÍA CIVIL**.

Siendo las 17.35 horas del mismo día, se dio por concluido el acto.

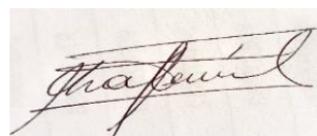
  
.....  
Miguel A. Mosqueira Moreno  
DOCTOR EN CIENCIAS E INGENIERIA  
Reg. CIP: 87092  
.....  
**Dr. Miguel Ángel Mosqueira Moreno**

Asesor

  
.....  
M.Cs. Mauro Augusto Centurión Vargas

Jurado Evaluador

  
.....  
Ing. José Luis Marchena Araujo  
INGENIERO CIVIL  
CIP: 11963  
.....  
**M.Cs. José Luis Marchena Araujo**  
Jurado Evaluador

  
.....  
**Dra. Yvonne Katherine Fernández León**  
Jurado Evaluador

## **DEDICATORIA**

A mis padres Segundo José y Martha Emilia quienes siempre pensaron que: como hijos demos cada día mejores pasos en la vida; a mi esposa Luisa Aurora e hijos Luigi y Denis por su apoyo y comprensión

A los amigos que incentivaron y creyeron en el proyecto

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios Todopoderoso, por su guía espiritual.

Al Dr. Miguel Angel Mosqueira, por su gran aporte cognoscitivo como asesor de la tesis.

A los docentes de la escuela de Postgrado por sus enseñanzas y que afianzaron esta investigación.

A los ingenieros Germán Estela y José Acosta, a los señores. Juan Villanueva y Eleodoro Díaz por su apoyo incondicional en las diferentes actividades que se plasmaron en la presente investigación.

Un agradecimiento especial al ingeniero Frank Alva Lescano, por su generosidad y gran apoyo en mi desarrollo académico.

Debo mencionar a los laboratorios externos G&S y Guersan Ingenieros SRL., por su valioso aporte en la realización de los ensayos para la investigación.

Gracias a quienes me apoyaron durante este tiempo amigos y familiares.

Cada casa es una misión, yo estoy construyendo casas que predicen el fin del presente orden social

-Frank Lloyd Wright

# ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS .....	vi
ÍNDICE GENERAL.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xv
LISTA DE ABREVIATURAS Y SIGLAS USADAS.....	xvii
RESUMEN .....	xviii
ABSTRACT.....	xix
CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Planteamiento del problema.....	1
1.1.1. Contextualización.....	1
1.1.2. Descripción del problema.....	4
1.1.3. Formulación del problema.....	6
1.2. Justificación e importancia.....	6
1.3. Delimitación de la investigación.....	7
1.4. Objetivos de la investigación.....	8
1.4.1. Objetivo General.....	8
1.4.2. Objetivos específicos.....	8
CAPÍTULO II.....	9
MARCO TEÓRICO.....	9
2.1. Antecedentes de la investigación o marco referencial.....	9
2.1.1. Antecedentes Internacionales.....	9
2.1.2. Antecedentes Nacionales.....	14
2.2. Marco conceptual.....	17
2.2.1. Evolución histórica de la albañilería.....	17
2.2.2. Tipos de albañilería.....	23
2.2.3. Componentes de la albañilería.....	27
2.2.3.1. Unidad de albañilería.....	27
2.2.3.2. Mortero.....	33
2.2.3.3. Concreto líquido o grout.....	33

2.2.3.4.	Acero de refuerzo.....	33
2.2.3.5.	Concreto.....	33
2.2.4.	Propiedades físicas y mecánicas de las unidades de albañilería.....	33
2.2.4.1.	Propiedades físicas.....	34
2.2.4.2.	Propiedades mecánicas.....	36
2.2.5.	Pruebas clasificatorias de las unidades de albañilería.....	38
2.2.6.	Aceptación de la unidad.....	38
2.2.7.	Clasificación de las unidades de albañilería para fines estructurales..	39
2.2.8.	Propiedades de la albañilería no reforzada o simple.....	41
2.2.8.1.	Modelaje, especímenes y ensayos.....	41
2.2.8.2.	Naturaleza de la albañilería y criterios de falla.....	42
2.2.8.3.	Ensayos en prismas de albañilería simple.....	42
2.2.9.	Propiedades de la Albañilería Reforzada o Estructural.....	56
2.2.9.1.	Ensayos de comportamiento sísmico.....	56
2.3.	Definición de términos básicos.....	61
<b>CAPÍTULO III.....</b>		<b>62</b>
<b>PLANTEAMIENTO DE LA HIPÓTESIS Y VARIABLES.....</b>		<b>62</b>
3.1.	Hipótesis.....	62
3.1.1.	Hipótesis general.....	62
3.2.	Variables/categorías.....	62
3.2.1.	Variables.....	62
3.3.	Operacionalización de los componentes de la hipótesis.....	62
<b>CAPÍTULO IV.....</b>		<b>64</b>
<b>MARCO METODOLÓGICO.....</b>		<b>64</b>
4.1.	Ubicación geográfica.....	64
4.2.	Diseño de la investigación.....	65
4.2.1.	Planteamiento y fabricación del molde de ladrillos.....	65
4.2.2.	Ensayos de los agregados.....	66
4.2.3.	Diseño de mezcla para concreto de resistencia a la compresión $f'_c = 175 \text{ kg/cm}^2$ .....	67
4.2.4.	Fabricación de las unidades de albañilería.....	67
4.2.5.	Ensayos en las unidades de albañilería.....	68
4.2.5.1.	Ensayos clasificatorios.....	68
4.2.5.2.	Ensayos no clasificatorios.....	70

4.2.6.	Ensayos en la albañilería simple.....	71
4.2.6.1.	Ensayos en pilas.....	71
4.2.6.2.	Ensayos en muretes.....	72
4.2.6.3.	Ensayos en tripletes.....	74
4.2.7.	Ensayos en la albañilería reforzada o estructural.....	75
4.2.7.1.	Planteamiento de muros.....	75
4.2.7.2.	Análisis teórico de los muros a escala natural.....	77
4.2.7.3.	Construcción de los muros a escala natural.....	79
4.2.7.4.	Ensayo de comportamiento sísmico.....	81
4.2.7.5.	Comportamiento de los muros durante el ensayo.....	82
4.2.7.6.	Inspección visual posterior al ensayo de los muros.....	82
4.2.7.7.	Rigidez lateral elástica K experimental.....	83
4.2.7.8.	Carga asociada la primera fisura.....	83
4.2.7.9.	Agrietamiento diagonal experimental.....	83
4.2.7.10.	Momento flector nominal máximo.....	83
4.2.7.11.	Distorsión angular experimental.....	83
4.3.	Métodos de investigación.....	84
4.4.	Población, muestra, unidad de análisis y unidades de observación.....	84
4.5.	Técnicas e instrumentos de recopilación de información.....	84
4.6.	Técnicas para el procesamiento y análisis de la información.....	86
4.7.	Equipos, materiales, insumos.....	86
4.8.	Matriz de consistencia metodológica.....	87
 <b>CAPÍTULO V.....</b>		 89
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>		89
5.1.	Presentación de resultados.....	89
5.1.1.	Molde de las unidades de albañilería.....	89
5.1.2.	Ensayos de los agregados.....	89
5.1.3.	Diseño de mezcla.....	89
5.1.4.	Descripción de las unidades de albañilería.....	89
5.1.5.	Ensayos de las unidades de albañilería.....	90
5.1.5.1.	Ensayos clasificatorios.....	90
5.1.5.2.	Ensayo no clasificatorio.....	92
5.1.6.	Ensayos en la albañilería simple.....	92
5.1.6.1.	Ensayos en pilas.....	92

5.1.6.2.	Ensayos en muretes. ....	93
5.1.6.3.	Ensayos en tripletes .....	94
5.1.7.	Ensayos en la albañilería reforzada o estructural .....	95
5.1.7.1.	Planteamiento de muros.....	95
5.1.7.2.	Análisis teórico de los muros a escala natural .....	95
5.1.7.3.	Ensayo de comportamiento sísmico .....	97
5.1.7.4.	Comportamiento de los muros durante el ensayo .....	98
5.1.7.5.	Inspección visual posterior al ensayo .....	98
5.1.7.6.	Gráficas de los resultados .....	99
5.1.7.7.	Rigidez lateral elástica K experimental .....	101
5.1.7.8.	Carga asociada a la primera fisura .....	103
5.1.7.9.	Agrietamiento diagonal .....	103
5.1.7.10.	Momento flector nominal máximo .....	104
5.1.7.11.	Distorsión angular .....	104
5.2.	Análisis, interpretación y discusión de resultados .....	104
5.2.1.	Molde de las unidades de albañilería. ....	104
5.2.2.	Ensayos de los agregados.....	104
5.2.3.	Diseño de mezcla.....	105
5.2.4.	Descripción de las unidades de albañilería. ....	105
5.2.5.	Ensayos clasificatorios. ....	105
5.2.6.	Ensayos no clasificatorios.....	106
5.2.7.	Prismas de albañilería.....	106
5.2.7.1.	Pilas. ....	106
5.2.7.2.	Muretes. ....	107
5.2.7.3.	Tripletes .....	108
5.2.8.	Ensayos de la albañilería reforzada o estructural. ....	108
5.2.8.1.	Ensayos en muros confinados. ....	108
5.3.	Contrastación de la hipótesis. ....	110
<b>CONCLUSIONES.....</b>		<b>112</b>
<b>RECOMENDACIONES Y/O SUGERENCIAS .....</b>		<b>114</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>		<b>115</b>

<b>APÉNDICES</b> .....	117
<b>Apéndice A.</b> Ensayo de los agregados.....	118
<b>Apéndice B.</b> Diseño de mezcla.....	123
<b>Apéndice C.</b> Ensayos clasificatorios .....	126
<b>Apéndice D.</b> Ensayos no clasificatorios .....	130
<b>Apéndice E.</b> Ensayos en pilas .....	131
<b>Apéndice F.</b> Ensayos en muretes .....	134
<b>Apéndice G.</b> Ensayos en tripletes.....	137
<b>Apéndice H.</b> Ensayos en muros .....	138
<b>Apéndice I.</b> Panel fotográfico.....	149

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Resultado experimental de las pruebas de compresión uniaxiales.....	13
Tabla 2. Requisitos de resistencia y absorción.....	39
Tabla 3. Clase de unidad de albañilería para fines estructurales.....	40
Tabla 4. Limitaciones en el uso de la unidad de albañilería para fines estructurales .....	40
Tabla 5. Factores de corrección de $f'_m$ por esbeltez.....	44
Tabla 6. Incremento de $f'_m$ y $V'_m$ por edad.....	45
Tabla 7. Métodos para determinar $f'_m$ y $V'_m$ .....	45
Tabla 8. Resistencias características de la albañilería.....	52
Tabla 9. Operacionalización de los componentes de la hipótesis.....	63
Tabla 10. Matriz de Consistencia Metodológica.....	88
Tabla 11. Característica del molde.....	89
Tabla 12. Característica de los ladrillos.....	90
Tabla 13. Resultado del ensayo de Variación Dimensional.....	90
Tabla 14. Resultado de los ensayos de Alabeo.....	91
Tabla 15. Resultado de los ensayos a Compresión.....	91
Tabla 16. Resultados del Módulo de Elasticidad ( $E_b$ ) de los ladrillos.....	91
Tabla 17. Resultados del ensayo de Absorción en ladrillos.....	92
Tabla 18. Resultado de los ensayos a la resistencia a compresión en pilas.....	92
Tabla 19. Módulo de Elasticidad ( $E_m$ ) en pilas.....	92
Tabla 20. Resultado de los ensayos de peso volumétrico en muretes.....	93
Tabla 21. Resultado de los ensayos al corte ( $V'_m$ ) en muretes.....	93
Tabla 22. Resultado del cálculo del Módulo de Corte en muretes.....	93
Tabla 23. Variación entre de $E_m$ y $G_m$ Teórico y Experimental.....	94
Tabla 24. Valor Máximo de $V'_m$ para diseño.....	94
Tabla 25. Resistencia al corte de los elementos de acople.....	94
Tabla 26. Características de los muros.....	95
Tabla 27. Verificación del acero de refuerzo.....	95
Tabla 28. Módulo de Elasticidad y Corte teóricos.....	95
Tabla 29. Sección transformada.....	96
Tabla 30. Rigidez lateral teórica de los muros.....	96
Tabla 31. Carga asociada a la primera fisura.....	96
Tabla 32. Carga asociada al agrietamiento diagonal.....	96
Tabla 33. Momento flector nominal máximo.....	97
Tabla 34. Fuerza cortante asociada a la fluencia del acero.....	97
Tabla 35. Tipo de falla esperada.....	97
Tabla 36. Carga y desplazamiento en muros.....	97
Tabla 37. Comparación del comportamiento final de los muros posterior al ensayo .....	98
Tabla 38. Cálculo de la rigidez lateral del Muro 1.....	102
Tabla 39. Cálculo de la rigidez lateral del Muro 2.....	102
Tabla 40. Correlación rigidez teórica - experimental.....	103
Tabla 41. Carga asociada a la primera fisura.....	103
Tabla 42. Correlación de cargas asociadas a la primera fisura.....	103

Tabla 43. Carga asociada al agrietamiento diagonal.....	103
Tabla 44. Correlación de cargas asociada al agrietamiento diagonal.....	104
Tabla 45. Correlación de fuerzas cortantes para fluencia del acero .....	104
Tabla 46. Desplazamiento lateral experimental – fases y cargas asociadas .....	104
Tabla 47. Clasificación de las unidades de la investigación .....	110
Tabla 48. Propiedades físicas y mecánicas de las unidades.....	110
Tabla 49. Correlación teórica y experimental de $f'_m$ en pilas y $V_m$ en muretes .....	111
Tabla 50. Contenido de humedad del agregado fino.....	118
Tabla 51. Análisis granulométrico del agregado fino.....	118
Tabla 52. Peso específico y absorción del agregado fino .....	119
Tabla 53. Contenido de humedad del agregado grueso .....	120
Tabla 54. Análisis granulométrico del agregado grueso .....	120
Tabla 55. Peso específico del agregado grueso.....	121
Tabla 56. Peso unitario de arena .....	122
Tabla 57. Peso unitario de la grava .....	122
Tabla 58. Descripción de los materiales .....	123
Tabla 59. Requisitos Estructurales $f'_c = 175 \text{ kg/cm}^2$ .....	123
Tabla 60. Material por $\text{m}^3$ de concreto $f'_c = 175 \text{ Kg/cm}^2$ .....	124
Tabla 61. Proporción de materiales $f'_c = 175 \text{ Kg/cm}^2$ .....	124
Tabla 62. Resistencia a la compresión del concreto para ladrillos.....	124
Tabla 63. Resistencia a la compresión del concreto para columnas .....	125
Tabla 64. Resistencia del concreto para viga solera.....	125
Tabla 65. Variación dimensional de los ladrillos .....	126
Tabla 66. Alabeo en ladrillos.....	126
Tabla 67. Resistencia a la compresión en ladrillos .....	127
Tabla 68. Datos procesados para obtener el gráfico Esfuerzo vs. Deformación ....	128
Tabla 69. Datos resumidos para el gráfico Esfuerzo vs. Deformación en ladrillos.	129
Tabla 70. Absorción de ladrillos .....	130
Tabla 71. Resistencia a la compresión en pilas ( $f'_m$ ).....	131
Tabla 72. Datos para obtener el gráfico Esfuerzo vs. Deformación en pilas .....	132
Tabla 73. Peso volumétrico de muretes .....	134
Tabla 74. Resistencia al Corte en muretes.....	134
Tabla 75. Datos para obtener el gráfico Esfuerzo vs. Deformación en muretes ....	135
Tabla 76. Resistencia al corte en elementos de acople .....	137
Tabla 77. Espesor efectivo del muro .....	138
Tabla 78. Desplazamiento por fase de ensayo – Muro 1 .....	138
Tabla 79. Desplazamiento por fase de ensayo – Muro 2.....	139
Tabla 80. Comportamiento del Muro 1 .....	140
Tabla 81. Comportamiento del Muro 2 .....	144

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Esquema de Putra Block.....	2
<b>Figura 2</b> Bloque TSZ.....	3
<b>Figura 3</b> Sistema Soloarmar.....	4
<b>Figura 4</b> Esquema de ladrillo de la investigación.....	7
<b>Figura 5</b> Ladrillo Brickool.....	10
<b>Figura 6</b> Sistemas SIM.....	11
<b>Figura 7</b> Tipos de paneles SIM.....	11
<b>Figura 8</b> Curva de esfuerzo-deformación de prismas de mampostería.....	12
<b>Figura 9</b> Bosquejo de muretes DSM para ensayos.....	14
<b>Figura 10</b> Ensayos experimentales con DSM.....	14
<b>Figura 11.</b> Construcción del módulo con bloques tipo grapa.....	16
<b>Figura 12.</b> Construcción del muro con la placa P-14.....	17
<b>Figura 13</b> Pirámides de Egipto.....	18
<b>Figura 14</b> Templo de Luxor.....	18
<b>Figura 15.</b> Estructuras de junta seca.....	19
<b>Figura 16</b> Bloque y ladrillo entrelazados.....	20
<b>Figura 17.</b> Piezas cerámicas autoajustables.....	21
<b>Figura 18.</b> Bloques apilables.....	21
<b>Figura 19.</b> Placas para muros portantes.....	22
<b>Figura 20.</b> Placas para muros no portantes.....	22
<b>Figura 21.</b> Muros no portantes.....	23
<b>Figura 22.</b> Muros portantes.....	24
<b>Figura 23.</b> Muros de albañilería simple.....	24
<b>Figura 24.</b> Muros armados.....	25
<b>Figura 25.</b> Albañilería laminar.....	25
<b>Figura 26.</b> Muros confinados.....	26
<b>Figura 27.</b> Muros de junta seca.....	26
<b>Figura 28.</b> Unidades sólidas de concreto.....	30
<b>Figura 29.</b> Unidades huecas y alveolares.....	31
<b>Figura 30.</b> Unidades tubulares de arcilla.....	31
<b>Figura 31.</b> Unidades apilables.....	32
<b>Figura 32.</b> Curvas normalizadas esfuerzo de compresión ( $f'_b$ ) vs. deformación unitaria.....	37
<b>Figura 33.</b> Primas estándar para ensayos de compresión.....	43
<b>Figura 34.</b> Formas de falla en pilas.....	46
<b>Figura 35.</b> Determinación del módulo de elasticidad ( $E_m$ ) de la albañilería.....	47
<b>Figura 36.</b> Similitud de la falla en el ensayo de corte y sismo.....	48
<b>Figura 37.</b> Ensayo de corte murete con ladrillos de concreto.....	49
<b>Figura 38.</b> Esquema de deformación de panel.....	50
<b>Figura 39.</b> Formas de falla en muretes.....	53
<b>Figura 40</b> Esquema de probetas ensayadas.....	55
<b>Figura 41</b> Esquema de tripletes.....	55
<b>Figura 42.</b> Fotografía satelital de la ubicación de Cajamarca.....	64
<b>Figura 43.</b> Fotografía satelital de la ubicación de la Cantera de Agregados.....	64
<b>Figura 44.</b> Fotografía satelital de la ubicación de Laboratorios.....	65

<b>Figura 45.</b> Molde de ladrillo .....	66
<b>Figura 46.</b> Fabricación de ladrillos de concreto .....	67
<b>Figura 47.</b> Ubicación de las mediciones en las unidades. ....	68
<b>Figura 48.</b> Medición del alabeo en unidades. ....	69
<b>Figura 49.</b> Esquema de ensayo de compresión en ladrillos.....	70
<b>Figura 50.</b> Esquema de ensayo de compresión en pilas .....	71
<b>Figura 51.</b> Esquema de ensayo a compresión diagonal en muretes. ....	73
<b>Figura 52.</b> Esquema de tripletes .....	74
<b>Figura 53.</b> Esquema de ensayo a corte en tripletes .....	74
<b>Figura 54.</b> Configuración de los muros de albañilería confinada .....	75
<b>Figura 55.</b> Características de los muros de albañilería confinada.....	76
<b>Figura 56.</b> Sección real y transformada de los muros.....	77
<b>Figura 57.</b> Esquema de ensayo de carga lateral monotónica .....	82
<b>Figura 58.</b> Diagrama de flujo de ensayo de variabilidad dimensional .....	85
<b>Figura 59.</b> Formato para registro de datos del ensayo de variabilidad dimensional.....	86
<b>Figura 60</b> Tipo del molde para los ladrillos .....	89
<b>Figura 61.</b> Prototipo de las unidades de albañilería.....	90
<b>Figura 62.</b> Fuerza vs. Desplazamiento – Muro 1 .....	99
<b>Figura 63.</b> Envolvente – Muro 1. ....	99
<b>Figura 64.</b> Fuerza vs. Desplazamiento – Muro 2. ....	100
<b>Figura 65.</b> Envolvente – Muro 2 .....	100
<b>Figura 66.</b> Envolventes – Muro 1 y Muro 2.....	101
<b>Figura 67.</b> Fase de Fuerza vs. Desplazamiento para rigidez lateral elástica – Muro 1 ..	101
<b>Figura 68.</b> Fase de Fuerza vs. Desplazamiento para rigidez lateral elástica – Muro 2 ..	102
<b>Figura 69</b> Representación gráfica – análisis granulométrico agregado fino.....	119
<b>Figura 70</b> Representación gráfica – análisis granulométrico agregado grueso.....	121
<b>Figura 71.</b> Gráfica Esfuerzo Vs. Deformación Unitaria de unidades de ladrillo .....	129
<b>Figura 72.</b> Gráfica Esfuerzo Vs. Deformación Unitaria en pilas .....	133
<b>Figura 73.</b> Esfuerzo vs. Deformación Unitaria (vertical) de muretes .....	136
<b>Figura 74.</b> Esfuerzo vs. Deformación Unitaria (horizontal) de muretes .....	136
<b>Figura 75</b> Elaboración de ladrillos .....	149
<b>Figura 76</b> Ensayo de variabilidad dimensional .....	150
<b>Figura 77</b> Ensayo de alabeo .....	151
<b>Figura 78</b> Ensayo de absorción.....	152
<b>Figura 79</b> Ensayos de resistencia a compresión axial en unidades.....	153
<b>Figura 80</b> Ensayo de resistencia a la compresión axial en pilas .....	154
<b>Figura 81</b> Ensayo de resistencia la corte en muretes .....	155
<b>Figura 82</b> Ensayo de resistencia al corte en tripletes .....	156
<b>Figura 83</b> Ensayo de carga lateral monotónica en muro 1 .....	157
<b>Figura 84</b> Ensayo de carga lateral monotónica en muro 2 .....	158

## LISTA DE ABREVIATURAS Y SIGLAS USADAS

- ACI: American Concrete Institute
- cm: centímetro.
- g: gramo.
- kg: kilogramo
- kN: kilo Newton.
- m : metro.
- min: minuto.
- mm: milímetros
- mPa: Mega Pascal
- NT: Norma Técnica
- NTP: Norma Técnica Peruana
- pulg: pulgada.
- RAE: Real Academia Española
- RNE: Reglamento Nacional de Edificaciones
- seg: segundo.
- tn: tonelada
- UTM: Universal Transversal Mercator.

## RESUMEN

La albañilería es un sistema que satisface una de las necesidades primordiales de la humanidad que es la vivienda. Las viviendas en el Perú y específicamente en Cajamarca, son de albañilería confinada que emplea unidades de arcilla o concreto asentadas con mortero, lo cual forma un material no lineal, anisótropo y su comportamiento está supeditado a la dirección en estudio, es decir tanto en tracción como en compresión; en forma general, cuando la carga sísmica ingresa en el sentido del muro, este trabaja a fuerza cortante y si la fuerza ingresa en sentido perpendicular, el muro trabaja a flexión, y en lo que respecta al proceso constructivo, se tiene la restricción de no conseguir la altura total de muro en una sola jornada. Bajo este contexto, se ha propuesto un sistema de construcción que salve las deficiencias existentes en la albañilería tradicional y para el caso se ha considerado la Albañilería de Junta Seca. Para obtener esta albañilería se planteó y elaboró un tipo de ladrillo que por sus formas geométricas no requiere de mortero para la construcción de muros, es por ello que la investigación tuvo como objetivo general determinar las propiedades físico mecánicas de estos ladrillos y como objetivos específicos determinar la resistencia en compresión en pilas, compresión diagonal en muretes, resistencia al corte de los elementos de acople y el comportamiento de los muros a escala natural. Para el cumplimiento de los objetivos, se realizaron los ensayos clasificatorios de las unidades (variación dimensional, alabeo y compresión simple); pruebas en prismas, pruebas en tripletes y los ensayos de carga lateral monotónica ejecutados en muros a escala natural, en el primer muro se aplicó la carga lateral constante mientras que en el segundo fue de carga y descarga. Analizados los resultados de los ensayos, se concluyó que los ladrillos clasifican como tipo V y cumplen para fines estructurales con lo mínimo especificado por la Norma E. 070 Albañilería del año 2006, del Reglamento Nacional de Edificaciones y como albañilería de junta seca, se sugiere su empleo en muros portantes de edificios hasta de dos pisos hasta contar con un número mayor de ensayos para una plena confiabilidad.

**Palabras clave:** Albañilería de junta seca, ladrillo, pilas, muretes, tripletes, propiedades, resistencia.

## ABSTRACT

Masonry is a system that satisfies one of the primary needs of humanity, which is housing. The houses in Peru and specifically in Cajamarca, are of confined masonry that uses clay or concrete units set with mortar, which forms a non-linear, anisotropic material and its behavior is subject to the direction under study, that is, both in traction as in compression; in general, when the seismic load enters in the direction of the wall, it works at shear force and if the force enters in a perpendicular direction, the wall works in flexion, and with regard to the construction process, there is the restriction of not get the total wall height in a single day. Under this context, a construction system has been proposed to overcome the existing deficiencies in traditional masonry, and for that matter, Dry Joint Masonry has been considered. To obtain this masonry, a type of brick was proposed and elaborated that due to its geometric shapes does not require mortar for the construction of walls, that is why the research had as a general objective to determine the physical-mechanical properties of these bricks and as specific objectives to determine the resistance in compression in piles, diagonal compression in walls, resistance to cutting of the joining elements and the behavior of the walls at full scale. For the fulfillment of the objectives, the classificatory tests of the units were carried out (dimensional variation, warping and simple compression); Prism tests, triplet tests and monotonic lateral load tests carried out on full-scale walls, in the first wall the constant lateral load was applied while in the second it was loading and unloading. After analyzing the results of the tests, it was concluded that the bricks are classified as type V and comply for structural purposes with the minimum specified by Standard E. 070 Masonry of the year 2006, of the National Building Regulations and as dry joint masonry, it is suggested its use in load-bearing walls of buildings up to two stories high until having a greater number of tests for full reliability.

**Keywords:** Dry joint masonry, brick, piles, walls, triplets, properties, resistance.

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

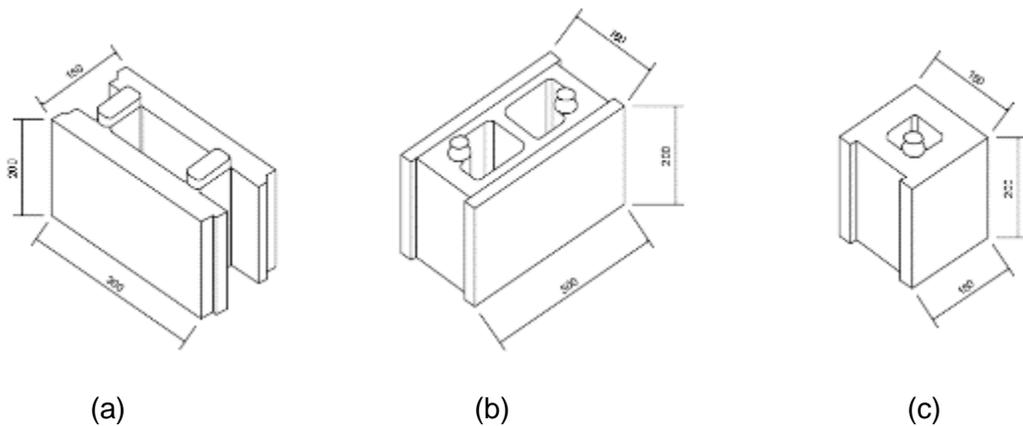
### 1.1. Planteamiento del problema.

#### 1.1.1. Contextualización.

La humanidad día a día tiene un alto crecimiento poblacional, esto conlleva al requerimiento de construcciones para satisfacer una de sus necesidades básicas que es la vivienda; en el Perú estas edificaciones principalmente son de albañilería confinada la misma que está conformada por unidades de arcilla o concreto unidas con mortero de cemento, este bloque se encuentra bordeado de estructuras de concreto armado; estas edificaciones se encuentran contempladas en la norma peruana E.070 Albañilería del Reglamento Nacional de edificaciones del año 2006 (en adelante Norma E.070 (2006)). Respecto a la albañilería antes citada, Lin y otros (2015) nos dicen que la forma de falla de una mampostería depende principalmente del comportamiento y su interacción de los elementos que la conforman. Además, indican que el ladrillo y el mortero por ser de características diferentes son materiales no lineales, esto se muestra en la tensión y la resistencia al corte del mortero ya que son mucho más bajas que el de la unidad ladrillo, es decir el mortero es el componente más débil dentro de la estructura, trayendo como consecuencia complejas propiedades mecánicas en la mampostería. Bajo este contexto, las juntas de ladrillo determinan las características mecánicas completas de una mampostería

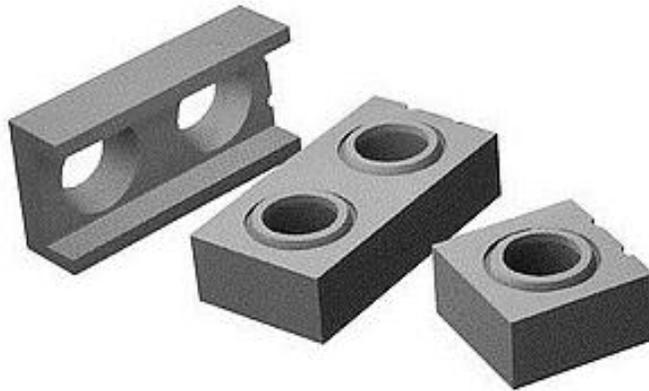
Existen diferentes tipos albañilería dentro de las cuales se tiene a la Albañilería de Junta Seca que es un sistema que no requiere de mortero para la unión de sus unidades, esta albañilería puede estar construida con bloques o ladrillos, principalmente los bloques cuentan con alveolos para la colocación de acero de refuerzo y relleno con concreto fluido, existiendo también los bloques entrelazados que cuentan con una conexión clave (protuberancias y ranuras) para su interconexión, siendo esta última una alternativa de solución en las viviendas económicas.

En el año 2000, el Centro de Investigación de Vivienda de la Universidad de Putra Malasia, desarrolló un sistema de construcción de bloques entrelazadas denominado Putra Block que para su unión no es necesario el mortero dado que se conectan a través de las protuberancias y ranuras según su diseño, para la construcción de la albañilería se propuso tres formas de bloques que son el entero, la mitad y el de esquina; sus medidas en longitud 300 mm, ancho 150 mm y alto 200 mm; este sistema fue diseñado para la construcción de muros de carga de hasta 3 metros de altura, cuentan en con una resistencia a la compresión promedio de 17.03 N/ mm<sup>2</sup>. Estos bloques cuentan con dimensiones y formas que cumple con las exigencias de las construcciones modulares indicadas en el Sistema de Construcción Industrializado y de otro lado es un sistema de construcción rápida y precisa (Pang Wei y otros, 2018)



**Figura 1** Esquema de Putra Block  
 (a) Bloque principal, (b) bloque de esquina, (c) medio bloque  
 Fuente: Pang Wei y otros (2018)

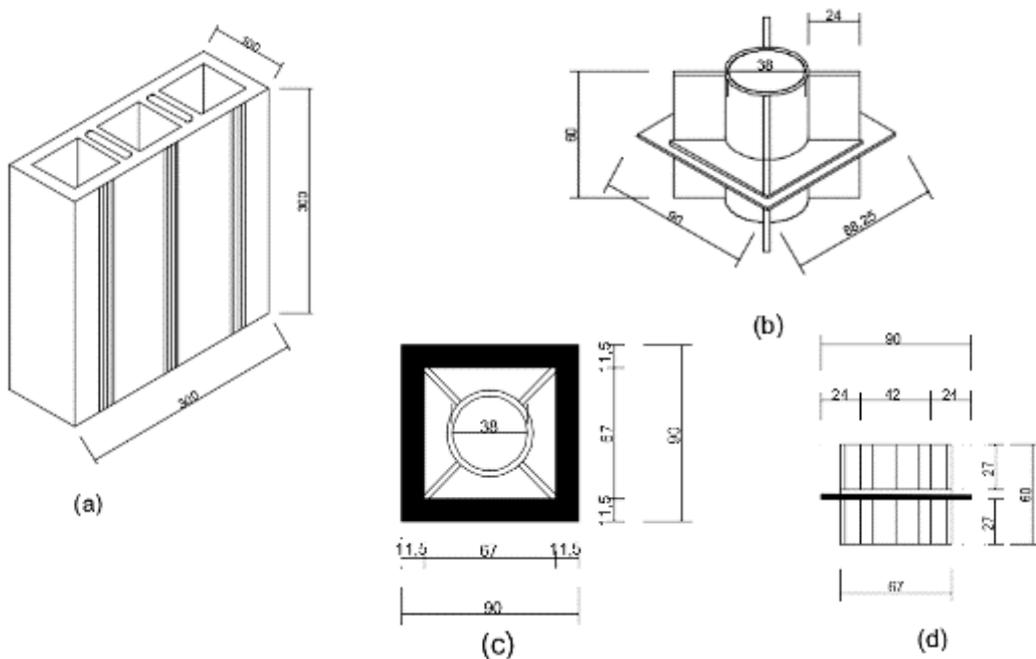
En Checoslovaquia existen los bloques para albañilería seca con cerraduras (TSZ por sus siglas en checo) que son unidades de concreto liviano cuyas dimensiones son: en longitud 600 mm, ancho 300 mm y alto 150 mm las cuales no requieren de mortero ni sellador en juntas tanto horizontales como verticales ya que se traban por los anillos ubicados en su cara superior, las unidades sirven principalmente para la construcción de una mampostería de carga en edificios residenciales y mampostería de relleno de salas de gran escala, además de la construcción de cercas y muros. Los bloques cuentan con una resistencia a la compresión de 4.5 MPa. El sistema es muy simple y acelera significativamente toda la construcción reduciendo la mano de obra hasta en un 40%, no siendo necesario el refuerzo y relleno de concreto líquido (Solařova, 2008).

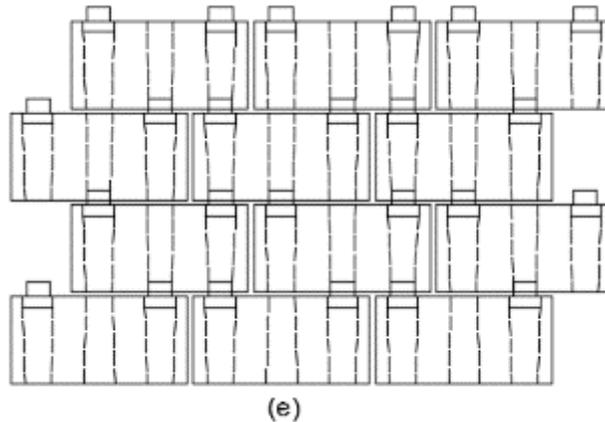


**Figura 2** Bloque TSZ

Fuente: Solařova (2008)

En Panamá, se cuenta con el sistema Soloarmar Ingeniería Constructiva, es un sistema constructivo a partir de bloques sin necesidad de utilizar mortero para su unión. Los bloques son de arcilla o concreto con dimensiones propias para cada tipo y que ambos cuentan con cavidades alineadas con precisión en el eje vertical y para unirlos se usa dispositivos de plástico reciclado de alta resistencia denominados uniones y que fijan los bloques unos con otros por el interior, obteniendo una albañilería con mayor resistencia y solidez a la convencional (Yap Ching, 2015).





**Figura 3 Sistema Soloarmar**

(a) Bloque, (b), (c) y (d) conectores (e) esquema de un muro construido con bloques y conectores.

Fuente: Yap Ching (2015)

En el Perú se cuentan con los ladrillos Mecano, Practi-bloque, la placa P-14 y bloques de concreto vibrado tipo grapa, que no requieren de mortero para la adherencia entre unidades ya que cuentan con alveolos para la inserción de acero y vaciado de concreto líquido, trayendo como consecuencia mayores costos, tiempo y la mano de obra debe ser calificada para la construcción de la albañilería. Estos sistemas están en el alcance de la Norma E.070 (2006), norma que no considera a las unidades que solo se traban y apilan para formar la albañilería de junta seca.

Adicionalmente, en Cajamarca no existen ladrillos para la construcción de una albañilería de junta seca que puedan salvar las falencias en la interface entre unidades y mortero tanto estructuralmente como en el proceso constructivo. Bajo este contexto, se ha formulado un tipo de ladrillo con orificios en la base y prominencias en la parte superior, denominándolos ladrillos con dos acoples; estas unidades no requiere de mortero para su unión, lo que constituye o transforma a la convencional en una albañilería de junta seca. Por tanto, es imperativo evaluar las propiedades físicas y mecánicas de los ladrillos propuestos y verificar el cumplimiento con lo indicado en la Norma E.070 (2006).

### **1.1.2. Descripción del problema.**

En la ciudad de Cajamarca la albañilería es un sistema constructivo que se viene empleando por más de 50 años, y el aumento de la población conlleva a la demanda

excesiva de viviendas. La albañilería reforzada más usual en Cajamarca es la que presenta muros confinados los mismos que están formados por ladrillos de arcilla o concreto unidos con mortero y reforzados con elementos de concreto armado en todo su perímetro. Esta albañilería tiene sus falencias desde sus unidades ya que no tienen un registro permanente respecto a sus propiedades físicas ni mecánicas, a esto se suma la falta de un control de calidad en los procesos constructivos para la verificación espesores de las juntas horizontales y verticales y las proporciones volumétricas de los elementos que componen al mortero y que se encuentra estipulado en la Norma E.070 (2006); una de las razones obedece a que estas edificaciones en su mayoría son estructuras “autoconstruídas”.

*“La albañilería es un material estructural compuesto que, en su forma tradicional, está integrado por unidades asentadas con mortero. En consecuencia, es un material de unidades débilmente unidas o pegadas. Este hecho, confirmado por ensayos y por la experiencia, permite afirmar que se trata de un material heterogéneo y anisotrópico que tiene, por naturaleza, una resistencia a la compresión elevada, dependiente principalmente de aquella de la propia unidad, mientras que la resistencia a la tracción es reducida y está controlada por la adhesión entre la unidad y el mortero”* (Gallegos y Casabonne, 2005). Citamos a este autor por su gran aporte a los estudios de albañilería los cuales no se han modificado hasta la fecha.

Además, para la albañilería tradicional por la existencia del mortero, la Norma E.070 (2006) en su capítulo 4, indica construir los muros asentando como máximo hasta la mitad de la altura del muro (o 1.3 m) en una jornada de trabajo, esta indicación tiene la finalidad de prevenir la presencia de excentricidades y fallas por aplastamiento del mortero; consecuentemente la construcción de la albañilería emplea mayor tiempo y costo.

Considerando lo indicado anteriormente, fue razonable contar con una albañilería de junta seca compuesta por ladrillos de concreto con formas geométricas que incluyen acoples para su unión, elementos que permitieron obtener una albañilería homogénea e isotrópica que cumplió con las propiedades físico mecánicas contempladas en la Norma E.070 (2006) y que es un sistema constructivo que requiere de poca habilidad para el asentado de ladrillos optimizando tiempos y costos al construir muros en su altura total en una sola jornada, investigación que aporta tanto en la parte técnica como en la económica dentro de las estructuras de albañilería.

### **1.1.3. Formulación del problema.**

¿Las propiedades físico mecánicas de ladrillos con dos acoples, para albañilería de junta seca, cumplen con lo mínimo establecido en la Norma E.070 (2006)?

## **1.2. Justificación e importancia.**

Las viviendas son una necesidad primordial de la humanidad, y la albañilería es uno de los sistemas más empleados para salvar esta y otras exigencias del ser humano, sistema que viene evolucionando e innovando tanto en técnica como en materiales.

A nivel mundial, se han desarrollado e investigado sistemas de albañilería de junta seca con elementos de unión (prominencias y orificios). En el Perú se realizaron investigaciones con los bloques tipo grapa que son rellenados con concreto fluido para su adherencia, mas no se tienen estudios en unidades sólidas y la norma de albañilería no los considera para la construcción de viviendas. Es por ello que en esta investigación se ha elaborado ladrillos sólidos de formas geométricas que permiten la unión entre estos sin el empleo del mortero; la innovación, ha permitido construir muros de junta seca evitando que la albañilería sea un material heterogéneo y anisotrópico, obteniendo valores en la resistencia a la carga vertical y cargas lateral aceptables según lo establecido en la normativa. Los resultados de los ensayos nos han demostrado que los ladrillos cumplen con lo estipulado en la Norma E.070 (2006).

Además, los resultados obtenidos son de utilidad para futuras investigaciones con ladrillos de similares características o diferentes tipos de material. Así mismo la población al usar este ladrillo no solo será favorecida con las propiedades mecánicas del ladrillo sino con el procedimiento constructivo, puesto que se puede construir los muros de junta seca con alturas mayores a 1.30 m en una sola jornada laboral, optimizando tiempos y costos en la construcción.

