

UNIVERSIDAD SAN PEDRO

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE ESTUDIOS DE INGENIERÍA CIVIL



**Comportamiento de un muro de albañilería confinada
utilizando ladrillo artesanal, sometido a carga lateral
cíclica.**

Tesis para obtener el título profesional de INGENIERO CIVIL

Autor

Castillo Pineda, Vannia Catherine

Asesor

Flores Reyes, Gumercindo

Chimbote – Perú

2019

PALABRAS CLAVE:

Tema:	Albañilería confinada.
Especialidad:	Estructura

KEYWORDS:

Topic:	Confined masonry.
Specialty:	Structure

LINEA DE INVESTIGACIÓN:

Línea de Investigación	Estructuras
Área	Ingeniería y tecnología
Sub Áreas	Ingeniería civil
Disciplinas	Ingeniería civil

**Comportamiento de un muro de albañilería confinada utilizando
ladrillo artesanal , sometido a carga lateral ciclica.**

RESUMEN

Esta investigación tuvo como finalidad fundamental elaborar un muro de albañilería confinada, utilizando ladrillo artesanal de la zona de Chihupampa sometida a carga lateral cíclica, evaluando que cumpla con la norma técnica peruana. La metodología que corresponde a este tipo de investigación es de tipo descriptivo, de diseño no experimental transversal, con un enfoque cuantitativo. Los ensayos que se realizaron en el laboratorio de estructuras de la UNI-CISMID, fueron necesarios para determinar la resistencia característica de las unidades de albañilería de ladrillo igual a 83,33 kg/cm², de igual manera se realizó el análisis de los prismas de albañilería, se obtuvo para pilas de unidades de albañilería una resistencia a la compresión de axial de 35.92 kg/cm² y para muretes se obtuvo una resistencia al corte de 5.57kg/cm², así mismo se obtuvo la resistencia máxima de carga lateral soportada por el muro de albañilería confinada, que es igual a 190,45 KN para un desplazamiento de 19,980mm en la última fase donde finalmente la estructura falla por corte.

ABSTRAC

The main purpose of this research was to elaborate a confined masonry wall, using artisan brick from the Chihupampa area subjected to cyclical lateral loading, evaluating that it complies with the Peruvian technical standard.

The methodology that corresponds to this type of research is descriptive, with a non-experimental cross-sectional design, with a quantitative approach.

The tests that were carried out in the UNI-CISMID structures laboratory were necessary to determine the characteristic resistance of the brick masonry units equal to 83.33 kg / cm², in the same way the analysis of the prisms of masonry, for stacks of masonry units a resistance to axial compression of 35.92 kg / cm² was obtained and for walls a shear resistance of 5.57 kg / cm² was obtained, likewise the maximum resistance of lateral load supported by the confined masonry wall, which is equal to 190.45 KN for a displacement of 19.980mm in the last phase where finally the structure fails due to shear.

INDICE GENERAL

1. PALABRAS CLAVE:	ii
3. RESUMEN	iv
4. ABSTRAC	v
5. INDICE GENERAL	vi
6. INTRODUCCION.....	1
7. METODOLOGÍA.....	38
9. RESULTADOS	71
16. ANÁLISIS Y DISCUSIONES	112
17. CONCLUSIONES	120
18. RECOMENDACIONES	124
19. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.	125
20. ANEXOS	127

Indice de Tablas.

Tabla 1: Resultados de los Ensayos realizados por tesista.....	3
Tabla 3: Calculo de la Resistencia a la Compresión de las Unidades.....	4
Tabla 5: Resistencia a la Compresión de Probetas de Concreto- Columna	5
Tabla 6: Resistencia a la Compresión de Probetas de Concreto-Viga Solera.....	5
Tabla 7: Calculo de la Resistencia a la Compresión Axial de las Pilas.	5
Tabla 8: Calculo de la Resistencia al Corte de los Muretes	5
Tabla 9: Envolvente Cortante-Desplazamiento.....	6
Tabla 10. Clase de albañilería para fines Estructurales.....	9
Tabla 11. Limitaciones en el uso de la unidad de albañilería para fines estructurales.....	10
Tabla 12.- Características del Agregado Fino.	13
Tabla 13.- Clasificación de los Moteros para Fines Estructurales	14
Tabla 14.- Determinación de la Zona Sísmica.	18
Tabla15.-Incremento por Edad.....	19
Tabla 16.- Resistencias Características de la Albañilería.	20
Tabla 17.- Factores de Corrección	21
Tabla 18. Determinación de las Fuerzas Internas de Confinamiento.....	32
Tabla 19. Cuadro de División Administrativa de la Provincia de Huaraz	44
Tabla 20. Definición operacional de las variables.	46
Tabla 21. Clase de albañilería para fines Estructurales.....	50
Tabla 22. Propiedades Físicas de la Arena usada en el Mortero.....	57
Tabla 23. Factores de corrección.....	60
Tabla 24.- Desplazamientos controlados en 8 fases.....	69
Tabla 25: Variación Dimensional de Ladrillo Artesanal	72
Tabla 26: Alabeo de la Unidad de Albañilería.	73
Tabla 27: Compresión Simple de Ladrillo Artesanal.....	74
Tabla 28: Calculo de la Humedad Natural.	75
Tabla 29: Calculo del Ensayo de Succión.....	76
Tabla 30: Cálculo de ensayo de absorción, absorción máxima y densidad.	77
Tabla 31. Propiedades Físicas de la Arena usada en el Mortero.....	78
Tabla 32. Resultados de ensayos de compresión de morteros.	79
Tabla 33. Resistencia a la compresión de pilas.....	79
Tabla 34.- Factores de corrección.	80
Tabla 35. Resistencia final f'_m corregida por esbeltez.	80
Tabla 36. Característica de los muretes.....	81

Tabla 37. Cálculo de resistencia característica al corte de la albañilería.	82
Tabla 38.- Fuerzas Internas en Columnas de Confinamiento.	85
Tabla 39. Resistencia del concreto de viga de cimentación.	88
Tabla 40. Resistencia del concreto de columnas.	89
Tabla 41. Resistencia del concreto de viga solera.	90
Tabla 42.- Cálculo de sección transformada.	92
Tabla 43. Fuerza asociada a la primera fisura de tracción por flexión.	93
Tabla 44.- Cálculo de carga de agrietamiento diagonal.	94
Tabla 45: Cuadro comparativo.	95
Tabla 46. Calculo de rigidez lateral promedio y degradacion.	105
Tabla 47. Deformacion unitaria alcanzada por refuerzos verticales.	108
Tabla 48 . Envolvente de lazo histeretico estables del muro artesanal	109
Tabla 49. Esfuerzo de cortante maximo.	111
Tabla 50. Distorsion angular	111
Tabla 51. Modulo de corte experimental.	111

Indice de Figuras.

Figura 1. Clasificación por el material de fabricación.....	11
Figura 2. Clasificación por tipo.	11
Figura 3. Colocación de las mechas de anclaje	15
Figura 4. Tipos y clasificación de albañilería.....	27
Figura 5. Esquema estructural de un muro de albañilería confinada.....	28
Figura 6. Fases del proceso cuantitativo	38
Figura 7. Distribución espacial de los centros poblados, sector este.....	42
Figura 8. Mapa de Limites Políticos y Referenciales de la Provincia de Huaraz.....	43
Figura 9. Equilibrio de fuerzas internas en muro agrietado.....	84
Figura 10. Sección Real y Sección Transformada.....	91
Figura 11.- Etapas de ensayo cíclico del muro	96
Figura 12.- Fase 1, fisuras en el talón derecho.	97
Figura 13.- Fase 2, fisuras en ambos talones y escalonado.	98
Figura 14.- Muro agrietado diagonalmente derecha en la fase 3.	98
Figura 15.- Plano del muro agrietado diagonalmente en la fase 4.	99
Figura 16.- Muro agrietado diagonalmente izquierda en la fase 5.....	100
Figura 17.- Muro agrietado real de la fase 6.....	100
Figura 18.- Muro agrietado diagonal de fase 7.....	101
Figura 19.- Muro agrietado diagonalmente de la fase 8 con repetición anterior (muro agrietado de la fase final en diagonal).....	102
Figura 20.- Desplazamiento lateral de unidades en la mitad del muro.....	103
Figura 21.- Acero de refuerzo vertical.....	103
Figura 22. Etapas del ensayo cíclico del muro.....	119
Figura 23. Sensores D2 y D3	120
Figura 24. Tendido de material arcilloso.....	127
Figura 25. Selección de material gravoso para obtener una masa homogénea.....	127
Figura 26. Obtención de la masa homogénea.	128
Figura 27. Pisado de la mezcla homogénea para hacerla más compacta.	128
Figura 28. El hidratado de la masa fue durante todo el proceso	128
Figura 29. Modelado de ladrillos de arcilla.....	129
Figura 30. Rellenos de moldes.	129
Figura 31. Deposito en una superficie plana para su reposo.	130
Figura 32. Secado de ladrillos.	130

Figura 33. Horno hecho de arcilla.	131
Figura 34. Toma de muestra de las unidades de albañilería.	131
Figura 35.- Prueba de Variación Dimensional.	132
Figura 36.- Prueba de Alabeo.	132
Figura 37.- Preparación de capping.	132
Figura 38.- Secado en horno eléctrico y pesado de unidades.	133
Figura 39. Prueba de succión de unidad en 1 minuto.	133
Figura 40.- Ensayo de absorción, peso de la unidad saturado y sumergido.	134
Figura 41. Ensayo de absorción máxima saturado en ebullición de 5 horas	134
Figura 42. Peso saturado en ebullición y peso sumergido	135
Figura 43.- Especímenes de mortero y Ensayo de compresión en cubos de mortero.	135
Figura 44.- Pilas con capping colocado.	136
Figura 45. Máquina de compresión y Sistema de adquisición de datos.	136
Figura 46.- Dispositivos de ensayo para pilas de albañilería.	137
Figura 47. Pilas de albañilería ensayadas.	137
Figura 48. Construcción de muretes.	138
Figura 49. Traslado, colocación y ensayo de muretes.	138
Figura 50. Caja de registro de voltaje y dispositivo para ejercer presión	139
Figura 51. Falla típica del murete 01	139
Figura 52. Falla típica del murete 02.	140
Figura 53. Falla típica del murete 03.	140
Figura 54. Habilitación del refuerzo y Encofrado de las Vigas de Cimentación.	141
Figura 55. Habilitación y encofrado de Viga de Cimentación	141
Figura 56. Colocación Acero de Columnas y Vaciado en Viga de Cimentación.	142
Figura 57. Vibrado y Alisado de Concreto Fresco	142
Figura 58. Control de Probetas	143
Figura 59. Regado y colocación de escantillón de albañilería.	143
Figura 60. Control de verticalidad y primera jornada del muro.	144
Figura 61. Verificación de refuerzos, estribos y encofrado de las columnas	144
Figura 62.- Encofrado, vaciado, desencofrado de viga solera y muro listo para ser ensayado.	145
Figura 63.- Salinidad en el muro de albañilería, hechos con ladrillos artesanales de la zona de Chiupampa- Huaraz.	145
Figura 64.- Transporte de muro a la nave de ensayo.	146
Figura 65.- Montaje e Instrumentación.	146
Figura 66.- Gata Hidráulica.	147

Figura 67.- Actuador Hidráulico	147
Figura 68.- Gata Hidráulica.....	148
Figura 69.- Software para la adquisición de datos.....	148
Figura 70.- Sensores en el muro de albañilería.	149
Figura 71: Grietometro para medir fisuras.	149
Figura 72.- Desplazamiento lateral de unidades en la mitad del muro	150
Figura 73.- Acero de refuerzo vertical.....	150

Indice de Figuras del Ensayo a Carga Lateral Ciclica

Figura 1.- Lazos histeréticos del muro confinado artesanal en las 8 Fases.....	104
Figura 2.- Lazo histerético de la fase 1 del muro de albañilería confinada.	105
Figura 3.- Lazos histeréticos de las 8 fases en su primer ciclo estable.	106
Figura 4.- Cálculo de resistencia a tracción por flexión.	106
Figura 5.- Sensor D7, máximos desplazamientos.	107
Figura 6.- Sensor D8, máximos desplazamientos	107
Figura 7.- Lazo histerético de agrietamiento diagonal del muro confinado.	108
Figura 8.- Lazo histerético de agrietamiento diagonal de muro - Fase 5.	109
Figura 9.- Envolvente de máximos valores de lazos histeréticos estables.	110
Figura 10.- Lazo histerético de módulo de corte.	110

INTRODUCCION.

Los antecedentes al estudio de investigación, después de haberse realizado la búsqueda bibliográfica estuvo orientado a valorar a aquellos Investigadores que han efectuado estudios relacionados con el comportamiento de un muro confinado sometido a carga lateral cíclica.

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

Esta investigación se desarrolló con finalidad de determinar principalmente las características estructurales de la albañilería y sus componentes con unidades fabricadas artesanalmente en la región Junín, las pruebas de laboratorio se inició con la unidad (variación dimensional, alabeo, compresión, absorción, densidad, succión y tracción por flexión). De los resultados obtenidos se concluye que las unidades ensayadas a compresión no alcanzan el valor mínimo especificado en la Norma E.070 vigente, siendo el promedio de las cuatro zonas de 39,4 kg/cm²; sin embargo, con los resultados de los otros ensayos, estas clasifican como II o III.

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

Ensayos del mortero fabricado con agregado de la cantera del río Mantaro; se obtuvo los siguientes resultados: resistencia en compresión $R_c = 86,1 \text{ kg/cm}^2$ (8,77MPa), fluidez = 186% y la adherencia por flexión es de 7,24 kg/cm² (0,74MPa).

Angles (2008) Comparación del Comportamiento a Carga Lateral Cíclica de un Muro Confinado con Ladrillos de Concreto y otro con Ladrillos de Arcilla.

En esta tesis se realizaron ensayos de carga lateral cíclica en dos muros con las mismas características, diferenciándolos en el tipo de ladrillos. Un muro fue construido con ladrillo de concreto vibrado y el otro con ladrillos de arcilla cocida artesanal.

De los ensayos se concluyó lo siguiente:

- La rigidez lateral elástica experimental del muro de ladrillos de concreto, con un valor de 19.87 ton/mm, fue mayor en 32% que la rigidez lateral del muro de ladrillos de arcilla. Esto se debió al mayor módulo de elasticidad que tuvo la albañilería de ladrillo de concreto.
- La resistencia a tracción por flexión experimental del muro de ladrillos de concreto, con un valor de 11.14 ton, fue mayor en 12% que la resistencia a tracción del muro de ladrillos de arcilla. Esto se debió al mayor módulo de elasticidad que tuvo la albañilería de ladrillo de concreto.
- La resistencia al agrietamiento diagonal experimental del muro de ladrillos de concreto, con un valor de 16.07 ton, fue menor en 7% que la resistencia al agrietamiento del muro de ladrillos de arcilla. Esto se debió a que mientras que la albañilería con ladrillos de concreto fallo escalonadamente a través de las juntas, la hecha con ladrillos de arcilla lo hizo cortando los ladrillos, lo propio ocurrió en los muretes.
- La carga máxima experimental soportada por el muro de ladrillos de concreto fue de 22.09 ton. Este valor fue similar a la carga máxima soportada por el muro de ladrillos de arcilla. Esto se debió a que ambos muros tuvieron el mismo refuerzo y las propiedades de la albañilería fueron casi iguales.

Bartolomé (1980) en su ensayo:

El Comportamiento de Elementos de Albañilería en ensayos de Compresión Diagonal y Corte Directo.

Se investigó, principalmente, el efecto del esfuerzo de confinamiento (σ) sobre la resistencia al corte (τ); para lo cual, se realizaron ensayos de corte directo sobre prismas de tres hiladas y de compresión diagonal en muretes cuadrados. Los especímenes fueron construidos empleando ladrillo KK industrial ($f_b = 160 \text{ kg/cm}^2$) y mortero 1 :4. Los resultados promedios (en kg/cm^2) proporcionaron las siguientes fórmulas:

$$\text{Corte Directo: } \tau = 1.16 + 0.94\sigma$$

$$\text{Compresión Diagonal: } \tau = 4.88 + 0.33\sigma$$

Bartolomé (1983) Realizo ensayos de carga lateral cíclica en muros confinados.

Se utilizaron tres tipos de unidades de arcilla: "A" (KK Artesanal), "B" (KK Industrial) y "C" (Rejilla Industrial), con dos tipos de mortero: "D" (1 :5, sin cal) y "1" (1 :5, con cal), para construir 30 pilas. 30 muretes (60x60 cm) y 12 muros confinados de 2.40x2.40 m. En cada columna se utilizó como refuerzo vertical 4

diámetro de 1/2", con estribos [] de diámetro de 1/4", 1 @ 5, 4 @ 10, r @ 25 cm. Los resultados promedios (en kg/cm) compuesta por los ensayos de: compresión axial de 5 pilas (fm), compresión diagonal de 5 muretes (v'm) y fuerza cortante cíclica de 2 muros (VR) es la resistencia asociada al primer agrietamiento diagonal, y G es el módulo de corte), fueron:

Tabla 1: Resultados de los Ensayos realizados por tesista.

Serie	Unidad	f'b	Mortero	f'm	v'm	VR	G
A-0	A	57	0	40	5.5	3.5	7950
A-1	A	57	1	36	4.8	3.4	8200
B-0	B	145	0	68	9.4	4.7	14020
B-1	B	145	1	62	8.4	4.7	17560
C-0	C	215	0	96	9.6	5.4	18090
C-1	C	215	1	78	10.0	5.0	16540

Fuente: Bartolomé

Macciotta y Torrealva (1985) En su ensayo investigo:

Efectos de la Esbeltez en Muros Confinados a escala 1:2.

Utilizando unidades de arcilla a escala 1:2 (fb = 400 kg/cm²) y mortero 1:4 se construyeron 8 muros confinados, en los cuales se varió la relación altura-longitud (H/L). Las pilas (a escala 1 :2) tuvieron una resistencia (fm) igual a 114 kg/cm². Las columnas fueron de 10x10 cm y estuvieron reforzadas con 4 de diámetro 1/4". Y estribadas con alambre # 8.

Para cada relación H/ L se ensayó un muro a carga lateral monotónica. Y otro a carga lateral cíclica. Los muros 01 y 02 tuvieron una losa intermedia que representó el techo del primer nivel en un muro de dos pisos, sujeto a una carga horizontal aplicada en el segundo nivel. Los principales resultados fueron:

Tabla 2: Resultados de los ensayos para ver los Efectos de la Esbeltez.

Muro	Dimensiones L X H (m)	H/L	Agrietamiento Diagonal VR (kg/cm ²)	VR/f'm
A1	2X1.00	0.50	5.87	0.55
B1	1x1.00	1.00	5.47	0.51
C1	1x1.75	1.75	3.00	0.28
D1	1x2.50	2.50	2.64	0.25
A2	2x1.00	0.50	5.26	0.49
B2	1x1.00	1.00	6.41	0.60
C2	1x1.75	1.75	4.13	0.39
D2	1x2.50	2.40	2.54	0.24

Fuente: Macciotta y Torrealva

Macias (2008) en su Tesis:

Reparación de un Muro de Albañilería Confinada mediante varillas de Fibra de Vidrio.

Obtuvo los siguientes resultados:

- Resistencia a la compresión de las unidades de albañilería: las unidades calificaron como tipo v (180 kg/cm²).
- El mortero utilizado tuvo una proporción volumétrica 1:4.
- Se optó por utilizar concreto $f_c = 210$ kg/cm² no se realizaron ensayos de control.

Paredes y Caycho (2009) En su tesis:

Control de la Trituración de los Ladrillos Huecos en muros de albañilería confinada sujetos a carga lateral cíclica.

Realizo el ensayo de un muro de albañilería confinada obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 3: Calculo de la Resistencia a la Compresión de las Unidades.

Unidad	Largo (cm)	Ancho (cm)	Área (cm ²)	Carga Max (kg)	fb(kg/cm ²)
LAD-1	23.10	12.45	287.60	60178	209.25
LAD-2	23.25	12.45	289.46	47274	163.32
LAD-3	23.10	12.40	296.44	53645	187.28
LAD4	22.85	12.55	286.77	36272	126.49
LAD-5	23.15	12.25	283.59	54434	191.95
Prom (kg/cm ²)					175.66
Desviación estándar					32.01
f'b (kg/cm ²)					144.00

Fuente: Paredes y Caycho

Tabla 4: Resistencia a la Compresión de Probetas de Concreto- Viga de Cimentación.

Probeta	Fecha de vaciado	Edad (días)	Peso (kg)	Diámetro		Tipo de falla	Carga Max (KN)	Esfuerzo (kg/cm ²)
				D1	D2			
VC 1 (M1)	13-feb-08	28	13.875	15.51	15.50	C	360	196.33
VC 3 (M2)	13-feb-08	28	13.575	15.24	15.29	C	420	236.31
VC 2 (M1)	13-feb-08	28	14.220	15.76	15.69	B	568	301.15
VC 4 (M2)	13-feb-08	28	13.170	15.15	15.16	C	452	258.02

Fuente: Paredes y Caycho

Tabla 5: Resistencia a la Compresión de Probetas de Concreto- Columna

Probeta	Fecha de vaciado	Edad (días)	Peso (kg)	Diámetro		Tipo de falla	Carga Max (KN)	Esfuerzo (kg/cm ²)
				D1	D2			
C 1 (M1)	11-mar-08	7	14.240	15.72	15.76	C	250	132.30
C 3 (M2)	11-mar-08	7	13.340	15.31	15.31	C	232	129.26
C 2 (M1)	11-mar-08	28	13.345	15.62	15.62	C	350	190.50
C 4 (M2)	11-mar-08	28	13.450	15.54	15.54	C	320	175.99

Fuente: Paredes y Caycho

Tabla 6: Resistencia a la Compresión de Probetas de Concreto-Viga Solera

Probeta	Fecha de vaciado	Edad (días)	Peso (kg)	Diámetro		Tipo de falla	Carga Max (KN)	Esfuerzo (kg/cm ²)
				D1	D2			
VS 1 (M1)	10-abr-08	7	13.035	15.23	15.25	C	220	124.19
VS 3 (M2)	10-abr-08	7	13.550	15.31	15.32	C	256	143.10
VS 2 (M1)	10-abr-08	28	13.360	15.28	15.32	B	332	185.94
VS 4 (M2)	10-abr-08	28	13.970	15.75	15.74	C	336	177.69

Fuente: Paredes y Caycho

Tabla 7: Calculo de la Resistencia a la Compresión Axial de las Pilas.

PILA	Carga Max Corregida (ton)	fm (kg/cm ²)	Factor de Corrección	fm Corregido (kg/cm ²)
PILA 1	17.28	60.12	1.00	60.31
PILA 2	25.20	87.66	1.00	87.94
PILA 3	18.54	64.48	1.00	64.69
PILA 4	17.48	60.81	1.00	61.01

Fuente: Paredes y Caycho

Tabla 8: Calculo de la Resistencia al Corte de los Muretes

MURETE	Carga Max. (KN)	Carga Max. (Ton)	vm (kg/cm ²)
MURETE 1	81.54	8.32	7.44
MURETE 2	89.31	9.10	7.94
MURETE 3	108.24	11.03	9.84
MURETE 4	70.52	7.19	6.26

Fuente: Paredes y Caycho

Resultados del Ensayo de Carga lateral cíclica:

Se muestra los lazos histeréticos cortante -desplazamiento a medida que se iba incrementando el desplazamiento aplicado a los muros.

En estos diagramas se aprecia la degradación de la rigidez lateral, manifestada en el cambio de pendiente de los lazos histeréticos. La pérdida de la capacidad de resistencia lateral se observa comparando el lazo asociado a la carga máxima y los lazos posteriores, donde la carga disminuye a medida que el desplazamiento aumenta.

De acuerdo con la envolvente cortante – desplazamiento el muro reforzado presenta en comparación con el muro tradicional el mismo comportamiento en el rango elástico, la diferencia entre ellos surge en el momento que ambos muros incursionan en el rango inelástico, donde el muro con refuerzo horizontal presenta una mayor resistencia que el muro tradicional.

La resistencia máxima experimental para cada fase del ensayo, se obtuvo de promediar los valores máximos de las ramas (positivas y negativas) del primer ciclo de cada una de las fases.

De acuerdo con los resultados obtenidos,

la deformación unitaria (ϵ) en ambos muros excedió la deformación unitaria del acero en fluencia ($f_y / E_s = 4200 / 2100000 = 0.002$) con lo que se demuestra que el acero efectivamente fluyó.

Pastorutti (1985) Calculo los efectos del refuerzo en muros confinados.

De los Envolvente cortante-desplazamiento de los ciclos estables, variando el refuerzo vertical y horizontal. Se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 9: Envolvente Cortante-Desplazamiento.

Muro	Agrietamiento Diagonal		Capacidad Máxima	
	VR (kg/cm ²)	Desp. (mm)	Vm (kg/cm ²)	Desp.(mm)
MR1	4.9	1.67	6.5	14.9
MR2	5.3	1.22	8.2	10.0
MR3	(*)	(*)	5.4	4.1
MR4	4.9	1.45	7.2	12.2
MR5	4.9	1.04	7.3	14.7

Fuente: Paredes y Caycho

(*) Falla por flexión: $v = 4 \text{ kg/cm}^2$

$d = 1.37 \text{ mm}$

La fundamentación científica está enmarcada en las variables, para esto hay que fundamentar el trabajo de una manera científica, que sustente las bases teóricas.

BASES TEÓRICAS.

UNIDAD DE ALBAÑILERÍA.

La norma técnica peruana de albañilería confinada la define y clasifica de la siguiente manera: “Ladrillos y bloques de arcilla cocida, de concreto o de sílice-cal. Puede ser sólida, hueca, alveolar o tubular”.

En la construcción de muros estructurales y no estructurales de albañilería confinada, podemos recurrir a la utilización de distintos tipos de unidades de albañilería, según la configuración estructural del muro a construir

Clasificación De La Unidad De Albañilería

Por sus Dimensiones

Los ladrillos: tienen la característica principal a su peso y sus dimensiones pequeñas que hace que se pueda manejar con una sola mano, en el proceso de asentado. Una pieza tradicional debe tener un ancho de 11cm a 14 cm, un largo de 23 cm a 29cm y una altura de 6 cm a 9 cm; con un peso oscilante de 3kg a 6 kg. Los bloques: a diferencia están hechos para ser manejados por las dos manos y puede llegar a pesar hasta los 15 kilogramos, su ancho no está determinado pues puede variar por los alveolos o huecos que tienen para ser manejados, claro que también son usados por la armadura o el concreto líquido.

Por su Materia Prima y Fabricación.

- Existen por la materia prima tres tipos: de arcilla, de Sílice – Cal y de concreto
- Existen por la fabricación dos tipos: los artesanales y los industriales.

Por sus alveolos.

Esta clasificación se basa en el área neta de la unidad, respecto a la superficie bruta de la cara y las características de los alveolos, existen cuatro tipos:

Solidas o macizas: los alveolos están necesariamente perpendicular a la cara del asiento, que ocupan un área no mayor al 30% del área bruta, por lo cual para ser sólido aún puede tener alveolos. En la aplicación de este tipo se considera para todas las propiedades las de la sección bruta, como el área, modulo resistente y la inercia cálculos

en función del espesor y largo de la unidad sin tener en cuenta los alveolos. Generalmente las unidades artesanales son macizas por la facilidad de su fabricación, mientras que las que tienen alveolos son hechos en fábrica.

Alveolos o huecas: a diferencia de los solidas los alveolos exceden el 30% del área bruta y en estas se puede rellenar con concreto líquido. En la aplicación de este tipo se considera para las propiedades de la sección neta. Existen las perforadas dentro de esta categoría, que se caracterizan por tener alveolos reducidos no pueden ser rellenos ni armados.

Tubulares: tienen los alveolos paralelos a la cara de asiento. El tamaño de los alveolos será en relación al área bruta de la cara lateral.

Propiedades de las Unidades de Albañilería:

Propiedades Físicas: que tiene que ver con la resistencia de la albañilería serán:

Resistencia a la compresión.

A la tracción medida como tracción por flexión

Variabilidad dimensional

Alabeos

Succión

Propiedades Mecánicas: que tiene que ver con la durabilidad de la albañilería serán:

Resistencia a la Compresión.

Densidad

Absorción

Coefficiente de Saturación.

Las unidades de albañilería deben de cumplir con los requisitos y exigencias mínimas específicas por la Norma E. 0.70 de Albañilería.

Características Generales de la Unidades de Albañilería.

Se denomina ladrillo a aquella unidad cuya dimensión y peso permite que sea manipulada con una sola mano. Se denomina bloque a aquella unidad que por su dimensión y peso requiere de las dos manos para su manipuleo.

Las unidades de albañilería a las que se refiere esta norma son ladrillos y bloques en cuya elaboración se utiliza arcilla, sílice-cal o concreto, como materia prima.

Estas unidades pueden ser sólidas, huecas, alveolares o tubulares y podrán ser fabricadas de manera artesanal o industrial.

Las unidades de albañilería de concreto serán utilizadas después de lograr su resistencia específica y su estabilidad volumétrica. Para el caso de unidades curadas con agua, el plazo mínimo para ser utilizadas será de 28 días, que se comprobará de acuerdo a la NTP 339.601.

Clasificación Para Fines Estructurales.

Para efectos del diseño estructural, las unidades de albañilería tendrán las siguientes características:

Tabla 10. Clase de albañilería para fines Estructurales.

CLASE	VARIACION DE LA DIMENSION (máxima en porcentaje)			ALABEO (máximo en mm)	RESISTENCIA CARACTERISTICA A COMPRESION f'_b mínimo en MPa (kg/cm^2) sobre área bruta
	Hasta 100 mm	Hasta 150 mm	Más de 150 mm		
Ladrillo I	±8	±6	±4	10	4,9(50)
Ladrillo I	±7	±6	±4	8	6,9(70)
Ladrillo I	±5	±4	±3	6	9,3(95)
Ladrillo I	±4	±3	±2	4	12,7(130)
Ladrillo I	±3	±2	±1	2	17,6(180)
Bloque	±4	±3	±2	4	4,9(50)
Bloque	±7	±6	±4	8	2,0(20)

Fuente: Reglamento nacional de edificaciones E-070

El ladrillo se clasificará en los siguientes tipos de acuerdo a sus propiedades.

Tipo I: Resistencia y durabilidad muy bajas. Aptos para construcciones de albañilería en condiciones de servicio con exigencia mínimas.

Tipo II: Resistencia y durabilidad bajas. Aptos para construcciones de albañilería en condiciones de servicio moderado.

Tipo III: Resistencia y durabilidad media. Aptos para construcciones de albañilería de uso general.

Tipo IV: Resistencia y durabilidad alta. Aptos para construcciones de albañilería en condiciones de servicio riguroso.

Tipo V: Resistencia y durabilidad muy altas. Aptos para construcciones de albañilería en condiciones de servicio particularmente rigurosas.

Limitaciones En Su Aplicación

El uso o aplicación de las unidades de albañilería estará condicionado a lo indicado en la Tabla 02. Las zonas sísmicas son las indicadas en la NTP E.030 diseño sismorresistente.

Tabla 11. Limitaciones en el uso de la unidad de albañilería para fines estructurales.

TIPO	ZONA SISMICA 2 Y 3		ZONA SISMICA 1
	Muro portante en edificios de 4 pisos a mas	Muro portante en edificios de 1 a 3 pisos	Muro portante en todo edificio
Solido Artesanal	NO	Si, hasta dos pisos	Si
Solido Industrial	SI	Si	Si
	Si	Si	Si
Alveolar	Celdas totalmente rellenas con grout	Celdas totalmente rellenas con grout	Celdas totalmente rellenas con grout
Hueca	No	No	Si
Tubular	No	No	Si, hasta 2 pisos

Fuente: Norma técnica peruana E.030

Aceptación De La Unidad

Si la muestra presentase más de 20% de dispersión en los resultados (coeficiente de variación), para 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 de las unidades de arcilla y sílice calcáreas no será mayor que 22% el bloque de concreto clase, tendrá una absorción no mayor que el 12% de absorción.

El espesor mínimo de las caras laterales correspondientes a la superficie de asentado será 25 mm para el Bloque clase P y 12 mm para el Bloque clase NP.

La unidad de albañilería no tendrá materias extrañas en sus superficies o en su interior, tales como guijarros, conchuelas o nódulos de naturaleza calcárea.

La unidad de albañilería de arcilla estará bien cocida, tendrá un color uniforme y no presentará vitrificaciones. Al ser golpeada con un martillo, u objeto similar, producirá un sonido metálico.

La unidad de albañilería no tendrá resquebrajaduras, fracturas, hendiduras grietas u otros defectos similares que degraden su durabilidad o resistencia.

La unidad de albañilería no tendrá manchas o vetas blanquecinas de origen salitroso o de otro tipo.

LADRILLOS DE ARCILLA COCIDA.

Para la fabricación de ladrillos de arcilla, se puede recurrir a dos métodos el artesanal e industrial. La presente investigación de tesis está enfocada en realizar en sayos a las unidades de albañilería que han sido fabricados artesanalmente en los principales hornos de la zona de Chihuipampa.

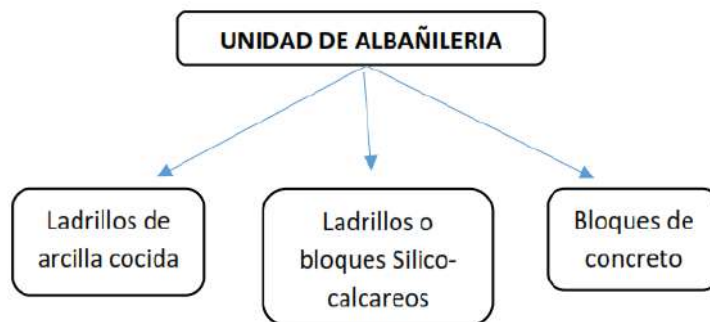


Figura 1. Clasificación por el material de fabricación.

Fuente: Bartolome y Quin

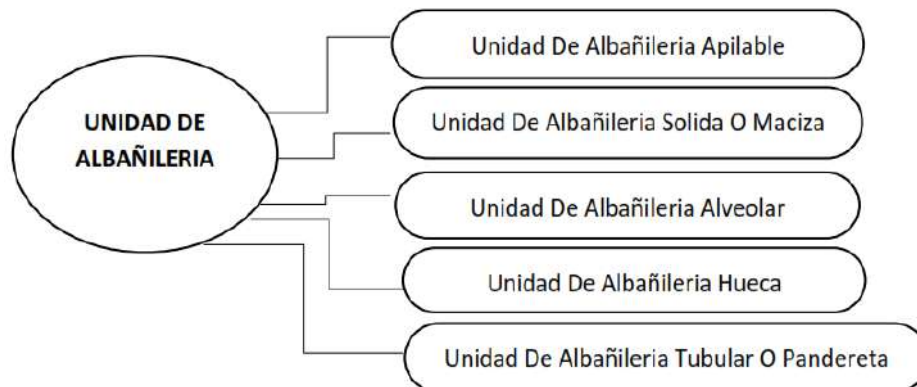


Figura 2. Clasificación por tipo.

Fuente: Bartolome y Quin

MATERIA PRIMA

El material principal utilizado para la fabricación de las unidades de albañilería es la arcilla, la NTP 331.017 define a la arcilla como un agregado mineral terroso o pétreo que contiene esencialmente silicatos de aluminio hidratados. La arcilla es plástica cuando está

suficientemente pulverizada y saturada, es rígida cuando está seca y es vidriosa cuando se quema a temperatura del orden de 1 000 °C” .

Rhodes (1990), manifiesta que la arcilla constituye un agregado de minerales y de sustancias coloidales que se han formado mediante la desintegración química de las rocas alúminas. Ésta ha sido obtenida por procesos geológicos de envejecimiento del planeta. Debido a que el proceso de envejecimiento es continuo y ocurre en cualquier punto del planeta, es considerada un material corriente y bastante abundante.

Composición.

Respecto a los componentes que conforman la arcilla, Regal y José (1984) definen que el mineral básico de las arcillas recibe el nombre de caolina, el cual es un silicato hidratado de composición compleja y cuya fórmula química es ($H_4AL_2SI_2O_9$) O ($AL_2O_3, 2SIO_2, 2H_2O$). Es de color blanco o casi blanco, de estructura terrosa, grano fino, encontrándose en yacimientos sedimentarios.

