

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil

Tesis

**Influencia de mallas de polímero reforzado con
fibras de vidrio en las propiedades mecánicas en
muros de ladrillo tubular**

Elmer Castillo Ichpas

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Civil

Huancayo, 2025

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

A : Decano de la Facultad de Ingeniería
DE : Ángel Narcizo Aquino Fernández
Asesor de trabajo de investigación
ASUNTO : Remito resultado de evaluación de originalidad de trabajo de investigación
FECHA : 16 de Julio de 2025

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para informar que, en mi condición de asesor del trabajo de investigación:

Título:

Influencia de Mallas de Polímero Reforzado con Fibras de Vidrio en las Propiedades Mecánicas en Muros de Ladrillo Tubular

Autores:

1. Elmer Castillo Ichpas – EAP. Ingeniería Civil

Se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 19 % de similitud sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- Filtro de exclusión de bibliografía SI NO
- Filtro de exclusión de grupos de palabras menores
Nº de palabras excluidas (en caso de elegir "SI"): 20 SI NO
- Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante SI NO

En consecuencia, se determina que el trabajo de investigación constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad Continental.

Recae toda responsabilidad del contenido del trabajo de investigación sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos conducentes a Grados y Títulos – RENATI y en la normativa de la Universidad Continental.

Atentamente,

La firma del asesor obra en el archivo original
(No se muestra en este documento por estar expuesto a publicación)

AGRADECIMIENTO

A mi hermano Jhon Antoni, quien ahora está en la gloria de Dios, fue mi inspiración donde sus palabras y los pocos momentos vividos fueron la clave para perseverar mi sueño.

A mi hermano Saturnino y a su amada esposa Martha por su apoyo incondicional, quienes han depositado su confianza en mí, para poder alcanzar mi objetivo, con humildad, perseverancia y disciplina.

A mi hermano Efraín y esposa, por su respaldo afectivo, apoyo incondicional y por estar siempre presente en los momentos más desafiantes. Me habéis enseñado que el SEÑOR es quien otorga la verdadera sabiduría; de sus labios emana el conocimiento y la ciencia.

A mi hermano Edwin, por su ingenio, comprensión, apoyo y por cada inspiradora conversación filosófica. Donde me enseñó a valorar todo lo que tengo y ver al mundo de una manera más profunda.

A mi hermano Nilton y Calep, por los increíbles momentos que pasamos, desde el inicio de mi carrera hasta el final. Y no hay nada más hermoso y formidable verlos crecer.

A mi asesor, Ángel Narcizo Aquino Fernández, por su invaluable apoyo y sabiduría, que ha sido la clave en mi crecimiento personal como profesional.

Finalmente, quiero expresar mi más sincero aprecio a todos los docentes de la escuela académica profesional de ingeniería Civil de la Universidad Continental por la enseñanza y su dedicación que han dejado huellas en mi camino.

DEDICATORIA

A Dios profundamente por su amor inquebrantable y por la fuerza que me brinda cada día. En cada desafío y en cada logro, siento su guía y sabiduría. Asimismo, a mis queridos padres, cuyo amor y apoyo incondicional son el cimiento de mi determinación; su confianza en mí me inspira a seguir adelante.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTO	ii
DEDICATORIA.....	iii
RESUMEN.....	xiv
INTRODUCCIÓN	xv
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO.....	17
1.1. Planteamiento y formulación de problema.....	17
1.1.1. Planteamiento de problema.....	17
1.1.2. Formulación del problema	19
1.1.2.1. Problema general.....	19
1.1.2.2. Problemas Específicos.....	19
1.1.2.3. Delimitación del problema	19
1.2. Objetivos	20
1.2.1. Objetivos generales.....	20
1.2.2. Objetivos específicos	20
1.3. Justificación e importancia.....	20
1.3.1. Justificación social.....	21
1.3.2. Justificación teórica	21
1.3.3. Justificación económica.....	21
1.4. Limitaciones de la presente investigación.....	21
1.5. Hipótesis y descripción de variables	22
1.5.1. Hipótesis general	22
1.5.2. Hipótesis específico	22
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO.....	23
2.1. Antecedentes del problema	23
2.2.1. Antecedentes nacionales.....	23
2.2.2. Antecedentes internacionales	24

2.2.	Bases Teóricas.....	26
2.2.1.	Polímero reforzado con fibras de vidrio	26
2.2.1.1.	Aplicaciones del GFRP en la ingeniería civil	31
2.2.1.2.	Barras de polímero reforzado con fibras de vidrio.....	34
2.2.1.3.	Mallas de polímero reforzado con fibras de vidrio	36
2.2.2.	Conector.....	37
2.2.3.	Principales productores de ladrillo en Perú	38
2.2.3.1.	Influencia en la toma de decisiones.....	39
2.2.4.	Aspectos generales de la albañilería	40
2.2.4.1.	Clasificación de la albañilería por su función estructural	41
2.2.4.2.	Clase de unidad de albañilería para fines estructurales.....	42
2.2.4.3.	Tipos de unidad de albañilería	44
2.2.4.4.	Limitaciones del uso de unidades de albañilería.....	45
2.2.4.5.	Mortero para muros portantes	46
2.2.4.6.	Mortero para tarrajeo.....	53
2.2.4.7.	Resistencia característica de la albañilería.....	55
2.2.3.7.1.	Resistencia a la compresión axial en pilas	56
2.2.3.7.2.	Resistencia a la compresión diagonal en muretes	64
2.2.5.	Análisis y precios unitarios.....	72
CAPÍTULO III METODOLOGÍA		75
3.1.	Método, y alcance de investigación	75
3.1.1.	Método de investigación.....	75
3.1.2.	Tipo de investigación.....	75
3.1.3.	Nivel de investigación	75
3.2.	Diseño de la investigación.....	76
3.3.	Población y muestra	76
3.3.1.	Población	76

3.3.2.	Muestra	76
3.3.3.	Muestreo	77
3.3.3.1.	Muestreo no probabilístico	77
3.4.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	77
3.4.1.	Técnica de recolección de datos	77
3.4.2.	Instrumento de recolección de datos	77
CAPÍTULO IV RESULTADO Y DISCUSIÓN		78
4.1.	Resultados de ensayo	78
4.1.1.	Ensayo de compresión axial de pilas.....	78
4.1.2.	Ensayo de compresión diagonal de muretes.....	80
4.1.3.	Análisis de precios unitarios.....	83
4.2.	Prueba de hipótesis.....	83
4.2.1.	Prueba de hipótesis del ensayo de compresión axial de pilas.....	84
4.2.2.	Prueba de hipótesis del ensayo de compresión diagonal de muretes	87
4.3.	Discusión de resultados	90
4.3.1.	Ensayo de compresión axial de pilas.....	90
4.3.2.	Ensayo de compresión diagonal de muretes.....	91
4.3.3.	Costo y beneficio	92
CAPÍTULO V CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES.....		93
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		97
ANEXOS.....		101

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Breve resumen de las propiedades de fibras de vidrio.....	29
Tabla 2. Ventajas y desventajas de fibras de vidrio.....	29
Tabla 3. Breve resumen de las propiedades de la resina epoxi.....	31
Tabla 4. Ventajas y desventajas de resina epoxi.....	31
Tabla 5. Polímero reforzado con fibras de vidrio y acero corrugado.....	35
Tabla 6. Manipulación y transporte.....	36
Tabla 7. Propiedades mecánicas de barra de GFRP.....	36
Tabla 8. Propiedades mecánicas de malla de GFRP.....	37
Tabla 9. Propiedades mecánicas de barra de acero ASTM A615 grado 60 SIDER Perú.....	38
Tabla 10. Muros portantes.....	41
Tabla 11. Clase de unidad de albañilería para fines estructurales.....	43
Tabla 12. Características generales de ladrillo pandereta.....	45
Tabla 13. Propiedades generales del ladrillo pandereta.....	45
Tabla 14. Limitaciones en el uso de la unidad de albañilería para fines estructurales.....	46
Tabla 15. Proporción del mortero para asentado de ladrillo según su uso.....	47
Tabla 16. Propiedades mecánicas y químicas del Cemento Portland Andino.....	51
Tabla 17. Análisis granulométrico de arena gruesa según la NTP e.070, 2006.....	52
Tabla 18. Límites Permisibles para agua de mezcla y de curado según la norma ITINTEC 339.088.....	53
Tabla 19. Dosificación de mortero para el tarrajeo.....	54
Tabla 20. Resistencias características de la albañilería.....	55
Tabla 21. Incremento de f'_m y v'_m por edad.....	55
Tabla 22. Factores de corrección de f'_m por esbeltez.....	58
Tabla 23. Procedimiento para la elaboración de pilas no reforzadas.....	59
Tabla 24. Procedimiento para la elaboración de pilas reforzadas.....	60
Tabla 25. Procedimiento para la construcción de muretes no reforzadas.....	67
Tabla 26. Procedimiento para la elaboración de muretes reforzadas.....	69
Tabla 27. Cantidad de muestra.....	76
Tabla 28. Resultados de ensayo de compresión axial de pilas sin refuerzo.....	78
Tabla 29. Resultados de ensayo de compresión axial de pila con refuerzo.....	79
Tabla 30. Resultados de ensayo de compresión diagonal de muretes sin refuerzo.....	81
Tabla 31. Resultados de ensayo de compresión diagonal de muretes con refuerzo.....	82
Tabla 32. Compresión axial de pilas.....	84
Tabla 33. Pruebas de normalidad de compresión axial de pilas.....	84
Tabla 34. Interpretación de la prueba de normalidad de compresión axial de pilas.....	85
Tabla 35. Estadística de grupos de compresión axial de pilas.....	85

Tabla 36. Prueba de muestras independientes de compresión axial de pilas.	86
Tabla 37. Interpretación de prueba de Levene de igualdad de varianza de compresión axial de pilas.	86
Tabla 38. Interpretación de Prueba T de Student para la igualdad de medias de compresión axial de pilas.	87
Tabla 39. Compresión diagonal de muretes.	88
Tabla 40. Pruebas de normalidad de compresión diagonal de muretes.	88
Tabla 41. Interpretación de pruebas de normalidad de compresión diagonal de muretes.	88
Tabla 42. Estadística de grupo de compresión diagonal de muretes.	89
Tabla 43. Prueba de muestras independientes de compresión diagonal de muretes.	89
Tabla 44. Interpretación de prueba de Levene de igualdad de varianza de compresión diagonal de muretes.	89
Tabla 45. Interpretación de Prueba T de Student para la igualdad de medias de compresión diagonal de muretes.	90

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Edificaciones construidas con ladrillos pandereta presentan un riesgo significativo para su estabilidad estructural.....	18
Figura 2. Ilustración esquemática de la estructura de un material compuesto.....	27
Figura 3. Vista microscópica de fibras de vidrio.....	29
Figura 4. Resina Epoxi Autonivelante.....	30
Figura 5. Colocación de barras de PRFV en el carril central de la autopista 40.....	32
Figura 6. Puente atirantado sobre el río Nipigon.....	33
Figura 7. (a) Estacionamiento La Chanceliere en Quebec, Canadá, (b) Acero corroído en la losa del estacionamiento, (c) Refuerzo con GFRP en la losa, (d) Vaciado de piso.....	34
Figura 8. Paneles de concreto prefabricado para el canal del puerto de Dibba en Emiratos Árabes Unidos.....	34
Figura 9. Malla GFRP de calibre # 10 con una cocada de 2 pulgadas.....	37
Figura 10. Conector con barras de acero ASTM A615 grado 60.....	38
Figura 11. Principales productores de ladrillo en Perú.....	39
Figura 12. Actores clave en el proceso de selección y adquisición de materiales de construcción.....	40
Figura 13. Tiempo de vida funcional estimado de la edificación.....	41
Figura 14. Ladrillo pandereta PIRÁMIDE.....	44
Figura 15. Materiales para realizar mortero de muros portantes en una proporción de 1:4.....	47
Figura 16. Mecánica de adhesión de mortero.....	49
Figura 17. Probetas cúbicas de mortero, cada una con 5 cm de lado, se curaron durante 28 días en un baño de agua.....	50
Figura 18. Arena gruesa del río Mantaro - Jauja.....	52
Figura 19. Pila para prueba en compresión.....	56
Figura 20. Falla ideal de pila.....	57
Figura 21. Trituración de ladrillos huecos.....	57
Figura 22. Pilas de albañilería tubular sin reforzada.....	58
Figura 23. Pilas de albañilería tubular con refuerzo.....	60
Figura 24. Fallas observadas en la PL-1.....	62
Figura 25. Fallas observadas en la PL-2 y PL-3.....	63
Figura 26. Descripción de las fallas observadas en la PR-1.....	64
Figura 27. Descripción de las fallas observadas en la PR-2.....	64
Figura 28. Similitudes entre el modo de falla observado en el ensayo de compresión diagonal y el comportamiento estructural durante un sismo.....	65
Figura 29. Muretes de albañilería tubular sin reforzada.....	66
Figura 30. Muretes de albañilería tubular con refuerzo.....	68