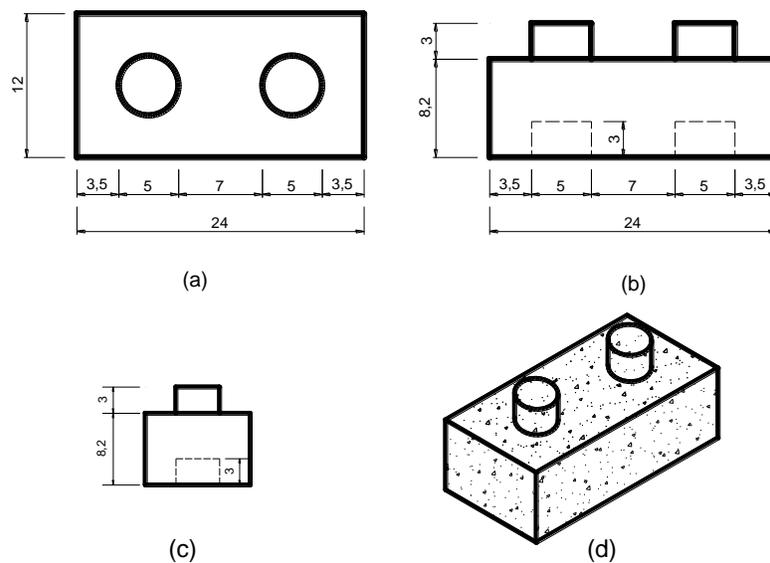
Ha sido pertinente realizar la investigación para conseguir resultados reales y contar con información científica, de manera que proyectistas y constructores empleen el sistema con la seguridad y calidad para las edificaciones de albañilería, sin descartar mayores investigaciones y mejoras al sistema.

### 1.3. Delimitación de la investigación.

Para la investigación se han elaborado ladrillos con concreto  $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ , cemento Portland Tipo I y los agregados de la cantera Chonta ubicada en Baños del Inca, la forma de la unidad de la albañilería es un paralelepípedo con dos orificios en la base y dos prominencias troncocónicas en la parte superior, detalles que identifican los dos acoples para estos ladrillos; la forma y medidas (en cm) de estas unidades se muestran en la figura 4. La investigación se limitó a determinar las propiedades físico-mecánicas de los ladrillos con dos acoples con ensayos de acuerdo a la normativa peruana: Norma E.070 (2006) y NTP 399.604.

Siendo un estudio para obtener una albañilería de junta seca, también se han realizado ensayos en la albañilería simple (compresión en pilas, compresión diagonal en muretes, resistencia al corte de los elementos de acople) y como albañilería estructural (muros confinados) se ejecutaron los ensayos de carga lateral monotónicamente creciente en dos muros confinados.

Por lo tanto, los resultados obtenidos solo sirven para el tipo de ladrillo propuestos para esta investigación.



**Figura 4** Esquema de ladrillo de la investigación  
(a) Vista en planta, (b) vista lateral, (c) vista frontal, (d) isométrico

## **1.4. Objetivos de la investigación**

### **1.4.1. Objetivo General.**

- Determinar el cumplimiento de las propiedades físico mecánicas de ladrillos con dos acoples para albañilería de junta seca.

### **1.4.2. Objetivos específicos.**

- Determinar el cumplimiento de la variabilidad dimensional, alabeo y absorción de los ladrillos.
- Determinar el cumplimiento de la resistencia de la albañilería simple (resistencia a compresión en pilas, resistencia a compresión diagonal en muretes, resistencia a corte de los elementos de acople).
- Observar el comportamiento de dos muros a escala natural ante fuerza lateral monótonicamente creciente.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

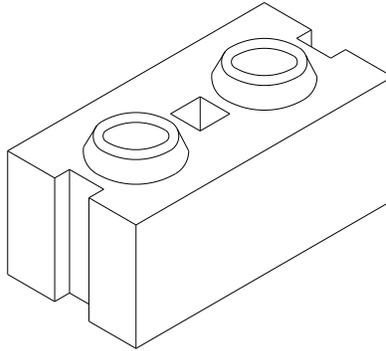
#### **2.1. Antecedentes de la investigación o marco referencial.**

A nivel mundial se han desarrollado diferentes sistemas de albañilería, y en las últimas décadas la albañilería de junta seca ha tomado auge considerando que es un método prometedor en rentabilidad, celeridad y menor mano de obra calificada, por lo que existen investigaciones a este mismo nivel que demuestran la funcionalidad y la capacidad estructural de la misma. Las referencias, sirven a la presente investigación como base para el desarrollo y sustento de los resultados obtenidos.

##### **2.1.1. Antecedentes Internacionales.**

Osman y otros (2013) en Malasia, en su investigación: Análisis experimental del sistema Brickcool como muro de carga, presentan los resultados del comportamiento estructural de los muros construidos con los ladrillos Brickcool que fueron fabricados con una mezcla suelo-cemento secado al medio ambiente cuya forma no requieren de mortero y se apila en seco. En la investigación determinaron las propiedades físicas (dimensiones, absorción) y mecánicas (resistencia a la compresión) tanto en ladrillos enteros como en medios ladrillos. La prueba de compresión en muros lo realizaron en dos especímenes, uno sin acero de refuerzo y otro con acero de refuerzo, los modelos tuvieron las dimensiones de 1.30 m de altura, 1.0 m de ancho y 0.125 m de espesor. Los resultados de los ensayos para determinar las propiedades físicas, mostraron que las variaciones en cada dimensión de ladrillo es  $< 0.23\%$  dado por el fabricante y la absorción promedio fue de  $15.54\%$ . La propiedad mecánica de los ladrillos completos fue de  $11.96 \text{ N/mm}^2$  y de los medios ladrillos de  $12.10 \text{ N/mm}^2$ . Los ensayos en los muros demostraron que el modelo de muro con refuerzo tiene mayor resistencia a la carga y menor desplazamiento y también aumenta la los esfuerzos de tensión en comparación con el modelo de muro sin refuerzo, el primer muro falló a una carga de  $347.2 \text{ kN}$  y el segundo con una carga de  $259.6 \text{ kN}$ . Además, la primera grieta en la pared sin refuerzo se presentó frente a una carga de  $176 \text{ kN}$  y en la pared con refuerzo con una carga de  $250 \text{ kN}$ .

Concluyen su investigación afirmando que los resultados obtenidos en la investigación cumplieron con los valores mínimos requeridos y establecidos por los estándares británicos y estadounidenses, por lo que el sistema de ladrillo entrelazado Brickool puede usarse como un sistema para muros portantes y por su naturaleza despierta al estudio dentro de los materiales de construcción.

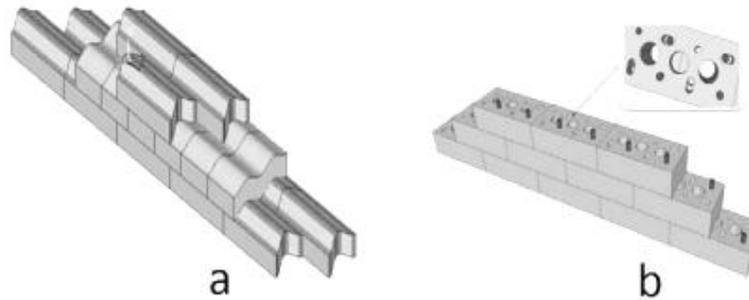


**Figura 5** Ladrillo Brickool

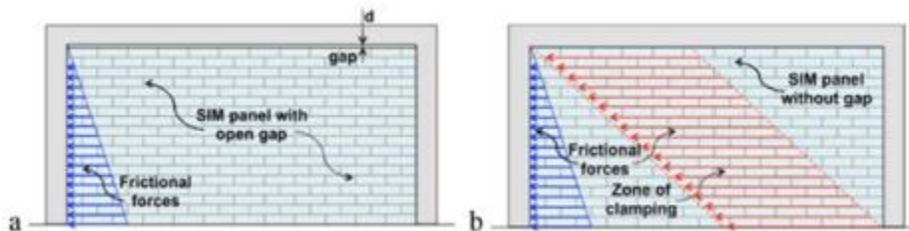
Fuente: Brickool

Totoev y Harthy (2015) en Australia, en la investigación: Albañilería semi entrelazada (SIM por sus siglas en inglés) como sistema de muro de relleno para edificios resistentes a terremotos, la innovación es que la forma y unión de los ladrillos permiten el desplazamiento de la hiladas de la mampostería frente a un sismo, reduce la rigidez de la estructura y evita mayores daños, contando con una alta capacidad de disipación de energía. Este sistema es de dos tipos el SIM topológico y el SIM mecánico, consideraron tres tipos de muros: SIM con espacio abierto, que es un sistema enmarcado por columnas y viga, y presenta un espacio libre entre el muro y la viga, SIM sin espacio, en este sistema el muro está en contacto con la viga y las columnas y SIM con un espacio de cierre, ya que presenta un espacio menor que el primero entre el muro y la viga. En el trabajo experimental tuvieron las pruebas iniciales que incluyeron pruebas de compresión en unidades y prismas SIM, pruebas de fricción cíclica en tripletes SIM y en muros las pruebas de desplazamiento cíclico construidos con los sistemas topológicos y mecánicos. En lo que respecta al modelo numérico consideraron cuatro modelos: marco sin paneles de relleno, con paneles de relleno SIM tipo 1, marco con paneles de relleno SIM tipo 2 y marco con paneles de relleno tradicionales.

Los autores, determinan que en los muros SIM según los datos experimentales en laboratorio, la disipación de energía ocurre principalmente a través de la fricción entre los ladrillos y que es un sistema único que utiliza rellenos de mampostería como dispositivos efectivos de disipación de energía de alta fricción, alto rendimiento en su desplazamiento, no presenta falla por cizallamiento mejorando su resistencia frente a sismos.

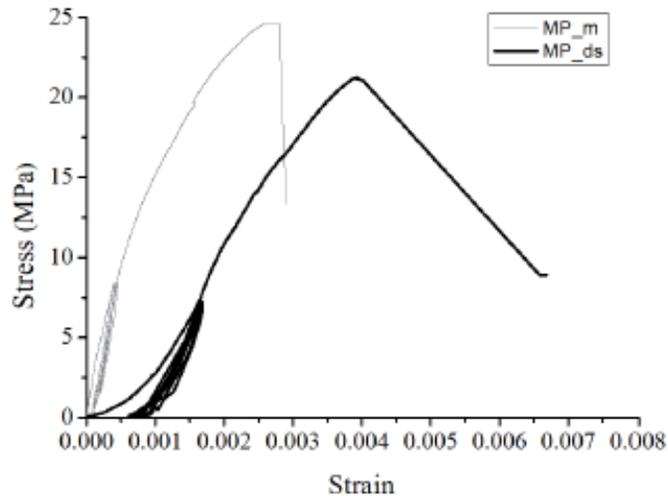


**Figura 6** Sistemas SIM  
 ( a ) Topológica y (b) mecánica  
 Fuente: Totoev y Harthy (2015)



**Figura 7** Tipos de paneles SIM  
 a) Con espacio abierto y b) sin espacio  
 Fuente: Totoev y Harthy (2015)

Lin y otros (2015) en Australia, realizaron la investigación: Características experimentales de mampostería de pila seca (DSM por sus siglas en inglés) bajo carga de compresión y de corte, teniendo como objetivo determinar las propiedades de compresión (resistencia a la compresión, módulo elástico y rigidez normal de la junta) y el comportamiento al corte (cohesión, lazo histérico y variación del factor de fricción) de la DSM. Se llevaron a cabo experimentos de compresión uniaxial para investigar la influencia del mortero en dos tipos de prismas uno con mortero y el otro sin mortero, los mismos que fueron construidos y probados de acuerdo con el estándar de Australia (AS3700). La prueba de compresión arrojó resultados que sirvieron para graficar las curvas esfuerzo-deformación de los prismas ensayados, estas se muestran en la figura 8.



**Figura 8** Curva de esfuerzo-deformación de prismas de mampostería  
 MP\_m: mampostería con mortero, MP\_ds: mampostería sin mortero

Fuente: Lin y otros (2015)

El tipo de falla para los prismas con mortero se dieron debido al aplastamiento de la junta de mortero y al agrietamiento que divide verticalmente la cara frontal y posterior de los ladrillos en toda su altura, mientras que en los prismas sin mortero el daño se centró en los ladrillos del medio y se produjeron grietas en los bordes del prisma. Afirman que la causa de esta falla es la tensión que se concentra en el ladrillo medio del prisma y la grieta no se extiende a través de los ladrillos porque la junta de pila seca actúa como uno de los caminos más efectivos para liberar la tensión.

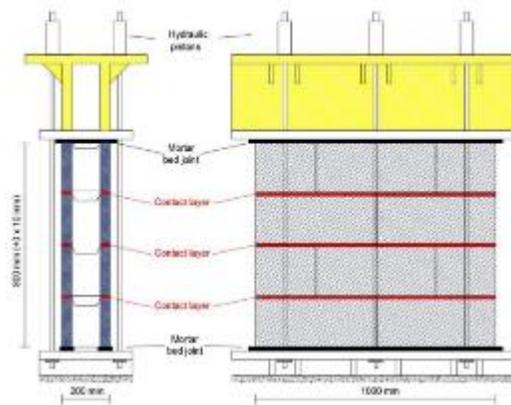
El módulo de elasticidad fue calculado como el módulo de cuerda de la parte lineal de la curva de esfuerzo-deformación, definido generalmente entre 5% y 33% de la resistencia a la compresión máxima; además se observó que la resistencia a la compresión de los prismas sin mortero es menor en 15% en comparación los prismas con mortero, mientras que el módulo de elasticidad es menor en más del 62%, los resultados de estos ensayos se muestran en la tabla 1.

**Tabla 1 Resultado experimental de las pruebas de compresión uniaxiales**

N°	Albañilería con mortero			Albañilería sin mortero		
	Máxima compresión	Resistencia a la compresión	Módulo de elasticidad E	Máxima compresión	Resistencia a la compresión	Módulo de elasticidad E
	PC (kN)	fc (MPa)	(MPa)	PC (kN)	fc (MPa)	(MPa)
1	524.3	20.4	15,380	456.6	17.8	7982.6
2	635.3	24.7	23,065	477.9	18.6	8851.3
3	662.9	25.8	22,067	473.5	18.4	6424.6
4	589.9	22.9	23,029	-	-	-
5	575.5	22.4	18,796	-	-	-
6	420.4	16.4	13,709	-	-	-
7	635.0	24.7	21,777	-	-	-
Promedio	557.7	21.5	20,407	469.3	18.3	7702.3
CV (%)	15.09	14.99	18.73	2.40	2.280	15.96

Fuente: Lin y otros (2015)

Cheewe y Waldmann (2019) en Alemania, presentaron la investigación: “*Análisis experimental y analítico de la capacidad de soporte de carga (Pu) de albañilería apilada en seco (DSM)*”, siendo su principal objetivo la optimización del Pu de DM. Para cumplir con sus objetivos, analizan experimentalmente su innovación que es la inclusión de una capa de contacto de 10 mm de espesor en la cara superior de los bloques de concreto y desarrollan un modelo matemático que considera los desperfectos del bloque para predecir el Pu, los bloques de ensayo tuvieron una longitud de 500 mm, ancho de 200 mm y altura 200 mm, peso de 20 kg y una resistencia a la compresión de 13 MPa. Los prismas contruidos con bloques para mampostería apilada en seco (DSM) con capa y sin capa de contacto, fueron ensayados a falla bajo compresión axial, los resultados mostraron que una capa de contacto de propiedades bien definidas aumentó el área de contacto real del 23% al 55% y mejoró el Pu en un 31.9%, mientras tanto el modelo matemático para los bloques DSM sin capa de contacto predice Pu con una precisión media del 93% y una desviación estándar del 12% y para los bloques DSM con capa de contacto, el modelo predice Pu con una precisión media del 106% y una desviación estándar del 10%, estos datos fueron contrastados con los datos de la norma EN 1996-1-1 que indican que la precisión media debe ser de 124% con una desviación estándar del 9%. Los investigadores concluyen que los bloques apilados en seco con capa de contacto y de propiedades bien definidas fueron más eficientes respecto a los análisis de capacidad de carga y de acuerdo a los resultados, los bloques pueden ser útiles para la construcción de muros apilados en seco y para su diseño no contando riesgos de seguridad.



**Figura 9** Bosquejo de muretes DSM para ensayos  
Vista lateral y frontal

Fuente: Chew y Waldmann (2019)



**Figura 10** Ensayos experimentales con DSM  
Carga axial en muretes

Fuente: Chew y Waldmann (2019)

### 2.1.2. Antecedentes Nacionales.

San Bartolomé y Pehovaz (2001) en el Perú, en su ponencia: “*Comportamiento sísmico de especímenes construidos con bloques de concreto vibrado tipo grapa*”, presentan su investigación que tuvo por finalidad obtener resultados satisfactorios para la construcción de viviendas económicas con bloques que forman una albañilería de junta seca, siendo las unidades apilables, grapadas entre si y aumentado su unión con un concreto fluido que es vertido dentro de las cavidades de la unidad, por lo tanto no requerían de mortero para su asentado como en la albañilería tradicional.

Los ensayos fueron de compresión axial en pilas, compresión diagonal en muretes y ensayo de carga lateral cíclica en muros

En los ensayos de compresión axial de pilas, se emplearon dos tipos de pilas: el primer tipo sin relleno en los bloques cuya resistencia característica a compresión axial ( $f'_m$ ) fue de 20 kg/cm<sup>2</sup> sobre área bruta y  $f'_m$  de 35 kg/cm<sup>2</sup> sobre área neta (con 29% de dispersión de resultados), presentó falla frágil observándose la ruptura de los bloques; en el segundo tipo se rellenaron con concreto líquido los alveolos de los bloques y alcanzaron una resistencia a compresión axial ( $f'_m$ ) de 82 kg/cm<sup>2</sup>, la falla fue por desprendimiento de la superficie del concreto en las caras longitudinales de los bloques (con 9% de dispersión de resultados)

Respecto a los ensayos de compresión diagonal de muretes el informe indica que este ensayo arroja resultados de resistencia muy bajas debido a la falla por deslizamiento en las hiladas tanto en los muretes construidos con unidades rellenas en su totalidad y más aún en las que no fueron rellenas.

En lo referente a los ensayos de carga lateral cíclica, refieren a la construcción de tres muros de albañilería armada con los bloques de concreto vibrado tipo grapa cuyas dimensiones del bloque entero fueron 330 mm de largo, 190 mm de ancho, 195 mm de alto y con un espesor de 33 mm de espesor, alabeo de 2 mm, absorción 6% y compresión sobre el área neta ( $f'_b$ ) 124 kg/cm<sup>2</sup>, dos de los muros fueron rellenos en forma intercalada y el tercero fue relleno en todos sus alveolos contando además con columnas de confinamiento. Estos muros fueron ensayados a carga lateral cíclica con desplazamiento horizontal controlado y una carga vertical constante soportando hasta la fase 8 con un desplazamiento de 20 mm, observándose fisuras en algunos bloques sin llegar a triturarse y columnas que no comprometieron su comportamiento sísmico. Los autores indican que este desplazamiento está asociado a una distorsión angular de 0.8% mayor a la máxima distorsión angular que es de 0.5%, concluyendo que el comportamiento inelástico de estos muros en viviendas de hasta de dos pisos debe ser satisfactorio.



**Figura 11.** Construcción del módulo con bloques tipo grapa  
Fuente: San Bartolomé y Pehovaz (2001)

San Bartolomé, Moreno y Bolaños (2007), en su investigación titulada: *“Comportamiento a carga lateral cíclica de la albañilería de junta seca construida con placas P-14”*, tuvieron como objetivo analizar los bloques silico-calcareos (P-14) para identificar su cumplimiento en la construcción de muros portantes de albañilería armada, sin columnas, además de no contar con mortero en sus juntas. Las placas contaron con una longitud de 500 mm, ancho 140 mm y una altura de 240 mm con celdas circulares y un canal en la cara superior para alojar el acero vertical y horizontal y que fue clasificada como unidad sólida. Los ensayos de variación dimensional, succión, absorción, resistencia a la compresión  $f'_b$  ( $78 \text{ kg/cm}^2$ ) sobre el área bruta y resistencia a compresión de la placa rellena con concreto líquido ( $88 \text{ kg/cm}^2$ ), la ubicaron en la clase P, por lo tanto, apta en la construcción de muros portantes.

La resistencia a compresión de la albañilería ( $f'_m$ ) se obtuvo de los ensayos en tres pilas arrojando resultados de  $40 \text{ kg/cm}^2$  y la resistencia a compresión diagonal o a corte puro ( $v'_m$ ), se realizaron en tres muretes cuyos resultados fueron de  $1.74 \text{ kg/cm}^2$ . Los ensayos de carga lateral cíclica se ejecutaron en dos muros de 2250 mm de longitud, 2400 mm de alto y 140 mm de espesor diferenciándose en el confinamiento en los talones, solo uno estuvo confinado por zunchos en sus talones; estos muros fueron sometidos a la acción de cargas laterales cíclicas y sujetos a carga vertical, equivalente a la existente en el primer piso de un edificio de cinco pisos. De los resultados se obtuvieron: el comportamiento histerético, rigidez lateral elástica ( $12600 \text{ ton/m}$  y  $8740 \text{ km/m}$ ), el módulo de corte ( $27800 \text{ kg/cm}^2$  y no obtenible), módulo de elasticidad de  $65900 \text{ kg/cm}^2$  y la relación E/G de 2.37.

Los investigadores indicaron que las conclusiones se encuentran limitadas debido a que se tuvieron resultados de solo dos muros ensayados, pero a su vez se demuestra el buen comportamiento sísmico que tuvo el sistema P-14 cumpliendo con varios requisitos que la Norma E.070 estipula en referencia a la albañilería armada convencional.



**Figura 12.** Construcción del muro con la placa P-14  
Fuente: San Bartolomé, Moreno y Bolaños (2007)

## **2.2. Marco conceptual.**

### **2.2.1. Evolución histórica de la albañilería.**

Gallegos y Casabonne (2005), comentan que la albañilería pudo tener su inicio por la necesidad nómada para guarecer frente a climas severos hace unos 15,000 años, para salvar esta necesidad empezó apilando piedras para formar un lugar de protección y con el tiempo emplearía el mortero de barro, la piedra unida con mortero se puede observar en las construcciones antiguas existentes en las islas Aran, en Irlanda, como en Catal Hüyük, en Anatolia. La unidad de albañilería formada por el hombre sería una masa de barro secada al sol, para suplir a las rocas principalmente en lugares donde no existía esta, se conoce que esta unidad se encontró en Jericó en el Medio Oriente cuya forma no es regular, inclusive en otros lugares y en distintas épocas como es en Mesopotamia (7000 años de antigüedad) y Huaca Prieta en el Perú (5000 años de antigüedad) se desarrollaron unidades de forma cónica.

A los sumerios, cuna de la civilización se les atribuye el molde para formar los primeros adobes. Con el afán de mejorar la albañilería, el adobe fue tratado en hornos 3000 a. C. obteniendo los ladrillos cerámicos, y para formar la albañilería el ladrillo era asentado con mortero de betún o alquitrán mezclado con arena, este elemento se fue desarrollando en diferentes lugares donde se obtiene el mortero de cal para finalmente lograr el mortero de concreto. La albañilería, habiéndose desarrollado en diferentes lugares y épocas,

también tomó los materiales del lugar como son las rocas donde no existían depósitos de arcilla tal como se ven en las construcciones de Egipto, Grecia y Roma donde la roca fue labrada para formar grandes monolitos como los usados en las pirámides o incluso tallados directamente en la forma de columnas, vigas y losas, como en los templos de Luxor. Estas unidades de albañilería ciclópea eran asentadas con mortero de yeso (Gallegos y Casabonne, 2005).



**Figura 13** Pirámides de Egipto



**Figura 14** Templo de Luxor

La técnica de labrado de la roca se desarrolló en otras ciudades y en diferentes épocas tal como se puede observar en el acueducto de Segovia que son piedras labradas en forma de rectángulo y unidas sin ningún tipo de argamasa, (Huguet, 2016); y en el Perú se tiene las construcciones de Machu Picchu, Ollantaytambo, el templo del Coricancha entre otras edificaciones.



(a)



(b)



(c)



(d)

**Figura 15.** Estructuras de junta seca

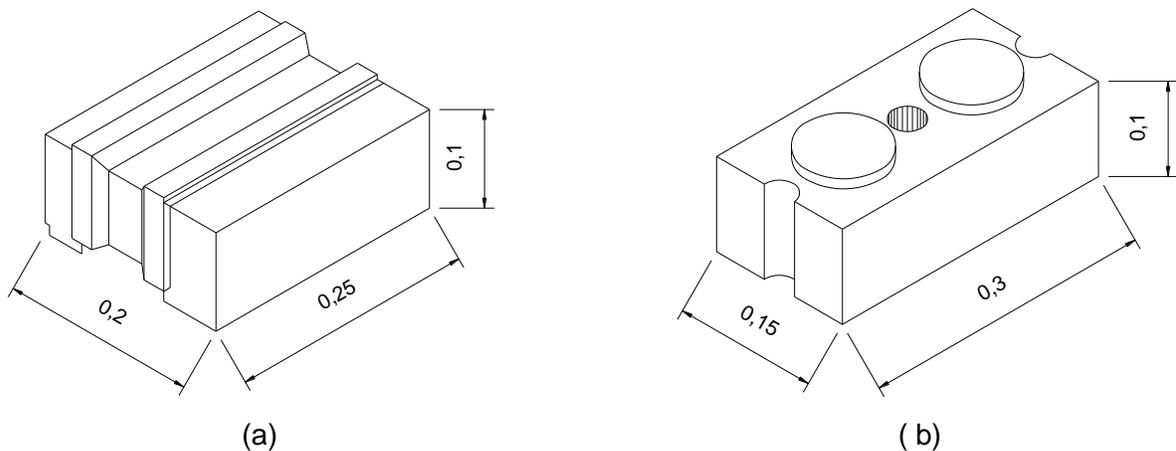
(a) Acueducto de Segovia, (b) Machu Picchu, (c) Sacsayhuaman, (d) El Templo de Coricacancha

Fuente: (a) Huguet (2016)

En el año de 1825, el ingeniero Brunel construyó la primera obra de albañilería reforzada consistente en dos accesos verticales a un túnel bajo el río Támesis, con paredes de albañilería reforzadas verticalmente con pernos de hierro forjado y horizontalmente con zunchos metálicos; después del sismo de 1908 en Sicilia los ingenieros italianos crean la albañilería confinada. La albañilería inicia su investigación en 1913 con ensayos llevados a cabo en los Estados Unidos y luego estudios en 1920 en la India (San Bartolomé, Quiun y Silva, 2011).

La albañilería de ladrillos llegó al nuevo mundo traída por los europeos y al Perú se trae como lastre en los barcos de España. La albañilería confinada ingresa después del terremoto de 1940 y la albañilería armada lo hace en los años 60 (Gallegos y Casabonne, 2005).

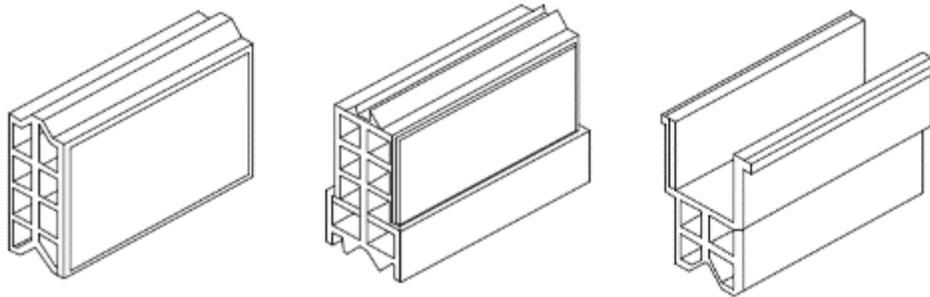
En lo referente a la albañilería de junta seca con ladrillos de engrape o entrelazados comenzó a principios de 1900 con la construcción de juguetes. Entre los primeros inventores de sistemas de juguetes que contribuyeron a la tecnología sin mortero fueron: el inglés Frank Hornby (1863-1963) de Liverpool, con sets de Meccano; A.C Gilbert (1884 – 1962) de Salem, Oregón con juegos de erectores; Charles Pajeau albañil de Evaston, Illinois, EE. UU, quien inventó los juegos de construcción de Tinker Toy en 1913; John Lloyd Wright, inventó Lincoln Logs en 1920 y Ole Kirk Christiansen (1891 – 1958), fue el inventor de Lego. De estos diversos sistemas, Lego tiene la mayor similitud con los muros. Desde 1970, los ladrillos o bloques sin mortero, entrelazados para la construcción de viviendas, hechos de cemento y tierra estabilizada u horneada, han sido pioneros en África, Canadá, Oriente Medio e India (Kintingu, 2009).



**Figura 16** Bloque y ladrillo entrelazados  
a ) Sistema SOLBRIC de Sudáfrica, b) Sistema Auram de la India  
Fuente: Kintingu (2009)

En Colombia se cuenta con las piezas cerámicas autoajustables patentadas según expediente con Registro N° WO2011104575 A1, documento que presenta las piezas cerámicas de materias primas consistentes en arcillas micro pulverizadas en seco y su quemado supera las temperaturas de los hornos convencionales, por lo tanto se logra unidades con resistencia mecánica superior a 300 kg/cm<sup>2</sup>, menor absorción de agua

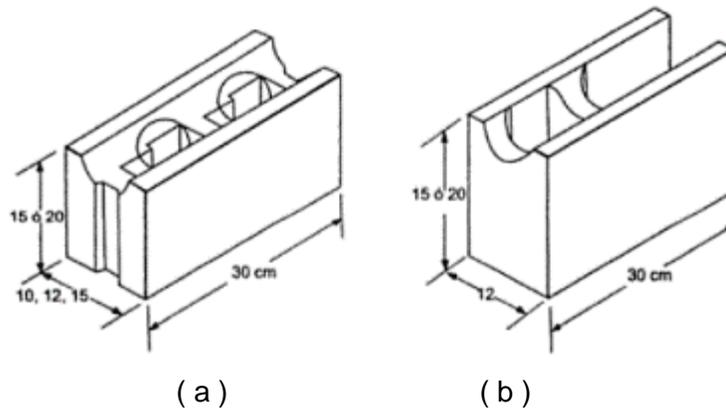
(inferior al 10%) y menos contracciones, además por su forma geométrica especial es autoajustable y no necesita utilizar mortero para construir viviendas; la mano de obra calificada no es indispensable y se agiliza el proceso constructivo reduciendo tiempo y costos de manera importante (Velasquez, V. y Velasquez, A., 2011).



**Figura 17.** Piezas cerámicas autoajustables

Fuente: Velásquez, V. y Velásquez A. (2011)

En el Perú se cuenta con los bloques Mecano elaborados con sílice-cal y los Practi-bloque elaborados con concreto y son apilados sin mortero ya que tienen alvéolos para la colocación de acero de refuerzo y concreto líquido (Gallegos y Casabonne, 2005).



( a )

( b )

**Figura 18.** Bloques apilables

(a) Bloques Mecano, (b) Practi-bloque

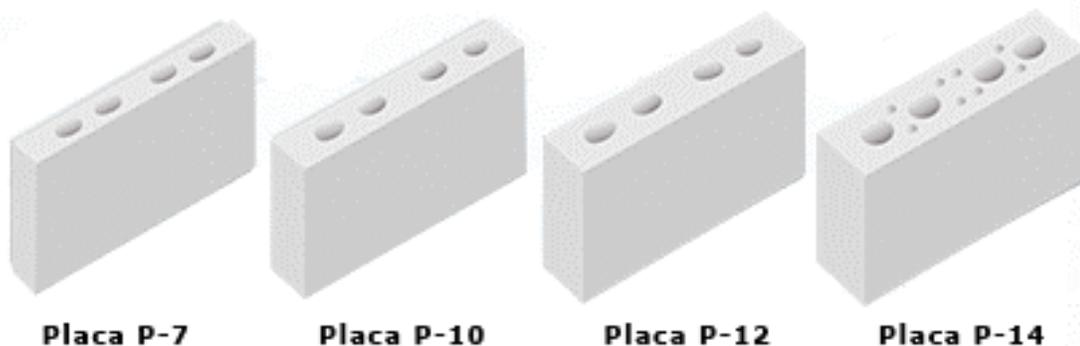
Fuente: Gallegos y Casabonne (2005)

De otro lado la compañía minera Luren Lacasa elabora placas de sílice-cal que las ha denominado P-10, P-12, P-14 geométricamente presentan un canal y perforaciones para alojar al acero de refuerzo vertical, son apilables y tienen las siguientes características: resistencia a la compresión de 170 kg/cm<sup>2</sup>, densidad neta de 1.90 ton/m<sup>3</sup>, absorción de 10 a 14% y una succión de 10 a 30 gramos/200 cm<sup>2</sup>-minuto y sirven para muros estructurales

ya que llevan acero de refuerzo horizontal y vertical dentro de los alvéolos. Además, fabrican las placas P-7, P-10, P-12 y P-14 con el mismo material geoméricamente no cuentan con el canal pero si las perforaciones para alojar al acero de refuerzo vertical, son apilables y sus características son: resistencia a la compresión de 140 kg/cm<sup>2</sup>, densidad neta de 1.90 ton/m<sup>3</sup>, absorción de 10 a 14% y una succión de 10 a 30 gramos/200 cm<sup>2</sup>-minuto y su refuerzo interior puede ser con varillas de 6 u 8 mm por lo que solo se debe emplear en los muros no portantes (Luren, 2013).



**Figura 19.** Placas para muros portantes  
Fuente: Luren (2013)



**Figura 20.** Placas para muros no portantes  
Fuente: Luren (2013)

En el Perú los primeros ensayos sobre elementos de albañilería se realizaron en los años 70 y en el año 1982 se elabora el primer reglamento de la albañilería Norma E-070, ININVI-82. Se continuó con estudios teóricos e investigaciones luego de sismos de los sismos y sus afectaciones, lo que permitió elaborar la actual Norma E.070, que fuera publicada en el año 2006 y es parte del Reglamento Nacional de Edificaciones (San Bartolomé, Quiun y Silva 2011).

### **2.2.2. Tipos de albañilería.**

#### **Clasificación de la albañilería según San Bartolomé, Quiun y Silva (2011)**

A la albañilería la clasifican de dos maneras:

- Por la Función Estructural (o solicitaciones actuantes).
- Por la Distribución del Refuerzo

#### **Clasificación por la función estructural**

##### **Muros No Portantes**

Son los muros diseñados básicamente para recibir cargas del propio peso y perpendiculares a su plano, originadas por el viento, sismo u otras cargas de empuje.



**Figura 21.** Muros no portantes

##### **Muros Portantes**

Son los muros que se emplean como elementos estructurales de un edificio, están sujetos a todo tipo de solicitación, tanto contenida en su plano como perpendicular a este, vertical o lateral ya sea permanente o eventual. La Norma E.070 (2006), indica que serán diseñados y contruidos para que transmitan cargas horizontales y verticales desde los niveles superiores hasta la cimentación. Estos muros forman la estructura de un edificio de albañilería y no deben romper continuidad vertical.



**Figura 22. Muros portantes**  
Fuente: San Bartolomé (2008)

### **Clasificación por la Distribución del Refuerzo.**

#### **Muros no reforzados o de albañilería simple**

Son muros que no tienen refuerzo o es mínimo y no cumplen con las exigencias reglamentadas para considerarlo como muro reforzado.



**Figura 23. Muros de albañilería simple**

#### **Muros reforzados (armados, laminares y confinados)**

##### **Muros armados**

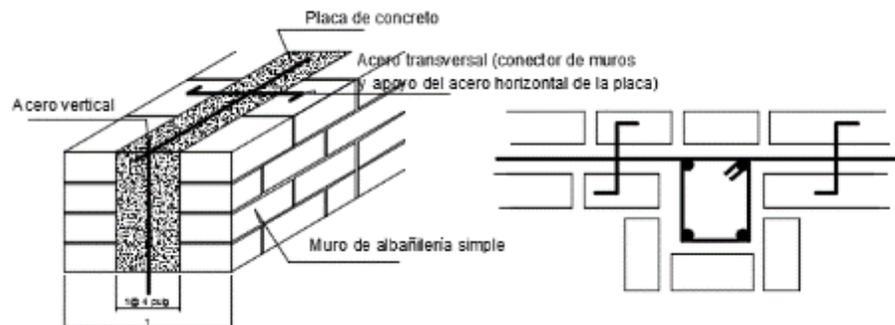
Estos muros están formados por unidades que cuentan con alveolos para alojar refuerzo el mismo que está distribuido vertical y horizontalmente.



**Figura 24. Muros armados**  
Fuente: Isoltech (2017)

### **Muros laminares (“sándwich”)**

Muros construidos por placas delgadas de concreto, con espesores entre 1” y 4”, de concreto grout o normal y reforzado con malla de acero central, el mismo que se encuentra entre dos muros de albañilería simple que sirven como encofrados.



**Figura 25. Albañilería laminar**  
Fuente: San Bartolomé, Quiun y Silva (2011)

### **Muros confinados**

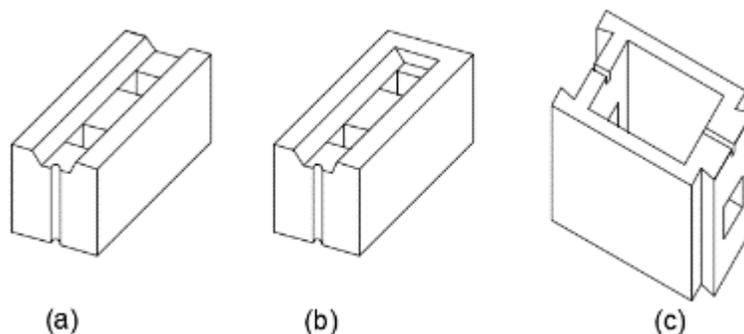
Esta albañilería está formada por un muro de albañilería simple enmarcado por una estructura de concreto armado, vaciada después de haber construido el muro. El pórtico de concreto armado, que rodea al muro, es un ductilizador del sistema ayudando en la capacidad de deformación inelástica y en la resistencia, este pórtico frente a acciones perpendiculares a su plano funciona como elemento de arriostre en la albañilería



**Figura 26.** Muros confinados.

### **Muros de junta seca**

De acuerdo a San Bartolomé, Quiun y Silva (2011), la albañilería de junta seca es muy similar a la albañilería armada, diferenciándose en que en las juntas horizontales y verticales no se utiliza el mortero. En el Perú el sistema es autoalineante o apilable, conformado con ladrillos alveolares sílico-calcáreos, los que se apilan sin mortero ni conectores. Las unidades tienen un canal horizontal para la colocación del refuerzo horizontal y alveolos verticales por donde se vierte el mortero fluido para llenar inclusive al canal horizontal con el acero de refuerzo y la Norma E.070 (2006), indica que tiene las mismas consideraciones que la albañilería reforzada. Otro tipo de bloque que también se utiliza en el Perú es el de concreto vibrado tipo grapa. Este bloque presenta en sus tapas verticales una saliente (“macho”) y una entrante (“hembra”), que engrapados entre bloques adyacentes, desfasados en medio bloque verticalmente, dan lugar a pilares que se rellenan con grout grueso.



**Figura 27.** Muros de junta seca  
 (a) Mecano abierto, (b) mecano cerrado, (c) tipo grapa  
 Fuente: San Bartolomé, Quiun y Silva (2011)

## **Clasificación de la albañilería según la Norma E.070 (2006)**

La Albañilería se encuentra clasificada en:

- Albañilería No Reforzada (Albañilería Simple)
- Albañilería Reforzada (Albañilería Estructural).

### **Albañilería No Reforzada.**

Albañilería sin refuerzo o con refuerzo que no que no cumple con los requisitos mínimos de la Norma.

### **Albañilería Reforzada.**

- Albañilería armada: Albañilería que cuenta con refuerzos interiormente y son varillas de acero colocados vertical y horizontalmente e integrados mediante concreto líquido y que actúan en conjunto para resistir los esfuerzos.
- Albañilería confinada: Albañilería simple reforzada con elementos de concreto armado en todo su perímetro.

### **2.2.3. Componentes de la albañilería.**

La Norma E.070 (2006), considera como componentes de la albañilería:

- Unidad de Albañilería.
- Mortero.
- Concreto Líquido o Grout.
- Acero de refuerzo.
- Concreto.

#### **2.2.3.1. Unidad de albañilería.**

La Norma E.070, (2006), indica que la unidad de albañilería son ladrillos o bloques de arcilla, concreto o sílice-cal y por su forma puede ser hueca, alveolar o tubular. Por su parte Gallegos y Casabonne (2005), definen que es el componente básico para la construcción de albañilería, es elaborada de arcilla (cerámicas), arena-cal (sílico-calcáreo) y de concreto. Se produce en fábricas, contando con un estricto control industrial, o en lugares sin ningún control de calidad. Por tanto, se tienen formas, tipos, dimensiones y pesos en una gran variedad y calidad de mala a buena. Además, nos dicen que las unidades de albañilería se denominan ladrillos o bloques.

## **Clasificación de las unidades de albañilería**

San Bartolomé, Quiun y Silva (2011), refieren que las unidades de albañilería las clasifican por sus dimensiones o tamaño, por su materia prima y fabricación y, por sus huecos o alvéolos; a continuación, se describen sus criterios.

### **Clasificación por sus dimensiones**

Pueden ser ladrillos y bloques

#### **Los ladrillos.**

Se caracterizan por tener dimensiones y pesos que facilitan su proceso constructivo empleando una mano.

#### **Los bloques.**

Su dimensión y peso por lo general es mayor a los ladrillos y están hechos para emplear las dos manos en el proceso constructivo, pueden estar previstos de alvéolos o huecos, que permiten la colocación de la armadura y luego el concreto líquido.

### **Clasificación por su materia prima y fabricación**

Las unidades básicamente son de arcilla, de sílice-cal y de concreto.

#### **Unidades de Arcillas.**

- Materia Prima.

Las arcillas empleadas para la fabricación de los ladrillos son clasificadas como calcáreas que son las que contienen un 15% de carbonato de calcio y las no calcáreas en las que predomina el silicato de alúmina con un 5% de óxido de hierro.

- Fabricación.

El proceso es artesanal, semi-industrial e industrial, con una gran variedad en formas, resistencias y dimensiones, se pueden considerar las siguientes fases:

Explotación del material de cantera, trituración o molienda, mezclado con agua y arena, moldeado, secado y quemado.

### **Unidades sílico-calcáreas.**

- Materia Prima.

Estas unidades están compuestas por cal hidratada y sílice (10% y 75% respectivamente).

- Fabricación.