ASENTADO DE UNIDADES DE ALBAÑILERÍA DE ARCILLA SOLIDAS PARA CONSTRUCCION DE MURO CONFINADO.

Teniendo preparado los materiales, se asienta las unidades de albañilería sobre la cama de mortero ya preparado, esta actividad es denominada emplantillado desde el extremo del muro. Es muy importante controlar la verticalidad del muro mediante plomadas, la altura de las hiladas y espesor de juntas horizontales con el escantillón. El aparejo de las unidades de albañilería de arcilla se puede realizar de sogá, cabeza o amarre americano. Esto dependerá del análisis estructural.

Al realizar el proceso de asentado de los ladrillos es importante ejercer presión sobre ellos para que el mortero se adhiera mejor al ladrillo.

La norma técnica peruana de albañilería E 070, indica que como máximo se tendrá una altura de muro de 1.30 m en la primera jornada de trabajo, ya que a mayor altura la carga de la albañilería sería mayor, lo cual sería perjudicial al mortero fresco de las primeras hiladas produciéndole una deformación y disminución del grosor de las juntas. Como consecuencia

se tendría una adherencia del mortero – albañilería de baja resistencia.

Al haber culminado la jornada de trabajo se debe dejar sin rellenar con mortero las juntas verticales de la última hilada, para así poder evitar fallas por cizalle.

MORTERO.

Material empleado para adherir horizontal y verticalmente a las unidades de albañilería. Estará constituido por una mezcla de aglomerantes y agregado fino a los cuales se añadirá la máxima cantidad de agua que proporcione una mezcla trabajable, adhesiva y sin segregación del agregado. Para la elaboración del mortero destinado a obras de albañilería, se tendrá en cuenta lo indicado en las Normas NTP 399.607 y 399.610.

Componentes:

- a) Los materiales aglomerantes del mortero pueden ser:
Cemento Portland o cemento adicionado normalizados y cal hidratada normalizada de acuerdo a las Normas Técnicas Peruanas correspondientes.
- b) El agregado fino será arena gruesa natural, libre de materia orgánica y sales, con las características indicadas en la Tabla 12. Se aceptarán otras granulometrías siempre que los ensayos de pilas y muretes proporcionen resistencias según lo especificado en los planos.

Tabla 12.- Características del Agregado Fino.

GRANULOMETRIA DE LA ARENA GRUESA		
MALLA	ASTM	% QUE PASA
N° 4	(4,75 mm)	100
N° 8	(2,36 mm)	95 a 100
N° 16	(1,18 mm)	70 a 100
N° 30	(0,60 mm)	40 a 75
N° 50	(0,30 mm)	10 a 35
N° 100	(0,15 mm)	2 a 15
N° 200	(0,075 mm)	Menos de 2

Fuente: Reglamento nacional de edificaciones E-070

No deberá quedar retenido más del 50% de arena entre dos mallas consecutivas.

- El módulo de fineza estará comprendido entre 1,6 y 2,5.
 - El porcentaje máximo de partículas quebradizas será: 1% en peso.
 - No deberá emplearse arena de mar.
- c) El agua será potable y libre de sustancias deletéreas, ácidos, álcalis y materia orgánica.

Clasificación para fines estructurales. Los morteros se clasifican en: tipo P, empleado en la construcción de los muros portantes; y NP, utilizado en los muros no portantes.

Proporciones. Los componentes del mortero tendrán las proporciones volumétricas (en estado suelto).

Tabla 13.- Clasificación de los Morteros para Fines Estructurales.

TIPOS DE MORTERO				
COMPONENTES				USOS
TIPO	CEMENTO	CAL	ARENA	
P1	1	0 a ¼	3 a 3 1/2	Muros Portantes
P2	1	0 a ½	4 a 5	Muros Portantes
NP	1	-	Hasta 6	Muros no Portantes

Fuente: Reglamento nacional de edificaciones E-070

- a) Se podrán emplear otras composiciones de morteros, morteros con cementos de albañilería, o morteros industriales (embolsado o pre-mezclado), siempre y cuando los ensayos de pilas y muretes proporcionen resistencias iguales o mayores a las especificadas en los planos.
- b) De no contar con cal hidratada normalizada, se podrá utilizar mortero sin cal respetando las proporciones cemento-arena indicadas en la Tabla 13.

JUNTAS

En la albañilería con unidades asentadas con mortero, todas las juntas horizontales y verticales quedarán completamente llenas de mortero. El espesor de las juntas de mortero será como mínimo 10 mm y el espesor máximo será 15 mm o dos veces la tolerancia dimensional en la altura de la unidad de albañilería más 4 mm, lo que sea mayor NTP E 070 (2006).

ACERO DE REFUERZO.

El acero de refuerzo, es un importante material para la industria de la construcción utilizado para el refuerzo de estructuras y demás obras que requieran de este elemento, de conformidad con los diseños y detalles mostrados en los planos y especificaciones. Por su importancia en las edificaciones, debe estar comprobada y estudiada su calidad. Los productos de acero de refuerzo deben cumplir con ciertas normas que exigen sea verificada su resistencia, ductilidad, dimensiones, y límites físicos o químicos de la materia prima utilizada en su fabricación.

La armadura deberá cumplir con lo establecido en las Normas Barras de Acero con Resaltes para Concreto Armado (NTP 341.031).

Sólo se permite el uso de barras lisas en estribos y armaduras electrosoldadas usadas como refuerzo horizontal. La armadura electrosoldada debe cumplir con la norma de Malla de Alambre de Acero Soldado para Concreto Armado (NTP 350.002).

Refuerzos y conexión muro – columna

Para que el muro posea un refuerzo de confinamiento por parte de las columnas debe existir una conexión entre estas. La norma E.070 (2006) establece que pueden emplearse conexiones dentadas en los extremos del muro asentado, con una longitud sobresaliente de las unidades de albañilería que no excederá de 5 cm. La norma considera también que antes del vaciado se realice la limpieza de los desperdicios del mortero y de toda partícula perjudicial.

Si el extremo del muro con la columna se termina con hiladas de ladrillo a ras deberán de colocarse mechas de anclaje. Estas varillas deberán tener un diámetro de 6mm, el cual penetrara en el muro de albañilería una longitud mínima de 40 cm y 12.5 cm en el interior de la columna, el cual terminara en un gancho de 10 cm. Deberán de colocarse cada 3 filas de ladrillo.

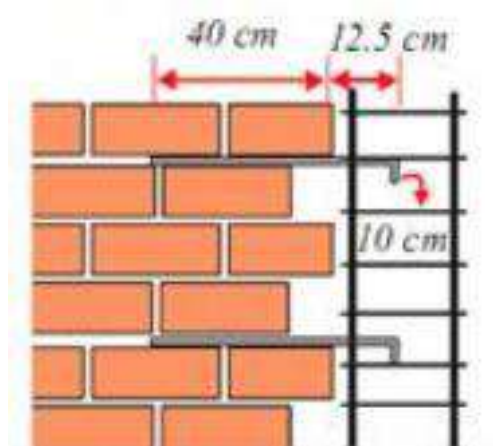


Figura 3. Colocación de las mechas de anclaje

Fuente: aceros Arequipa

Respecto a los refuerzos horizontales la norma E.070 (2006), señala que deben estar compuestos por varillas de 6 mm de diámetro, que penetren por lo menos 40 cm al interior de la albañilería y 12,5 cm al interior de la columna más un dobléz vertical a 90° de 10 cm; la cuantía a utilizar será 0,001. Establece también que es necesario considerar chicotes o mechas de anclaje en el caso de emplearse una conexión a ras.

Armadura de acero

En toda estructura de concreto armado, el acero actúa de forma combinada con el concreto, la función principal del acero es la de resistir los esfuerzos de tracción. La correcta denominación del acero según la ASTM A615 es fierro corrugado grado 60.

El diámetro y cantidad de acero a utilizar en columnas se usará en referencia a la solicitud del cálculo estructural.

La NTP E070 respecto a los estribos que se emplearan en las columnas de confinamiento indica que deberán ser cerrados a 135°, pudiéndose emplear estribos con $\frac{3}{4}$ de vuelta adicional, atando sus extremos con refuerzo vertical, o también, zunchos que empiecen y terminen con gancho estándar a 180° doblado en el refuerzo vertical.

Normas técnicas del acero

- ASTM A615 Grado 60
- NTP 341.031 Grado 60
- RNE.

Propiedades mecánicas que deben cumplir según la reglamentación

- Límite de fluencia (f_y): 4,280 kg/cm² Mínimo
- Resistencia a la tracción (R): 6,320 kg/cm²
- Relación $R/f_y = 1.25$

CONCRETO.

El concreto debe dosificarse para que proporcione una resistencia promedio a la compresión, f'_{cr} y debe satisfacer los criterios de durabilidad. El concreto debe producirse de manera que se minimice la frecuencia de resultados de resistencia inferiores a f'_{c} .

Las probetas cilíndricas para los ensayos de resistencia deben ser fabricadas y curadas en laboratorio de acuerdo con (ASTM C 31M), y deben ensayarse de acuerdo con Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens, (ASTM C 39M).

La resistencia de una clase determinada de concreto se considera satisfactoria si cumple con los dos requisitos siguientes:

- a) Cada promedio aritmético de tres ensayos de resistencia consecutivos es igual o superior a f'_{c} .
- b) Ningún resultado individual del ensayo de resistencia (promedio de dos cilindros) es menor que f'_{c} en más de 3,5 MPa cuando f'_{c} es 35 MPa o menor, o en más de 0,1 f'_{c} cuando f'_{c} es mayor a 35 MPa.

La resistencia mínima del concreto estructural, f'_{c} , diseñado y construido de acuerdo con esta Norma no debe ser inferior a 17 MPa.

Los requisitos para $f'c$ deben basarse en ensayos de probetas cilíndricas, confeccionadas y ensayadas.

A menos que se especifique lo contrario, $f'c$ debe basarse en los resultados de ensayos realizados a los 28 días. Si se requieren resultados a otra edad, ésta debe indicarse en los planos y especificaciones del proyecto.

Cuando se use concreto liviano los criterios de diseño indican un valor de resistencia a la tracción del concreto, determinada por compresión diametral, (split test), deben realizarse ensayos de laboratorio de acuerdo con (ASTM C 330) para establecer el valor de f_{ct} correspondiente a $f'c$.

Los ensayos de resistencia a la tracción por flexión o por compresión diametral (split test) no deben emplearse como base para la aceptación del concreto en obra.

Se considera como un ensayo de resistencia al promedio de las resistencias de dos probetas cilíndricas hechas de la misma muestra de concreto y ensayadas a los 28 días o a la edad de ensayo establecida para la determinación de $f'c$.

Para la selección del número de muestras de ensayo, se considerará como "clase de concreto" a:

- a) Cada una de las diferentes calidades de concreto requeridas por resistencia en compresión.
- (b) Para una misma resistencia en compresión, cada una de las diferentes calidades de concreto obtenidas por variaciones en el tamaño máximo del agregado grueso, modificaciones en la granulometría del agregado fino o utilización de cualquier tipo de aditivo.
- (c) El concreto producido por cada uno de los equipos de mezclado utilizados en la obra.

PRISMAS DE ALBAÑILERÍA.

Los prismas de albañilería (pilas y muretes) son pequeños especímenes cuyos ensayos de compresión axial y diagonal, permiten determinar la resistencia a compresión ($f'm$) y a corte puro ($v'm$), respectivamente, de la albañilería. Además, si se instrumentase adecuadamente a estas probetas, podrá obtenerse el módulo de elasticidad (E_m) del ensayo de las pilas y el módulo de corte (G_m) del ensayo de los muretes.

PILAS DE ALBAÑILERÍA.

Son primas compuestas por dos o más unidades de albañilería enteras, asentadas una sobre otra mediante mortero. La altura del prisma no debe ser excesiva a fin de facilitar su construcción, almacenaje y transporte desde la obra hasta el laboratorio. Estas pilas son ensayadas, a compresión axial a los 28 días edad y los resultados para diseñar estructuralmente los muros de los edificios y para controlar la calidad de la albañilería en la construcción.

Sin embargo, la resistencia característica a compresión axial de las pilas ($f'm$) depende de la esbeltez que es la relación que hay entre la altura y el espesor del prima.

La norma E070 establece un valor nominal de esbeltez igual a 5. Además, establece coeficientes de corrección para esbelteces menores que 5. Se aplica multiplicando a la resistencia axial obtenida del ensayo, para de este modo estimar la resistencia que se obtendría con la esbeltez nominal.

MURETE.

El tamaño del espécimen ha sido tomado como el menor tamaño que sería razonablemente representativo de un muro de albañilería a escala natural, y que permita el uso de máquinas de ensayo tales como las que se emplean en muchos laboratorios.

RESISTENCIA DE PRISMAS DE ALBAÑILERÍA.

La resistencia de la albañilería a compresión axial ($f'm$) y a corte ($v'm$) se determinará de manera empírica (recurriendo a tablas o registros históricos de resistencia de las unidades) o mediante ensayos de prismas, de acuerdo a la importancia de la edificación y a la zona sísmica donde se encuentre, según se indica en la Tabla 14.

Tabla 14.- Determinación de la Zona Sísmica.

METODO PARA DETERMINAR $f'm$ y $v'm$									
RESISTENCIA	EDIFICIOS DE			EDIFICIOS DE			EDIFICIOS DE		
CARACTERISTICAS	1 a 2 PISOS			3 a 5 PISOS			MAS 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

Fuente: Reglamento nacional de edificaciones E-070

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

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

Cuando se construyan conjuntos de edificios, la resistencia de la albañilería $f'm$ y $v'm$ deberá comprobarse mediante ensayos de laboratorio previos a la obra y durante la obra. Los ensayos previos a la obra se harán sobre cinco especímenes. Durante la construcción la resistencia será comprobada mediante ensayos con los criterios siguientes:

- a) Cuando se construyan conjuntos de hasta dos pisos en las zonas sísmicas 3 y 2, $f'm$ será verificado con ensayos de tres pilas por cada 500 m² de área techada y $v'm$ con tres muretes por cada 1000 m² de área techada.
- b) Cuando se construyan conjuntos de tres o más pisos en las zonas sísmicas 3 y 2, $f'm$ será verificado con ensayos de tres pilas por cada 500 m² de área techada y $v'm$ con tres muretes por cada 500 m² de área techada.

Los prismas serán elaborados en obra, utilizando el mismo contenido de humedad de las unidades de albañilería, la misma consistencia del mortero, el mismo espesor de juntas y la misma calidad de la mano de obra que se empleará en la construcción definitiva.

Cuando se trate de albañilería con unidades alveolares que irán llenas con concreto líquido, los alvéolos de las unidades de los prismas y muretes se llenarán con concreto líquido. Cuando se trate de albañilería con unidades alveolares sin relleno, los alvéolos de las unidades de los prismas y muretes quedarán vacíos.

Los prismas tendrán un refrentado de cemento-yeso con un espesor que permita corregir la irregularidad superficial de la albañilería.

Los prismas serán almacenados a una temperatura no menor de 10°C durante 28 días. Los prismas podrán ensayarse a menor edad que la nominal de 28 días, pero no menor de 14 días; en este caso, la resistencia característica se obtendrá incrementándola por los factores mostrados en la Tabla 15.

Tabla 15.-Incremento por Edad.

INCREMENTO DE $f'm$ Y $v'm$ POR EDAD			
EDAD		14 Dias	21 Dias
Muretes	Ladrillo de Arcilla	1.15	1.05
	Bloque de Concreto	1.25	1.06
Pilas	Ladrillo de Arcilla y	1.10	1.00
	Bloque de Concreto	1.10	1.00

Fuente:

La resistencia característica $f'm$ en pilas y $v'm$ en muretes se obtendrá como el valor promedio de la muestra ensayada menos una vez la desviación estándar.

El valor de $v'm$ para diseño no será mayor de $0.319\sqrt{f'm}$ MPa.

En el caso de no realizarse ensayos de prismas, podrá emplearse los valores mostrados en la Tabla 16, correspondientes a pilas y muretes construidos con mortero 1:4 (cuando la unidad es de arcilla) y 1: ½ : 4 (cuando la materia prima es sílice-cal o concreto), para otras unidades u otro tipo de mortero se tendrá que realizar los ensayos respectivos.

Tabla 16.- Resistencias Características de la Albañilería.

RESISTENCIAS CARACTERISTICAS DE LA ALBALIERIA Mpa (kg/cm2)				
Materia Prima	Denominación	UNIDAD f'b	PILAS f'm	Muretes v'm
Arcilla	King Kong Artesanal	5.4(55)	3.4 (35)	0.5 (5.1)
	King Kong Industrial	14.2 (145)	6.4 (65)	0.8 (8.1)
	Rejilla Industrial	21.1 (215)	8.3 (85)	0.9 (9.2)
Sílice-Cal	King Kong Normal	15.7 (160)	10.8(110)	1.0 (9.7)
	Dédalo	14.2 (145)	9.3 (95)	1.0 (9.7)
	Estándar y Mecano	14.2 (145)	10.8 (110)	0.9 (9.2)
Concreto	Bloque tipo P (*)	4.9 (50)	7.3 (74)	0.8 (8.6)
		6.4(65)	8.3 (85)	0.9 (9.2)
		7.4 (75)	9.3 (95)	1.0 (9.7)
		8.3 (85)	11.8 (120)	1.1 (10.9)

Fuente: Reglamento nacional de edificaciones E-070

(*) 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 las pilas y muretes están totalmente rellenas con grout de $f'c = 13,72$ MPa (140 kg /cm2). El valor $f'm$ ha sido obtenido contemplando los coeficientes de corrección por esbeltez del prisma que aparece en la Tabla 17.

Tabla 17.- Factores de Corrección

FACTORES DE CORRECCION DE f_m POR ESBELTEZ						
Esbeltez	2.0	2.5	3.0	4.0	4.5	5.0
Factor	0.73	0.80	0.91	0.95	0.98	1.00

Fuente: Reglamento nacional de edificaciones E-070

COLUMNA.

Elemento de concreto armado diseñado y construido con el propósito de transmitir cargas horizontales y verticales a la cimentación.

La columna puede funcionar simultáneamente como arriostre o como confinamiento.

COLUMNAS DE AMARRE

Elementos estructurales sometidos a compresión y flexión, su importancia para el confinamiento de los muros portantes, debe regir estrictamente ciertos criterios y parámetros antes, durante y posterior a la construcción de estas. La construcción de estos elementos estructurales se realiza posteriormente a la construcción del muro de albañilería.

Para todas las actividades de construcción en donde se vean implicadas las unidades de albañilería con el concreto es necesario realizar limpieza de las superficies que harán contacto con estas, así mejorar las propiedades de adherencia.

VIGA DE CIMENTACIÓN.

Es una estructura de concreto armado que sirve para conectar zapatas aisladas. Son utilizados en suelos cuya capacidad portante es muy baja con la finalidad de disminuir el asentamiento diferencial.

VIGAS SOLERAS

Elemento estructural de concreto armado que conforman los muros portantes. Se diseña para que pueda trabajar bajo los esfuerzos de tracción y proporcionar al muro de albañilería el confinamiento necesario para dar arriostre a la estructura de albañilería.

Caracterizado por su sección rectangular deberán poseer refuerzo mínimo de 4 varillas de acero y un espesor mayor o igual al de la losa de techo. La NTP E 070 establece que “el área de la sección transversal de la solera (A) será suficiente para alojar el refuerzo longitudinal (As), pudiéndose emplear vigas chatas con un peralte igual al espesor de la

losa del techo. En la solera se colocará estribos mínimos: [] 6mm, 1@5, 4@ 10, r@25 cm.

El confinamiento otorgado por las vigas conformara un armazón capaz de resistir los esfuerzos de tracción y compresión. Aparte de disuadir las fuerzas sísmicas servirá como elemento transmisor de cargas verticales y horizontales uniformemente hacia la albañilería. Debido a su ubicación y función la viga no debe deformarse a flexión.

ARRIOSTRE (ALBAÑILERIA)

Elemento estructural que tiene como comportamiento principal el de dar resistencia y rigidez a muros de albañilería confinada, ante cargas perpendiculares a su plano.

ENCOFRADO

Para el encofrado de columnas se deberán armar los encofrados con una uniformidad tanto horizontal como verticalmente, manteniendo una geometría recta en el caso de columnas rectangulares. También es muy importante que el encofrado sea hermético.

El portal de internet de Aceros Arequipa recomienda que los tableros que sirven para encofrar la columna estarán unidos por abrazaderas o barrotos a cada 50 cm como máximo. Para ello se utilizarán listones de 2" x 4", 3" x 3" o de 3" x 4"."

ALBAÑILERÍA CONFINADA

La albañilería confinada caracterizada por poseer como principal elemento de soporte de cargas axiales a los muros portantes, este elemento actúa en conjunto con las columnas y vigas soleras de concreto armado, formando así un marco rígido sobre el cual se apoyan el resto de elementos estructurales como son las losas.

Especificaciones Generales

La mano de obra empleada en las construcciones de albañilería será calificada, debiéndose supervisar el cumplimiento de las siguientes exigencias básicas:

Los muros se construirán a plomo y en línea. No se atentarán contra la integridad del muro recién asentado.

En la albañilería con unidades asentadas con mortero, todas las juntas horizontales y verticales quedarán completamente llenas de mortero. El espesor de las juntas de mortero será como mínimo 10 mm y el espesor máximo será 15 mm o dos veces la tolerancia dimensional en la altura de la unidad de albañilería más 4 mm, lo que sea mayor. En las

juntas que contengan refuerzo horizontal, el espesor mínimo de la junta será 6 mm más el diámetro de la barra.

Se mantendrá el temple del mortero mediante el reemplazo del agua que se pueda haber evaporado, por una sola vez. El plazo del retemplado no excederá al de la fragua inicial del cemento.

Las unidades de albañilería se asentarán con las superficies limpias de polvo y sin agua libre. El asentado se realizará presionando verticalmente las unidades, sin bambolearlas. El tratamiento de las unidades de albañilería previo al asentado será el siguiente:

a) Para concreto y sílice-calcáreo: pasar una brocha húmeda sobre las caras de asentado o rociarlas.

b) Para arcilla: de acuerdo a las condiciones climatológicas donde se encuentra ubicadas la obra, regarlas durante media hora, entre 10 y 15 horas antes de asentarlas. Se recomienda que la succión al instante de asentarlas esté comprendida entre 10 a 20 gr/200 cm² - min (*).

(*). Un método de campo para evaluar la succión de manera aproximada, consiste en medir un volumen (V1, en cm³) inicial de agua sobre un recipiente de área definida y vaciar una parte del agua sobre una bandeja, luego se apoya la unidad sobre 3 puntos en la bandeja de manera que su superficie de asiento esté en contacto con una película

de agua de 3 mm de altura durante un minuto, después de retirar la unidad, se vacía el agua de la bandeja hacia el recipiente y se vuelve a medir el volumen (V2, en cm³) de agua; la succión normalizada a un área de 200cm² se obtiene como:

succión = (v1-v2) /a expresada en gr/200 cm² -min, donde A es el área bruta (en cm²) de la superficie de asiento de la unidad.

Para el asentado de la primera hilada, la superficie de concreto que servirá de asiento (losa o sobrecimiento según sea el caso), se preparará con anterioridad de forma que quede rugosa; luego se limpiará de polvo u otro material suelto y se la humedecerá, antes de asentar la primera hilada.

No se asentará más de 1,30 m de altura de muro en una jornada de trabajo. En el caso de emplearse unidades totalmente sólidas (sin perforaciones), la primera jornada de trabajo culminará sin llenar la junta vertical de la primera hilada, este llenado se realizará al iniciarse la segunda jornada. En el caso de la albañilería con unidades apilables, se podrá levantar el muro en su altura total y en la misma jornada deberá colocarse el concreto líquido.

Las juntas de construcción entre jornadas de trabajos estarán limpias de partículas sueltas y serán previamente humedecidas.

El tipo de aparejo a utilizar será de sogá, cabeza o el amarre americano, traslapándose las unidades entre las hiladas consecutivas.

El procedimiento de colocación y consolidación del concreto líquido dentro de las celdas de las unidades, como en los elementos de concreto armado, deberá garantizar la ocupación total del espacio y la ausencia de cangrejeras. No se permitirá el vibrado de las varillas de refuerzo.

Las vigas peraltadas serán vaciadas de una sola vez en conjunto con la losa de techo.

Procedimiento de Construcción.

Se utilizará unidades de albañilería de acuerdo a lo especificado en la Norma.

La conexión columna-albañilería podrá ser dentada o a ras:

a) En el caso de emplearse una conexión dentada, la longitud de la unidad saliente no excederá de 5 cm y deberá limpiarse de los desperdicios de mortero y partículas sueltas antes de vaciar el concreto de la columna de confinamiento.

b) En el caso de emplearse una conexión a ras, deberá adicionarse “chicotes” o “mechas” de anclaje (salvo que exista refuerzo horizontal continuo) compuestos por varillas de 6 mm de 22 diámetro, que penetren por lo menos 40 cm al interior de la albañilería y 12,5 cm al interior de la columna más un doblez vertical a 90° de 10 cm; la cuantía a utilizar será 0,001.

El refuerzo horizontal, cuando sea requerido, será continuo y anclará en las columnas de confinamiento 12,5 cm con gancho vertical a 90° de 10 cm.

Los estribos a emplear en las columnas de confinamiento deberán ser cerrados a 135°, pudiéndose emplear estribos con $\frac{3}{4}$ de vuelta adicional, atando sus extremos con el refuerzo vertical, o también, zunchos que empiecen y terminen con gancho estándar a 180° doblado en el refuerzo vertical.

Los traslapes del refuerzo horizontal o vertical tendrán una longitud igual a 45 veces el mayor diámetro de la barra traslapada. No se permitirá el traslape del refuerzo vertical en el primer entrepiso, tampoco en las zonas confinadas ubicadas en los extremos de soleras y columnas.

El concreto deberá tener una resistencia a compresión ($f'c$) mayor o igual a 17,15MPa (175kg / cm²). La mezcla deberá ser fluida, con un revenimiento del orden de 12,7 cm (5 pulgadas) medida en el cono de Abrams. En las columnas de poca dimensión, utilizadas

como confinamiento de los muros en aparejo de soga, el tamaño máximo de la piedra chancada no excederá de 1,27 cm (½ pulgada).

El concreto de las columnas de confinamiento se vaciará posteriormente a la construcción del muro de albañilería; este concreto empezará desde el borde superior del cimiento, no del sobrecimiento.

Las juntas de construcción entre elementos de concreto serán rugosas, humedecidas y libre de partículas sueltas.

La parte recta de la longitud de anclaje del refuerzo vertical deberá penetrar al interior de la viga solera o cimentación; no se permitirá montar su doblez directamente sobre la última hilada del muro.

El recubrimiento mínimo de la armadura (medido al estribo) será 2 cm cuando los muros son tarrajados y 3 cm cuando son caravista.

Requisitos Mínimos Estructurales.

Se considerará como muro confinado, aquél que cumpla las siguientes condiciones:

a) Que quede enmarcado en sus cuatro lados por elementos de concreto armado verticales (columnas) y horizontales (vigas soleras), aceptándose la cimentación de concreto como elemento de confinamiento horizontal para el caso de los muros ubicados en el primer piso.

b) Que la distancia máxima centro a centro entre las columnas de confinamiento sea dos veces la distancia entre los elementos horizontales de refuerzo y no mayor que 5 m. De cumplirse esta condición, así como de emplearse el espesor mínimo especificado a continuación:

Espesor Efectivo (t):

$$t \geq \frac{h}{20} \quad \text{Para las zonas sísmicas 2 y 3}$$

$$t \geq \frac{h}{25} \quad \text{Para zona sísmica 1}$$

Donde “h” es la altura libre entre los elementos de arriostre horizontales o la altura efectiva de pandeo.

La albañilería no necesitará ser diseñada ante acciones sísmicas ortogonales a su plano, excepto cuando exista excentricidad de la carga vertical.

c) Que se utilice unidades de acuerdo a lo especificado en la norma.

d) Que todos los empalmes y anclajes de la armadura desarrollen plena capacidad a la tracción.

e) Que los elementos de confinamiento funcionen integralmente con la albañilería.

f) Que se utilice en los elementos de confinamiento, concreto con $f' c \geq 17,15 \text{ MPa}$ (175 kg/cm^2)

Se asumirá que el paño de albañilería simple (sin armadura interior) no soporta acciones de punzonamiento causadas por cargas concentradas.

El espesor mínimo de las columnas y solera será igual al espesor efectivo del muro. El peralte mínimo de la viga solera será igual al espesor de la losa de techo. El peralte mínimo de la columna de confinamiento será de 15 cm. En el caso que se discontinúen las vigas soleras, por la presencia de ductos en la losa del techo o porque el muro llega a un límite de propiedad, el peralte mínimo de la columna de confinamiento respectiva deberá ser suficiente como para permitir el anclaje de la parte recta del refuerzo longitudinal existente en la viga solera más el recubrimiento respectivo. Cuando se utilice refuerzo horizontal en los muros confinados, las varillas de refuerzo penetrarán en las columnas de confinamiento por lo menos 12,50 cm y terminarán en gancho a 90° , vertical de 10 cm de longitud.

ALBAÑILERÍA ESTRUCTURAL

Compuesto por elementos estructurales de albañilería, siendo el elemento principal los muros portantes confinados. Los muros portantes pueden trabajar en conjunto con otros elementos estructurales, así como son las columnas y placas.

Figura Tipos y clasificación de albañilería.

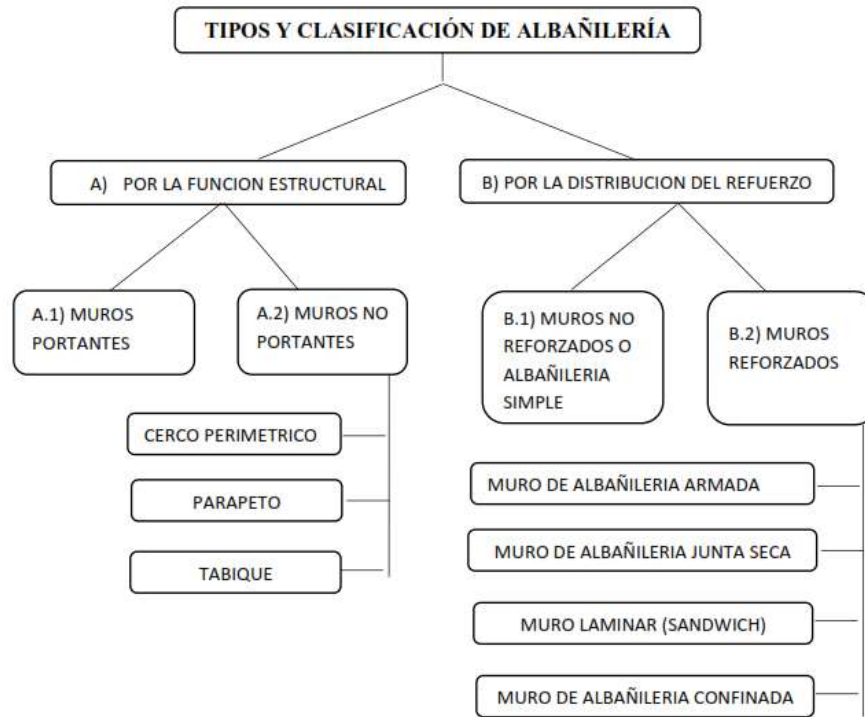


Figura 4. Tipos y clasificación de albañilería.

Fuente: Bartolome y Quin

Descripción de los elementos estructurales que conforman el proceso constructivo secuencial de muros portantes de albañilería confinada.

Es importante que se siga una secuencia en la construcción de muros portantes, pues de ello depende el confinamiento (resistencia y rigidez del muro). Los elementos estructurales de la albañilería confinada están conformados por:

- a) Cimiento b) Sobrecimiento c) Muro de Albañilería d) Columnas e) Vigas – Losa.

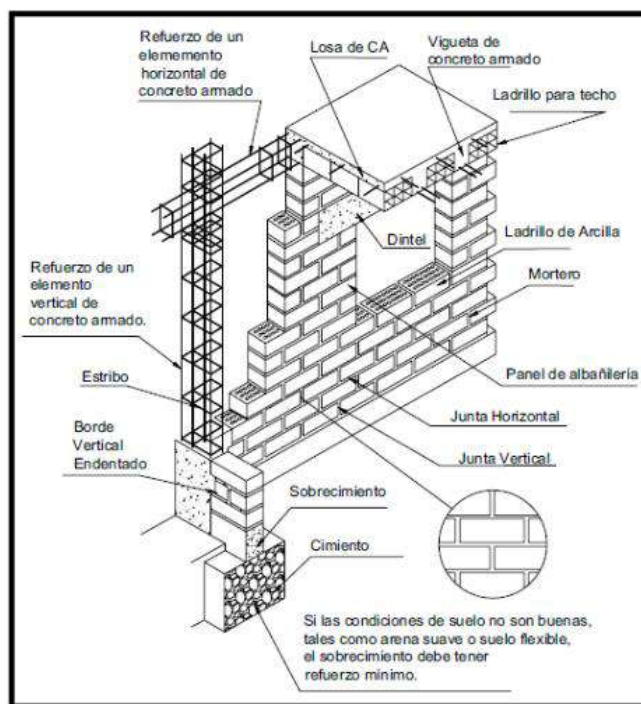


Figura 5. Esquema estructural de un muro de albañilería confinada
Fuente: CISMID,UNI

Análisis y Diseño Estructural.

Definiciones:

Para los propósitos de esta Norma se utilizará las siguientes definiciones:

- a) Sismo Severo. Es aquél proporcionado por la NTE E.030 Diseño Sismorresistente, empleando un coeficiente de reducción de la sollicitación sísmica $R = 3$.
- b) Sismo Moderado. Es aquél que proporciona fuerzas de inercia equivalentes a la mitad de los valores producidos por el “sismo severo”.

Consideraciones Generales.

La Norma establece que el diseño de los muros cubra todo su rango de comportamiento, desde la etapa elástica hasta su probable incursión en el rango inelástico, proveyendo suficiente ductilidad y control de la degradación de resistencia y rigidez.

El diseño es por el método de resistencia, con criterios de desempeño. El diseño está orientado, en consecuencia, a proteger a la estructura contra daños ante eventos sísmicos frecuentes (sismo moderado) y a proveer la necesaria resistencia para soportar el sismo severo, conduciendo el tipo de falla y limitando la degradación de resistencia y rigidez con el propósito de limitar el nivel de daños en los muros, de manera que éstos sean económicamente reparables mediante procedimientos sencillos.

Para los propósitos de esta Norma, se establece los siguientes considerandos:

- a) El “sismo moderado” no debe producir la fisuración de ningún muro portante.
- b) Los elementos de acoplamiento entre muros deben funcionar como una primera línea de resistencia sísmica, disipando energía antes de que fallen los muros de albañilería, por lo que esos elementos deberán conducirse hacia una falla dúctil por flexión.
- c) El límite máximo de la distorsión angular ante la acción del “sismo severo” se fija en 1/200, para permitir que el muro sea reparable pasado el evento sísmico.
- d) Los muros deben ser diseñados por capacidad de tal modo que puedan soportar la carga asociada a su incursión inelástica, y que proporcionen al edificio una resistencia a corte mayor o igual que la carga producida por el “sismo severo”.
- e) Se asume que la forma de falla de los muros confinados ante la acción del “sismo severo” será por corte, independientemente de su esbeltez.

La rigidez lateral de un muro confinado deberá evaluarse transformando el concreto de sus columnas de confinamiento en área equivalente de albañilería, multiplicando su espesor real por la relación de módulos de elasticidad E_c / E_m ; el centroide de dicha área equivalente coincidirá con el de la columna de confinamiento.

El módulo de elasticidad (E_m) y el módulo de corte (G_m) para la albañilería se considerará como sigue:

- Unidades de arcilla: $E_m = 500 \text{ f}^2\text{m}$
- Unidades Sílico-calcáreas: $E_m = 600 \text{ f}^2\text{m}$
- Unidades de concreto vibrado: $E_m = 700 \text{ f}^2\text{m}$
- Para todo tipo de unidad de albañilería: $G_m = 0,4 E_m$

Opcionalmente, los valores de “ E_m ” y “ G_m ” podrán calcularse experimentalmente según se especifica en la Norma.

El módulo de elasticidad (E_c) y el módulo de corte (G_c) para el concreto serán los indicados en la NTE E.060 Concreto Armado.

El módulo de elasticidad para el acero (E_s) se considerará igual a 196 000 MPa (2 000 000 kg/cm²).