Figura 31. Descripción de las fallas observadas en la M-1	70
Figura 32. Descripción de las fallas observadas en la M-2.....	71
Figura 33. Descripción de las fallas observadas en la MR-2	72
Figura 34. Descripción de las fallas observadas en la MR-3	72
Figura 35. Análisis de precio unitario de tarrajeo interior de pared de una proporción de 1:5 con un espesor de 1.5 cm.....	73
Figura 36. Análisis de precio unitario de la instalación de mallas de GFRP en la pared.....	73
Figura 37. Análisis de precio unitario de tarrajeo interior de pared con mallas de GFRP, proporción 1:4 y un espesor de 2.5 cm.	74
Figura 38. Resultados de ensayo de compresión axial de pila sin refuerzo	78
Figura 39. Resultados de ensayo de compresión axial de pila con refuerzo.....	80
Figura 40. Resultados de ensayo de compresión diagonal de muretes sin refuerzo	81
Figura 41. Resultados de ensayo de compresión diagonal de muretes con refuerzo.	82
Figura 42. Resumen de Análisis de precios unitarios	83
Figura 43. Charla en SENCICO, relación carga y deformación de elementos reforzados con barras de GFRP y con barras de acero, obtenida en los ensayos realizados en el laboratorio de la UNI por el Mg. Ing. Civil Mikhail Dmitrusenko	101
Figura 44. Charla técnica en SENCICO por el Mg. Ing. Civil Mikhail Dmitrusenko sobre los usos de la malla GFRP en países desarrollados	101
Figura 45. Matriz de consistencia	102
Figura 46. Matriz de operacionalización de variables	103
Figura 47. Ficha Técnica de barras GFRP	104
Figura 48. Ficha Técnica de mallas GFRP	105
Figura 49. Ficha Técnica de Cemento Andino	107
Figura 50. Ficha técnica de ladrillo pandereta, propiedades físicas.....	109
Figura 51. Certificado de ensayo de compresión axial de pilas sin refuerzo	110
Figura 52. Certificado de ensayo de compresión axial de pilas con refuerzo.....	111
Figura 53. Certificado de ensayo de compresión diagonal en muretes sin refuerzo	112
Figura 54. Certificado de ensayo de compresión diagonal en muretes con refuerzo.....	113
Figura 55. Certificado de ensayo compresión de especímenes cubos de mortero.	114
Figura 56. Certificado de ensayo análisis granulométrico de agregado fino para tarrajeo. ...	115
Figura 57. Certificado de calibración de la prensa hidráulica.....	116
Figura 58. Certificado de ensayo de resistencia de compresión de ladrillo pandereta.....	117
Figura 59. Certificado de ensayo análisis granulométrico de agregado fino para mortero de asentado de ladrillo	118
Figura 60. Certificado de ensayo análisis granulométrico de agregado fino para mortero de asentado de ladrillo - Materia orgánica.....	119

Figura 61. Certificado de ensayo análisis granulométrico de agregado fino para mortero de asentado de ladrillo - Comentario.....	120
Figura 62. Certificado de calibración del equipo de compresión empleado en los ensayos de laboratorio.....	121
Figura 63. Charla presencial en SENCICO - Huancayo con Mg. de ing. Civil Mikhail Dmitrusenko.....	122
Figura 64. Compra de materiales para realizar muretes y pilas.....	123
Figura 65. Compra de mallas de polímero reforzado con fibras de vidrio.....	123
Figura 66. Boleta de pago de mallas de polímero reforzado con fibras de vidrio por ml.....	124
Figura 67. Compra de arena gruesa y arena fina para la preparación de morteros utilizados en la construcción de pilas y muretes.	125
Figura 68. Compra de ladrillos tubulares en Sodimac para la construcción de pilas y muretes utilizados en los ensayos experimentales.....	125
Figura 69. Cotización de productos y materiales necesarios para la construcción de muestras.....	126
Figura 70. Colocación de capping a las unidades de ladrillo para garantizar una adecuada distribución de la carga.....	127
Figura 71. Ensayo de compresión de la muestra de ladrillo N.º 1.	127
Figura 72. Ensayo de compresión de la muestra de ladrillo N.º 2.	128
Figura 73. Ensayo de compresión de la muestra de ladrillo N.º 3.	128
Figura 74. Ensayo de compresión de la muestra de ladrillo N.º 4.	129
Figura 75. Ensayo de compresión de la muestra de ladrillo N.º 5.	129
Figura 76. Fallas típicas presentadas durante el ensayo de compresión de ladrillo tubular...	130
Figura 77. Mojar ladrillos tubulares antes del asentado con mortero.....	130
Figura 78. Ambiente preparado con materiales y herramientas listos para el asentado de pilas y muretes.....	131
Figura 79. Preparación del mortero para el asentado de ladrillos de pilas y muretes..	131
Figura 80. Asentamiento y nivelación de las primeras hiladas de ladrillos para garantizar la estabilidad y la transmisión uniforme de cargas en la pila.....	132
Figura 81. Detalle de la fase final de asentamiento y nivelación de la hilada de ladrillos, para una transmisión óptima de cargas en la pila de ladrillo tubular.....	132
Figura 82. Detalle final de todas las pilas.....	133
Figura 83. Tarrajeo de las pilas con mortero, asegurando un recubrimiento uniforme.	133
Figura 84. Colocación de la malla de polímero reforzado con fibras de vidrio (GFRP) en la pila.....	134
Figura 85. Pila de albañilería tubular con tarrajeo.....	134

Figura 86. Base de madera empleada para la construcción de muretes de ladrillo tubular durante la fase experimental	135
Figura 87. Colocación del mortero durante el proceso de asentado en murete.....	135
Figura 88. Colocación del ladrillo durante el proceso de asentado en murete.....	136
Figura 89. Total de pilas y muretes elaborados para la investigación	136
Figura 90. Colocación de reglas de aluminio para establecer las guías de nivel durante el inicio del tarrajeo de muretes	137
Figura 91. Lechada de cemento sobre la superficie del murete para asegurar una correcta adherencia entre el murete y el mortero de tarrajeo.....	137
Figura 92. Lechada de cemento sobre la superficie del murete con GFRP para asegurar una correcta adherencia entre el murete y el mortero de tarrajeo	138
Figura 93. Tarrajeo de la superficie del murete mediante la aplicación de mortero, asegurando un acabado uniforme y adecuada protección del muro.....	138
Figura 94. Murete de albañilería tubular con tarrajeo.....	139
Figura 95. Probetas cúbicas de mortero para asentado de ladrillo de 5 cm de lado.....	139
Figura 96. Muestras protegidas con manta acústica para transportar hasta la ciudad de Lima.	140
Figura 97. Carga de las muestras (pilas y muretes) al camión para su traslado al laboratorio de ensayos.....	140
Figura 98. Muestras en un camión de carga en la ciudad de Huancayo.	141
Figura 99. Llegada de muestras al laboratorio GEOCONTROL PERÚ-Lima.	141
Figura 100. Contenido de humedad de agregado fino para tarrajeo.	142
Figura 101. Granulometría de agregado fino para tarrajeo	142
Figura 102. Rotura de morteros para asentado de ladrillo.	143
Figura 103. Ensayo de compresión de pila sin refuerzo (PL-1) en Laboratorio GEOCONTROL PERÚ-Lima.	143
Figura 104. Ensayo de compresión de pila sin refuerzo (PL-2) en Laboratorio GEOCONTROL PERÚ-Lima	144
Figura 105. Ensayo de compresión de pila sin refuerzo (PL-3) en Laboratorio GEOCONTROL PERÚ-Lima	144
Figura 106. Ensayo de compresión de pila con refuerzo (PR-1) en Laboratorio GEOCONTROL PERÚ-Lima	145
Figura 107. Ensayo de compresión de pila con refuerzo (PR-2) en Laboratorio GEOCONTROL PERÚ-Lima	145
Figura 108. Ensayo de compresión de pila con refuerzo (PR-3) en Laboratorio GEOCONTROL PERÚ-Lima	146

Figura 109. Ensayo de compresión diagonal en murete sin refuerzo (M-1) en Laboratorio GEOCONTROL PERÚ-Lima.	146
Figura 110. Ensayo de compresión diagonal en murete sin refuerzo (M-2) en Laboratorio GEOCONTROL PERÚ-Lima.	147
Figura 111. Ensayo de compresión diagonal en murete sin refuerzo (M-3) en Laboratorio GEOCONTROL PERÚ-Lima.	147
Figura 112. Ensayo de compresión diagonal en muretes con refuerzo (MR-1 y MR-2) en Laboratorio GEOCONTROL PERÚ-Lima.....	148
Figura 113. Ensayo de compresión diagonal en muretes con refuerzo (MR-3) en Laboratorio GEOCONTROL PERÚ-Lima.	148

RESUMEN

La presente investigación tuvo por objetivo evaluar la influencia de la malla de polímero reforzado con fibras de vidrio en las propiedades mecánicas en muros de ladrillo tubular. Donde el estudio tuvo un enfoque cuantitativo, tipo de investigación aplicada, nivel explicativo y diseño cuasi experimental. La población fue muros portantes hechas con ladrillo tubular y la muestra fue tres pilas y tres muretes. El procedimiento radicó en realizar tres pilas y tres muretes, con y sin refuerzo, considerando el uso de malla de polímero reforzado con fibras de vidrio de 5 cm de cocada, las cuales fueron aplicadas a ensayos de compresión axial de pila, que miden la capacidad de carga vertical y al ensayo de compresión diagonal de murete, que simula la fuerza cortante. Los resultados obtenidos del ensayo, la resistencia de compresión axial de pilas sin refuerzo fue 34.37 kgf/cm^2 y con refuerzo 47.51 kgf/cm^2 , donde hubo un aumento de 38.2 %. Asimismo, la resistencia de compresión diagonal de murete sin refuerzo fue 8.85 kgf/cm^2 y con refuerzo 13.07 kgf/cm^2 , incrementando en 47.7 % en comparación con el ensayo sin refuerzo.

Palabras claves: Muros portantes, reforzamiento de muros, ladrillo tubular, polímero, fibra de vidrio, resistencia.

INTRODUCCIÓN

En la presente investigación examinaré un método novedoso para reforzar muros de ladrillo tubular con malla de GFRP (Polímero Reforzado con Fibra de Vidrio). Con el propósito de mejorar las propiedades mecánicas en muros de ladrillo tubular, la cual se someterá a análisis experimental mediante rigurosos ensayos de compresión diagonal de muretes, que simulan fuerzas cortantes, y ensayos de compresión axial de pilas, que miden la capacidad de carga vertical. Ambos tipos de pruebas permitirán verificar el desempeño mejorado del sistema de refuerzo frente a diferentes condiciones de esfuerzo. Asimismo, se evaluará el costo y beneficio.

Este estudio se fundamentará en la realidad de nuestro país, especialmente nuestra ciudad, donde está experimentando un constante crecimiento en el sector de la construcción. Sin embargo, uno de los desafíos más persistentes desde los tiempos antiguos hasta la actualidad es el elevado número de construcciones informales. Esto demuestra que tanto el público en general, como los constructores desconocen las normas que rigen la construcción de edificios. Como consecuencia, esta problemática se fue intensificando cada día más con el paso del tiempo.

El uso inadecuado de los ladrillos tubulares, especialmente en los muros portantes de las diversas edificaciones situadas en zonas de alta sismicidad, pone en grave peligro la vida de quienes la habitan. Este tipo de material, al no estar diseñado para soportar cargas estructurales ni resistir los efectos de un sismo, incrementa significativamente el riesgo de colapso ante un terremoto, exponiendo en alto riesgo que cause muchas pérdidas de vidas humanas y propiedades. En general, las víctimas de vidas humanas en terremotos ocurren debido al colapso de edificios y viviendas no diseñadas. Por lo expuesto, actualmente se buscan nuevos métodos que permitirán mejorar las propiedades mecánicas en muros de ladrillo tubular. Uno de estos métodos es el reforzamiento de muros portantes con ladrillo tubular mediante la aplicación de malla de GFRP (Polímero Reforzado con Fibra de Vidrio), cuya aplicación es muy reciente, dado que su eficacia se ha demostrado en numerosos países de todo el mundo, por ejemplo: Alemania, Japón, Canadá, Inglaterra, Suiza, Australia, Estados Unidos, y etc.

De modo que, esta tesis se divide en cuatro capítulos.

Capítulo I – Planteamiento del estudio: En el capítulo I abordaremos la problemática del estudio, formulación del problema, objetivos, justificación e importancia, hipótesis y la descripción de las variables.

Capítulo II – Marco teórico: Para el presente capítulo se formulan los antecedentes internacionales y nacionales, y las bases teóricas.

Capítulo III – Metodología: Se desarrolla la metodología de la investigación, la cual incluye el procedimiento, el método, el tipo, el nivel, el diseño, así como la población y la muestra.

Capítulo IV – Resultados y discusión: Este capítulo contempla de forma detallada los resultados obtenidos en el laboratorio, acompañados de su respectivo análisis, una evaluación crítica y la interpretación comparativa de los mismos.

Capítulo V – Conclusión y recomendación: Y, por último, dentro de este capítulo se detallan las conclusiones obtenidas y las sugerencias basadas en lo que se descubrió en este estudio.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento y formulación de problema

1.1.1. Planteamiento de problema

A nivel mundial, más de mil millones de personas viven en asentamientos informales. Además, se calcula que entre el 30% y el 70% de las viviendas en zonas urbanas de países en desarrollo han sido construidas de forma informal o por los propios residentes (ONU-HABITAT, 2022).

En América Latina, cerca de un tercio de las viviendas son producto de la autoconstrucción. Esta situación ha dado lugar a un desarrollo urbano sin planificación adecuada, caracterizado por la fragmentación del territorio y una distribución desigual de los servicios básicos entre las distintas áreas de las ciudades (Vergara et.,2022).

En México siguió patrones de construcción similares al de Perú, donde la albañilería se convirtió en el método de construcción dominante, sobre todo en las viviendas autoconstruidas. Sin embargo, la generalización de la problemática en la construcción sin supervisión técnica ha dado lugar a entornos urbanos con bajos estándares de seguridad estructural (Espinoza & Bazalar, 2021).

En el Perú, la construcción de viviendas ha enfrentado desafíos persistentes, entre ellos el uso inadecuado de ladrillos tubulares no autorizados en muros portantes, especialmente en zonas sísmicas. El presidente de la Cámara Peruana de la Construcción (CAPECO), Enrique Espinoza, expresó su profunda preocupación por el hecho de que el setenta por ciento de las viviendas en Lima fueron construidas de manera informal, sin cumplir con los parámetros establecidos por la norma técnica peruana (Wilfredo, 2017).