El proceso es industrial: la mezcla de los componentes se realiza en peso, y en el moldeo se utilizan prensas mecánicas o hidráulicas. Las unidades se endurecen curándolas a vapor en cámaras “autoclave” con elevada presión (entre 8 a 17 atmósferas).

### **Unidades de Concreto.**

- Materia Prima.

La materia prima es una mezcla de cemento, arena y confitillo (piedra chancada de 1/4”). Se logra distintas resistencias de acuerdo a la dosificación de los componentes.

- Fabricación.

Estas unidades pueden ser artesanales o industriales, su textura generalmente es áspera, presentando porosidades, su peso puede aligerarse con agregados naturales o artificiales. En la fabricación de las unidades de concretos se consideran los siguientes pasos:

Dosificación: en los procesos artesanales la dosificación de los materiales se hace por volumen, y en los procesos industriales se dosifica en peso. La cantidad de agua es baja (slump 1”) con la finalidad de permitir el desmolde de la unidad sin que se desmorone.

Mezclado: se realiza a mano (artesanal) o a máquina (industrial).

Moldeo y desmoldado: Se realiza empleando moldes metálicos y la compactación es por apisonado en el caso artesanal; y se ejecuta empleando ponedoras portátiles con una compactación por vibro-compresión para la forma semi-industrial y en el caso industrial la fabricación es en máquinas estacionarias y también se compacta por vibro compactación.

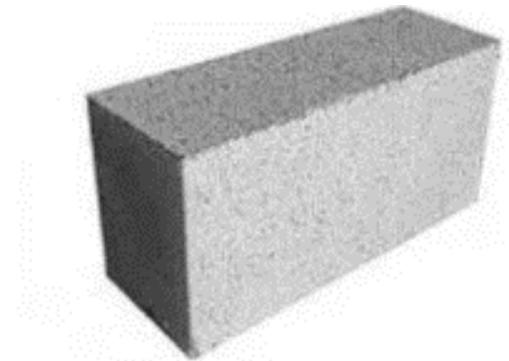
Curado: El curado artesanal y semi-industrial se lo hace pro riego agua durante una semana en un tendal, el curado industrial se hace en cámaras de vapor (50°C, a baja presión), en cámaras autoclave (150°C, a presión de 6 a 10 atmósferas).

### **Clasificación por sus huecos (alvéolos)**

Las unidades se clasifican por el porcentaje de huecos (alveolos o perforaciones) y por la disposición de estos en la unidad, pudiendo ser:

#### **Unidades Sólidas o Macizas**

Las unidades sólidas, no tienen huecos o en el mayor de los casos presentan alveolos o perforaciones perpendiculares a la superficie de asiento cubriendo un área no mayor al 30% del área de la sección bruta. Unidades que se emplean para la construcción de muros portantes confinados.



**Figura 28.** Unidades sólidas de concreto  
Fuente: Grupo Gaan Servicios Generales (2020)

#### **Unidades huecas.**

En estas unidades el área de sus alveolos excede el 30% del área bruta., y estos pueden ser rellenos con concreto líquido. (Gallegos y Casabonne, 2005), se muestra en la figura 29 (a).

#### **Unidades alveolares.**

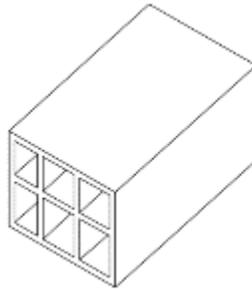
Son aquellas que presentan grandes huecos perpendiculares a las superficies de asiento. En esta categoría se encuentran los bloques sea de arcilla, sílice-cal o concreto que se emplean en las edificaciones de albañilería armada rellena con concreto líquido, se muestran en la figura 29 (b)



**Figura 29.** Unidades huecas y alveolares  
Fuente: Grupo Gaan Servicios Generales (2020)

### **Unidades Tubulares**

Son las que cuentan con alveolos o perforaciones y estos están dispuestos en forma paralela a la superficie de asiento, son utilizados en los tabiques.



**Figura 30.** Unidades tubulares de arcilla  
Fuente: San Bartolomé, Quiun y Silva (2011)

La NT E.070, (2006) en el capítulo 3 Componentes de la Albañilería, Artículo 5 Unidades de Albañilería hace mención que los tipos de unidades de albañilería pueden ser: sólidas, huecas, alveolares o tubulares y su fabricación es aceptada como producto industrial o artesanal.

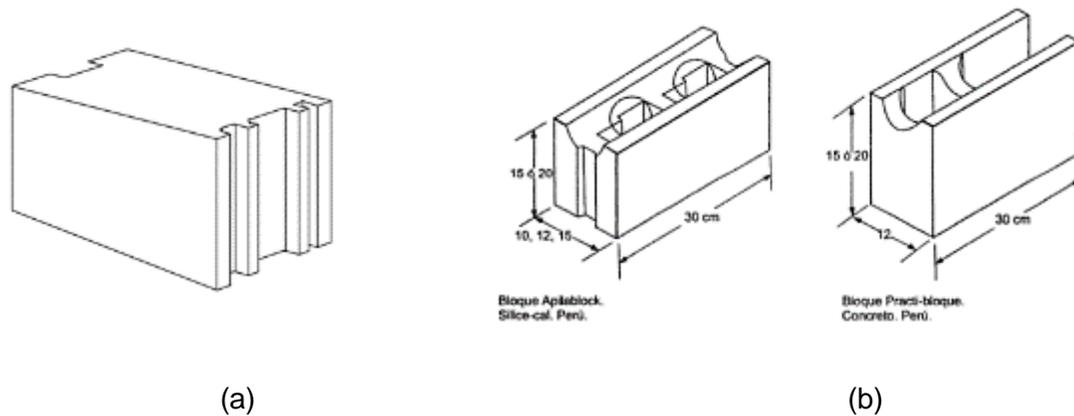
### **Unidades apilables**

Gallegos y Casabonne, (2005), refieren que las unidades de albañilería apilables son aquellas que no requieren de uso de mortero para su adherencia entre estos. Cuando son aplicados a muros no estructurales, sin contar con concreto líquido ni armadura, la resistencia a la tracción e impermeabilidad de esta albañilería, pueden ser obtenidas con la aplicación de enlucidos o sellos de elevada resistencia a la tracción. En la actualidad las unidades se diseñan y fabrican específicamente para su apilado y, en muchos casos

cuentan con alvéolos verticales y canales horizontales donde se coloca la armadura en dos direcciones, llenadas con concreto líquido formando de esta manera muros de albañilería armada convencional. Respecto a esta albañilería, en los ensayos realizados, se obtiene una considerable reducción del agrietamiento en comparación con los muros con unidades asentadas con mortero.

*“Las conclusiones obtenidas de ensayos y la experiencia permiten afirmar que a través del uso de unidades apilables se consigue: menor variabilidad de la albañilería; mayor productividad en la mano de obra, y reducción del agrietamiento de los muros. Se ha concluido, además, que las unidades pueden ser fabricadas de cualquier materia prima (arcilla, concreto o sílice-cal), con métodos industriales convencionales, y que no requieren precauciones especiales durante el proceso constructivo”* (Gallegos y Casabonne, 2005).

También afirman que el diseño y fabricación de unidades apilables en países desarrollados busca, además de precisión y uniformidad, la incorporación de alguna forma de trabado, a fin de obtener un auto alineamiento en las unidades, lo que aumenta la productividad y el rendimiento sin necesidad de una destreza especial en el apilado. Existe el sistema Haener, donde se incorpora elementos de engrape obteniendo así el trabado. En las unidades de arcilla Keybric-Morandi, incluye en su sistema, tarugos de plástico que permiten el engrape entre unidades y a la vez su alineamiento. El sistema KLB, que está compuesto por unidades de concreto liviano celular, logra el engrape en función del aplastamiento de las superficies de contacto.



**Figura 31.** Unidades apilables

(a) Bloques apilables de concreto liviano celular, (b) unidades apilables en Perú

Fuente: Gallegos y Casabonne (2005)

*“Las unidades apilables con el tiempo han evolucionado en materiales y formas, contándose con bloques que no requieren de mortero y en su lugar estas unidades cuentan con protuberancias y ranuras para su interconexión” (Wei Ken y otros, 2018).*

La Norma E.070 (2006), define a la unidad apilable, como la unidad de albañilería alveolar que no requiere de mortero para ser asentada.

#### **2.2.3.2. Mortero.**

La Norma E.070 (2006), en su definición dice que el mortero es una mezcla de aglomerantes, agregado fino y agua con características de ser trabajable, adherente evitando la segregación de los agregados.

#### **2.2.3.3. Concreto líquido o grout.**

A este componente de la albañilería, la Norma E.070 (2006), lo define como un material producto de la mezcla de cemento, agregados y agua cuya consistencia es fluida, el uso se da en la albañilería armada para integrar al refuerzo que se coloca dentro de los alvéolos.

#### **2.2.3.4. Acero de refuerzo.**

La Norma E.070 (2006), nos dice que la armadura deberá cumplir con lo establecido en la Norma Barras de Acero con resaltes para Concreto Armado (NTP 341.031).

#### **2.2.3.5. Concreto.**

El concreto deberá cumplir con los requisitos establecidos en la Norma E.60 Concreto Armado (Norma E070, 2006) y su resistencia a la compresión debe ser mínima de 17,15 MPa (175 kg/cm<sup>2</sup>), material que se empleará en los elementos de confinamiento.

#### **2.2.4. Propiedades físicas y mecánicas de las unidades de albañilería.**

De acuerdo a San Bartolomé, Quiun y Silva (2011) y a lo indicado por Gallegos y Casabonne (2005), las propiedades de las unidades proporcionan datos ideales sobre la resistencia de la albañilería y también de su durabilidad ante el intemperismo. También asocian las propiedades de la unidad con la resistencia y con la durabilidad que a continuación se indican:

### **Propiedades de la unidad asociadas con la resistencia de la albañilería:**

- Resistencia a la Compresión y Tracción.
- Variabilidad Dimensional y Alabeo.
- Succión.
- Textura de la cara de asiento.

### **Propiedades de la unidad asociadas con la durabilidad de la albañilería:**

- Resistencia a la Compresión y Densidad.
- Eflorescencia, Absorción y Coeficiente de Saturación.

#### **2.2.4.1. Propiedades físicas.**

- Variabilidad dimensional.

San Bartolomé y otros (2011) sustentan que es una propiedad física que influye en el comportamiento resistente del muro. A mayor variación dimensional, mayor espesor de la junta, trayendo consigo menor resistencia a compresión y la fuerza cortante del muro de albañilería. La prueba de variación dimensional es necesaria efectuarla con la finalidad de determinar el espesor de las juntas de la albañilería. Además, indica que, por cada incremento de 3 mm en el espesor de las juntas horizontales adicionales al mínimo requerido de 10 mm, la resistencia a compresión de albañilería disminuye en 15%, produciendo también la resistencia al corte.

Gallegos y Casabonne (2005), consideran que la variabilidad dimensional trae como consecuencia el incremento del espesor de la junta de mortero y por ende una albañilería menos resistente en compresión.

La Norma E.070 (2006), indica que, para determinar la variación dimensional de las unidades de albañilería de concreto, se debe seguir el procedimiento estipulado en la NTP 399.604.

La variabilidad dimensional está expresada en porcentaje, de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$V = \frac{ME-MP}{ME} \times 100 \dots\dots\dots Ecuación 1$$

Donde:

V = Variabilidad dimensional (%)

ME = Medida especificada por el fabricante (mm)

MP= Medida promedio (mm)

- Alabeo.

San Bartolomé, Quiun y Silva (2011), señalan que el alabeo es una propiedad física que determina la concavidad o convexidad del ladrillo, desviaciones que conducen a un mayor espesor de la junta; además, pueden disminuir el área de contacto con el mortero la adherencia con el mortero en zonas con mayor alabeo; o incluso, pueden producir fallas de tracción por flexión en la unidad por el peso de las hiladas superiores de la albañilería.

La Norma E.070 (2006), indica que, para determinar el alabeo de las unidades de albañilería, se debe cumplir con el procedimiento que rige la NTP 399.613.

- Absorción.

La absorción y absorción máxima es el resultado de restar los pesos de unidad en estado mojado menos el peso de la unidad en estado seco y se expresa en porcentaje respecto al peso de la unidad seca; el coeficiente de saturación es la relación entre los resultados de estos porcentajes, (Gallegos y Casabonne, 2005).

La Norma E.070 (2006), señala que la absorción en las unidades de arcillas y sílico calcáreas no debe ser mayor al 22%, y de 12% en los bloques de concreto; (San Bartolomé, Quiun y Silva (2011), nos dicen que el porcentaje de la absorción de los bloques de concreto es menor debido a que las unidades de concreto son más vulnerables a la humedad de la intemperie, lo que originaría variación volumétrica. La Norma E.070 (2006), cita a la NTP 399.604 para la ejecución de los ensayos correspondientes en unidades de concreto. Para el ensayo se utilizarán unidades enteras o especímenes cortados y los cálculos se determinarán con la ecuación 2 (NTP 399.604, 2002).

La absorción se expresa en porcentaje según la siguiente ecuación:

$$A = \frac{W_s - W_d}{W_d} \times 100 \dots \dots \dots \text{Ecuación 2}$$

Donde:

A= Absorción (%)

Ws = Peso saturado (gr)

Wd = Peso seco al horno (gr)

### 2.2.4.2. Propiedades mecánicas

- Resistencia a la compresión de las unidades.

La Norma E.070 (2006), indica que, para obtener la resistencia a la compresión de las unidades de albañilería de concreto, se debe seguir con el procedimiento según la NTP 339.604 y que la resistencia característica a compresión axial ( $f'_b$ ) no es más que la resta de una desviación estándar al valor promedio de la muestra. Por lo tanto, la resistencia a la compresión  $f_b$ , se determina dividiendo la carga de rotura entre el área bruta expresada en MPa de acuerdo a las ecuaciones:

$$f_b = \frac{P_{max}}{A_b} \dots\dots\dots Ecuación 3$$

$$f'_b = f_b - \sigma \dots\dots\dots Ecuación 4$$

Donde:

$f_b$  = Resistencia a la compresión promedio (MPa).

$P_{max}$  = Carga máxima (KN).

$A_b$  = Promedio del área bruta ( $m^2$ ).

$f'_b$  = Resistencia a la compresión característica (MPa).

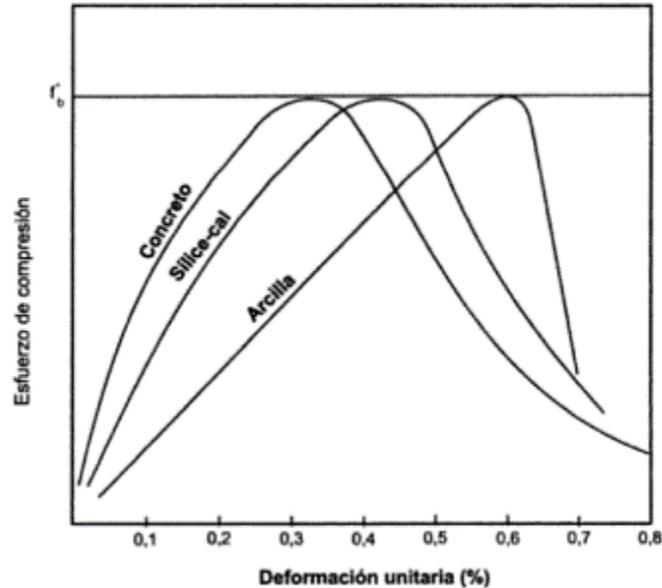
$\sigma$  = Desviación estándar.

Por su parte San Bartolomé, Quiun y Silva (2011), no dicen que el cálculo de la resistencia a compresión se expresa como el valor de la carga de rotura dividida entre el área bruta; además, remarcan que la resistencia a compresión ( $f'_b$ ) expresa sólo la calidad de la unidad, ensayada bajo las mismas condiciones, es decir a mayor resistencia se obtendrá mayor densidad y mejor durabilidad de la unidad.

Gallegos y Casabonne (2005), explican que es la propiedad principal de la unidad de albañilería y la que determina la resistencia a la compresión del muro de albañilería ( $f'_m$ ), además acotan que esta propiedad no es fácil de medir debido a la gran variedad de formas y dimensiones de las unidades. La resistencia a la compresión, tal como se mide actualmente en ensayos de compresión estándar, es función no sólo de la resistencia intrínseca de la masa, sino de la altura del testigo e inclusive de su forma. Consecuentemente, los valores obtenidos tan solo indican en forma general el comportamiento estructural de diferentes unidades que integran la albañilería asentada con mortero o cuando se encuentran llenas con concreto líquido. Respecto a la durabilidad debe ser analizada teniendo en consideración los resultados de los ensayos absorción máxima y coeficiente de saturación.

En el ensayo de compresión, si se dispone de máquinas que miden la reacción del testigo frente a la aplicación de deformación controlada, se obtienen curvas completas esfuerzo -deformación unitaria. En la Figura 32 se muestran las curvas normalizadas para unidades de arcilla, de concreto y sílice-cal (ensayo en compresión), donde se puede observar lo siguiente:

- Ante carga de compresión, las unidades elaboradas con diferentes materias primas presentan comportamientos diferentes.
- Los módulos de elasticidad, medidos como la pendiente de la secante a la mitad de la resistencia última ( $1/2 f'_b$ ), se puede estimar en  $400f'_b$  para las unidades de arcillas,  $800f'_b$  para las unidades de sílice-cal y  $1000f'_b$  para las unidades de concreto.
- Las deformaciones unitarias correspondientes al esfuerzo de rotura ( $f'_b$ ) son aproximadamente 0.6% para unidades de arcilla, 0.45% para unidades de sílice-cal y 0.3% para unidades de concreto.
- Las unidades de arcilla muestran comportamientos más frágiles que las de concreto y sílice-cal.



**Figura 32.** Curvas normalizadas esfuerzo de compresión ( $f'_b$ ) vs. deformación unitaria  
Fuente: Gallegos y Casabonne (2005)

Por lo tanto, el módulo de elasticidad ( $E_b$ ) de los ladrillos, se obtendrá de la gráfica esfuerzo vs. Deformación unitaria, datos que se obtienen con las ecuaciones:

$$\sigma = \frac{P}{A} \dots \dots \dots \text{Ecuación 5}$$

$$\varepsilon_u = \frac{\varepsilon_t}{h} \dots \dots \dots \text{Ecuación 6}$$

Donde:

$\sigma$ : Esfuerzo (kg/cm<sup>2</sup>)

P: Carga Aplicada (kN)

A: Área en la que se aplica la carga (cm<sup>2</sup>)

$\varepsilon_u$ : Deformación unitaria (mm)

$\varepsilon_t$ : Deformación total (adimensional)

h: Altura del ladrillo (mm)

#### 2.2.5. Pruebas clasificatorias de las unidades de albañilería.

La Norma E.070 (2006), considera como ensayos para la clasificación de los ladrillos a la variación dimensional, alabeo y absorción.

#### 2.2.6. Aceptación de la unidad.

Las indicaciones de la Norma E.070 (2006) aplicables para la aceptación de unidades de concreto son:

- Si la muestra presenta más de 20% de dispersión en los resultados (coeficiente de variación), para las unidades producidas industrialmente, o 40 % para unidades producidas artesanalmente, se ensayará otra muestra y de persistir esa dispersión de resultados, se rechazará el lote.
- La absorción del bloque de concreto clase P, no será mayor que 12% y del bloque de concreto NP, no será mayor que 15%.
- La unidad de albañilería no tendrá material extrañas en sus superficies o en su interior.
- La unidad de albañilería no tendrá daños de ninguna naturaleza (resquebrajaduras, fracturas, hendiduras, grietas, etc.) que afecten su durabilidad o resistencia.

### 2.2.7. Clasificación de las unidades de albañilería para fines estructurales.

Según la NTP 339.601 (2015), los ladrillos de concreto se clasifican en 4 tipos:

- Tipo 24, Para uso como unidades de enchape arquitectónico y muros exteriores sin revestimiento y para uso donde se requiere alta resistencia a la compresión y resistencia a la penetración de la humedad y a la acción severa del frío.
- Tipo 17, Para uso general donde se requiere moderada resistencia a la compresión y resistencia a la acción del frío y a la penetración de la humedad.
- Tipo 14, De uso general donde se requiere moderada resistencia a la compresión.
- Tipo 10, Para uso general donde se requiere moderada resistencia a la compresión.

La misma norma presenta los requisitos de resistencia y absorción de los ladrillos y se muestra en la tabla 2.

**Tabla 2. Requisitos de resistencia y absorción**

Resistencia a la compresión, mín. MPa, respecto al área bruta promedio			Absorción de agua, máx. %
Tipo	Promedio de 3 unidades	Unidad Individual	(Promedio de 3 unidades)
24	24	21	8
17	17	14	10
14	14	10	12
10	10	8	12

Fuente: NTP 339.601 (2015)

Respecto a las dimensiones, se permite una variación de  $\pm 3.2$  mm ( $\pm 1/8$  pulgada) de las dimensiones estándar especificadas por el fabricante. Considerando que el ladrillo puede ser macizo o hueco, el área neta de la sección transversal del ladrillo hueco en cada plano paralelo a la superficie que contiene los huecos deber ser por lo menos el 75% del área de la sección transversal bruta medida en el mismo plano y ninguna parte de algún agujero debe estar a menos de 19.1 mm (3/4 pulgada) de algún borde del ladrillo (NTP 339.601, 2015).

La Norma E.070 (2006), señala las características de las unidades de albañilería para efectos estructurales, valores que se presentan en las tablas 3; además, la misma norma limita a las unidades de albañilería para fines estructurales de acuerdo al tipo de unidades y zonas sísmicas según se indica en la tabla 4.

**Tabla 3. 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 VI	± 4	± 3	± 2	4	12,7 (130)
Ladrillo V	± 3	± 2	± 1	2	17,6 (180)
Ladrillo P <sup>(1)</sup>	± 4	± 3	± 2	4	4,9 (50)
Ladrillo 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

Fuente: NT E.070 (2006)

**Tabla 4. Limitaciones en el uso de la unidad de albañilería para fines estructurales**

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.

Fuente: NT E.070 (2006)

## **2.2.8. Propiedades de la albañilería no reforzada o simple**

### **2.2.8.1. Modelaje, especímenes y ensayos.**

Las resistencias que presenta la albañilería a la compresión, tracción y corte definen el comportamiento estructural de los diferentes elementos que la componen ante la acción de solicitaciones reales. Los especímenes de albañilería sometidos a ensayos, presentan un comportamiento producto de la acción heterogénea de sus componentes (unidad, mortero y/o concreto líquido). Por lo tanto, el modelaje es complicado, por las características anisotrópicas de la albañilería y debido a que, en la práctica las cargas no se presentan, como en el ensayo, aisladas de efectos de borde y otras interacciones. Además, dada la complejidad y altos costos para realizar ensayos en la albañilería, los ensayos prácticos se han determinado escogiendo delimitadas orientaciones preferentes para la carga (Gallegos y Casabonne 2005) y que se indican a continuación.

- Para ensayos de compresión, se aplica carga coplanar perpendicular a la hilada, que corresponde a la acción gravitacional en muros con hiladas horizontales. El valor obtenido es útil para analizar el comportamiento de muros de corte ante la acción conjunta de las cargas de gravedad y las acciones sísmicas, donde se presentan elevados esfuerzos de compresión, principalmente verticales, en los talones comprimidos.
- La tracción coplanar se genera en los ensayos aplicando fuerzas de corte, con la finalidad de producir tracciones indirectas. Para esto, se toman tres ángulos con relación a la hilada de 0°, 45° y 90°; los resultados posibilitan, interpolando entre los valores medidos, la determinación de la resistencia en cualquier dirección intermedia. La resistencia a la tracción coplanar define el comportamiento para combinaciones de cargas gravitacionales y horizontales coplanares, originadas por sismo y viento.
- Para ensayos de tracción por flexión, se aplica carga perpendicular al plano, a fin de generar flexiones paralelas y perpendiculares a la hilada, permitiendo la determinación de los módulos de ruptura de la albañilería en sus dos direcciones. La información sirve para analizar el comportamiento de muros sometidos a carga perpendicular a su plano, que pueden tener condiciones de apoyo de borde variadas.
- El ensayo de cizalle en la junta horizontal del mortero, se utiliza para evaluar la resistencia al corte. La junta, sometida al mismo tiempo al corte en su plano y

compresión vertical (perpendicular a éste), puede ser el plano de falla de muros de albañilería simple y albañilería confinada.

### **2.2.8.2. Naturaleza de la albañilería y criterios de falla.**

La elaboración de criterios de fallas, en cargas coplanares deben contemplar los posibles modos de falla en tracción y en corte de cizalle a lo largo de las juntas horizontales y verticales; para el último caso es necesario considerar el efecto de las compresiones perpendiculares a la junta. También, se debe tener en cuenta los efectos de tracción transversal generados por la diferencia en las características elásticas de los materiales componentes. Por lo tanto, la descripción cuantitativa de la falla en albañilería debe basarse en los diversos modos en que en la albañilería puede ocurrir por ser un material compuesto (Gallegos y Casabonne 2005).

### **2.2.8.3. Ensayos en prismas de albañilería simple.**

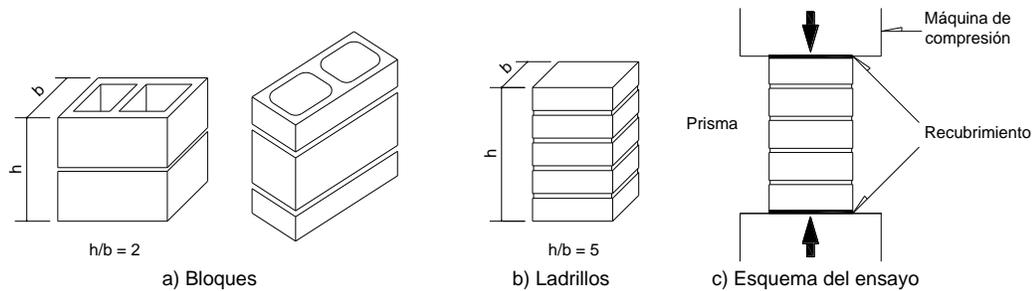
Por su parte San Bartolomé, Quiun y Silva (2011), sostienen que la albañilería simple es el material estructural que proporciona resistencia a compresión y a fuerza cortante, así como la mayor parte de la rigidez lateral, toda vez que el refuerzo que se emplea en la albañilería confinada como armada sirve tan sólo para hacer dúctil al sistema. Por lo que consideran de suma importancia conocer sus propiedades y que se efectúan con ensayos en prismas de albañilería simple, señalando a la vez que los ensayos en pilas y muretes permiten determinar:

- La resistencia característica a compresión ( $f'm$ ) y a corte ( $V'm$ ) de la albañilería.
- Los módulos de elasticidad ( $Em$ ) y de corte ( $Gm$ ).
- Las formas de falla.
- La calidad de la albañilería y de la mano de obra.

Dentro de los prismas de albañilería simple, la Norma E.070 (2006) considera a las pilas y muretes.

#### **A. Pilas**

El espécimen para determinar la resistencia a la compresión está estandarizado, y consiste en un prisma de unidades superpuestas asentadas con mortero y si son unidades huecas asentadas o apiladas, se llenan con concreto líquido.



**Figura 33.** Prismas estándar para ensayos de compresión  
Fuente: Gallegos y Casabonne (2005).

### A.1. Ensayos de compresión en Pilas

San Bartolomé, Quiun y Silva (2011), explican que el ensayo de compresión en pilas de albañilería sirve para determinar la resistencia a compresión axial ( $f'_m$ ) referida al área bruta de la sección transversal; acotan también que, si se instrumenta y registra la deformación axial en la pila, facilita la obtención del módulo de elasticidad de la albañilería ( $E_m$ ).

- **Esbeltez de la pila**

La esbeltez es la relación entre la altura de la pila y su espesor, considerando al espesor como la menor dimensión de la sección transversal. También mencionan que el valor de la esbeltez debe estar entre 2 y 5, aun cuando los valores más representativos del comportamiento de la albañilería oscilan entre 4 y 5 (San Bartolomé, Quiun y Silva, 2011).

Según Gallegos y Casabonne (2005), la esbeltez para prismas de ladrillos estará entre 2 y 5, y el alto no será menor de 30 cm; para el caso de prismas de bloques estará entre 1.5 y 3, el alto no será menor de 30 cm.

Mientras que la Norma E.070 (2006), indica una esbeltez estándar de 5 y para la NTP 399.605 (2013), la esbeltez estándar es 2.

- **Técnica de ensayo**

El ensayo se realiza en una máquina universal de compresión, aplicando carga en un ritmo controlado, hasta la presencia de la falla, la duración de ensayo debe estar comprendida entre 3 y 4 minutos; además acotan que, si el ensayo se ejecuta controlando

la velocidad de aplicación de carga, esta puede ser de 5 ton/min y cuando es posible medir el desplazamiento entre los cabezales del equipo de ensayo, la velocidad podría ser de 1 mm/min (San Bartolomé, Quiun y Silva, 2011).

Para prismas contruidos, se debe aplicar una carga inicial al prisma de la mitad de la carga total esperada para luego aplicar la carga remanente a una tasa uniforme en no menos que 1 y no más de 2 minutos (NTP 399.605, 2013).

- **Resistencia característica a compresión axial ( $f'_m$ )**

La resistencia individual a compresión axial de una pila ( $f_m$ ) se obtiene de la división entre la carga de rotura y el área bruta de la sección transversal, debiendo ser corregido por el factor de esbeltez según lo indicado en la tabla 5, y si la edad de la pila es distinta a la estándar por el factor de acuerdo a la tabla 6.

Concluidos los ensayos de todas las pilas, se obtiene el valor promedio ( $f_m$ ) y la desviación estándar ( $\sigma$ ), con lo que se calcula la resistencia característica ( $f'_m$ ), restando al valor promedio una desviación estándar, es decir:

$$f_m = \frac{P}{Ab} \dots\dots\dots \text{Ecuación 7}$$

$$f'_m = f_m - \sigma \dots\dots\dots \text{Ecuación 8}$$

Donde:

$f_m$  = Resistencia a compresión axial (MPa)

P = Fuerza máxima que resiste la pila (MPa)

Áb = Área bruta transversal a la fuerza (mm<sup>2</sup>)

$\sigma$  = Desviación estándar

**Tabla 5. Factores de corrección de  $f'_m$  por esbeltez**

Descripción	Valores					
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

Fuente: NT E.070 (2006)

**Tabla 6. Incremento de  $f'_m$  y  $V'_m$  por edad**

	Edad	14 días	21 días
<b>Muretes</b>	Ladrillos de arcilla	1,15	1,05
	Bloques de concreto	1,25	1,05
<b>Pilas</b>	Ladrillos de arcilla y Bloques de concreto	1,10	1,00

Fuente: NT E.070 (2006)

La Norma E.070 (2006), señala que la resistencia a la compresión axial de la albañilería ( $f'_m$ ), y a corte ( $V'_m$ ) se puede determinar usando las tablas o registros históricos de resistencia de las unidades o ejecutando ensayos de prismas, considerando la importancia de la edificación y a la zona sísmica donde se encuentre, tal como se indica en la tabla 7.

**Tabla 7. Métodos para determinar  $f'_m$  y  $V'_m$**

Resistencia Característica	Edificios de 1 a 2 pisos			Edificios de 3 a 5 pisos			Edificios de más de 5 pisos		
	Zona Sísmica			Zona Sísmica			Zona Sísmica		
	3	2	1	3	2	1	3	2	1
$(f'_m)$	A	A	A	B	B	A	B	B	B
$(V'_m)$	A	A	A	B	A	A	B	B	A

A: Obtenida de manera empírica conociendo la calidad del ladrillo y del mortero.

B: Determinadas de los ensayos de compresión axial de pilas y compresión diagonal de muretes mediante ensayos de laboratorio de acuerdo a lo indicado en la NTP 399.605 y 399.621.

Fuente: Norma E.070 (2006)

La misma norma indica que, de ensayos realizado en pilas y prismas con mortero 1:4 para unidades de arcilla y 1:1/2:4 para unidades de sílice-cal o concreto se obtuvieron resultados que se muestran en la tabla 8 y que se pueden utilizar cuando no se hayan ejecutado los respectivos ensayos, es exigencia realizar ensayos para otros tipos de unidades o morteros.

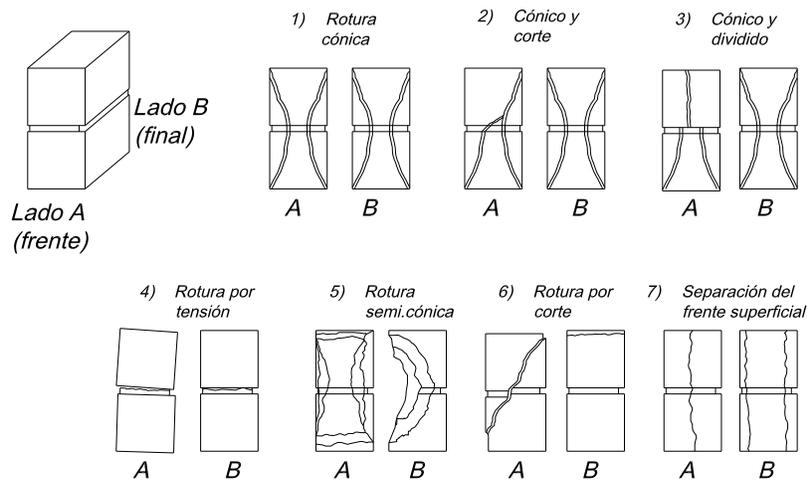
- **Formas de falla en pilas.**

El comportamiento y tipo de falla de las pilas ante cargas axiales, nos dicen San Bartolomé, Quiun y Silva (2011) que dependen de la interacción que exista entre las caras

de asiento de las unidades y el mortero. Además, sostienen que “Las unidades y el mortero tienen diferente rigidez. Entonces, al ser sometidos al mismo esfuerzo normal, y al estar integrados los materiales, el material menos deformable (generalmente las unidades) restringe las deformaciones transversales del material más deformable (el mortero), introduciéndole esfuerzos de compresión en la dirección transversal, que se traducen en tracciones laterales sobre la unidad, que dan lugar a las grietas verticales”.

De otro lado, hacen notar que la falla ideal de las pilas de albañilería presenta una grieta vertical en la cara de menor dimensión atravesando unidades y mortero.

Respecto al modo de fallo, la NTP 399.605 (2013), presenta los esquemas que se muestran en la figura 34.

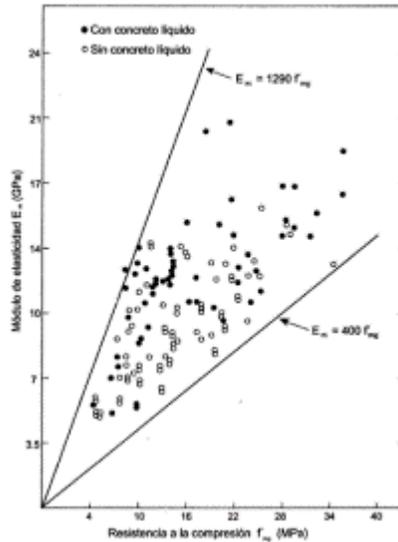


**Figura 34.** Formas de falla en pilas.  
Fuente: NTP 399.605 (2013)

- **Módulo de elasticidad ( $E_m$ )**

Respecto al módulo de elasticidad de la albañilería, Gallegos y Casabonne (2005) indican que entender el gráfico esfuerzo-deformación unitaria en compresión posibilita determinar el módulo de elasticidad. Además, este valor se realiza, normalmente, al 50% del valor de la resistencia última, para tener en cuenta el comportamiento no lineal de la materia. Concluyen diciendo que, el módulo de elasticidad puede determinarse basándose en resultados empíricos. De acuerdo a esta evaluación los valores del módulo de elasticidad ( $E_m$ ) iniciales, se encuentra entre los  $400f'_m$  y los  $1000f'_m$  para albañilería de ladrillos de arcilla y sílice-cal respectivamente y asentados con mortero y los valores de lindero

correspondientes a la albañilería de bloques de concreto con y sin concreto líquido está comprendido entre  $400f'_m$  y los  $1290f'_m$ . En la figura 35 se presentan los resultados del módulo de elasticidad en función de ensayos de compresión ( $f'_m$ ) experimentales en bloques con y sin concreto líquido.



**Figura 35.** Determinación del módulo de elasticidad ( $E_m$ ) de la albañilería  
Fuente: Gallegos y Casabonne (2005).

Por su parte San Bartolomé, Quiun y Silva (2011), nos dicen que contando con la gráfica carga vertical ( $P$ ) – desplazamiento axial ( $D$ ), considerando la parte más lineal de esta, se calcula el módulo de elasticidad, se debe eliminar la parte inicial que grafica el reacomodo de los instrumentos. Por lo general la porción de la gráfica en análisis está comprendida entre el 10% y el 50% de la carga de rotura. En consecuencia, se emplea la siguiente ecuación:

$$E_m = \frac{(P_{50\%} - P_{10\%})/A}{(\epsilon_{50\%} - \epsilon_{10\%})/L_i} \dots \dots \dots \text{Ecuación 9}$$

Donde:

$E_m$  = Módulo de elasticidad.

$P_{50\%}$  y  $P_{10\%}$  = Carga axial al 50% y al 10%

$\epsilon_{50\%}$  y  $\epsilon_{10\%}$  = Deformación al 50% y al 10%

$A$  = Área de la sección transversal

$L_i$  = Longitud inicial

La Norma E.070 (2006), indica que el módulo de elasticidad para la albañilería se considera como sigue:

- Unidades de arcilla

$$E_m = 500 f_m \dots \dots \dots \text{Ecuación 10}$$

- Unidades Sílico-calcáreas

$$E_m = 600 f_m \dots \dots \dots \text{Ecuación 11}$$

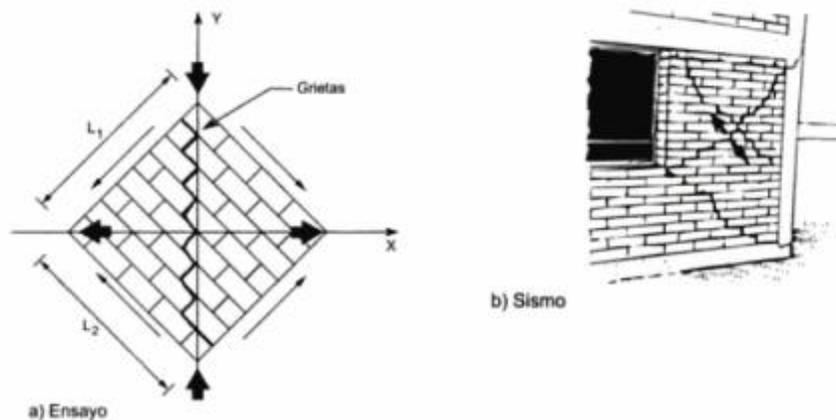
- Unidades de concreto vibrado

$$E_m = 700 f_m \dots \dots \dots \text{Ecuación 12}$$

## B. Muretes

- **Ensayo de compresión diagonal en muretes.**

Gallegos y Casabonne (2005), refieren que el ensayo más utilizado para determinar la resistencia al corte o resistencia a la tracción diagonales, es probablemente, el de compresión diagonal o de corte teniendo en consideración la similitud de falla entre el muro de ensayo y muros después de acciones sísmicas; también indican que muchos investigadores lo han considerado como un ensayo representativo ideal, sin embargo, la realidad es que las condiciones de borde son por lo general muy diferentes entre ensayo y realidad.

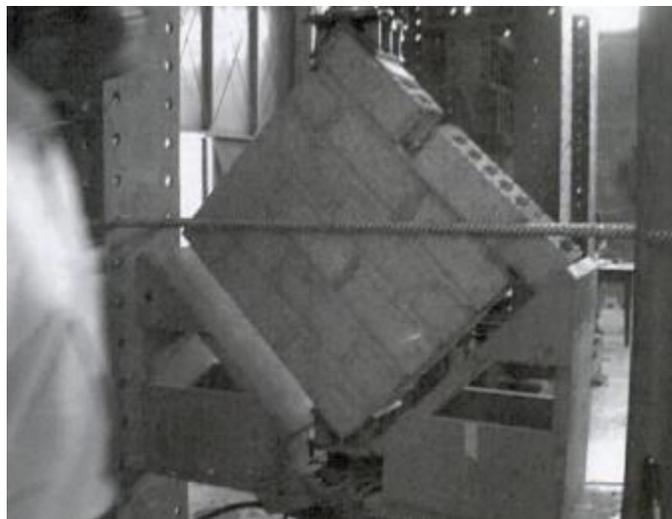


**Figura 36.** Similitud de la falla en el ensayo de corte y sismo  
Fuente: Gallegos y Casabonne (2005)

San Bartolomé, Quiun y Silva (2011), acotan que el ensayo a compresión diagonal en muretes de albañilería sirve para determinar la resistencia característica a corte puro ( $v'_m$ ) y de ser el caso que se instrumente y registren las deformaciones diagonales, se determinará el módulo de corte de la albañilería ( $G'_m$ ).

- **Técnica de ensayo.**

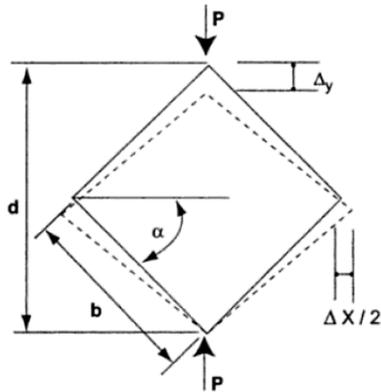
Gallegos y Casabonne (2005), refieren que el testigo para el ensayo es un murete de forma cuadrada y que su lado nominal mide 1.20 m, se ejecuta de la albañilería cuyas características se están por determinar y del espesor del muro en estudio. Según investigaciones, se puede usar especímenes de menor dimensión siempre y cuando se calibren los resultados. También manifiestan que el ensayo consiste en cargar diagonalmente el murete con una carga de compresión creciente y a un ritmo controlado hasta la rotura.