MURO DE ALBAÑILERÍA CONFINADA

Los muros portantes son estructuras de albañilería confinada, los cuales se diseñan y construye para resistir cargas axiales que originan esfuerzos de compresión proveniente

de las estructuras superpuestas. Estas estructuras a su vez son diseñadas ante fuerzas laterales provenientes de sismos.

Los muros de albañilería simple pueden resistir cargas de compresión, pero es necesario reforzarlos con confinamiento para dar la característica de arriostre al muro para que puedan resistir mejor elásticamente los desplazamientos producida por las fuerzas sísmicas. El confinamiento es otorgado por los refuerzos horizontales (vigas soleras) y refuerzos verticales (columnas de amarre), estos materiales son de concreto armado y enmarcan la albañilería simple para así convertirla en albañilería confinada.

Para la construcción de muros de albañilería confinada se pueden utilizar unidades de albañilería de distintos materiales como arcilla, sílice – calcáreo y concreto, los cuales poseen características distintas una a la otra.

Es muy importante seguir una secuencia para la construcción de muros portantes, ya que de lo contrario se perderían propiedades importantes de confinamiento de las estructuras de refuerzo.

Diseño de Muro de Albañilería.

Control de Fisuración.

Esta disposición tiene por propósito evitar que los muros se fisuren ante los sismos moderados, que son los más frecuentes. Para el efecto se considerarán las fuerzas cortantes producidas por el sismo moderado.

- b) Para todos los muros de albañilería deberá verificarse que en cada entepiso se satisfaga la siguiente expresión que controla la ocurrencia de fisuras por corte:

$$V_e \leq 0.55 V_m = \text{Fuerza Cortante Admisible}$$

dónde: “ V_e ” es la fuerza cortante producida por el “sismo moderado” en el muro en análisis y “ V_m ” es la fuerza cortante asociada al agrietamiento diagonal de la albañilería.

Resistencia al Agrietamiento Diagonal.

- a) La resistencia al corte (V_m) de los muros de albañilería se calculará en cada entepiso mediante las siguientes expresiones:

Unidades de Arcilla y de Concreto:

$$V_m = 0.5V'_m \cdot \alpha \cdot t \cdot L + 0.23 P_g$$

donde:

V'_m = resistencia característica a corte de la albañilería.

P_g = carga gravitacional de servicio, con sobrecarga reducida (NTE E.030 Diseño Sismorresistente).

t = espesor efectivo del muro.

L = longitud total del muro (incluyendo a las columnas en el caso de muros confinados).

α = factor de reducción de resistencia al corte por efectos de esbeltez, calculado como:

$$\frac{1}{3} \leq \alpha = \frac{V_e L}{M_e} \leq 1$$

donde:

“ V_e ” es la fuerza cortante del muro obtenida del análisis elástico.

“ M_e ” es el momento flector del muro obtenido del análisis elástico.

Albañilería Confinada.

El diseño de los muros debe orientarse a evitar fallas frágiles y a mantener la integración entre el panel de albañilería y los confinamientos verticales, evitando el vaciamiento de la albañilería; para tal efecto el diseño debe comprender:

- la verificación de la necesidad de refuerzo horizontal en el muro;
- la verificación del agrietamiento diagonal en los entrepisos superiores;
- el diseño de los confinamientos para la combinación de fuerzas de corte, compresión o tracción y corte fricción.

c) Las fuerzas internas para el diseño de los muros en cada entrepiso “ i ” serán las del “sismo severo” (V_{ui} , M_{ui}), y se obtendrán amplificando los valores obtenidos del análisis elástico ante el “sismo moderado” (V_{ei} , M_{ei}) por la relación cortante de agrietamiento diagonal (V_{m1}) entre cortante producido por el “sismo moderado” (V_{e1}), ambos en el primer piso. El factor de amplificación no deberá ser menor que dos ni mayor que tres: $2 \leq V_{m1} / V_{e1} \leq 3$.

$$V_{ui} = V_{ei} \frac{V_{m1}}{V_{e1}}$$

$$M_{ui} = M_{ei} \frac{V_{m1}}{V_{e1}}$$

Verificación de la necesidad de colocar refuerzo horizontal en los muros.

a) Todo muro confinado cuyo cortante bajo sismo severo sea mayor o igual a su resistencia al corte ($V_u \geq V_m$), o que tenga un esfuerzo a compresión axial producido por la carga gravitacional considerando toda la sobrecarga, $\sigma_m = P_m / (L.t)$, mayor o

igual que $0,05 f'm$, deberá llevar refuerzo horizontal continuo anclado a las columnas de confinamiento.

b) En los edificios de más de tres pisos, todos los muros portantes del primer nivel serán reforzados horizontalmente.

c) La cuantía del acero de refuerzo horizontal será: $\rho = A_s / (s.t) \geq 0,001$. Las varillas de refuerzo penetrarán en las columnas de confinamiento por lo menos 12,5 cm y terminarán con gancho a 90o vertical de 10 cm de longitud.

Diseño de los elementos de confinamiento de los muros del primer piso y de los muros agrietados de pisos superiores.

a) Diseño de las columnas de confinamiento.

- Las fuerzas internas en las columnas se obtendrán aplicando las expresiones de la Tabla.

Tabla 18. Determinación de las Fuerzas Internas de Confinamiento.

FUERZAS INTERNAS EN COLUMNAS DE CONFINAMIENTO			
COLUMNA	Vc (Fuerza Cortante)	T (Tracción)	C (compresión)
Interior	$\frac{Vm1 \cdot Lm}{L (Nc + 1)}$	$Vm1 \frac{h}{L} - Pc$	$Pc - \frac{Vm1 \cdot h}{2L}$
Extrema	$1.5 \frac{Vm1 \cdot Lm}{L (Nc + 1)}$	F - Pc	Pc + F

Fuente: Reglamento nacional de edificaciones E-070

Donde:

$M = Mu1 - 1/2 Vm1 \cdot h$ (“h” es la altura del primer piso).

$F = M L$ = fuerza axial en las columnas extremas producidas por “M”.

Nc = número de columnas de confinamiento (en muros de un paño $Nc = 2$)

Lm = longitud del paño mayor ó $0,5 L$, lo que sea mayor (en muros de un paño $Lm = L$)

Pc = es la sumatoria de las cargas gravitacionales siguientes: carga vertical directa sobre la columna de confinamiento; mitad de la carga axial sobre el paño de muro a cada lado de la columna; y, carga proveniente de los muros transversales de acuerdo a su longitud tributaria indicada.

Determinación de la sección de concreto de la columna de confinamiento.

- El área de la sección de las columnas será la mayor de las que proporcione el diseño por compresión o el diseño por corte fricción, pero no menor que 15 veces el espesor de la columna (15 t) en cm².

Diseño por compresión.

- El área de la sección de concreto se calculará asumiendo que la columna está arriostrada en su longitud por el panel de albañilería al que confina y por los muros transversales de ser el caso. El área del núcleo (A_n) bordeado por los estribos se obtendrá mediante la expresión:

$$A_n = A_s + \frac{\frac{C}{\phi} - A_s f_y}{0,85 \delta f'_c}$$

donde:

$\phi = 0,7$ o $0,75$, según se utilice estribos cerrados o zunchos, respectivamente.

$\delta = 0,8$, para columnas sin muros transversales $\delta = 1$, para columnas confinadas por muros transversales.

- Para calcular la sección transversal de la columna (A_c), deberá agregarse los recubrimientos al área del núcleo " A_n "; el resultado no deberá ser menor que el área requerida por corte-fricción " A_{cf} ". Adicionalmente, en los casos que la viga solera se discontinúe, el peralte de la columna deberá ser suficiente como para anclar al refuerzo longitudinal existente en la solera.

Diseño por corte-fricción (V_c).

- La sección transversal (A_{cf}) de las columnas de confinamiento se diseñará para soportar la acción de corte fricción, con la expresión siguiente:

$$A_{cf} = \frac{V_c}{0.2 f'_c \phi} \geq A_c \geq 15t \text{ (cm}^2\text{)}$$

donde: $\phi = 0,85$

Determinación del Refuerzo Vertical.

- El refuerzo vertical a colocar en las columnas de confinamiento será capaz de soportar la acción combinada de corte-fricción y tracción; adicionalmente,

desarrollará por lo menos una tracción igual a la capacidad resistente a tracción del concreto y como mínimo se colocarán 4 varillas para formar un núcleo confinado. El refuerzo vertical (A_s) será la suma del refuerzo requerido por corte-fricción (A_{sf}) y el refuerzo requerido por tracción (A_{st}):

$$A_{sf} = \frac{Vc}{f_y \cdot u \cdot \phi} \qquad A_{st} = \frac{T}{f_y \cdot \phi}$$

$$A_s = A_{sf} + A_{st} = \frac{0.1 f'_c A_c}{f_y} \text{ (mínimo: } 4 \phi 8\text{mm)}$$

donde:

El factor de reducción de resistencia es $\phi = 0,85$.

El coeficiente de fricción es: $\mu = 0,8$ para juntas sin tratamiento y $\mu = 1,0$ para juntas en la que se haya eliminado la lechada de cemento y sea intencionalmente rugosa.

Determinación de los estribos de confinamiento.

• Los estribos de las columnas de confinamiento podrán ser ya sea estribos cerrados con gancho a 135° , estribos de $1 \frac{3}{4}$ de vuelta o zunchos con ganchos a 180° . En los extremos de las columnas, en una altura no menor de 45 cm o $1,5 d$ (por debajo o encima de la solera, dintel o sobrecimiento), deberá colocarse el menor de los siguientes espaciamientos (s) entre estribos:

$$S1 = \frac{A_v f_y}{0.3 t_n f'_c \left(\frac{A_c}{A_n} - 1 \right)} \qquad S2 = \frac{A_v f_y}{0.12 t_n f'_c}$$

$$S3 = \frac{d}{4} \geq 5 \text{ cm} \qquad S4 = 10\text{cm}$$

Donde:

“d ” es el peralte de la columna.

“ t_n ” es el espesor del núcleo confinado.

“ A_v ” es la suma de las ramas paralelas del estribo.

• El confinamiento mínimo con estribos será \square 6mm, 1 @ 5, 4@ 10, r @ 25 cm. Adicionalmente se agregará 2 estribos en la unión solera-columna y estribos @ 10 cm en el sobrecimiento.

Diseño de las vigas soleras correspondientes al primer nivel.

• La solera se diseñará a tracción pura para soportar una fuerza igual a T_s :

$$T_s = V_m \cdot \frac{L_m}{2L}$$

$$A_s = \frac{T_s}{\phi f_y} \geq \frac{0.1 f'c A_{cs}}{f_y} \quad (\text{mínimo: } 4\phi 8\text{mm})$$

donde:

$\phi = 0,9$ A_{cs} = área de la sección transversal de la solera.

- El área de la sección transversal de la solera (A_{cs}) será suficiente para alojar el refuerzo longitudinal (A_s), pudiéndose emplear vigas chatas con un peralte igual al espesor de la losa del techo. En la solera se colocará estribos mínimos: [] 6mm, 1 @ 5, 4@ 10, r @ 25 cm.

Realidad Problemática.

En el Perú existen muchos casos de malas técnicas constructivas de edificios de albañilería confinada que terminan en el colapso de la estructura o fallas visibles en las estructuras de soporte, y esto se deba a que la proyección de estos edificios carezca de adecuados diseños de ingeniería o el empleo de materiales de mala calidad.

Nivel Internacional

En distintos países se han realizado investigaciones que abordan en consecuencia, a que, en la construcción de viviendas y edificios de albañilería confinada, el material que predomina en estas construcciones son de ladrillo siendo este material el más usado.

Existe una problemática con las construcciones de albañilería por la presencia de algunas series de dificultades relacionadas con su modelamiento y tecnología, producto de la calidad y variedad de materiales, así como también de la participación de la mano de obra siendo un aspecto importante en el conocimiento y practica en la construcción de estos edificios.

Nivel Nacional

Los daños causados por los sismos, en construcciones de albañilería, han sido con frecuencia muy severos y es común que el desempeño de estas construcciones se

compare desfavorablemente con el de estructuras de acero y de concreto armado. Sin embargo, la mayoría de las fallas se han presentado en construcciones de albañilería que no fueron objeto de un diseño estructural y que presentaban defectos obvios de estructuración, de construcción y de calidad de materiales.

Es importante que las unidades de albañilería de arcilla que conforman los muros portantes posean las características técnicas adecuadas en cuanto a resistencia, durabilidad, homogeneidad, etc. Parámetros importantes que exige la norma técnica peruana de albañilería E.070 y que el proceso constructivo de las estructuras de albañilería posea las técnicas adecuadas.

Nivel Local

En la ciudad de Huaraz existen gran cantidad de canteras y hornos artesanales que se dedican a la fabricación de ladrillos de arcilla sin orientación técnica, es importante realizar un estudio con la finalidad de conocer la calidad y características de estos productos con los que se construyen edificaciones de albañilería confinada en los distritos de Huaraz e Independencia.

Es así que se identificó los hornos artesanales que se dedican a la fabricación de ladrillos macizos de arcilla cocida en la carretera Pativilca km 194+200 Sector Chihuipampa como abastecedor.

En los cuales se evaluaron el comportamiento de estas unidades mediante ensayos mecánicos.

Formulación del Problema.

¿Cómo será el comportamiento de un muro de albañilería confinada sometida a carga lateral cíclica, utilizando ladrillo artesanal fabricado en la zona rural de chihuipampa?

Hipótesis General.

Los muros de albañilería confinada compuesto por ladrillos de arcilla fabricados en la zona de Chihuipampa, poseen un mal comportamiento estructural en edificaciones.

Hipótesis Específicas.

Las características técnicas de las unidades de albañilería fabricadas en hornos de la zona de Chihuipampa serian de baja calidad para la construcción según los parámetros de la NTP E070.

Los muros de albañilería confinada presentarían deficiente comportamiento estructural ante el máximo número de piso que exige la NTP E 070.

Las unidades de albañilería confinada poseerían limitaciones para el uso en muros de albañilería confinada para edificaciones sujeto a grandes cargas.

Objetivos de la Investigación.

Objetivo General.

Conocer las características técnicas de las unidades de albañilería fabricadas en la zona de Chihuipampa, utilizadas en la construcción de edificaciones de los distritos de Huaraz e Independencia establecida según el reglamento E070, y el desempeño estructural que estos poseen en muros de albañilería confinada.

Objetivos Específicos.

Conocer las características técnicas de las unidades de albañilería fabricadas en hornos de la zona de Chihuipampa según estándares de calidad establecidos en la Norma E070.

Evaluar el comportamiento estructural de un muro de albañilería confinada sujeto a carga lateral cíclica.

Determinar el uso adecuado de las unidades albañilería para la estructuración de edificaciones con albañilería confinada.

METODOLOGÍA

TIPO DE INVESTIGACIÓN.

Existen dos enfoques principales de investigación el enfoque cuantitativo y enfoque cualitativo.

ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN.

Se ha considerado como enfoque metodológico el cuantitativo para la presente investigación. Hernández Sampieri (2014) define que el “enfoque cuantitativo representa un conjunto de procesos, que es secuencial y probatorio. Cada etapa precede a la siguiente y no podemos “brincar” o eludir pasos. El orden es riguroso, aunque desde luego, podemos redefinir alguna fase”.

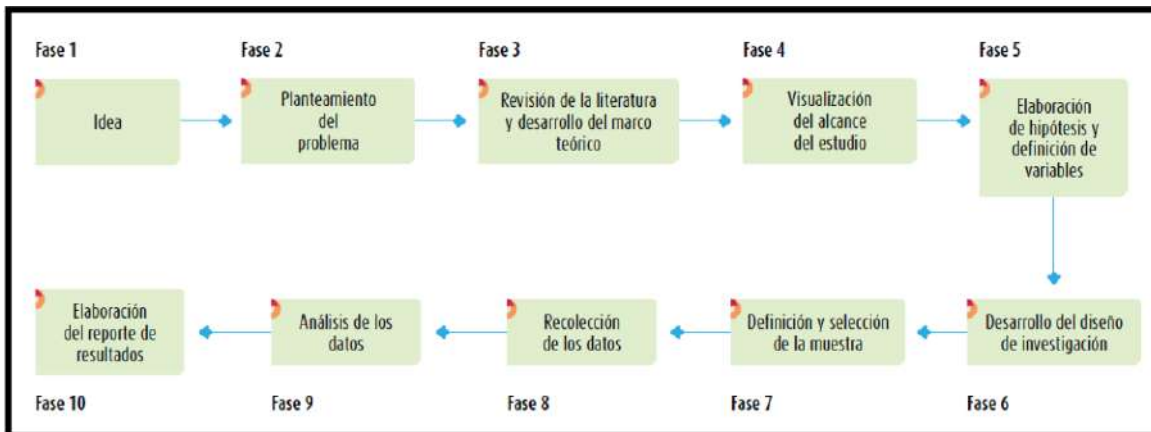


Figura 6. Fases del proceso cuantitativo

Fuente Hernández Sampieri

(Race, 2010; Selltiz et al., 1980). Considera que “el delimitar es la esencia de los planteamientos cuantitativos”. Cuando se delimitan las ideas se tienden a derivar las respectivas preguntas y objetivos. Posterior al planteamiento de las preguntas nacen las hipótesis e identificación de las variables. Las variables serán medidas para posteriormente analizar estas mediciones estadísticamente, con el cual podemos a determinadas conclusiones.

NIVEL DE INVESTIGACIÓN.

El nivel de investigación de la tesis está dado por el nivel descriptivo correlacional.

NIVEL DESCRIPTIVO.

Para Hernández Sampieri (2014), “la meta del investigador consiste en describir fenómenos, situaciones, contextos y sucesos; esto es, detallar cómo son y se manifiestan. Con los estudios descriptivos se busca especificar las propiedades, las características y los perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis. Es decir, únicamente pretenden medir o recoger información de manera independiente o conjunta sobre los conceptos o las variables a las que se refieren, esto es, su objetivo no es indicar cómo se relacionan éstas”.

La presente investigación de tesis, tiene como nivel de investigación el descriptivo por la caracterización de las propiedades físicas de las unidades de albañilería y la influencia de ellas en las edificaciones de albañilería como material en los muros portantes.

NIVEL CORRELACIONAL.

Y respecto al nivel correlacional Hernández Sampieri (2014), manifiesta que este tipo de investigación correlacional tiene como principal utilidad el de saber el comportamiento de una variable respecto a otras variables que estén vinculadas con este tanto positiva como negativamente. Intentar predecir el valor aproximado que tendrá un grupo de individuos o casos en una variable valores elevados en una variable tenderán a mostrar valores bajos en la otra variable.

Con este nivel se busca saber la relación que infieren las propiedades físicas que poseen la variable unidades de albañilería fabricadas la zona de Chihuipampa, como material de albañilería en la variable comportamiento estructural en muros portante.

DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.

El diseño de investigación será No Experimental - correlacionales-causales, que según el autor Hernández Sampieri (2014), estos “diseños pueden limitarse a establecer relaciones entre variables sin precisar sentido de causalidad o pretender analizar relaciones causales. Cuando se limitan a relaciones no causales, se fundamentan en planteamientos e hipótesis correlacionales; del mismo modo, cuando buscan evaluar vinculaciones causales, se basan en planteamientos e hipótesis causales”.

Mediante este diseño de investigación No Experimental - correlacional-causal, se evaluarán cuál es la causal y cómo influyen las propiedades físicas de las unidades de albañilería como variable independiente en el comportamiento estructural de muros de albañilería confinada compuesto por estas unidades.

DISEÑO DE PRUEBA DE HIPÓTESIS

Este comprende la evaluación que se realizara a los resultados que obtendremos mediante la realización de los ensayos tanto visual como en el laboratorio de estructuras a las unidades de albañilería, pilas y muretes (prismas de albañilería), para posteriormente analizar estos datos y evaluar cuál sería el comportamiento estructural de los muros portantes de albañilería confinada y así poder probar la hipótesis planteada.

JUSTIFICACION

Teórica

Con la información procesada de los ensayos realizados a los ladrillos macizos de arcilla se tendrá datos con los que podrá evaluar el comportamiento estructural en muros de albañilería confinada y las limitaciones que estos poseen, el cual servirá de sustento para la presente investigación y las postreras investigaciones. Así ampliar los conocimientos e información en nuestro medio respecto a la calidad de las unidades de albañilería fabricadas en LA Zona de Chihupampa con las que se construyen edificaciones de albañilería confinada en la Ciudad de Huaraz.

Social

En la presente investigación se demuestra que los ladrillos de arcilla cocida fabricados en la Zona de Chihupampa poseen determinadas deficiencias en su proceso de fabricación, estas unidades de albañilería son distribuidas a la Ciudad de Huaraz. Es importante conocer las limitaciones que estas unidades poseen en la construcción de muros estructurales.

Practica.

Al desarrollar la presente investigación de tesis, podremos determinar y observar cuales son las posibles fallas que se presentaran en los muros estructurales construidos con ladrillos de arcilla fabricados la zona de Chihupampa. Y cuáles son sus efectos en las edificaciones de albañilería confinada. Y cuales son las alternativas que se dispone en el uso correcto de estas unidades.

Metodológica.

Mediante la metodología seleccionada, podremos determinar la relación existente entre la calidad de los ladrillos y el comportamiento que estos desempeñan en las estructuras

de albañilería confinada. Ya que la mala calidad de estos, se tendría muchas limitaciones en su uso. Los aportes de esta investigación podrían servir a las autoridades para llevar a cabo medidas preventivas y reguladoras.

DELIMITACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

Este proyecto de tesis en la que comprende el estudio y evaluación del comportamiento estructural de muros de albañilería confinada compuesto por ladrillos de arcilla en edificaciones de albañilería confinada, posee una delimitación respecto al área de investigación, entre las que podemos mencionar:

- ❖ Solo se evaluarán las unidades de albañilería fabricadas en la zona de Chihuipampa respecto al ámbito de la Ciudad de Huaraz, también se evaluarán solo las unidades de albañilería fabricadas en dicha zona, por ser uno de los principales abastecedores a esta ciudad.
- ❖ Se realizarán los ensayos con el equipo disponible en el Laboratorio de estructuras de la UNI-CISMID en el cual se puedan realizar ensayo de compresión simple de albañilería, ensayo de compresión axial en pilas, ensayo de resistencia a corte diagonal de muretes y ensayo de carga lateral sísmica.
- ❖ Los ensayos a ejecutar serán los necesarios y fundamentales que permitan analizar los esfuerzos de corte y compresión en muros a escala, así como determinar el soporte máximo de la misma sometida a carga lateral sísmica.
- ❖ Se tocará solamente lo que concierne al proceso de fabricación de las unidades de albañilería y la calidad que estos desempeñan en el comportamiento de muros a escala.
- ❖ En esta investigación no se estudia los diseños sísmicos de muros portantes por lo tanto estos temas se presentarán de una manera muy general en la presente.

ÁMBITO DE ESTUDIO

La zona de ubicación donde se recogerán las muestras de las unidades de albañilería será en en la zona de Chihuipampa como representación de la ciudad de Huaraz por ser el principal abastecedor.

Ubicación geográfica de la zona rural de chihuipampa.

Esta zona rural (centro poblado) ubicado en el Sector Este de la provincia de Huaraz busca una mayor conectividad con la ciudad de Huaraz por la vía troncal Huaraz-Pativilca, que se conecta con la panamericano norte. Con una expansión de 10km² aproximadamente.

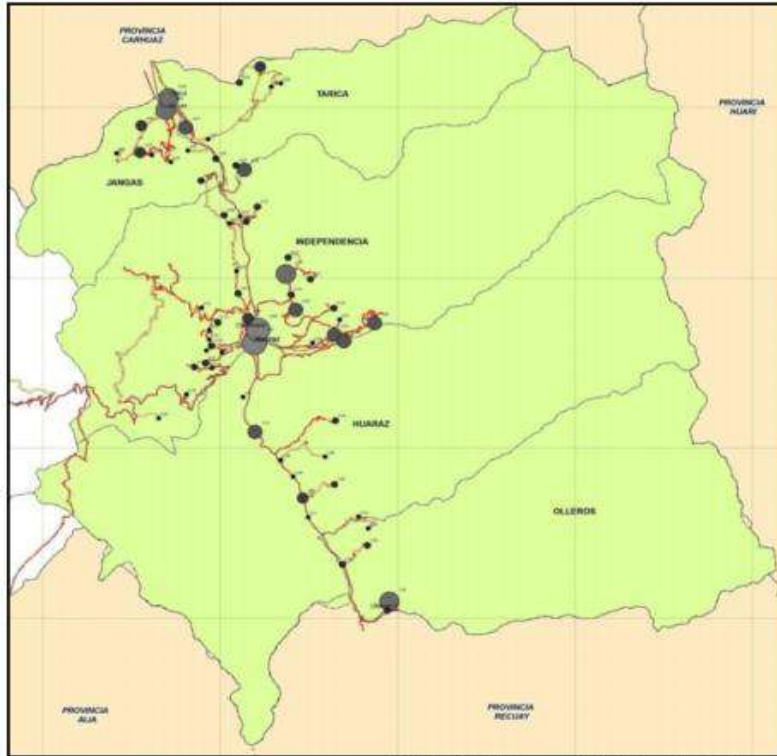


Figura 7. Distribución espacial de los centros poblados, sector este.

Fuente: Estudio de diagnóstico y zonificación de la provincia de Huaraz.

Altitud.

Se sitúa a una altitud de 3,052 m.s.n.m.

Población.

Tiene una población de 161 habitantes según la fuente del censo nacional de población y vivienda 2007 (INEI), y trabajo de campo.

Zona de ubicación de extracción de muestras Chhuipampa.

Los fabricantes artesanos de ladrillos de arcilla cocida se encuentran asentados en este determinado sector Este del Centro Poblado rural de Chhuipampa, por las aproximaciones que se tiene con el material de fabricación (tierra arcillosa) procedente de los taludes que se acentúan en la falda de los cerros. Es aquí donde se ubican los hornos y los lugares de preparado, moldeado y secado de los ladrillos de arcilla.

PROVINCIA DE HUARAZ.

El ámbito territorial de la Provincia de Huaraz, se emplaza desde el flanco Occidental de la Cordillera Negra por el oeste (zona Costa), hasta las cumbres nevadas del Flanco Occidental de la Cordillera Blanca por el Este, donde destacan un conjunto de nevados con altitudes mayores de 5000 m.s.n.m. Cuenta con altitudes habitables, variables que van desde los 1200 msnm en el distrito de Pariacoto, hasta los 3700 msnm en el distrito de Pampas Grande, ambos en la zona occidental de la Provincia (fuente tomada de la Gerencia Regional de Planeamiento, Presupuesto y Acondicionamiento Territorial – SGPyAT).



Figura 8. Mapa de Límites Políticos y Referenciales de la Provincia de Huaraz.

Fuente: INEI, PCM-DNTDT y Demarcación Política del Perú - Recopilación de Leyes de Creación

Ubicación política.

El ámbito territorial de la provincia de Huaraz, se ubica en la parte central del departamento de Ancash, según la información del Instituto Nacional de Estadística e Informática – INEI, cuenta con una superficie aproximada de 2492.91 Km², que equivale el 6.96 % del área total departamental y 0.19 % del territorio nacional. La capital de la provincia de Huaraz es la Ciudad del mismo nombre, ubicado en la Región Sierra, dentro de la unidad geomorfológica Valle Amplio, en la margen derecha del Río Santa y atravesado por el río Quillcay, en una altitud de 3 052 m s n m, entre las coordenadas UTM 764520.35 mE y 8996031.45 mN.

Limites.

Sus límites son los siguientes:

Por el Norte, con las provincias de Yungay y Carhuaz.

Por el Este, con la provincia de Huari.

Por el Sur, con las provincias de Recuay y Aija.

Por el Oeste, con las provincias de Huarmey y Casma

División política administrativa.

Tabla 19. Cuadro de División Administrativa de la Provincia de Huaraz.

Nº	Distrito	Dispositivo Legal			Capital	
		Nombre	Numero	Fecha de Publicación	Nombre	Categoría
1	Huaraz	Época de Independencia			Huaraz	Ciudad
2	Cochabamba	Ley	9826	30/09/1943	Cochabamba	Pueblo
3	Colcabamba	Ley	9422	31/10/1941	Colcabamba	Pueblo
4	Huanchay	Ley	7858	16/10/1933	Huanchay	Villa
5	Independencia	D. Ley	25852	06/11/1992	Centenario	Pueblo
6	Jangas	Ley	12643	02/02/1956	Jangas	Pueblo
7	La Libertad	Ley	628	11/11/1907	Cajamarquilla	Villa
8	Olleros	Ley	7859	16/10/1933	Olleros	Pueblo
9	Pampas Grande	Ley	628	11/11/1907	Pampas Grande	Pueblo
10	Pariacoto	Ley	Ley S/N	02/02/1857	Pariacoto	Pueblo
11	Pira	Ley	2547 19	19/11/1917	Pira	Pueblo
12	Taricá	Ley	12643	02/02/ 1956	Taricá	Pueblo

Fuente: “Demarcación Política del Perú - Recopilación de Leyes y Decretos (1821-1967)”, Justino M. Tarazona S. 1968

POBLACIÓN Y MUESTRA

Población

La población está conformada por los principales hornos la zona de Chihuipampa como fabricantes de ladrillos macizos de arcilla cocida, el cual será utilizado para la construcción de sus viviendas de albañilería confinada. Ciudad de Huaraz, distritos de Huaraz e Independencia, Departamento de Ancash.

Muestra

El tipo de muestreo fue no probabilístico, de tipo condicional. La muestra a evaluar y ensayar para la presente investigación serán los ladrillos macizos de arcilla fabricadas en la zona de Chihuipampa. Como principales abastecedores de las respectivas zonas, los cuales serán ensayados a resistencia compresión y primas de albañilería.

CONCEPTUALIZACION Y OPERACIONALIZACION DE VARIABLE.

Variable independiente (x)

Ladrillos de arcilla

Utilizado como material principal en la construcción de muros portantes y no portantes para las edificaciones de albañilería confinada. La calidad y aceptación de estos dependerá de los ensayos que se realice a sus propiedades físicas, tal y como lo señala la normativa técnica peruana de albañilería E 070. Es importante que cumplan con los aspectos mínimos que rigen en la norma para la prevención fallas en los muros estructurales.

Un buen ladrillo de arcilla ofrece los siguientes beneficios:

- Alta resistencia para edificaciones de albañilería confinada.
- Muy maniobrable y moldeable para la construcción.
- Económicamente accesible para cualquier usuario.
- Facilidad para el transporte.
- No es inflamable ni posee alto grado de conducción de energía.

Variable dependiente (Y)

Comportamiento estructural de muros de albañilería confinada, mediante los ensayos clasificatorios, de resistencia axial en pilas, resistencia a compresión diagonal en muretes

y resistencia a carga lateral cíclica de muro de albañilería confinada, se obtendrán valores que permitan predecir el comportamiento y las limitaciones en muros estructurales.

INDICADORES.

Indicadores independientes.

X1 = Ensayos clasificatorios de unidades de albañilería.

X2 = Ensayo a Compresión en Pilas.

X3 = Ensayo a corte diagonal en muretes.

X4 = Ensayo de Carga Lateral Cíclica.

Indicadores dependientes

Y1 = Clasificación de unidades de albañilería.

Y2 = Resistencia a compresión axial en pilas.

Y3 = Resistencia a compresión diagonal en muretes.

Y4 = Resistencia a la Carga Lateral Cíclica.

CONCEPTUACION Y OPERACIONALIZACION DE LAS VARIABLES.

Tabla 20. Definición operacional de las variables.

TIPO DE VARIABLE	NOMBRE DE VARIABLE	INDICADORES	UNIDAD DE MEDIDA
VARIABLE INDEPENDIENTE	LADRILLOS DE ARCILLA	X1 = Ensayos Clasificatorios de las Unidades de Albañilería	Porcentaje (%)
		X2 = Ensayo a Compresión en Pilas	kg/cm ²
		X3 = Ensayo a Compresión Diagonal en muretes.	kg/cm ²
		X4 = Ensayo a Carga Lateral Cíclica.	KN
VARIABLE DEPENDIENTE	COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE UN MURO DE ALBALIÑERIA CONFINADA	Y1 = Clasificación de las Unidades de Albañilería.	Porcentaje (%)
		Y2 = Resistencia a Compresión de Pilas.	kg/cm ²
		Y3 = Resistencia a Compresión Diagonal en Muretes.	kg/cm ²
		Y4 = Resistencia a Carga Lateral Cíclica.	KN

Fuente: Propio.

RECOLECCIÓN DE DATOS

Identificación de los lugares de fabricación de ladrillos de arcilla.

La zona de Chihuipampa es la destinada para obtención de muestras de ladrillos de arcilla cocida fabricados artesanalmente, obtenidos del mismo horno después de la cocción. Se procedió a identificar la ubicación de los hornos con más capacidad de almacenamiento de ladrillos de arcilla.

El lugar en donde se realizará el preparado de los ladrillos de arcilla se da muy cerca a los hornos y también del lugar en donde se extrae el material terroso de arcilla. Este lugar cuenta con los accesos necesarios para el traslado y venta de las unidades de albañilería.

Obtención de muestras de ladrillos de arcilla cocida fabricados en la zona de Chihuipampa.

En este lugar el material que es utilizado para la preparación de ladrillos de arcilla cocida, proviene de la cantera de arcilla ubicado a 250 metros aproximadamente del lugar de fabricación. El material es traslado por las distintas familias que se dedican a esta actividad hasta el lugar donde preparan la mezcla.

Se tomó en consideración para la presente investigación conocer los procesos previos a la cocción de los ladrillos de arcilla. Para ello fue necesario participar en el proceso de fabricación y preparación de las mezclas con el permiso que se me fue concedido por los artesanos de la zona.

Preparado de la mezcla.

El material arcilloso que se utilizara es transportado mediante un camión mediano desde la cantera que se encuentra a 250 m aproximadamente del lugar, hasta donde se realizan los trabajos. Una de las deficiencias que se observó fue que el material es colocado sobre cualquier superficie de terreno, observándose que este se mezcla con diferentes impurezas como la tierra negra, material orgánico, partículas pequeñas de plástico y entre otros pudiendo ser muy perjudicial a las propiedades técnicas del ladrillo.

Para moldear y dar forma a los ladrillos los artesanos poseen un molde de madera con 4 compartimientos de (62.04 cm x 28.03 cm x 9.01) (l x a x h). El producto que obtiene con este molde es los ladrillos de arcilla con dimensiones de (23.5 x 13 x 8.5). Pero estos ladrillos en su mayoría no poseen uniformidad en sus dimensiones al momento de ser labrado.

Una familia o grupo de trabajo que se dedica a la fabricación de ladrillos de arcilla elaboran o moldean en un jornal de trabajo 800 unidades, siempre y cuando no se presenten fuertes precipitaciones.

Secado de ladrillos de arcilla

En este proceso se tendrá mucho cuidado, debido a que un mal proceso de secado y manipulación la estructura y por ende la calidad de estos ladrillos se verían afectados. Se observó deficiencias durante el proceso de secado y reposo.

Según la guía de buenas prácticas para ladrilleras artesanales del Ministerio de la producción. Recomienda que el secado se realiza hasta que el ladrillo crudo pierde aproximadamente un 13% de humedad y queda listo para ser cargado al horno; el período de secado depende del clima y puede variar entre cinco a siete días en promedio. A partir del tercer o cuarto día se van girando las caras expuestas para un secado parejo, raspando en cada giro las partes que estaban en contacto con el suelo a fin de desprender la tierra o polvo que podrían haber capturado. En la etapa final del secado, se van colocando los ladrillos de canto uno encima de otro formando pequeñas torres de un ladrillo por lado y de aproximadamente 1m a 1,20m de alto.

Los artesanos carecen de espacio para dejar que los ladrillos recién moldeados reposen y sequen adecuadamente. Es entonces que las unidades recién moldeadas en estado húmedo son apiladas hasta en filas de 6, haciendo que las unidades de las filas inferiores sufran aplastamiento modificando sus propiedades técnicas, dimensiones, forma y resistencia.

Cocción de ladrillos de arcilla

El proceso final que es la cocción se realizó en un horno abierto hecho de arcilla el cual es encendido a leña. Este proceso de cocción comprende que los ladrillos de arcilla secos sean sometidos a temperaturas altas consecutivamente en hornos hechos de arcilla, para así obtengan propiedades mecánicas y físicas.