Figura 1. Edificaciones construidas con ladrillos pandereta presentan un riesgo significativo para su estabilidad estructural. Fuente: El Comercio, 2017.

Asimismo, Huancayo cuenta con un mayor número de construcciones informales, lo que afecta el orden urbano y la calidad de vida. Se ha evidenciado que los errores constructivos están estrechamente relacionados con la mano de obra no calificada, debido al desconocimiento de la normativa vigente tanto por parte de la población como de los constructores (Cutisaca, 2020).

Esta problemática se presenta porque la mayoría de las edificaciones están construidos con ladrillos tubulares en los muros portantes, ya que presentan una baja resistencia característica a compresión, porque no están hechos para soportar las cargas verticales ni las fuerzas laterales que un sismo puede generar. Asimismo, las viviendas carecen de licencia de construcción, ya que fueron construidas sin la participación de los profesionales (Wilfredo, 2017).

De no considerar esta investigación, se pondría poner en grave peligro la vida de los habitantes, ya que las estructuras se volverían más vulnerables a fallar, lo que incrementaría la posibilidad de aparición de grietas y el colapso en caso de desastres naturales como el terremoto. Esta falta de atención a las mejoras constructivas podría resultar en consecuencias devastadoras.

En este estudio se dará como aporte la implementación de malla de GFRP (Polímero Reforzado con Fibra de Vidrio) en muros portantes hechas con ladrillo pandereta, proporcionando una mayor resistencia estructural y la mejora de la capacidad de los muros para soportar cargas verticales y laterales.

Además, la combinación de estos materiales no solo optimiza la durabilidad de las edificaciones, sino que también contribuye a la seguridad de los ocupantes.

1.1.2. Formulación del problema

1.1.2.1. Problema general

¿De qué manera influye la malla de polímero reforzado con fibras de vidrio en las propiedades mecánicas en muros de ladrillo tubular?

1.1.2.2. Problemas Específicos

- ¿Cuáles serían los resultados de la malla de polímero reforzado con fibras de vidrio en las propiedades mecánicas en muros de ladrillo tubular sujetas al ensayo de compresión axial de pilas?
- ¿Cuáles serían los resultados de la malla de polímero reforzado con fibras de vidrio en las propiedades mecánicas en muros de ladrillo tubular sujetas al ensayo de compresión diagonal de muretes?
- ¿En qué medida favorece en costo y beneficio de la implementación de mallas de polímero reforzado con fibras de vidrio en muros de ladrillo tubular?

1.1.2.3. Delimitación del problema

a) Delimitación espacial

La investigación se llevará a cabo en la región central del Perú, y su alrededor, para edificios que están hechas con ladrillos tubulares en los muros portantes. Se considerará las normativas establecidas en el Reglamento Nacional de Edificaciones.

b) Delimitación disciplinar

El estudio se sitúa dentro del campo de la ingeniería civil y la tecnología de materiales, con un enfoque específico en el análisis de las propiedades mecánicas de los muros de ladrillo tubular, evaluando cómo la incorporación de malla GFRP (Polímero Reforzado con Fibras de Vidrio) influye en dichas propiedades.

c) Delimitación del alcance

El estudio se enfoca en evaluar la influencia de malla de polímero reforzado con fibras de vidrio (GFRP) en las propiedades mecánicas en muros de ladrillo tubular en el ámbito de la construcción de edificios. Donde el análisis se llevará a cabo en condiciones controladas en laboratorio, utilizando muestras representativas con y sin refuerzo.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivos generales

Determinar la influencia de la malla de polímero reforzado con fibras de vidrio en las propiedades mecánicas en muros de ladrillo tubular.

1.2.2. Objetivos específicos

- Demostrar la influencia de la malla de polímero reforzado con fibras de vidrio en las propiedades mecánicas en muros de ladrillo tubular sujetas al ensayo de compresión axial de pilas.
- Examinar la influencia de la malla de polímero reforzado con fibras de vidrio en las propiedades mecánicas en muros de ladrillo tubular sujetas al ensayo de compresión diagonal en muretes.
- Evaluar el costo y beneficio de la implementación de la malla de polímero reforzado con fibras de vidrio en muros de ladrillo tubular.

1.3. Justificación e importancia

En un país como el Perú, con alta sismicidad, asegurar la estabilidad estructural de las edificaciones es una necesidad urgente, sobre todo frente al creciente número de viviendas construidas de manera informal y sin asistencia técnica profesional. En muchos de estos casos, se utiliza de forma incorrecta el ladrillo pandereta (o tubular) como muro portante, a pesar de que la Norma Técnica Peruana e.070 prohíbe su uso estructural debido a su baja capacidad resistente.

Además, muchas de estas construcciones no consideran lo establecido por la norma e.030, que exige un diseño adecuado frente a sismos, incorporando aspectos como la resistencia de materiales, la ductilidad y el comportamiento dinámico del edificio. El riesgo aumenta aún más cuando estas viviendas cambian de uso, por ejemplo, cuando se transforman en comercios u otros tipos de establecimientos, sin un análisis técnico previo que verifique si la estructura puede soportar las nuevas condiciones, lo que las vuelve especialmente vulnerables ante un terremoto.

La importancia de esta investigación radica en abordar este problema mejorando las propiedades mecánicas de los muros de albañilería mediante la incorporación de malla de GFRP (Polímero Reforzado con Fibra de Vidrio). Con ello, el estudio pretende contribuir a soluciones habitacionales más seguras y reducir la vulnerabilidad sísmica de las viviendas autoconstruidas.

1.3.1. Justificación social

Esta investigación tiene un importante impacto social, ya que pretende mejorar la seguridad de las viviendas construidas con ladrillos tubulares, un material muy utilizado en el sector de la construcción. En muchas regiones del país predomina la autoconstrucción debido a las limitaciones económicas y al limitado acceso a servicios profesionales de construcción.

El aporte de esta investigación radica en la propuesta del uso de malla de GFRP (Polímero Reforzado con Fibra de Vidrio) como refuerzo en los muros portantes, para fortalecer y reducir los daños ante eventos sísmicos.

1.3.2. Justificación teórica

La investigación se centra en el uso de GFRP (Polímero Reforzado con Fibra de Vidrio), un material que ha sido pródigamente estudiado en el campo de la ingeniería civil para reforzar estructuras. Este material es valorado por sus excelentes propiedades, como su alta resistencia, peso ligero y la capacidad para resistir la corrosión. Un ejemplo reciente de su uso es el puente Morristown en Vermont, Estados Unidos, que mide 43.90 metros. Este puente ha demostrado un excelente rendimiento gracias a las barras de refuerzo de GFRP (Benmokrane, et al., 2006).

1.3.3. Justificación económica

El uso de malla de polímero reforzado con fibra de vidrio es una alternativa técnica y económicamente favorable para el reforzamiento de muros de ladrillo tubular. Este material ofrece múltiples ventajas, entre las que destacan su facilidad de instalación, su bajo peso, y su alta durabilidad debido a su resistencia a la corrosión y al deterioro. Aunque la inversión inicial puede ser considerable, esta solución ofrece beneficios a largo plazo como la reducción de costos de mantenimiento, la prolongación de la vida útil de las estructuras y la disminución de intervenciones correctivas. Todo ello convierte a esta tecnología en una opción económicamente viable y sostenible frente a otros métodos tradicionales.

1.4. Limitaciones de la presente investigación

Una de las principales limitaciones de esta investigación fue el reducido tamaño de la muestra, que restringió la capacidad de generalizar los resultados con mayor precisión y confianza. Una muestra más amplia y diversa habría permitido una evaluación más exhaustiva del método de refuerzo propuesto. Además, la falta de recursos

tecnológicos apropiados y de instalaciones de ensayo en el emplazamiento original del estudio planteó importantes dificultades para la fase experimental. Como resultado, fue necesario trasladar las muestras a la ciudad de Lima, donde se disponía de equipos adecuados para realizar las pruebas necesarias en condiciones apropiadas.

Asimismo, al proponer la evaluación de unidades de albañilería no estructural como los ladrillos pandereta, no se cumplirá con las disposiciones de la norma e.070 en su totalidad.

1.5. Hipótesis y descripción de variables

1.5.1. Hipótesis general

La malla de polímero reforzado con fibras de vidrio influye significativamente en las propiedades mecánicas en muros de ladrillo tubular.

1.5.2. Hipótesis específico

- La malla de polímero reforzado con fibras de vidrio produce efectos significativos en las propiedades mecánicas en muros de ladrillo tubular sujetas al ensayo de compresión axial en pilas.
- La malla de polímero reforzado con fibras de vidrio produce efectos significativos en las propiedades mecánicas en muros de ladrillo tubular sujetas al ensayo de compresión diagonal en muretes.
- La implementación de malla de polímero reforzado con fibras de vidrio favorece significativamente en costo y beneficio en muros de ladrillo tubular.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del problema

2.2.1. Antecedentes nacionales

(Ruiz, 2020) Desarrolló la tesis titulada “*Comportamiento estructural de muros de albañilería con ladrillo pandereta reforzada con mallas de polímero y electrosoldada*”. Planteó como objetivo principal, demostrar en qué medida se mejorará el comportamiento estructural de muros de albañilería pandereta reforzada con mallas de polímero y electrosoldada. El desarrollo de la investigación fue de carácter experimental, en el cual el investigador construyó pilas y muretes: tres sin refuerzo, tres reforzados con malla de polímero y tres con malla electrosoldada, los cuales fueron sometidos a ensayos para evaluar su resistencia.

Como resultado, la investigación determinó, mediante una serie de ensayos experimentales realizados en pilas y muretes de albañilería, que la $f'm$ de los elementos sin ningún tipo de refuerzo alcanzó un valor de 29.85 kg/cm². En contraste, los elementos reforzados con malla de polímero alcanzaron una $f'm$ de 37.53 kg/cm², mientras que aquellos con malla electrosoldada lograron una $f'm$ de 37.31 kg/cm², lo que representa un incremento significativo de aproximadamente 26% en la capacidad de soportar cargas axiales. No obstante, la $v'm$ no evidenció una mejora considerable. Estos resultados confirman que la incorporación de mallas de refuerzo contribuye de manera efectiva a optimizar el desempeño estructural de los muros de ladrillo pandereta, incrementando su seguridad y estabilidad frente a cargas axiales, aunque sin producir un aumento relevante en su capacidad resistente frente a cargas diagonales. Llegando a la conclusión de que la malla de polímero y la malla electrosoldada son alternativas eficientes para incrementar la capacidad estructural de los muros de ladrillo pandereta, ofreciendo una solución viable para reforzarlos en zonas sísmicas.

(Tarque et al., 2019) Desarrollaron un artículo científico titulada “*Análisis multicriterio de cinco opciones de refuerzo para muros de mampostería confinada*”. Con el objetivo de determinar la mejora del comportamiento sísmico en muros reforzados y medir su variación de resistencia, rigidez y ductilidad. El desarrollo de la investigación fue experimental donde el investigador realizó muros reforzados con: malla electro soldada (WM), polímero

reforzado con fibra de carbono (CFRP), polímero reforzado con fibra de vidrio (GFRP), malla de acero corrugado (CSM) y con fibras de acero (SRG), los cuales fueron sometidos a ensayos de carga cíclica lateral en el plano, controlando el desplazamiento horizontal para simular la acción sísmica.

Como resultado, los muros reforzados con WM y CSM lograron recuperar aproximadamente un 87% de la rigidez inicial, mientras que los reforzados con GFRP, CFRP y SRG alcanzaron una recuperación de rigidez cercana al 55%. Se concluyó que, en general, las técnicas de refuerzo implementadas no solo restablecieron la rigidez perdida por daño estructural, sino que también permitieron mantener un adecuado desempeño sísmico, aumentando la capacidad de carga y la ductilidad por desplazamiento; sin embargo, se observó que el impacto del GFRP sobre la ductilidad fue menos significativo en comparación con las soluciones basadas en acero.

(Santillan, 2020) Desarrolló la tesis titulada *“Análisis de la efectividad de dos técnicas de reparación de muros en albañilería confinada luego de un proceso de falla por acción sísmica”*. Con el objetivo de determinar cuál de las dos técnicas de reparación mencionada permite recuperar más porcentaje de rigidez lateral inicial y resistencia al agrietamiento diagonal al muro, mediante ensayos experimentales en prototipos de muros confinados. Para ello, la investigación se ejecutó mediante un enfoque experimental, construyéndose cinco prototipos de muros de albañilería confinada: uno sin refuerzo, dos reforzados con varillas de GFRP dispuestas horizontalmente cada dos hiladas y dos reforzados con mallas electrosoldadas. Estos prototipos fueron sometidos a ensayos de carga lateral para analizar su respuesta estructural.

Los resultados obtenidos evidenciaron que la técnica de reparación mediante varillas de GFRP permitió recuperar un 22.52 % de la rigidez lateral inicial y mejorar la resistencia al agrietamiento diagonal en un 26.89 % respecto al muro original. Por su parte, la técnica con mallas electrosoldadas logró recuperar un 35.88 % de la rigidez lateral y aumentó la resistencia al agrietamiento diagonal en un 38.98 %. A base a estos hallazgos, el autor concluyó que ambas técnicas resultan ser eficaces para la reparación de muros de albañilería confinada sometidas a fuerzas laterales.

2.2.2. Antecedentes internacionales

(Alcantar, 2020) Desarrolló la tesis de maestría titulada *“Análisis teórico, diseño y estrategia de implementación de refuerzos compuestos para*

mampostería confinada sujeta a cargas laterales”. Con el objetivo de determinar las propiedades mecánicas de pilas y muretes de mampostería con piezas reforzadas y sin reforzadas. Para ello, se realizó una investigación de carácter experimental, construyendo tres pilas y tres muretes en cada condición (reforzados y no reforzados), los cuales fueron sometidos a ensayos de resistencia utilizando una prensa hidráulica para aplicar las cargas requeridas.