**Figura 37.** Ensayo de corte murete con ladrillos de concreto  
Fuente: Gallegos y Casabonne (2005)

También nos dicen que en el ensayo se cuenta con una deformación por corte la misma que se puede calcular con la siguiente ecuación:

$$\epsilon = \frac{\Delta x + \Delta y}{2d} \left( \tan \alpha + \frac{1}{\tan \alpha} \right) \dots \dots \dots \text{Ecuación 13}$$



**Figura 38.** Esquema de deformación de panel.  
Fuente: Gallegos y Casabonne (2005)

Se establece que, los especímenes serán muretes cuadrados mínimos de 600 mm x 600 mm, abarcando por lo menos dos unidades enteras por hilada y el espesor debe ser el mismo del muro que se está ensayando. Estos ensayos se realizarán en mínimo tres muretes iguales y con las mismas características y mano de obra. Respecto a la aplicación de carga se pueden realizar ensayos sin instrumentación y con instrumentación; para los primeros la carga se debe aplicar en forma continua hasta la carga última y esta se puede aplicar a cualquier velocidad hasta la mitad del valor máximo esperado, después de lo cual se ajustarán los controles del equipo de manera que el resto de la carga se aplique a un velocidad uniforme de 1 tonelada por minuto, o a un velocidad tal que la carga máxima se alcance entre 1 a 2 minutos Para ensayos con instrumentación que sirven para medir deformaciones o deformaciones unitarias, se aplicará la carga a incrementos adecuados que arrojen velocidades indicadas en el párrafo anterior. Se debe escoger los incrementos de manera que se obtengan por lo menos 10 lecturas de deformaciones o de deformación unitaria, para determinar la curva esfuerzo-deformación unitaria. Tales lecturas deberían obtenerse para cargas tan cercanas a la carga última como sea posible (NTP 399.621, 2004. revisada el 2015)

La misma norma nos dice que los cálculos para hallar el esfuerzo cortante en los muretes sobre la base del área bruta de la diagonal cargada, será a través de la siguiente ecuación:

$$Vm = \frac{0,707 Pu}{Ab} \dots\dots\dots Ecuación 14$$

Donde:

$V_m$  = esfuerzo cortante sobre el área bruta, en MPa

$P_u$  = carga aplicada, en N

$A_b$  = área bruta del espécimen, en mm<sup>2</sup>, calculada como sigue:

$$A_b = \frac{l+h}{2} t \dots\dots\dots \text{Ecuación 15}$$

Donde:

$l$  = largo del murete, en mm.

$h$  = altura del murete, en mm.

$t$  = espesor total del murete, en mm.

- **Resistencia característica a corte puro ( $V'_m$ )**

San Bartolomé, Quiun y Silva (2011), mencionan que la resistencia unitaria a corte puro de un murete ( $V_m$ ), se obtiene dividiendo la carga de rotura entre el área bruta de la diagonal cargada ( $D_t$ ) sin tener en cuenta el tipo de unidad de albañilería, que es igual a dividir la carga diagonal proyectada en la dirección de las hiladas entre el área bruta de la hilada ( $L t$ ) en muretes cuadrados.

Una vez ensayados todos los muretes, se obtiene el valor promedio ( $V_m$ ) y la desviación estándar ( $\sigma$ ) de la muestra ensayada, para después evaluar, de acuerdo a la Norma E.070 (2006) del RNE la resistencia característica ( $V'_m$ ), se obtiene restando al valor promedio una desviación estándar:

$$V'_m = V_m - \sigma \dots\dots\dots \text{Ecuación 16}$$

El restar una desviación estándar al valor promedio, estadísticamente, significa que el 84% de los muretes ensayados tendrán una resistencia mayor que el valor característico. Paralelamente puede obtenerse la dispersión porcentual de resultados como:  $100 (\sigma / V_m)$ . Una dispersión superior al 30 % es inaceptable, y quiere decir que existen fallas en la mano de obra o que los materiales utilizados no tienen la calidad adecuada (San Bartolomé, Quiun y Silva 2011).

La Norma E.070 (2006), referencia que el valor de  $V'_m$  para diseño no será mayor de  $0,319 \sqrt{f'_m}$  MPa ( $\sqrt{f'_m}$  (kg/cm<sup>2</sup>)). De otro lado indica que, de no realizarse ensayos de

prismas, podrá emplearse los valores que se muestran en la tabla 8, sin embargo si el tipo de unidad o mortero es diferente se deben realizar los ensayos respectivos.

**Tabla 8. Resistencias características de la albañilería**

Materia prima	Denominación	Unidad	Pilas	Muretes
		$f'_b$ <i>Mpa (kg/cm<sup>2</sup>)</i>	$f'_m$ <i>Mpa (kg/cm<sup>2</sup>)</i>	$V'_m$ <i>Mpa (kg/cm<sup>2</sup>)</i>
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)
	King Kong Normal	15,7 (160)	10,8 (110)	1,0 (9,7)
Sílice - cal	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)

(\*) Utilizados para la construcción de Muros Armados.

(\*\*) El valor  $f'_b$  se proporciona sobre área bruta en unidades vacías (sin grout), mientras que las celdas de la pilas y muretes están totalmente rellenas con grout de  $f'_c = 13,72$  Mpa (140 kg/cm<sup>2</sup>). El valor  $f'_m$  ha sido obtenido contemplando los coeficientes de corrección por esbeltez del prisma que aparece en la Tabla 5.

Fuente: Norma E.070 (2006)

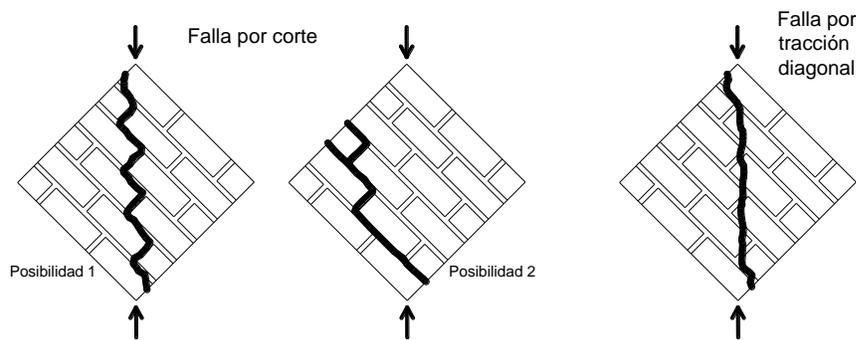
#### • Formas de Falla

San Bartolomé, Quiun y Silva (2011), sostienen que la resistencia a corte puro y la forma de falla respectiva dependen mucho del grado de adherencia que se desarrolle en la interfase unidad-mortero. De los resultados que se obtienen de los ensayos en los muretes, puede predecirse tanto la resistencia a fuerza cortante como la forma de falla que tendrán los muros a escala natural. También detallan que cuando la adherencia entre unidades es óptima, la falla atraviesa tanto las unidades como el mortero, en cambio cuando no se tiene una buena adherencia unidad-mortero, la falla es escalonada a través de las juntas. Describen también, otras formas de falla tal como a continuación se indica:

- Por deslizamiento, que se presenta cuando la adherencia unidad-mortero de la junta horizontal es muy débil.

- Por trituración local de la unidad, ubicada en la zona de contacto con el cabezal angular del equipo de ensayo, falla que se presenta cuando los ladrillos son huecos.

La forma de falla del testigo es generalmente por corte o por tracción diagonal y cuando las unidades son huecas o perforadas, o de muy reducida resistencia, el testigo puede fallar por aplastamiento a consecuencia de la compresión diagonal, esta falla puede ser de características explosivas. En general cuando no hay pre compresiones o estas son muy reducidas, la falla tiende a presentarse siguiendo el sentido de las juntas horizontales y verticales a un ángulo aproximado de 45° con la hilada y cuando se aplican pre compresiones las grietas pueden atravesar unidades, y el ángulo de falla depende de su magnitud; los hechos conducen a establecer que la falla, en este ensayo ocurre cuando la tracción principal alcanza su valor crítico (Gallegos y Casabonne 2005).



**Figura 39.** Formas de falla en muretes  
Fuente: Gallegos y Casabonne (2005)

- **Módulo de corte ( $G_m$ )**

El módulo de corte se puede obtener de los resultados del ensayo de corte, siempre que se hayan instrumentado los muretes para que se midan las deformaciones en ambas diagonales. Durante el ensayo se registra la gráfica carga (P) – desplazamiento (D) y para calcular  $G_m$ , se trabaja con la parte más lineal de la gráfica. Por lo general, la porción de la gráfica en análisis está comprendida entre el 10% y 50% de la carga de rotura (San Bartolomé, Quiun y Silva, 2011), para lo cual se emplea la siguiente ecuación:

$$G_m = \frac{P_{50\%} - P_{10\%} / A_{diagonal}}{(\varepsilon_{H50\%} - \varepsilon_{10\%}) / L_{Hi} + (\varepsilon_{V50\%} - \varepsilon_{V10\%}) / L_{Vi}} \dots \dots \dots \text{Ecuación 17}$$

Donde:

$G_m$  = Módulo de corte.

$P_{50\%}$  y  $P_{10\%}$  = Carga axial al 50% y al 10%

$\epsilon_{H50\%}$  y  $\epsilon_{H0\%}$  = Deformación horizontal al 50% y al 10%

$\epsilon_{V50\%}$  y  $\epsilon_{V10\%}$  = Deformación vertical al 50% y al 10%

A diagonal = Área diagonal del murete

$L_{Hi}$  y  $L_{Vi}$  = Longitudes iniciales horizontal y vertical

La Norma E.070 (2006), proporciona el módulo de corte para los casos donde no se hayan realizado ensayos, y es el siguiente:

- Para unidades de albañilería sin excepción:

$$G_m = 0,4 E_m \dots \dots \dots \text{Ecuación 18}$$

Al respecto, San Bartolomé, Quiun y Silva (2011), aseveran que emplear este valor, es aceptar un módulo de Poisson para la albañilería igual a 0.25.

### C. Tripletes

- **Ensayo de resistencia al corte de los elementos de acople.**

En países europeos se tienen normas para caracterizar el comportamiento de las juntas con mortero cuando éstas son consideradas como una interface, para lo cual realizan los ensayos conforme lo indican los códigos del Comité Europeo de Normalización (EN 1052-3, 2003) donde utilizan ensamblajes (muestras) formadas por tres piezas unidas con mortero (Araiza, 2005).

Flores y otros (2013), nos dicen que para contar con datos de la adherencia de la junta, el ensayo se debe realizar con tres piezas (figura 40) para evaluar la resistencia ante esfuerzo cortante directo según la norma mexicana, la misma que propone ecuaciones que evalúan el área de aplicación de la carga y el esfuerzo de adherencia, respectivamente:

$$S = 2dt \dots \dots \dots \text{Ecuación 19}$$

$$\tau_d = P/S \dots \dots \dots \text{Ecuación 20}$$

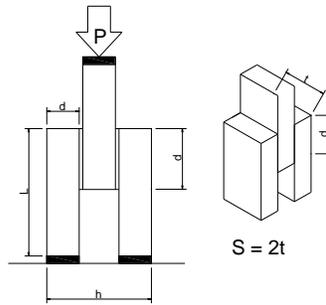
Donde:

d: dimensión del área de contacto entre piezas

t: ancho de las piezas

S: área de aplicación de carga actuante máxima

$\tau_d$ : Esfuerzo de adherencia



**Figura 40** Esquema de probetas ensayadas  
Fuente: Flores y otros (2013)

Esta propiedad mecánica no está normada para la albañilería en el Perú, la investigación la ha tomado en cuenta considerado su importancia ya que estos elementos son los conectores entre unidades y la resistencia al corte es un parámetro inherente a la mampostería en estudio.

La presente investigación ha considerado la siguiente ecuación:

$$Ve = \frac{P}{S} \dots \dots \dots \text{Ecuación 21}$$

Donde:

Ve = Resistencia al corte de acoples (kg/cm<sup>2</sup>)

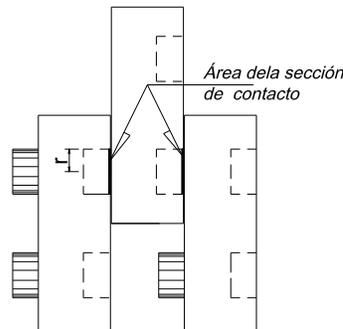
P = Máxima fuerza que resiste el elemento de acople (kg)

S = Área de la sección del elemento de acople

Tomando como:

$$S = 2\pi r^2 \dots \dots \dots \text{Ecuación 22}$$

Dado que es el área del círculo que forma el elemento de acople y para el caso son dos áreas de contacto tal como se muestra en la figura 41.



**Figura 41** Esquema de tripletes

### 2.2.9. Propiedades de la Albañilería Reforzada o Estructural.

*“La resistencia de la albañilería simple a tracción es reducida y frágil. Por ello, si bien la albañilería es perfectamente competente para ser utilizada en los muros de estructuras en que las cargas a ser transmitidas son esencialmente gravitacionales –en las que, por ende, predominan los esfuerzos de compresión-, cuando se debe usar en estructuras en que ocurren esfuerzos de tracción o en que se demanda comportamiento dúctil, su competencia estructural es recortada y, en casos de acciones sísmicas severas, nula. Para superar estas limitaciones es necesario reforzar la albañilería”* (Gallegos y Casabonne, 2005).

#### 2.2.9.1. Ensayos de comportamiento sísmico.

Los estudios e investigaciones realizadas en el Perú descritos por Gallegos y Casabonne (2005) y San Bartolomé, Quiun y Silva (2011), muestran cuatro técnicas de ensayo para muros de albañilería: Ensayo de carga lateral monotónica creciente (ensayo estático), Ensayo de carga lateral cíclica, Ensayo de simulación sísmica y Ensayo pseudo-dinámico.

#### **Ensayo de carga lateral monotónicamente creciente (ensayo estático).**

San Bartolomé, Quiun y Silva (2011), describen la técnica indicando que la carga será en aumento con una cierta velocidad hasta conseguir la falla diagonal de la albañilería, en el proceso se debe controlar los desplazamientos hasta el colapso del espécimen. Nos dicen que la desventaja de esta técnica es que no contempla los deterioros cíclicos que producen los desplazamientos sobre la albañilería.

Los ensayos se realizan en muros a escala reducida o natural, para lo cual los muros deben cumplir con los requisitos estructurales de la Norma E.070 (2006), pudiendo ser:

Espesor efectivo del muro (t), calculado con la ecuación:

$$t \geq \frac{h}{20} \text{ (para sísmicas 2 y 3) } \dots\dots\dots \text{Ecuación 23}$$

Donde:

h: es la altura libre entre los elementos de arriostre horizontales o la altura efectiva de pandeo.

Acero de refuerzo de los elementos de confinamiento, calculado según la ecuación:

$$A_s \text{ mín} = \frac{0.1 (f'c) A_c}{f_y} \dots\dots\dots \text{Ecuación 24}$$

Donde:

As min: Acero mínimo (cm<sup>2</sup>)

f'c: Resistencia del concreto (kg/cm<sup>2</sup>)

Ac: Área del elemento (cm<sup>2</sup>)

f<sub>y</sub> : Fluencia del acero (kg/cm<sup>2</sup>)

Los muros fueron analizados teórica y experimentalmente, los parámetros teóricos se encuentran estipulados en la Norma E.070 (2006) y son:

**a) Rigidez Lateral**

La rigidez lateral teórica K, se halla considerando a los muros en voladizo. Para conseguir la rigidez lateral teórica es indispensable hacer la transformación del concreto de las columnas de confinamiento en elementos equivalentes de albañilería y emplear la siguiente fórmula:

$$K = \frac{E}{\frac{h^3}{3I} + \frac{fh(\frac{E}{G})}{A}} \dots\dots\dots \text{Ecuación 25}$$

Donde:

K: Rigidez lateral (ton/m).

E: Módulo de elasticidad experimental (kg/cm<sup>2</sup>).

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

I: Inercia de la sección transformada no agrietada (cm<sup>4</sup>).

f: Factor de forma.

G: Módulo de corte experimental.

A: Área de la sección transversal del muro (cm<sup>2</sup>)

El valor “n” de la sección transformada es el cociente del módulo de elasticidad del concreto entre el módulo de elasticidad de la albañilería; la norma E.070 nos indica que el módulo de elasticidad del concreto de los elementos de confinamientos está dado por la ecuación:

$$E_c = 15000\sqrt{f'c} \dots\dots\dots \text{Ecuación 26}$$

Donde:

$f'_c$ : Resistencia del concreto de las columnas de confinamiento (kg/cm<sup>2</sup>)

Momento de Inercia de los muros

El momento de inercia de los muros se calculará con la siguiente ecuación:

$$I = I_{CM} + A * d^2 \dots\dots\dots Ecuación 27$$

Donde:

$I_{CM}$ : Momento de inercia respecto al eje que pasa por el centro de masas (cm<sup>2</sup>)

A: Área (cm<sup>2</sup>)

d: distancia que separa ambos ejes

Factor de forma

El factor de forma (f), se halla con la ecuación:

$$f = \frac{A_T}{A_A} \dots\dots\dots Ecuación 28$$

Donde:

$A_T$ : área total de la sección transformada (cm<sup>2</sup>).

$A_A$ : área del alma (cm<sup>2</sup>)

Módulo de elasticidad

El módulo teórico de elasticidad ( $f'_m$ ) se obtendrán según las ecuación 12.

Módulo de corte

El módulo de corte teórico ( $G_m$ ), se obtendrá según la ecuación 18.

**b) Carga asociada a la primera fisura**

Para determinar teóricamente la carga asociada a la primera fisura, se toma el criterio de la sección transformada no agrietada.

El esfuerzo de tracción máximo al cual está sujeto el muro se iguala a la capacidad de tracción del concreto ( $2\sqrt{f'c}$ ) transformando a la albañilería, según la ecuación:

$$\sigma_t = \frac{M y}{I} = \frac{f'c t}{n} = \frac{2\sqrt{f'c}}{n} \dots\dots\dots \text{Ecuación 29}$$

Donde:

$\sigma_t$ : Esfuerzo de tracción máximo.

$M = F$ : Carga asociada a la primera fisura x h (Ton).

$I$ : Inercia de la sección transformada no agrietada ( $\text{cm}^4$ ).

$f'c$ : Resistencia a la compresión del concreto de los elementos de confinamiento ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ).

$n = E_c / E_m$

$y$ : Distancia del centroide al extremo traccionado (cm).

Despejando:

$$F = \frac{2\sqrt{f'c} I}{h n y} \dots\dots\dots \text{Ecuación 30}$$

**c) Agrietamiento diagonal**

La resistencia al corte ( $V_m$ ), se determina mediante la expresión que indica la Norma E.070 (2006):

$$V_m = 0.5 V'm \cdot \alpha \cdot t \cdot L + 0.23 P_g \dots\dots\dots \text{Ecuación 31}$$

Donde:

$V_m$ : Resistencia la corte (ton)

$V'm$ : Resistencia característica a corte de la albañilería ( $\text{ton}/\text{m}^2$ ).

$P_g$ : Carga gravitacional de servicio, con sobrecarga reducida (Norma E.030 Diseño Sismoresistente).

$t$ : Espesor efectivo del muro (m).

$L$ : Longitud total del muro (m).

$\alpha$ : Factor de reducción de resistencia al corte por efectos de esbeltez, calculado como:

$$\alpha = \frac{V L}{M} = \frac{V L}{V h} = \frac{L}{h} \dots\dots\dots \text{Ecuación 32}$$

Donde:

$h$ : Altura del muro (m).

#### d) Distorsión angular

La Norma E.070 (2006), indica que el límite máximo de la distorsión angular debe ser en 1/200.

#### e) Capacidad Resistente

De acuerdo a la Norma E.070 (2006), para muros de sección rectangular la capacidad resistente a flexión "Mn", se calcula con la siguiente ecuación:

$$Mn = As f_y D + P_u \frac{L}{2} \dots \dots \dots \text{Ecuación 33}$$

Donde:

Mn: Momento flector nominal máximo

As: Área del refuerzo vertical en el extremo del muro

D = 0.8 L

Pu: Carga axial en un muro

L: Longitud total del muro

La fuerza cortante asociada es:

$$V_f = \frac{M_n}{h} \dots \dots \dots \text{Ecuación 34}$$

Donde:

h = altura del muro.

Esta carga corresponde a la fuerza cortante que logra la fluencia del acero del refuerzo colocado, puede incrementarse si el concreto entra en la etapa de endurecimiento.

#### Tipo de falla esperada

Comparando las resistencias  $V_f$  y  $V_m$ , se puede determinar teóricamente el tipo de falla; cuando  $V_m < V_f$ , el muro falla por corte con una grieta diagonal.

### 2.3. Definición de términos básicos.

**Albañilería o mampostería.** *“Material estructural compuesto por “unidades de albañilería” asentadas con mortero o por “unidades de albañilería” apiladas, en cuyo caso integradas con concreto líquido” (Norma E.070, 2006).*

**Albañilería no reforzada.** *“Albañilería sin refuerzo (albañilería simple) o con refuerzo que no cumple con los requisitos de la norma” (Norma E.070, 2006).*

**Albañilería reforzada o estructural.** *“Albañilería armada o confinada, cuyo refuerzo cumple con las exigencias de la norma” (Norma E.070, 2006).*

**Albañilería confinada.** *“Albañilería reforzada con elementos de concreto en todo el perímetro” (Norma E.070, 2006).*

**Confinamiento.** *“Conjunto de elementos de concreto armado, tanto horizontales como verticales, cuya función es la de proveer ductilidad a un muro portante” (Norma E.070, 2006).*

**Unidad de albañilería.** *“Ladrillos y bloques de arcilla cocida, de concreto o de sílice-cal. Puede ser sólida, hueca, alveolar o tubular” (Norma E.070, 2006).*

**Unidad de albañilería apilable.** *“Es la unidad de albañilería alveolar que se asienta sin mortero” (Norma E.070, 2006).*

**Albañilería de junta seca.** *“Albañilería apilada sin el uso de mortero en las juntas horizontales y verticales” (San Bartolomé, Quiun y Silva, 2011).*

**Junta seca.** *“Interface de unión entre unidades de mampostería sin ligantes o morteros” (Norma E.070, 2006).*

**Acoplar.** *“Unir una pieza o cuerpo con otro de modo que ajusten exactamente” (RAE)*

## **CAPÍTULO III**

### **PLANTEAMIENTO DE LA HIPÓTESIS Y VARIABLES**

#### **3.1. Hipótesis.**

##### **3.1.1. Hipótesis general.**

Las propiedades físico mecánicas de ladrillos con dos acoples para albañilería de junta seca, si cumplen con lo mínimo especificado en la Norma E.070 (2006).

#### **3.2. Variables/categorías.**

##### **3.2.1. Variables.**

- Propiedades físicas.  
Variabilidad dimensional, Alabeo, Absorción.
- Propiedades mecánicas.  
Resistencia a la compresión en ladrillos y pilas, resistencia a la compresión diagonal en muretes, resistencia al corte de los elementos de acople.
- Comportamiento sísmico.  
Resistencia a carga lateral en muros a escala natural.

#### **3.3. Operacionalización de los componentes de la hipótesis.**

A fin de lograr la operacionalización de los componentes de la hipótesis, la investigación tomó en cuenta la matriz que se muestra en la tabla 9.

**Tabla 9. Operacionalización de los componentes de la hipótesis**

<b>Propiedades físico mecánicas de ladrillos con dos tipos de acoples para albañilería de junta seca</b>					
<b>Hipótesis</b>	<b>Definición conceptual de las variables</b>	<b>Definición operacional de las variables</b>			
		<b>Variables o categorías</b>	<b>Dimensiones / Factores</b>	<b>Indicadores / Cualidades</b>	<b>Fuente o instrumento de recolección de datos</b>
Hipótesis General: Las propiedades físico mecánicas de ladrillos con dos acoples para albañilería de junta seca, si cumplen con lo mínimo especificado en la Norma E.070	Propiedades físico mecánicas: Capacidad de resistencia de los ladrillos a fuerzas de compresión y de corte.	Propiedades físicas	Variabilidad dimensional	Largo, Ancho, Altura	Medidas de ladrillos (formato I)
			Alabeo	Concavidad, convexidad	Prueba de convexidad o concavidad del ladrillos (formato II)
			Absorción	Peso seco, Peso saturado	Prueba de absorción (formato IV)
		Propiedades mecánicas	Resistencia a la compresión en ladrillos	Área neta, Carga máxima	Ensayo de resistencia a la compresión en ladrillos (formato V)
	Resistencia a la compresión en pilas		Área, Carga máxima	Ensayo de compresión en pilas (formato VI)	
	Resistencia a la compresión diagonal en muretes		Área, Carga máxima	Ensayo de compresión diagonal en muretes (formato VII)	
	Resistencia al corte de los elementos de acople		Área, Carga máxima	Ensayo de resistencia al corte en tripletes (formato VIII)	
	Resistencia: Resistencia de muros a carga lateral	Comportamiento sísmico	Rigidez y ductilidad	Fuerza, Deformación	Ensayo de carga lateral monotónicamente creciente (formato IX)

## CAPÍTULO IV

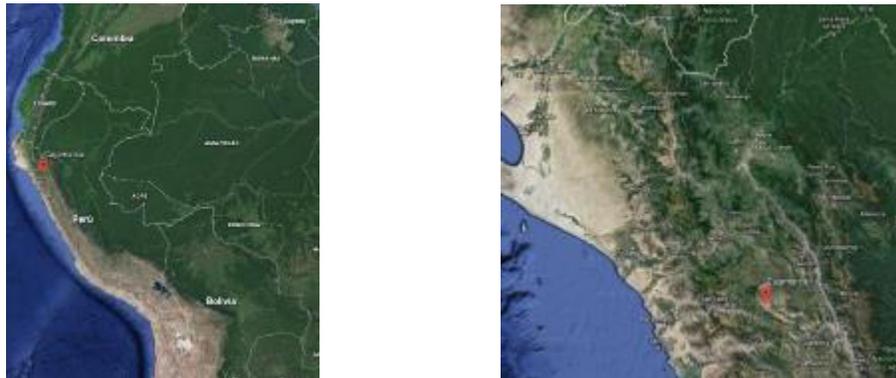
### MARCO METODOLÓGICO

#### 4.1. Ubicación geográfica.

La investigación se realizó en el distrito, provincia y departamento de Cajamarca, en el laboratorio de Ensayos de Materiales “Mg. Ing. Carlos Esparza Díaz”, edificio 1C de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca.

#### **Ubicación Cajamarca - Coordenadas UTM (Universal Transverse Mercator)**

E: 774186.83 m, N: 9208151.86 m, Altura: 2730 msnm, Uso: 17, Hemisferio: Sur



**Figura 42.** Fotografía satelital de la ubicación de Cajamarca  
Fuente: Google Earth

#### **Ubicación de Cantera de Agregados Río Chonta–Baños del Inca - Coordenadas UTM**

E: 779709.81 m, N: 9207577.45 m, Altura: 2663 msnm, Uso: 17, Hemisferio: Sur



**Figura 43.** Fotografía satelital de la ubicación de la Cantera de Agregados  
Fuente: Google Earth

### **Ubicación de Laboratorio de Ensayos de Materiales UNC - Coordenadas UTM**

E: 776599.77 m, N: 9206947.09 m, Altura: 2683 msnm, Uso: 17, Hemisferio: Sur

### **Ubicación de Laboratorio de Mecánica de Suelos G&S (Externo) - Coordenadas UTM**

E: 776599.77 m, N: 9206947.09 m, Altura: 2683 msnm, Uso: 17, Hemisferio: Sur



**Figura 44.** Fotografía satelital de la ubicación de Laboratorios

(a) Laboratorio UNC (b) Laboratorio externo

Fuente: Google Earth

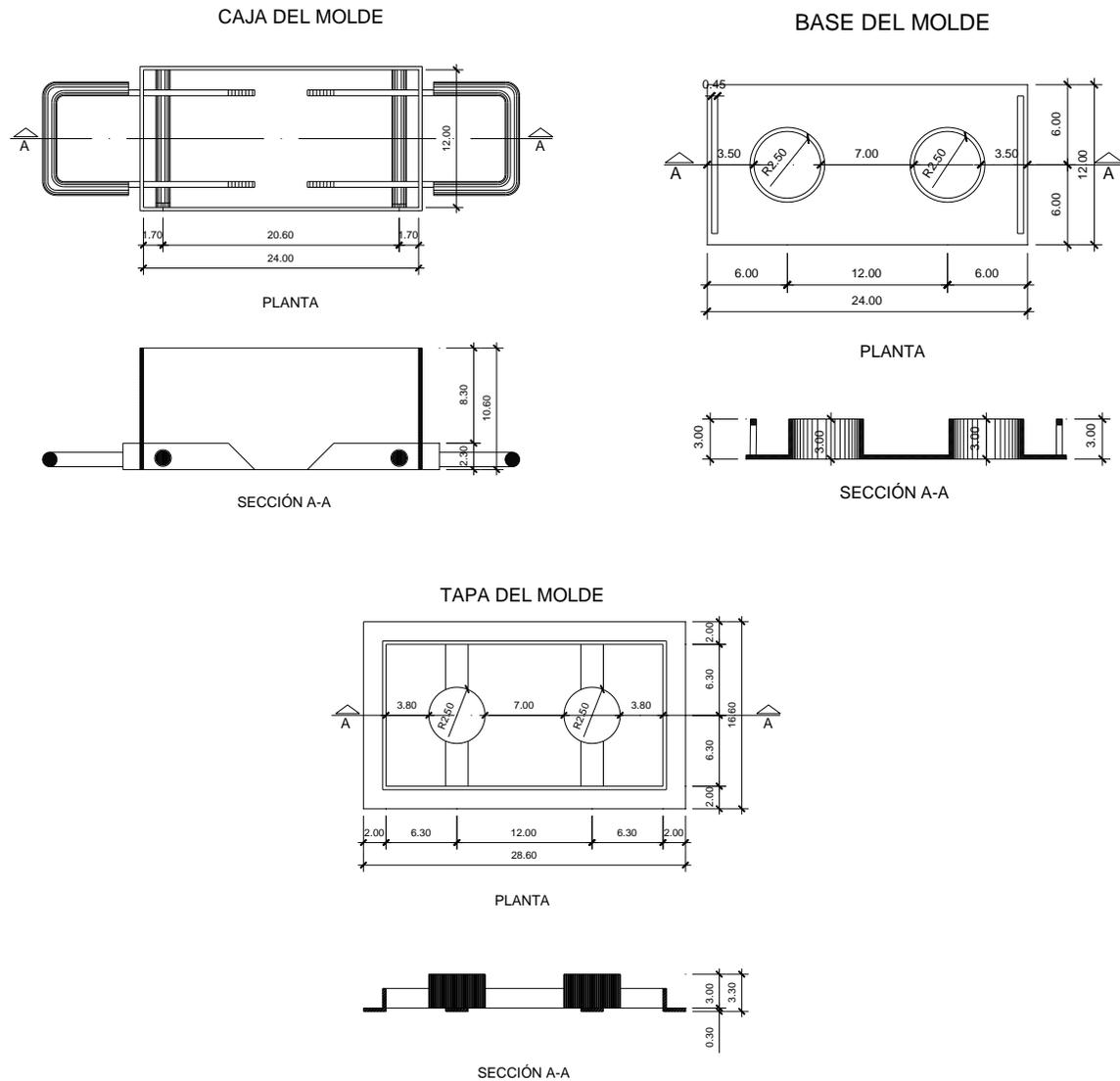
## **4.2. Diseño de la investigación.**

Para la presente investigación se plantearon todas las actividades secuenciales y organizadas desde la revisión de literatura, ensayos, recolección y análisis de datos y obtención de resultados referente a las propiedades físico mecánicas de los ladrillos con dos acoples.

### **4.2.1. Planteamiento y fabricación del molde de ladrillos**

#### **Esquema y fabricación del molde**

Dado que el ladrillo propuesto para la investigación no se encuentra en el mercado, se planteó y fabricó el molde para la elaboración de los ladrillos con dos acoples. El planteamiento de este molde fue para una estructura de acero de 1/8" compuesto por tres partes denominadas: caja, base y tapa, molde que arroja las dimensiones para un ladrillo de 240.00 mm x 120.00 mm x 82.00 mm, presentando en una de las caras de asiento dos prominencias en forma cilíndrica de un diámetro de 5 cm y una altura de 3 cm que embonan en los orificios de la otra cara de asiento, el esquema para el molde de los ladrillos se muestra en la figura 45 cuyas medidas se encuentran en centímetros.



**Figura 45.** Molde de ladrillo

#### 4.2.2. Ensayos de los agregados.

Los agregados, fino y grueso fueron ensayados de acuerdo a las normas ASTM, según se indican:

##### Agregado fino

- Contenido de humedad, ASTM D4643 / D 2216.
- Análisis granulométrico, ASTM C136.
- Peso específico y absorción del agregado fino, ASTM C128.

### Agregado grueso

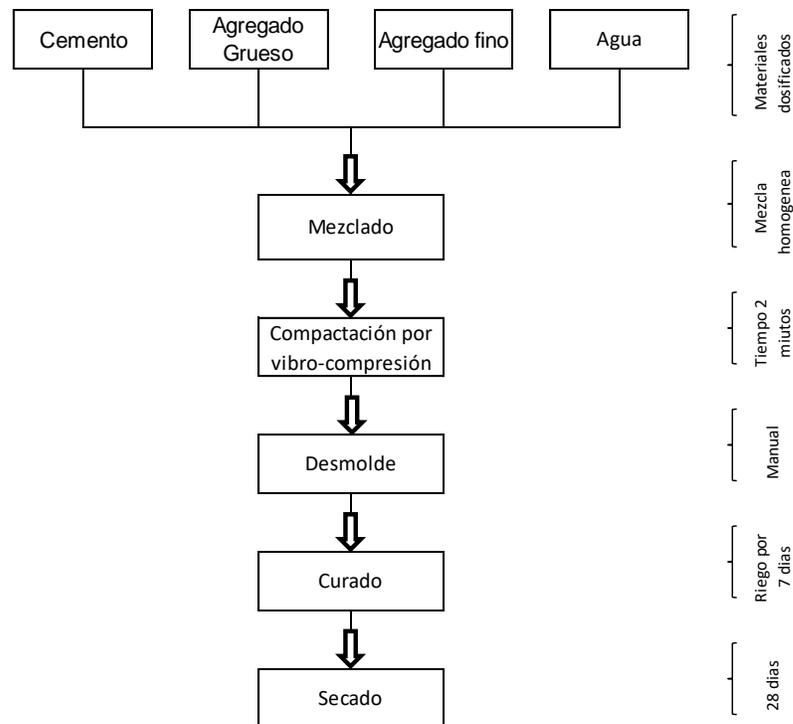
- Contenido de humedad, ASTM D4643 / D 2216.
- Análisis granulométrico, ASTM C136
- Peso específico del agregado grueso, ASTM C127.
- Peso unitario de los agregados, ASMT C29.

### 4.2.3. Diseño de mezcla para concreto de resistencia a la compresión $f'_c = 175$ kg/cm<sup>2</sup>.

Con los resultados obtenidos en los ensayos a los agregados, se realizó el diseño de mezcla según el Método ACI para los concretos de resistencia a la compresión  $f'_c = 175$  kg/cm<sup>2</sup>, concreto utilizado en la fabricación de los ladrillos con dos acoples y construcción viga de cimentación, columnas y viga solera.

### 4.2.4. Fabricación de las unidades de albañilería.

La fabricación de las unidades de concreto cumplió el procedimiento indicado en la figura 46.



**Figura 46.** Fabricación de ladrillos de concreto

#### 4.2.5. Ensayos en las unidades de albañilería.

Para la investigación se elaboraron mil cien unidades de ladrillos de concreto con las características del molde citado en el punto 4.2.1; de estos ladrillos se realizó el muestreo por conveniencia, seleccionándose 760 unidades para todos los ensayos de la investigación, se consideró lo indicado en la Norma E.070 (2006) que dice: *“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 de dimensiones y alabeo”*.

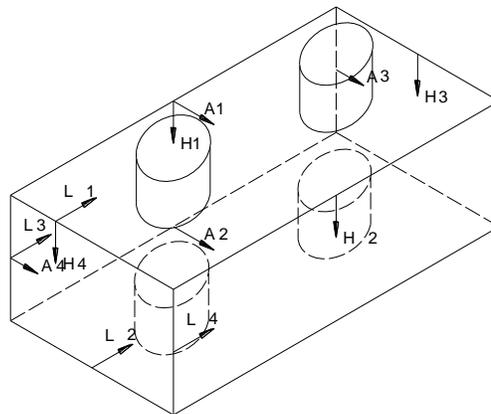
##### 4.2.5.1. Ensayos clasificatorios.

Los ensayos clasificatorios fueron, variabilidad dimensional, alabeo y compresión en ladrillos. Estos ensayos se realizaron con la finalidad de identificar su aplicación en diseños estructurales.

##### Variabilidad Dimensional

Para este ensayo se emplearon 10 unidades y consistió en medir la longitud, el ancho y la altura principalmente en la longitud media de cada cara de cada una de las diez unidades utilizando un Vernier (pie de rey) con aproximación al milímetro, la ubicación de las medidas se muestran en la Figura 47.

La variabilidad dimensional está expresada en porcentaje, y sus valores se obtuvieron con la ecuación 1.



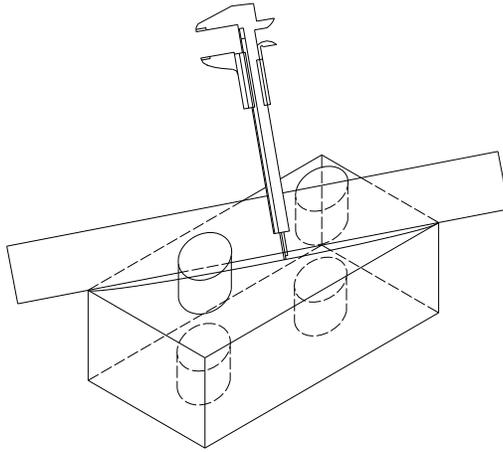
**Figura 47.** Ubicación de las mediciones en las unidades.

Los resultados se promediaron obteniéndose los valores que se muestran en la Tabla 13.

## Alabeo

Esta prueba, consistió en determinar la convexidad o concavidad de las unidades empleando una regla metálica y un Vernier, colocando la regla en forma diagonal a las caras o bordes y la medición de la concavidad o convexidad con el Vernier en forma perpendicular a la cara o borde de la unidad (Figura 48).

Los resultados se promediaron indicándose en milímetros enteros y se muestran en la Tabla 14.



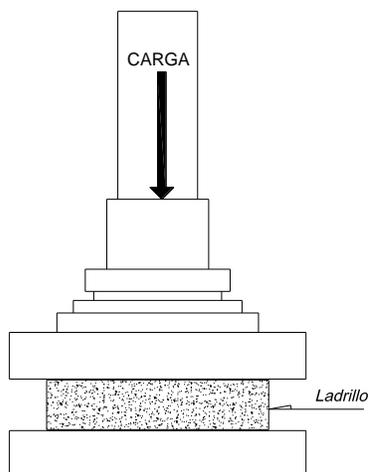
**Figura 48.** Medición del alabeo en unidades.

## Resistencia a la compresión de unidades

La resistencia a la compresión se la realizó con cada una de las 10 unidades enteras y a una edad de 28 días. Para ejecutar el ensayo, se eliminaron las prominencias existentes en las unidades a fin de obtener las dos caras completamente planas; se pesaron las unidades y se midieron el largo, ancho y alto para luego ser ensayadas en la máquina universal, aplicando la carga en un promedio de 1 minuto y medio.

La resistencia a compresión  $f_b$ , se determinó dividiendo la carga de rotura entre el área bruta y la resistencia a compresión característica  $f'_b$  se consiguió restando una desviación estándar al promedio de los resultados, en el desarrollo se aplicaron las ecuaciones 3 y 4.

Los resultados de los ensayos de resistencia a compresión de las unidades se muestran en la Tabla 15.



**Figura 49.** Esquema de ensayo de compresión en ladrillos.

#### **Cálculo del módulo de elasticidad ( $E_b$ ) en ladrillos.**

Al realizar el ensayo de compresión simple, se instaló un deformímetro, para medir las deformaciones totales cada 20 KN de carga aplicada, con los resultados se dibujó la gráfica Esfuerzo vs Deformación Unitaria a través de un diagrama de dispersión.

El módulo de elasticidad se calculó en el límite proporcional elástico obtenido de la gráfica esfuerzo – deformación unitaria.

El esfuerzo y la deformación unitaria se obtuvieron con ecuaciones 5 y 6.

Los resultados se muestran en la Tabla 16.

#### **4.2.5.2. Ensayos no clasificatorios.**

El ensayo no clasificatorio realizado fue el de Absorción

#### **Absorción**

El ensayo consistió en secar los 10 especímenes en el horno controlando la temperatura a 110°C y luego de 24 horas fueron pesados, el peso se realizó tantas veces hasta no contar con variaciones. Se dejaron enfriar los ladrillos durante cuatro horas a temperatura ambiente, luego se introdujeron en un recipiente lleno de agua potable durante 24 horas y transcurrido este periodo se pesaron las unidades. El cálculo de la absorción se realizó con la ecuación 2.

Los resultados se expresan en la Tabla 17.

#### 4.2.6. Ensayos en la albañilería simple.

En la investigación, se construyeron especímenes para verificar el comportamiento de un muro de albañilería, determinándose la resistencia a la compresión, módulo de elasticidad, resistencia al corte y módulo de corte.

##### 4.2.6.1. Ensayos en pilas.

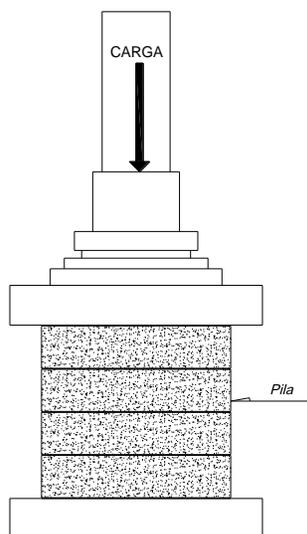
##### Ensayo a la resistencia a compresión en pilas

##### Procedimiento constructivo

Se construyeron 10 pilas de cuatro hiladas con ladrillos que cumplieron los 28 días de edad; para la construcción de las pilas los ladrillos fueron superpuestos acoplándose sin la necesidad de mortero.