Se considera que la cocción posee tres fases: “precalentamiento, cocción y enfriamiento, en la primera fase se elimina paulatinamente el agua impregnada en la arcilla. El agua es removida por aire continuamente renovado y aumenta constantemente la temperatura, el precalentamiento se considera terminado cuando toda la masa alcanza los 100° C.”

En la zona de Chihuipampa los hornos existentes, el que mayor abarca ladrillos de arcilla para la cocción es el horno H-3, produciendo la cantidad de 22500 ladrillos de arcilla cocida

mensualmente. El tiempo de cocción que realiza es el de 5 días promedio, según el dueño del horno H-3 este horno es encendido cada 18–20 días aproximadamente.

MÉTODOS DE MUESTREO Y ENSAYOS DE LADRILLOS DE ARCILLA USADOS EN ALBAÑILERÍA.

Por cada lote compuesto por hasta 50 millares de unidades, se seleccionó al azar una muestra de 10 unidades, sobre las que se efectuarán las pruebas de variación dimensional y de alabeo, 5 de estas unidades se ensayarán a compresión y las otras 5 a absorción.

Se tomó al azar 500 unidades artesanales de King Kong sólido para el traslado a la ciudad Lima a la Universidad Nacional de Ingeniería del Perú, luego se prosiguió con las pruebas de ensayo. Como bien claro lo especifica la norma E 070 para el diseño estructural de edificaciones las unidades de albañilería deben cumplir con determinadas características para el diseño. Las unidades de albañilería poseen características de resistencia y de durabilidad, es posible conocerlas mediante ensayos de laboratorios. Estos ensayos están especificados en la Norma técnica Peruana E 070, NTP 399 613, NTP 399.605, NTP 399.621, NTP 331.017.

La NTP E070 contempla los ensayos de:

- Resistencia a la compresión
- Variación dimensional
- Alabeo
- Absorción

Para poder clasificar a las unidades de albañilería con la siguiente tabla:

Tabla 21. Clase de albañilería para fines Estructurales.

CLASE	VARIACION DE LA DIMENSION (máxima en porcentaje)			ALABEO (máximo en mm)	RESISTENCIA
	Hasta 100 mm	Hasta 150 mm	Más de 150 mm		CARACTERISTICA A COMPRESION f'_b mínimo en MPa (kg/cm^2) sobre área bruta
Ladrillo I	±8	±6	±4	10	4,9(50)
Ladrillo I	±7	±6	±4	8	6,9(70)
Ladrillo I	±5	±4	±3	6	9,3(95)
Ladrillo I	±4	±3	±2	4	12,7(130)
Ladrillo I	±3	±2	±1	2	17,6(180)
Bloque	±4	±3	±2	4	4,9(50)
Bloque	±7	±6	±4	8	2,0(20)

(1) Bloque usado en la fabricación de muros portantes.

(2) Bloque usado en la fabricación de muros no portantes.

Fuente: Reglamento nacional de edificaciones E-070.

Y para poder determinar el análisis estructural, la forma de falla en que los muros puedan comportarse ante eventos sísmicos.

- Pilas
- Muretes

MUESTRAS DE UNIDAD DE ALBAÑILERÍA.

La NTP E070 especifica que para un lote de 50 millares de unidades de albañilería se seleccionaran al azar una muestra de 10 unidades, de las cuales 5 se le realizaran pruebas de variación dimensional y de alabeo. Las otras 5 a compresión y otros 5 a absorción.

MUESTRAS OBTENIDAS EN LA ZONA DE CHIHUIPAMPA.

Para la toma de muestras de unidades de albañilería se eligió el horno con mayor producción en cocción de ladrillos de arcilla, como muestra representativa la zona de Chihuipampa se consideró el horno H-3 tal con una producción de 22500 ladrillos de arcilla promedio cada 2.5 meses.

ENSAYOS CLASIFICATORIOS PARA LADRILLOS DE ARCILLA.

Alabeo

Para la realización de este ensayo se seguirá el procedimiento indicado en la Norma NTP 399.613.

El alabeo presente en las unidades que conforman un muro de albañilería, pueden causar que las juntas horizontales presenten vacíos en el ancho del muro, y esto conllevaría a una menor adherencia entre el mortero y el ladrillo, lo cual disminuirá la resistencia a compresión y a fuerza cortante del muro de albañilería; así mismo el espesor de la junta del mortero también depende de este ensayo, a mayor alabeo del ladrillo conduce a un mayor espesor de la junta.

En este ensayo, se busca comprobar cuan cóncavo o convexo es la unidad. Para ello se colocó una regla metálica en cada una de las caras del ladrillo, de tal forma que ésta vaya de una arista a otra opuesta diagonalmente.

Luego se colocó una cuña graduada en la zona central y en los lados extremos. Cuando fue necesario colocar la cuña en la zona central, fue porque el ladrillo presentaba forma cóncava, mientras que cuando a los extremos se tenía una luz entre la regla y la unidad, la cara de la unidad ensayada tenía forma convexa.

Especímenes: La norma indica que se utilizara 10 unidades seleccionadas para determinar el tamaño por cada lote de 50 millares.

Preparación de los especímenes: Según la norma para ensayar los ladrillos se realizará tal cual se tomaron del horno, a excepción de una pequeña limpieza del polvo.

Procedimiento:

La NTP recomienda considerar 4 casos de distorsión en la superficie.

- Superficies Cóncavas
- Bordes Cóncavos
- Superficies Convexas
- Bordes Convexos

En cualquiera que fuese los casos con una regla recta se colocará diagonalmente en los ladrillos de arcilla y se medirá la mayor deformación existente.

Variación dimensional

Es importante conocer que esta prueba se realiza con el fin de conocer la dispersión de las medidas de las diferentes unidades y así determinar el espesor de juntas en los muros de albañilería. El autor Ángel San Bartolomé (2011) refiere que es importante porque por cada incremento de 3mm en el espesor de las juntas horizontales (adicionales al mínimo

requerido de 10 mm), la resistencia a compresión de la albañilería disminuye en un 15 %; así mismo, disminuye la resistencia al corte.

Este ensayo consiste en tomar milimétricamente las dimensiones en los puntos medios de las aristas que limitan cada cara. Las dimensiones se tomaron como el promedio de 4 medidas.

De este ensayo depende el espesor de la junta: a mayor variación, mayor espesor de junta y mientras mayor sea el espesor de la junta, menor será la resistencia a compresión y la fuerza cortante del muro de la albañilería.

Respecto al ensayo de variación dimensional la NTP 399.613 indica los siguientes procedimientos:

Instrumento

Regla de acero graduada de 30 cm el cual tenga divisiones milimetradas.

Especímenes de ensayo

La norma indica que se utilizara 10 unidades seleccionadas para determinar el tamaño por cada lote de 50 millares. En el presente caso se utilizarán 20 muestras, 10 por el sector de Palian y 10 por la Provincia de Concepción.

Medición del largo, ancho y alto de las unidades de albañilería

Se medirán todas las caras correspondientes desde el punto medio de los bordes que limitan las caras registrando 4 medidas por cada medición con una aproximación de 1 mm, el cual será promediado con una aproximación de 0.5 mm. Con la medición de cada arista del ladrillo obtendremos 4 medidas el cual será promediada por cada medida. Posteriormente se restará a este promedio las medidas exactas de los ladrillos fabricados artesanalmente para obtener un valor de variación en porcentaje.

ENSAYOS NO CLASIFICATORIOS PARA LADRILLOS DE ARCILLA.

Son ensayos que no sirven para clasificar a las unidades de albañilería, pero que si son útiles para definir el procedimiento constructivo de los muros de albañilería.

Humedad Natural:

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

Procedimiento.

Primero se obtiene el peso de las unidades en estado natural, luego su peso en estado seco, colocando las unidades de albañilería en un horno eléctrico durante 24 horas a una temperatura de 110°C.

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

$$\text{Humedad (\%)} = \frac{100x (\text{Peso}_{\text{natural}} - \text{Peso}_{\text{seco}})}{\text{Peso}_{\text{seco}}}$$

Succión:

Los especímenes fueron puestos en el horno a una temperatura de 110°C, y luego de 24 horas, se retiraron para obtener el peso seco (en distintos instantes hasta que no hubiera variaciones).

Procedimiento.

Una vez obtenido estos pesos, se colocaron las unidades una por una en una bandeja con un fluido constante de agua durante un minuto, de tal modo que la cara de asiento esté en contacto con una película de agua de 3mm de espesor, con el fin de ir llenando los vacíos del ladrillo. Una vez transcurrido el minuto, los especímenes son secados y pesados nuevamente con una balanza electrónica que tiene una precisión de 0,5 gr.

La Norma E-070, recomienda que la succión de las unidades antes de asentarlas esté comprendida entre 10 y 20 gr/(200cm²-min), de lo contrario succionaran el agua del mortero.

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

$$S = \frac{200xW}{L x B}$$

Donde:

W: Aumento de peso, en gramos.

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

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

S: Succión normalizada en 200 cm2.

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

El límite máximo de absorción que especifica la Norma Técnica E.070 para la unidad de arcilla es de 22%.

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

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

Procedimiento.

Los ensayos se realizan con las mediciones de los pesos de las unidades en estado seco después de secarlos en el horno eléctrico durante 24 horas a 110°C y luego se dejan enfriar los ladrillos a temperatura ambiente durante 4 horas, luego se introducen en un recipiente con agua destilada a una temperatura entre 15°C y 30°C, se dejan reposar completamente sumergidas durante 24 Horas; después de ese tiempo se retiran del recipiente y se pesan, a esta diferencia de pesos se llama absorción, cuando las unidades se dejan en una recipiente con agua a una temperatura de 15°C y 30°C, luego se calienta progresivamente el agua hasta que llegue al punto de ebullición y finalmente dejar hervir durante 5 horas antes de pesarlo en el estado saturado se le conoce como absorción máxima, ambas se expresan en porcentaje, el coeficiente de saturación es la razón entre dichos porcentajes (NTP 399.604).

Se determina mediante la siguiente expresión:

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

Donde:

- A: Porcentaje de absorción, contenido de agua absorbida (%).
- P_{sat} : Peso de unidad saturada, durante 24 horas en poza de agua.
- P_{seco} : Peso de la unidad secada en horno durante 24 horas a 110°C.

La absorción máxima se determina con la siguiente formula.

$$A_{max} = \frac{100 \times (P_{sat.ebull.} - P_{seco})}{P_{seco}}$$

Donde:

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

$$C_{sat.} = \frac{A}{A_{max}}$$

Donde:

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

$$D = \frac{P_{seco}}{V_{sat}}$$

Donde:

D: Densidad de la unidad.

V_{sat} : Volumen saturado (gr/cm³) es la diferencia de peso saturado en ebullición durante 5 horas y peso sumergido en agua fría o peso aparente, todo esto multiplicado por 1 gr/cm³.

RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE UNIDADES DE ALBAÑILERÍA (f'_b).

Para la determinación de la resistencia a la compresión de las unidades de la albañilería, se efectuará los ensayos de laboratorio correspondientes de acuerdo lo indicado en las Normas NTP 399.613 y 399.604.

Preparación de los especímenes.

Se utilizaron unidades secas y limpias. A éstas se les colocó, tanto en la parte superior como inferior un capping de azufre, para uniformizar las superficies de contacto con el cabezal por donde se transmite la carga y la base donde se apoya el ladrillo.

Procedimiento.

Se aplica carga axial a una velocidad de desplazamiento entre los cabezales de la máquina de ensayo de 1,27 mm/min; o también se controla la velocidad de carga de manera que se llegue a la rotura en 3 o 5 minutos. Finalmente, la resistencia unitaria se expresa como el valor de la carga de rotura dividida entre el área bruta para todo tipo de unidad sólida. Para ello se ha empleado 5 unidades artesanales.

Calculo de la fuerza.

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

$$f_b = \frac{P_{max}}{A_b}$$

$$f'_b = f_b - \sigma$$

Donde:

f_b : Resistencia característica a la compresión de la unidad de la albañilería (kg/cm²).

P_{max} : Carga Máxima de Rotura (kg).

A_b : Área bruta de la unidad de albañilería (cm²).

f'_b : Resistencia característica de las unidades de albañilería (kg/cm²).

σ : Desviación estándar.

ENSAYOS DE COMPRESIÓN EN MORTERO (ASTM C-579).

La norma E 070 especifica que para la preparación del mortero estará constituido por una mezcla de aglomerantes y agregado fino, a los cuales se les tiene que añadir la cantidad necesaria que proporciones una mezcla trabajable, adhesiva y sin segregación del agregado. Se tendrá en cuenta lo establecido en la NTP 399.607.

Procedimiento.

En todos los casos el cemento utilizado fue Portland tipo I y agregado fino. Mientras se construían los prismas y muretes, se fabricaron probetas por cada tipo de mortero. Este ensayo consiste en preparar probetas cúbicas de 5cm de lado las cuales son vaciadas en moldes metálicos y llevadas a un proceso de curado durante 28 días. Luego pasado el tiempo, en la máquina universal se le aplica una fuerza axial, que al dividir la fuerza axial de rotura sobre el área de las probetas se obtiene el esfuerzo o resistencia de compresión. Se obtuvo la arena de una cantera de la zona de Puente Piedra la cual abastece a la zona del cono norte de Lima.

Se utilizaron dos tipos de mortero y con proporción volumétrica cemento-arena 1:3 y 1:5.

Tabla 22. Propiedades Físicas de la Arena usada en el Mortero

P.E.	2.20	
P.U.S.	1402.51	Kg/m ³
P.U.C.	1560.98	Kg/m ³
M.F.	3.09	%
% Hum	1.36	%
% Abs	2.13	%

ENSAYOS PRISMAS DE ALBAÑILERÍA.

La Norma Técnica Peruana E-070 (399.605 y 399.621) exige, elaborar las prismas de albañilería simple para edificios de tres a más pisos en las zonas sísmicas 3 y 2 (Huaraz, zona 3); estos serán verificados con ensayos de 3 pilas por cada 500m² de área techada y 3 muretes cada 500m² de área techada, construidos bajo las mismas condiciones con que

se edificarán los muros reales y no es suficiente controlar las unidades llamados ladrillos para predecir el comportamiento estructural de un muro de albañilería, por esta razón es necesario construir pequeñas pilas y muretes que nos permitan determinar:

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

Pilas

Procedimientos de construcción.

- ❖ Se construyeron 3 pilas conformadas por 5 unidades de ladrillos de tipo King Kong sólido artesanal.
- ❖ Debido a la alta succión de los ladrillos artesanales de arcilla, se regó las unidades media hora un día antes de asentado para evitar la pérdida repentina de agua antes de la fragua y este fenómeno hace efecto a la reducción de adherencia entre el mortero y la unidad.
- ❖ Las pilas 1, 2 y 3 con mortero: cemento:arena: 1:5.
- ❖ La esbeltez debe de estar dentro de un valor nominal igual a 5 y además establecen los coeficientes de corrección para esbelteces menores que 5, la resistencia característica a compresión axial de las pilas (f'_m) depende de la esbeltez, que es la relación que existe entre la altura y el espesor del prisma ($h/b = 5$).
- ❖ En la construcción de las pilas se controló la verticalidad mediante una plomada, para evitar errores por excentricidad en los ensayos de compresión axial, de manera similar se controló el grosor de las juntas verticales y horizontales del mortero entre unidades con un escantillón.
- ❖ Posteriormente se colocó el capping de yeso - cemento (3mm de grosor) en ambos extremos de los especímenes para uniformizar el área de contacto en la zona de aplicación de la carga con los cabezales metálicos del equipo de ensayo, 2 días antes del ensayo, el capping tiene una característica de fragua acelerada y sirve para corregir las irregularidades que presenta las superficies de las pilas de albañilería.

Montaje e Instrumentación

Compresión axial de las pilas a la edad de 28 días, fue trasladado a la zona de ensayo y colocado al dispositivo mecánico, armado con perfiles de acero, donde está suspendido un dispositivo llamado celda de cargas en forma vertical que toma lectura de datos y almacena en el equipo amplificador de instrumentación, este transforma los datos de energía eléctrica en datos de ingeniería.

La velocidad del ensayo fue de 5 ton/min y la presión se ejerció a través de una bomba hidráulica eléctrica de 600 BAR de capacidad, de esta manera la celda de carga envía en voltaje la presión recibida por la pila a una caja de registro, la cual envía la señal a una computadora y por medio del programa LABVIEW se pudo transformar este voltaje en toneladas.

Cálculo de la Resistencia a Compresión Axial.

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

$$f_m = \frac{P_{max}}{A_b}$$

Donde:

- f_m : Resistencia a compresión axial (kg/cm²).
- P_{max} : Carga máxima que resiste la pila (kg).
- A_b : Área bruta transversal a la fuerza (cm²).

Esbeltez

La esbeltez viene hacer la relación existente $e = h/b$ (altura – espesor), el valor de la esbeltez estar parametrado en la normativa, el valor viene a estar dado entre 2 a 5. Viene hacer un aspecto importante para las pilas ya que de este depende el número de hiladas, por consecuente la altura de la pila y la resistencia.

San Bartolomé, Quiun. D y Mendoza H. Realizaron un estudio experimental de corrección por esbeltez en pilas de albañilería en la Universidad Pontificia Católica del

Perú, en el ensayo se utilizaron diferentes tipos de unidades de albañilería; arcilla y concreto. Respecto a los ladrillos de arcilla artesanales se realizaron ensayos en pilas de 2, 3, 4 y 5 hiladas. De los resultados se puede analizar que a menores hiladas la resistencia era mayor, por ende los valores más altos de esbeltez presentan menos resistencia. Concluyendo que es aconsejable realizar las pilas con esbeltez E=5 denominado estándar especificada por la normativa E 070, y que las pilas estén compuestas por no menos de 3 hiladas. La norma E 070 menciona respecto a la esbeltez una tabla con los factores de corrección por esbeltez.

Tabla 23. Factores de corrección.
Factores de Corrección de f'_m por ESBELTEZ

Esbeltez	2.0	2.5	3.0	4.0	4.5	5.0
Factor	0.73	0.80	0.91	0.95	0.98	1.0

Fuente: Reglamento Nacional de Edificaciones E-070.

Resistencia característica a la compresión.

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

$$f'_m = \text{Promedio } (f_m) - \sigma$$

Donde:

σ : Desviación estándar de las resistencias (kg/cm^2)

Muretes.

Este ensayo consiste en construir un murete a escala con los ladrillos de arcilla en estudio, mediante ensayos mecánicos será sometido a una determinada fuerza diagonal y así se podrá medir con mucha precisión la resistencia a la compresión diagonal V'_m (corte), también con

instrumentación especial extra se podrá medir el módulo de corte de la albañilería G'm siendo este último alternativo por que estos se encuentran parametrado.

En la NTP 399.621 ha elegido el tamaño de esta muestra como el menor tamaño que sería razonable representativo de un muro de albañilería a escala natural, así con estos ensayos poder evaluar su comportamiento ante las fuerzas aplicadas y que estos resultados nos puedan ayudar en el diseño.

Normativa

Para los ensayos y diseño de muretes se ha recurrido a la utilización de las siguientes normas:

- Norma Técnica Peruana de Albañilería E 070.
- Normas para muretes de albañilería 399.621.

Cabe mencionar que esta última normativa la proporciona el Instituto Nacional de la Calidad.

Diseño de muretes

El diseño comprende una geometría cuadrada de 660 mm por cada lado, el espesor será el de la albañilería y estará compuesto por 5 hileras de ladrillos de arcilla, el cual estará compuesto 2.5 unidades de albañilería por hilada. En la albañilería con unidades asentadas con mortero, todas las juntas horizontales y verticales quedarán completamente llenas de mortero. El espesor de las juntas de mortero será como mínimo 10 mm y el máximo 15 mm tal y como lo estipula la NTP E 070 (2006).

Para las juntas horizontales se empleará 10 mm de espesor y las juntas verticales 12 mm. La cantidad de muretes es en función a la zona sísmica, número de pisos y área techada según la norma E 070,

Para el departamento de Ancash según la NTP E 030 está clasificado como zona sísmica 3, y el análisis será para edificaciones de 3 a 5 pisos por lo que se requerirá de 3 muretes por lugar de fabricación.

Procedimientos de construcción.

Se construyeron 3 muretes conformadas con ladrillos sólidos artesanales, con la dosificación

del mortero para las juntas y la consistencia misma que se empleará en la construcción del muro real, en el mismo tiempo:

- Dosificación del mortero: cemento-arena: 1:5.

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

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

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

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

De esta manera la celda de carga envía en voltaje la presión recibida por el murete a una caja de registro, la cual envía la señal a una computadora y por medio del programa LABVIEW se pudo transformar este voltaje en toneladas.

Cálculo de la Resistencia al Corte.

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

$$Vm = \frac{Pmax}{Ad}$$

Donde:

- *vm*: Resistencia característica de la albañilería al corte (kg/cm^2).
- *P_{max}*: Máxima carga diagonal a la rotura que resiste el murete (*kg*).
- Ad*: Área diagonal (diagonal de murete x espesor) en cm^2

Resistencia característica al corte.

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

$$v'm = Promedio (vm) - \sigma$$

Donde:

- $v'm$: Resistencia característica de la albañilería al corte (kg/cm^2).
- σ : Desviación estándar.

VIGA DE CIMENTACIÓN.

Procedimiento de la Construcción de la viga de cimentación.

El proceso comenzó con el armado del encofrado de la viga de cimentación hecho a base de maderas de superficie casi lisa, evitando cualquier hueco en la madera o irregularidad que afectara el correcto fraguado de la mezcla vaciada.

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

Una vez listo el encofrado, se procedió a la habilitación del acero de la viga de cimentación. Se habilitó con el diámetro y tipo de acero determinado por el diseño (5/8", 3/8" y 1/2"). Luego se procedió a la colocación de la armadura dentro del encofrado de madera. Se procuró dejar un espacio para el recubrimiento entre las barras más externas y la parte lateral del encofrado de madera.

Al terminar la colocación de la armadura en el encofrado que dará forma a la viga, se posicionó el refuerzo vertical de las columnas, éstos fueron colocados simétricamente respecto del plano medio de la viga de cimentación. Con alambre N°16 se amarró el refuerzo vertical de las columnas con el refuerzo horizontal de la viga de cimentación, a este proceso de amarre del refuerzo se llama atortolamiento.

Para concluir con la construcción de la viga de cimentación, se procedió con el vaciado de concreto. Se usó una dosificación adecuada para alcanzar una resistencia de 210 kg/cm^2 . Cada cierto instante del vaciado se vibraba la mezcla con una aguja de vibración manual, con el objetivo de evitar cangrejeras y la segregación del concreto, lo que más adelante pudiera generar juntas frías dentro de la viga de cimentación. Una vez terminado el vaciado y en la etapa media de la fragua, se hizo unas rayaduras en la parte superficial de la viga en la zona de asentado de las unidades de albañilería.

Elaboración de probetas.

El concreto se preparó en el Laboratorio de Estructuras de la UNI con una mezcladora tipo trompo de 90 litros, con un tiempo de batido de 1.50 minutos.

De cada elemento (vigas de cimentación, columnas y vigas soleras) se fabricaron 4 probetas para ser ensayadas a los 7 y 28 días a compresión axial. Durante el tiempo de espera las probetas estuvieron colocadas en la poza de curado del Laboratorio de Estructuras de la UNI.

Características del concreto de las vigas de cimentación:

- f_c = 210 kg / cm²
- Slump = 4"
- Tamaño Máximo de Agregado = 1/2"

Dosificación en volumen

Cemento	= 1
Arena	= 2
Piedra	= 3
Agua	= 0.8

Refuerzo de acero en la estructura:

- Viga de cimentación: 7Ø5/8", estribos Ø3/8" 1@5, 4@10, Resto @20 cm.

VERIFICACIÓN PREVIA DEL REFUERZO PARA COLUMNAS.

La armadura para el refuerzo de los elementos de confinamiento debe cumplir con los requisitos mínimos establecidos por la norma E-070.

La norma sugiere que:

$$A_{smin} = \frac{0.1 (f'c) A_c}{f_y}$$

Donde:

- $f'c$: Resistencia de concreto.
- A_c : Área de la columna.
- f_y : Fluencia de acero.

MURO DE ALBAÑILERÍA.

Se construyó el muro de albañilería confinada a escala natural, de la medida de 3.02m de largo y 2.72m de altura, con unidades de tipo *King Kong* sólido artesanal de arcilla, asentadas

con mortero de arena fina, juntas de 1,5 cm y con una conexión dentada entre albañilería columnas de confinamiento.

Procedimiento de la Construcción del muro de albañilería.

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

En seguida se colocó un cordel de un extremo al otro para controlar la horizontalidad de la hilada, al avanzar las hiladas el cordel se iba subiendo.

Se realizó la construcción de muro en tres jornadas. Se siguió el consejo de la Norma E.070, la altura máxima es de 1,30m, ya que si se seguía asentando unidades podría ocurrir el riesgo de aplastamiento en el muro por estar aún fresco el mortero. En el primer día de jornada solo se avanzó a asentar hasta la novena hilada, la causa, se pudo observar a una altura 90 cm de avance por la vibración del muro, porque la unidad es de espesor muy delgado de 11,45 cm, por lo tanto, se suspendió la actividad dejando a la junta vertical para continuar hasta 50% llenado de mortero.

COLUMNAS.

Procedimiento de Construcción de las Columnas.

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

La dosificación del concreto ($f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$), con agregado confitillo de 14" a fin de darle mayor trabajabilidad a la mezcla de concreto, con ello evitar la formación de

cangrejas; luego se hizo el vaciado hasta antes de la conexión de la viga solera y finalmente se extrajo muestra de 4 probetas para el ensayo.

Ensayos de Probetas.

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

Características del concreto de columnas:

- $f'c$ = 175 kg / cm²
- Slump = 4"
- Tamaño Máximo de Agregado = 1/2"
- Dosificación en volumen

Cemento	= 1
Arena	= 2.5
Piedra	= 4
Agua	= 0.8

VIGA SOLERA.

Construidas de concreto armado con un $f'c = 175 \text{ kg / cm}^2$; su función, al igual que las columnas, es aumentar la ductilidad de los muros.

Verificación previa del refuerzo.

La armadura para el refuerzo de los elementos de confinamiento cumplió con los requisitos

mínimos establecidos por la norma E-070.

La norma sugiere que:

$$A_{smin} = \frac{0.1(f'c)A_{vs}}{f_y}$$

Donde:

- $f'c$: Resistencia de concreto.
- A_{vs} : Área de la viga solera.
- f_y : Fluencia de acero.

Procedimiento de Construcción de la Viga Solera.

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

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

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

FENÓMENO DE EFLORESCENCIA EN EL MURO DE ALBAÑILERÍA.

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

ENSAYO DE CARGA LATERAL CÍCLICA.

Con la finalidad de conocer el comportamiento que tiene el muro frente a acciones de carga lateral, debe utilizarse un mecano de carga e instrumentación.

Procedimiento del Ensayo.

Para lograr este objetivo se armó un pórtico de acero rodeando al espécimen, de manera que sirva de pórtico de reacción a un actuador vertical que aplica la carga de confinamiento. El muro de reacción servirá como apoyo para el Jack (gato electrohidráulico) lateral que aplicará las cargas de este tipo al muro confinado.

La carga axial de confinamiento fue aplicada con un actuador electrohidráulico, bajo control de carga, usando una carga de 20 tnf y aplicada mediante una viga de acero soportada por la viga superior de repartición del espécimen. Confinado el espécimen por la carga axial, se sometió el muro a la acción de cargas laterales aplicadas cíclicamente a través de dos gatos electrohidráulicos (50 tnf de capacidad c/u) de 250mm de carrera y actuando bajo un rango de cargas de 100 tnf (en total).

Con la finalidad de medir los desplazamientos que originan la carga lateral sobre el espécimen se utilizó un sistema de medición con sensores, transductores de desplazamiento y strain-gauges, ubicados en puntos crítico para su debida observación. Cada ciclo fue ejecutado dos veces, para obtener valores estables en la curva fuerza deformación.

Descripción del ensayo.

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

Con la finalidad de conocer el comportamiento que tiene el muro frente a acciones de carga lateral, debe utilizarse un mecano de carga e instrumentación. Para lograr este objetivo se armó un pórtico de acero rodeando al espécimen, de manera que sirva de pórtico de reacción a un actuador vertical que aplica la carga de confinamiento. El muro de reacción servirá como apoyo para el Jack (gato electrohidráulico) lateral que aplicará las cargas de este tipo al muro confinado.

La carga axial de confinamiento fue aplicada con un actuador electrohidráulico, bajo control de carga, usando una carga de 20 tnf y aplicada mediante una viga de acero soportada por la viga superior de repartición del espécimen. Confinado el espécimen por la carga axial, se sometió el muro a la acción de cargas laterales aplicadas cíclicamente a través de dos gatos electrohidráulicos (50 tnf de capacidad c/u) de 250mm de carrera y actuando bajo un rango de cargas de 100 tnf (en total).

Para realizar este ensayo, fue necesario utilizar los equipos de laboratorio de estructuras antisísmicas del CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES - UNI, entre ellos son:

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

- Sistema de adquisición de datos.

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

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

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

Tabla 24.- Desplazamientos controlados en 8 fases.

Fase	1	2	3	4	5	6	7	8
D (mm)	1	2.5	5	7.5	10	12.5	15	20
Nº ciclos	1	2	3	3	3	3	3	3
Color	Azul	Naranja	Negro	Rosado	Verde	Morado	Rojo	Limón

Fuente: Propio.

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

Montaje e instrumentación.

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

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

Luego, en el eje de la viga solera, se colocó el actuador dinámico de 500 *kN*, para proporcionar la fuerza horizontal.

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

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

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

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

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

RESULTADOS

RESULTADOS DE ENSAYOS CLASIFICATORIOS.

VARIACION DIMENSIONAL. - En la tabla 2 podemos observar una mayor variación dimensional debido a las imperfecciones geométricas del ladrillo, esto implica tener mayor espesor de las juntas de mortero, lo cual genera una reducción significativa de la resistencia característica a compresión axial de la albañilería y al corte. Se puede observar que la variación en la altura es de 9.72% mayor que el 1% entonces no califica.

Tabla 25: Variación Dimensional de Ladrillo Artesanal.

Ensayo: VARIACION DIMENSIONAL				Instrumento: Pie de Rey, Bloque de Guía de Madera										
Precisión 1 mm														
Dimensiones Nominales				L=220 mm					A=120 mm					H=90 mm
Espécimen	Largo			Ancho (mm)					Altura (mm)					
N°	L1	L2	L4	Lp	A1	A2	A3	A4	Ap	H1	H2	H3	H4	Hp
C-01	212	213	212	212,5	115	115	116	115	115,25	81	81	80	80	80,5
C-02	213	214	213	213,5	114	114	115	114	114,25	81	81	82	81	81,25
C-03	210	211	210	210,25	117	117	117	118	117,25	82	81	82	82	81,75
C-04	211	212	210	211	112	115	113	114	113,5	63	84	83	83	83,25
C-05	213	213	213	213,25	114	114	113	115	114	81	80	81	80	80,5
Medida del Fabricante	L			220	A				120	H				90
Desviación Estándar	σ			1,27	σ				1,33	σ				1,04
Medida Promedio	Lp			212,1	Ap				114,85	Hp				81,25
Variación Dimensional	%			3,59	%				4,29	%				9,72

Fuente: Propio.

ALABEO. - El resultado promedio se expresa en milímetros. La unidad llega a clasificarse en clase IV de acuerdo a la prueba.

Tabla 26: Alabeo de la Unidad de Albañilería.

Especimen N°	Cara A		Cara B		Alabeo	
	Cóncavo	Convexo	Cóncavo	Convexo	C1	C2
C-01	3	2	2	2	2	4
C-02	2	1	1	3	2	2
C-03	0	0	1	1	2	3
C-04	2	1	1	2	1	3
C-05	0.5	1	1	1	4	3
Promedio:			Cóncavo:	1.35		
			Convexo:	1.4		

Fuente: Propio

ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESION DE LAS UNIDADES DE ALBALIÑERIA. - Los resultados de los ensayos de las unidades artesanales, según la Norma E-070, se clasifica en clase II, con una resistencia característica a compresión de 83,33 kg/cm².

Tabla 27: Compresión Simple de Ladrillo Artesanal.

Espécimen N°	Largo (mm)			Espesor (mm)		Peso seco gr	Carga máxima		Área bruta (cm ²)	Resistencia (kg/cm ²)
	L1	L2	A2	E1	E2		KN	Kg		
M-01	210	213	112	83	81	2970.3	204.5	20852.87	238.11	87.58
M-02	208	209	112	84	81	2873.3	215.75	22000.03	231.44	95.06
M-03	207	211	115	80	80	2790.3	194.9	19873.95	236.17	84.15
M-04	207	208	114	80	79	2832.25	189.1	19282.53	234.48	82.24
M-05	211	214	112	82	82	2900.5	229	23351.13	240.13	97.24
									fb=	89.25
									σ=	5.92
									f'b=	83.33

Fuente: Laboratorio de Estructuras de la UNI – CISMID.

RESULTADOS DE ENSAYOS NO CLASIFICATORIOS.

HUMEDAD NATURAL. - Por lo tanto, los resultados de los ensayos muestran una humedad natural de 0.09%.

Tabla 28: Calculo de la Humedad Natural.

Unidad	Peso (gr)		Humedad Natural
	Natural	Seco	%
C-01	2730.8	2728.3	0.1
C-02	2686.3	2684.12	0.08
C-03	2709.5	2706.5	0.11
C-04	2610.2	2608.5	0.07
C-05	2605.3	2603.1	0.08
PROMEDIO			0.09

Fuente: Propio.

SUCCION. - La Norma E-070, recomienda que la succión de las unidades antes de asentarlas esté comprendida entre 10 y 20 gr/(200cm²-min), de lo contrario succionarán el agua del mortero.

Según INTINTEC 331.019, la Succión excedió a 80 gr por 200 cm²-min para ladrillos artesanales es requisito indispensable que los ladrillos se saturen antes de su uso.

Tabla 29: Calculo del Ensayo de Succión.

Especímen N°	Largo (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Peso gr		Succión (gr)	Peso bruto (cm ²)	S (gr)
				Inicial peso	Final + agua			
C-01	212	114	83	2935.45	3100.4	164.95	241.68	136.50
C-02	211	114	82	2915.1	3083.1	168	240.54	139.69
C-03	213	114	81	2941.25	3110.9	169.65	242.82	139.73
C-04	214	113	81	2951.6	3108.8	157.2	241.82	130.01
C-05	214	115	81	2949.75	3073.8	124.05	246.1	100.81
							Promedio	129.35

Fuente: Propio.

ABSORCIÓN, ABSORCIÓN MÁXIMA, COEFICIENTE DE SATURACIÓN Y DENSIDAD DE LAS UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. - La Norma NTE E-070, la absorción de las unidades de arcilla ensayadas debe estar debajo de 22% y se alcanzó 21.12% está dentro del límite admisible.

Según la Norma NTE E-070, las unidades deben tener coeficientes de saturación menor que 0.85 en el caso de las unidades ensayadas nos muestra resultados de coeficiente de saturación de 0.96, quiere decir que son demasiados absorbentes (muy porosas) y son poco durables, de baja densidad, por lo tanto, las unidades son de baja calidad, esto implica tenga baja Resistencia y Durabilidad.

Tabla 30: Cálculo de ensayo de absorción, absorción máxima y densidad.