Los resultados obtenidos en la investigación demostraron que las pilas reforzadas con materiales compuestos no evidenciaron incrementos significativos en su resistencia a la compresión axial, manteniéndose prácticamente en los mismos rangos que las pilas sin refuerzo. No obstante, en el caso de los muretes sometidos a refuerzo, se registró un incremento del 2.10 % en la resistencia a la compresión diagonal, lo que indica una mejora, aunque relativamente modesta. Asimismo, se identificó que la implementación de estos refuerzos implica un incremento sustancial en los costos de ejecución, alcanzando hasta un 325 % más en comparación con los elementos construidos sin refuerzo adicional. Por consiguiente, a partir de los resultados obtenidos se concluye que, aunque la incorporación de materiales compuestos puede contribuir a una mejora moderada en el comportamiento estructural de los muretes de mampostería confinada, el elevado costo que implica su aplicación representa una limitante considerable para su adopción a gran escala, especialmente en contextos con recursos económicos restringidos.

(Kaluza, 2022) Desarrollaron un artículo científico titulada “*Análisis experimental de la aplicación superficial de un compuesto polimérico reforzado con fibra sobre el comportamiento al corte de muros de mampostería hechos de bloques de hormigón en autoclave*”. Con la finalidad de mejorar los parámetros de corte de los muros de mampostería existentes mediante la aplicación de materiales no metálicos en su superficie externa. El estudio, de carácter experimental, se llevó a cabo utilizando quince especímenes reforzados con tiras de polímero reforzado con fibra de carbono (CFRP) y con fibra de vidrio (GFRP), colocadas de forma vertical y sometidas a ensayos de compresión diagonal. Las tiras se colocaron de forma vertical y luego fueron sometidas a ensayo de compresión diagonal.

Los resultados mostraron que las tiras de CFRP incrementaron tres veces la rigidez de los muros y aumentaron su capacidad de carga en un 48 % (a partir de un valor inicial de 76.85 kN), proporcionando además un alto nivel de ductilidad en la fase posterior al agrietamiento. Por su parte, el refuerzo con

GFRP mejoró la capacidad de carga en un 56 %, pero no modificó significativamente la rigidez ni la ductilidad de los muros. Por tanto, se concluyó que el empleo de materiales compuestos poliméricos reforzados incrementa de forma significativa la resistencia de los muros de mampostería, optimizando su comportamiento estructural frente a cargas laterales.

(Seung et al., 2021) Desarrollaron un artículo científico titulada “*Refuerzo en el plano de muros de mampostería no reforzada mediante Poliurea reforzada con fibra de vidrio*”. Planteó como objetivo principal mejorar la resistencia en el plano y la ductilidad de los muros de mampostería no reforzados utilizando GFRPU. El desarrollo de la investigación fue experimental, donde el investigador realizó cuatro muestras, de 2.00 metros de ancho y 1.40 metros de altura. La primera no fue reforzada (Ninguno), mientras que las demás fueron reforzadas a una capa de 5 mm de espesor con GFRPU, el cual contiene 5 % de fibra de vidrio molida, donde la primera fue en una cara (1-Todos), la segunda en ambas caras (2-Todos), y la última con un revestimiento completo en forma diagonal (1-X), posteriormente, las muestras fueron sometidas a una prueba de carga lateral.

Los resultados mostraron que el muro sin refuerzo presentó una resistencia de 19.7 kN, mientras que los muros reforzados alcanzaron valores superiores: 207.94 kN para la muestra reforzada en una cara (1-Todos), 227.15 kN para el refuerzo en ambas caras (2-Todos) y 198.90 kN para el refuerzo con disposición diagonal (1-X). Estos resultados confirman que la aplicación de GFRPU incrementa considerablemente la resistencia y la ductilidad de los muros, mejorando así su comportamiento estructural frente a cargas laterales.

Este estudio experimental constituye un antecedente clave para la presente tesis, ya que ofrece resultados verificables sobre la eficacia de materiales compuestos no metálicos aplicados como refuerzo superficial, lo que respalda y orienta la búsqueda de soluciones prácticas y eficientes para optimizar la seguridad estructural de edificaciones en zonas sísmicas.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Polímero reforzado con fibras de vidrio

Dentro del campo de los materiales compuestos utilizados en ingeniería civil, el polímero reforzado con fibra de vidrio, es un material compuesto formado principalmente de la fase dispersa y la matriz. La fase dispersa proporciona

capacidad de carga donde están hechas de fibras de vidrio, mientras que la matriz rodea y mantiene unida la fase dispersa y la protege frente a agentes externos y de los daños mecánicos tales como el impacto, corte y abrasión (Nemessányi, 2023).

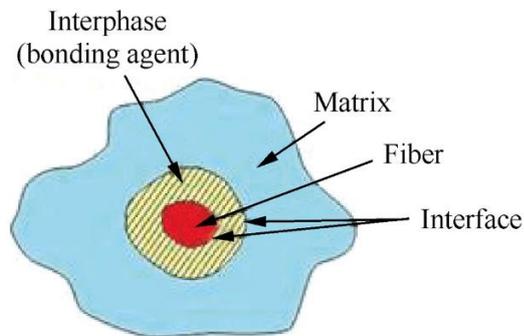


Figura 2. Ilustración esquemática de la estructura de un material compuesto. Tomado de An introduction to materials engineering and science for chemical and materials engineers.

En la década de 1950, la investigación de GFRP (Polímero Reforzado con Fibra de Vidrio), fue patrocinada por la Fuerza Aérea de los Estados Unidos, la Administración Nacional de Aeronáutico y del Espacio (NASA), porque eran ligeras, duraderos y resistentes a los agentes externos (Nemessányi, 2023). En 1970 se ha utilizado en la producción de aeronaves y naves espaciales.

Según ACI 440.1R-15 es una alternativa para el refuerzo, especialmente en casos donde hay presencia de sales. A diferencia del acero, no se corroe, ni interfiere con señales electromagnéticas, lo que hace más duradero en ambientes agresivos. Además, tiene alta resistencia a la tracción.

a. Material compuesto a lo largo de la historia

El material compuesto está conformado por la unión de dos o más materiales. Estos compuestos se han usado desde hace mucho tiempo, incluso en los primeros refugios, donde la gente combinaba madera y arbustos cubiertos de barro para hacerlos resistentes. Si retornamos a los años 1500 a.C., los egipcios y los mesopotámicos utilizaban una mezcla de barro y paja para fabricar adobes, con los que construían sus viviendas, ya que esta combinación hacía los materiales más resistentes (Rossignolo et al., 2022). Más tarde, en el año 1200 d.C., los mongoles descubrieron el arco compuesto, fabricado con tendones de animales, seda y madera, unidos con cola de animales, un avance crucial para su dominio militar, estas armas eran más efectivas en el combate de largo alcance hasta que se descubrió la pólvora

(Bhatt et al., 2018). Luego, a mediados del siglo XVIII, ocurrió de manera similar con el concreto armado, un material compuesto en el que descubrieron que el acero es eficaz en resistir fuerzas de tracción y el concreto las de compresión, logrando una mayor resistencia (Nemessányi, 2023).

Y, por último, en el año 1900, se desarrolló una variedad de materiales compuestos, impulsados por los avances en la industria química. Estos materiales no solo ofrecen mayor resistencia sino también la durabilidad. Por ejemplo, el polímero reforzado con fibra de vidrio (GFRP) es un material ligero y resistente, combinado por dos partes principales que son las fibras de vidrio, y la matriz, que generalmente es resina epoxi. (Nemessányi, 2023). En 1941, Henry Ford utilizó materiales compuestos de polímero en la industria automotriz, para hacer más ligero y resistente (Bhatt et al., 2018).

b. Fibras de vidrio

Las fibras de vidrio son materiales compuestos que presentan mayor resistencia y rigidez que el acero. Asimismo, son beneficiosos porque pueden tener una larga vida útil si se colocan en un entorno adecuado y se protegen bien contra los efectos externos peligrosos. Los diámetros de estas fibras variaban en un amplio rango: de 1 a 15 micras. Por otro lado, el hecho de que las fibras de vidrio sean más rentables que las de basalto es una de sus principales ventajas.

Las fibras de vidrio están hechas de una mezcla de sílice (SiO_2) y otros óxidos metálicos, como óxido de boro (B_2O_3), óxido de calcio (CaO) y óxido de sodio (Na_2O). Esta mezcla se funde a temperaturas superiores a 1200°C y el vidrio fundido se estira para formar fibras delgadas. Estas fibras se pueden hilar para formar hilos o tejidos y se utilizan como refuerzo en materiales compuestos.



Figura 3. Vista microscópica de fibras de vidrio. Tomado de THE MACHADO ENVIRONMENTAL CORP.

Tabla 1

Breve resumen de las propiedades de fibras de vidrio.

Propiedades mecánicas de las fibras de vidrio tipo E	
Resistencia a la tracción (Mpa)	1800 - 2680
Módulo de Young (Gpa)	69 - 72
Deformación por fractura (%)	4.5
Densidad (g/cm ³)	1.20 – 2.10
Resistencia al fuego	bien
Durabilidad química	Bueno en ácido, no en alcalino
Resistividad eléctrica	No conductor

Nota: Módulo de Young es la propiedad mecánica, que mide la rigidez o elasticidad del material. Tomado de Periódica Polytechnica Architecture pág. 197.

Tabla 2

Ventajas y desventajas de fibras de vidrio.

Ventajas	Desventaja
Económico	No biodegradable.
Presenta buena resistencia a la corrosión.	No es ambiental.
Buena resistencia a la tracción.	
Ligero.	

Nota: Biodegradable es la capacidad de descomponerse conforme que pasa el tiempo. Tomado de Periódica Polytechnica Architecture pág. 197.

c. Resina epoxi

En 1909, el químico ruso Prileschajew fue el primero en descubrir el epoxi, aunque su investigación no tuvo resultados satisfactorios en el inicio. Más tarde, en 1938, Castan patentó una resina epoxi de bajo punto de fusión destinada a productos dentales; sin embargo, no obtuvo la aceptación en el mercado. Finalmente, en 1943, Greenlee patentó una resina similar a la de Castan, pero con un mayor peso molecular para recubrimientos, lo que permitió que esta versión fuera comercializada con éxito en los Estados Unidos (Nemessányi, 2023).

La resina epoxi tiene una gran tenacidad, buena adhesión, elevada resistencia a la tracción, su baja contracción y su capacidad para ofrecer dureza, además de soportar tanto el calor como los productos químicos. Desde ese momento, su uso se ha generalizado en el sector de la construcción (ver figura 4).



Figura 4. Resina Epoxi Autonivelante. No se extiende rápidamente durante el trabajo y se puede nivelar a lo largo de la superficie con mayor facilidad. Tomado de EPOXIDECO.

En la actualidad, diversos estudios han demostrado que el concreto elaborado con resina epoxi presenta una notable capacidad para soportar cargas de compresión, además de una baja permeabilidad y una elevada resistencia química frente a ambientes corrosivos. Además, es una opción viable para diversas aplicaciones tales como: la reparación de edificios, protección de los elementos estructurales contra inundaciones en agua salina (Mostafizur & Akntarul, 2021).

Tabla 3.

Breve resumen de las propiedades de la resina epoxi.

Propiedades	
Resistencia a la tracción (Mpa)	55-130
Módulo de Young (Gpa)	2.75 – 4.10
Alargamiento (%)	0 - 50
Densidad (g/cm ³)	1.20 – 1.40
Resistencia a la flexión (Mpa)	75.8 - 1890
Transición vítrea temperatura (°C)	1 - 285
Temperatura de fusión (°C)	----
Máx. servicio temperatura del aire (°C)	25 - 250
Absorción de agua (%)	0.03 – 1.20
Coefficiente térmico expansión (10-5/°C)	4.5 – 6.50

Nota: Mpa=10.197 kg/cm²; Mpa=10197 kg/cm²; 1 g/cm³ = 1000 kg/m³.

Tomado de Periódica Polytechnica Architecture pág. 195.

Tabla 4*Ventajas y desventajas de resina epoxi.*

Ventajas	Desventaja
Fuerte, buena resistencia a la fatiga.	Volátiles tóxicos durante la
Resistente al agrietamiento, corrosión y daños por degradación química y ambiental.	instalación y la combustión.
Resistente a la humedad después del curado.	No es resistente al crecimiento del fuego.
Buena adhesión a muchos sustratos.	Precio considerable.
Baja contracción durante polimerización.	No biodegradable.
Estabilidad dimensional, no encoge.	No es respetuoso con el medio ambiente.
	No reciclable

Nota: La fatiga es un proceso de degradación y eventual a fallar. Tomado de Periódica Polytechnica Architecture pág. 195.

2.2.1.1. Aplicaciones del GFRP en la ingeniería civil

Las barras de GFRP (Polímero Reforzado con Fibra de Vidrio) tienen aplicación en múltiples sectores. Como: Estructuras marítimas y portuarias, pavimentos y barreras viales, puentes, elementos de infraestructura en industrias químicas, productos de concreto con refuerzo pretensado, postes de

líneas eléctricas, losas de carretera y acera, muros de contención, estructuras de drenaje, etc.

a) **Pavimentación de autopista con barras de PRFV en Canadá**

Desde el año 1990, el ministerio de Transporte de Quebec (MTQ) dio énfasis para la construcción de pavimentos de concreto duraderos y adecuados ante un tráfico local y las condiciones climáticas. Sin embargo, las construcciones de la primera carretera con concreto armado (concreto y acero corrugado) presentaron preocupación, ya que las barras de acero longitudinal se estaban corroyendo. Debido a esta problemática, el MTQ y la universidad Sherbrooke estudiaron el uso de barras GFRP. En septiembre de 2006, seleccionó una sección de 150 metros de la autopista 40 como proyecto de demostración. Luego de un año y medio de vida útil del proyecto, el valor máximo de deformación fue de 0.0041. Donde el resultado de la deformación está dentro del límite de diseño recomendado por la ACI 440.1R-15 (Brahim & Mohamed, 2016).