##### Instrumentación y montaje

El peso se obtuvo con una balanza de 30 Kg de aproximación a 0.01 g, se procedió a medir la altura (h) y el espesor efectivo (t). El ensayo se realizó en la máquina de compresión aplicando una carga cada 10 KN, de otro lado se instaló un deflectómetro a fin de registrar las deformaciones y poder obtener las gráficas Esfuerzo vs. Deformación unitaria.



**Figura 50.** Esquema de ensayo de compresión en pilas

### **Cálculo de la resistencia a compresión axial en pilas**

Contando con el área transversal a la fuerza y el registro de la carga máxima, la resistencia a compresión axial, se calculó con la ecuación 7.

El valor obtenido se corrigió de acuerdo al factor de corrección por esbeltez de la pila. Este valor se ha determinado interpolando los datos de la tabla 5.

La resistencia característica se obtuvo al restar la desviación estándar a la resistencia a compresión, calculándose con la ecuación 8.

Los resultados se muestran en la Tabla 18.

### **Cálculo del módulo de elasticidad en pilas ( $E_m$ )**

En el ensayo de resistencia a la compresión en pilas, se colocó un deformímetro en la máquina de compresión con la finalidad de medir las deformaciones cada 10 KN de carga aplicada. Con los datos obtenidos se dibujó la gráfica Esfuerzo vs Deformación Unitaria, a través de un diagrama de dispersión para cada pila.

El módulo de elasticidad, se tomó de la gráfica Esfuerzo – Deformación Unitaria considerando el tramo comprendido entre el 10% y 50% y se empleó la ecuación 9.

Los resultados se presentan en la Tabla 19.

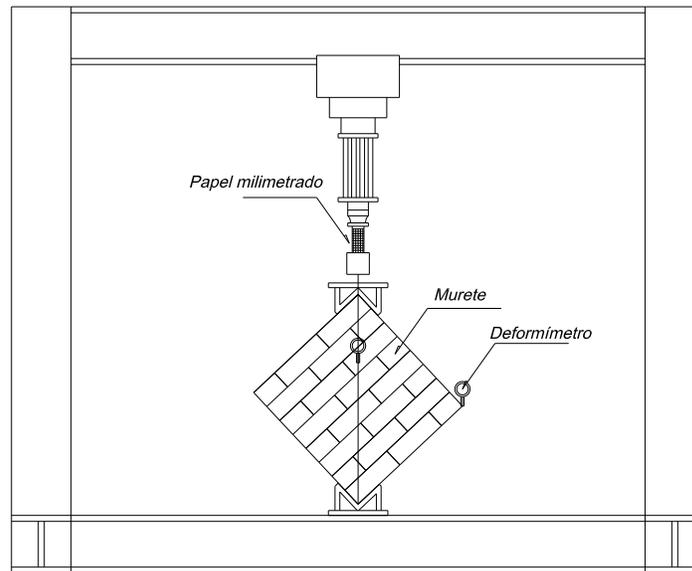
#### **4.2.6.2. Ensayos en muretes.**

##### **Procedimiento constructivo y de ensayo.**

Se construyeron diez muretes de 720 mm x 675 mm, con ladrillos de concreto que contaron con 28 días de edad; tal como se conformaron las pilas, los ladrillos fueron acoplados sin la necesidad de mortero, para el efecto se consideraron el alineamiento y verticalidad en los muretes.

##### **Instrumentación y Montaje.**

Se instaló cada murete con los ángulos de acero en los extremos asegurando que las diagonales cuenten con la verticalidad apropiada. Se instalaron dos deformímetros para medir la deformación vertical y horizontal (Fig. 48). La carga aplicada fue de 10 ton/min.



**Figura 51.** Esquema de ensayo a compresión diagonal en muretes.

### **Peso volumétrico**

El peso de cada murete se obtuvo de la suma de los pesos de los ladrillos que integraban cada murete y el peso volumétrico, se obtuvo de dividir el peso total entre el volumen total del murete.

Los resultados se muestran en la Tabla 20.

### **Cálculo de la resistencia al corte en muretes.**

La resistencia al corte puro ( $V_m$ ) resultó de dividir la carga máxima entre el área diagonal comprimida, según la ecuación 14 y la resistencia característica ( $V'_m$ ) es la resistencia al corte promedio menos una desviación estándar (Norma E.070, 2006), por lo que se empleó la ecuación 16.

Los resultados se aprecian en la Tabla 21.

### **Cálculo del módulo de corte en muretes**

El módulo de corte, se tomó de la gráfica Esfuerzo – Deformación Unitaria considerando el tramo comprendido entre el 10% y 50% y se empleó la ecuación 17.

Los resultados se presentan en la Tabla 22.

#### 4.2.6.3. Ensayos en tripletes

##### Procedimiento constructivo y de ensayo.

Se construyeron diez tripletes formados por tres unidades cada uno, tal como se muestra en la figura 52.

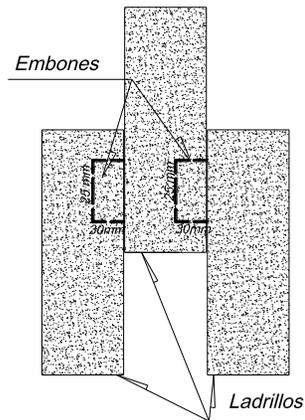


Figura 52. Esquema de tripletes

##### Instrumentación y Montaje.

El ensayo se realizó en la máquina de compresión aplicando la carga a una velocidad de 1.5 KN/segundo, hasta lograr la rotura de los elementos de acople en los tripletes.

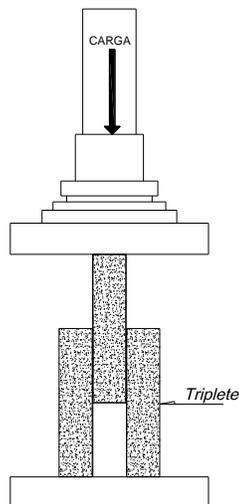


Figura 53. Esquema de ensayo a corte en tripletes

### Cálculo de la resistencia al corte de los elementos de acople

La resistencia al corte, resultó de dividir la carga máxima entre el área de contacto entre unidades embonadas según la ecuación 21.

Dado que el área del círculo de los elementos de acople es el área de contacto y para el caso son dos áreas de contacto, el área de la sección del elemento de acople se obtuvo con la ecuación 22.

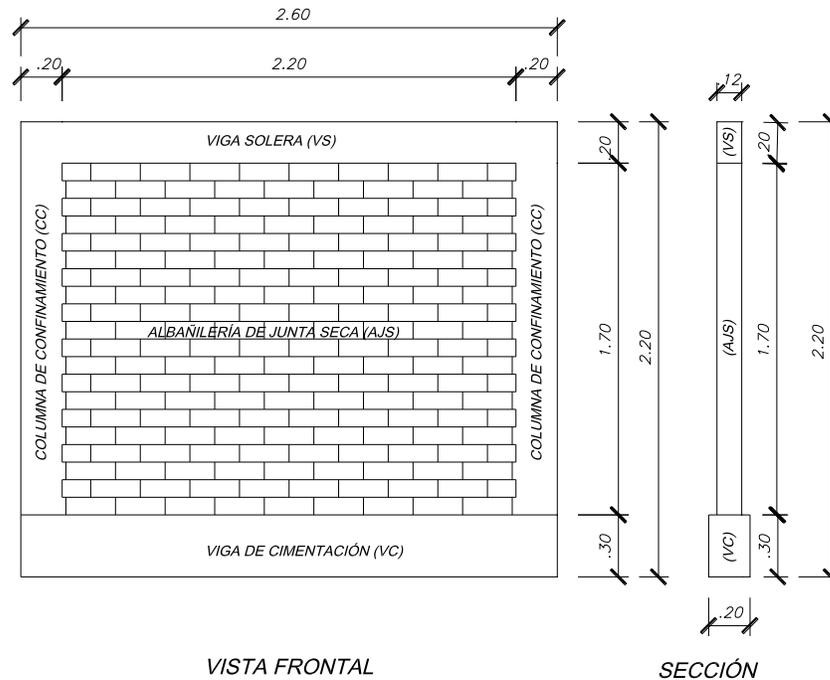
Los resultados se muestran en la Tabla 25.

#### 4.2.7. Ensayos en la albañilería reforzada o estructural.

Para realizar los ensayos de comportamiento sísmico fue necesario plantear, analizar teóricamente y construir dos muros a escala natural cumpliendo con los requisitos estructurales mínimos de la Norma E.070 (2006).

##### 4.2.7.1. Planteamiento de muros.

En la figura 54, se muestra la configuración planteada de los muros de albañilería de junta seca confinada.



**Figura 54.** Configuración de los muros de albañilería confinada

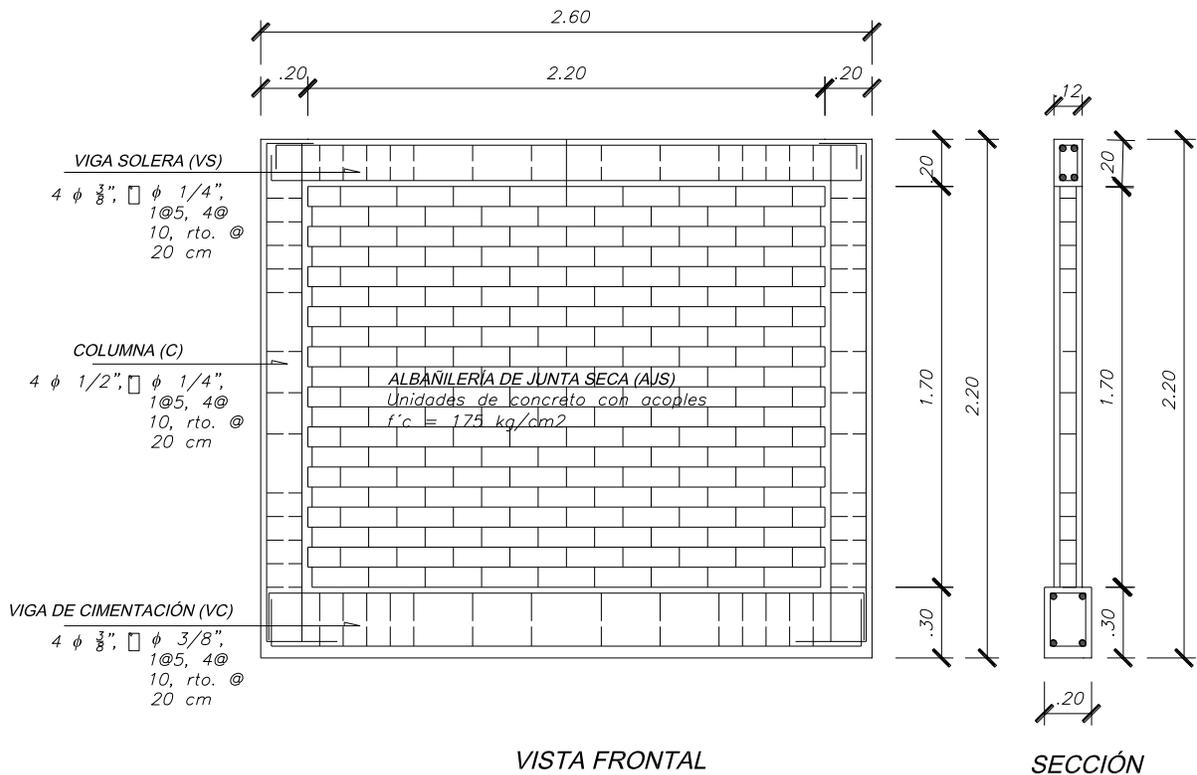
**Espesor Efectivo:** Para obtener el espesor mínimo en muros portantes, la NT E.070 (2006) toma en cuenta la zona sísmica donde se ubica la edificación. Cajamarca se encuentra en las zonas sísmicas 2 y 3 (NT E.030, 2016) por lo tanto, se verifica el cumplimiento del espesor del muro planteado con la ecuación 23.

La altura de los muros fue determinada de acuerdo a la altura del actuador del sistema de aplicación de carga de la máquina de la Universidad Nacional de Cajamarca.

El espesor efectivo se indica en el acápite 5.1.6.1

### Características de los muros

Los dos muros fueron confinados y contaron con los siguientes elementos: Viga de cimentación, columnas de confinamiento, albañilería de junta seca, viga solera; las características se presentan en la figura 55 y se detallan en la Tabla 26.



**Figura 55.** Características de los muros de albañilería confinada

## Acero de refuerzo

### Verificación previa del acero de refuerzo

El acero de los elementos de confinamiento fue calculado con los requisitos mínimos de la Norma E.070 (2006).

**Acero en columnas y vigas soleras:** Para calcular el acero mínimo de las columnas y vigas soleras se empleó la ecuación 24.

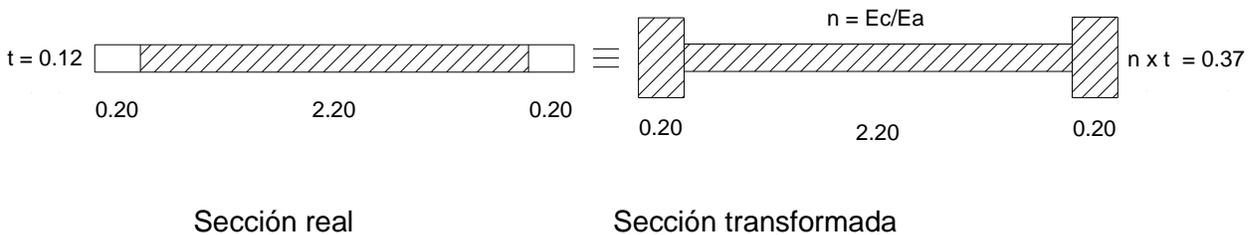
Los resultados de la verificación del acero de refuerzo en columnas y vigas soleras se muestran en la Tabla 27.

### 4.2.7.2. Análisis teórico de los muros a escala natural

#### Rigidez Lateral

El valor de la rigidez lateral teórica  $K$ , se halló estimando a los muros en voladizo, para lo cual fue necesario transformar las columnas de confinamiento en elementos equivalentes de albañilería; para hallar la sección transformada se requirió de la relación de elasticidad “ $n$ ” que es el cociente entre el módulo de elasticidad del concreto ( $E_c$ ) y el módulo de elasticidad de la albañilería ( $E_m$ ). El módulo de elasticidad de la albañilería se consiguió de la gráfica esfuerzo – deformación del ensayo resistencia a compresión de las pilas además de la ecuación 9 y el módulo de elasticidad del concreto se obtuvo con la ecuación 26. Los resultados de  $E_m$  se presentan en las Tabla 28 y de  $E_c$  en la Tabla 29.

La sección real y transformada para el análisis, se muestra en la en la figura 56 y las medidas se encuentran en metros, estos resultados también se aprecian en la Tabla 29.



**Figura 56.** Sección real y transformada de los muros

Además, fue indispensable contar con los resultados del momento de inercia, factor de forma y módulo de corte de la albañilería que se citan a continuación:

#### Momento de Inercia y factor de forma

El momento de inercia ( $I$ ) de los muros se calculó con la ecuación 27 y el factor de forma ( $f$ ) con la ecuación 28.

Los resultados del momento de inercia y factor de forma se indican en la Tabla 30.

#### Módulo de corte

El módulo de corte ( $G_m$ ), se ha obtenido de la gráfica esfuerzo – deformación del ensayo de resistencia al corte en muretes empleándose la ecuación 17.

Los resultados del módulo de corte se muestran en la Tabla 22.

Una vez obtenidos los datos antes citados se empleó la ecuación 25 para hallar la rigidez ( $K$ ) de los muros.

Los resultados de la rigidez lateral de los muros se muestran en la Tabla 30.

#### **Carga asociada a la primera fisura**

Para determinar teóricamente la carga asociada a la primera fisura, se tomó 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 ( $2 \sqrt{f'c}$ ) transformando a la albañilería, según la ecuación 30.

Los resultados teóricos se presentan en la Tabla 31.

#### **Agrietamiento diagonal teórico.**

La resistencia al corte ( $V_m$ ), se determinó mediante la ecuación 31.

Los resultados del agrietamiento diagonal teórico se presentan en la Tabla 32.

#### **Momento Flector Nominal Máximo**

El muro presentado para esta investigación cuenta con una sección rectangular por lo que la capacidad resistente a flexión ( $M_n$ ), se calculó con la ecuación 33 y la fuerza cortante ( $V_f$ ) asociada a la fluencia del acero se obtuvo con la ecuación 34.

Los resultados para el momento flector se expresan en la Tabla 33 y la fuerza asociada a la fluencia del acero en la Tabla 34.

#### **Tipo de falla esperada**

Comparando los resultados teóricos de las resistencias  $V_f$  y  $V_m$ , se determinó que el tipo de falla en los muros es por corte.

Estos resultados se muestran en la Tabla 35.

#### **4.2.7.3. Construcción de los muros a escala natural.**

##### **Construcción de la viga de cimentación.**

La construcción de las vigas de cimentación fue de sección rectangular de 30 cm x 20 cm y una longitud de 260 cm.

- **Habilitación, armado e instalación del acero:** el refuerzo longitudinal estuvo conformado por 4  $\phi$  de 5/8"; el refuerzo transversal constituido por estribos de 1/4" distribuidos 1 @ 5 cm, 3 @ 10 y el resto @ 20 cm en cada extremo y asegurados al refuerzo longitudinal con alambre N° 16; la colocación fue sobre la cimentación previamente construida y que su inicio se ubicó 1 m respecto al actuador de la máquina y sobre dados de concreto de la misma resistencia de la viga de cimentación a fin de obtener el recubrimiento de 4 cm.
- **Encofrado:** El encofrado se realizó luego de haber colocado el acero, se emplearon formas metálicas y se controló el alineamiento, verticalidad y el recubrimiento libre de 2.5 cm entre la forma metálica y la armadura.
- **Concreto:** El concreto tuvo una resistencia nominal de  $f'_c = 175 \text{ kg/cm}^2$ , fue preparado en el sitio con una dosificación en volumen de 1:3.5:3 cemento: arena: piedra, el agua fue potable y el cemento fue tipo V; en la preparación se realizó el ensayo de revenimiento y control de temperatura del concreto tomándose además 03 muestras para determinar la resistencia a la compresión del concreto a los 28 días.

##### **Construcción de la albañilería**

La albañilería fue de junta seca y se construyó con ladrillos de concreto con dos acoples que contaron con una resistencia nominal de  $f'_c = 175 \text{ kg/cm}^2$  y con la edad de 28 días luego de su fabricación.

- Muro de junta seca: El asentado de los ladrillos se los realizó una vez que estos estuvieron completamente limpios.

La primera hilada se colocó sobre la viga de cimentación sin ningún elemento adherente a esta; las hiladas siguientes se fueron superponiendo con el respectivo acoplamiento verificando el alineamiento, la verticalidad del muro y el dentado en la conexión columna – albañilería. En el proceso constructivo se observó desviación en la verticalidad del muro por lo que se optó por colocar el encofrado de las columnas que sirvieron de soporte y de un control en la verticalidad de la albañilería. La construcción de cada muro se ejecutó en una sola jornada por ser acoplado y de junta seca.

### **Construcción de las columnas**

La construcción de las vigas de cimentación fue de sección rectangular de 20 cm x 12 cm y una longitud de 190 cm.

- **Habilitación, armado e instalación del acero:** el refuerzo longitudinal fue acero corrugado conformado por 4  $\phi$  de 1/2"; el refuerzo transversal constituido por estribos de 1/4" distribuidos 1@ 5 cm, 3@ 10 y el resto @ 20 cm en cada extremo y asegurados al refuerzo longitudinal con alambre N° 16; la colocación del acero de las columnas fue inmediatamente a la colocación del acero de la viga de cimentación, se identificó el cumplimiento de la longitud de anclaje que penetró en la viga de cimentación.
- **Encofrado:** El encofrado - tal como se indicó en la construcción de la albañilería - se ejecutó antes de concluir con el armado de las hiladas de los muros con la finalidad de contar con una guía y soporte para obtener el alineamiento y verticalidad de las unidades embonadas de la albañilería, se emplearon formas metálicas y se controló el alineamiento, verticalidad y el recubrimiento libre de la armadura que fue de 3 cm medido entre la forma metálica y el estribo.
- **Concreto:** El concreto fue preparado para una resistencia nominal de  $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ , la dosificación en volumen fue de 1:3.5:3 cemento: : arena: piedra, el agua fue potable y el cemento fue tipo V; en la colocación se tuvo en cuenta evitar la segregación de los agregados y la compactación se consiguió con vibrador, previo a la colocación se realizó el ensayo de revenimiento por el método del cono de Abrams y control de temperatura del concreto tomándose además 03 muestras

para determinar la resistencia a la compresión del concreto a los 28 días. Los resultados de la resistencia del concreto se muestran en la Tabla 63.

### **Construcción de las vigas soleras**

Las vigas soleras, fueron construidas con una sección rectangular de 20 cm x 12 cm y una longitud de 260 cm con el siguiente procedimiento:

- **Habilitación, armado e instalación del acero:** el refuerzo longitudinal fue acero corrugado conformado por 4  $\phi$  de 3/8"; el refuerzo transversal constituido por estribos de 1/4" distribuidos 1@ 5 cm, 3@ 10 y el resto @ 20 cm en cada extremo y asegurados al refuerzo longitudinal con alambre N° 16; la colocación del acero de las vigas soleras se realizó luego del desencofrado de las columnas y sobre la albañilería con un recubrimiento libre de 2.5 cm; se identificó el cumplimiento de la longitud de anclaje del acero de la columna que se introdujo en la viga solera.
- **Encofrado:** En el encofrado, se emplearon formas metálicas y se controló el alineamiento, verticalidad y el recubrimiento libre de la armadura que fue de 2.5 cm medido entre la forma metálica y el estribo.
- **Concreto:** El concreto fue preparado para una resistencia nominal de  $f'c = 175$  kg/cm<sup>2</sup>, la dosificación en volumen fue de 1:2:3 cemento: piedra: arena, el agua fue potable y el cemento fue tipo I; en la colocación se tuvo en cuenta evitar la segregación de los agregados y la compactación se consiguió con vibrador, previo a la colocación se realizó el ensayo de revenimiento por el método del cono de Abrams y control de temperatura del concreto, tomándose además 03 muestras para determinar la resistencia a la compresión del concreto a los 28 días. Los resultados de la resistencia del concreto se muestran en la Tabla 64.

Una vez terminados los muros, se solaqué con yeso una de las caras con la finalidad de visualizar las fisuras que se presenten a causa de las cargas en el proceso del ensayo.

#### **4.2.7.4. Ensayo de comportamiento sísmico.**

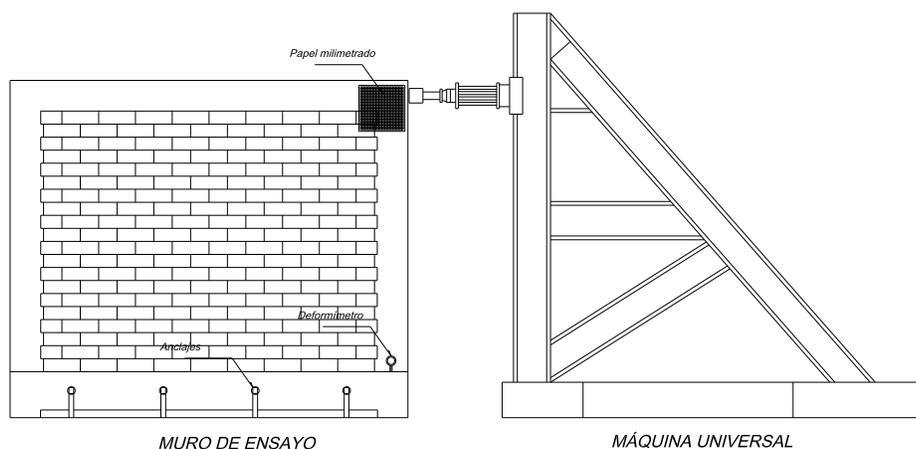
##### **Ensayo de carga lateral monotónicamente creciente (ensayo estático)**

##### **Metodología del ensayo**

Los dos muros fueron sometidos a carga lateral con desplazamiento controlado a través del sistema de aplicación de carga horizontal conformado por un actuador dinámico con capacidad de 10 tn instalado en el contrafuerte, actuador que se apoyó horizontalmente

en el eje de la viga solera. Para el control de los desplazamientos se empleó papel milimetrado y un nivel de ingeniero electrónico. El papel milimetrado se colocó en la esquina superior de los muros, marcándose en el papel milimetrado una línea vertical referencial como punto inicial coincidente con el hilo vertical del retículo y el haz luminoso emitido por el láser del nivel de ingeniero. Los valores se tomaron de la visualización de los milímetros de desplazamiento por cada carga aplicada, esta carga se la realizó con desplazamiento positivo.

Los datos de carga y desplazamiento máximos, se muestran en la Tabla 36.



**Figura 57.** Esquema de ensayo de carga lateral monotónica

#### **4.2.7.5. Comportamiento de los muros durante el ensayo**

En forma visual y marcando las fisuras que se presentaron durante el ensayo se registró el comportamiento de los muros durante el ensayo, los datos se presentan en el del apéndice H, Tabla 80 para el muro 1 y Tabla 81 para el muro 2, donde se indica la fase, la descripción y la representación gráfica.

#### **4.2.7.6. Inspección visual posterior al ensayo de los muros**

El estado de los dos muros luego de aplicada la máxima carga de la máquina y culminados los ensayos se muestra y detalla en la Tabla 37.

Para verificar el comportamiento de las unidades de la albañilería, se procedió al desacoplado de estas con el mayor cuidado, observándose que las espigas fallaron por fractura 12 unidades en el muro N° 1 y 15 en el muro N° 2; además se presentaron resquebrajaduras en los bordes superiores de las prominencias.

#### **4.2.7.7. Rigidez lateral elástica K experimental**

La rigidez lateral elástica experimental de los muros, se obtuvo de la gráfica fuerza-desplazamiento en la fase donde el comportamiento del muro fue elástico, tomándose la pendiente en este tramo. Para el muro 1, el tramo para determinar la rigidez elástica se muestra en la figura 68 cuyos resultados se encuentran en la Tabla 38 y para el muro 2 se presenta el tramo 2 en la figura 69 y los resultados se indican en la Tabla 39.

#### **4.2.7.8. Carga asociada la primera fisura**

Las grietas de tracción por flexión se determinaron por inspección visual al momento de mostrarse en el proceso del ensayo, los resultados se indica en la Tabla 41.

#### **4.2.7.9. Agrietamiento diagonal experimental**

Las grietas diagonales también fueron determinadas por inspección visual en el instante en el que empezaron a manifestarse durante el ensayo, la información se muestra en la Tabla 43.

#### **4.2.7.10. Momento flector nominal máximo**

En el muro 1 se alcanzó a aplicar una carga de 9.1 tn y en el muro 2 una carga de 7.1 tn, cargas que no fueron las suficientes para lograr una fluencia del acero de refuerzo. Estos resultados se debieron a que en el ensayo del muro 1 el actuador alcanzó su máximo desplazamiento y no se pudo incrementar la carga y en el muro 2 se presentó una fractura del concreto en la columna en el punto de aplicación de la carga por lo que se dieron por culminados los ensayos. Los resultados registrados se muestran en la Tabla 45.

#### **4.2.7.11. Distorsión angular experimental**

De acuerdo a la Norma E.070 (2006), la máxima distorsión angular permisible en muros de albañilería es de 0.005, en el ensayo esta distorsión corresponde a un desplazamiento lateral de 11 mm considerando la altura del muro de 2200 mm desde la base hasta el punto de carga del actuador de la máquina universal. Los resultados se muestran en la Tabla 46.

### **4.3. Métodos de investigación.**

La investigación de acuerdo a su finalidad fue aplicada, considerando que se realizaron ensayos mediante normas y procedimientos debidamente establecidos; según el enfoque se determinó como cuantitativa, debido a que se tomaron datos de los resultados de las propiedades físicas y mecánicas de los ladrillos y por el control en el diseño de la prueba correspondió a no experimental ya que no se manipularon las variables durante el desarrollo del trabajo de investigación.

### **4.4. Población, muestra, unidad de análisis y unidades de observación.**

**Población.** La población se consideró igual a la muestra bajo el fundamento que es intencionada y a conveniencia.

**Muestra.** Para obtener el tamaño de la muestra se tomó en cuenta lo estipulado en la Norma E.070 (2006) del RNE: el muestreo para aceptación de un lote compuesto por hasta 50 millares de ladrillos se seleccionará 10 unidades. Para la investigación se eligieron los ladrillos macizos de concreto con dos acoples para albañilería de junta seca, a saber: 10 unidades, 10 pilas, 10 muretes, 10 tripletes y 02 muros a escala natural que hicieron un total de 760 unidades.

**Unidad de análisis.** El ladrillo con dos acoples, pila, murete, triplete y muro.

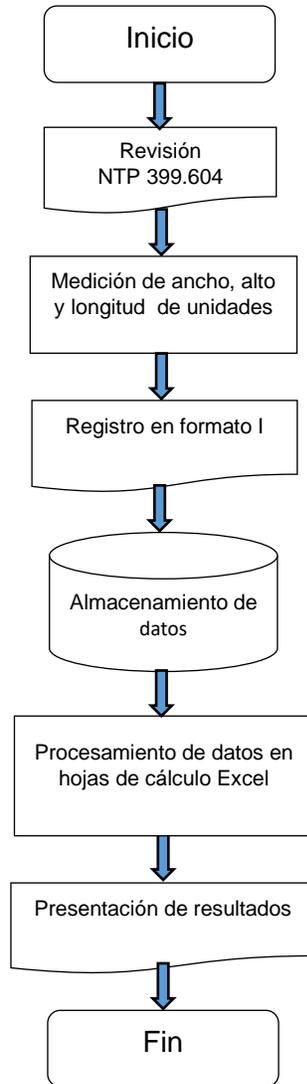
**Unidad de observación:** La investigación plasmó como unidad de observación a las propiedades físico mecánicas de los ladrillos con dos acoples.

### **4.5. Técnicas e instrumentos de recopilación de información.**

La técnica para la recopilación de información fue de observación, las propiedades físico mecánicas de los ladrillos con dos acoples se consiguieron de los ensayos realizados en el laboratorio de Tecnología de Materiales “Mg. Ing. Carlos Esparza Díaz”, ubicado en el edificio 1C de la Universidad Nacional de Cajamarca y en un laboratorio externo.

Antes de iniciar los ensayos se revisaron las normas aplicables para cada prueba, se ejecutaron los ensayos registrándose cada resultado en los formatos debidamente preparados para cada uno de ellos, a saber: unidades de ladrillos (propiedades físicas y mecánicas), pilas, muretes y tripletes (propiedades mecánicas) y muros (comportamiento sísmico); esta información fue tratada y los cálculos se procesaron en hojas Excel teniendo en cuenta las consideraciones indicadas en la Norma E.070 (2006).

A manera de ejemplo, se presenta un diagrama de flujo (Figura 58) y su respectivo formato (Figura 59) para el caso del ensayo de variabilidad dimensional, secuencia similar se efectuó para los demás ensayos.



**Figura 58.** Diagrama de flujo de ensayo de variabilidad dimensional



- Balanza con capacidad de 5000 g, aproximación de 0.01 g.
- Balanza con capacidad de 300 kg, aproximación de 0.1 g.
- Molde para ladrillos.
- Mezcladora.
- Máquina vibro compactadora.
- Vernier digital.
- Wincha.
- Regla metálica graduada a 1 mm.
- Bandejas de 50 cm diámetro x 30 cm de alto.
- Horno de secado
- Deflectómetro.
- Máquina universal
- Nivel de ingeniero.
- Computadora.
- Cámara fotográfica

#### Materiales

- Cemento Portland Tipo I
- Agregado fino (arena de río)
- Agregado grueso (piedra chancada de 1/2")
- Agua potable.
- Útiles de escritorio
- Hojas de cálculo Excel
- Programa computacional Autocad v.2018

#### **4.8. Matriz de consistencia metodológica.**

La matriz de consistencia metodológica, se presenta en la Tabla 10.

**Tabla 10. Matriz de Consistencia Metodológica**

Propiedades físico mecánicas de ladrillos con dos tipos de acoples para albañilería de junta seca								
Formulación del problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Dimensiones	Indicadores	Fuente	Metodología	Población y muestra
¿Las propiedades físico mecánicas de ladrillos con dos acoples para albañilería de junta seca, cumplen con lo mínimo especificado en la Norma E.070?	Determinar el cumplimiento de las propiedades físico mecánicas de ladrillos con dos acoples para albañilería de junta seca	Las propiedades físico mecánicas de ladrillos con dos acoples para albañilería de junta seca, si cumple con lo mínimo especificado en la Norma E.070	Propiedades físicas	Variabilidad dimensional	Largo, Ancho, Altura	Medidas de ladrillos	Cuantitativa	10 unidades
				Alabeo	Concavidad, convexidad	Prueba de convexidad o concavidad del ladrillos		
				Absorción	Peso seco, Peso saturado	Prueba de absorción		
			Propiedades mecánicas	Resistencia a la compresión en ladrillos	Área neta, Carga máxima	Ensayo de resistencia a la compresión en ladrillos		10 unidades
				Resistencia a la compresión en pilas	Área, Carga máxima	Ensayo de compresión en pilas		10 pilas
				Resistencia a la compresión diagonal en muretes	Área, Carga máxima	Ensayo de compresión diagonal en muretes		10 muretes
				Resistencia al corte de los elementos de acople	Área, Carga máxima	Ensayo en tripletes		10 tripletes
			Comportamiento sísmico	Rigidez y ductilidad	Fuerza, Deformación	Ensayo de carga lateral monotónicamente creciente		02 muros a escala natural

## CAPÍTULO V

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 5.1. Presentación de resultados.

##### 5.1.1. Molde de las unidades de albañilería.

El molde para las unidades de albañilería de la investigación presentaron las características que se indican en la Tabla 11, el tipo se muestra en la Figura 60.

**Tabla 11. Característica del molde**

Dimensiones	Unidades (mm)	Observaciones
Largo	240	Base con prominencias y tapa con orificios
Ancho promedio	120	
Alto	82	



**Figura 60** Tipo del molde para los ladrillos

##### 5.1.2. Ensayos de los agregados.

Los resultados se muestran de la Tabla 51 a la Tabla 57 del Apéndice A.

##### 5.1.3. Diseño de mezcla.

Los resultados se muestran de la Tabla 58 a la Tabla 61 del Apéndice B.

##### 5.1.4. Descripción de las unidades de albañilería

Las unidades de albañilería en investigación se denominaron ladrillos con dos acoples, fueron elaborados de manera semi industrial y con molde de dimensiones y formas propias para el estudio, las características se muestran en la Tabla 12 y el prototipo se observa en la figura 61.

**Tabla 12. Característica de los ladrillos**

Características	Valor
Tipo	Sólido
Material	Concreto
Dimensiones promedio largo x ancho x altura (mm)	240 x 121 x 82
Peso (kg)	6.5
Particularidad específica	Dos acoples (dos prominencias y dos orificios)



**Figura 61.** Prototipo de las unidades de albañilería

### 5.1.5. Ensayos de las unidades de albañilería.

#### 5.1.5.1. Ensayos clasificatorios.

##### Variabilidad dimensional.

**Tabla 13. Resultado del ensayo de Variación Dimensional**

Característica	Largo	Ancho	Alto
Longitud teórica L (mm)	240.00	120.00	82.00
Desviación estándar promedio $\sigma$ (mm):	0.02	0.01	0.24
Dimensión promedio (mm):	240.37	121.33	81.81
Variabilidad dimensional (%):	0.15	1.11	0.24
Coficiente de variación (%):	0.01	0.01	0.29

El proceso de información se presenta en la tabla 65 del apéndice C.

## Alabeo

**Tabla 14. Resultado de los ensayos de Alabeo**

Alabeo promedio de los ladrillos	
Cóncavo (mm)	0.09
Convexo (mm)	0.00

El proceso de información se presenta en la Tabla 66 del apéndice C.

## Resistencia a la compresión de unidades.

**Tabla 15. Resultado de los ensayos a Compresión**

Característica	Unidades	
	Mpa	Kg/cm <sup>2</sup>
Resistencia a la compresión $f_b$	22.22	226.62
Desviación estándar $\sigma$	0.94	9.59
Resistencia característica a la compresión $f'_b$	21	217
Coefficiente de variación (%)	4.23	4.23

El proceso de información se presenta en la Tabla 67 del apéndice C.

## Módulo de elasticidad.

**Tabla 16. Resultados del Módulo de Elasticidad ( $E_b$ ) de los ladrillos**

Módulo de Elasticidad ( $E_b$ )	Unidades		Variación (%)
	MPa	Kg/cm <sup>2</sup>	
$E_b$ Teórico ( $1000f'_b$ )	21000	217000	71.73
$E_b$ Experimental	6015.38	61340	

El proceso de información se presenta en la Tabla 68, el valor fue obtenido de la figura 70 del apéndice C.

### 5.1.5.2. Ensayo no clasificatorio.

#### Absorción

**Tabla 17. Resultados del ensayo de Absorción en ladrillos**

Característica	Valores (%)
Absorción promedio ( $\bar{X}$ )	6.08
Desviación estándar ( $\sigma$ )	0.85
Coefficiente de variación (c.v)	13.97

El proceso de información se presenta en la Tabla 70 del apéndice D.

### 5.1.6. Ensayos en la albañilería simple.

#### 5.1.6.1. Ensayos en pilas.

#### Ensayo a la resistencia a compresión en pilas ( $f_m$ )

**Tabla 18. Resultado de los ensayos a la resistencia a compresión en pilas**

Característica	Pilas	
	Mpa	Kg/cm <sup>2</sup>
Resistencia a la compresión $f_m$	9.39	95.73
Desviación estándar $\sigma$	0.42	4.31
Resistencia característica la compresión $f'_m$	8.96	91.41
Coefficiente de variación c.v (%)	4.51	4.51

El proceso de información se presenta en la Tabla 71 del apéndice E.

#### Cálculo del Módulo de Elasticidad en Pilas ( $E_m$ )

**Tabla 19. Módulo de Elasticidad ( $E_m$ ) en pilas**

Módulo de elasticidad ( $E_m$ )	Pilas		Variación (%)
	MPa	kg/cm <sup>2</sup>	
Módulo de elasticidad teórica ( $700f'_m$ )	6275.23	63989.78	36.26
Módulo de elasticidad experimental	4000.01	40788.92	

El proceso de información se presenta en la Tabla 72 y el valor obtenido en la Figura 71 del apéndice E.

### 5.1.6.2. Ensayos en muretes.

#### Peso volumétrico.

**Tabla 20. Resultado de los ensayos de peso volumétrico en muretes**

Espécimen	Peso promedio (kg)	Volumen promedio (m <sup>3</sup> )	Peso volumétrico (ton/m <sup>3</sup> )
M01 - M10	129.62	0.058	2.221

El proceso de información se presenta en la Tabla 73 del apéndice F.

#### Cálculo de la Resistencia al corte en muretes.

**Tabla 21. Resultado de los ensayos al corte ( $V'_m$ ) en muretes**

Característica	Muretes	
	Mpa	kg/cm <sup>2</sup>
Resistencia al Corte $V'_m$	0.28	2.82
Desviación estándar $\sigma$	0.01	0.09
Resistencia característica al corte $V'_m$	0.27	2.74
Coeficiente de variación c.v (%)	3.04	3.04

El proceso de información se presenta en la Tabla 74 del apéndice F.

#### Cálculo del Módulo de Corte en muretes ( $G_m$ )

**Tabla 22. Resultado del cálculo del Módulo de Corte en muretes**

Característica	Muretes	
	MPa	kg/cm <sup>2</sup>
Módulo de Corte ( $G_m$ )	226.49	2309.58

El proceso de información se presenta en la Tabla 75 y el resultado en las figuras 72 y 73 del apéndice F.

**Correlación de Módulo de Elasticidad ( $E_m$ ) y Módulo de Corte ( $G_m$ ) teórico y práctico.**

**Tabla 23. Variación entre de  $E_m$  y  $G_m$  Teórico y Experimental**

Ensayos experimentales			Norma E.070		Diferencias	
$f'_m$	$E_m$	$G_m$	$E_m = 700f'_m$	$G_m = 0.4E_m$	$E_m$	$G_m$
MPa (kg/cm <sup>2</sup> )	MPa (kg/cm <sup>2</sup> )	%	%			
8.96	4000.01	226.49	6272	2508.80	36.22	90.97
(91.41)	(40789.17)	(2309.58)	(63957.25)	(25582.90)		

Los datos de los ensayos experimentales, se mostraron en la Tabla 18 para  $f'_m$ , en la Tabla 19 para  $E_m$  y en la Tabla 22 para  $G_m$

**Cálculo del valor de la Resistencia al Corte  $V'_m$  para diseño**

**Tabla 24. Valor Máximo de  $V'_m$  para diseño**

Ensayos experimentales		Norma E-070	
$f'_m$	$V'_m$	$V'_m =$	$V'_m$ para diseño
MPa (kg/cm <sup>2</sup> )	MPa (kg/cm <sup>2</sup> )	$0.319 \cdot \sqrt{f'_m}$ MPa $\sqrt{f'_m}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	MPa (kg/cm <sup>2</sup> )
8.96 (91.41)	0.27 (2.74)	0.96 (9.56)	0.27 (2.74)

Los datos de los ensayos experimentales, se mostraron en las Tabla 18 para  $f'_m$  y para  $V'_m$  en la Tabla 21.

**5.1.6.3. Ensayos en tripletes**

**Cálculo del valor de Resistencia al Corte en tripletes ( $V_t$ )**

**Tabla 25. Resistencia al corte de los elementos de embone**

Característica	Resultado	
	ton/m <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
Resistencia al corte promedio ( $\bar{X}$ ) =	3.83	38.28
Desviación estándar ( $\sigma$ ) =	0.01	0.13
Resistencia al corte ( $V_t$ ) =	3.82	38.15
Coefficiente de variación (c.v.) =	0.33%	0.33%

El proceso de información se presenta en la Tabla 76 del apéndice G.