Unidad N°	Peso (gr)					Absorción (%)	Absorción Máxima (%)	Coeficiente de Saturación	Densidad (gr/cm ³)	
	Natural	Seco	Sumergido Fría	Saturado (24 h)	Saturado (5h.Ebull.)					
A-01	2734.1	2731.5	1308.14	3304.1	3380.1	20.96	23.75	0.88	1.32	
A-02	2850.25	2848.1	1612.3	3454.1	3462.2	21.28	21.56	0.99	1.54	
A-03	2974.5	2971.1	1695.2	3585.4	3669.1	20.68	23.49	0.88	1.51	
A-04	2831.01	2829.01	1572.12	3431.2	3534.8	21.29	24.95	0.85	1.44	
A-05	2957.2	2936.9	1645.25	3565.2	3588.5	21.39	22.19	0.96	1.51	
						PROMEDIO	21.12	23.19	0.91	1.46

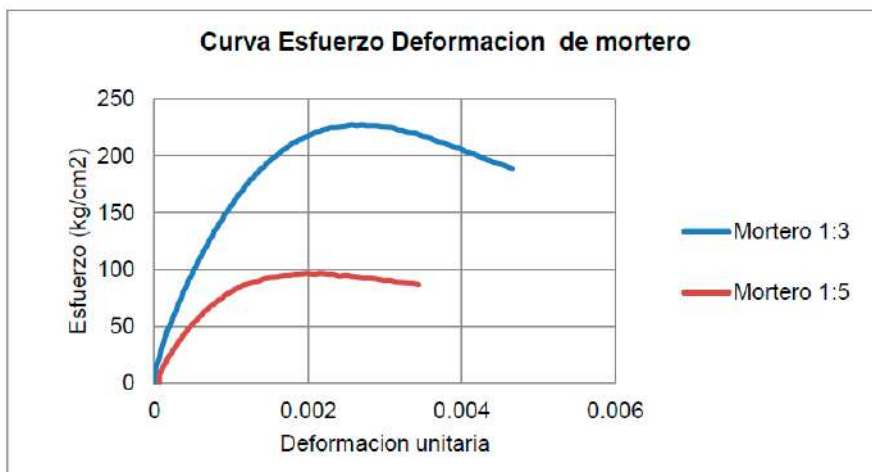
Fuente: Propio.

MORTERO. - Se obtuvo la arena de una cantera de la zona de Puente Piedra la cual abastece a la zona del cono norte de Lima.

Se utilizaron dos tipos de mortero y con proporción volumétrica cemento-arena 1:3 y 1:5.

Tabla 31. Propiedades Físicas de la Arena usada en el Mortero

P.E.	2.20	
P.U.S.	1402.51	Kg/m ³
P.U.C.	1560.98	Kg/m ³
M.F.	3.09	%
% Hum	1.36	%
% Abs	2.13	%



Gráfica 1.- Curvas esfuerzo deformación de morteros

Tabla 32. Resultados de ensayos de compresión de morteros.

N° de Probeta	Lado A (mm)	Lado B (mm)	Largo (mm)	Área (mm ²)	Carga Corregida (kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Esfuerzo (Mpa)
M1-1(1:5)	51	51	50	2601	1104	42.4	4.2
M1-1(1:5)	51	51	50	2601	1047	40.2	4
M1-1(1:5)	51	51	50	2601	1102	42.4	4.2
M2-1(1:3)	50	50	51	2500	1631	65.2	6.4
M2-1(1:3)	50	50	51	2500	1565	62.6	6.1
M2-1(1:3)	50	50	51	2500	1555	62.2	6.1
PROMEDIO							5.17

Fuente: Laboratorio de Estructuras de la UNI- CISMID.

PILAS.

RESULTADOS DE LA FORMA DE FALLA DE LAS PILAS.

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

CÁLCULO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN AXIAL.

$$P_{\max} = 10129,62 \text{ kg}$$

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

$$f_m = P_{\max} / A_b = 41.37 \text{ kg/cm}^2$$

Tabla 33. Resistencia a la compresión de pilas.

PILA N°	Altura (cm)	Ancho (cm)	Espesor (cm)	Esbeltez (h/b)	Pmax (KN)
1	47.46	21.07	11.6	4.09	99.27
2	47.96	21.94	11.23	4.27	96.98
3	47.98	21.06	11.56	4.15	130.47

Fuente: Laboratorio de Estructuras de la UNI- CISMID.

CORRECCION DE LA RESISTENCIA A COMPRESION DE PILAS POR ESBELTEZ. - Luego de hacer la corrección de f_m por esbeltez aplicando la interpolación con la tabla 10 de la norma NTE E-070, se calcula la resistencia característica a compresión axial de la albañilería (f^*m), restando al valor promedio una desviación estándar, con la siguiente ecuación:

$$f^*m = \text{Promedio } (f_m) - \sigma$$

Tabla 34.- Factores de corrección .
Factores de Corrección de f^*m por ESBELTEZ

Esbeltez	2.0	2.5	3.0	4.0	4.5	5.0
Factor	0.73	0.80	0.91	0.95	0.98	1.0

Fuente: Reglamento Nacional de Edificaciones E-070.

RESISTENCIA CARACTERISTICA DE LA ALBALIÑERIA.

Tabla 35. Resistencia final f^*m corregida por esbeltez.

P_{max} (KN)	P_{max} (kg)	Área (cm ²)	f_m (kg/cm ²)	Factor de corrección	f^*m corregido
99.27	10122.56	244.41	41.42	0.955	39.55
96.98	9889.05	246.39	40.14	0.966	38.77
130.47	13304.03	243.45	54.65	0.959	52.41
Promedio de las resistencias corregidas				promedio	43.58
Desviación de las resistencias corregidas				σ	7.66
Resistencia característica de la albañilería				f^*m	35.92
Coeficiente de variación				V(%)	18

Fuente: propio.

RESULTADOS DE LA FORMA DE FALLA DE LOS MURETES.

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

CÁLCULO DE LA RESISTENCIA AL CORTE.

$$P_{max} = 7374,60 \text{ kg}$$

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

$$v_m = P_{max}/A_d = 7,06 \text{ kg/cm}^2$$

Tabla 36. Característica de los muretes.

Murete	Largo (cm)	Ancho(cm)	Espesor (cm)	Diagonal(cm)	P _{max} (KN)
M-1	66.2	66	11.4	92.02	72.3
M-2	65.9	66.03	11.35	92.04	80.7
M-3	66	66.65	11.45	92.05	56.56

Fuente: Laboratorio de Estructuras de la UNI- CISMID.

RESISTENCIA CARACTERÍSTICA DE LA ALBAÑILERÍA AL CORTE.

$$v'm = \text{Promedio } (v_m) - \sigma$$

Tabla 37. Cálculo de resistencia característica al corte de la albañilería.

Murete	P_{max} (KN)	P_{max} (ton)	P_{max} (kg)	Área (cm ²)	vm (kg/cm ²)
M-1	72.3	7.37	7374.6	1049.03	7.03
M-2	80.7	8.23	8231.4	1044.65	7.88
M-3	56.56	5.77	5769.12	1053.97	5.47
Promedio de las resistencias al corte				Prom (Vm)	6.79
Desviación estándar de las resistencias al corte				Desv (σ)	1.22
Resistencia característica al corte				v'm	5.57
Dispersión porcentual de los resultados				%	18

Fuente: propio.

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

REFUERZO DE ACERO EN LA ESTRUCTURA:

- Viga de cimentación: 7Ø5/8", estribos Ø3/8"1@5, 4@10, Resto @20 cm.
- Columnas de confinamiento: 4Ø1/2", estribos Ø1/4"1@5, 4@10, 3@20, R@21 cm.
- Viga solera: 4Ø12", estribos Ø1/4"1@5, 4@10, 3@20, R@21 cm.

Albañilería/Columnas: conexión dentada.

Los estribos en las columnas vigas tuvieron ganchos 135° de diámetro 1/4" con la finalidad de evitar la formación de cangrejas por la congestión de refuerzo.

RESISTENCIA NOMINAL DEL CONCRETO:

- Viga de cimentación: 210 kg/cm².
- Columnas: 175 kg/cm².
- Viga solera: 175 kg/cm².

MORTERO:

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

VERIFICACIÓN PREVIA DEL REFUERZO.

La armadura para el refuerzo de los elementos de confinamiento cumplió con los requisitos

mínimos establecidos por la norma E-070:

Para columnas:

$$A_{smin} = 0,1(f'c)Ac/fy = 1,19 \text{ cm}^2$$

Donde:

- $f'c$: Resistencia de concreto ($f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$).
- Ac : Área de la columna = $25 \times 11,45 = 286,25 \text{ cm}^2$
- fy : Fluencia de acero = 4200 kg/cm^2 .
- Aceros longitudinales de las columnas es de $4\text{Ø}1/2'' = 5,16 \text{ cm}^2$.

Para Viga solera:

$$A_{smin} = 0,1(f'c)A_{vs}/fy = 0,95 \text{ cm}^2$$

Donde:

- $f'c$: Resistencia de concreto ($f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$).
- A_{vs} : Área de la viga solera = $20 \times 11,45 = 229,00 \text{ cm}^2$
- fy : Fluencia de acero = 4200 kg/cm^2 .
- Aceros longitudinales de las columnas es de $4\text{Ø}1/2'' = 5,16 \text{ cm}^2$.

DISEÑO DE REFUERZO PARA ELEMENTOS DE CONFINAMIENTOS:

Según la norma E-070, para una resistencia característica al corte puro de la albañilería, obtenido de ensayos de muretes a compresión diagonal $v'm = 5,57 \text{ kg/cm}^2$, el diseño a la rotura es:

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

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

$$V_m = 9630.25 \text{ kg} = 9.63 \text{ ton} - f$$

Donde:

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

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

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

P_g : Carga axial = 0.

α : factor de reducción de resistencia al corte por efectos de esbeltez, calculado como:

$$\text{Factor de esbeltez} = V_e \times L/M_e = V \times L/V \times h = L/h = 3,02/2,62 = 1,15 \approx 1,0$$

Entonces por la condición de la norma:

$$1/3 < \alpha \leq 1 \text{ por lo tanto } \alpha = 1, h = 262 \text{ cm.}$$

DETERMINACIÓN DE LAS FUERZAS INTERNAS EN LOS CONFINAMIENTOS DEL PISO AGRIETADO.

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

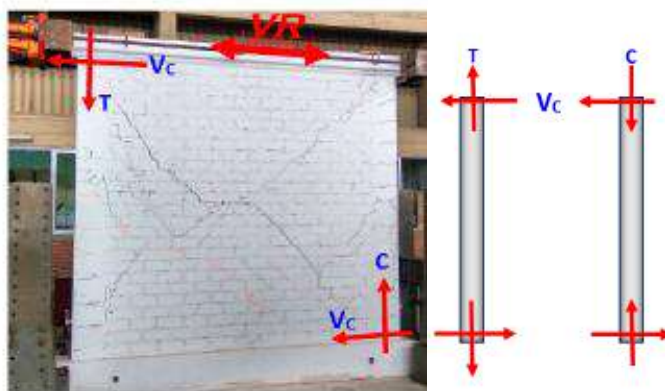


Figura 9. Equilibrio de fuerzas internas en muro agrietado.

Fuente: Propio.

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

Tabla 38.- Fuerzas Internas en Columnas de Confinamiento.

FUERZAS INTERNAS EN COLUMNAS DE CONFINAMIENTO			
COLUMNA	V_c (Fuerza Cortante)	T (Tracción)	C (Compresión)
Interior	$\frac{Vm1 \cdot Lm}{L(Nc + 1)}$	$Vm1 \frac{h}{L} - Pc$	$Pc \frac{Vm1 \cdot h}{2L}$
Extrema	$1.5 \frac{Vm1 \cdot Lm}{L(Nc + 1)}$	$F - Pc$	$Pc + F$

Fuente: Reglamento Nacional de Edificaciones E-070

Donde:

$M = M_{u1} - 1/2 V_{m1} \cdot h$ (“h” es la altura del primer piso).

$F = M L$ = fuerza axial en las columnas extremas producidas por “M”.

Nc = número de columnas de confinamiento (en muros de un paño = $2 Nc$)

Lm = longitud del paño mayor o $0,5 L$, lo que sea mayor (en muros de un paño $Lm = L$)

Pc = es la sumatoria de las cargas gravitacionales siguientes:

carga vertical directa sobre la columna de confinamiento; mitad de la carga axial sobre el paño de muro a cada lado de la columna; y, carga proveniente de los muros transversales de acuerdo a su longitud tributaria indicada.

DISEÑO DE LAS COLUMNAS Y LA SOLERA DEL MURO.

Una vez determinadas las fuerzas internas en las columnas del muro, sus extremos superiores se diseñan a tracción (T) combinada con corte - fricción (Vc), mientras que su base se diseña para resistir el aplastamiento producido por la compresión (C), los cálculos se presentan con las siguientes ecuaciones:

Diseño por corte - fricción (Vc):

$$Lm = L = 3,02m \quad Nc = 2 \text{ columnas}$$

$$Vc = 1,5 \cdot Vm \cdot Lm / L(Nc+1) = 4,85 \text{ ton} - f$$

Donde:

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

Nc : Número de columnas.

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

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

Diseño por compresión (C):

Por equilibrio de fuerzas verticales se puede calcular la compresión como:

$$P_g = \text{Carga axial} = 0$$

Donde:

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

LA SECCIÓN TRANSVERSAL (ACF) DE LAS COLUMNAS DE CONFINAMIENTO:

$\emptyset = 0,85$ factor de reducción.

$t = 11,45$ cm espesor efectivo del muro.

$A_{cf} = V_c / 0,2 \cdot f'_c \cdot \emptyset \geq A_c \geq 15 \cdot t$ (cm²) condición.

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

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

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

DETERMINACIÓN DE REFUERZO VERTICAL:

$\mu = 0,80$ coeficiente de fricción.

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

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

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

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

DISEÑO DE LA VIGA SOLERA:

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

$$A_{s_{\min}} = 0,1(f'_c)A_{vs}/f_y$$

$\emptyset = 0,95 \text{ cm}^2$ Se necesita mínimo.

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

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

VIGA DE CIMENTACION. - Se fabricaron 4 probetas para ser ensayadas a los 7 y 28 días a compresión axial. Durante el tiempo de espera las probetas estuvieron colocadas en la poza de curado del Laboratorio de Estructuras de la UNI.

Para luego determinar la resistencia del concreto, superando al diseño nominal ($f^c = 210 \text{ kg/cm}^2$) que se muestra en la Tabla.

Tabla 39. Resistencia del concreto de viga de cimentación.

Probeta	Fecha de vaciado	Edad (días)	Peso (kg)	Tipo de falla	Diámetro (cm)		Carga máxima		Área (cm ²)	Esfuerzo (kg/cm ²)
					D1	D2	(KN)	(kg)		
VC 1 (M1)	15/08/2018	7	13,870	2	15,52	15,51	360	36709.2	182.79	200.83
VC 3 (M2)	15/08/2018	7	13,575	2	15,23	15,27	420	42827.4	183.04	233.98
VC 2 (M1)	15/08/2018	28	14,225	3	15,75	15,60	568	57918.96	185.06	312.97
VC 4(M2)	15/08/2018	28	13,172	2	15,14	15,17	452	46090.44	182.51	252.54
									Promedio	250.08

Fuente: Laboratorio de Estructuras de la UNI- CISMID.

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

La dosificación del concreto ($f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$), con agregado confitillo de 14" a fin de darle mayor trabajabilidad a la mezcla de concreto, con ello evitar la formación de cangrejeras; luego se hizo el vaciado hasta antes de la conexión de la viga solera y finalmente se extrajo muestra de 4 probetas para el ensayo.

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

Tabla 40. Resistencia del concreto de columnas.

Probeta	Fecha de vaciado	Edad (días)	Peso (kg)	Tipo de falla	Diámetro (cm)		Carga máxima		Área (cm ²)	Esfuerzo (kg/cm ²)
					D1	D2	(KN)	(kg)		
C1 (M1)	18/09/2018	7	14,230	2	15,70	15,72	350	35689.5	183.27	194.74
C3 (M2)	18/09/2018	7	13,350	2	15,29	15,36	320	32630.4	182.89	178.42
C2 (M1)	18/09/2018	28	13,350	2	15,60	15,60	480	48945.6	183.79	266.31
C4 (M2)	18/09/2018	28	13,450	2	15,55	15,34	481	49047.57	181.94	269.58
									Promedio	227.26

Fuente: Laboratorio de Estructuras de la UNI- CISMID.

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

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

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

Tabla 41. Resistencia del concreto de viga solera.

Probeta	Fecha de vaciado	Edad (días)	Peso (kg)	Tipo de falla	Diámetro (cm)		Carga máxima		Área (cm ²)	Esfuerzo (kg/cm ²)
					D1	D2	(KN)	(kg)		
VS1 (M1)	12/10/2018	7	13,035	2	15,22	15,23	369.1	37637.13	183.24	205.40
VS3 (M2)	12/10/2018	7	13,549	2	15,32	15,33	351.5	35842.46	183.24	195.60
VS2 (M1)	12/10/2018	28	13,361	2	15,26	15,32	507.4	51739.58	183.75	281.58
VS4 (M2)	12/10/2018	28	13,972	2	15,76	15,72	501.6	51148.15	181.59	281.67
									Promedio	241.06

Fuente: Laboratorio de Estructuras de la UNI- CISMID.

MURO DE AL BALIÑERÍA CONFINADA A ESCALA NATURAL.

Rigidez lateral.

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

La rigidez lateral está expresada en ton/m , y está dada por la siguiente relación:

$$K = E_m / (h^3/3I_n) + (fh (E_m/G_m) / A)$$

Donde:

K = Rigidez lateral (ton/m).

E_m = Módulo de elasticidad de la albañilería (kg/cm^2)

h = Altura del muro, desde la base hasta el eje de carga (cm)

I_n = Inercia de la sección transformada no agrietada (cm^4)

f = Factor de forma.

G_m = Módulo de corte de la albañilería (kg/cm^2)

A = Área de la sección transversal del muro (cm^2)

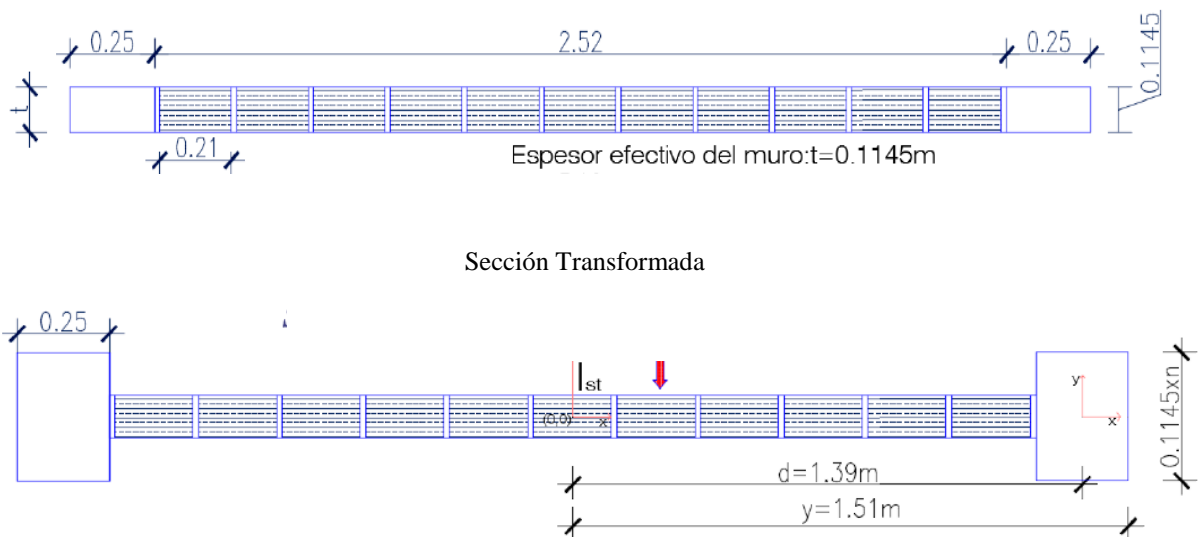


Figura 10. Sección Real y Sección Transformada
Sección Real

Fuente: Propio.

Determinamos el valor de “n” es igual al cociente de módulo de elasticidad del concreto de las columnas de confinamiento entre el módulo de elasticidad de la albañilería, de acuerdo a la Norma E-070, el módulo de elasticidad del concreto de las columnas después del ensayo. Para una resistencia promedio a compresión:

$$f'_c = 241.06 \text{ kg/cm}^2.$$

$$E_c = 1500 \sqrt{f'_c}$$

$$E_m = 500 f'_m \text{ (para unidades de arcilla)}$$

Tabla 42.- Cálculo de sección transformada.

Tipo de Mortero:	f'_c	f'_m	E_c	E_m	t	$n = (E_c/E_m).t$
	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	m	m
Cemento : Arena	227.26	35,92	226127.18	17960	0.1145	1.44

Fuente: Propio.

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

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

$$I_{st} = ((11.45(252^3) / 12) + 2((152(25^3)/12) + (152 (25)139^2))) \text{ cm}^4 = 162504970.1 \text{ cm}^4$$

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

$$A_{st} = 2 (25) 152 + 11,45 (252) \text{ cm}^2 = 10485.4 \text{ cm}^2$$

$$A_{al} = 302 (11,45) \text{ cm}^2 = 3457.9 \text{ cm}^2$$

$$f = A_{st} / A_{al} = 3.03$$

La rigidez lateral teórico del muro (K) es:

$$K = 79419.21 \text{ kg/cm} = 8.75 \text{ Tn/mm} = 85.85 \text{ Kn/mm}$$

Fisuración de tracción por flexión.

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

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

$$\sigma_t = M.y / I_{st} = f'c/n = 2\sqrt{f'c}$$

Donde:

σ_t : Esfuerzo de tracción máximo.

M : F (carga asociada a la primera fisura) $\times h$.

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

$f'c$: Resistencia del concreto de los elementos de confinamiento $f'c = 241.06 \text{ kg/cm}^2$

$n = E_c/E_m = 12.97$

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

Despejando F tenemos:

$$F = \frac{2\sqrt{f'c} \cdot I_{st}}{y \cdot h \cdot n}$$

Tabla 43. Fuerza asociada a la primera fisura de tracción por flexión.

Muro	$f'c$ kg/cm ²	I_{st} cm ⁴	y cm	h cm	$n=E_c/E_m$ m	F KN	σ_t Tn/m ²
M1	227.26	162504970	151	262	12.59	96.40	24

Fuente: Propio.

Agrietamiento diagonal teórico.

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

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

Donde:

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

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

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

P_g : Carga axial = 0.

α : Factor de esbeltez = $\frac{V_{xL}}{M} = \frac{V_{xL}}{h} = \frac{L}{h} = 1.15$ por condición se asume : $\alpha \approx 1$

h= 262 cm.

Tabla 44.- Cálculo de carga de agrietamiento diagonal.

Muro	V'm kg/cm ²	α L/h	L cm	t cm	Vm Tn	Vm KN
M1	5.57	1	302	11.45	9.63	94.44

Fuente: Propio.

Momento flector nominal máximo.

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

$$M_n = A_s \cdot f_y \cdot D$$

Donde:

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

A_s = Área del refuerzo vertical en el extremo del muro

$$A_s = (4\emptyset 1/2") = 4 \times 1.27 = 5.08 \text{ cm}^2$$

$$L = 3.02\text{m} \qquad D = 0.8L = 2.42\text{m}$$

$$f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2 \qquad h = 2.62\text{m}$$

$$M_n = 51.63 \text{ ton .m}$$

La Fuerza Cortante asociada a la fractura es:

$$V_f = \frac{M_n}{h} = 193.25 \text{ KN}$$

Tipo de falla esperada.

Se define teóricamente el tipo de falla, comparando las resistencias, cuando V_m es menor que V_f , entonces el muro falla por corte con una grieta diagonal y cuando V_m es mayor que V_f , el muro falla por flexión.

Comparando los resultados, tenemos:

Tabla 45: Cuadro comparativo.

MURO	V_m (KN)	V_f (KN)	$V_m < V_f$	Tipo de Falla
M1	94.44	193.25	OK	Por corte

Fuente: Propio.

RESULTADOS DEL COMPORTAMIENTO SISMICO DEL MURO DURANTE EL ENSAYO.

Etapas de desplazamiento. - El comportamiento del muro de albañilería, con unidades artesanales, en cada ciclo presenta 2 etapas como se muestra en la siguiente figura.

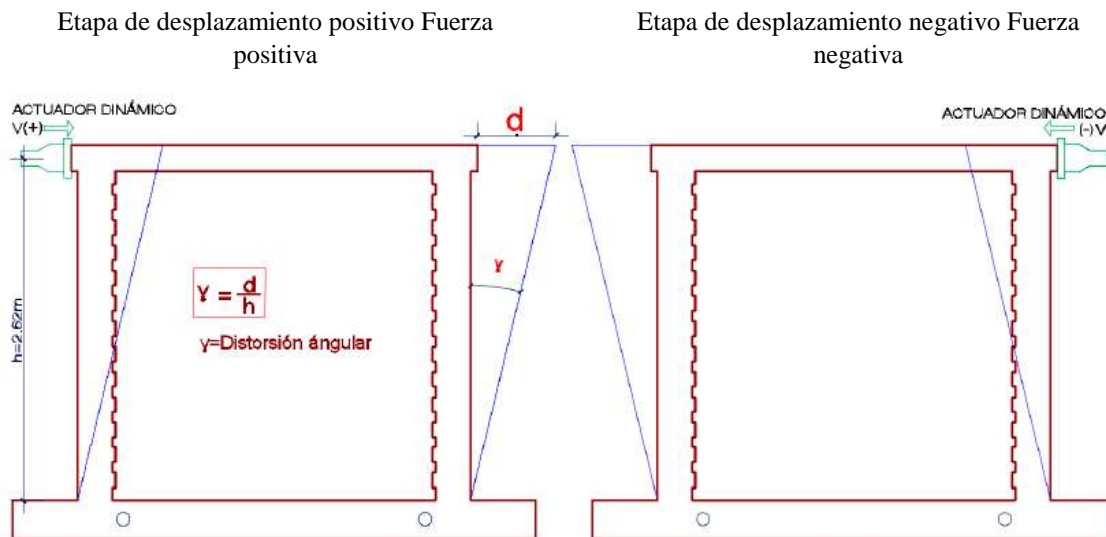


Figura 11.- Etapas de ensayo cíclico del muro

Fuente: Propio.

Función de los sensores (LVDT):

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

Comportamiento Físico y Mecánico Estructural del Muro. - Durante el ensayo con desplazamientos controlados entre fases y ciclos el comportamiento tiene los siguientes detalles:

Fase 1: D = 1 mm - 1 ciclo.

Línea de **fisura color azul**. El actuador dinámico imprime un desplazamiento controlado con una velocidad de muestreo 2 ms, el muro presenta un comportamiento elástico, aparición de las pequeñas fisuras de 0,002 pulgadas es equivalente a 0,05mm horizontales en el talón derecho de la columna de confinamiento, posteriormente terminará triturándose los talones.

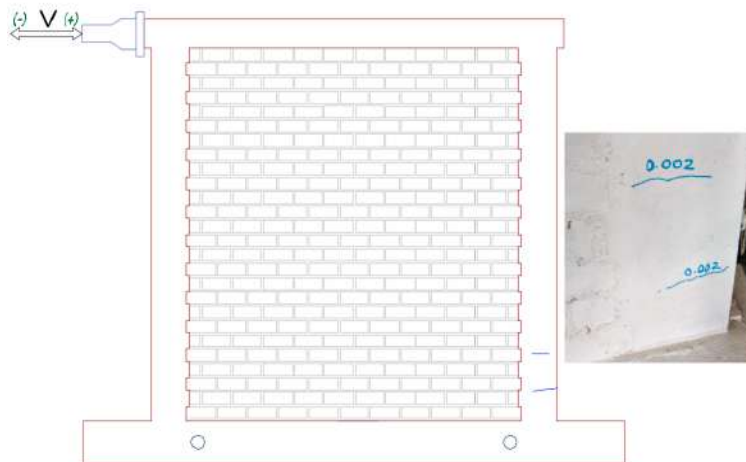


Figura 12.- Fase 1, fisuras en el talón derecho.

Fuente: Propio.

Fase 2: D = 2.5 mm - 2 ciclos.

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

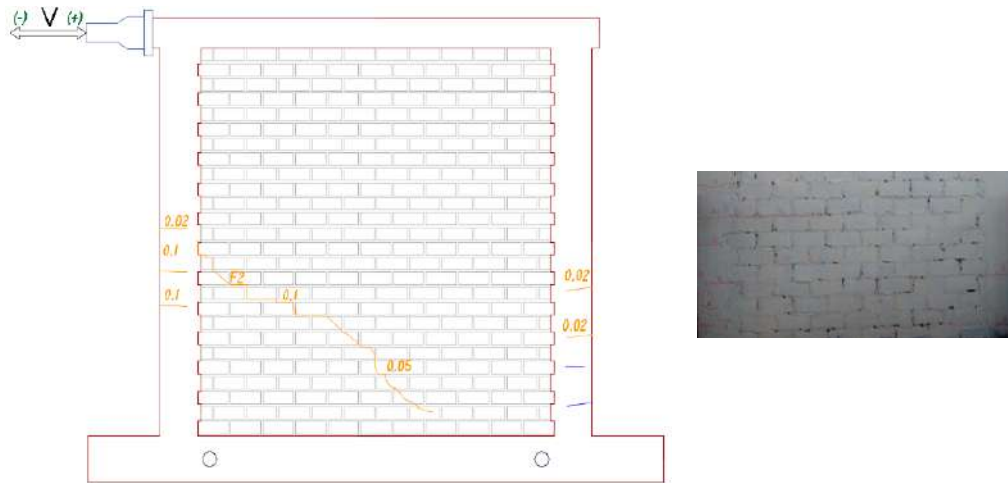


Figura 13.- Fase 2, fisuras en ambos talones y escalonado.

Fuente: Propio.

Fase 3: D = 5 mm - 3 ciclos.

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

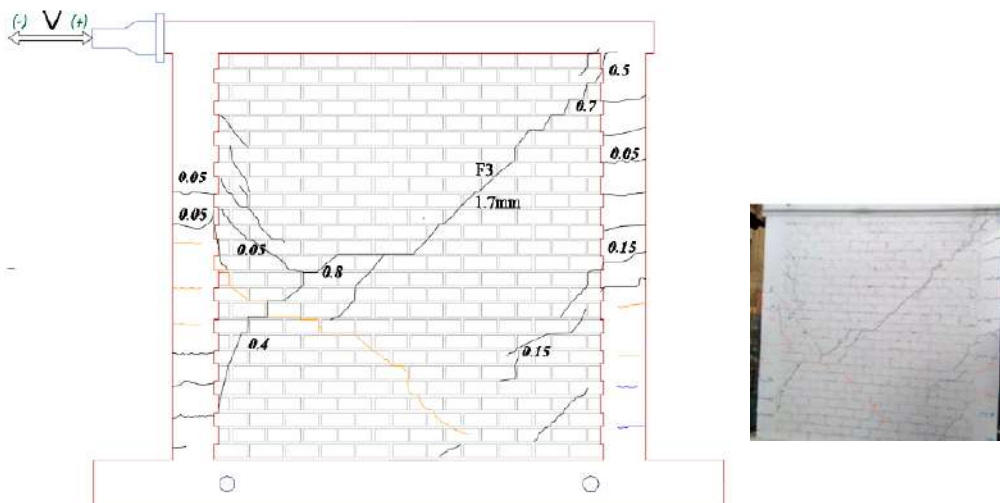


Figura 14.- Muro agrietado diagonalmente derecha en la fase 3.

Fuente: Propio.

Fase 4: D = 7.5 mm - 3 ciclos.

Línea de **fisura color rosado**. Las fisuras se presentan en el extremo superior de la columna izquierda de 0,05mm y al mismo tiempo aparece en el talón de la columna derecha diagonalmente de 0,5mm sin llegar a la mitad, fisuras de fase anterior forman repeticiones reabriéndose las mismas fisuras hasta alcanzar de 0,8mm.

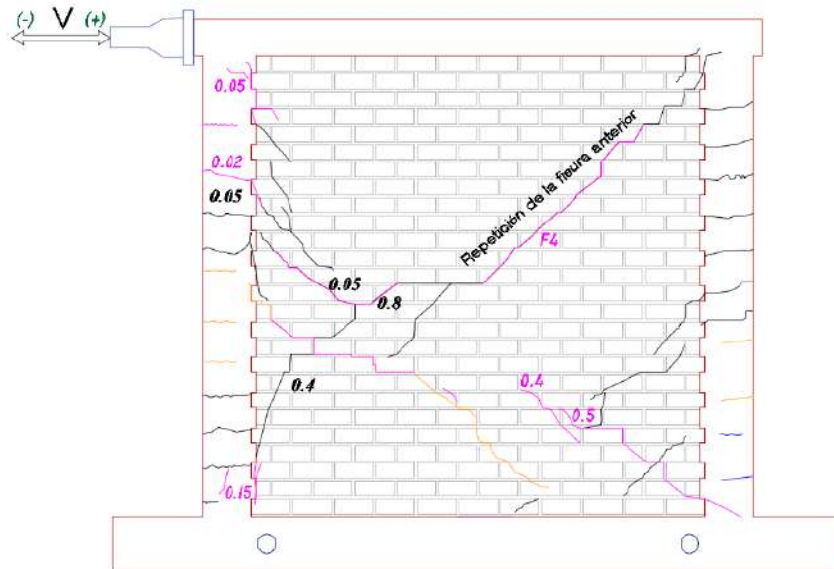


Figura 15.- Plano del muro agrietado diagonalmente en la fase 4.

Fuente: Propio.

Fase 5: D = 10 mm - 3 ciclos.

Línea de **fisura color verde**. Las fisuras iniciaron por la unión de la viga solera y columna en la parte superior izquierda con la dirección diagonal del muro haciendo cortes de unidades y escalonadamente hasta alcanzar la fractura agrietado diagonalmente de 5mm, resto de las fisuras anteriores formando repeticiones hasta llegar grietas de 10mm.

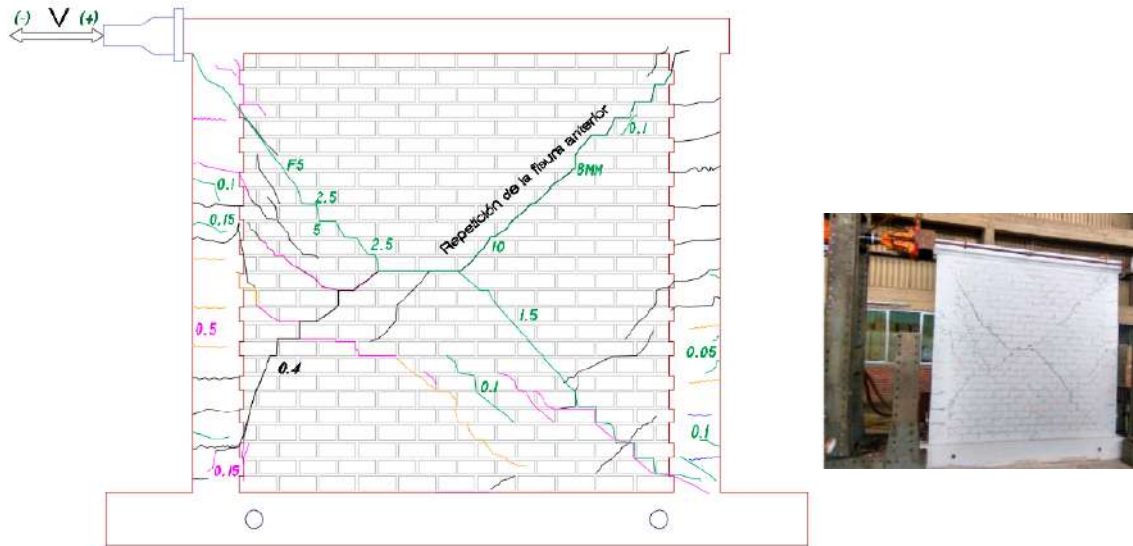


Figura 16.- Muro agrietado diagonalmente izquierda en la fase 5.

Fuente: Propio.

Fase 6: D = 12.5 mm - 3 ciclos.

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

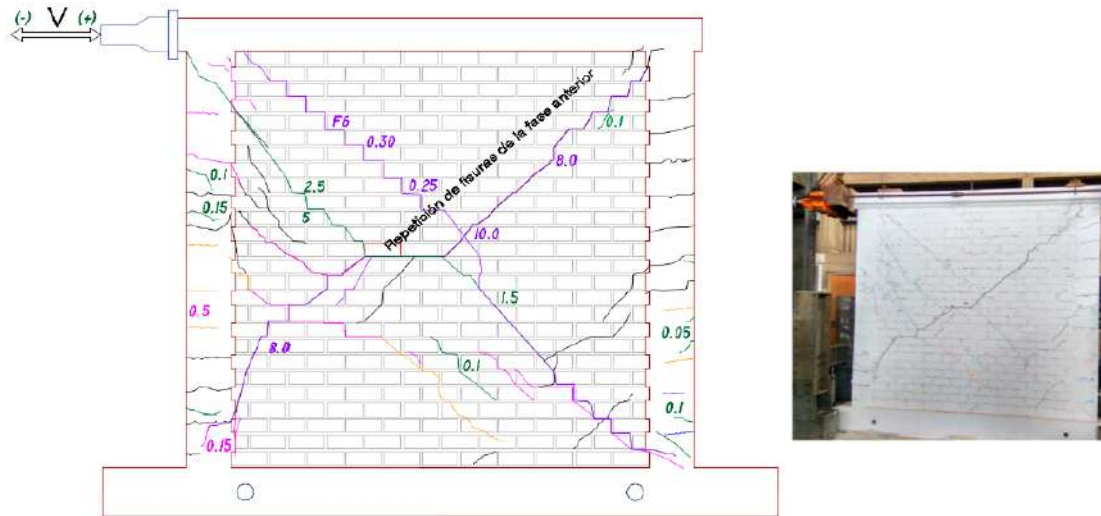


Figura 17.- Muro agrietado real de la fase 6.