Figura 5. Colocación de barras de PRFV en el carril central de la autopista 40, Fuente: Montreal-2013.

b) **Construcción de puente atirantado Ontario Canadá**

En los últimos 10 años, los materiales como GFRP (Polímero Reforzado con Fibra de Vidrio) fueron utilizados en cientos de estructuras de puentes en Canadá. Donde fueron diseñados utilizando los códigos de diseño de puente (Guía de diseño de Puentes LRFD de AASHTO) para tableros de puentes de concreto armado reforzado con GFRP. La mayoría de los puentes fueron reforzados con GFRP debido a su costo en comparación con otros polímeros.

Recientemente, al río Nipigon, Ontario, cruza un puente moderno atirantado. Donde las barras GFRP se utilizaron en la losa de los tableros del puente con cuatro carriles, soportado por cables de 112.8 m y 139 m. El objetivo de emplear este tipo de material fue para resolver el problema que es la corrosión. La losa de tablero fue diseñada para resistir la fuerza de compresión axial resultante de los cables y el momento flector resultante por las cargas vivas y muertas (Brahim & Mohamed, 2016).



Figura 6. Puente atirantado sobre el río Nipigon, Fuente: Ontario, 2015.

c) **Garajes de estacionamiento**

El estacionamiento de La Chanceliere tiene 50 años aproximadamente de antigüedad hasta la fecha en donde está expuesto a la corrosión porque los vehículos transportan sal y agua en su carrocería.

El estacionamiento La Chanceliere que está ubicado cerca al río San Lorenzo (océano Atlántico), en Quebec, Canadá, se deterioró por la presencia de la corrosión. Se presentó una propuesta de rehabilitación estructural utilizando varillas de polímero reforzado con fibras de vidrio (GFRP) como refuerzo en losas. Se optó por este material, ya que no presenta corrosión, logrando una rentabilidad y aumentando el tiempo de vida útil del proyecto (Sagir, 2019).



Figura 7. (a) Estacionamiento La Chanceliere en Quebec, Canadá, (b) Acero corroído en la losa del estacionamiento, (c) Refuerzo con GFRP en la losa, (d) Vaciado de piso (Ahmed et al., 2016).

d) Muros prefabricados

Los muros prefabricados con malla o varillas de polímero reforzado con fibras de vidrio (GFRP) ofrecen una durabilidad estimada de hasta 100 años, inclusive en zonas residenciales expuestas a ambientes agresivos, ya que presentan mejores propiedades mecánicas. Asimismo, para su colocación reduce hasta el 75 % en la mano de obra, para la colocación de las varillas de acero corrugado.



Figura 8. Paneles de concreto prefabricado para el canal del puerto de Dibba en Emiratos Árabes Unidos, tomado de MATEENBAR, 2023.

2.2.1.2. Barras de polímero reforzado con fibras de vidrio

Las barras de polímero reforzado con fibra de vidrio están especialmente diseñadas combinando una matriz de polímero (generalmente

resinas epoxi o poliéster) con fibras de vidrio. Estas barras son muy fuertes y livianas, ya que la densidad varía entre 1250 y 2000 kg/m³, lo que representa entre una sexta parte y una cuarta parte de la densidad del acero. Este peso reducido no solo ayuda a reducir los costos de transporte, sino que también hace que sean más fáciles de manipular y usar en el lugar de trabajo. Asimismo, son resistentes a la corrosión, lo que las hace útiles donde otros materiales como el acero se oxidarían o serían demasiado pesados. Además, cumple con los estándares mínimos exigidos por la norma ASTM D7957/D7957M Standard Specification for Solid Round Class Fiber Reinforced Polymer Bars for Concrete Reinforcement.

En la actualidad, las barras de Polímero Reforzado con Fibras de Vidrio son utilizadas ampliamente en el sector de la construcción, porque presentan ventajas como: baja densidad, mejores propiedades mecánicas, facilidad de producción, y durabilidad.

Tabla 5

Polímero reforzado con fibras de vidrio y acero corrugado

Diferencia entre FRP y acero

El FRP es elástico lineal hasta el fallo, mientras que el acero cede.

El FRP es anisotrópico, mientras que el acero es isotrópico

Debido al módulo más bajo de las barras de FRP, el diseño para la capacidad de servicio a menudo controla

Las barras de FRP tienen un umbral de ruptura por fluencia más bajo que el acero.

Coefficiente de expansión térmica diferente en direcciones longitudinal y radial.

Tiempo de resistencia al fuego y a aplicaciones de temperaturas elevadas menor que el del acero.

Si se produce degradación de las barras de FRP, el mecanismo de degradación es benigno para el hormigón circundante, a diferencia del acero, que se expande y provoca la falla del elemento.

Fuente: Plast PolimerPerú.

Tabla 6*Manipulación y transporte.***Manipulación y transporte**

El corte se realiza mediante tronzadora, sierra, cizalla.

El recubrimiento mínimo es 2 cm

Uso obligatorio de los EPPS para su manipulación.

En el transporte de las barras de GFRP debe evitarse la colocación de los objetos pesados encima sin protección.

Fuente: Plast PolimerPerú.

- **Propiedades de barra de GFRP**

Las propiedades son fundamentales que influyen en su desempeño cuando se somete a diversas cargas y condiciones de uso, por lo cual es importante entender cómo un material responde a fuerzas, temperaturas y a otros factores externos.

Tabla 7*Propiedades mecánicas de barra de GFRP*

Descripción	Valor garantizado por el fabricante
Resistencia a tracción de varillas transversales y longitudinales.	$\geq 10706.85 \text{ kgf/cm}^2$
Módulo de elasticidad en la tracción de las varillas transversales y longitudinales.	$\geq 479259 \text{ kgf/cm}^2$
Porcentaje de alargamiento a la rotura %.	$\geq 2 \%$
Resistencia al corte.	$\geq 1733.49 \text{ kgf/cm}^2$

Fuente: Plast PolimerPerú.**2.2.1.3. Mallas de polímero reforzado con fibras de vidrio**

Las mallas de GFRP son fabricados con fibras de vidrio y unido con resina epoxi, como resultado ofreciendo mejores propiedades mecánicas como se muestra en la tabla 8. Las fibras soportan las cargas, mientras que la resina ayuda a distribuir la tensión en cada una de ellas. Donde pueden ser fabricadas de diferentes colores con múltiples fines en la construcción.



Figura 9. Malla GFRP de calibre # 10 con una cocada de 2 pulgadas. Fuente: Plast Polimer Perú.

Las mallas compuestas de material polimérico reforzado con fibra de vidrio (GFRP) se puede emplear en losas macizas, aligeradas, en tableros de puentes, en la pavimentación de autopistas, muros prefabricados, etc.

Tabla 8

Propiedades mecánicas de malla de GFRP

Concepto	Valor garantizado por el fabricante
Resistencia a tracción de varillas transversales y longitudinales.	$\geq 8157.6 \text{ kgf/cm}^2$
Módulo de elasticidad en la tracción de las varillas transversales y longitudinales.	$\geq 458872.296 \text{ kg/cm}^2$
Fuerza destructiva en el ensayo de cizallamiento de las intersecciones en el sentido longitudinal y transversal para los diámetros nominales mayores a 3 mm.	$\geq 56.084 \text{ kgf}$
Contenido de relleno con fibras de vidrio.	$\geq 70 \%$

Fuente: Plast PolimerPerú.

2.2.2. Conector

Los conectores son piezas muy importantes que ayudan a conectar y distribuir cargas entre las diferentes partes de los elementos estructurales, garantizando que todo funcione correctamente y mantenga la estabilidad necesaria para soportar el peso y las fuerzas que actúan sobre ella.

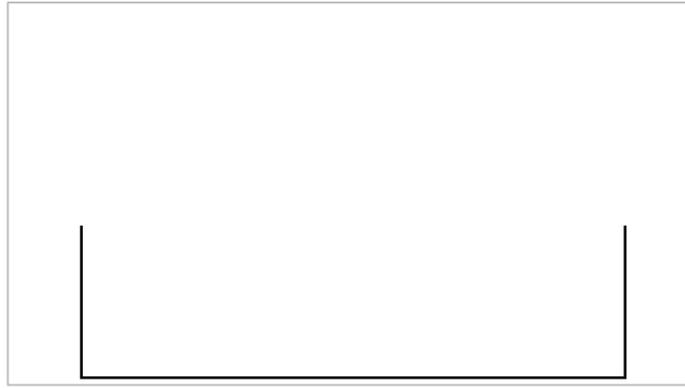


Figura 10. Conector con barras de acero ASTM A615 grado 60.

Tabla 9

Propiedades mecánicas de barra de acero ASTM A615 grado 60 SIDER Perú.

PROPIEDADES DE LAS BARRAS GRADO 60	
Esfuerzo de Fluencia (F_y)	4200 kg/cm ²
Esfuerzo último a la tracción (F_u)	6300 kg/cm ²
Módulo de elasticidad (E_s)	2000000 kg/cm ²
Deformación $\epsilon_{s=(F_y/E_s)}$	0.0021
Densidad	7850 kg/m ³
Resistencia a la corrugación	malo

Fuente: Diseño de Concreto Armado; Ottazzi,2021.

2.2.3. Principales productores de ladrillo en Perú

Para poder analizar el motivo por el cual se realizó la investigación, es necesario conocer los principales productores de ladrillo en el sector de la construcción.

En el contexto del mercado peruano, la mayor parte de la producción se concentra en cuatro compañías que lideran la industria: Pirámide y Lark con 30 % de participación; seguida Fortes con un 14% y Sagitario 12%. Estas compañías, en conjunto, dominan aproximadamente el 74 % del mercado nacional. Mientras el 26% del mercado se distribuye en pequeños y medianos fabricantes (Mejia et al., 2019).

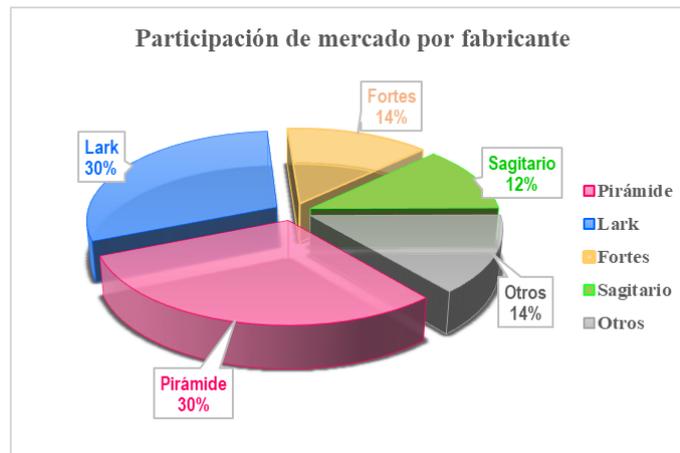


Figura 11. Principales productores de ladrillo en Perú. Tomado de Ladrillo Lark.

Dado a esto, en la investigación planteada se trabajó con ladrillos PIRÁMIDE, ya que lidera el 30% en el mercado nacional, es decir, es muy reconocido y es muy utilizado en el sector de la construcción. Por tal motivo, se trabajó con este producto porque garantiza los resultados.

2.2.3.1. Influencia en la toma de decisiones

Para poder analizar adecuadamente la compra de los materiales, primero es fundamental identificar quiénes son los principales actores que intervienen en el proceso decisorio.

En el sector de la construcción, no siempre los dueños hacen la compra de los materiales. Un 56 % de la influencia proviene de los maestros de obra y albañiles, los cuales recomiendan o ayudan a seleccionar los materiales para construir la casa. Esto sucede porque los consumidores finales desconocen sus clasificaciones y limitaciones de las unidades de albañilería. Por el contrario, algunos buscan asesoramiento de un profesional competente para comprar materiales o construirlos; es un 12 %. Del mismo modo, el 16 % toman decisiones finales para la compra de materiales basándose en la información que proviene de los medios de comunicación o recomendaciones. Y, por último, un 16 % de la influencia proviene de los dueños de la ferretería o el vendedor (Mejía et al., 2019).

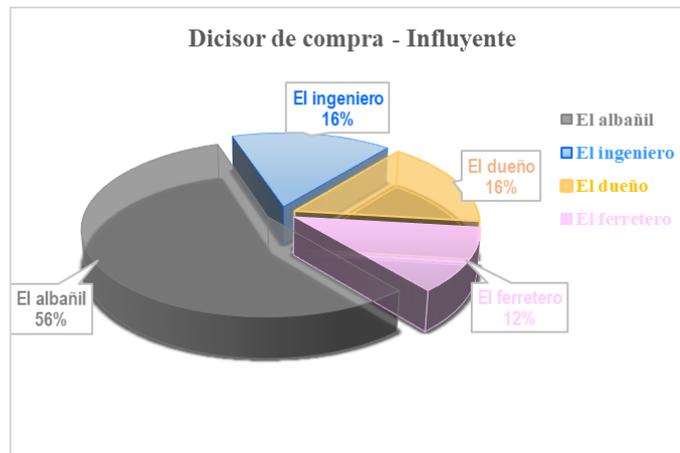


Figura 12. Actores clave en el proceso de selección y adquisición de materiales de construcción.