### 5.1.7. Ensayos en la albañilería reforzada o estructural

#### 5.1.7.1. Planteamiento de muros

**Espesor efectivo:** El espesor efectivo es de 12 cm, valor que cumple según la Norma E.070 y se muestra en la Tabla 77.

#### Características de los muros

**Tabla 26. Características de los muros**

Elemento	Largo (cm)	Espesor (cm)	Altura (cm)	Acero de refuerzo	Estribos	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )
Viga de cimentación	260	20	30	4 $\phi$ 5/8"	$\phi$ 1/4": 1 1@ 5, 4@ 10, resto @ 25 cm, en cada extremo	175
Columnas de confinamiento	170	12	20	4 $\phi$ 1/2"	$\phi$ 1/4": 1 1@ 5, 4@ 10, resto @ 25 cm, en cada extremo	175
Albañilería (ladrillos con acoples)	220	12	170	.-.	.-.	175
Viga solera	260	12	20	4 $\phi$ 3/8"	$\phi$ 1/4": 1 1@ 5, 4@ 10, resto @ 25 cm, en cada extremo	175

#### Acero de refuerzo

**Tabla 27. Verificación del acero de refuerzo**

Elemento	f'c (kg/c <sup>2</sup> )	Ac (cm <sup>2</sup> )	fy (kg/cm <sup>2</sup> )	As mínimo (cm <sup>2</sup> )	As colocado (cm <sup>2</sup> )
Columnas	175	240	4200	1.00	5.16
Viga solera	175	240	4200	1.00	2.84

#### 5.1.7.2. Análisis teórico de los muros a escala natural

#### Módulo de Elasticidad y Corte.

**Tabla 28. Módulo de Elasticidad y Corte teóricos**

f'm (kg/cm <sup>2</sup> )	Em = 700f'm (kg/cm <sup>2</sup> )	Gm = 0.4Em (kg/cm <sup>2</sup> )
91.41	63987.00	25594.80

**Sección transformada de los muros.**

**Tabla 29. Sección transformada**

$f'c$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$E_c$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$E_m$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$n = (E_c/E_m)$	$n \times 0.12$
175	198431	63987	3.10	0.37

**Rigidez Lateral de los muros.**

**Tabla 30. Rigidez lateral teórica de los muros**

E (kg/cm <sup>2</sup> )	h (cm)	I (cm <sup>4</sup> )	f	E/G	A (cm <sup>2</sup> )	K (ton/m)
63987.00	180	32083436	1.32	2.5	4128.54	31240.18

**Carga asociada a la primera fisura**

**Tabla 31. Carga asociada a la primera fisura**

Inercia (cm <sup>4</sup> )	h (cm)	$n = E_c/E_m$	y (cm)	F (ton)
32083436	180	3.10	130	11.70

**Agrietamiento diagonal teórico.**

**Tabla 32. Carga asociada al agrietamiento diagonal**

$V'_m$ (ton/m <sup>2</sup> )	L (m)	t (m)	$\alpha$	$V_m$ (ton)
27.4	2.6	0.12	1.00	4.27

## Momento Flector Nominal Máximo

Tabla 33. Momento flector nominal máximo

As (m <sup>2</sup> )	fy (ton/m <sup>2</sup> )	D (m)	Mn (ton x m)
0.000516	4200	2.08	45.08

Tabla 34. Fuerza cortante asociada a la fluencia del acero

h (m)	Mn (ton x m)	Vf (ton)
2.20	45.08	20.49

Tipo de falla esperada.

Tabla 35. Tipo de falla esperada

V <sub>m</sub> (ton)	Vf (ton)	Tipo de falla
4.27	20.49	POR CORTE

### 5.1.7.3. Ensayo de comportamiento sísmico

#### Ensayo de carga lateral monotónicamente creciente

Tabla 36. Carga y desplazamiento en muros

Muro	Fase final	Carga máxima (kg)	Desplazamiento (mm)	Observaciones
1	18	9140	61.25	El ensayo fue de carga
2	21	7170	20.25	El ensayo fue de carga y descarga

La recopilación de datos se presenta en la Tabla 78 para el muro 1 y en la tabla 79 para el muro 2

#### 5.1.7.4. Comportamiento de los muros durante el ensayo

El comportamiento de los muros se presenta en la Tabla 80 para el muro 1 y en la Tabla 81 para el muro 2, del apéndice H.

#### 5.1.7.5. Inspección visual posterior al ensayo

**Tabla 37. Comparación del comportamiento final de los muros posterior al ensayo**

Elemento	Muro 1	Muro 2
Columnas	Las columnas de muro 1 no presentaron daños, las fisuras que se presentaron tuvieron un ancho máximo de 1 mm en la interfaz entre marco y muro. Al realizar la demolición de las columnas, visualmente el acero y concreto no presentaron daños en ninguna zona.	En la columna donde se aplicaba la carga se tuvo una falla ya que se fracturó su esquina cercana al eje del gato hidráulico. Al realizar la demolición de las columnas, el daño solo fue el indicado anteriormente.
Mampostería	Las fisuras que se presentaron hasta la carga de 4 toneladas fueron superficiales afectando principalmente el enlucido del muro; a partir de la carga de 4500 se presentaron grietas escalonadas con un ancho de hasta 4.5 mm por la diagonal cortando solo las prominencias de las unidades deduciendo que en general la falla de mampostería fue por corte.	Las fisuras que se presentaron hasta la carga de 4 toneladas fueron superficiales afectando principalmente el enlucido del muro; a partir de la carga de 4500 se presentaron grietas escalonadas por la diagonal don un ancho de hasta 4 mm cortando solo las prominencias de las unidades deduciendo que en general la falla de mampostería fue por corte.
Viga solera	En la viga solera se presentaron fisuras con un ancho de 2 mm	En la viga solera se presentaron fisuras con un ancho de 2 mm

### 5.1.7.6. Gráficas de los resultados

#### Muro 1

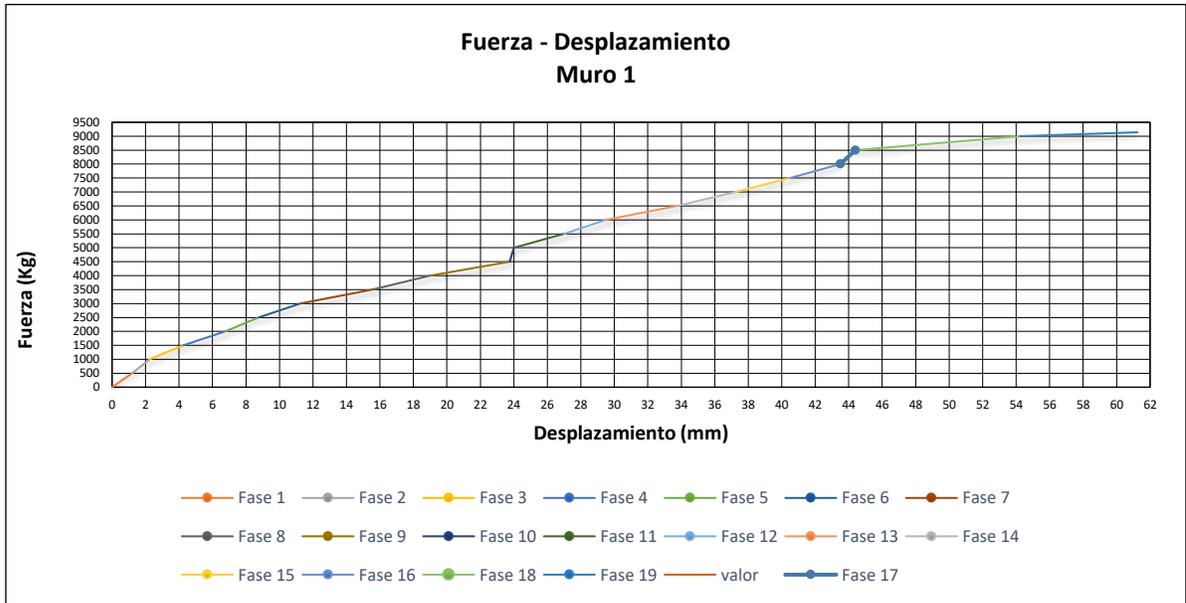


Figura 62. Fuerza vs. Desplazamiento – Muro 1.

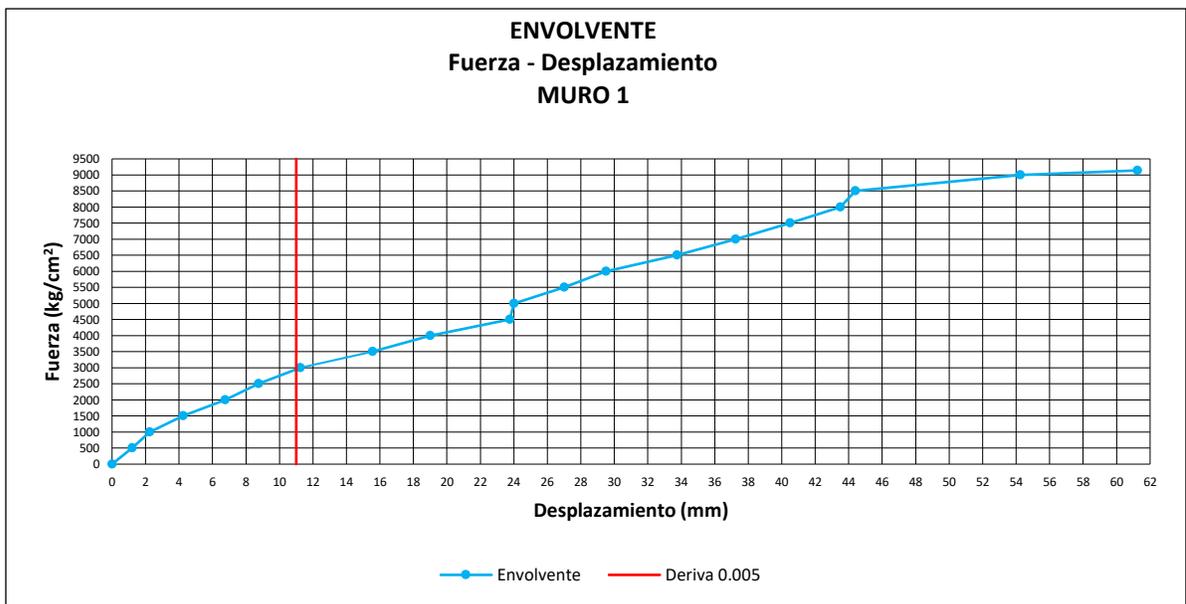
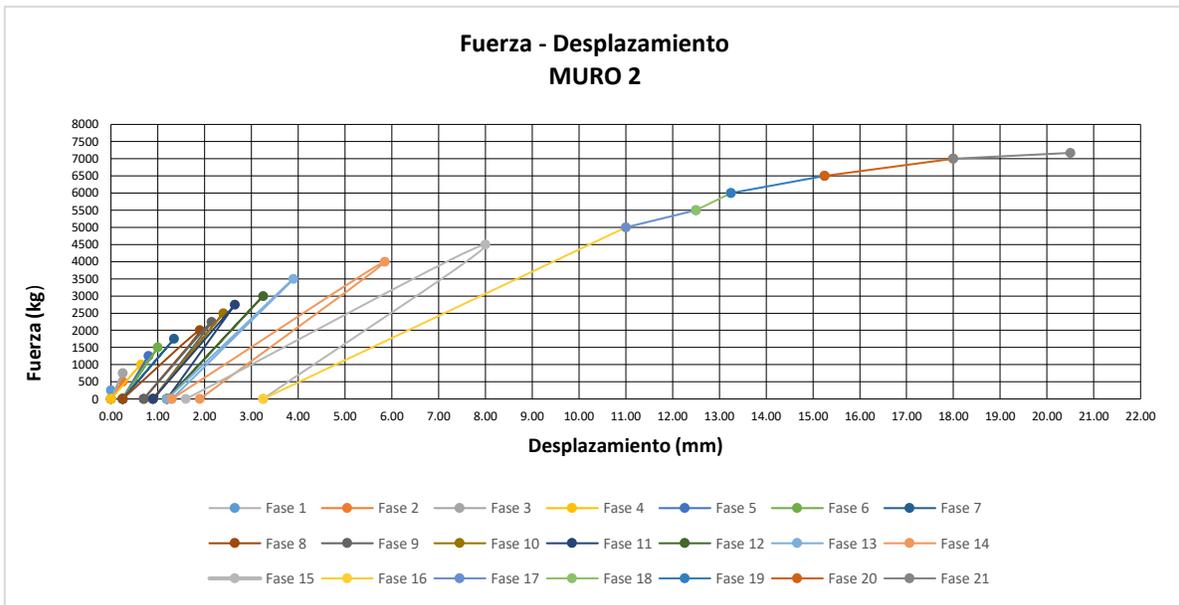
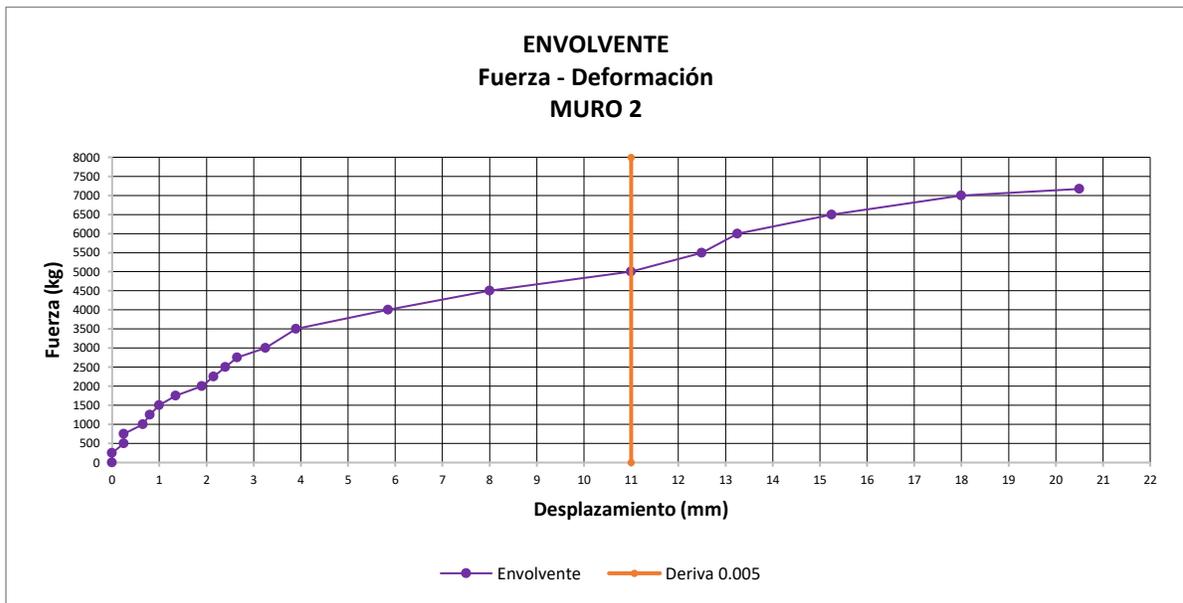


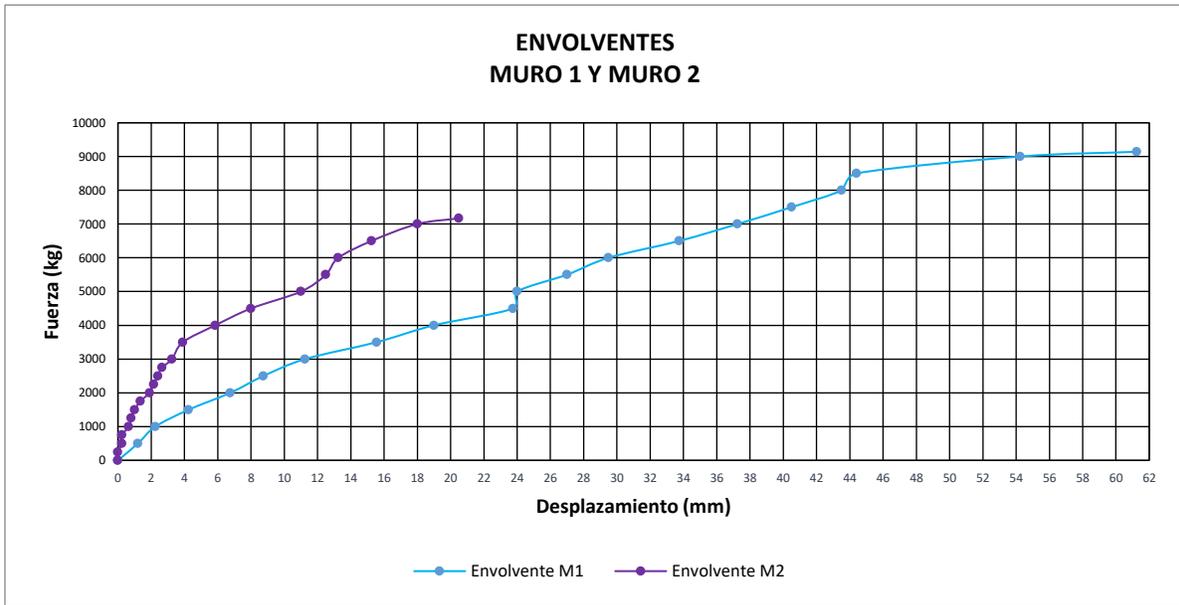
Figura 63. Envoltente – Muro 1.



**Figura 64.** Fuerza vs. Desplazamiento – Muro 2.



**Figura 65.** Envolvente – Muro 2

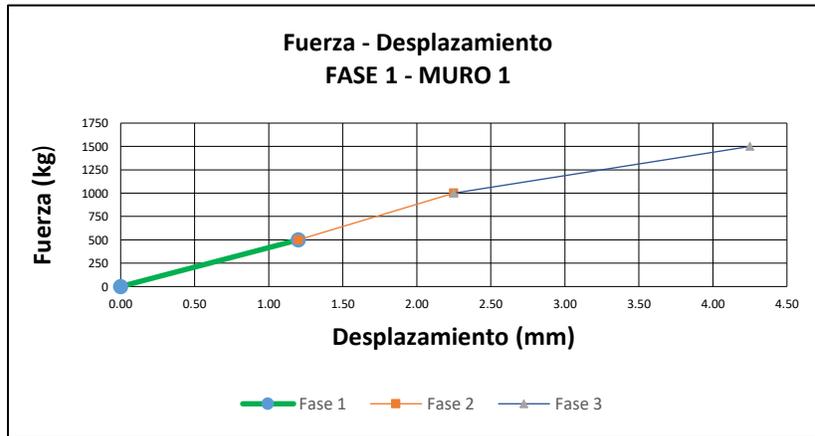


**Figura 66.** Envolventes – Muro 1 y Muro 2

**5.1.7.7. Rigidez lateral elástica K experimental**

**Muro 1**

La rigidez lateral elástica del Muro 1, se obtuvo considerando la fase uno de la gráfica fuerza – desplazamiento donde el comportamiento del muro fue elástico, por lo tanto, se ha tomado la pendiente de este tramo:



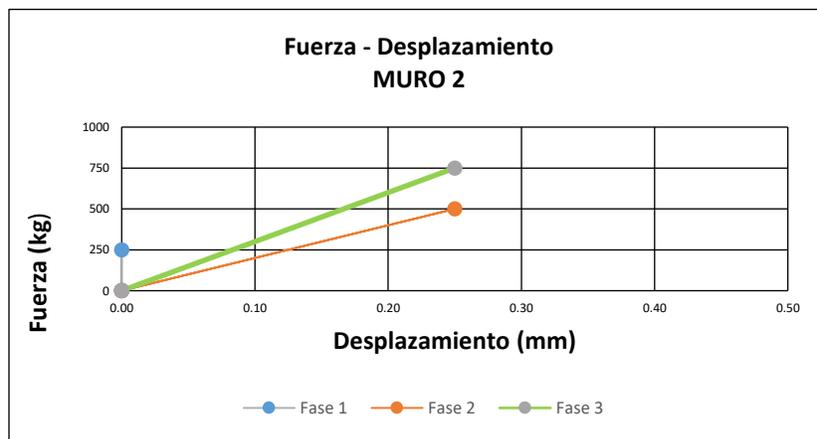
**Figura 67.** Fase de Fuerza vs. Desplazamiento para rigidez lateral elástica – Muro 1

**Tabla 38. Cálculo de la rigidez lateral del Muro 1**

Punto	D (m)	F (ton)
1	0.00000	0.00
2	0.00012	0.50
Δ	0.00012	0.50
K (ton / m)		416.70

**Muro 2**

La rigidez lateral elástica del Muro 2, se obtuvo considerando la fase tres de la gráfica fuerza – desplazamiento donde el comportamiento del muro fue elástico, por lo tanto, se ha tomado la pendiente de este tramo:



**Figura 68.** Fase de Fuerza vs. Desplazamiento para rigidez lateral elástica – Muro 2

**Tabla 39. Cálculo de la rigidez lateral del Muro 2**

Punto	D (m)	F (ton)
1	0.00000	0.00
2	0.00025	0.75
Δ	0.00025	0.75
K (ton / m)		3000.00

**Tabla 40. Correlación rigidez teórica - experimental**

Muro	Rigidez teórica K	Rigidez experimental	Variación (%)
	(ton/m)	K (ton/m)	
1	3786.29	417.60	88.97
2		3000.00	20.77

**5.1.7.8. Carga asociada a la primera fisura****Tabla 41. Carga asociada a la primera fisura**

Muro	Fase	Carga (tn)	Desplazamiento (mm)
1	8	4.0	19
2	18	6.0	13.25

Datos extraídos de las tablas 80 para el muro 1 y Tabla 81 para el muro 2.

**Tabla 42. Correlación de cargas asociadas a la primera fisura**

Muro	Carga teórica	Carga experimental	Variación (%)
	F (ton)	F (ton)	
M1	7.74	4.0	48.32
M2		6.0	22.48

**5.1.7.9. Agrietamiento diagonal****Tabla 43. Carga asociada al agrietamiento diagonal**

Muro	Fase	Carga (tn)	Desplazamiento (mm)
1	6	3.0	11.25
2	17	5.5	12.5

Datos extraídos de la Tablas 80 para el muro 1 y Tabla 81 para el muro 2.

**Tabla 44. Correlación de cargas asociada al agrietamiento diagonal**

Muro	Carga teórica <i>V<sub>m</sub></i> (ton)	Carga experimental <i>V<sub>m</sub></i> (ton)	Variación (%)
M1	4.27	3.00	29.74
M2		5.50	28.81

**5.1.7.10. Momento flector nominal máximo****Tabla 45. Correlación de fuerzas cortantes para fluencia del acero**

Muro	Fuerza cortante teórica <i>V<sub>f</sub></i> (ton)	Fuerza horizontal experimental (ton)	Variación (%)
M 1	20.49	9.14	55.39
M 2		7.18	64.95

**5.1.7.11. Distorsión angular****Tabla 46. Desplazamiento lateral experimental – fases y cargas asociadas**

Muro	Distorsión angular Norma E.070	H de muro (mm)	Desplazamiento lateral (mm)	Fase	Carga (kg)
M1	0.005	2200	11.0	6	3000
M2				11	5000

**5.2. Análisis, interpretación y discusión de resultados****5.2.1. Molde de las unidades de albañilería.**

El molde del ladrillo consistió en una estructura maciza y contó con las medidas preestablecidas para la elaboración de los ladrillos de concreto. Si bien el uso en esta etapa no le ha causado desgaste por fricción, se espera que a mayor cantidad de ladrillos el molde presente este desgaste causando posibles cambios en las dimensiones de los ladrillos.

**5.2.2. Ensayos de los agregados.**

De acuerdo a los resultados y gráficos de los ensayos del análisis granulométrico de los agregados ejecutados según la norma ASTM C33 y presentados en la Tabla 51, el material fino presentó una desviación entre los tamices N° 4 y N° 16.

### **5.2.3. Diseño de mezcla.**

Los resultados de la Tabla 62, nos muestran la resistencia a la compresión de los testigos del diseño de mezcla a los 28 días cuyo valor obtenido fue mayor a 175 kg/cm<sup>2</sup>, con lo que se demuestra el cumplimiento del diseño y se justificó el empleo de los agregados fino y grueso que se indican en el acápite 5.2.2.

### **5.2.4. Descripción de las unidades de albañilería.**

El ladrillo fabricado para el estudio, fue sólido, las prominencias y orificios estuvieron aptos para el acoplamiento entre las unidades y no presentaron fisuras ni astillamientos de acuerdo a la Norma E.070 del 2006.

### **5.2.5. Ensayos clasificatorios.**

#### **Variabilidad dimensional.**

La Tabla 13 muestra una variación dimensional de 0.15% en longitud, 1.11% en ancho y 0.24 % en alto, y sus coeficientes de variación son de 0.01% en la longitud, 0.01% en el ancho y 0.15% en el alto, resultados que se ubicaron en los rangos estipulados por la Norma E.070 del 2006 que admite variaciones  $\pm 3\%$  para dimensiones de hasta 100 mm,  $\pm 2\%$  para dimensiones hasta 150 mm y  $\pm 1\%$  para dimensiones de más de 150 mm para un ladrillo tipo V y la NTP 339.601 del 2005 permite una variación de  $\pm 3.2$  mm ( $\pm 1/8$  pulgada). Cabe resaltar que la variabilidad dimensional es muy importante en este tipo de ladrillos para su unión ya que no contará con el mortero que ayude a corregir variaciones tanto en juntas horizontales como verticales.

#### **Alabeo**

La Tabla 14 indica valores de 0.09 mm para las zonas cóncavas y de 0.00 para las zonas convexas y la Norma E.070 del 2006 acepta un alabeo máximo de 2 mm para ladrillos tipo V, por lo tanto, el ladrillo en estudio cumple con esta clase. El alabeo al igual que la variabilidad dimensional, son importantes ya que sus desviaciones ocasionarían fallas de tracción por flexión en las unidades y un acoplamiento deficiente entre estas además de una menor resistencia en la albañilería.

#### **Resistencia a la compresión de las unidades ( $f'_b$ )**

Los resultados de los ensayos que se indican en la Tabla 15, nos muestra un valor de la resistencia característica a la compresión  $f'_b$  de 21 MPa (217 kg/cm<sup>2</sup>), con lo cual se contaría con un ladrillo de clase V ya que la Norma E.070 del 2006 en su tabla 1 requiere

como mínimo la  $f'_b$  de 17.6 MPa (180 kg/cm<sup>2</sup>) para esta clase de unidades con fines estructurales.

Analizando los resultados de los ensayos clasificatorios de las unidades en estudio, se concluye que estos clasifican según la Norma E.070 del 2006 como tipo V.

### **Módulo de elasticidad ( $E_b$ ) de los ladrillos**

El módulo de elasticidad de los ladrillos no está considerado en la Norma E.070; dentro de las normas extranjeras se cuentan con valores entre  $400f'_b$  y  $1200f'_b$  sin embargo Gallegos y Casabonne especifican que el módulo de elasticidad para los ladrillos de concreto es  $1000f'_b$ , valor que experimentalmente no se logró y se tiene una variación del 72% respecto al teórico tal como se observa en la Tabla 16.

### **5.2.6. Ensayos no clasificatorios.**

#### **Ensayos de absorción.**

En la Tabla 17, observamos un valor de absorción de 6.08%, valor que se enmarcó dentro de lo estipulado por la Norma E.070 (2006) del RNE para las unidades de concreto clase P (no mayor que 12%). El dato obtenido en este ensayo nos indica también que los ladrillos no son muy porosos y por lo tanto son resistentes a la acción de la intemperie.

### **5.2.7. Prismas de albañilería.**

#### **5.2.7.1. Pilas.**

#### **Ensayo a la resistencia a compresión en pilas ( $f_m$ )**

La Tabla 18, nos muestra un valor 8.96 MPa (91.41 kg/cm<sup>2</sup>) de resistencia característica  $f'_m$  en pilas, la Norma E.070 (2006) para unidades elaboradas con concreto, solo considera a los bloques tipo P cuyos valores de resistencia característica en pilas oscila entre 7.3 MPa (74 kf/cm<sup>2</sup>) y 11.8 MPa (120 kg/cm<sup>2</sup>), se tomaron estos valores como referencia, y el resultado obtenido en el presente trabajo se encuentra dentro de los valores óptimos de esta denominación.

Además, se pudo observar que las pilas presentaron la misma falla, grietas verticales, falla típica de las pilas.

### **Módulo de elasticidad en Pilas ( $E_m$ )**

El valor experimental conseguido es de 4000.01 MPa (40788.92 kg/cm<sup>2</sup>) tal como se puede observar en la Tabla 19; si bien la Norma E.070 del 2006 indica que el módulo de

elasticidad de la mampostería está relacionado con su resistencia a la compresión y para el caso específico de los ladrillos de concreto vibrado dice que es de  $700f'm$ , en la presente investigación se consideró como referencia ya que lo indicado por la norma son resultados de ensayos ejecutados principalmente en mampostería que emplea mortero.

#### **5.2.7.2. Muretes.**

##### **Peso volumétrico**

En la Tabla 20 se muestra el valor de  $2.21 \text{ tn/m}^3$  de peso volumétrico en promedio, valor que se empleó en el ensayo a la resistencia al corte de los muretes.

##### **Ensayo a la Resistencia al corte en muretes ( $V_m$ )**

La Tabla 21 muestra que la resistencia característica al corte de los muretes fue de  $0.27 \text{ MPa}$  ( $2.74 \text{ kg/cm}^2$ ). La Norma E.070 del 2006 en su tabla 9 presenta valores de las resistencias características de la albañilería para la materia prima de concreto específicamente para Bloque Tipo P con valores de  $0.8 \text{ MPa}$  a  $1.1 \text{ MPa}$ , que son valores obtenidos de los ensayos en muretes con bloques rellenos con concreto líquido. Tomando como referencia lo indicado por la norma se puede observar que los resultados de la investigación son muy bajos, pero se consideraron como base para posibles futuras investigaciones teniendo en cuenta el tipo de ladrillo y la mampostería de junta seca.

##### **Módulo de corte en muretes ( $G_m$ )**

El valor del módulo de corte experimental que se muestra en la Tabla 22 es de  $226.49 \text{ MPa}$  ( $2302.58 \text{ kg/cm}^2$ ). La norma E.070 del 2006 también nos dice que el módulo de corte ( $G_m$ ) para la albañilería con todo tipo de unidad es  $0.4E_m$ . Conociendo que este valor también es bajo el esquema de albañilería que emplea mortero y al igual que el módulo de elasticidad, se tomó este valor para un contraste referencial respecto a los resultados de la presente investigación de albañilería de junta seca.

##### **Correlación de Módulo de Elasticidad ( $E_m$ ) y Módulo de Corte ( $G_m$ ) teórico y experimental.**

No existiendo en la Norma E.070 del 2006 registros de ensayos en albañilería de junta seca con las características del ladrillo que se presenta en esta investigación, se registraron los valores respecto a los módulos de elasticidad y corte indicados en su acápite 24.7 y en

la Tabla 23, se advierte la variación entre valores teóricos y experimentales, siendo de 36.22% para el módulo de elasticidad y de 90.97% para el módulo de corte.

#### **Cálculo del valor de la Resistencia al Corte $V'_m$ para diseño.**

La Tabla 24, nos muestra que el valor máximo de la resistencia al corte para diseño para estos ladrillos es de 0.27 MPa (2.74 kg/cm<sup>2</sup>), resultados que no superaron la resistencia para diseño indicada en la norma E.070; sin embargo, se consideró el valor de ensayo para tener una relación afín con los demás resultados de los ensayo.

#### **5.2.7.3. Tripletes**

#### **Cálculo del valor de la Resistencia al Corte $V_t$ de los elementos de acople.**

La Tabla 25, nos muestra que el valor máximo de la resistencia al corte de los elementos de acople, fue de 3.83 ton (38.28 kg/cm<sup>2</sup>).

#### **5.2.8. Ensayos de la albañilería reforzada o estructural.**

##### **5.2.8.1. Ensayos en muros confinados.**

#### **Ensayo de carga lateral monotónicamente creciente.**

#### **Carga y desplazamiento en muros**

La tabla 36 presenta las cargas máximas y los desplazamientos ocurridos al aplicar estas cargas a cada muro, resultados inferiores a las que se alcanzaron teóricamente por los motivos expuestos en el acápite 4.2.7.10.

#### **Comportamiento de los muros durante el ensayo**

De las tablas 80 y 81, se puede deducir que el comportamiento de los muros durante el ensayo presentaron diferencias pudiéndose notar mayores desplazamientos con las mismas cargas en el muro, se asume que esto se debió a la forma de aplicación de la carga ya que en el muro 1 solo se aplicó la carga de empuje y en el muro 2 fue de empuje y descarga, además se pudo constatar en el muro 1 el desprendimiento de la viga de cimentación bien notoria en la última fase.

#### **Inspección visual posterior al ensayo**

De la descripción mostrada en la tabla 37, se afirma que los elementos de confinamiento sufrieron daños leves y el acero de refuerzo intacto, en la mampostería no hubo presencia de ladrillos triturados, pero si la fractura de las prominencias (elementos de acople).

### **Rigidez experimental de muros.**

Las rigideces experimentales cuyos resultados se presentan en las tablas 38 y 39 para los muros 1 y 2 respectivamente son menores a los valores hallados teóricamente y que se muestran en la Tabla 31, principalmente el muro 1 debido al desprendimiento de la viga de cimentación en 4 cm de su base, por lo que es prudente tomar como representativo solo los valores de rigidez del muro 2 que tiene una variación de 21% respecto al teórico.

### **Carga asociada a la primera fisura**

Las fisuras originadas por las tracciones que genera el momento flector ante la acción de la fuerza horizontal aplicada a cada muro, se presentaron para el caso del muro 1 ante una fuerza horizontal de 4 tn y para el muro 2 ante la fuerza de 6 ton tal como se muestra en la Tabla 41. Comparando estos valores con los obtenidos teóricamente, existe una variación del 48.32% para el muro 1 y del 22.48% para el muro 2, vistos en la tabla 42.

### **Agrietamiento diagonal.**

Las primeras fisuras diagonales se presentaron en la fase 6 para el muro 1 y en la fase 17 para el muro 2. Los valores obtenidos de carga experimental para agrietamiento diagonal de los muros, que se muestran en la Tabla 44 cuentan con una variación respecto a la teórica de 29.74% para el muro 1 y de 28.81% para el muro 2.

### **Momento flector nominal máximo**

#### **Comportamiento del refuerzo vertical**

La fuerza cortante teórica para la fluencia del acero de refuerzo obtenida, si bien se presenta en la Tabla 45 con las fuerzas que se generaron en los ensayos, no tiene una correlación concluyente, ya que los muros no sufrieron daños severos mucho menos el colapso con las cargas que se generaron con la máquina para el ensayo toda vez que esta cuenta con una fuerza final de 10 tn.

### **Distorsión angular.**

La Norma E.030 indica que la máxima distorsión angular permisible en muros de albañilería es de 0.005, experimentalmente correspondió en los dos muros, a un desplazamiento de 11 mm considerando la altura total del muro de 2200 mm, la distorsión en el muro 1 se presentó en la fase 6 con una carga de 3 ton y en el muro 2 en la fase 11 con una carga de 5 ton tal como se muestra en la Tabla 46.

### 5.3. Contrastación de la hipótesis.

Los resultados mostrados en la Tabla 47 nos presenta la clasificación de las unidades según sus características y la tabla 48 muestra las propiedades físico mecánicas de estas unidades de acuerdo a lo especificado en la Norma E.070 del año 2006.

**Tabla 47. Clasificación de las unidades de la investigación**

Clasificación de las unidades según la Norma E.070	Investigación	
	Dimensiones / características	Clasificación
Según dimensión	240 mm x 120 mm x 82 mm	Ladrillo
Por su materia prima	Peso: 6.5 kg Mezcla: Cemento :grava :arena	Concreto
Por su huecos (alveolos)	Presentan perforaciones en su superficie de asiento cuya área es > a 70% del área bruta	Sólida
Unidad apilable	Forma geométrica para acople, se asienta sin mortero	Apilable

**Tabla 48. Propiedades físicas y mecánicas de las unidades**

Descripción	Norma E.070	Investigación	
		Dimensiones	Clase
Propiedades físicas	Variabilidad dimensional para ladrillo clase V con más de 150 mm $\pm 1\%$	Largo: 0.01 % Ancho: 0.01 % Alto: 0.05%	Clase V
	Alabeo para ladrillo clase V Máx. 2 mm	Cóncavo: 0.09 mm Convexo: 0.00 mm	Clase V
Propiedades mecánicas	Resistencia característica a la compresión para ladrillo clase V 17.6 MPa (180 kg/cm <sup>2</sup> )	21 Mpa (217 kg/cm <sup>2</sup> )	Clase V

La Norma también contempla la resistencia de los prismas de la albañilería que son especímenes en los que se realizan los ensayos de compresión axial para determinar la resistencia a compresión ( $f'_m$ ) y compresión diagonal para determinar la resistencia a corte puro ( $V'_m$ ) de la albañilería y en su tabla 9 muestra valores correspondientes a unidades, pilas y muretes, considerando dos tipos de mortero, uno para las unidades de arcilla y el segundo para las unidades de sílice-cal o concreto, cuyos valores de  $f'_m$  han sido corregidos

por esbeltez según su tabla 10. Además, menciona que para otras unidades u otro tipo de mortero se tendrá que realizar los ensayos respectivos.

En la presente investigación se realizaron estos ensayos cuyos resultados de  $f'_m$  y  $V'_m$  se muestran en las tablas 18 y 21 y para contrastar los valores de los ensayos de la investigación con los indicados en la Norma E.070, referencialmente, se tomó lo indicado en la tabla 9 de dicha norma y ambos valores se muestran en la Tabla 49.

**Tabla 49. Correlación teórica y experimental de  $f'_m$  en pilas y  $V_m$  en muretes**

Característica	Norma E.070		Investigación	
	Mpa	Kg/cm <sup>2</sup>	Mpa	Kg/cm <sup>2</sup>
Resistencia característica a la compresión ( $f'_m$ )	8.3	85	8.96	91.41
Resistencia característica al corte ( $V'_m$ )	0.9	9.2	0.27	2.74

La Norma E.070 del 2006, también indica que el límite máximo de la distorsión angular se fija en 1/200, para permitir que el muro sea reparable pasado el evento sísmico. En la investigación obtuvimos este resultado para un desplazamiento de 11 mm, sin que el muro fallara, con lo que se corroboró que los muros de la investigación, al final del ensayo son reparables.

Estos resultados apoyan la hipótesis planteada en la investigación y contrastándolos con la norma, se verifica que las propiedades físico mecánicas de ladrillos con dos acoples para albañilería de junta seca cumplen con lo mínimo especificado en la Norma E.070 del 2006.

## CONCLUSIONES

Se logró validar la hipótesis, puesto que las propiedades físico mecánicas de ladrillos con dos acoples para albañilería de junta seca, cumplen con lo mínimo especificado en la Norma E.070 (2006).

Las propiedades físicas: Variación dimensional en largo fue de 0.15%, en ancho 1.11% y en alto 0.24%; el alabeo promedio en concavidad alcanzó 0.09 mm y en convexidad 0.00 mm, y la absorción llegó a 6.08%

Las propiedades mecánicas: Resistencia característica ( $f_b$ ) a la compresión del ladrillo fue de 21 MPa (217 kg/cm<sup>2</sup>) y su módulo de elasticidad ( $E_b$ ) alcanzó 6015.38 MPa (61340.00 kg/cm<sup>2</sup>); la resistencia a compresión en pilas ( $f_m$ ) llegó a un valor de 8.96 MPa (91.41 kg/cm<sup>2</sup>) y su módulo de elasticidad ( $E_m$ ) a 4000.01 MPa (40788.92 kg/cm<sup>2</sup>).

Determinados los valores en relación a la variabilidad dimensional, alabeo y resistencia característica a la compresión de los ladrillos de la investigación, y contrastados con lo indicado en la Norma E.070 (2006) del RNE se clasificaron para fines estructurales como de clase V.

La resistencia al corte en muretes ( $V'_m$ ) se registró con un valor de 0.27 MPa (2.74 kg/cm<sup>2</sup>) y un módulo de corte ( $G_m$ ) de 226.49 MPa (2309.58 kg/cm<sup>2</sup>) y la resistencia al corte de los elementos de acople ( $V_t$ ) contó con un valor de 3.82MPa (38.15 kg/cm<sup>2</sup>).

Los resultados de la resistencia al corte en muretes con ladrillos propuestos para la investigación no han sido contrastados con la Norma E.070 debido a que esta no contempla el tipo de unidades de la presente investigación, plasmándose como datos referenciales.

Observados los comportamientos de los muros a escala natural, se consideraron solo los valores del muro 2 cuyos valores en rigidez experimental fueron a 3000 tn/m con una variación del 21% respecto a la rigidez teórica (3759.29 tn/m); la fuerza experimental asociada a la primera fisura de tracción por flexión obtenida fue de 6 tn mostrándose una variación de 22% frente al fuerza teórica que fue de 7.74 tn; la fuerza cortante teórica de 20 tn para observar la fluencia del acero no se logró experimentalmente debido a que en el muro 2 se alcanzó una carga de 7180 kg/cm<sup>2</sup> con un desplazamiento de 20.5 mm momento en que la columna sufrió una fractura en la zona de contacto con el pistón de la maquina universal y se paralizó el ensayo; la distorsión angular para la altura del muro que fue de 2200 mm se alcanzó con un desplazamiento de 11 mm y con una carga de 5 tn.

El comportamiento de los muros frente a una carga lateral monotónicamente creciente, fue aceptable donde el ensayo practicado fue de carga y descarga, así lo demostraron los resultados de rigidez y la distorsión angular, que cumplieron con la Norma E.070, observándose primordialmente la disipación de energía entre los ladrillos al no contar con el mortero de unión entre estos.