Fuente: Propio.

Fase 7: D = 15 mm - 3 ciclos.

Línea de **fisura color rojo**. Las fisuras se presentan en los extremos superiores del muro en particular en la unión de viga solera y confinamientos con algunas fisuras diagonales haciendo corte en las unidades otras escalonadamente, la repetición de las grietas de las dos diagonales de la fase anterior hasta 8mm.

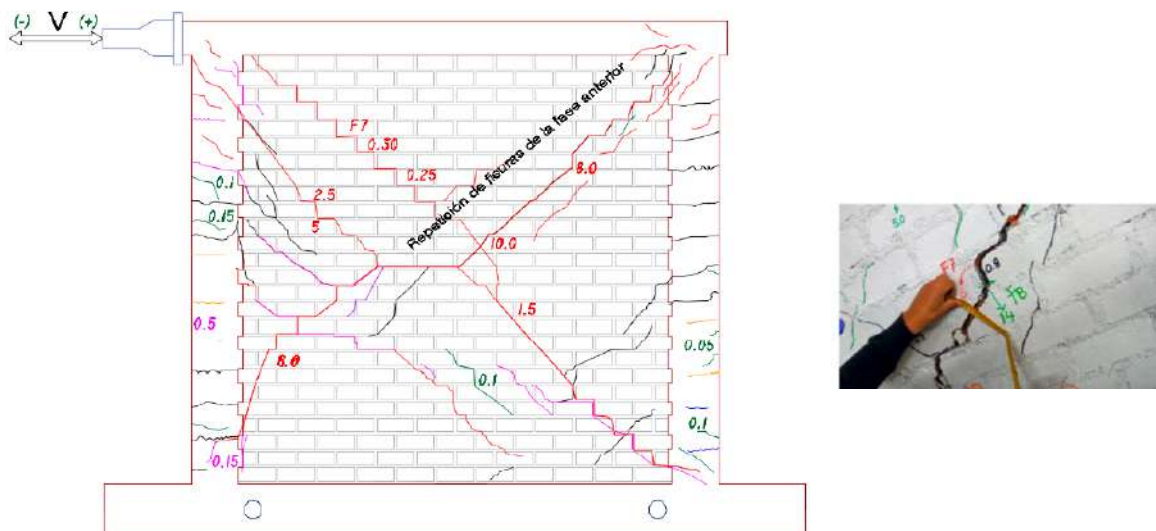


Figura 18.- Muro agrietado diagonal de fase 7.

Fuente: Propio.

Fase 8: D = 20 mm - 3 ciclos.

Línea de **fisura color verde limón**. Las grietas se presentaron con mayores aberturas hasta llegó medir 15mm particularmente en las grietas diagonales con repeticiones continuas de cada fase anterior, presentaron el muro la trituration de los talones y extremos superiores.

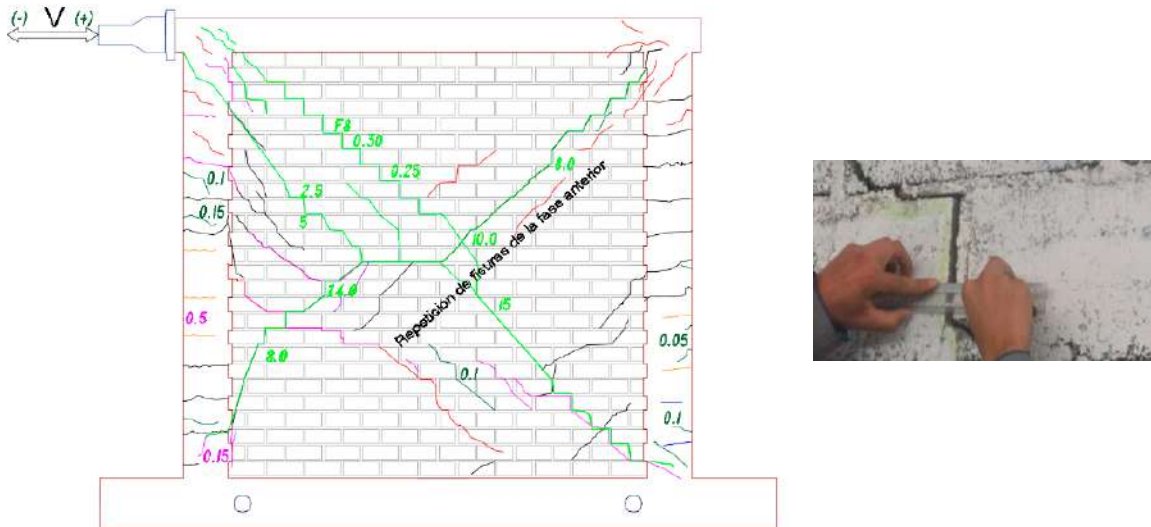


Figura 19.- Muro agrietado diagonalmente de la fase 8 con repetición anterior (muro agrietado de la fase final en diagonal)

Fuente: Propio.

RESULTADO DEL ANALISIS POST ENSAYO DEL MURO DE ALBALIÑERIA CONFINADA.

Luego de los ensayos, el muro fue colocado en el patio del Laboratorio de Estructuras de la UNI, donde se pudo hacer un análisis post ensayo del muro y se observó lo siguiente:

- Una falla por desplazamiento horizontal de tres unidades concentradas.
- Un cizalle en la mitad de la altura del muro.
- Desprendimiento y la trituración de las unidades en donde se conectan los agrietamientos diagonales a causa de la carga lateral.



Figura 20.- Desplazamiento lateral de unidades en la mitad del muro.

Fuente: Propio.

- Para verificar el estado del acero en los talones y esquinas del muro, se procedió a demoler con sumo cuidado las columnas de amarre tanto en la parte superior como la inferior.

Se aprecia que el acero vertical de la columna del muro está entero y solo presenta deformaciones producto del movimiento del ensayo.



Figura 21.- Acero de refuerzo vertical.

Fuente: Propio.

RESULTADO DEL ENSAYO DEL MURO SOMETIDO DE CARGA LATERAL CÍCLICA

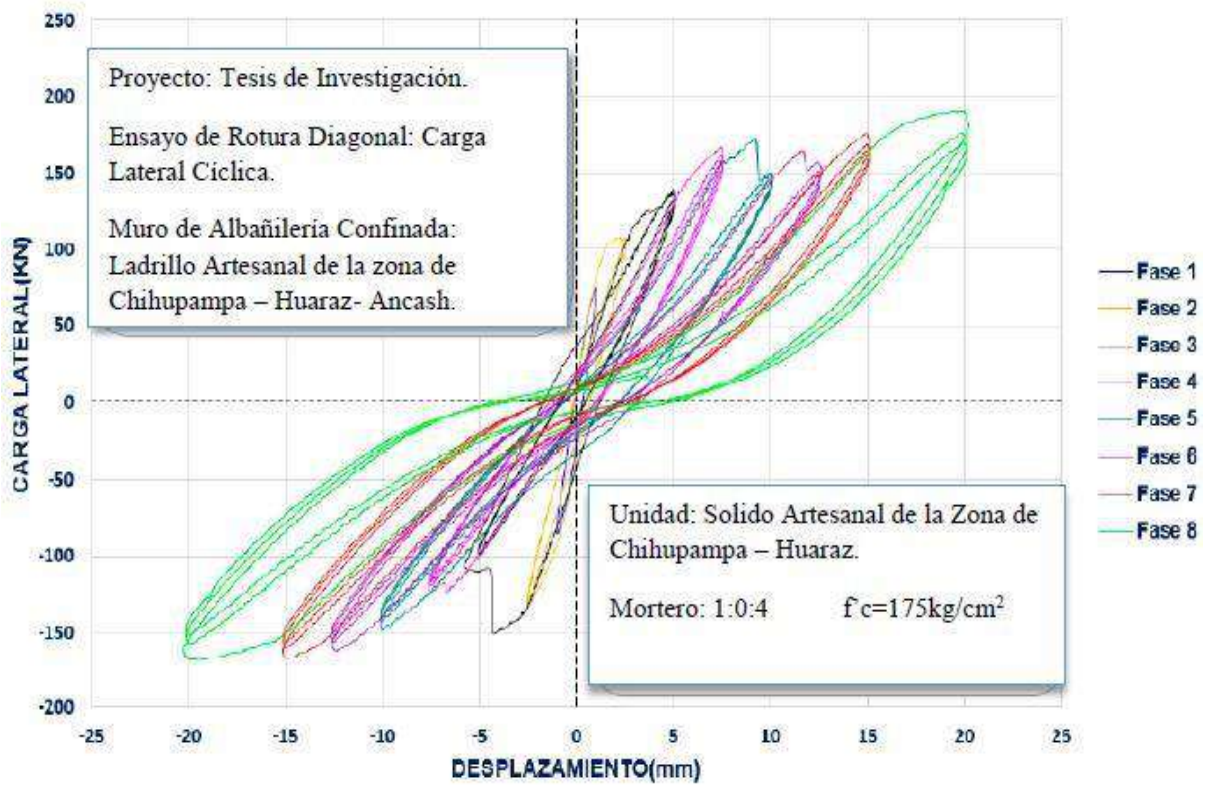


Figura 1. - Lazos histeréticos Del muro confinado artesanal en las 8 Fases.

Rigidez Lateral Elástica (K) Y Degradación (%).

Fuente: UNI - CISMID

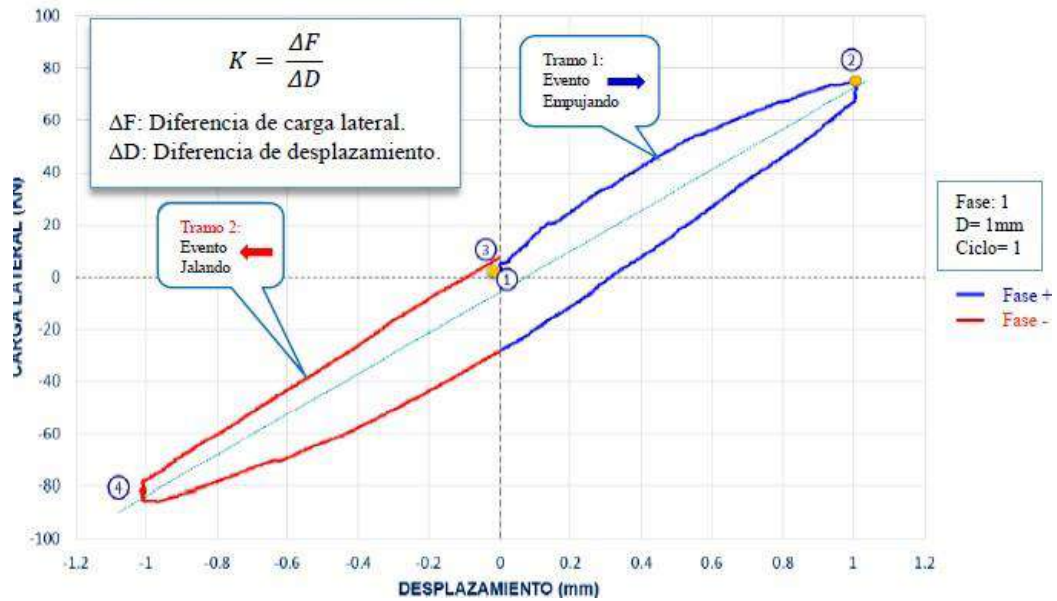


Figura 2. - Lazo histerético de la fase 1 del muro de albañilería confinada.

Lazo Histeretico de la Rigidez Lateral Experimental

Fuente: UNI - CISMID

Tabla 46. - Calculo de la rigidez lateral promedio y degradacion.

FASE	PUNTO 1		PUNTO 2		PUNTO 3		PUNTO 4		RIGIDEZ (KN/mm) PROMEDIO	DEGRADACION %
	mm	KN	mm	KN	mm	KN	mm	KN		
Fase 1	0.01412	6.4799	0.9979	74.9448	-0.0023	-7.6446	-1.0064	-79.8328	70.74	100%
Fase 2	0.00217	8.1800	1.6719	103.7407	0.0218	8.1800	-2.4856	-133.6700	56.90	80%
Fase 3	0.01602	6.3204	3.6199	125.8578	-0.0095	36.7106	-5.7650	-106.7046	29.04	41%
Fase 4	0.05925	16.8509	7.5062	166.8388	0.1914	19.5365	-7.1092	-119.8596	19.62	28%
Fase 5	-0.09087	6.8674	-10.0816	-142.5066	0.0841	14.7647	9.2931	172.0812	16.02	23%
Fase 6	0.00366	6.9153	11.6142	164.5352	0.0036	6.9153	-12.6133	-156.8661	13.28	19%
Fase 7	0.15418	7.6472	14.8193	174.9995	0.1541	7.6471	-15.0286	-167.9321	11.49	16%
Fase 8	0.21075	7.7423	-20.2237	-164.0549	-0.3166	11.4544	19.7624	190.3697	8.66	12%

Calculo de la Rigidez Lateral Promedio y degradacion.

Fuente: Propio.

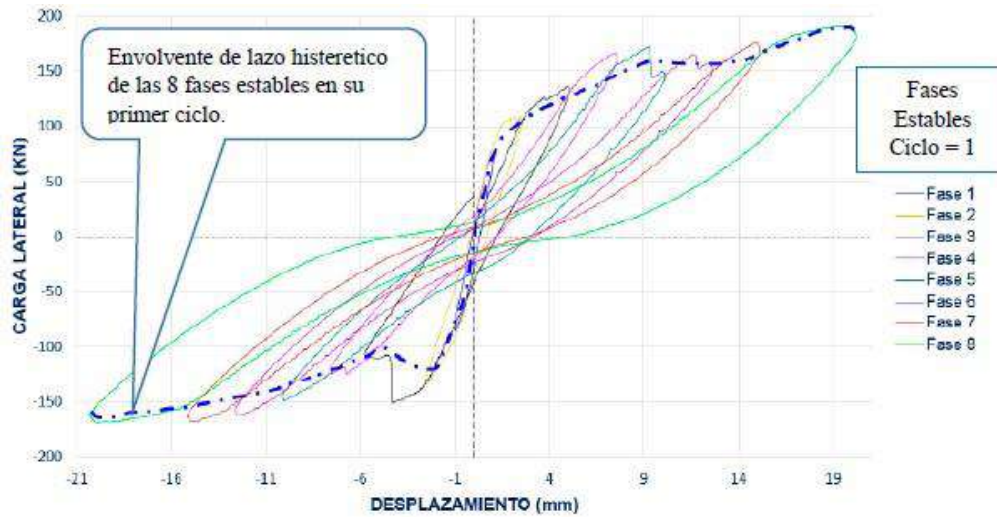


Figura 3.- Lazos histeréticos de las 8 fases en su primer ciclo estable.

Lazo Histeretico de la Degradación de la Rigidez.

Fuente: UNI - CISMID

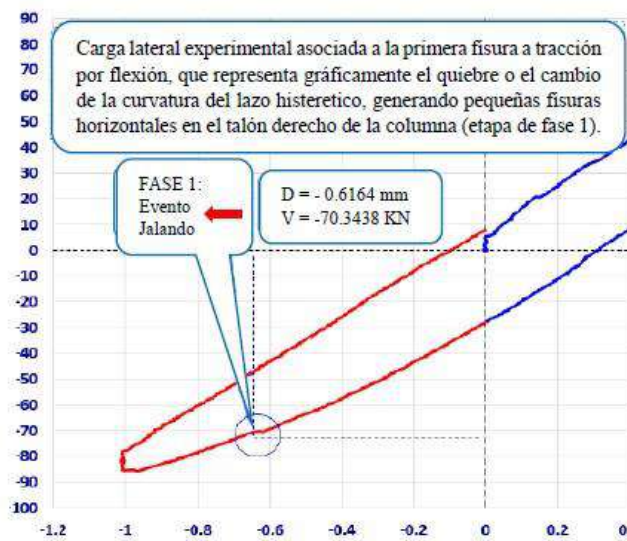


Figura 4. - Cálculo de resistencia a tracción por flexión.

Resistencia de Traccion por Flexion.

Fuente: UNI - CISMID

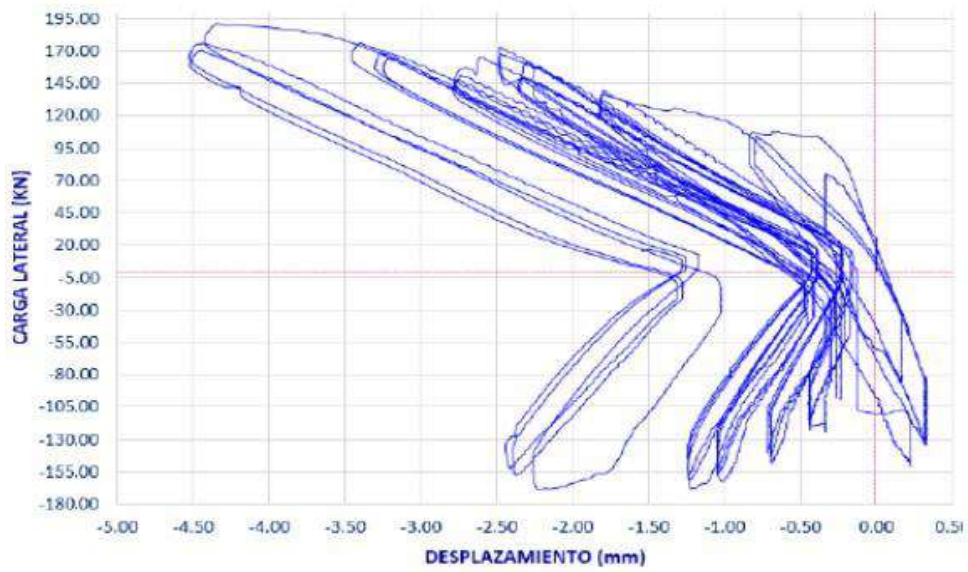


Figura 5.- Sensor D7, máximos desplazamientos.

Comportamiento del Refuerzo Vertical

Fuente: UNI - CISMID

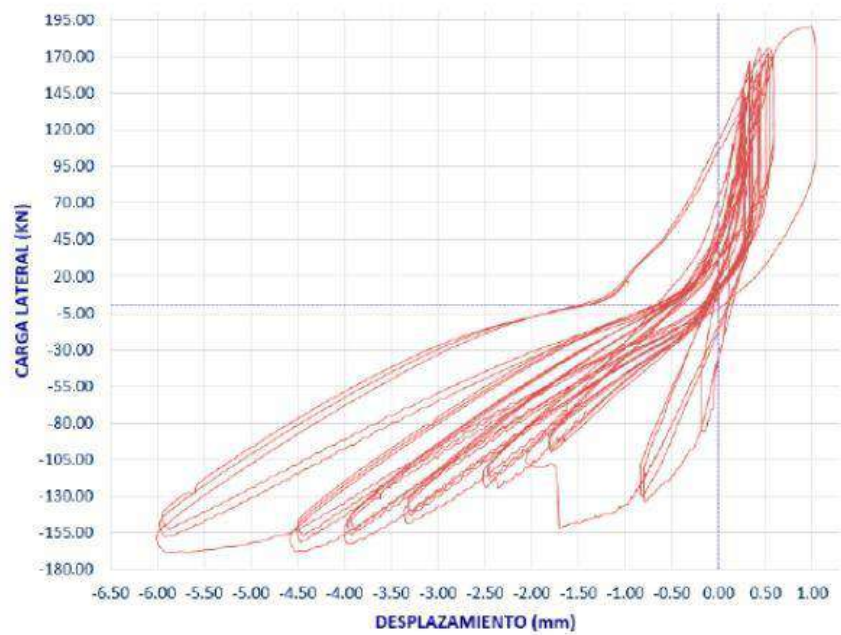


Figura 6.- Sensor D8, máximos desplazamientos.

Comportamiento del Refuerzo Vertical

Fuente: UNI - CISMID

Tabla 47.- Deformación unitaria alcanzada por refuerzos verticales.

SENSOR LVDT	MAX. DESPLAZAMIENTO (mm)	PROM. FINAL Dm (mm)	h (mm)	$\epsilon = Dm/h$
D7	-4.490.317	5.220.506	2620	0.0019926
D8	-5.950.695			

Fuente: Propio.

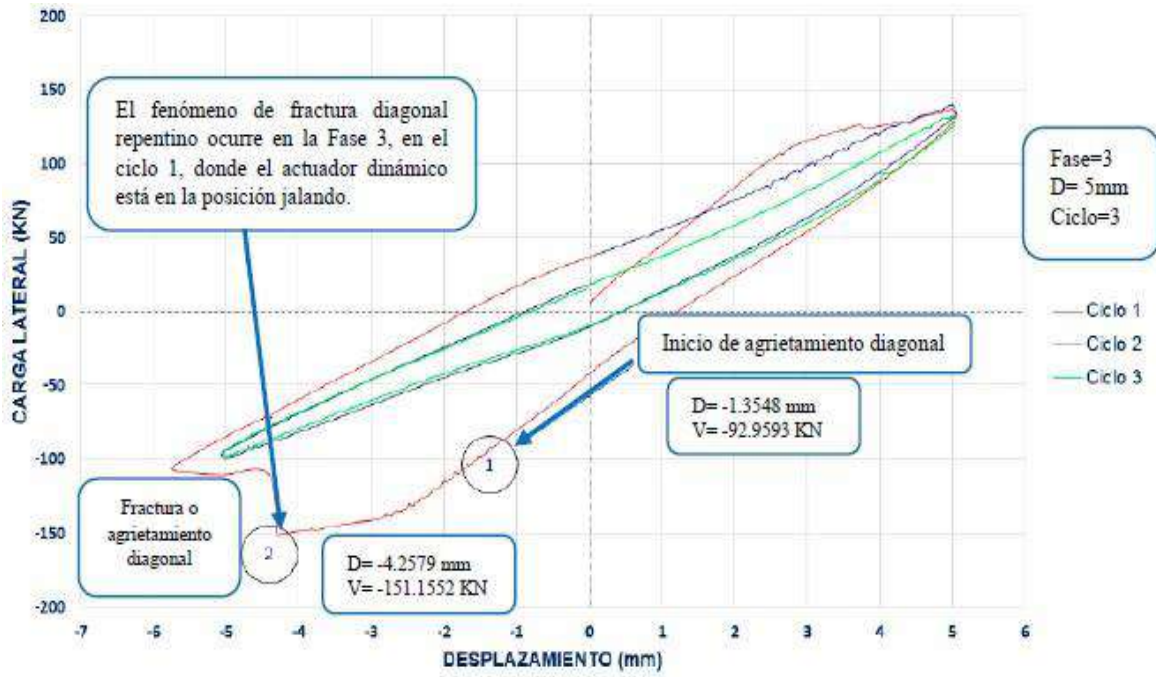


Figura 7.- Lazo histerético de agrietamiento diagonal del muro confinado.

Lazo Histeretico de Fractura Diagonal Derecha Del Muro

Fuente: UNI - CISMID

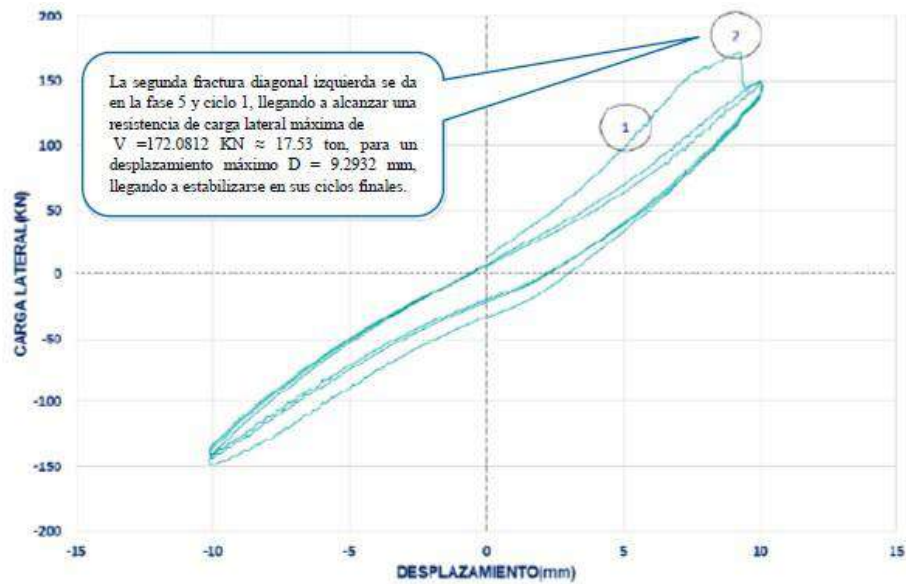


Figura 8.- Lazo histerético de agrietamiento diagonal de muro - Fase 5.

Lazo Histeretico de Fractura Diagonal Izquierda del Muro

Fuente: UNI - CISMID

Tabla 48.- Envoltente de lazos histereticos esabales del muro artesanal.

Muro	D (mm)	Carga Lateral KN	Sensor D1 (mm)	Sensor D2 (mm)	Sensor D3 (mm)	Sensor D4 (mm)	Sensor D5 (mm)	Sensor D6 (mm)	Sensor D7 (mm)	Sensor D8 (mm)	Sensor D9 (mm)
Fase 1	1	74.9544	0.9962	-0.1860	0.1665	-0.2303	0.0890	-0.0234	-0.3327	0.1063	0.0010
		-85.7782	-0.9662	0.1514	-0.1592	0.0650	-0.1038	-0.0227	0.1544	-0.1427	0.0111
Fase 2	2.5	107.8669	2.2251	-0.7690	0.3072	-0.3864	0.1777	-0.1801	-0.6909	0.3611	-0.0178
		-133.7286	-2.5061	0.2087	-0.3241	0.1506	-0.6109	-0.1052	0.3287	-0.7903	0.0142
Fase 3	5	139.3693	4.9954	-3.1265	0.4147	-0.4894	0.4337	-2.7410	-1.8016	0.2565	0.0706
		-151.1052	-4.2579	0.2516	-0.3031	0.2652	-0.7993	-0.8463	0.2260	-1.6825	0.3126
Fase 4	7.5	166.8389	7.5062	-4.3944	0.7298	-0.7474	0.6294	-3.6260	-2.4753	0.3346	0.0618
		-124.2318	-6.7395	1.7057	-4.2598	0.5212	-0.6426	-4.2996	-0.3348	-2.3585	0.1217
Fase 5	10	172.2281	9.2152	-5.5617	0.9741	-0.8690	0.7722	-4.7917	-2.4692	0.5291	0.0534
		-148.8244	-10.0323	3.5463	-7.1434	0.8640	-0.8256	-8.0554	-0.6908	-3.3230	0.1232
Fase 6	12.5	164.5352	11.6142	-8.2029	3.5082	-0.8324	0.9541	-7.7004	-2.5929	0.3191	0.0486
		-162.4217	-12.4048	4.5376	-9.1649	1.0479	-0.9991	-9.9278	-1.0138	-3.9455	0.1220
Fase 7	15	175.9495	14.9530	-10.6787	4.7835	-0.9577	1.1047	-9.3892	-3.4050	0.4397	0.0515
		-167.9321	-15.0286	5.7798	-11.2881	1.2145	-1.1257	-10.6474	-1.2219	-4.5203	0.1252
Fase 8	20	190.4497	19.9806	-14.1552	6.4876	-1.2355	1.3925	-10.6474	-4.3545	0.9982	0.0469
		-168.5210	-19.8620	8.2066	-16.1383	1.4970	-1.3131	-10.6474	-2.2192	-5.8581	0.1333

Fuente: Laboratorio de Estructuras de la UNI – CISMID.



Figura 9.- Envoltura de máximos valores de lazos histéricos estables.

Envoltura de Lazo Histeretico de las 8 Fases.

Fuente: UNI - CISMID

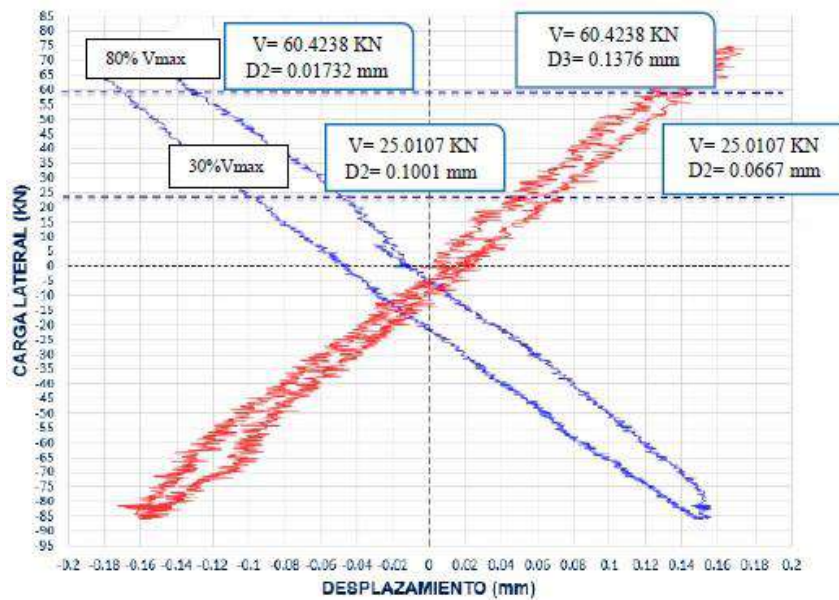


Figura10.- Lazo histérico de módulo de corte.

Lazo Histeretico de Modulo de Corte

Fuente: UNI - CISMID

Tabla 49.- Esfuerzo de Cortante Maximo.

CARGA LATERAL		(80%F)	LONGITUD	Espesor del Muro	Area Bruta	$\Delta\tau$
F1 max	80%F1	ELEGIDA	L (mm)	t (mm)	mm ²	KN/mm ²
74.953	59.963	60.424	3020	114.5	345.790	0.0001747
30%F	22.487	25.010	3020	114.5	345.790	0.0000723

Fuente: Propio.

Tabla 50.- Distorsion Angular.

F	D2 (mm)	D3 (mm)	Ld	$\Delta\gamma$
60.424	0.17310	0.13761	1481	0.0002099
25.010	0.10100	0.05998	1481	0.0001086

Fuente: Propio.

Tabla 51.- Modulo de Corte Experimental.

$\Delta\tau$ KN/mm ²	$\Delta\gamma$	G KN/mm ²	G kg/cm ²	Gm kg/cm ²
0.0001747	0.0002099	0.8323	8486.96	7637.55
0.0000723	0.0001086	0.6657	6788.14	

Fuente: Propio.

ANÁLISIS Y DISCUSIONES

- **PROCESO CONSTRUCTIVO DEL MURO**

La norma E-070, capítulo 4, artículo 4.1.2 indica que en la albañilería con unidades asentadas con mortero, todas las juntas horizontales y verticales quedarán completamente llenas de mortero. El espesor de las juntas de mortero será como mínimo 10 mm y el espesor máximo será 15 mm o dos veces la tolerancia dimensional en la altura de la unidad de albañilería más 4 mm, lo que sea mayor.

Cuando los espesores de mortero sean menores a 10mm se tendrán juntas débiles originando problemas de corte y, en el caso de tener espesores mayores a 15mm se tendrán problemas de adherencia entre el mortero y las unidades de ladrillo.

En tal sentido, se construyó el muro de albañilería confinada a escala natural, de la medida de 3.02m de largo y de 2.72m de altura, con unidades de tipo King Kong solido artesanal de arcilla, con mortero de arena fina, junta de 1.5cm en concordancia con la norma E-070 y, con una conexión dentada entre albañilería columnas de confinamiento. Antes del inicio del asentado de las unidades de arcilla se rego 30 minutos el día anterior. Para determinar la cantidad de ladrillos por hilada se empatillo la viga de cimentación, donde calzaron 11 unidades por hilada, total 26 hiladas por todo el muro con conexión de columna- albañilería dentada, la zona rayada de la cimentación se limpió, se humedeció para lograr una buena adherencia de la primera capa de mortero. Se realizó la construcción de muros en tres jornadas siguiendo el consejo de la norma E070, que menciona como altura máxima de asentamiento por día igual a 1:30 m; ya que si seguía asentando unidades se corría el riesgo de aplastamiento o compresión en el mortero. En el primer día de jornada solo se avanzó asentar hasta la novena hilera, la causa; se pudo observar a una altura de 90cm de avance por la vibración del muro, porque la unidad es de espesor muy delgada de 11,45cm, por lo tanto, se suspendió la actividad dejando la junta vertical para continuar. Al día siguiente se continuo con los trabajos de asentado de unidades de albañilería se colocaron los ladrillos maestros para posteriormente colocar un cordel de un extremo al otro para controlar la horizontalidad de la hilada, también se utilizó el nivel de mano para verificar la horizontalidad, al avanzar las hiladas el cordel se iba subiendo.

El espesor de mortero de 15mm permitió una adherencia uniforme, obteniéndose las fallas en el murete por tracción diagonal.

- **UNIDADES DE ALBALIÑERIA**

Los antecedentes nos servirán para realizar comparaciones de los ensayos obtenidos, con los ensayos obtenidos por los investigadores mencionados en la búsqueda bibliográfica.

Aguirre en su tesis: Evaluación de las características estructurales de la albañilería producidas con unidades fabricadas en la región central de Junin, obtuvo los siguientes resultados: resistencia característica a la compresión $f'm = 27.9 \text{ kg/cm}^2 < f'm = 35.92 \text{ kg/cm}^2$ (resultado obtenido en nuestra tesis), el módulo de elasticidad promedio $E_m = 11570 \text{ kg/cm}^2 < E_m = 17960 \text{ kg/cm}^2$ (resultado obtenido en nuestra tesis), compresión diagonal de muretes $v'm = 5,7 \text{ kg/cm}^2 > v'm = 5,57$ (resultado obtenido en nuestra tesis) y el módulo de corte promedio $G_m = 6640 \text{ kg/cm}^2 < G_m = 7184 \text{ kg/cm}^2$ (resultado obtenido en nuestra tesis), se concluye que ambos muros fallaron por corte.

Angles en su tesis: Comparación del Comportamiento a Carga Lateral Cíclica de un Muro de Albañilería Confinado con Ladrillos de Concreto y otro con Ladrillo de Arcilla, obtuvo los siguientes resultados para ladrillo de concreto el cual lo compararemos con ladrillo artesanal utilizado para nuestra tesis. Rigidez lateral elástica experimental del muro de ladrillo de concreto igual a $194.86 \text{ KN/mm} > 70.74 \text{ KN/mm}$ (resultado obtenido en nuestra tesis, lo cual demuestra que las unidades no son homogéneas); Resistencia de tracción por flexión experimental del muro de ladrillo de concreto $109.25 \text{ KN} > 70.34 \text{ KN}$ (resultado obtenido en nuestra tesis, este resultado demuestra que para un mismo horno existen varias canteras); Carga de Agrietamiento Diagonal experimental igual a $157.60 \text{ KN} > 92.96 \text{ KN}$ (resultado obtenido en nuestra tesis) y la carga máxima experimental soportada por el muro de ladrillo de concreto igual a $216.63 \text{ KN} > 190.45 \text{ KN}$ (resultado obtenido en nuestra tesis).