2.2.4. Aspectos generales de la albañilería

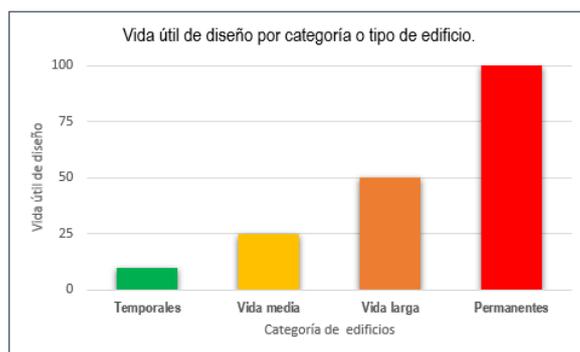
La albañilería es una técnica de construcción en la que se utilizan piezas como ladrillos o bloques pegados con mortero, formando muros y otras estructuras resistentes. Se trata de un material heterogéneo y anisotrópico, caracterizado por una alta resistencia a la compresión, la cual depende en gran medida de la calidad del conjunto formado por las unidades y el mortero que las une (Arango, 2002).

- **Durabilidad y mantenimiento**

La durabilidad es la capacidad de un material para resistir el deterioro y el desgaste ocasionados por las condiciones ambientales a lo largo del tiempo sin sufrir daños significativos. Esto implica la resistencia a varios factores como: la humedad, cambios de temperatura, cargas estructurales, etc.

Por otro lado, la durabilidad de una edificación es de vital importancia, ya que se establece que su vida útil mínima debe ser de 50 años, garantizando así su estabilidad y funcionalidad a lo largo del tiempo (Bardales & Leyva, 2020).

Asimismo, para el mantenimiento de la edificación se deben tomar acciones y tareas periódicas para conservar, reparar o mejorar los diferentes componentes de la edificación, esto para asegurar su funcionalidad, seguridad y estética a lo largo del tiempo.



- Construcciones no permanentes, oficinas de ventas, edificios de exhibición temporal, construcciones provisionales.
- La mayoría de los edificios industriales y la mayoría de las estructuras para estacionamiento.
- La mayoría de los edificios residenciales, comerciales, de oficinas, de salud, de educación.
- Edificios monumentales, de tipo patrimoniales (museos, galerías de arte, archivos generales)

Figura 13. Tiempo de vida funcional estimado de la edificación. Tomado de Hernández, 2016.

2.2.4.1. Clasificación de la albañilería por su función estructural

a) Muros portantes

Los muros de portantes de un edificio son elementos estructurales esenciales, que no solo cumplen la función de separar espacios, sino que también soportan y transfieren cargas verticales y horizontales hacia las cimentaciones.

Tabla 10

Muros portantes.

Los muros portantes deben tener:

Una sección transversal preferentemente simétrica.

Continuidad vertical hasta la cimentación.

Una longitud mayor o igual a 1,20 m para ser considerados como contribuyentes en la resistencia a las fuerzas horizontales.

Juntas de control para evitar movimientos relativos debidos a contracciones, dilataciones y asentamientos diferenciales en donde haya juntas de control en la cimentación, en las losas y techos.

La distancia máxima entre juntas de control es de 8 m, en el caso de muros con unidades de concreto, y de 25 m en el caso de muros con unidades de arcilla.

Fuente: Norma Técnica Peruana e.070, 2006.

b) Muros no portantes

Los muros no portantes son aquellos que no tienen la función estructural de soportar cargas. Por lo tanto, su función principal es dividir espacios interiores y cercar espacios como, por ejemplo: parapetos, cercos y tabiques.

- **Parapeto**

Se trata de muros no portantes localizados comúnmente en el último piso, cuyo propósito es ofrecer apoyo a las personas y prevenir accidentes. Este actúa como una especie de barrera de seguridad que protege a las personas que están al límite de la propiedad.

- **Cerco**

Son muros no portantes, los cuales están apoyados sobre el suelo, donde su principal función es dividir terrenos y ofrecer seguridad. Solo soportan su propio peso y, en términos estructurales, actúan como un muro en voladizo.

- **Tabiques**

Son muros no portantes cuyo propósito es separar los espacios interiores de una edificación. Generalmente, tienen la altura del entrepiso y pueden estar conectados al techo y a otros elementos estructurales verticales en sus bordes laterales para proporcionar soporte lateral (RNE, 2019).

2.2.4.2. Clase de unidad de albañilería para fines estructurales

Las unidades de albañilería empleadas en los muros portantes están diseñadas con propiedades que les permiten soportar tanto las cargas gravitacionales, peso de la estructura y las fuerzas laterales. Es por ello, se debe cumplir con estándares de calidad. Estas unidades se clasifican en cinco tipos basados según su nivel de resistencia.

Tabla 11*Clase de unidad de albañilería para fines estructurales.*

CLASE DE UNIDAD DE ALBAÑILERÍA PARA FINES ESTRUCTURALES					
CLASE	VARIACIÓN DE LA DIMENSIÓN (máx. en porcentaje)			ALABEO (máx. en mm)	RESISTENCIA CARACTERÍSTICA A COMPRESIÓN f'_b (mínimo en MPa (kgf/cm ²) sobre área)
	Hasta 100 mm	Hasta 150 mm	Más de 150 mm		
Ladrillo I	± 8	± 6	± 4	10	4,9 (50)
Ladrillo II	± 7	± 6	± 4	8	6,9 (70)
Ladrillo III	± 5	± 4	± 3	6	9,3 (95)
Ladrillo IV	± 4	± 3	± 2	4	12,7 (130)
Ladrillo V	± 3	± 2	± 1	2	17,6 (180)

Nota: 1 Mpa = 10.1972 kgf/cm². Tomado de la Norma Técnica Peruana E070, 2006.

De acuerdo a los lineamientos de la NTP 331.017, los ladrillos se clasifican en cinco tipos dependiendo de su resistencia y durabilidad.

El TIPO I: Tiene una resistencia y durabilidad baja, siendo adecuado para viviendas de uno o dos pisos en condiciones sencillas, siempre que estén protegidas de la lluvia y el contacto directo con el suelo.

TIPO II: Presenta baja resistencia y se utiliza en estructuras expuestas a condiciones moderadas, siempre y cuando no estén en contacto directo con agua o lluvia.

TIPO III: Proporciona una resistencia media y se utiliza en estructuras que están expuestas a condiciones de bajo intemperismo.

El TIPO IV: Presenta alta resistencia y se adecua para estructuras sujetas a condiciones de meteorización moderadas, expuestas a la lluvia intensa, suelo y agua.

Finalmente, el TIPO V proporciona una resistencia y durabilidad sobresalientes, siendo ideal para condiciones de uso extremadamente severas, similar al TIPO IV.

2.2.4.3. Tipos de unidad de albañilería

En nuestra región, las unidades de albañilería más comunes son las de tipo sólido, hueco, alveolar y tubular, cada una con características específicas que las hacen adecuadas para diferentes tipos de construcciones y necesidades estructurales.

- **Unidad de albañilería hueca**

Es una unidad que presenta perforaciones que cubren al menos el 10 % de su superficie, y está diseñada para ser utilizada en muros portantes. Por ejemplo, ladrillo KIN KONG 18 huecos.

- **Unidad de albañilería sólida**

El área sólida de la sección transversal, en cualquier plano paralelo a la superficie de apoyo, puede ser igual o superior al 70% del área total en ese mismo plano. Además, la unidad no debe presentar menos de 10% de perforaciones.

- **Unidades de albañilería tubulares (pandereta)**

Estas unidades de mampostería son livianas, tienen orificios horizontales y se utilizan en tabiques que no soportan cargas. Más conocido como ladrillo pandereta, que están hechos de arcilla moldeada, extruida y posteriormente quemada en un horno a altas temperaturas. Por otro lado, debido a su poca resistencia y fragilidad, son usados ampliamente en sector de la construcción para construir tabiques, (muros que no soportan cargas, solo sirven para dividir ambientes) y parapetos (Bartolome, 1994).



Figura 14. Ladrillo pandereta PIRÁMIDE. Tomado del catálogo digital SODIMAC.

Tabla 12*Características generales de ladrillo pandereta.*

Características generales			
Denominación técnica	PANDERETA ACANALADA		
Uso	Construcción de tabiquerías		
Dimensión (cm)	Alto (cm)	Ancho (cm)	Largo(cm)
	9	11	23
Variación dimensional	+/- 2%	+/- 3%	+/- 4%
Peso	2.0 kg (min)	2.2 kg (max)	
Área de vacíos %	< 57		
Rendimiento	(1.5 cm	41 unidades por m ² (Soga mortero)	

Fuente: Elaboración propia.**Tabla 13.***Propiedades generales del ladrillo pandereta.*

Propiedades generales			
	Según NTP	Según Técnica	Ficha
Variación de dimensión %	+/-2.0	+/-2.0	
Alabeo	2	1	
Resistencia a la compresión		---	
Densidad aparente (kg/m ³)		1900 – 2100	
Porcentaje de absorción (%)	<22	< 22.00	
Eflorescencia (Salitre)	No	No	

Fuente: Ficha técnica PIRAMIDE.**2.2.4.4. Limitaciones del uso de unidades de albañilería**

Las limitaciones son lo que determinan cuándo, cómo y dónde se pueden utilizar adecuadamente las unidades de albañilería, asegurando así la estabilidad, seguridad y durabilidad de un edificio.

Tabla 14*Limitaciones en el uso de la unidad de albañilería para fines estructurales.*

LIMITACIONES EN EL USO DE LA UNIDAD DE ALBAÑILERÍA PARA FINES ESTRUCTURALES			
TIPO	ZONA SÍSMICA 2 Y 3		ZONA SÍSMICA 1
	Muro portante en edificios de 4 pisos a más	Muro portante en edificios de 1 a 3 pisos	Muro portante en todo edificio
Sólido artesanal *	No	Sí, hasta dos pisos	Sí
Sólido industrial	Sí	Sí	Sí
Alveolar	Sí	Sí	Sí
	Celdas totalmente rellenas con grout	Celdas parcialmente rellenas con grout	Celdas parcialmente rellenas con grout
Hueca	No	No	Sí
Tubular	No	No	Sí, hasta 2 pisos

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

Fuente: Norma Técnica Peruana e.070, 2006.

2.2.4.5. Mortero para muros portantes

El mortero sirve para rellenar los espacios vacíos y las irregularidades de las unidades de albañilería, garantizando principalmente que estén bien adheridas durante la construcción. Asimismo, proporciona estabilidad a cada hilada, facilitando la alineación adecuada de las capas posteriores, y por último da como resultado final un muro resistente y duradero (Arango, 2002).

Por otro lado, es importante tomar en consideración la proporción establecida por la norma e.070 (cemento, arena gruesa y agua). Cuya finalidad es tener buena adherencia con los ladrillos.

Tabla 15.

Proporción del mortero para asentado de ladrillo según su uso.

Tipo de mortero			
Componentes	Cemento	Arena	Uso
P1	1	3 - 3 1/2	Muros portantes
P2	1	4 - 5	Muros portantes
NP	1	--	Muros no portantes

Nota: 1 bolsa de cemento de 42.5 kg equivale a 1pie³ en volumen. Asimismo, una carretilla marca Truper equivale 3 pie³. Tomado de la norma e.070, 2006.



Figura 15. Materiales para realizar mortero de muros portantes en una proporción de 1:4. Fuente: Elaboración propia.

- **Tecnología**

El mortero funciona como adhesivo, siendo su principal objetivo establecer una unión fuerte y duradera entre las unidades de mampostería. Por otro lado, la relación entre agua y cemento no es tan importante como en el concreto. El mortero que se utiliza para colocar los ladrillos debe contener la cantidad adecuada de agua para garantizar una consistencia trabajable. Además, si el mortero pierde consistencia debido a la evaporación del agua, es posible que sea necesario agregar más agua en un proceso llamado retemplado. En resumen, aunque el concreto y el mortero se elaboran con los mismos ingredientes (cemento, agregado y agua), tienen finalidades diferentes y, por tanto, requieren técnicas diferentes (Arango, 2002).

a) Propiedades del mortero en estado fresco

- **Retención de agua**

La retención de agua del mortero se denota a su capacidad para conservarse húmedo y plástico cuando está en contacto con las superficies de los ladrillos o bloques. Esta propiedad es de vital importancia para que el mortero sea fácil de trabajar durante la aplicación y para lograr una buena adherencia a la superficie. Una buena retención de agua ayuda a que el cemento se hidrate bien, lo que es esencial para que el mortero se endurezca y adquiera la resistencia necesaria. Si el mortero pierde agua demasiado rápido, puede secarse antes de que el cemento haya terminado de hidratarse, lo que afectará su resistencia y durabilidad. Además, los factores ambientales como la temperatura y la humedad influyen significativamente en los procesos de retención de agua e hidratación del mortero.

- **Consistencia**

Se refiere a la capacidad de la mezcla para fluir y ser fácilmente trabajable con el badilejo. Esta propiedad es esencial para determinar la facilidad con la que se puede aplicar el mortero a las superficies de las unidades de albañilería, asegurando una distribución uniforme y adecuada. Una consistencia adecuada permite que el mortero sea manipulable sin que se endurezca rápidamente ni se vuelva demasiado fluido. Por otro lado, resulta difícil trabajar con una mezcla de consistencia demasiado dura, mientras que una mezcla demasiado líquida puede alterar la resistencia del mortero (Bartolome, 1994).

b) Propiedades del mortero en estado endurecido

- **Adhesión**

La adhesión del mortero se refiere a la capacidad del material en adherirse y mantenerse unidas con las unidades de albañilería (ladrillos o bloques) con las que entra en contacto.

Asimismo, la adherencia se ve favorecida por la mayor rugosidad de la superficie de la unidad y por la presencia de pequeñas cavidades o poros en la superficie de contacto (el mortero puede incluso penetrar la superficie) (Arango, 2002).