## RECOMENDACIONES Y/O SUGERENCIAS

1. Se recomienda que el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento considere realizar investigaciones con unidades sólidas apilables que cuenten con elementos de acople o sistemas de acoplamiento para una albañilería de junta seca cuyos resultados sirvan de sustento para la implementación de una norma con esta clase de unidades tal como lo tienen otros países.
2. Se recomienda a la Facultad de Ingeniería Civil y Escuela de Postgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, incentivar investigaciones con ladrillos para albañilería de junta seca y que los resultados sirvan de soporte a los objetivos de la norma que implemente la entidad competente.
3. Se recomienda a la Universidad Nacional de Cajamarca la implementación de equipos debidamente calibrados por entidades autorizadas para la ejecución de los ensayos de investigación en toda materia.
4. De existir investigaciones similares, se recomienda que se ejecuten ensayos de compresión uniaxial con unidades con mortero y sin mortero para contrastar resultados.
5. A los investigadores interesados en estudiar la albañilería de junta seca, se recomienda ejecutar ensayos específicos de la junta considerando dentro de los parámetros el coeficiente de fricción y presentar modelos matemáticos.
6. En la investigación se tomaron 10 especímenes para cada ensayo de unidades, pilas, tripletes y muretes, se sugiere realizar las investigaciones con un número mayor para tener mejores estadísticas en sus resultados.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**ARAIZA, G. 2005.** Reparación y refuerzo de paredes de obra de fábrica. Estudio experimental de la respuesta ante tensiones de corte. *Universitat Politècnica de Catalunya*. [En línea] Junio de 2005. [Citado el: 22 de abril de 2019.] Disponible en: [file:///C:/Users/Luis/Downloads/01Gag01de02%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Luis/Downloads/01Gag01de02%20(1).pdf).

**CHEWE, G; WALDMANN, D. 2019.** Experimental and analytical analysis of the load-bearing capacity of improved dry-stacked masonry. *sciencedirect.com/journal/journal-of-building-engineering*. [En línea] 23 de Agosto de 2019. [Citado el: 15 de Febrero de 2020.] Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352710219308162>.

**FLORES, V., y otros. 2013.** Informes de la Construcción. *Propiedades mecánicas de la mampostería de tabique rojo recocido utilizada en Chilpancingo, Gro (México)*. [En línea] Julio-Septiembre de 2013. [Citado el: 16 de Marzo de 2018.] Disponible en: <http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/view/2911>.

**GALLEGOS, H; CASABONNE, C. 2005.** *Albañilería Estructural. Tercera Ed.* Lima : PUCP, 2005.

**GRUPO GAAN Servicios Generales. 2020.** Ladrillos de cemento. *Bloqueras.Org*. [En línea] Enero de 2020. [Citado el: 15 de Marzo de 2020.] Disponible en: <https://bloqueras.org/ladrillos-cemento/>.

**HUGUET, G. 2016.** Acueducto de Segovia. [En línea] 4 de noviembre de 2016. [Citado el: 18 de noviembre de 2018.] [https://www.nationalgeographic.com.es/historia/actualidad/acueducto-segovia-mas-reciente-que-pensabamos\\_10826/2](https://www.nationalgeographic.com.es/historia/actualidad/acueducto-segovia-mas-reciente-que-pensabamos_10826/2).

**ISOLTECH. 2017.** Bloques sísmicos 3C. [En línea] ISOLTECH, 2017. [Citado el: 22 de febrero de 2018.] Disponible en: <https://www.isoltech.it/es/applicazioni-del-cemento-cellulare/blocchi-sismici-in-cemento-cellulare/>.

**KINTINGU, S. 2009.** Design of interlocking bricks for enhanced wall construction flexibility, alignment accuracy and load bearing. [En línea] Mayo de 2009. [Citado el: 14 de setiembre de 2018.]

**LIN, K, y otros. 2015.** Experimental Characteristics of Dry Stack Masonry under Compression and Shear Loading. [En línea] 30 de Agosto de 2015. [Citado el: 18 de Agosto de 2019.] Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5458854/>.

**LUREN, Compañía Minera. 2013.** Muros portantes y muros no portantes. [En línea] Compañía Minera Luren, 2013. [Citado el: 12 de noviembre de 2019.] Disponible en: [http://www.mineraluren.com/Productos\\_Materiales.html](http://www.mineraluren.com/Productos_Materiales.html).

**NT E.030. 2016.** Diseño Sismorresistente. Lima - Perú : Diario El Peruano, 24 de Enero de 2016.

**NT E.070. 2006.** Albañilería. Lima-Perú : Diario El Peruano, 26 de Mayo de 2006.

**NTP 339.601. 2015.** Unidades de Albañilería. Ladrillos de concreto. Requisitos. Lima, Perú : Diario el Peruano, 2015.

- NTP 399.604. 2002.** Unidades de Albañilería. Método de muestreo y ensayos de unidades de albañilería de concreto. Lima - Perú : INDECOPI, 2002.
- NTP 399.605. 2013.** Unidades de albañilería. Método de ensayo para la determinación de la resistencia en compresión de prismas de albañilería. Lima, Perú : INACAL, 2013.
- NTP 399.621. 2004. revisada el 2015.** Unidades de albañilería. Método de ensayo de compresión diagonal en muretes de albañilería. Lima, Perú : INACAL, 2004. revisada el 2015.
- OSMAN, S, y otros. 2013.** Experimental Analysis of Interlocking Load Bearing Wall Brickool System. *Scientific.Net*. [En línea] 5 de 12 de 2013. [Citado el: 14 de 11 de 2019.] Disponible en: <https://www.scientific.net/KEM.594-595.439>.
- PANG, K, y otros. 2018.** Structural Behaviour of Putra Block Under Axial Load Using FEM. [En línea] 31 de agosto de 2018. [Citado el: 23 de marzo de 2019.] Disponible en: <http://dspace.unimap.edu.my:80/xmlui/handle/123456789/62382>.
- SAN BARTOLOMÉ, A. 2008.** *Comentarios a la Norma Técnica de Edificación E.070 "Albañilería"*. Lima : Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción. SENCICO, 2008.
- SAN BARTOLOMÉ, A; MORENO, M; BOLAÑOS, H. 2007.** Comportamiento a carga lateral cíclica de la albañilería armada de junta seca construida con placas P-14. *Investigaciones en albañilería*. [En línea] Blog de Ángel San Bartolomé, 24 de abril de 2007. [Citado el: 16 de enero de 2017.] Disponible en: <http://blog.pucp.edu.pe/blog/wp-content/uploads/sites/82/2007/04/Bloques-Grapa.pdf>.
- SAN BARTOLOMÉ, A; PEHOVAZ, H. 2001.** Comportamiento sísmico de especímenes construídos con bloques de concreto vibrado tipo grapa. [En línea] 24 de abril de 2001. [Citado el: 16 de enero de 2017.] Disponible en: <http://blog.pucp.edu.pe/blog/wp-content/uploads/sites/82/2007/04/Bloques-Grapa.pdf>.
- SAN BARTOLOMÉ, A; QUIJUN, D; SILVA, W. 2011.** *Diseño y construcción de estructuras sísmorresistentes de albañilería. Primera edición*. Lima : Fondo Editorial PUCP, 2011.
- SOLAŘOVA, H. 2008.** Tvárnice pro suché zdění se zámky. [En línea] 24 de Julio de 2008. [Citado el: 15 de Setiembre de 2018.] Disponible en: <https://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/tvarnice-pro-suche-zdeni-se-zamky>.
- TOTOEV, Y; HARTHY, A. 2015.** Semi Interlocking Masonry as Infill Wall System for Earthquake Resistant Buildings. [En línea] 30 de Agosto de 2015. [Citado el: 16 de Junio de 2018.] Disponible en: [file:///C:/Users/Luis/Downloads/Semi\\_Interlocking\\_Masonry\\_as\\_Infill\\_Wall\\_System\\_fo.pdf](file:///C:/Users/Luis/Downloads/Semi_Interlocking_Masonry_as_Infill_Wall_System_fo.pdf).
- VELASQUEZ, V; VELASQUEZ, A. 2011.** Piezas cerámicas autoajustables. *Patents*. [En línea] 1 de setiembre de 2011. [Citado el: 12 de enero de 2018.] <https://patents.google.com/patent/WO2011104575A1/es>.
- YAP, M. 2015.** *Soloarmar Construction Engineering System*. U\$ 8,955,282 B2 Panamá, 17 de febrero de 2015.

## APÉNDICES

## Apéndice A. Ensayo de los agregados

**Tabla 50. Contenido de humedad del agregado fino**

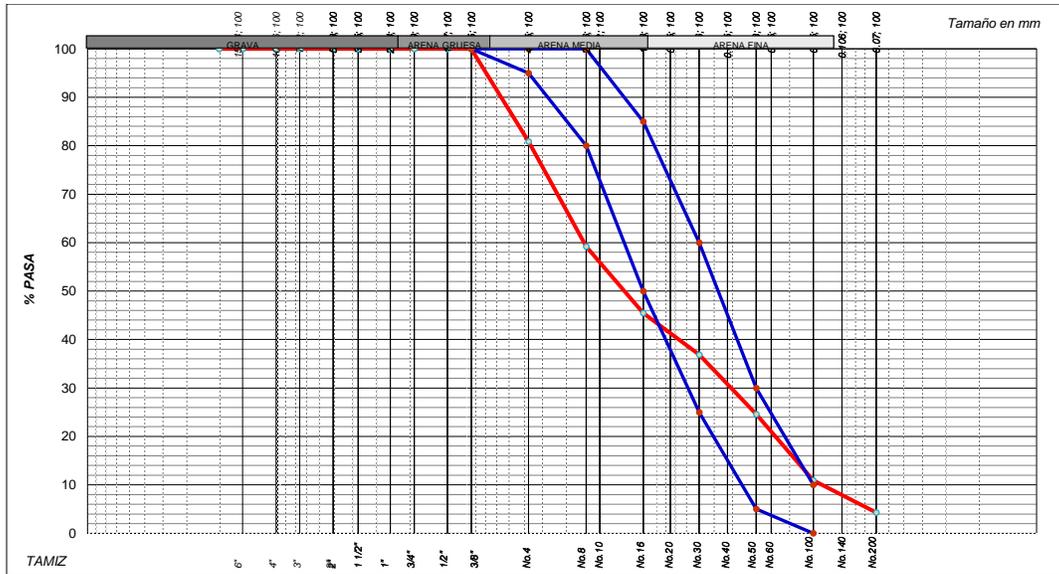
Descripción	Unidad	Cantidad
Peso de recipiente + muestra húmeda	gr	2848.20
Peso de recipiente + muestra seca	gr	2679.10
Peso de recipiente	gr	276.60
Peso del agua contenida	gr	169.10
Peso de suelo seco	gr	2402.50
Contenido de humedad	%	7.0

**Tabla 51. Análisis granulométrico del agregado fino**

Tamiz N°	Abertura (mm)	Peso retenido acumulado	% retenido	% que pasa	ASTM C33
3/8"	9.5	0.000	0.00	100	100
N° 4	4.75	695.6	19.1	80.9	95 100
N° 8	2.36	135.6	40.8	59.2	80 100
N° 16	1.18	220.6	54.5	45.5	50 85
N° 30	0.600	274.5	63.1	36.9	25 60
N° 50	0.300	351.1	75.4	24.6	5 30
N° 100	0.150	436.6	89.1	10.9	0 10
N° 200	0.075	477.8	95.7	4.3	
Cazoleta		477.9			

Módulo de fineza: 3.42

Descripción: arena con grava



**Figura 69** Representación gráfica – análisis granulométrico agregado fino

**Tabla 52.** Peso específico y absorción del agregado fino

Descripción	Unidad	Cantidad
Peso de la muestra S.S.S.	gr	149.93
Peso del picnómetro	gr	649.9
Peso de la muestra S.S.S + peso del picnómetro	gr	658.9
Peso de la muestra S.S.S + peso del picnómetro + peso del agua	gr	958.9
Peso del agua contenida	gr	309.0
Peso del recipiente	gr	73.8
Peso del recipiente + muestra seca	gr	564.7
Peso de la muestra seca	gr	490.9
Volumen del picnómetro	cm <sup>3</sup>	500
Peso específico de masa	gr/cm <sup>3</sup>	2.57
Peso específico de masa saturado con superficie seca	gr/cm <sup>3</sup>	2.62
Peso específico aparente	gr/cm <sup>3</sup>	2.70
Porcentaje de absorción	%	1.9

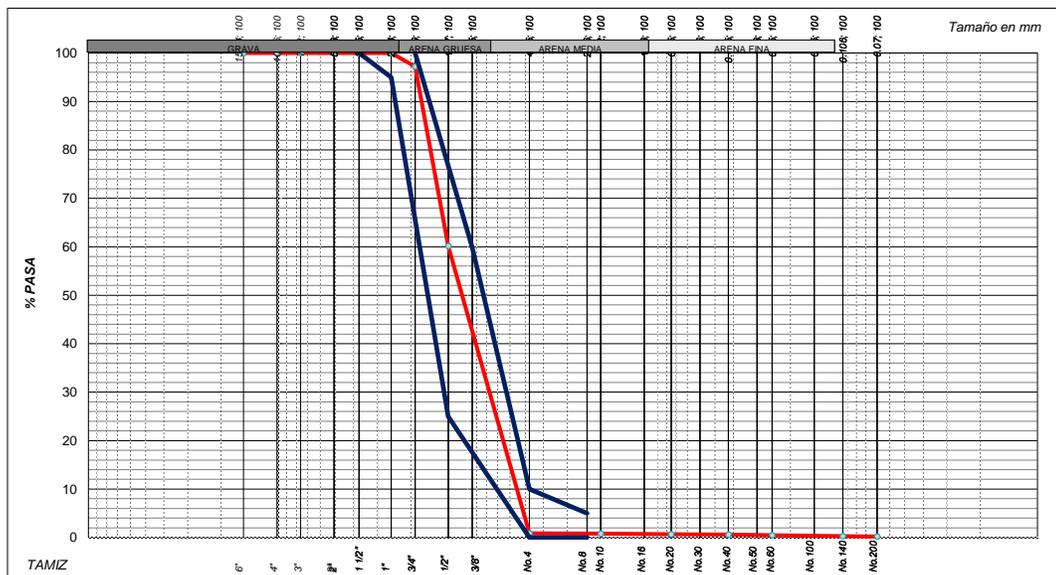
**Tabla 53. Contenido de humedad del agregado grueso**

Descripción	Unidad	Cantidad
Peso de recipiente + muestra húmeda	gr	2978.7
Peso de recipiente + muestra seca	gr	2943.2
Peso de recipiente	gr	264.3
Peso del agua contenida	gr	35.5
Peso de suelo seco	gr	2678.9
Contenido de humedad	%	1.3

**Tabla 54. Análisis granulométrico del agregado grueso**

Tamiz N°	Abertura (mm)	Peso retenido acumulado	% retenido	% que pasa	ASTM C33 Huso 57
1 1/2"	37.5	0.0	0.0	100	100
1"	25.0	0.0	0.0	100	95 100
3/4"	19.0	140.0	2.8	97.2	
1/2"	12.5	1990.0	39.8	60.2	25 60
3/8"	9.5	3777.2	75.5	24.5	
N° 4	4.75	4962.6	99.1	0.9	0 10
N° 8	2.36	2.6	99.2	0.8	0 5
N° 10		5.4	99.2	0.8	
N° 20		8.7	99.3	0.7	
N° 40		13.3	99.4	0.6	
N° 60		20.4	99.5	0.5	
N° 140		31.0	99.7	0.3	
N° 200	0.75	33.8	99.8	0.2	
Cazoleta		33.9			

Descripción: Grava



**Figura 70** Representación gráfica – análisis granulométrico agregado grueso

**Tabla 55. Peso específico del agregado grueso**

Descripción	Unidad	Cantidad
Agregado S.S.S. + peso de recipiente	gr	3959.8
Agregado seco + peso de recipiente	gr	3917.2
Peso del recipiente	gr	265.4
Agregado S.S.S	gr	3694.4
Agregado seco	gr	3651.8
Agregado + peso canastilla sumergida	gr	4443.6
Peso de canastilla sumergida	gr	2138.8
Agregado saturado sumergido	gr	2304.8
Temperatura del agua	°C	23
Factor de corrección		1
Peso específico aparente	gr/cm <sup>3</sup>	2.711
Gravedad específica Bulk SSS	gr/cm <sup>3</sup>	2.659
Gravedad específica Bulk	gr/cm <sup>3</sup>	2.628
Absorción	%	1.2

**Tabla 56. Peso unitario de arena**

<b>Descripción</b>	<b>Unidades</b>	<b>M1</b>	<b>M2</b>	<b>M3</b>
Agregado varillado +peso del molde	gr	23800.0	23550.0	23650.0
Peso del molde	gr	7204.4	7204.4	7204.4
Volumen del molde	cm <sup>3</sup>	9452.77	9452.77	9452.77
Peso del agregado	gr	16595.6	16345.6	16445.6
Peso unitario compactado	gr	1.756	1.729	1.740
Promedio del peso unitario compactado	gr		1.742	
Peso específico aparente	gr/cm <sup>3</sup>	2.698	0.000	0.000
Peso unitario del agua	gr/cm <sup>3</sup>	1.000	1.000	1.000
Vacíos	%	0.35	0.35	0.35
Peso del agregado suelto + molde	gr	22500.0	22350.0	22450.0
Peso del agregado suelto	gr	15295.6	15145.6	15245.6
Peso unitario suelto	gr/cm <sup>3</sup>	1.618	1.602	1.613
Promedio del peso unitario suelto	gr/cm <sup>3</sup>		1.611	
Vacíos	%	0.40	0.40	0.40
Promedio de vacíos	%		0.40	

**Tabla 57. Peso unitario de la grava**

<b>Descripción</b>	<b>Unidades</b>	<b>M1</b>	<b>M2</b>	<b>M3</b>
Agregado varillado +peso del molde	gr	21150.0	21200.0	21180.0
Peso del molde	gr	7204.4	7204.4	7204.4
Volumen del molde	cm <sup>3</sup>	9452.77	9452.77	9452.77
Peso del agregado	gr	13945.6	13955.6	13975.6
Peso unitario compactado	gr	1.475	1.481	1.478
Promedio del peso unitario compactado	gr		1.478	
Peso específico aparente	gr/cm <sup>3</sup>	2.711	2.711	2.711
Peso unitario del agua	gr/cm <sup>3</sup>	1.000	1.000	1.000
Vacíos	%	0.46	0.46	0.46
Peso del agregado suelto + molde	gr	20050.0	20050.0	20050.0
Peso del agregado suelto	gr	12845.6	12845.6	12845.6
Peso unitario suelto	gr/cm <sup>3</sup>	1.359	1.359	1.364
Promedio del peso unitario suelto	gr/cm <sup>3</sup>		1.361	
Vacíos	%	0.50	0.50	0.50
Promedio de vacíos	%		0.50	

**Apéndice B. Diseño de mezcla**

**Tabla 58. Descripción de los materiales**

Cemento		Agregado fino		Agregado grueso		Agua
Portland Tipo	I	Procedencia	Río Chonta	Procedencia	Río Chonta	Potable
Peso específico (gr/cm <sup>3</sup> )	3.12	Peso específico (gr/cm <sup>3</sup> )	2.62	Peso específico (gr/cm <sup>3</sup> )	2.659	
		Peso unitario suelto seco (gr/cm <sup>3</sup> )	1.611	Peso unitario suelto seco (gr/cm <sup>3</sup> )	1.361	
		Peso unitario seco compactado (gr/cm <sup>3</sup> )	1.742	Peso unitario seco compactado (gr/cm <sup>3</sup> )	1.478	
		Humedad natural (%)	7.0	Tamaño máximo nominal (pulg)	½	
		Absorción (%)	1.9	Humedad natural (%)	2.6	
		Módulo de fineza	3.42	Absorción (%)	1.2	
		Material fino que pasa la malla N° 200 (%)	4.3			

**Tabla 59. Requisitos Estructurales  $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$**

Descripción	unidades	Cantidad
Requisitos a la compresión de diseño $f'c$	(kg/cm <sup>2</sup> )	175
Requisitos a la compresión de diseño $f'cr$	(kg/cm <sup>2</sup> )	245
Asentamiento	pulg	0 - 2

**Tabla 60. Material por m<sup>3</sup> de concreto f'c = 175 Kg/cm<sup>2</sup>**

Cantidades de material por m <sup>3</sup>		Cantidades de material corregidos por humedad por m <sup>3</sup>	
Cemento (Kg)	342	Cemento (Kg)	342
Agregado fino seco (Kg)	869	Agregado fino seco (Kg)	929
Agregado grueso seco (Kg)	887	Agregado grueso seco (Kg)	910
Agua (lt)	205	Agua (lt)	181
Contenido de aire atrapado (%)	2.5	Contenido de aire atrapado (%)	2.5

**Tabla 61. Proporción de materiales f'c = 175 Kg/cm<sup>2</sup>**

	Pesos secos		Pesos corregidos	
Proporción en peso seco	Cemento	1	Cemento	1
	Agregado fino (Kg)	2.54	Agregado fino (Kg)	2.72
	Agregado grueso (Kg)	2.59	Agregado grueso (Kg)	2.66
	Agua (lt/bolsa)	24.9	Agua (lt/bolsa)	18
Proporción en volumen	Cemento	1	Cemento	1
	Agregado fino	3.03	Agregado fino	3.4
	Agregado grueso	3.04	Agregado grueso	3.2
	Agua (lt/bolsa)	24.9	Agua (lt/bolsa)	18

**Tabla 62. Resistencia a la compresión del concreto para ladrillos**

N°	Serie	Fecha de moldeo	Edad (días)	Fecha de rotura	Carga (kg)	Diámetro (cm)	Resistencia f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia de diseño (kg/cm <sup>2</sup> )	% Resist.	Tipo de rotura
1	Probeta 1	28/11/17	7	05/12/17	32622	15.18	180	178	175	102	3
2	Probeta 2	28/11/17	7	05/12/17	31951	15.19	176		175		2
3	Probeta 3	28/11/17	28	26/12/17	55698	15.20	307	307	175	175	4

1      2      3      4      5      6

Tipos de rotura

**Tabla 63. Resistencia a la compresión del concreto para columnas**

N°	Serie	Fecha de moldeo	Edad (días)	Fecha de rotura	Carga (kg)	Diámetro (cm)	Resistencia f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia de diseño (kg/cm <sup>2</sup> )	% Resist.	Tipo de rotura
1	Probeta 1	07/02/18	7	14/02/18	32580	15.19	180	180	175	103	2
2	Probeta 2	07/02/18	7	14/02/18	32490	15.19	179		175		2
3	Probeta 3	07/02/18	28	07/03/18	55523	15.18	307	307	175	175	4



Tipos de rotura

**Tabla 64. Resistencia del concreto para viga solera**

N°	Serie	Fecha de moldeo	Edad (días)	Fecha de rotura	Carga (kg)	diámetro (cm)	Resistencia f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia de diseño (kg/cm <sup>2</sup> )	% Resist.	Tipo de rotura
1	Probeta 1	08/02/18	7	15/02/18	31340	15.20	173	175	175	100	3
2	Probeta 2	08/02/18	7	15/02/18	31951	15.19	176		175		2
3	Probeta 3	08/02/18	28	08/03/18	56498	15.20	311	311	175	178	2



Tipos de rotura

## Apéndice C. Ensayos clasificatorios

**Tabla 65. Variación dimensional de los ladrillos**

Espé- men	Longitud (mm)					Ancho (mm)					Altura (mm)				
	L1	L2	L3	L4	Lo	A1	A2	A3	A4	Ao	H1	H2	H3	H4	Ho
E-01	240.	240.	240.	240.	240.	121.	121.	121.	121.	121.	82.	81.	81.	82.	82.
	25	52	35	44	39	31	31	32	31	31	35	74	27	69	01
E-02	240.	240.	240.	240.	240.	121.	121.	121.	121.	121.	80.	81.	82.	81.	81.
	35	43	26	51	39	35	34	33	31	33	43	70	35	33	45
E-03	240.	240.	240.	240.	240.	121.	121.	121.	121.	121.	81.	81.	81.	82.	81.
	43	36	40	27	37	32	32	34	33	33	28	68	84	34	79
E-04	240.	240.	240.	240.	240.	121.	121.	121.	121.	121.	80.	82.	81.	81.	81.
	52	43	34	25	39	35	35	33	33	34	45	33	69	29	44
E-05	240.	240.	240.	240.	240.	121.	121.	121.	121.	121.	81.	81.	82.	81.	81.
	44	26	38	35	36	33	33	34	33	33	32	68	36	44	70
E-06	240.	240.	240.	240.	240.	121.	121.	121.	121.	121.	81.	81.	82.	82.	82.
	52	35	43	27	39	33	34	34	34	34	28	76	35	70	02
E-07	240.	240.	240.	240.	240.	121.	121.	121.	121.	121.	82.	81.	82.	81.	82.
	35	42	41	28	37	33	32	34	34	33	70	67	33	45	04
E-08	240.	240.	240.	240.	240.	121.	121.	121.	121.	121.	82.	81.	81.	81.	81.
	42	34	39	27	36	33	32	32	34	33	71	74	32	47	81
E-09	240.	240.	240.	240.	240.	121.	121.	121.	121.	121.	82.	81.	81.	81.	81.
	26	42	36	35	35	34	33	33	33	33	37	69	44	32	71
E-10	240.	240.	240.	240.	240.	121.	121.	121.	121.	121.	82.	82.	82.	81.	82.
	43	26	39	35	36	34	34	33	33	34	36	43	31	29	10
	Longitud teórica L:				240.	Ancho teórico L:				120.	Altura L:				82.
					00					00					00
	Desviación $\sigma$ :				0.02	Desviación $\sigma$ :				0.01	Desviación $\sigma$ :				0.2
															4
	Longitud promedio:				240.	Ancho promedio:				121.	Altura promedio:				81.
					37					33					81
	Variabilidad dimensional %:				-	Variabilidad dimensional %:				-	Variabilidad dimensional %:				0.2
					0.15					1.11					4
	Coeficiente de variación %:				0.01	Coeficiente de variación %:				0.01	Coeficiente de variación %:				0.2
															9

**Tabla 66. Alabeo en ladrillos**

Espé- cimen	Cara superior		Cara inferior	
	Cóncavo (mm)	Convexo (mm)	Cóncavo (mm)	Convexo (mm)
E-01	0.10	0.00	0.10	0.00
E-02	0.00	0.00	0.10	0.00
E-03	0.20	0.00	0.10	0.00
E-04	0.20	0.00	0.00	0.00
E-05	0.10	0.00	0.10	0.00
E-06	0.00	0.00	0.10	0.00
E-07	0.00	0.00	0.20	0.00
E-08	0.10	0.00	0.10	0.00
E-09	0.20	0.00	0.00	0.00
E-10	0.14	0.00	0.00	0.00
Promedio	Cóncavo		0.09	
	Convexo		0.00	

**Tabla 67. Resistencia a la compresión en ladrillos**

Espécimen	Largo (mm)		Ancho (mm)		Altura (mm)		Peso seco (g)		Carga máx. (KN)	Área neta (m <sup>2</sup> )	fb (MPa)	fb (kg)
	L1	L2	A1	A2	H1	H2						
E-01	240.2 6	240.3 8	121.3 4	121.3 3	82.3 5	82.2 3	549 0	549 0	624.0 0	0.02 9	21.40	218.2 2
E-02	240.3 6	240.5 0	121.3 4	121.3 3	80.5 0	80.3 5	542 2	542 2	671.5 1	0.02 9	23.02	234.7 2
E-03	240.4 4	240.2 8	121.3 2	121.3 3	81.3 0	81.6 0	543 6	543 6	642.9 3	0.02 9	22.05	224.8 2
E-04	240.7 0	240.6 0	121.3 2	121.3 4	81.4 5	81.3 0	545 5	545 5	666.2 0	0.02 9	22.82	232.6 7
E-05	240.2 6	240.3 5	121.3 3	121.3 5	81.3 5	80.5 5	543 8	543 8	633.4 0	0.02 9	21.72	221.5 1
E-06	240.5 0	240.2 7	121.3 2	121.3 2	81.2 0	81.3 5	543 3	543 3	610.2 5	0.02 9	20.93	213.3 8
E-07	240.3 6	240.2 8	121.3 3	121.3 4	81.6 0	81.4 0	541 1	541 1	612.3 0	0.02 9	21.00	214.1 3
E-08	240.3 4	240.5 0	121.3 4	121.3 3	82.2 0	81.9 6	544 4	544 4	668.7 0	0.02 9	22.92	233.7 5
E-09	240.4 2	240.5 1	121.3 3	121.3 5	81.8 0	81.7 0	552 0	552 0	662.8 0	0.02 9	22.72	231.6 4
E-10	240.2 6	240.3 8	121.3 4	121.3 2	81.7 0	81.6 0	549 9	549 9	690.1 5	0.02 9	23.67	241.3 6
Resistencia a la compresión (fb)											22.22	226.6 2
Desviación estándar ( $\sigma$ ):											0.94	9.59
Resistencia característica a la compresión (f'b)											21	217
Coeficiente de variación (c.v.)											4.23 %	4.23%

Las fallas de las pilas fueron del tipo de separación del frente superficial tomado como referencia los esquemas presentados en la norma NTE 399.605 del 2013.

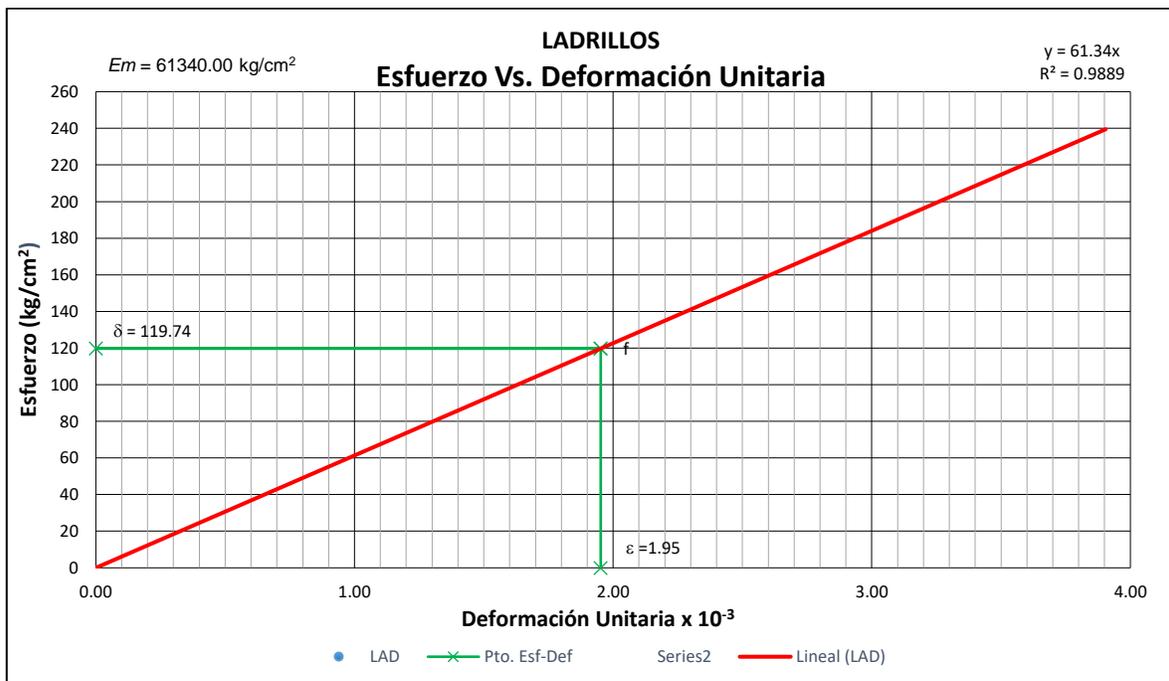
**Tabla 68. Datos procesados para obtener el gráfico Esfuerzo vs. Deformación**

LADRILLO 1				
Carga (KN)	Carga (kg)	Def. (mm)	Def . Unit.	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.00	0.00	0.00000	0.0000
20	2039.44	0.10	0.12152	6.9941
40	4078.88	0.19	0.2309	13.9883
60	6118.32	0.30	0.3646	20.9824
80	8157.76	0.37	0.4496	27.9766
100	10197.20	0.48	0.5833	34.9707
120	12236.64	0.60	0.7291	41.9649
140	14276.08	0.68	0.8263	48.9590
160	16315.52	0.80	0.9722	55.9532
180	18354.96	0.88	1.0694	62.9473
200	20394.40	0.95	1.1545	69.9415
220	22433.84	1.05	1.2760	76.9356
240	24473.28	1.17	1.4218	83.9298
260	26512.72	1.30	1.5798	90.9239
280	28552.16	1.38	1.6770	97.9181
300	30591.60	1.45	1.7621	104.9122
320	32631.04	1.51	1.8350	111.9064
340	34670.48	1.62	1.9686	118.9005
360	36709.92	1.74	2.1145	125.8947
380	38749.36	1.84	2.2360	132.8888
400	40788.8	1.93	2.3454	139.8830
420	42828.24	2.00	2.4304	146.8771
440	44867.68	2.07	2.5155	153.8713
460	46907.12	2.18	2.6492	160.8654
480	48946.56	2.25	2.7342	167.8596
500	50986.00	2.34	2.8436	174.8537
520	53025.44	2.44	2.9651	181.8479
540	55064.88	2.55	3.0988	188.8420
560	57104.32	2.62	3.1839	195.8362
580	59143.76	2.71	3.2932	202.8303
600	61183.20	2.85	3.4634	209.8245
620	63222.64	2.96	3.5970	216.8186
624	63630.528	2.98	3.6213	218.2175

Nota: Los datos de longitud, ancho y alto de los ladrillos son los que se muestran en la tabla 67 del ensayo de resistencia a compresión de ladrillos. El procedimiento fue el mismo para los nueve ladrillos restantes.

**Tabla 69. Datos resumidos para el gráfico Esfuerzo vs. Deformación en ladrillos**

Unidad	Carga máx. (kg)	Deformación máx. (mm)	Deformación Unitaria	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
L 01	63630.53	2.98	3.6213	218.22
L 02	68474.20	3.14	3.9043	234.72
L 03	65560.86	2.93	3.5973	224.82
L 04	67933.75	3.09	3.7972	232.67
L 05	64589.06	2.66	3.2860	221.51
L 06	62228.41	3.01	3.7035	213.38
L 07	62437.46	3.00	3.6810	214.13
L 08	68188.68	2.88	3.5337	233.75
L 09	67587.04	3.03	3.7064	231.64
L 10	70375.98	3.16	3.8702	241.36



**Figura 71. Gráfica Esfuerzo Vs. Deformación Unitaria de unidades de ladrillo**

## Apéndice D. Ensayos no clasificatorios

**Tabla 70. Absorción de ladrillos**

Muestra	Peso Seco 1 (g)	Peso Seco 2 (g)	Peso Seco 3 (g)	Peso Saturado (g)	Absorción (%)
1	5196	5192	5192	5560	7.09
2	5153	5150	5150	5491	6.62
3	5527	5523	5523	5768	4.44
4	5152	5147	5148	5482	6.49
5	5318	5313	5313	5595	5.31
6	5436	5432	5432	5733	5.54
7	5228	5223	5224	5567	6.57
8	5284	5279	5279	5614	6.35
9	5239	5234	5234	5520	5.46
10	5189	5184	5184	5544	6.94
Promedio ( $\bar{X}$ )					6.08
Desviación estándar ( $\sigma$ )					0.85
Coeficiente de variación (c.v)					13.97

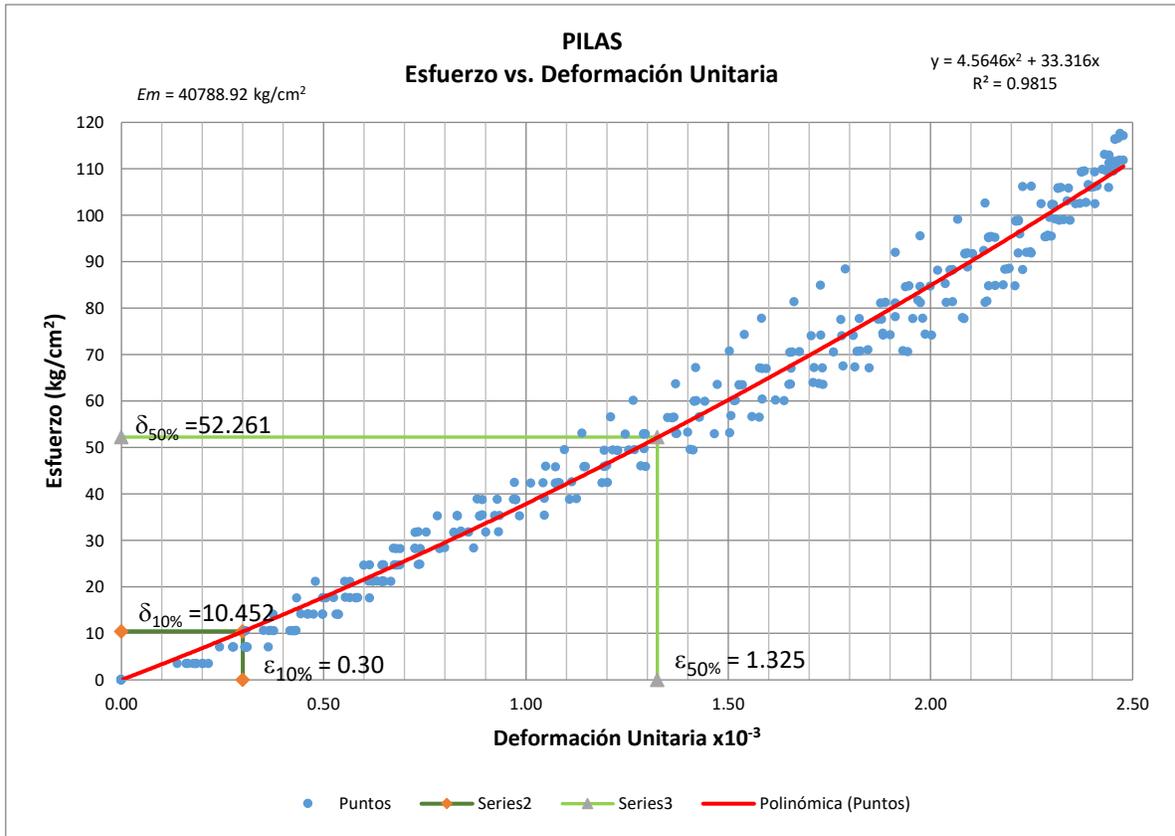
## Apéndice E. Ensayos en pilas

**Tabla 71. Resistencia a la compresión en pilas ( $f'_m$ )**

Especimen	Dimensiones			Esbeltez (H/A)	P máx. (KN)	Área (mm <sup>2</sup> )	$f_m$ (MPa)	Factor Corrección	$f_m$ Corregido (MPa)	$f_m$ Corregido (Kg/cm <sup>2</sup> )	
	L (mm)	A (mm)	H (mm)								
P-01	239.00	120.04	325	2.71	314.7	28688.37	10.97	0.846	9.28	94.59	
P-02	240.03	120.03	324	2.70	300.2	28809.00	10.42	0.844	8.79	89.67	
P-03	240.15	120.03	324	2.70	310.5	28824.00	10.77	0.844	9.09	92.68	
P-04	241.00	120.01	326	2.72	333.6	28921.21	11.54	0.898	9.78	99.71	
P-05	240.45	120.01	325	2.71	331.5	28856.40	11.49	0.846	9.72	99.08	
P-06	240.88	120.00	325	2.71	316.5	28905.00	10.95	0.846	9.26	94.44	
P-07	239.73	120.02	327	2.72	315.6	28772.39	10.97	0.849	9.32	95.01	
P-08	240.43	120.00	326	2.72	314.7	28851.00	10.91	0.848	9.24	94.27	
P-09	240.30	120.10	324	2.70	312.2	28860.63	10.82	0.843	9.12	93.04	
P-10	240.73	120.00	326	2.72	350.1	28887.00	12.12	0.848	10.27	104.76	
									$f_m$ :	<b>9.39</b>	<b>95.73</b>
									Desviación $\sigma$ :	<b>0.42</b>	<b>4.31</b>
									$f'_m$ :	<b>8.96</b>	<b>91.41</b>
									c.v. :	<b>4.51%</b>	<b>4.51%</b>

**Tabla 72. Datos para obtener el gráfico Esfuerzo vs. Deformación en pilas**

PILA - 01				
Carga (KN)	Carga (kg)	Deformación (mm)	Def . Unitaria	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0000.00	0.00	0.00000	0.0000
10	1019.72	0.20	0.2154	3.5543
20	2039.44	0.50	0.3077	7.1086
30	3059.16	0.80	0.3692	10.6630
40	4078.88	1.00	0.4615	14.2173
50	5098.60	1.45	0.5538	17.7716
60	6118.32	1.68	0.6462	21.3259
70	7138.04	2.00	0.7385	24.8803
80	8157.76	2.40	0.8000	28.4346
90	9177.48	2.73	0.8400	31.9889
100	10197.2	3.00	0.8923	35.5432
110	11216.92	3.40	1.0462	39.0976
120	12236.64	3.62	1.1138	42.6519
130	13256.36	3.90	1.2000	46.2062
140	14276.08	4.20	1.2923	49.7605
150	15295.80	4.55	1.4000	53.3149
160	16315.52	4.90	1.5077	56.8692
170	17335.24	5.15	1.5846	60.4235
180	18354.96	5.56	1.7108	63.9778
190	19374.68	5.80	1.78462	67.5322
200	20394.40	6.00	1.8462	71.0865
210	21414.12	6.12	1.8831	74.6408
220	22433.84	6.22	1.9138	78.1951
230	23453.56	6.40	1.9692	81.7495
240	24473.28	6.62	2.0369	85.3038
250	25493.00	6.80	2.0923	88.8581
260	26512.72	6.93	2.1323	92.4124
270	27532.44	7.22	2.2215	95.9668
280	28552.16	7.46	2.2954	99.5211
290	29571.88	7.60	2.3385	103.0754
300	30591.60	7.77	2.3908	106.6297
310	31611.32	7.94	2.4431	110.1841
314.7	32090.59	8.02	2.4677	111.8546