Paredes y Gaycho en su tesis: Control de la Trituración de los Ladrillos Hueco en Muros de Albañilería Confinada, obtuvo los siguientes resultados: Resistencia la Compresión de la unidades de albañilería $f'b = 144 \text{ kg/cm}^2 > f'b = 83.33 \text{ kg/cm}^2$ (resultado obtenido en nuestra tesis, con dicho resultado las unidades de albañilería clasifican en Clase II), Resistencia Característica a la Compresión en Pilas $f_m = 68.49 \text{ kg/cm}^2 > f_m = 43.58 \text{ kg/cm}^2$ (resultado obtenido en nuestra tesis), Resistencia de Corte de los Muretes $V_m = 7.87 \text{ kg/cm}^2 > V_m = 6.79 \text{ kg/cm}^2$ (resultado obtenido en nuestra tesis) y Resultado del ensayo de carga lateral cíclica , en los diagramas se aprecia la degradación de la rigidez lateral, manifestada en el cambio de la pendiente de los lazos. De acuerdo con la envolvente cortante- desplazamiento el muro reforzado presenta en comparación con el muro tradicional el mismo comportamiento en el rango elástico, la diferencia entre ellos surge en el momento en que ambos muros incursionan en el rango inelástico, donde el muro con ladrillos hueco presenta una mayor resistencia que el muro con unidades de albañilería solida artesanal tipo kin Kong. En el mencionado trabajo

de investigación la deformación unitaria excedió la deformación unitaria del acero en fluencia con lo que se demuestra que el acero efectivamente fluyó; en nuestra tesis la deformación unitaria alcanzada por los refuerzo en los confinamientos no ha excedido a la deformación unitaria del acero en fluencia con lo que se demuestra que el acero no ha iniciado la etapa de endurecimiento.

- **DIAGRAMA DE LAZOS HISTERÉTICOS.**

Los datos proporcionados por el laboratorio de estructuras antisísmicas de la UNI después de los ensayos realizados al muro de albañilería confinada son:

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

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

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

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

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

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

- **RIGIDEZ LATERAL ELÁSTICA (K) Y DEGRADACIÓN (%).**

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

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

La degradación de la rigidez lateral se calculó como la pendiente del lazo histerético perteneciente al ciclo 1, que fue más estable, de cada una de las fases en porcentajes.

La rigidez lateral expresada en KN/mm, es hallada mediante la pendiente de un tramo del lazo histerético que represente el comportamiento elástico del muro.

$$K = \Delta F \text{ horizontal} / \Delta \text{Desplazamiento}$$

Donde

:

K = Rigidez lateral (KN/mm).

ΔF horizontal = Variación de fuerzas horizontales entre los Puntos 1 y 2.

Δ Desplazamiento = Variación de desplazamientos entre los puntos 1 y 2.

El muro confinado alcanza durante el ensayo experimental una rigidez lateral máximo de 70,74 kN/mm y estuvo previsto de una rigidez teórica de 85,85 kN/mm, lo cual indica que contiene unidades no homogéneas.

- **RESISTENCIA DE TRACCIÓN POR FLEXIÓN.**

La primera fisura de tracción por flexión se presentó en la fase 1 donde se observó pequeñas fisuras de dos líneas casi horizontales en el talón derecho de la columna, medida con

Grietómetro de 0,002 pulgadas que es equivalente a 0,05mm de espesor, las pequeñas fisuras son originadas por las tracciones que genera el momento flector provocado por la acción de la carga lateral, los resultados de la gráfica carga lateral vs desplazamiento nos muestra el cambio o quiebre de la curvatura, es señal de las primeras fisuras a tracción por flexión, produciendo una cortante experimental de $F = 70,34 \text{ kN}$ para un desplazamiento 0,61641mm según la gráfica. Además, estuvo previsto teóricamente para alcanzar una cortante de $F = 96.40 \text{ kN}$, cuando el actuador dinámico se encontraba en la posición negativa jalando.

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

- **COMPORTAMIENTO DE REFUERZO VERTICAL.**

La fuerza cortante que logra la fluencia del refuerzo de las columnas de confinamiento, ha sido calculada anteriormente $V_f = 193.25 \text{ kN} \approx 19,41 \text{ ton}$, durante el ensayo del muro alcanzan 190,45 kN $\approx 19,43 \text{ ton}$ de fuerza cortante experimental máxima para un desplazamiento máximo de 19,98mm en la fase 8, lo que significa el refuerzo de confinamiento vertical está a punto de iniciar la etapa de endurecimiento.

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

$$\varepsilon = \frac{Dm}{h}$$

Donde

ε = Deformación unitaria.

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

h: Altura de la columna

Esta deformación unitaria alcanzada $\varepsilon = 0,0019926$ por los refuerzos en los confinamientos no ha excedido a la deformación unitaria del acero en fluencia $f_y/E_s = 4200/2100000 = 0,002$, con

lo cual se demuestra que el acero no ha iniciado la etapa de endurecimiento.

- **DISTORSIÓN ANGULAR.**

Según la **norma E-030** para la albañilería, la máxima distorsión angular permisible es 0,005, económicamente reparable la distorsión menor que 0,005, en el ensayo del muro, corresponde un desplazamiento lateral de $0,005 \times h = 0,005 \times 2620 = 13,10 \text{ mm}$, está asociado teóricamente a la fase 7, para el cual el muro puede ser reparado, por lo tanto, en el ensayo real el agrietamiento diagonal se inicia en el punto 1, para un desplazamiento lateral de $d = 1.3548 \text{ mm}$, generando una distorsión angular de $Y_1 = 1,3548 / 2620 = 0,0005$, finalmente en el punto 2 se produce una falla de corte diagonal repentino, para un desplazamiento $d = 4,25799 \text{ mm}$, donde $h = 2,62 \text{ m}$ altura del muro desde su base hasta el eje de la carga actuante, fracturándose diagonalmente con una distorsión angular final $Y_2 = 4,25799 / 2620 = 0,0016$.

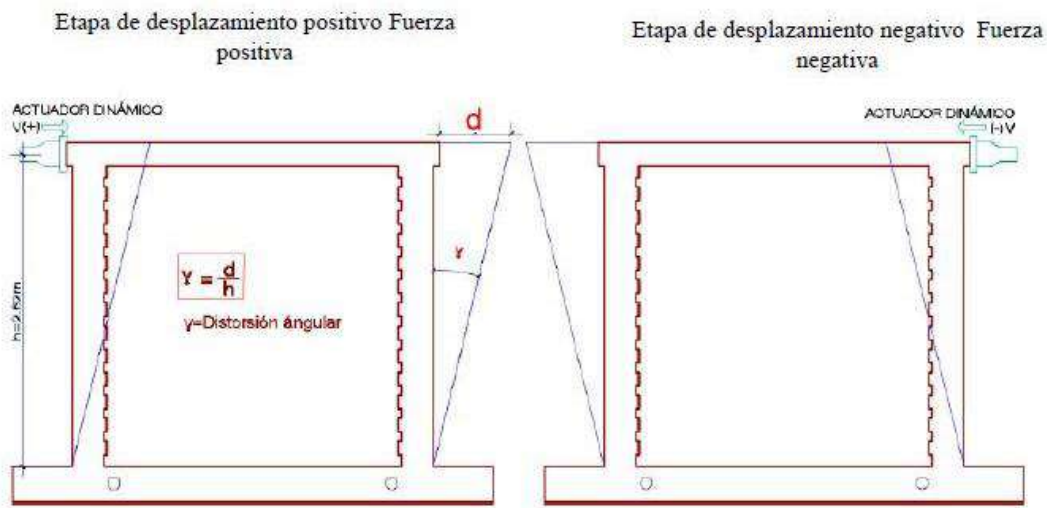


Figura 22 . Etapas de ensayo cíclico del muro.

Fuente: Propio.

- **LÍMITE DE REPARACIÓN.**

La consideración de la norma E-030 del diseño sismorresistente para albañilería reforzada o confinada, tiene un control de límite hasta una deriva máxima inelástica o distorsión angular máximo de $Y = 0,005$, se considera hasta este momento que el sistema es económicamente reparable, después de este instante la aplicación del actuador dinámico como carga lateral cíclica va incrementando los mayores desplazamientos progresivos controlado al muro de albañilería confinada, después de su agrietamiento diagonal o la rotura diagonal por corte, surgen fallas

indeseables con el inicio de la trituración de los talones, la rigidez lateral continúa degradándose y también disminuye su resistencia.

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

- **CARGA DE AGRIETAMIENTO DIAGONAL (VM).**

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

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

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

- **RESISTENCIA DE MÁXIMA CARGA LATERAL SOPORTADA.**

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

- **ENVOLVENTE DE DIAGRAMA DE LAZOS HISTERÉTICOS.**

Para calcular el envolvente de los lazos histeréticos de Carga lateral vs Desplazamiento, se selecciona los valores máximos registrados en el primer ciclo de cada fase del sensor D1 o LVDT

que está ubicada en la mitad de parte superior de la viga solera, los valores obtenidos fueron de tanto del signo positivo y negativo, el signo del valor positivo pertenece a la etapa empujando y el signo del valor negativo a la etapa jalando, los valores de todos los sensores o LVDT's colocados en el muro de ladrillo artesanal, para el análisis del envolvente únicamente se ha tomado los datos más estables en su primer ciclo de cada fase en el sensor D1, todo ello se ha generado del envolvente de Lazo histerético.

- **MÓDULO DE CORTE (G).**

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

Figura 23. Sensores D2 y D3.

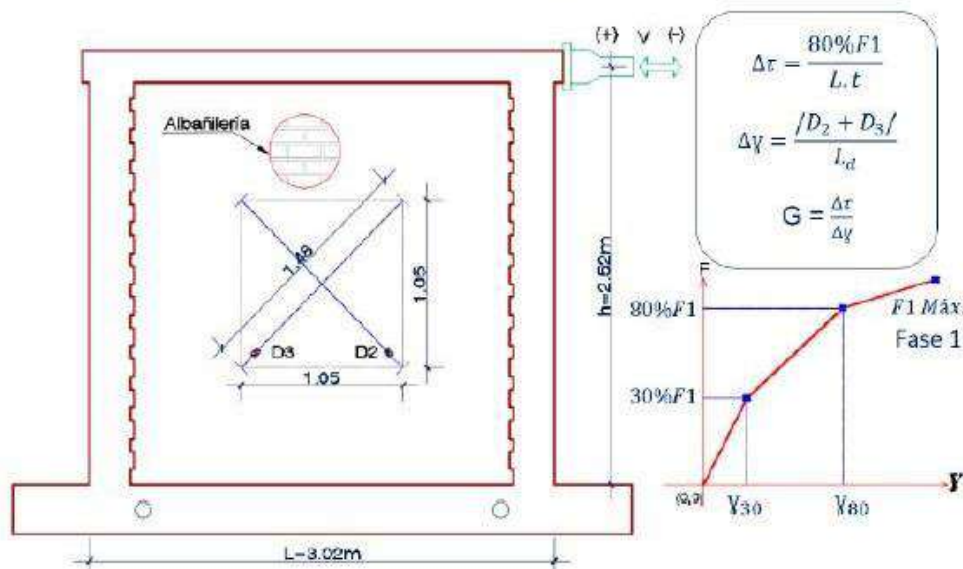


Figura 23. Sensores D2 y D3.

Fuente: Propio.

El esfuerzo de cortante ($\Delta\tau$) para el análisis del muro a nivel de su comportamiento elástico se toma el 80% de esfuerzo de corte máximo, desde grafica de lazo histerético de los sensores D2 y D3 en

fase 1, en este instante mismo también se toma los desplazamientos laterales de los LVDTs D2 y D3 y luego se calcula la distorsión angular (γ) que es igual a suma de los desplazamientos de D2 y D3 dividido entre la longitud diagonal de instrumento o sensor, se calcula el módulo de corte (G) que es igual al esfuerzo de cortante máximo al 80% dividido entre la Distorsión angular en ese mismo instante de tiempo, igualmente se hace al 30 %, finalmente se calcula el promedio del Módulo de Corte experimental.

La resistencia característica de la albañilería experimental es $f'm = 35.92 \text{ kg/cm}^2$ con ello calculamos módulo de elasticidad teórico del muro confinado con la siguiente formula de acuerdo a la Norma técnica Peruana E-070:

- El módulo de elasticidad de muro es: $E_m = 500 \times f'm = 500 \times 35.92 = 17960 \text{ kg/cm}^2$
- El módulo de corte teórico del muro es: $G_m = 0,4 \times E_m = 0,4 \times 17960 = 7184 \text{ kg/cm}^2$

CONCLUSIONES

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

Unidades

- No existe control en la calidad de producción en la zona de estudio, por lo que la dispersión es alta en prueba de variación dimensional y absorción que está relacionada en la propiedad de durabilidad y resistencia, por lo tanto, no hay garantía en calidad de producto.
- Según la **Norma E-070**, las características mínimas requeridas de las unidades deben cumplir la tabla de clasificación de unidades de albañilería para fines estructurales que son; la unidad no llega alcanzar a la mínima requerida por lo menos a clase I, por su variación dimensional de 9,72% , por lo tanto, no clasifica por su **variabilidad dimensional**, por su **alabeo** máxima alcanza 4mm y clasifica a clase IV, por su **resistencia característica máxima a compresión (f^b)** alcanza hasta 83,33 kg/cm² clasifica hasta clase II, todo este exceso de variación dimensional se debe a que la unidades artesanales son de origen de diferentes canteras de fabricación antes de la cocción.
- **Succión** En su estado natural, los ladrillos artesanales aproximadamente tienen una succión del orden 80gr/200 cm²-min. según la norma NTP 399.604 y 399.613 para las pruebas no clasificatorias, sin embargo, el ensayo de succión alcanzó hasta 129.35gr/200 cm²-min, la unidad tiene alto capacidad de almacenaje de agua.
- **Absorción** alcanza hasta 21.12% que está dentro de parámetro de mínimas condiciones requeridas debajo de 22% según la norma NTP 399.604 y 399.613 para las pruebas no clasificatorias, **absorción máxima** de 23,19%, **coeficiente de**

saturación de 0,91 son valores mayores a 0,85 inaceptables por la norma y la baja **densidad** de $1,46 \text{ kg/cm}^3$, los resultados muestran que las unidades artesanales en la zona de Chihupampa son de poca durabilidad y resistencia.

Mortero.

- La resistencia alcanzada por el mortero luego de hacerse ensayos de compresión axial en cubitos de mortero, fue en promedio 5 MPa. Con este resultado se concluye que su resistencia a compresión es aproximadamente el 50% de las unidades de albañilería.

Prismas de albañilería

- Resistencia característica a compresión axial de la albañilería (f^m) alcanza $35,92 \text{ kg/cm}^2$ con un error de 18%, superando el mínimo requisito indicado por la norma E-070 en su tabla N° 9 que $f^m = 35 \text{ kg/cm}^2$ para las **pilas**, presenta trituración explosiva y frágil debido a la tracción de expansión lateral efecto de poisson, porque la unidad es frágil.
- Resistencia característica de la albañilería al corte (v^m) de los muretes construidos con los ladrillos de arcilla sólido King Kong artesanal llega alcanzar $5,57 \text{ kg/cm}^2$, superando la condición de la norma E-070 de albañilería donde debe cumplir $v^m \leq \sqrt{f^m}$, es decir $5,57 \text{ kg/cm}^2 \leq 6 \text{ kg/cm}^2$ cumple la condición.

Construcción del muro de albañilería confinada.

- Se construyó el muro de albañilería confinada a escala natural, con unidades de tipo King Kong sólido artesanal de arcilla de la zona Chihupampa- Huaraz, la dificultad se tuvo porque el ancho de unidad era muy delgado de $11,45 \text{ cm}$ y largo de muro era de $2,52 \text{ m}$, no tenía estabilidad hasta alcanzar la fragua o resistencia de adherencia del mortero.

Rigidez lateral del muro confinado.

- La rigidez lateral elástica experimental (K) alcanzó hasta 70,74 kN/mm y la rigidez lateral teórico del muro es 85.85 kN/mm utilizando el criterio de la sección transformada no agrietada.
- La degradación de rigidez lateral a rango elástico presenta 70,74 kN/mm como 100%, la mayor pérdida de la resistencia se dio en la fase 3, en el ciclo 1, se caracteriza en ésta fase se da la rotura diagonal repentina explosiva hasta llegar a la fase 8 de 12%, con la rigidez de 8,66 kN/mm del muro irreparable.

Resistencia a tracción por flexión.

- La resistencia teórica y experimental de tracción por flexión del muro de albañilería resultó 96.40kN y 70.4kN respectivamente.
- La resistencia de las columnas de concreto armado a tracción por flexión es $f^t = 2\sqrt{f'c} = 2\sqrt{227.26} = 30.15kg/cm^2$, estas columnas de confinamiento dotan ductilidad al muro confinado.

Carga de agrietamiento diagonal (V_m).

- La resistencia teórica y experimental al corte diagonal del muro de albañilería hechos con ladrillos artesanales resultó 95,12 kN y 92,96 kN , se produce como una falla por corte diagonal, donde el muro se fractura diagonalmente con un sonido explosivo repentino, llegando a adquirir una fuerza de corte máximo que representa como una fuerza de resistencia $V_m = 0,5v'm \cdot \alpha \cdot t \cdot L + 0,23P_g$, sin carga vertical o axial, este fenómeno mecánico se produce en la fase 3, en el ciclo 1.

Resistencia de máxima carga lateral soportada.

- La resistencia de máxima carga lateral soportada del muro llega alcanzar hasta 190,45 kN , a pesar de tener un mayor porcentaje de absorción igual a 21,12% y una

baja densidad de $1,46 \text{ kg/cm}^3$ llega a alcanzar la máxima carga lateral de $19,43 \text{ ton}$, la falla fue por corte con una grieta diagonal.

- La deformación unitaria de los refuerzos de las columnas de confinamiento no ha excedido a la deformación unitaria del acero, por lo tanto, no ha iniciado la etapa de endurecimiento de los refuerzos.

Comportamiento del muro confinado.

- Las fisuras y agrietamientos en el muro siguieron el mismo patrón de falla que los muretes, hasta alcanzar a nivel de grietas respectivamente, las fallas en el muro fueron mixtas tanto escalonadas como corte, diagonalmente cortando juntas y unidades, a la vez hubo deslizamiento en la mitad de la altura del muro concentrándose en dos unidades de ladrillo artesanal.
- El agrietamiento del muro, se aprecia a mayor desplazamiento lateral se genera mayor cantidad de fisuras en un modo de abrirse y cerrarse hasta llegar a generar grietas con mayores aberturas cuya concentración se sitúa en la zona deslizable en la mitad del muro.
- Se concluye que la falla del muro fue por corte en su mayoría y finalmente se observó la falla por flexión triturando los talones de los confinamientos sin la presencia de pandeo en refuerzos de los extremos.
- El comportamiento del muro alcanzó la máxima distorsión angular permitida $0,005$ en la fase 7 del ensayo cíclico de $13,10 \text{ mm}$ donde podría ser reparado.
- El espesor del mortero de 15 mm se construyó de acuerdo a la norma técnica peruana de edificación E-070, la falla esperada en el murete fue por tracción diagonal (falla de mortero y unidad de ladrillo simultáneamente)

RECOMENDACIONES

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

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

Bartolomé, Quiun, y Silva (2014). Diseño y construcciones de estructuras sismoresistentes de albañilería. Lima: Fondo Editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú.

CISMID Report. (1998). *Experimental test on walls to investigated lateral load Behavior AGV System* CISMID/FIC/UNI.

Gonzáles, Í. (1993). *Estudio de la conexión columna y albañilería en muros confinados diseñados a la rotura*. (Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.

INDECOPI (2005). Norma Técnica Peruana: 399.613. Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales, Lima, Perú.

Iparraguirre, Y. (2014). *Comportamiento sísmico de muros de albañilería confinada tipo Haití, ensayo de carga lateral y vertical*. (Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.

ITINTEC 331.018 Elementos de arcilla cocida. Ladrillos de arcilla usados en albañilería. Métodos de ensayo.

ITINTEC 331.019 Elementos de arcilla cocida. Ladrillos de arcilla usados en albañilería. Muestreo y recepción.

Macías, L (2008). Reparación de un Muro de Albañilería Confinada mediante varillas de Fibra de Vidrio. (Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.

MVCS (2006). Norma Técnica E.070 Albañilería. Resolución Ministerial N 011-2006-Vivienda.

Paredes y Caycho (2009). Control de la trituración de los ladrillos huecos en muros de albañilería confinada sujetos a carga lateral cíclica. (Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.

SENCICO (2006). Norma Técnica de Edificaciones E-070. Albañilería. Lima, Perú.

NORMAS EMPLEADAS.

NTP 331.017 Elementos De Arcilla Cocida Ladrillos De Arcilla Usados En Albañilería Requisitos.

NTP 399.621 NORMA PARA MURETES DE ALBAÑILERIA.

Norma técnica peruana de albañilería E 070.

NTP 399.613 Normas de unidades de albañilería.

Norma técnica peruana de diseño sismorresistentes E 020

NTP 399.605 Ensayo de compresión en pilas de albañilería.

ANEXOS



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

Facultad de Ingeniería Civil
Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas
y Mitigación de Desastres
Laboratorio de Estructuras



Lima, 17 de setiembre de 2018

Sra(ta).
VANIA CATHERINE CASTILLO PINEDA
Egresada de la Universidad Privada San Pedro
Sede Huaraz

**Ref.: Solicitud para realizar Ensayo de Carga Lateral
Cíclica del Muro de Albañilería Confinada**

Presente. -

De mi consideración;

Por medio de la presente permítame saludarla y dar respuesta a la solicitud recibida vía correo electrónico con fecha 20 de agosto del presente, en la que se nos solicita formular una propuesta técnico-económica para efectuar una serie de ensayos de laboratorio: Ensayo de carga lateral cíclica de muro de albañilería confinada, ensayo de compresión de mortero, ensayo de resistencia a la compresión de unidades de albañilería, ensayo de resistencia a la compresión de probetas de concreto, ensayo de pilas y muretes de ladrillos.

Agradecemos su preferencia al solicitarnos esta propuesta, la cual ponemos a vuestra consideración. Para cualquier consulta, estamos a su disposición.

Sin otro particular, quedo de usted.

Atentamente.



Mag. Ing. Jorge Gallardo Tapia
Jefe (e) de Laboratorio de
Estructuras
CISMID/FIC/UNI



PROPUESTA TÉCNICO-ECONÓMICA PARA EFECTUAR UNA SERIE DE ENSAYOS DE LABORATORIO: ENSAYO DE CARGA LATERAL CÍCLICA DE MURO DE ALBAÑILERÍA CONFINADA, ENSAYO DE COMPRESIÓN DE MORTERO, ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE UNIDADES DE ALBAÑILERÍA, ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE PROBETAS DE CONCRETO, ENSAYO DE PILAS Y MURETES DE LADRILLOS

1. ANTECEDENTES

En fecha 20 de agosto de 2018, se recibió la solicitud vía correo electrónico para formular una propuesta técnico-económica para efectuar una serie de ensayos de laboratorios: Ensayo de carga lateral cíclica de muro de albañilería confinada, ensayo de compresión de mortero, ensayo de resistencia a la compresión de unidades de albañilería, ensayo de resistencia a la compresión de probetas de concreto, ensayo de pilas y muretes de ladrillos.

En respuesta a esta solicitud, un equipo del Laboratorio de Estructuras de CISMID-FIC-UNI revisó los términos de referencia cuidadosamente, elaborando la presente propuesta técnico-económica.

2. ALCANCE DEL ESTUDIO

El objetivo del presente estudio es conocer experimentalmente el comportamiento de 03 muros de albañilería confinada para la acción de cargas cíclicas laterales, para lo cual se deberá caracterizar las propiedades físicas de sus materiales obteniéndose experimentalmente la resistencia a la compresión del concreto usado en los elementos de confinamiento, así como la resistencia a la compresión de unidades, pilas y muretes de ladrillos, y ensayo de compresión del mortero.



3. ACTIVIDADES A REALIZAR

De acuerdo a lo solicitado, se propone la realización de las actividades descritas a continuación:

3.1. Ensayo de compresión de mortero

Consiste en ensayar muestras de mortero usado, según el método de ensayo para determinar la resistencia a la compresión de morteros de Cemento Portland usando especímenes cúbicos de 50mm de lado. Los ensayos se realizarán según la norma NTP 334.051. En total se ensayarán seis (06) muestras cubicas de mortero.

3.2. Ensayo de compresión de probetas de concreto

Consiste ensayar muestras cilíndricas de concreto vaciado in-situ, correspondiente a los elementos de confinamiento del muro de albañilería confinada (base, columnas y viga), con la finalidad de conocer la resistencia a la compresión del concreto en estudio. Los ensayos se realizarán según la norma ASTM-C39. En total se ensayarán doce (12) probetas.

3.3. Ensayo de compresión de unidades, pilas y muretes de ladrillo

Consiste en ensayar unidades de albañilería para determinar la resistencia a la compresión según la norma NTP 399.613 y 339.604. Para el ensayo de compresión axial de pilas y compresión diagonal de muretes, se realizarán ensayos de laboratorio según lo indicado en las normas NTP 399.605 y 399.621. En total se ensayarán cinco (05) unidades de albañilería, tres (03) pilas y tres (03) muretes.

3.4. Ensayo de carga lateral cíclica de muro de albañilería confinada

Para la realización de este ensayo, se construirá un muro de albañilería confinada sobre una base de cimentación que se conectará a la losa de transmisión de carga del laboratorio. El muro será conectado a una viga de transmisión de carga vertical y desplazamiento lateral.



4. ESPECIMENES Y CANTIDAD DE ENSAYOS

De acuerdo a lo solicitado, se propone la realización de los siguientes ensayos y cantidad de especímenes:

ENSAYO	ESPECIMEN	CANTIDAD
Ensayo de compresión de mortero	Cubos de mortero (5x5x5 cm)	6
Ensayo de probetas de concreto vaciado in-situ	Probetas de 15cm de diámetro y 30cm de alto	12
Ensayo de compresión de unidades de albañilería	Unidades de ladrillo	05
Ensayo de compresión de pilas de albañilería	Pilas de albañilería	03
Ensayo de compresión de muretes de albañilería	Muretes de albañilería	03
Ensayo de carga lateral cíclica con carga axial	Muro de albañilería confinada	01

5. PRODUCTOS A OBTENER

Como resultado de las acciones que se realicen en el servicio propuesto, se obtendrán los siguientes productos:

PRODUCTO	PLAZO	CONTENIDO
INFORME TÉCNICO	A los 30 días calendario luego de la finalización de los ensayos.	Que contendrá el resumen de los ensayos realizados, así como la interpretación de los resultados obtenidos, conclusiones y recomendaciones.



6. PROPUESTA ECONÓMICA

6.1. Plazo de ejecución y condiciones

La Sra(ta). VANIA CATHERINE CASTILLO PINEDA, se encargará de construir los especímenes, la misma que se podría efectuar en las instalaciones del Laboratorio de Estructuras del CISMID, previa coordinación con el encargado. Después de finalizados los ensayos, la solicitante se encargará de la eliminación de los especímenes, probetas, y escombros producto de los ensayos realizados.

El cronograma de ensayos se definirá en coordinación con el encargado, dependiendo de la disponibilidad del laboratorio. El tiempo de ejecución de los ensayos será de 30 días calendario, el mismo que será considerado a partir de la recepción de los especímenes y el primer pago por el servicio.

6.2. Monto de la propuesta

El costo total de la realización de los ensayos en mención, con las condiciones anteriormente descritas, será de S/. 7,000.00 (Siete Mil y 00/100 Soles), incluido IGV.

6.3. Forma de pago

El pago será efectuado a nombre de la UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA, de acuerdo a la siguiente forma de pago:

PAGO	MONTO	CONTENIDO
Primer Pago	50% del monto total de la propuesta.	A la aceptación y conformidad de la presente propuesta.
Segundo Pago	50% del monto total de la propuesta.	A la entrega del Informe Técnico.

Mag. Ing. Jorge Luis Gallardo Tapia
Jefe (e) de laboratorio de estructuras
CISMID/FIC/UNI



Lima, 25 de Setiembre del 2018

Sra(ta).

VANNIA CATHERINE CASTILLO PINEDA
Egresada de la Universidad Privada San Pedro
Sede Huaraz

Ref.: Resultados de los Ensayos de Variación Dimensional, Resistencia a Compresión de Unidades de Albañilería, Succión de Unidades de Albañilería y Absorción de Unidades de Albañilería.

Presente.-

De mi consideración,

Sin otro particular, quedo de usted

Atentamente

Por medio de la presente permítame saludarla y dar respuesta de los Ensayos mencionados.

Agradecemos su preferencia en la realización de los Ensayos, la cual ponemos a vuestra consideración. Para cualquier consulta, estamos a su disposición.



Mag. Ing. Jorge Gallardo Tapia
Jefe (e) de Laboratorio de
Estructuras
CISMID/FIC/UNI



ENSAYO DE VARIACION DIMENSIONAL

Dimensiones Nominales:	L=220mm	A=120mm	H=90mm
Especimen:	Largo	Ancho	Altura
C-01	212.5	115.25	80.5
C-02	213.5	114.25	81.25
C-03	210.25	117.25	81.75
C-04	211	113.5	83.25
C-05	213.25	114	80.5
Medida Promedio:	Lp=212.1	Ap=114.85	Hp=81.25
Desviación Estándar:	$\sigma=1.27$	$\sigma=1.33$	$\sigma=1.04$
Variación Dimensional:	%=3.59	%=4.29	%=9.72

Precisión 1mm

Instrumento: Pie de Rey, bloque de guía de madera.



ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION DE UNIDADES DE ALBAÑILERIA

Especimen	Peso Seco (gr)	Carga Maxima (KN)	Area Bruta (cm ²)	Resistencia (kg/cm ²)
M-01	2970.3	204.5	238.11	87.58
M-02	2873.3	215.75	231.44	95.06
M-03	2790.3	194.9	236.17	84.15
M-04	2832.25	189.1	234.48	82.24
M-05	2900.5	229	240.13	97.24
Resistencia a la compresión:				fb=89.25
Desviación Estándar:				$\sigma = 5.92$
Resistencia característica a la compresión:				f'b=83.33

Precision:1 mm según la norma ISO7500-1
Ensayo de resistencia a la compresion en EN 772-1, ASTM C39
Serie MEH con capacidad de 3000KN



ENSAYO SUCCION DE LAS UNIDADES DE ALBAÑILERIA

Especimen:	Peso (gr)		Succion (gr)	Peso Bruto (cm2)	S (gr)
	Inicial Peso	Final + Agua			
C-01	2935.45	3100.4	164.95	241.68	136.5
C-02	2915.1	3083.1	168	240.54	139.69
C-03	2941.25	3110.9	169.65	242.82	139.73
C-04	2951.6	3108.8	157.2	241.82	130.01
C-05	2949.75	3073.8	124.05	246.1	100.81
				Promedio:	129.35



ENSAYO DE ABSORCION DE UNIDADES DE ALBAÑILERIA

Unidad N°	Peso (gr)					Absorcion %	Absorcion Maxima %	Coeficiente de Saturacion	Densidad (gr/cm3)
	Natural	Seco	Sumergido Fria	Saturado (24h)	Saturado (5h. Ebull.)				
A-01	2734.1	2731.5	1308.14	3304.1	3380.1	20.96	23.75	0.88	1.32
A-02	2850.25	2848.1	1612.3	3454.1	3462.2	21.28	21.56	0.99	1.54
A-03	2974.5	2971.1	1695.2	3585.4	3669.1	20.68	23.49	0.88	1.51
A-04	2831.01	2829.01	1572.12	3431.2	3534.8	21.29	24.95	0.85	1.44
A-05	2957.2	2936.9	1645.25	3565.2	3588.5	21.39	22.19	0.96	1.51
Promedio:						21.12	23.19	0.91	1.46



Mag. Ing. Jorge Gallardo Tapia
Jefe (e) de Laboratorio de Estructuras
CISMID/FIC/UNI



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

Facultad de Ingeniería Civil
Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas
y Mitigación de Desastres
Laboratorio de Estructuras



Lima, 05 de Octubre de 2018

Sra(ta).
VANNIA CATHERINE CASTILLO PINEDA
Egresada de la Universidad Privada San Pedro
Sede Huaraz

**Ref.: Resultados de Ensayo a Compresión de Mortero.
Resultado de Ensayo a Resistencia a Compresión axial en pilas.
Resistencia al Corte de los Muretes.**

Presente. -

De mi consideración;

Por medio de la presente permítame saludarla y dar respuesta de los Ensayos mencionados.

Agradecemos su preferencia en la realización de los Ensayos, la cual ponemos a vuestra consideración. Para cualquier consulta, estamos a su disposición.

Sin otro particular, quedo de usted.

Atentamente.



Mag. Ing. Jorge Gallardo Tapia
Jefe (e) de Laboratorio de
Estructuras
CISMID/FIC/UNI



ENSAYO A COMPRESION DE MORTERO

N° de Probeta	Lado A (mm)	Lado B (mm)	Largo (mm)	Area (mm ²)	Carga Corregida (kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Esfuerzo (Mpa)
M1-1	51	51	50	2601	1104	42,4	4,2
M1-1	51	51	50	2601	1047	40,2	4
M1-1	51	51	50	2601	1102	42,4	4,2
M2-1	50	50	51	2500	1631	65,2	6,4
M2-1	50	50	51	2500	1565	62,6	6,1
M2-1	50	50	51	2500	1555	62,2	6,1
PROMEDIO							5,17

Velocidad de desplazamiento de los cabezales de la maquina universal es de 1mm/min.

Proporción volumétrica cemento:arena 1:4.

Cemento utilizado portland tipo I.

CALCULO DE LA RESISTENCIA A COMPRESION AXIAL EN PILAS

PILA N°	Altura (cm)	Ancho (cm)	Espesor (cm)	Esbeltez (h/b)	Pmax (KN)
1	47,46	21,07	11,6	4,09	99,27
2	47,96	21,94	11,23	4,27	96,98
3	47,98	21,06	11,56	4,15	130,47

Equipo de carga: gata hidráulica de 200 Ton y bomba hidráulica de 600 BAR de capacidad accionada eléctricamente.

Velocidad de ensayo de 10 ton/min.

Proporción volumétrica 1:4 espesor 1.2.



RESISTENCIA AL CORTE DE LOS MURETES

Murete	Largo (cm)	Ancho(cm)	Espesor (cm)	Diagonal(cm)	Pmax (KN)
M-1	66,2	66	11,4	92,02	72,3
M-2	65,9	66,03	11,35	92,04	80,7
M-3	66	66,65	11,45	92,05	56,56

Equipo de carga: gata hidráulica de 200 Ton y bomba hidráulica de 600 BAR de capacidad accionada eléctricamente.

Velocidad de ensayo de 1.0 ton/min.

Proporción volumétrica 1:4 espesor 1.2.



Mag. Ing. Jorge Gallardo Tapia
Jefe (e) de Laboratorio de
Estructuras
CISMID/FIC/UNI



Lima, 16 de Noviembre de 2018

Sra(ta).
VANNIA CATHERINE CASTILLO PINEDA
Egresada de la Universidad Privada San Pedro
Sede Huaraz

**Ref.: Resultados de Ensayo de Resistencia de Concreto en Viga de
Cimentación.
Resultado de Ensayo de Resistencia de Concreto en Columnas.
Resultados de Ensayo de Resistencia de Concreto en Viga Solera.**

Presente. -

De mi consideración;

Por medio de la presente permítame saludarla y dar respuesta de los Ensayos mencionados.

Agradecemos su preferencia en la realización de los Ensayos, la cual ponemos a vuestra consideración. Para cualquier consulta, estamos a su disposición.

Sin otro particular, quedo de usted.

Atentamente.



Mag. Ing. Jorge Gallardo Tapia
Jefe (e) de Laboratorio de
Estructuras
CISMID/FIC/UNI



ENSAYO DE RESISTENCIA DEL CONCRETO DE LA VIGA DE CIMENTACION

Probeta	Fecha de vaciado	Edad (días)	Peso (kg)	Tipo de falla	Diámetro (cm)		Carga máxima		Area (cm ²)	Esfuerzo (kg/cm ²)
					D1	D2	(KN)	(kg)		
VC 1 (M1)	15/08/2018	7	13.870	C	15,52	15,51	360	36709,2	182,79	200,83
VC 3 (M2)	15/08/2018	7	13.575	C	15,23	15,27	420	42827,4	183,04	233,98
VC 2 (M1)	15/08/2018	28	14.225	B	15,75	15,60	568	57918,96	185,06	312,97
VC 4 (M2)	15/08/2018	28	13.172	C	15,14	15,17	452	46090,44	182,51	252,54
Promedio										250,08

Rango de carga con maquina hidráulica: 0.15 a 0.35 MPa/s.

Tamaño de los cilindros: 6x12 pulgadas (150x300mm).

Norma ASTM C 39.

Norma ASTM C 1231.

Norma ASTM C 1077.