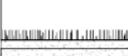
Mecánica de la adhesión		
Unidad de Albañilería		Succión
Mortero		Agua conteniendo solubles del cemento
Se coloca el mortero sobre la unidad de abajo		El agua del mortero es succionada preferentemente por la unidad de albañilería de abajo
Se coloca la unidad de arriba		EL mortero es más seco. La unidad de arriba succiona menos agua (y menos soluble del cemento) que de abajo.
Fragua el cemento		Se toma cristales de etringita en los poros de la unidad de albañilería. Mas cristales y más profundos abajo que arriba.
En el ensayo de tracción directa		Se rompe la interfase mortero - unidad de arriba.

Figura 16. Mecánica de adhesión de mortero. Tomado de Análisis, Diseño y Construcción en Albañilería, Arango, 2002.

- **Resistencia**

La resistencia a la compresión se refiere a la capacidad del mortero para soportar la presión sin romperse. Esta propiedad es vital en la construcción de muros de albañilería, ya que una alta resistencia a la compresión indica que el mortero es de buena calidad y adecuado para las exigencias estructurales y medioambientales. Por el contrario, una baja resistencia a la compresión indica que los materiales son más débiles y que la mampostería es menos duradera (Arango, 2002).

Es aconsejable que la resistencia a la compresión del mortero se aproxime a la de los elementos de albañilería para evitar el aplastamiento y garantizar una estructura más uniforme y estable. Por lo tanto, en edificios de 4 a 5 pisos, cuando se utilicen unidades con mayor resistencia a la compresión, se recomienda utilizar una mezcla de mortero con una proporción de 1:3 o 1:4. Para edificios de 1 a 3 pisos, la mezcla se puede utilizar en una proporción de 1:5 (Bartolome, 1994).

La proporción más convencional de los materiales del mortero es de 1:4 (cemento y arena, con adición de agua). Donde, en este estudio se utilizó cemento Tipo I marca Andino.

El mortero fue curado durante 28 días antes de realizar las pruebas de resistencia a la compresión, con el fin de evaluar su capacidad de carga.



Figura 17. Probetas cúbicas de mortero, cada una con 5 cm de lado, se curaron durante 28 días en un baño de agua. Fuente: Elaboración propia.

- **Durabilidad**

La durabilidad del mortero se refiere a su capacidad para resistir diversos factores externos que pueden causar daños, como las temperaturas de congelación, la infiltración de humedad y la exposición a sustancias corrosivas.

Un mortero duradero es aquel que mantiene su integridad y desempeño durante toda su vida útil, incluso en condiciones adversas. Además, la durabilidad del mortero está muy influida por la calidad de los materiales utilizados y la eficacia del proceso de curado. Es decir, un curado adecuado y una mezcla uniforme ayudan a mejorar la resistencia del mortero a largo del tiempo.

c) Componentes del mortero para asentado de ladrillo

- **Cemento**

El Cemento Portland Andino Tipo I es un cemento de uso general, hecho principalmente de clinker con pequeñas cantidades de yeso con bajo nivel de álcalis. Está destinado a proyectos de construcción que no requieren propiedades especiales. Actualmente, se

vende en bolsas equivalentes a un pie cúbico, cada una de las cuales pesa 42,5 kg.

“Los cementos se emplean, para producir morteros y hormigones cuando se mezclan con agua y áridos, naturales o artificiales, obteniéndose un material de construcción in situ” (Fernandez, 2013).

Tabla 16

Propiedades mecánicas y químicas del Cemento Portland Andino.

PARÁMETRO	CEMENTO ANDINO	NTP-334.009/ASTM C-150
Densidad (g/cm ³)	3.18	No especifica
Contenido de aire (%)	6	Max. 12
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN		
3 días (kgf/cm ²)	257	Min. 122
7 días (kgf/cm ²)	321	Min. 194
28 días (kgf/cm ²)	420	Min. 286
COMPOSICIÓN QUÍMICA		
Oxido de Magnesio MgO (%)	1.6	Max. 6
Trióxido de Azufre SO ₃ (%)	2.6	Max. 3
FASES MINERALÓGICAS		
Silicato Tricálcico C3S (%)	55	No especifica
Belita C2S (%)	16	No especifica
Aluminato Tricálcico, Celita C3A (%)	7	No especifica
Ferrita de Calcio C4AF (%)	10	No especifica

Fuente: UNACEM.

- **Arena gruesa**

La arena gruesa destinada al asentado de muros no debe tener arcillas, debe ser limpia y bien graduada, clasificada uniformemente según la norma e.070.

La arena gruesa utilizada para el presente estudio procede del río Mantaro - Jauja, donde estaba limpia y libre de materia orgánica, lo que la hace apta para la construcción.

Tabla 17

Análisis granulométrico de arena gruesa según la NTP e.070, 2006.

GRANULOMETRÍA DE LA ARENA GRUESA	
MALLA ASTM	% QUE PASA
No 4 (4,75 mm)	100
No 8 (2,36 mm)	95 a 100
No 16 (1,18 mm)	70 a 100
No 30 (0,60 mm)	40 a 75
No 50 (0,30 mm)	10 a 35
No 100 (0,15 mm)	2 a 15
No 200 (0,075 mm)	Menos de 2

Fuente: Norma Técnica Peruana e.070, 2006.



Figura 18. Arena gruesa del río Mantaro - Jauja. Fuente: Elaboración propia.

- **Agua**

El agua es un componente esencial en el concreto, en especial cuando se mezcla con cemento portland, forma una pasta que se mantiene unido con el agregado. Asimismo, causa que el concreto se

fortifique mediante el proceso de hidratación. Donde, la hidratación es la reacción química que se produce cuando el cemento entra en contacto con el agua (ISO 12439, 2025).

El agua en el concreto cumple tres funciones importantes: Primero es la hidratación. Segundo actúa como lubricante, mejorando la trabajabilidad general de la mezcla. Y, por último, ayuda a crear pequeños espacios vacíos que se necesitan en la pasta para que los productos de hidratación logren formarse correctamente (Pasquel, 1998).

Para este insumo se empleó el agua potable del distrito de Huancan, cuya fuente de captación se encuentra en la laguna de Huaytapallana.

El agua utilizada cumple con las condiciones mínimas que estipula la Norma Técnica Peruana 339.088 y preferencialmente nos recomienda que sea agua potable.

Tabla 18

Límites permisibles para agua de mezcla y de curado según la norma ITINTEC 339.088.

DESCRIPCIÓN	LIMITE PERMISIBLE
Sólido en suspensión	5,000 p.p.m máximo
Material orgánico	3 p.p.m máximo
Alcalinidad (NaHCO ₃)	1,000 p.p.m máximo
Sulfato (Ión SO ₄)	600 p.p.m máximo
Cloruros (Ión Cr)	1,000 p.p.m máximo
pH	5 - 6

Nota: p.p.m es la abreviatura de partes por millón. Tomado de Tópico de Tecnología de Concreto.

2.2.4.6. Mortero para tarrajeo

De acuerdo a la Norma Técnica Peruana, el mortero utilizado para revestir se aplica como una capa sobre las superficies exteriores o interiores de muros y paredes. Su finalidad es cubrir y crear una capa protectora, mejorando tanto el acabado como la apariencia (RNE, 2018).

En la presente investigación el tarrajeo de muretes y pilas se realiza después de su asentamiento, asegurándose de que las superficies estén limpias y libres de impurezas. Además, se humedecen adecuadamente con agua para mejorar la adherencia. Luego, se prepara una lechada de cemento (agua y cemento) para enlucir en toda la superficie de la muestra, y finalmente, se procede a aplicar el tarrajeo.

El trabajo consiste en revestir todas las superficies de pilas y muretes que se van a ensayar, garantizando su uniformidad de presentación, así como la adherencia del mortero y la alineación vertical u horizontal de las superficies.

Es esencial controlar la dosificación del mortero para garantizar una ejecución precisa de los trabajos en estricta conformidad con las especificaciones técnicas.

Tabla 19

Dosificación de mortero para el tarrajeo.

Descripción	Dosificación	1m ³ Mortero
Cemento	1.00	8.00 bolsas
Arena Fina	4.00	1.00 m ³ (P.e. 1600 kg/m ³)
Agua	----	0.26 m ³ = 260 lt

Nota: 1 bolsa de cemento de 42.5 kg equivale a 1pie³ en volumen. Asimismo, una carretilla marca Truper equivale 3 pie³. Tomado de la norma e.070, 2006.

a. Arena fina

La arena fina utilizada en el tarrajeo debe estar totalmente libre de impurezas como arcilla, materia orgánica o sales solubles, ya que pueden afectar negativamente a la adherencia y durabilidad del revestimiento. Asegurarse de que la arena esté limpia, con partículas consistentes y bien graduadas, favorece una mezcla uniforme y mejora la trabajabilidad del mortero. Además, una adecuada selección de la arena fina ayuda a conseguir una superficie más lisa. Por otro lado, es importante tomar en consideración la norma ASTM.

La arena fina utilizada para el presente estudio procede del río Mantaro – Jauja, limpia y libre de materia orgánica, lo que la hace apta para revestir muros, techos, columnas, vigas, etc.

2.2.4.7. Resistencia característica de la albañilería

Hace referencia a la capacidad de los elementos de albañilería para resistir cargas aplicadas. La resistencia a la compresión diagonal en muretes representa el comportamiento frente a esfuerzos cortantes, mientras que la compresión axial evalúa su capacidad para soportar cargas verticales. Estos parámetros son fundamentales en el diseño estructural de la albañilería, ya que aseguran que pilas y muretes puedan resistir las cargas de compresión previstas sin sufrir deformaciones excesivas ni fallos estructurales. En la siguiente tabla muestra los valores típicos de resistencia característica de la albañilería basados en la norma técnica peruana.

Tabla 20

Resistencias características de la albañilería Mpa (kg/cm²).

Materia Prima	Denominación	UNIDA D f 'b	PILAS f 'm	MURET ES v 'm
	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)
Arcilla	Rejilla Industrial	21,1(215)	8,3(85)	0,9(9,2)
	King Kong Normal	15,7(160)	10,8(110)	1,0(9,7)
Sílice-	Dédalo	14,2(145)	9,3(95)	1,0(9,7)
cal	Estándar y mecano (*)	14,2(145)	10,8(110)	0,9(9,2)
		4,9(50)	7,3(74)	0,8(8,6)
		6,4(65)	8,3(85)	0,9(9,2)
Concreto	Bloque tipo P (*)	7,4(75)	9,3(95)	1,0(9,7)
		8,3(85)	11,8(120)	1,1(10,9)

Nota: Tomado de la Norma Técnica Peruana de albañilería e.070, 2006.

Tabla 21

Incremento de f 'm y v 'm por edad.

Edad		14 días	21 días
Muretes	Ladrillos de arcilla	1,15	1,05
	Bloques de concreto	1,25	1,05
pilas	Ladrillos de arcilla y bloques de	1,10	1,00

Nota: Tomado de la NTP de albañilería E. 070, 2006.

2.2.3.7.1. Resistencia a la compresión axial en pilas

La resistencia a la compresión axial en pilas, expresada como $f'm$, es la carga máxima que puede soportar cuando se aplica una carga en dirección vertical (es decir, área de la sección transversal). Sin embargo, este valor es crucial para diseñar una estructura segura porque permite determinar cuánta carga puede soportar sin fallar. Esto influye en gran medida de las propiedades y características del material, así como del proceso constructivo. Los valores altos indican buena calidad para fines estructurales, mientras el valor bajo indica de menor resistencia y no son muy duraderos.

La resistencia a la compresión axial en pilas se calcula mediante la ecuación que se proporciona a continuación.

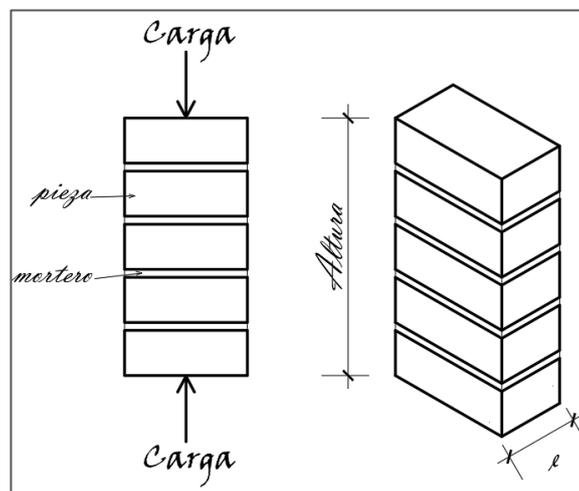


Figura 19. Pila para prueba en compresión. Fuente: Elaboración propia.

$$f'm = f.c * \frac{P_{max}}{A}$$

Donde:

P_{max} : Es la carga axial máxima que pueda soportar.

A : Es el área de la sección transversal de la muestra.

$f.c$: Es el coeficiente de corrección por esbeltez.

a) Formas de falla

La forma en que las pilas se comportan y fallan bajo cargas axiales depende en gran medida de la interacción entre el mortero y las superficies de apoyo de las unidades de albañilería. Dado que el mortero

y las unidades tienen distinta rigidez y responden de forma diferente al ser sometidos al mismo esfuerzo vertical (Bartolome et al., 2018).

La falla ideal de las pilas bajo carga axial es la formación de una grieta vertical a lo largo de la cara más corta, atravesando tanto las unidades como el mortero. Este tipo de grietas es el resultado de los esfuerzos de tracción generados por la expansión lateral que es causada por la compresión aplicada. Por el contrario, las fallas por trituración de las unidades se consideran indeseables, ya que son frágiles, repentinos y potencialmente explosivos (Bartolome et al., 2018).



Figura 20. Falla ideal de pila. Fuente: Comentario de la norma e.070 ALBAÑILERÍA.