**Figura 72.** Gráfica Esfuerzo Vs. Deformación Unitaria en pilas

## Apéndice F. Ensayos en muretes

**Tabla 73. Peso volumétrico de muretes**

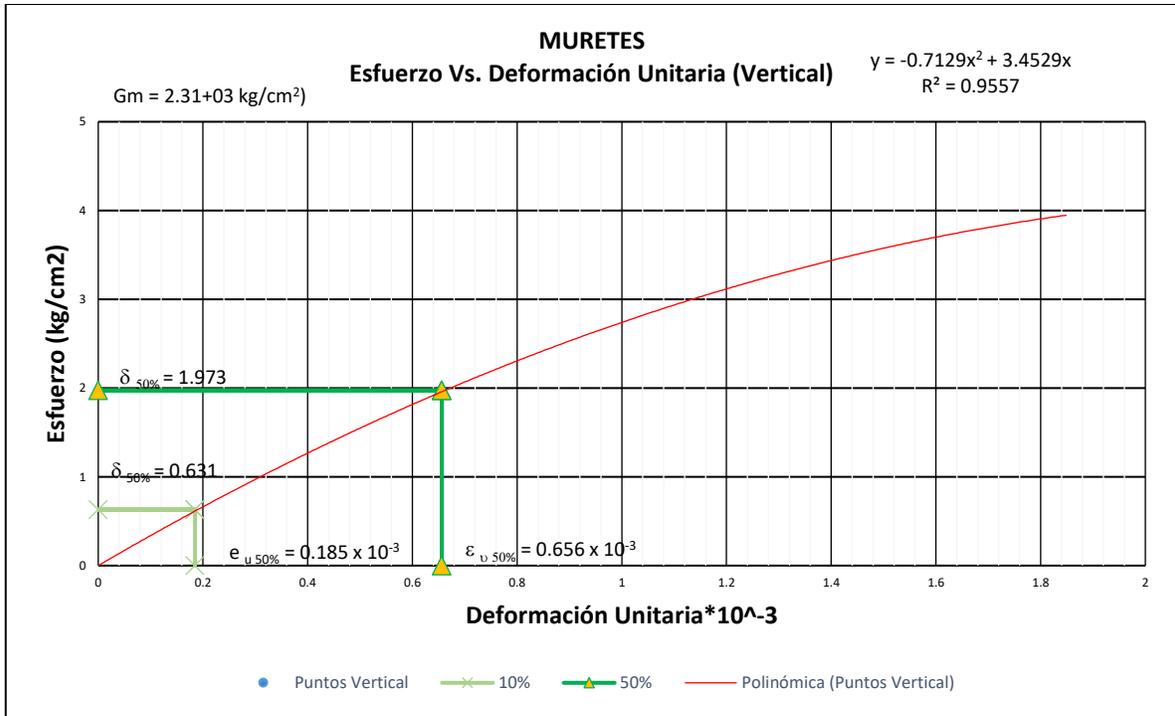
Espécimen	Peso (kg)	Volumen Promedio (m <sup>3</sup> )	Peso Volumétrico (ton/m <sup>3</sup> )	Promedio (ton/m <sup>3</sup> )
M-01	129.6	0.058	2.22	
M-02	129.8	0.058	2.23	
M-03	129.2	0.059	2.20	
M-04	129.7	0.059	2.20	
M-05	129.5	0.058	2.23	
M-06	129.6	0.058	2.22	2.221
M-07	129.8	0.058	2.23	
M-08	129.8	0.058	2.23	
M-09	129.5	0.058	2.22	
M-10	129.7	0.058	2.22	

**Tabla 74. Resistencia al Corte en muretes**

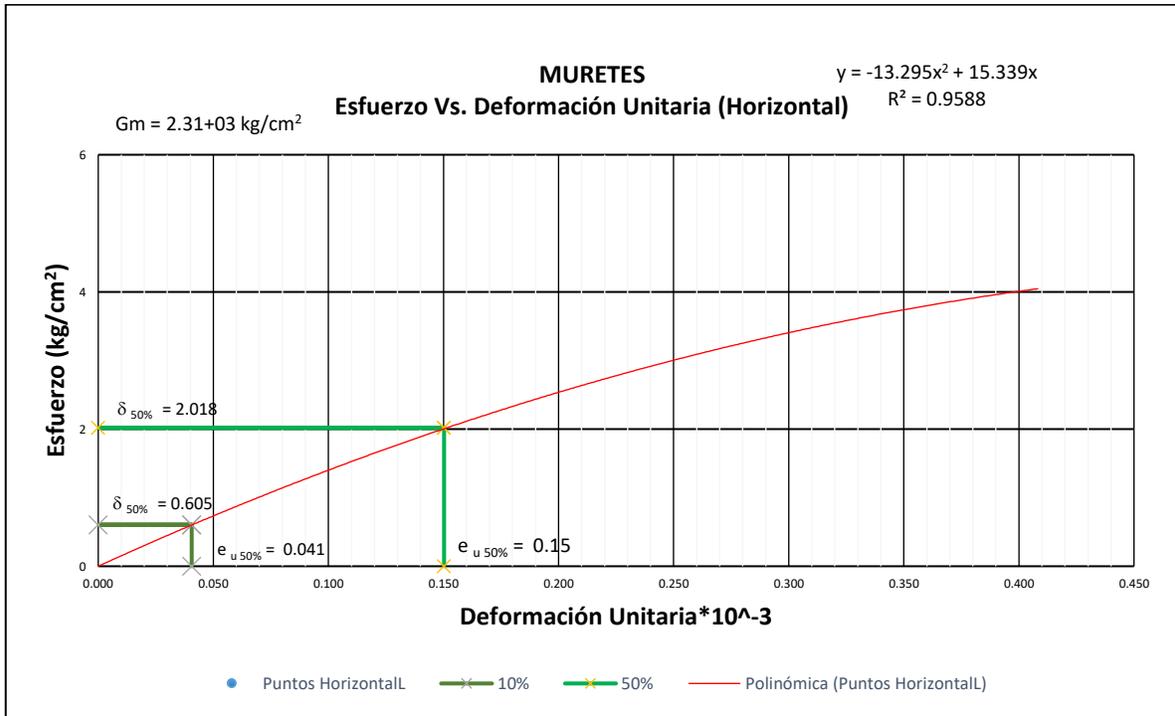
Espécimen	Dimensiones				P. Max. (kg)	Área (cm <sup>2</sup> )	v' <sub>m</sub> (MPa)	v' <sub>m</sub> (K/cm <sup>2</sup> )
	t	D(mm)	Lo (mm)	Ao (mm)				
M-01	119.8	985	720	675	3358.25	1180.03	0.28	2.85
M-02	119.9	986	723	675	3535.00	1182.21	0.29	2.99
M-03	119.9	986	725	678	3358.25	1182.21	0.28	2.84
M-04	119.8	985	724	674	3407.74	1180.03	0.28	2.89
M-05	119.8	986	723	675	3358.25	1181.23	0.28	2.84
M-06	119.8	987	725	674	3216.85	1182.43	0.27	2.72
M-07	119.9	985	725	675	3552.20	1181.02	0.27	2.75
M-08	119.9	986	725	676	3181.50	1182.21	0.26	2.69
M-09	119.8	985	723	675	3322.90	1180.03	0.28	2.82
M-10	119.9	986	724	675	3337.04	1182.21	0.28	2.82
V <sub>m</sub> prom =							0.28	2.82
Desviación estándar σ =							0.01	0.09
v' <sub>m</sub> =							0.27	2.74
Coeficiente de variación c.v.=							3.04%	3.04%

**Tabla 75. Datos para obtener el gráfico Esfuerzo vs. Deformación en muretes**

MURETE 01						
Carga (kg)	VERTICAL			Horizontal		
	Deformación (mm)	Def. Unitaria	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Deformación (mm)	Def. Unitaria	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.00	0.00000	0.0000	0.00	0.00000	0.0000
250	1.00	0.10020	0.2088	0.20	0.02040	0.2125
500	2.00	0.20040	0.4175	0.50	0.05099	0.4250
750	2.80	0.28056	0.6263	0.70	0.07139	0.6374
1000	3.10	0.31062	0.8350	0.90	0.09179	0.8499
1250	3.70	0.37074	1.0438	0.99	0.10097	1.0624
1500	4.20	0.42084	1.2525	1.20	0.12239	1.2749
1750	5.00	0.50100	1.4613	1.35	0.13768	1.4873
2000	6.00	0.60120	1.6700	1.50	0.15298	1.6998
2250	6.50	0.65130	1.8788	1.58	0.16114	1.9123
2500	7.00	0.70140	2.0875	1.80	0.18358	2.1248
2750	8.50	0.85170	2.2963	2.01	0.20500	2.3372
3000	10.00	1.00200	2.5050	2.11	0.21520	2.5497
3250	11.00	1.10220	2.7138	2.49	0.25395	2.7622
3500	12.00	1.20240	2.9225	2.65	0.27027	2.9747
3750	13.00	1.30261	3.1313	2.97	0.30291	3.1871
4000	14.50	1.45291	3.3400	3.15	0.32126	3.3996
4250	15.00	1.50301	3.5488	3.40	0.34676	3.6121
4500	16.00	1.60321	3.7575	3.50	0.35696	3.8246
4750	16.50	1.65331	3.9663	3.80	0.38756	4.0371



**Figura 73.** Esfuerzo vs. Deformación Unitaria (vertical) de muretes



**Figura 74.** Esfuerzo vs. Deformación Unitaria (horizontal) de muretes

**Apéndice G. Ensayos en tripletes**

**Tabla 76. Resistencia al corte en elementos de acople**

Espécimen	Diámetro (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	Carga Aplicada (KN)	Carga Aplicada (Kg)	Resistencia al corte (tn/m <sup>2</sup> )	Resistencia al corte (kg/cm <sup>2</sup> )
T - 01	2.5	9.82	175	14.76	1505.08	3.83	38.33
T - 02	2.5	9.82	175	14.65	1493.86	3.80	38.04
T - 03	2.5	9.82	175	14.81	1510.18	3.85	38.46
T - 04	2.5	9.82	175	14.73	1502.02	3.82	38.25
T - 05	2.5	9.82	175	14.71	1499.98	3.82	38.20
T - 06	2.5	9.82	175	14.75	1504.06	3.83	38.30
T - 07	2.5	9.82	175	14.69	1497.94	3.81	38.14
T - 08	2.5	9.82	175	14.74	1503.04	3.83	38.27
T - 09	2.5	9.82	175	14.80	1509.16	3.84	38.43
T - 10	2.5	9.82	175	14.77	1506.10	3.84	38.35
Resistencia al corte promedio ( $\bar{X}$ )						3.83	38.28
Desviación estándar ( $\sigma$ )						0.01	0.13
Resistencia al corte (Vt)						3.82	38.15
Coeficiente de variación (c.v.)						0.33%	0.33%

## Apéndice H. Ensayos en muros

### Tabla 77. Espesor efectivo del muro

Altura de muro (h) m	Norma E.070 Espesor efectivo (t) = h/20 m	Espesor efectivo real m	Cumple / No cumple
1.80	0.09	0.12	Cumple

### Tabla 78. Desplazamiento por fase de ensayo – Muro 1

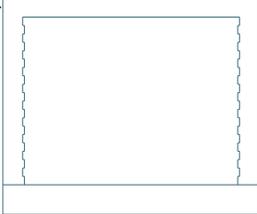
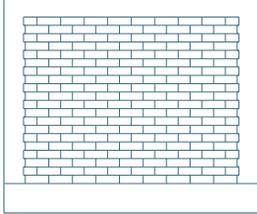
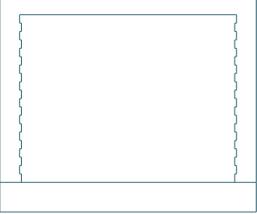
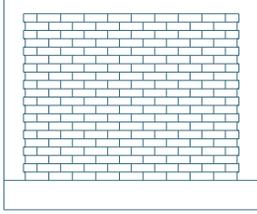
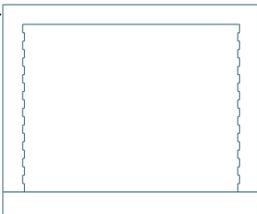
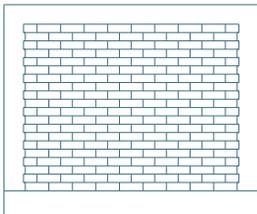
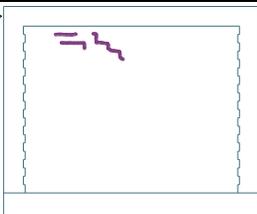
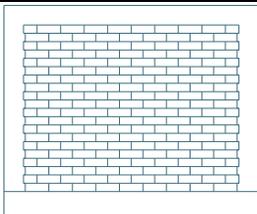
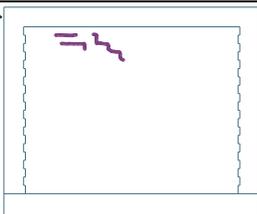
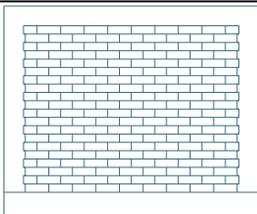
Fase	Carga (Kg)	Desplazamiento (mm)
0	0	0.00
1	500	1.20
2	1000	2.25
3	1500	4.25
4	2000	6.75
5	2500	8.75
6	3000	11.25
7	3500	15.55
8	4000	19.00
9	4500	23.75
10	5000	24.00
11	5500	27.00
12	6000	29.50
13	6500	33.75
14	7000	37.25
15	7500	40.50
16	8000	43.50
17	8500	44.40
18	9000	54.25
19	9140	61.25

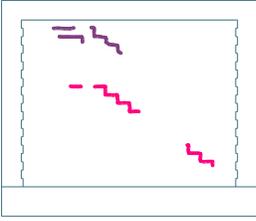
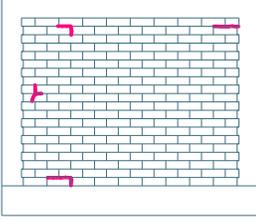
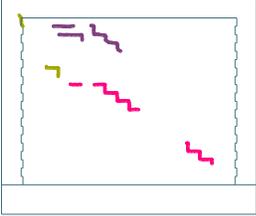
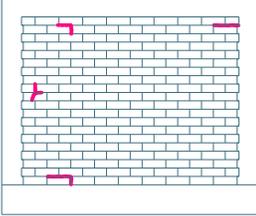
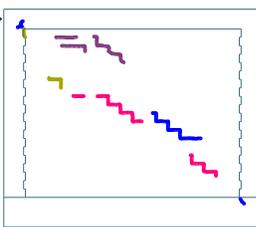
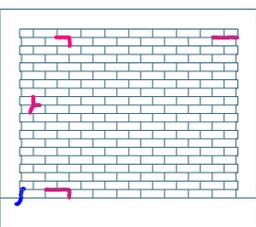
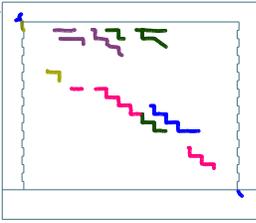
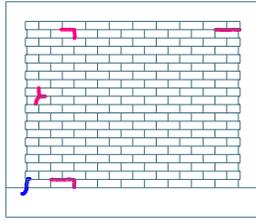
**Tabla 79. Desplazamiento por fase de ensayo – Muro 2**

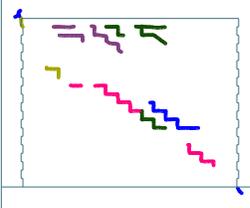
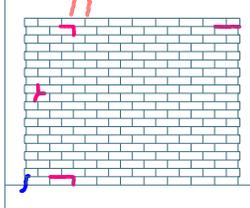
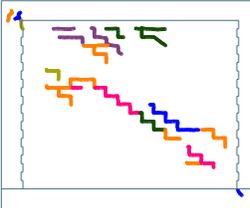
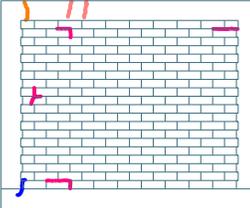
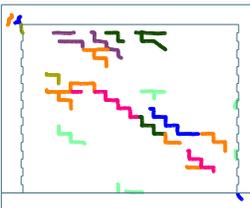
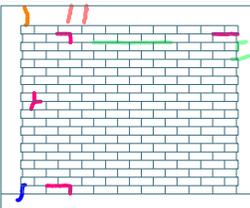
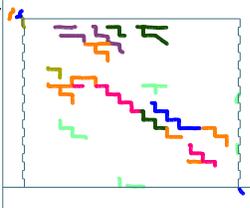
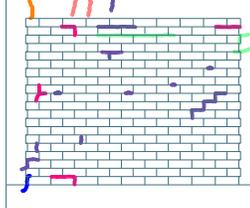
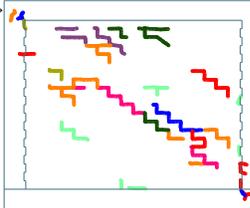
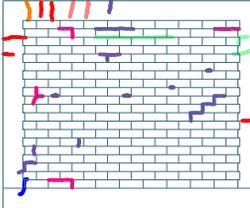
<b>Fase</b>	<b>Carga (Kg)</b>	<b>Desplazamiento (mm)</b>	<b>Descarga (mm)</b>	<b>Desplazamiento (mm)</b>
0	0	0.00	0.00	0.00
1	250	0.00	0.00	0.00
2	500	0.25	0.00	0.00
3	750	0.25	0.00	0.00
4	1000	0.65	0.00	0.25
5	1250	0.80	0.00	0.25
6	1500	1.00	0.00	0.25
7	1750	1.35	0.00	0.25
8	2000	1.90	0.00	0.50
9	2250	2.15	0.00	0.50
10	2500	2.40	0.00	0.50
11	2750	2.65	0.00	0.25
12	3000	3.25	0.00	0.25
13	3500	3.90	0.00	0.75
14	4000	5.85	0.00	1.60
15	4500	8.00	0.00	3.25
16	5000	11.00	-	-
17	5500	12.50	-	-
18	6000	13.25	-	-
19	6500	15.25	-	-
20	7000	18.00	-	-
21	7170	20.25	-	-

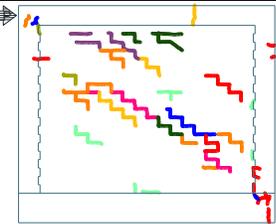
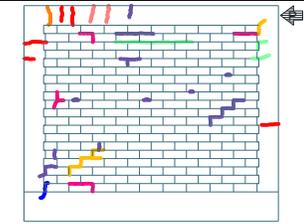
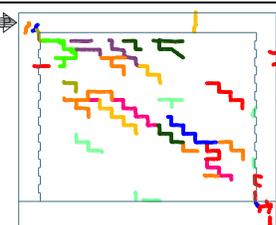
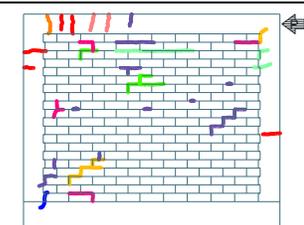
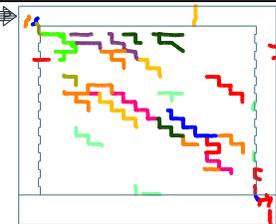
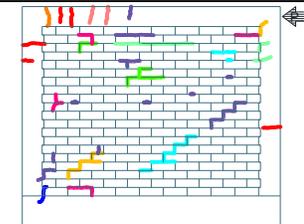
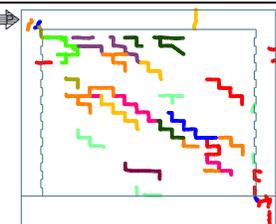
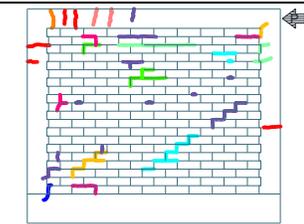
## Comportamiento de los muros durante el ensayo

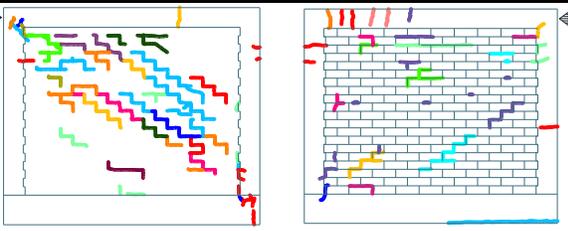
Tabla 80. Comportamiento del Muro 1

Fase/Fuerza/ Desplazamiento	Descripción	Representación gráfica de fisuras Cara enlucida – Cara vista	
<p><b>1</b></p> <p>Fuerza = 500 kg</p> <p>D=1.20 mm</p>	<p>No existe presencia de grietas en ninguna de las dos caras del muro.</p>		
<p><b>2</b></p> <p>Fuerza =1000 kg</p> <p>D= 2.25 mm</p>	<p>No existe presencia de grietas en ninguna de las dos caras del muro.</p>		
<p><b>3</b></p> <p>Fuerza =1500 kg</p> <p>D =4.25 mm</p>	<p>No existe presencia de grietas en ninguna de las dos caras del muro.</p>		
<p><b>4</b></p> <p>Fuerza = 2000 kg</p> <p>D =6.75 mm</p> 	<p>Aparecen las fisuras casi imperceptibles, mostrándose solo en la cara enlucida del muro.</p>		
<p><b>5</b></p> <p>Fuerza = 2500 kg</p> <p>D = 8.75 mm</p>	<p>Se mantienen las fisuras anteriores.</p>		

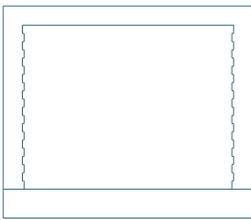
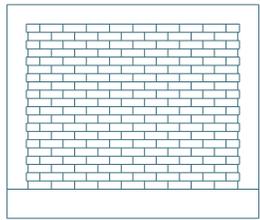
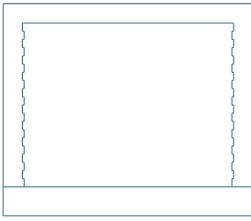
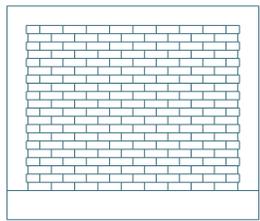
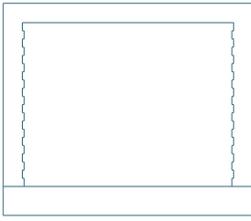
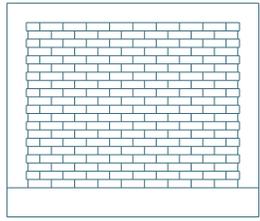
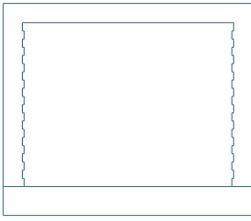
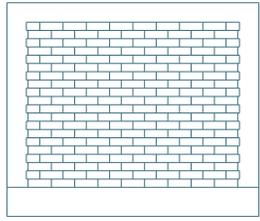
<p><b>6</b></p> <p>Fuerza = 3000 kg</p> <p>D = 11.25 mm</p> <p>—————</p>	<p>En el centro y parte inferior la cara enlucida aparecen las fisuras diagonales y en la cara vista las fisuras que se presentan principalmente son longitudinales.</p>		
<p><b>7</b></p> <p>Fuerza = 3500 kg</p> <p>D = 15.55 mm</p> <p>—————</p>	<p>Las fisuras que se presentan en la cara enlucida son bastante pequeñas y no se dan en la cara vista.</p>		
<p><b>8</b></p> <p>Fuerza = 4000 kg</p> <p>D = 19.00 mm</p> <p>—————</p>	<p>Las fisuras que se presentan en la cara enlucida son escalonadas y se puede asumir que se presenta la primera grieta en el concreto en la unión entre columna y viga de cimentación.</p>		
<p><b>9</b></p> <p>Fuerza = 4500 kg</p> <p>D = 23.75 mm</p> <p>—————</p>	<p>Las fisuras solo se observan en la cara enlucida principalmente son escalonadas y se suman a la fisura diagonal.</p>		

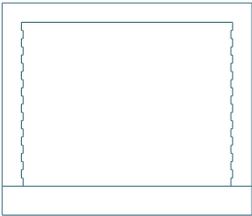
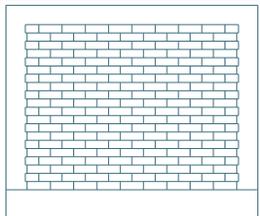
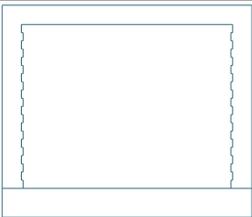
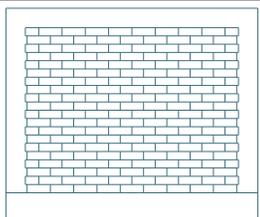
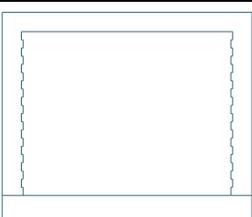
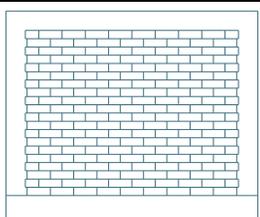
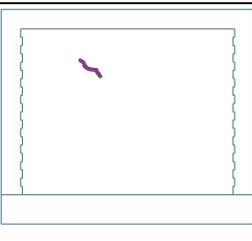
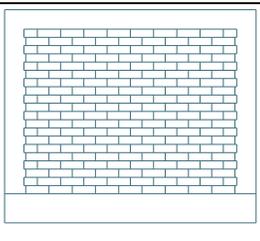
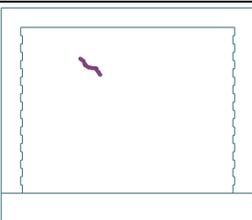
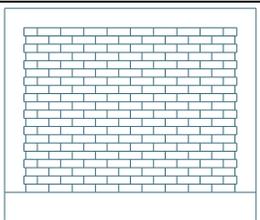
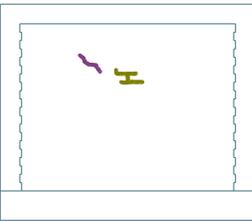
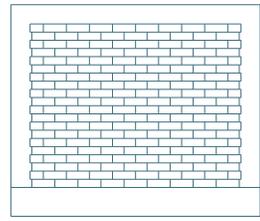
<p><b>10</b></p> <p>Fuerza = 5000 kg</p> <p>D = 24.00 mm</p> <p>—</p>	<p>Las fisuras solo se muestran en la cara vista del muro de forma específica en la viga y perpendicular a su eje.</p>		
<p><b>11</b></p> <p>Fuerza = 5500 kg</p> <p>D = 27.00 mm</p> <p>—</p>	<p>Las fisuras que se presentan en la cara enlucida son escalonadas mientras que en la cara vista solo se presentó en la viga y perpendicular a su eje.</p>		
<p><b>12</b></p> <p>Fuerza = 6000 kg</p> <p>D = 29.50 mm</p> <p>—</p>	<p>Las fisuras de la cara enlucida son escalonadas y son más dispersas entre sí mientras que en la cara vista son horizontales y también se observan en las columnas perpendiculares a su eje.</p>		
<p><b>13</b></p> <p>Fuerza = 6500 kg</p> <p>D = 33.75 mm</p> <p>—</p>	<p>Las fisuras solo se visualizaron en la cara vista y son horizontales y escalonadas.</p>		
<p><b>14</b></p> <p>Fuerza = 7000 kg</p> <p>D = 37.25 mm</p> <p>—</p>	<p>Las fisuras que se muestran en la cara enlucida son escalonadas y las fisuras en las columnas de ambas caras son perpendiculares a su eje.</p>		

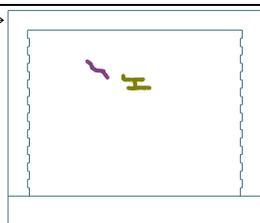
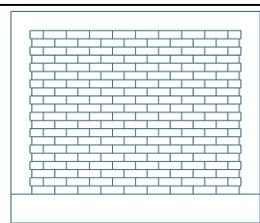
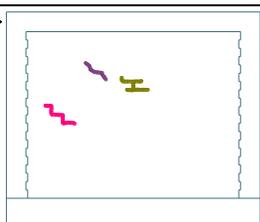
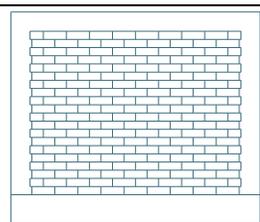
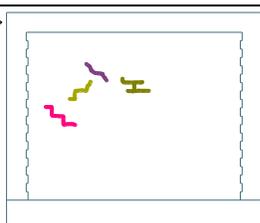
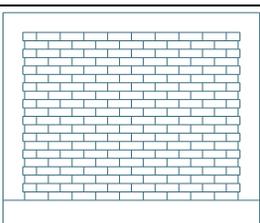
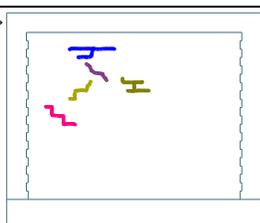
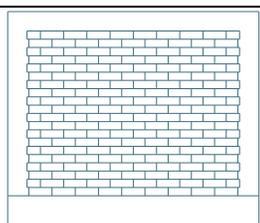
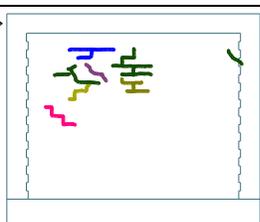
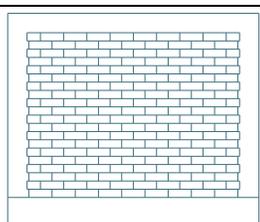
<p><b>15</b> Fuerza = 7500 kg D = 40.50 mm</p> <hr style="width: 50px; margin-left: 0;"/>	<p>Las fisuras que se muestran en la cara enlucida se presentan escalonadas en la zona diagonal del muro y en la viga perpendicular a su eje, en la cara vista también son escalonadas y de igual manera en la viga en forma perpendicular a su eje.</p>		
<p><b>16</b> Fuerza = 8000 kg D = 43.50 mm</p> <hr style="width: 50px; margin-left: 0;"/>	<p>En la cara enlucida las fisuras se encuentran en la parte superior y son escalonadas, en tanto en la cara vista se encuentran en la parte superior central y también son escalonadas.</p>		
<p><b>17</b> Fuerza = 8500 kg D = 44.40 mm</p> <hr style="width: 50px; margin-left: 0;"/>	<p>Las fisuras solo se presentan en la cara vista del muro en forma escalonada y horizontal.</p>		
<p><b>18</b> Fuerza = 9000 kg D = 54.25 mm</p> <hr style="width: 50px; margin-left: 0;"/>	<p>Las fisuras solo se presentan en la cara enlucida y son escalonadas.</p>		

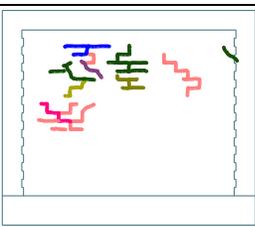
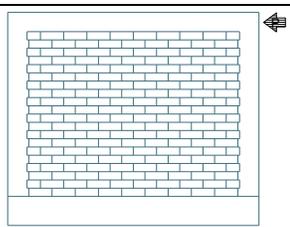
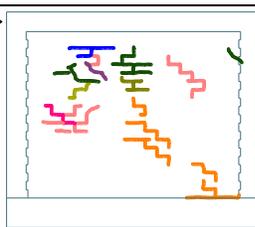
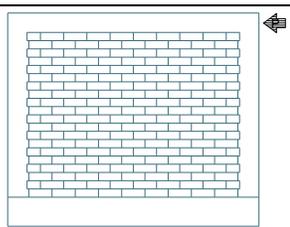
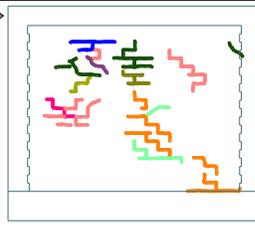
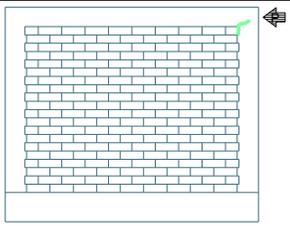
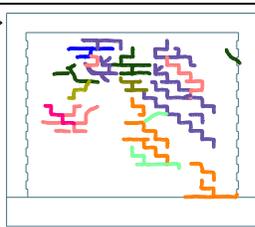
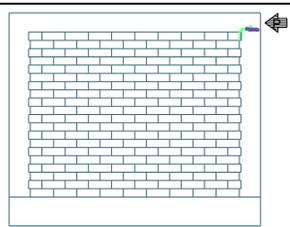
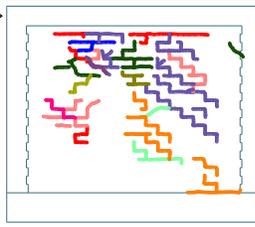
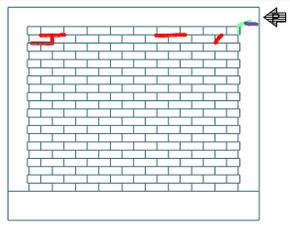
<p><b>19</b></p> <p>Fuerza = 9140 kg</p> <p>D =61.25 mm</p>	<p>Las fisuras que se presentan en ambas caras del muro son escalonadas.</p> <p>Desprendimiento de la viga de cimentación</p>	
---	---	--

**Tabla 81. Comportamiento del Muro 2**

Fase	Descripción	Representación gráfica de fisuras Cara enlucida - Cara vista	
<p><b>1</b></p> <p>Fuerza = 250 kg</p> <p>D =0.00 mm</p> <p>Descarga a 0 kg</p> <p>D = 0.00 mm</p>	<p>No se presentan fisuras.</p>		
<p><b>2</b></p> <p>Fuerza = 500 kg</p> <p>D =0.25 mm</p> <p>Descarga a 0 kg</p> <p>D = 0.00 mm</p>	<p>No se presentan fisuras.</p>		
<p><b>3</b></p> <p>Fuerza = 750 kg</p> <p>D =0.25 mm</p> <p>Descarga a 0 kg</p> <p>D = 0.00 mm</p>	<p>No se presentan fisuras.</p>		
<p><b>4</b></p> <p>Fuerza =1000 kg</p> <p>D =0.65 mm</p> <p>Descarga a 0 kg</p> <p>D = 0.25 mm</p>	<p>No se presentan fisuras.</p>		

<p><b>5</b></p> <p>Fuerza =1250 kg</p> <p>D =0.80 mm</p> <p>Descarga a 0 kg</p> <p>D = 0.25 mm</p>	<p>No se presentan fisuras.</p>		
<p><b>6</b></p> <p>Fuerza =1500 kg</p> <p>D =1.00 mm</p> <p>Descarga a 0 kg</p> <p>D = 0.25 mm</p>	<p>No se presentan fisuras.</p>		
<p><b>7</b></p> <p>Fuerza =1750 kg</p> <p>D =1.35 mm</p> <p>Descarga a 0 kg</p> <p>D = 0.25 mm</p>	<p>No se presentan fisuras.</p>		
<p><b>8</b></p> <p>Fuerza = 2000 kg</p> <p>D =1.90 mm</p> <p>Descarga a 0 kg</p> <p>D = 0.70 mm</p> <hr style="width: 50px; margin-left: 0;"/>	<p>Presencia de fisuras escalonadas solo en la cara enlucida del muro.</p>		
<p><b>9</b></p> <p>Fuerza = 2250 kg</p> <p>D =2.15 mm</p> <p>Descarga a 0 kg</p> <p>D = 0.90 mm</p>	<p>No se presentan nuevas fisuras.</p>		
<p><b>10</b></p> <p>Fuerza = 2500 kg</p> <p>D = 2.40 mm</p> <p>Descarga a 0 kg</p> <p>D = 0.90 mm</p> <hr style="width: 50px; margin-left: 0;"/>	<p>Las fisuras que se muestran en la cara enlucida máxime son horizontales.</p>		

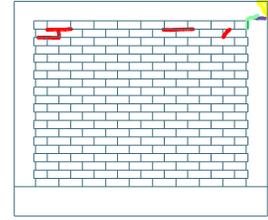
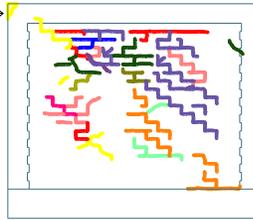
<p><b>11</b></p> <p>Fuerza = 2750 kg</p> <p>D = 2.65 mm</p> <p>Descarga a 0 kg</p> <p>D = 1.2 mm</p>	<p>No se presentan nuevas fisuras.</p>		
<p><b>12</b></p> <p>Fuerza = 3000 kg</p> <p>D = 3.25 mm</p> <p>Descarga a 0 kg</p> <p>D = 1.2 mm</p>	<p>La fisura que se presenta en la cara enlucida es escalonada.</p>		
<p><b>13</b></p> <p>Fuerza = 3500 kg</p> <p>D = 3.90 mm</p> <p>Descarga a 0 kg</p> <p>D = 1.3 mm</p>	<p>La fisura solo se muestra en la cara enlucida del muro y es escalonada.</p>		
<p><b>14</b></p> <p>Fuerza = 4000 kg</p> <p>D = 5.85 mm</p> <p>Descarga a 0 kg</p> <p>D = 1.90 mm</p>	<p>La apariencia de la fisura en la cara enlucida del muro principalmente es horizontal.</p>		
<p><b>15</b></p> <p>Fuerza = 4500 kg</p> <p>D = 8.00 mm</p> <p>Descarga a 0 kg</p> <p>D = 3.25 mm</p>	<p>Las fisuras que se presentan en la cara enlucida del muro son horizontales y escalonadas existiendo una entre la mampostería y la columna.</p>		

<p><b>16</b></p> <p>Fuerza = 5000 kg</p> <p>D = 11.00 mm</p> <p>_____</p>	<p>Las fisuras solo se muestran en la cara enlucida del muro y son escalonadas.</p>		
<p><b>17</b></p> <p>Fuerza = 5500 kg</p> <p>D = 12.50 mm</p> <p>_____</p>	<p>Estas fisuras forman la diagonal de la cara enlucida del muro y son escalonadas.</p>		
<p><b>18</b></p> <p>Fuerza = 6000 kg</p> <p>D = 13.25 mm</p> <p>_____</p>	<p>En la cara enlucida, principalmente se presentan las fisuras escalonadas y en la cara vista la primera fisura del concreto en el vértice entre la columna y la viga solera.</p>		
<p><b>19</b></p> <p>Fuerza = 6500 kg</p> <p>D = 15.25 mm</p> <p>_____</p>	<p>Las fisuras que se manifiestan en la cara enlucida son escalonadas y se concentran en la diagonal y parte superior, en la cara vista solo se presenta una fisura en la columna perpendicular a su eje.</p>		
<p><b>20</b></p> <p>Fuerza = 7000 kg</p> <p>D = 18.00 mm</p> <p>_____</p>	<p>Las fisuras máxime son longitudinales y se presentan en ambas caras del muro.</p>		

---

**21**  
Fuerza = 7180 kg  
D = 20.50 mm

Se presentan las fisuras escalonadas completando la diagonal y la falla en el vértice de la columna que soporta la carga aplicada.



Apéndice I. Panel fotográfico



Dosificación de materiales



Mezcla de materiales



Moldeo y vibro compactación



Desmolde



Curado

Figura 75 Elaboración de ladrillos



Identificación de muestras



Medición de la longitud



Medición del ancho



Medición del alto

**Figura 76** Ensayo de variabilidad dimensional



Alabeo de la cara superior



Alabeo de la base

**Figura 77** Ensayo de alabeo



Secado de ladrillos en horno



Pesado de ladrillos secos en horno



Ladrillos a temperatura ambiente



Ladrillos inmersos en agua



Pesado de ladrillos saturados

**Figura 78** Ensayo de absorción



Carga y desplazamiento en ladrillo 5



Carga y desplazamiento en ladrillo 7



Carga y desplazamiento en ladrillo 10

**Figura 79** Ensayos de resistencia a compresión axial en unidades



Carga y desplazamiento en pila 1I



Carga y desplazamiento en pila 3



Carga y desplazamiento en pila 4

**Figura 80** Ensayo de resistencia a la compresión axial en pilas



**Figura 81** Ensayo de resistencia la corte en muretes



**Figura 82** Ensayo de resistencia al corte en tripletes



Ensayo de carga lateral monotónica (empuje) en muro 1

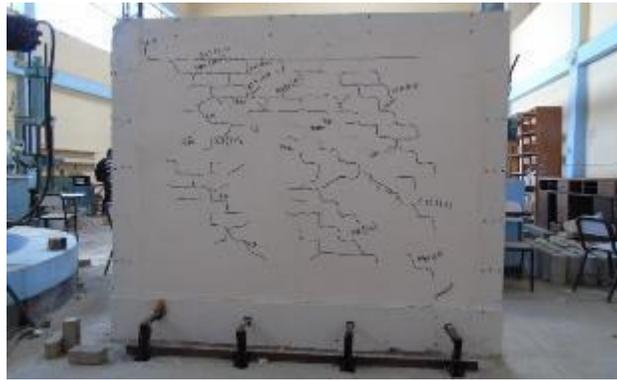


Fisuras finales en cara solaqueada y cara vista del muro 1

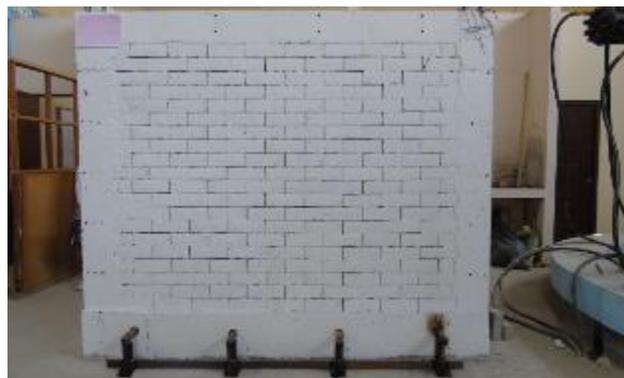
**Figura 83** Ensayo de carga lateral monotónica en muro 1



Ensayo de carga lateral (carga y descarga ) en muro 2



Fisuras finales en cara solaqueada del muro 2



Fisuras finales en cara vista del muro 2

**Figura 84** Ensayo de carga lateral monotónica en muro 2