ENSAYO DE RESISTENCIA DEL CONCRETO DE COLUMNAS

Probeta	Fecha de vaciado	Edad (días)	Peso (kg)	Tipo de falla	Diámetro (cm)		Carga máxima		Area (cm ²)	Esfuerzo (kg/cm ²)
					D1	D2	(KN)	(kg)		
C1 (M1)	18/09/2018	7	14.230	C	15,70	15,72	350	35689,5	183,27	194,74
C3 (M2)	18/09/2018	7	13.350	C	15,29	15,36	320	32630,4	182,89	178,42
C2 (M1)	18/09/2018	28	13.350	C	15,60	15,60	480	48945,6	183,79	266,31
C4 (M2)	18/09/2018	28	13.450	C	15,55	15,34	481	49047,57	181,94	269,58
Promedio										227,26

Rango de carga con maquina hidráulica: 0.15 a 0.35 MPa/s.

Tamaño de los cilindros: 6x12 pulgadas (150x300mm).

Norma ASTM C 39.

Norma ASTM C 1231.

Norma ASTM C 1077.



ENSAYO DE RESISTENCIA DEL CONCRETO DE VIGA SOLERA

Probeta	Fecha de vaciado	Edad (días)	Peso (kg)	Tipo de falla	Diámetro (cm)		Carga máxima		Area (cm ²)	Esfuerzo (kg/cm ²)
					D1	D2	(KN)	(kg)		
VS1 (M1)	12/10/2018	7	13.035	2	15,22	15,23	369,1	37637,13	183,24	205,40
VS3 (M2)	12/10/2018	7	13.549	2	15,32	15,33	351,5	35842,46	183,24	195,60
VS2 (M1)	12/10/2018	28	13.361	2	15,26	15,32	507,4	51739,58	183,75	281,58
VS4 (M2)	12/10/2018	28	13.972	2	15,76	15,72	501,6	51148,15	181,59	281,67
									Promedio	241,06

Rango de carga con maquina hidráulica: 0.15 a 0.35 MPa/s.

Tamaño de los cilindros: 6x12 pulgadas (150x300mm).

Norma ASTM C 39.

Norma ASTM C 1231.

Norma ASTM C 1077.



Mag. Ing. Jorge Gallardo Tapia
Jefe (e) de Laboratorio de
Estructuras
CISMID/FIC/UNI



Lima, 17 de Diciembre de 2018

Sra(ta).

VANNIA CATHERINE CASTILLO PINEDA
Egresada de la Universidad Privada San Pedro
Sede Huaraz

Ref.: Resultados de Ensayo del Muro de Albañilería Confinada utilizando ladrillo artesanal de la zona de Chihuipampa, sometida a Carga Lateral Cíclica.

- **Diagrama de Lazos Histereticos**
- **Diagrama del Lazo Histeretico de la Rigidez.**
- **Diagrama de Lazo Histeretico de Degradación de la Rigidez**
- **Diagrama de la Resistencia de Tracción por Flexión.**
- **Diagrama de Desplazamientos máximos (LVDT 7)**
- **Diagrama de Desplazamientos máximos (LVDT 8)**
- **Diagrama de Lazo Histeretico de Fractura Diagonal (derecha)**
- **Diagrama de Lazo Histeretico de Fractura Diagonal (izquierda)**
- **Diagrama de Envoltente de Lazo Histeretico (8 fases)**
- **Diagrama de Lazo Histeretico Modulo de Corte.**

Presente.-

De mi consideración,

Por medio de la presente permítame saludarla y dar respuesta de los Ensayos mencionados.

Agradecemos su preferencia en la realización de los Ensayos, la cual ponemos a vuestra consideración. Para cualquier consulta, estamos a su disposición.

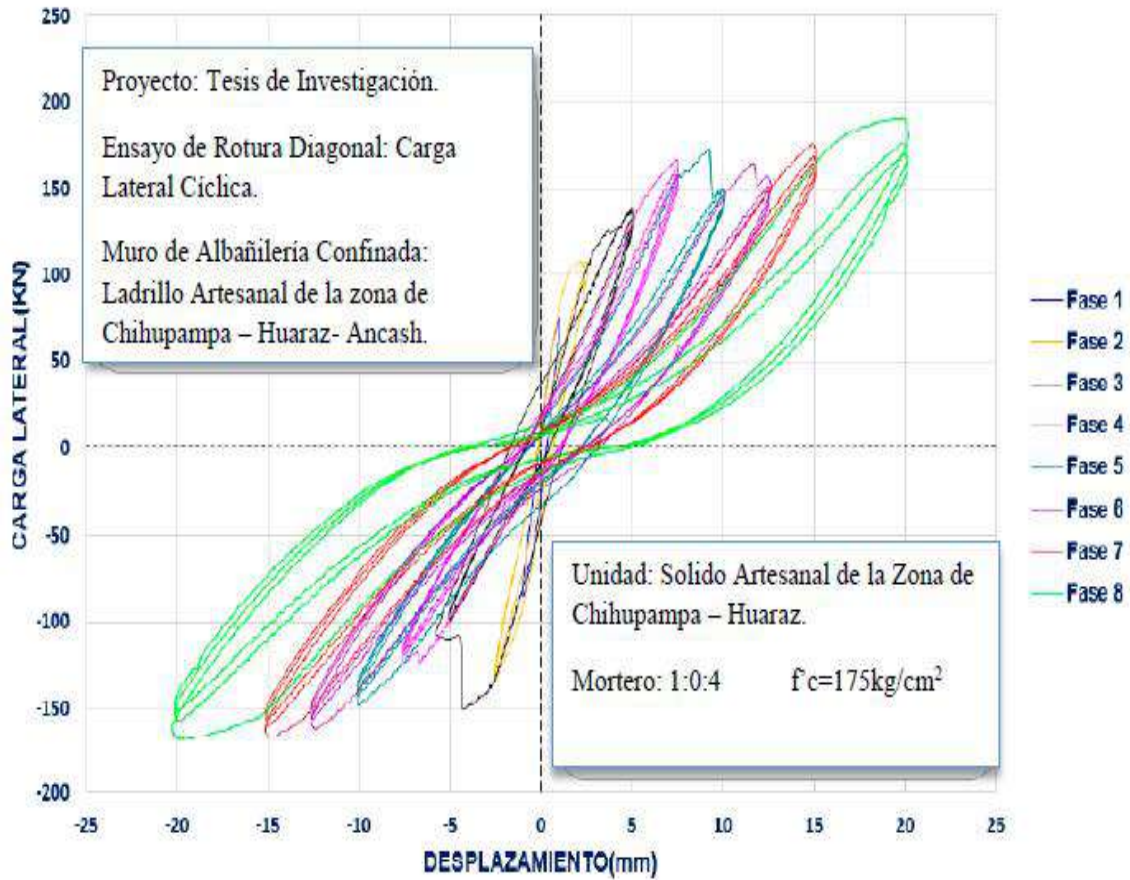
Sin otro particular, quedo de usted

Atentamente

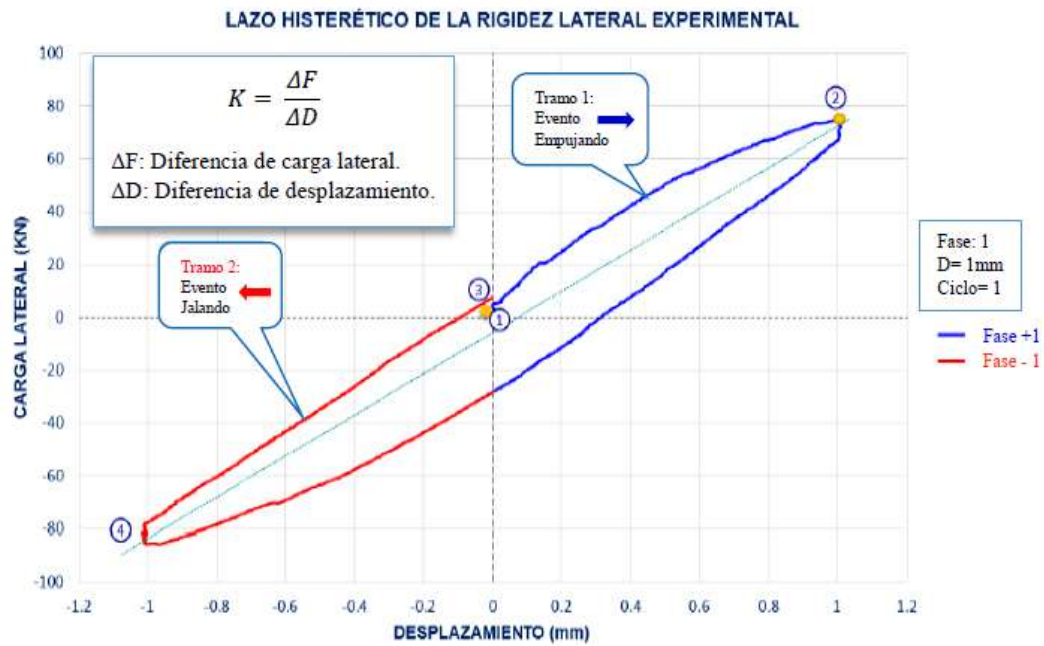


Mag. Ing. Jorge Gallardo Tapia
Jefe (e) de Laboratorio de
Estructuras
CISMID/FIC/UNI

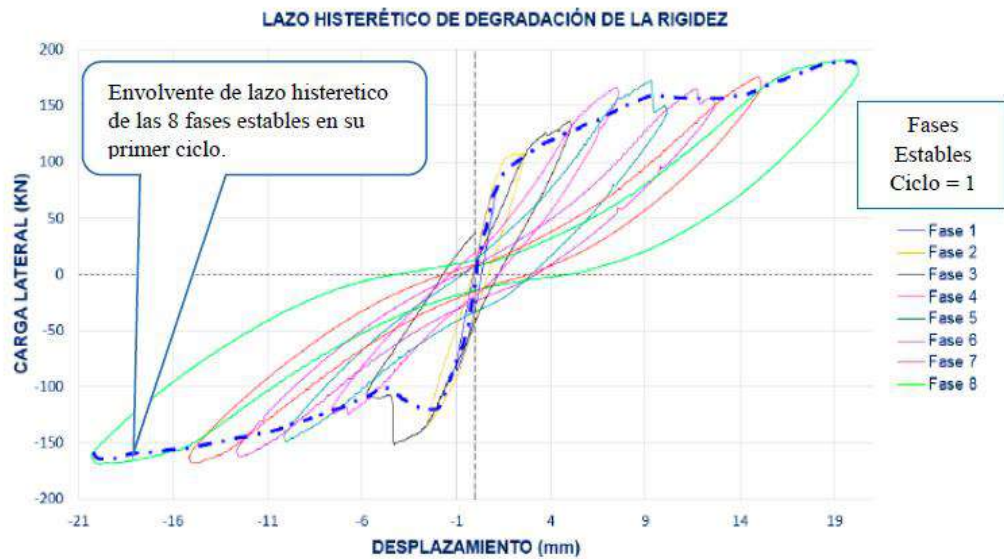
LAZOS HISTERETICOS DEL MURO CONFINADO



Información obtenida a partir del Sensor o LVDT (D1) del ensayo en el muro, de 8 fases y 3 ciclos correspondientemente.

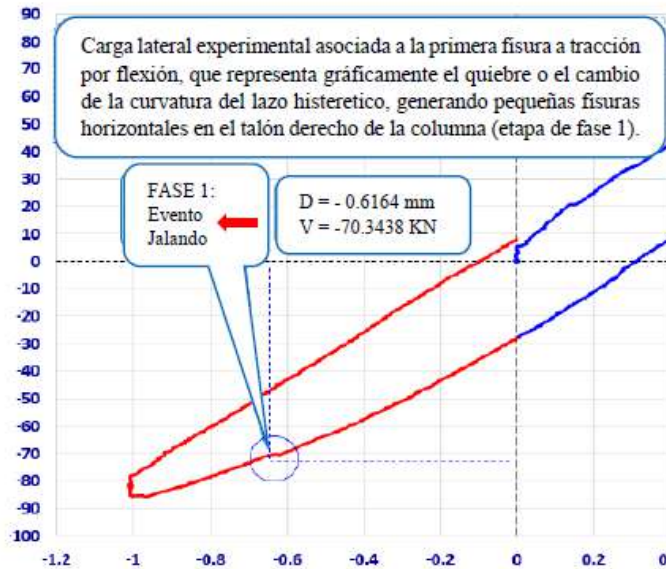


Determinación de la pendiente de Lazo Histeretico perteneciente al primer ciclo (más estable).
 Determinación promedio de la rigidez y degradación.



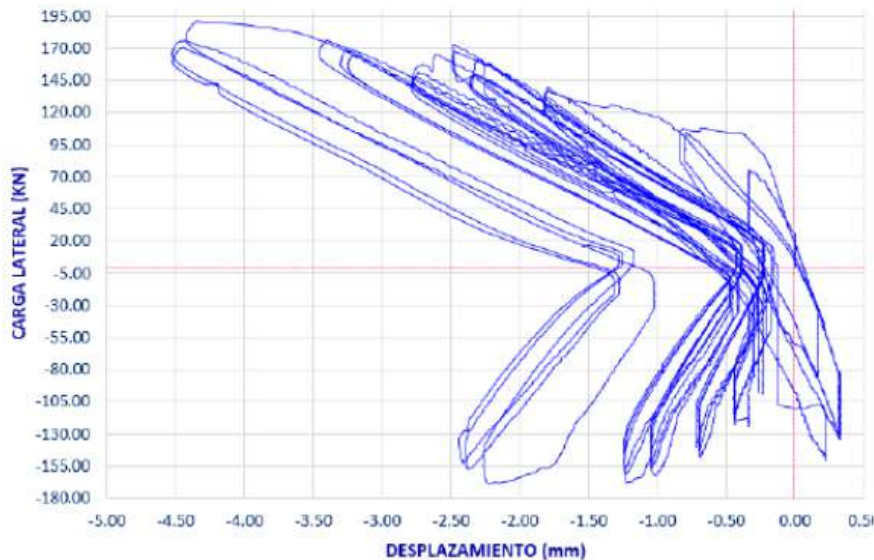
Envolvente de Lazo Histeretico que representa el comportamiento elástico del muro.

RESISTENCIA DE TRACCION POR FLEXION



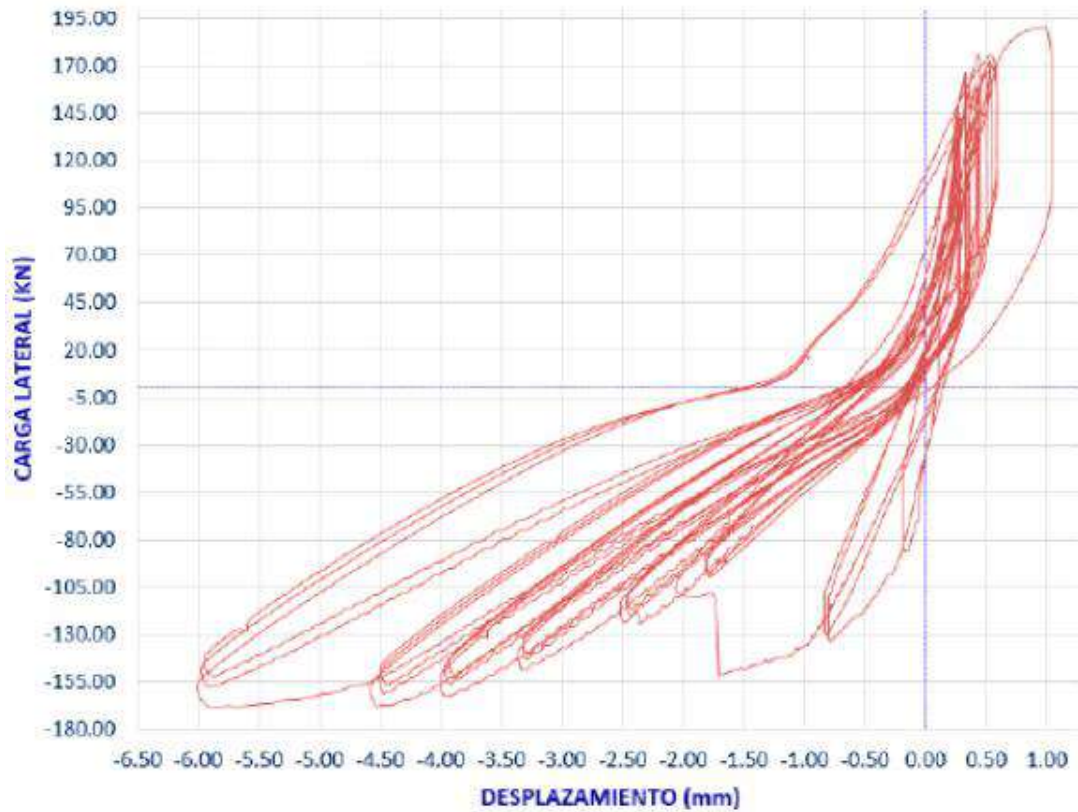
Fuerza Cortante Experimental $F = 70,34\text{KN}$ para un desplazamiento $D = 0,6164\text{mm}$.

DIAGRAMA DE DESPLAZAMIENTOS MÁXIMOS (LVDT 7)

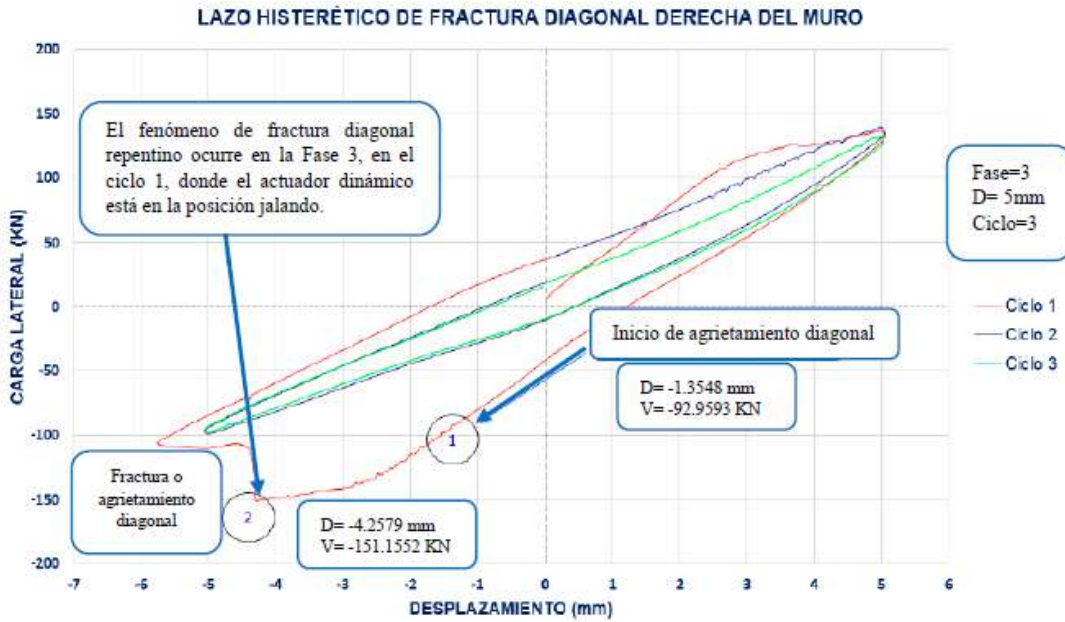


Fluencia alcanzada del refuerzo de las columnas de confinamiento igual a $V_f = 19,43 \text{ ton}$ de fuerza cortante maxima para un desplazamiento de $D = 19,98\text{mm}$.(fase8)

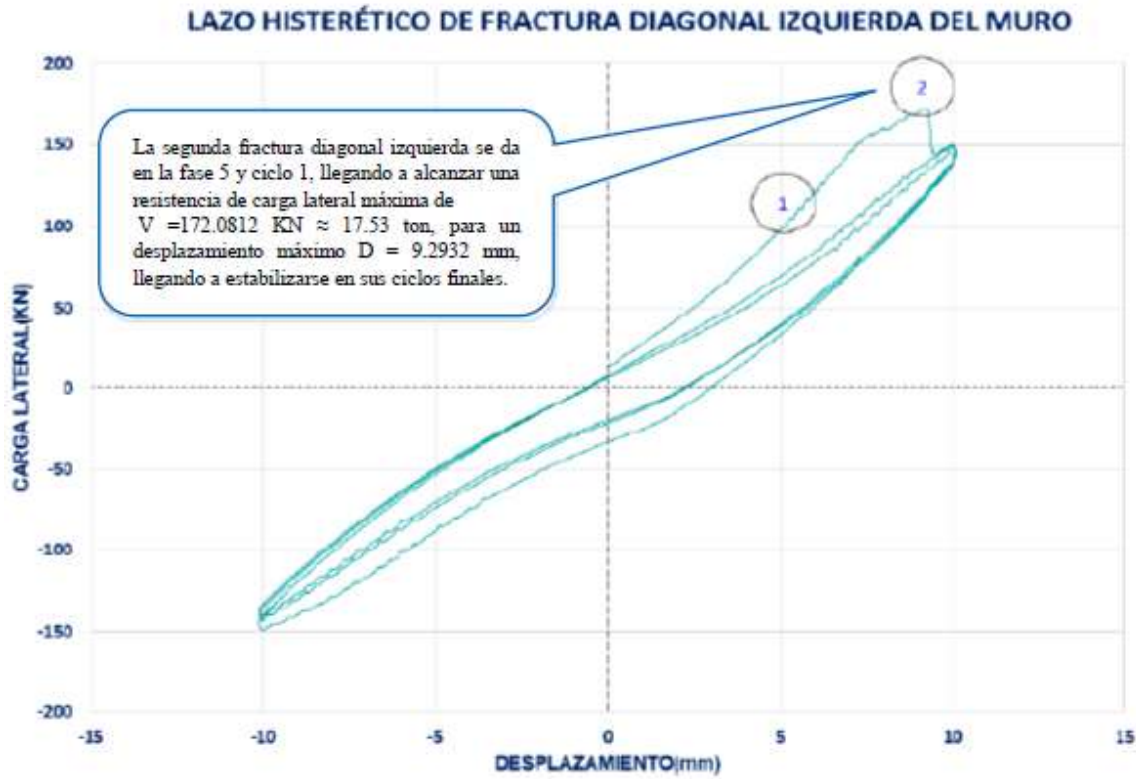
DIAGRAMA DE DESPLAZAMIENTOS MÁXIMOS (LVDT 8)



Deformación unitaria alcanzada $\epsilon = 0,0019926$

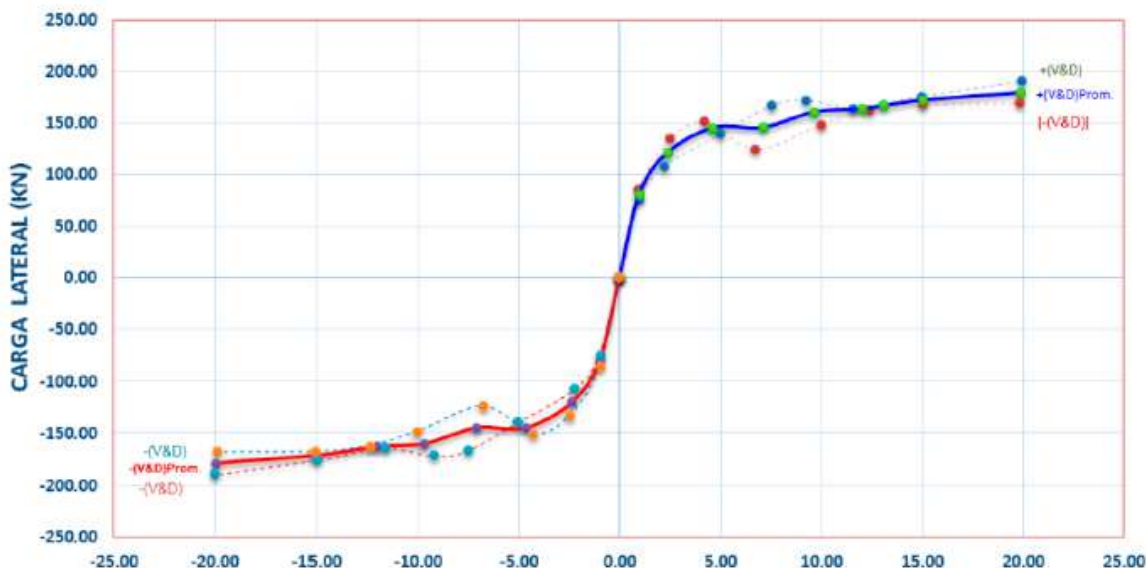


Fase 3, ciclo 1; Carga Lateral de Corte Maximo $v = -92.96 \text{ kN}$ para un desplazamiento $D = -1,3548 \text{ mm}$.



Fase 5, Ciclo 1; Carga Lateral de Corte Maxima $V = 172,08 \text{ KN}$ para un desplazamiento $D = 9,29 \text{ mm}$.

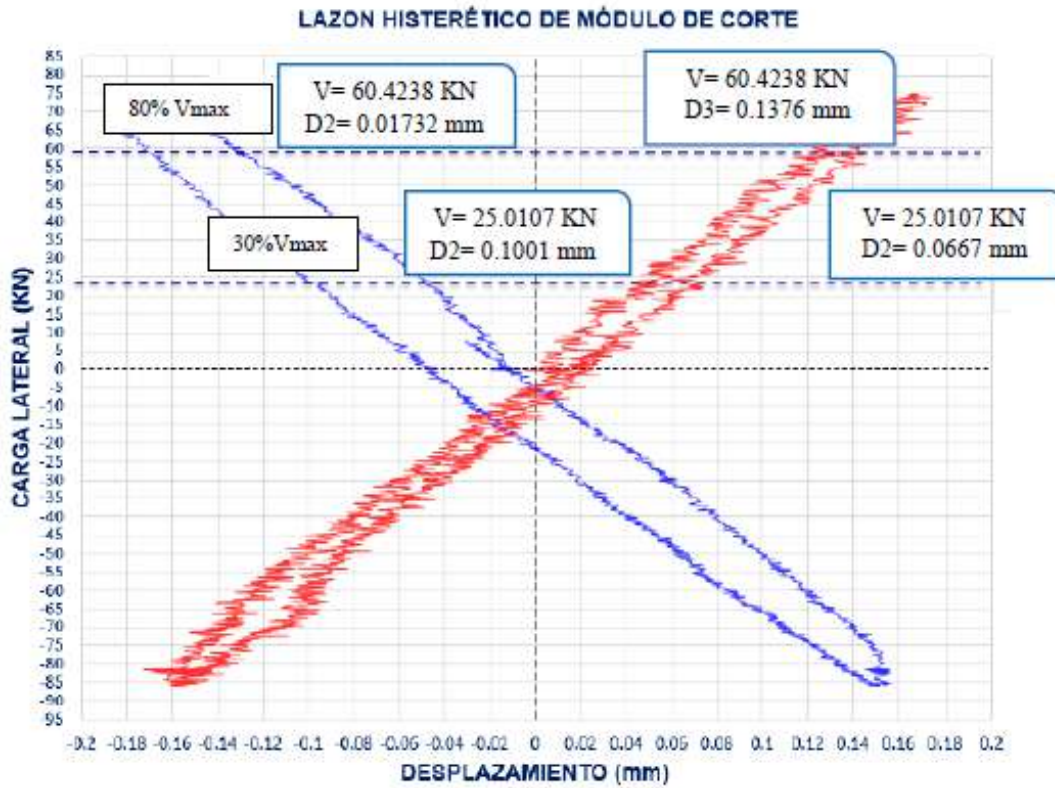
ENVOLVENTE DEL LAZO HISTERÉTICO DE LOS 8 FASES



Envolvente de lazos histeréticos estables del muro artesanal.

URO	D (mm)	Carga Lateral KN	Sensor D1 (mm)	Sensor D2 (mm)	Sensor D3 (mm)	Sensor D4 (mm)	Sensor D5 (mm)	Sensor D6 (mm)	Sensor D7 (mm)	Sensor D8 (mm)	Sensor D9 (mm)
Fase 1	1	74.9544	0.9962	-0.186	0.1665	-	0.089	-0.0234	-	0.1063	0.001
		-85.7782	-0.9662	0.1514	-0.1592	0.065	-	-0.0227	0.1544	-	0.0111
Fase 2.5	2.5	107.8669	2.2251	-0.769	0.3072	-	0.1777	-0.1801	-	0.3611	-
		-	-2.5061	0.2087	-0.3241	0.1506	-	-0.1052	0.3287	-	0.0142
Fase 5	5	139.3693	4.9954	-3.1265	0.4147	-	0.4337	-2.741	-	0.2565	0.0706
		-	-4.2579	0.2516	-0.3031	0.2652	-	-0.8463	0.226	-	0.3126
Fase 7.5	7.5	166.8389	7.5062	-4.3944	0.7298	-	0.6294	-3.626	-	0.3346	0.0618
		-	-6.7395	1.7057	-4.2598	0.5212	-	-4.2996	-	-	0.1217
Fase 10	10	172.2281	9.2152	-5.5617	0.9741	-0.869	0.7722	-4.7917	-	0.5291	0.0534
		-	-	3.5463	-7.1434	0.864	-	-8.0554	-	-3.323	0.1232
Fase 12.5	12.5	164.5352	11.6142	-8.2029	3.5082	-	0.9541	-7.7004	-	0.3191	0.0486
		-	-	4.5376	-9.1649	1.0479	-	-9.9278	-	-	0.122
Fase 15	15	175.9495	14.953	-	4.7835	-	1.1047	-9.3892	-3.405	0.4397	0.0515
		-	-	5.7798	-	1.2145	-	-	-	-	0.1252
Fase 20	20	190.4497	19.9806	-	6.4876	-	1.3925	-	-	0.9982	0.0469
		-168.521	-19.862	8.2066	-	1.497	-	-	-	-	0.1333

Los valores máximos registrados en el primer ciclo de cada fase del sensor D1.



Diagonales del Muro de Albalñería (sensores D1 y D2)

Mag. Ing. Jorge Gallardo Tapia
 Jefe (e) de Laboratorio de Estructuras
 CISMID/FIC/UNI

ANEXOS



Figura 24. Tendido de material arcilloso.



Figura 25. Selección de material gravoso para obtener una masa homogénea.



Figura 26. Obtención de la masa homogénea.



Figura 27. Pisado de la mezcla homogénea para hacerla más compacta.



Figura 28. El hidratado de la masa fue durante todo el proceso



Figura 29. Modelado de ladrillos de arcilla.



Figura 30. Rellenos de moldes.



Figura 31. Deposito en una superficie plana para su reposo.



Figura 32. Secado de ladrillos.



Figura 33. Horno hecho de arcilla.



Figura 34. Toma de muestra de las unidades de albañilería.



Figura 35.- Prueba de Variación Dimensional.



Figura 36.- Prueba de Alabeo.



Figura 37.- Preparación de capping.



Figura 38.- Secado en horno eléctrico y pesado de unidades.



Figura 39. Prueba de succión de unidad en 1 minuto.



Figura 40.- Ensayo de absorción, peso de la unidad saturado y sumergido.



Figura 41. Ensayo de absorción máxima saturado en ebullición de 5 horas



Figura 42. Peso saturado en ebullición y peso sumergido.



Figura 43.- Especímenes de mortero y Ensayo de compresión en cubos de mortero.

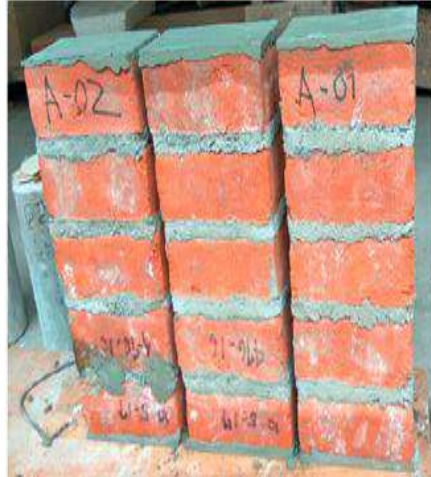


Figura 44.- Pilas con capping colocado.



Figura 45. Máquina de compresión y Sistema de adquisición de datos.

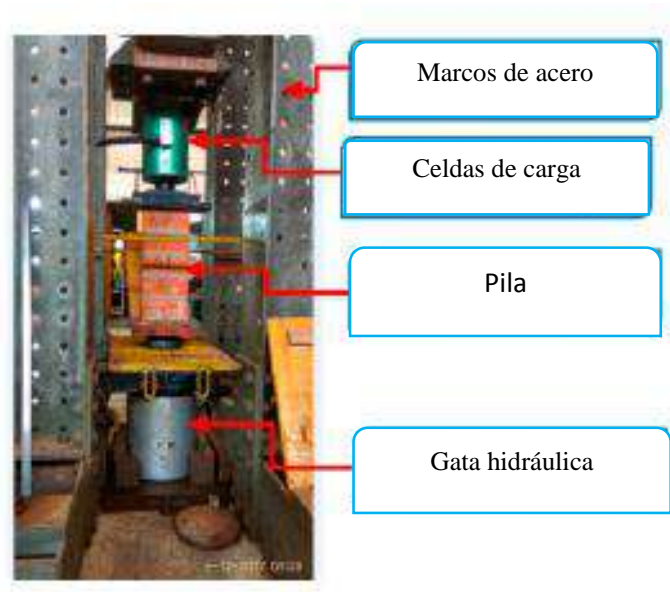


Figura 46.- Dispositivos de ensayo para pilas de albañilería.



Figura 47. Pilas de albañilería ensayadas.



Figura 48. Construcción de muretes.



Figura 49. Traslado, colocación y ensayo de muretes.

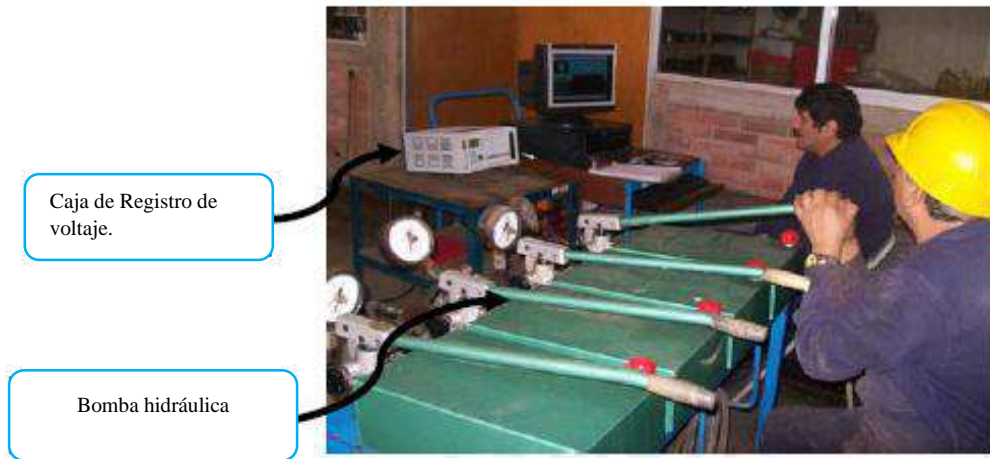


Figura 50. Caja de registro de voltaje y dispositivo para ejercer presión



Figura 51. Falla típica del murete 01



Figura 52. Falla típica del murete 02



Figura 53. Falla típica del murete 03



Figura 54. Habilitación del refuerzo y Encofrado de las Vigas de Cimentación



Figura 55. Habilitación y encofrado de Viga de Cimentación



Figura 56. Colocación Acero de Columnas y Vaciado en Viga de Cimentación.



Figura 57. Vibrado y Alisado de Concreto Fresco



Figura 58. Control de Probetas



Figura 59. Regado y colocación de escantillón de albañilería.



Figura 60. Control de verticalidad y primera jornada del muro.



Figura 61. Verificación de refuerzos, estribos y encofrado de las columnas



Figura 62.- Encofrado, vaciado, desencofrado de viga solera y muro listo para ser ensayado.



Figura 63.- Salinidad en el muro de albañilería, hechos con ladrillos artesanales de la zona de Chiupampa-Huaraz



Figura 64.- Transporte de muro a la nave de ensayo.



Figura 65.- Montaje e Instrumentación.



Figura 66.- Gata Hidráulica



Figura 67.- Actuador Hidráulico



Figura 68.- Gata Hidráulica



Figura 69.- Software para la adquisición de datos.



Figura 70.- Sensores en el muro de albañilería.



Figura 71: Grietometro para medir fisuras.



Figura 72.- Desplazamiento lateral de unidades en la mitad del muro.



Figura 73.- Acero de refuerzo vertical.