Figura 21. Trituración de ladrillos huecos. Fuente: Comentario de la norma e.070 Albañilería.

b) Esbeltez de la pila

Es un parámetro que se utiliza para evaluar la relación entre la altura y las dimensiones de la base de la pila (la menor dimensión de la sección transversal). Esta relación suele oscilar entre 2 y 5; sin embargo, los valores entre 4 y 5 son los más representativos del comportamiento típico de la mampostería (Bartolome et al., 2018).

Este coeficiente nos ayuda a predecir el comportamiento de la pila bajo carga, ya que, a mayor esbeltez, mayor es la probabilidad de la pila a ser más susceptible a fallos por pandeo o inestabilidad. Es decir, si el coeficiente de esbeltez es demasiado grande, la pila puede ser más propensa a fallar por pandeo, especialmente cuando se somete a grandes cargas axiales. En consecuencia, el control de este parámetro durante la elaboración de pilas de albañilería es esencial para garantizar su estabilidad.

Tabla 22

Factores de corrección de f_m por esbeltez.

Esbeltez	2.0	2.50	3.0	4.0	4.5	5.0
Factor	0.73	0.8	0.91	0.95	0.98	1.00

Nota: Tomado de la Norma Técnica Peruana de albañilería e. 070, 2006.

1) Pilas de albañilería tubular sin refuerzo

Para la correcta elaboración de pilas primero, se debe remojar los ladrillos al menos media hora antes de su uso, esto para mejorar la adherencia con el mortero y reducir la absorción. Segundo, preparar el mortero mezclando con cemento, arena gruesa y el agua (como está establecido en la tabla 15) hasta conseguir la consistencia adecuada para su mejor trabajabilidad. Tercero, colocar la primera fila de ladrillos con la ayuda de nivel de mano para asegurar su verticalidad. A continuación, los ladrillos deben colocarse verticalmente, asegurando una correcta alineación y manteniendo un espesor de junta entre 10 mm y 15 mm, de acuerdo con las especificaciones de la norma e.070.

a) Características de la pila no reforzada

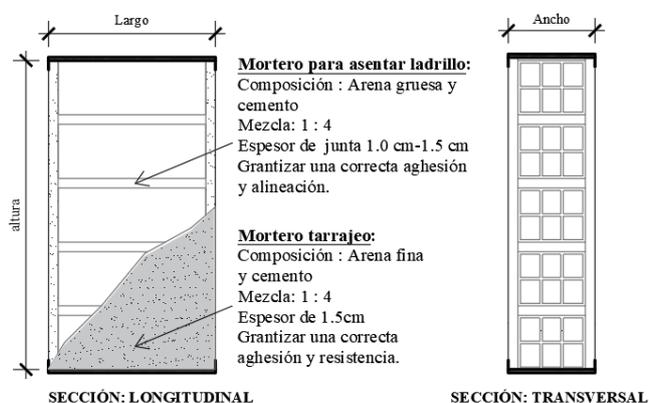


Figura 22. Pilas de albañilería tubular sin reforzada. Fuente: Elaboración Propia.

b) Proceso constructivo

Tabla 23

Procedimiento para la elaboración de pilas no reforzadas.

Procedimiento para la elaboración de pilas no reforzadas



Primero, un día antes de la construcción de las pilas, se regaron con agua potable las unidades de albañilería. Esta acción se realizó con el fin de mejorar la adherencia entre ladrillo y el mortero, así como para reducir la absorción.



Segundo, se comprobó que la superficie estuviera plana y limpia, asegurándose de que estuviera nivelada, en ambas direcciones. Luego se colocaron las unidades de albañilería encima de una madera.



Tercero, se aplicó mortero de 1.5 cm entre cada una de ellas, utilizando un nivel de mano para asegurar que las hiladas estuviera niveladas y rectas. Esto es de suma importancia para su estabilidad y la horizontalidad del murete.



Cuarto, transcurrido catorce días desde la construcción de las pilas, se procedió a humedecerlas con agua, tras lo cual se aplicó una lechada de cemento para promover una adherencia eficaz. Posteriormente, se aplicó una capa de mortero en ambas caras de la muestra.



Y, por último, se aplicó capping de 1 a 1,5 cm en la parte superior e inferior de la muestra, con el fin de garantizar una correcta aplicación de carga sobre la superficie, es decir, entre el cabezal del equipo (transcurrido los 28 días desde de haber finalizado la construcción de especímenes).

Fuente: Elaboración propia.

2) Pilas de albañilería tubular reforzada con mallas GFRP

a) Características de la pila reforzada

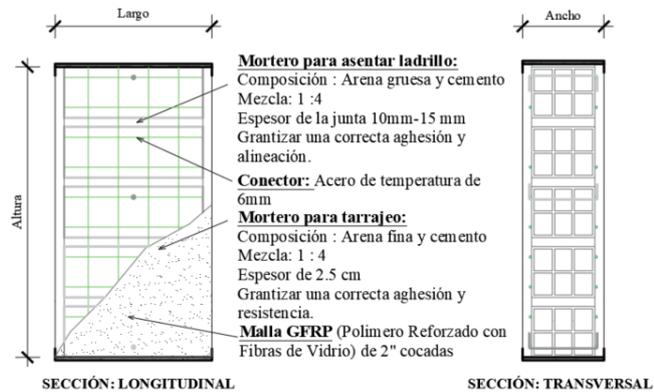


Figura 23. Pilas de albañilería tubular con refuerzo. Fuente Elaboración Propia.

b) Proceso constructivo

Tabla 24

Procedimiento para la elaboración de pilas reforzadas.

Procedimiento para la elaboración de pilas reforzadas



Transcurridos catorce días, se instalaron mallas de GFRP en ambos lados de la pila y se empotraron dos conectores de acero de grado 60 de 6 mm de diámetro a intervalos de 30 cm. A continuación, se humedeció toda la superficie con

agua para garantizar unas condiciones de aplicación adecuada.



Después, se aplicó lechada de cemento antes del enlucido para garantizar una fuerte adherencia entre la superficie, la malla y el mortero. Y luego, se procedió con el tarrajeo.



Y, por último, se aplicó un capping de 1 a 1,5 cm en la parte superior e inferior de la muestra, con el fin de garantizar una correcta aplicación de carga sobre la superficie, es decir, entre el cabezal del equipo (transcurrido los 28 días desde de haber finalizado la construcción de especímenes).

Fuente: Elaboración propia.

3) Ensayo de compresión axial de pilas con y sin refuerzo

Las pilas fueron transportadas desde la ciudad de Huancayo hasta Lima en un camión, asegurando que estuvieran bien protegidas durante la trayectoria. Para ello, fueron colocadas sobre una base estable, acolchonada y rodeadas de material protector, asegurando que no sufrieran daños por golpes o movimientos bruscos. Además, fueron asegurados con correas para evitar movimientos durante el trayecto del camión, aseverando la integridad de cada una de las muestras. Al llegar al laboratorio GEOCONTROL PERÚ, el espécimen fue descargado por el personal del laboratorio para su posterior ensayo.

Las pruebas de resistencia a la compresión se realizaron utilizando una máquina universal de una capacidad de 20 toneladas, donde se aplicó una carga de 5 toneladas por minuto, con un tiempo de prueba aproximado de 2-4 minutos. Estos ensayos se efectuaron de

acuerdo a las pautas establecidas por la NTP 399.605 que trata sobre el procedimiento para medir la resistencia en compresión de prismas de albañilería.

a) Pilas sin refuerzo

Para obtener resultados coherentes y comparables, se realizaron tres ensayos sobre pilas no reforzadas sometidos a cargas axiales de compresión. Donde, los especímenes fueron etiquetados como: PL-1, PL-2 y PL-3, estas etiquetas permitieron una clara diferenciación y un registro apropiado en los resultados de las pruebas.

PL-1

La falla fue de naturaleza frágil y explosiva, donde los ladrillos tubulares fueron triturados al alcanzar la carga máxima. Estas fallas se produjeron bruscamente en la región central del pilote. Este comportamiento se considera como no deseable, ya que no mostró el típico agrietamiento vertical a lo largo de la cara menor.



Figura 24. Fallas observadas en la PL-1. Fuente: Elaboración propia.

PL-2 y PL-3

Las fallas de las pilas aparecieron de forma brusca inmediatamente después de alcanzar la carga máxima. Inicialmente, las unidades de albañilería se trituraron en la parte superior, seguidas del desprendimiento de la capa de tarrajeó, lo que indica una pérdida significativa de resistencia en esta región.



Figura 25. Fallas observadas en la PL-2 y PL-3. Fuente: Elaboración propia.

b) Pilas con refuerzo

Para lograr una comparación válida, se llevaron a cabo tres ensayos, en los que se aplicó una carga de compresión axial de pilas con refuerzo. Las cuales fueron reforzadas con malla de polímero reforzado con fibras de vidrio, donde los especímenes fueron etiquetados como: PR-1, PR-2 y PR-3, y se sometieron a los ensayos de acuerdo con el procedimiento de la norma anteriormente mencionada.

PR-1

La falla fue del tipo dúctil, lo que permite que el material presente cierta deformación antes de llegar a la fractura. Al alcanzar la carga máxima, se observa un ligero desprendimiento del mortero en ambas caras de la pila. Luego, los ladrillos se rompen en la parte central, lo que indica que habían alcanzado su límite de resistencia.

Asimismo, nos indica que el material tiene cierta la capacidad de absorber energía antes de la fractura, lo que pudo haber retrasado la propagación de las grietas y evitó una falla frágil o explosiva.



Figura 26. Descripción de las fallas observadas en la PR-1. Fuente: Elaboración propia.

PR-2 y PR-3

La falla fue de tipo dúctil, donde primero falló la malla, posteriormente el ladrillo tubular sin defectos explosivos. Este comportamiento indicó que el material tenía la capacidad de deformarse significativamente antes de romperse. Además, se observaron deformaciones antes de fallar.



Figura 27. Descripción de las fallas observadas en la PR-2. Fuente: Elaboración propia

2.2.3.7.2. Resistencia a la compresión diagonal en muretes

La resistencia a la compresión diagonal de murete expresado como $v'm$, está definido como la carga máxima diagonal aplicada en el espécimen. Esta propiedad es importante porque la forma en que se produce la falla durante el ensayo es comparable a cómo se comportan algunas paredes cuando se presentan las fuerzas sísmicas (Pacco, 2019). Esta similitud es

esencial porque permite predecir el comportamiento de muros en condiciones sísmicas, facilitando la identificación de posibles fallas. Al comprender de manera mejor los patrones de falla, se pueden realizar ajustes de diseño para mejorar la confiabilidad, resistencia y seguridad de los edificios frente a sismos. Además, el estudio de estos defectos puede proporcionar información valiosa para el desarrollo de soluciones más efectivas y económicas en edificaciones sismorresistentes.

El procedimiento de ensayo se adhiere a los lineamientos metodológicos establecidos en la Norma Técnica Peruana NTP 399.621.

Este ensayo se realizó 28 días después de la construcción de los muretes reforzadas y no reforzadas. Asimismo, para conocer los resultados del ensayo, se aplica una carga “P”, hasta que el espécimen no pueda resistir cargas y se produzca la falla. Para el cálculo la carga se divide por el área bruta de la diagonal.

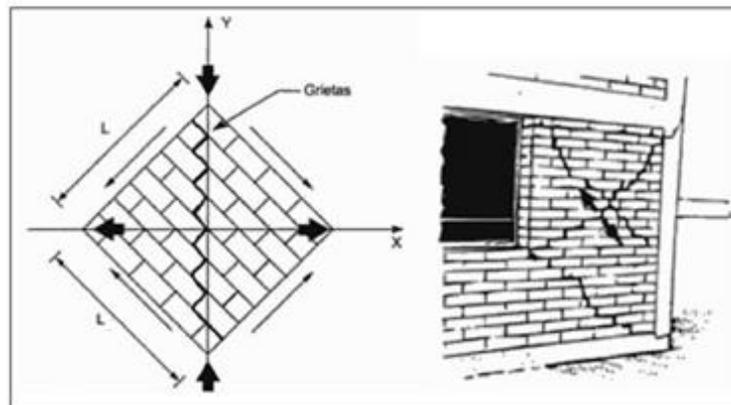


Figura 28. Similitudes entre el modo de falla observado en el ensayo de compresión diagonal y el comportamiento estructural durante un sismo. Tomado de Albañilería Estructural, por Gallegos & Casabonne.

$$V_m = \frac{P}{D \cdot t} \dots (1)$$

$$V'_m = V_m(\text{Prom}) - \sigma \dots (2)$$

Donde

V_m : Resistencia al corte diagonal.

V_m (prom): Promedio de la resistencia al corte diagonal.

V'_m : Resistencia a la compresión diagonal.

P: Carga axial máxima sobre la diagonal del murete.

Dt: Área diagonal perpendicular al eje de aplicación de carga.

σ : Desviación estándar de la muestra.

- **Tipos de falla**

Un modo de fallo común se produce cuando las grietas se propagan a través de las unidades de mampostería, lo que tiene lugar cuando la resistencia de las unidades es inferior a la resistencia del mortero. A la inversa, las grietas pueden desarrollarse a lo largo de las juntas de mortero cuando las unidades son más fuertes que la unión que las conecta al mortero. Por último, cuando la resistencia de compresión en las unidades y el mortero son similares, se desarrolla un modo de fallo mixto, con grietas diagonales que atraviesan indistintamente ambos materiales (Pacco, 2019).

Cuando una pared no tiene suficiente resistencia a la compresión diagonal, se pueden desarrollar grietas o fallas de forma diagonal que se propagan a través de la pared. Las cargas laterales, como las cargas sísmicas o el viento, crean fuerzas diagonales que no siempre se consideran una amenaza directa, pero que pueden causar la ruptura de la pared si no se diseñan adecuadamente.

1) Muretes de albañilería tubular sin reforzada

a) Característica del murete no reforzada

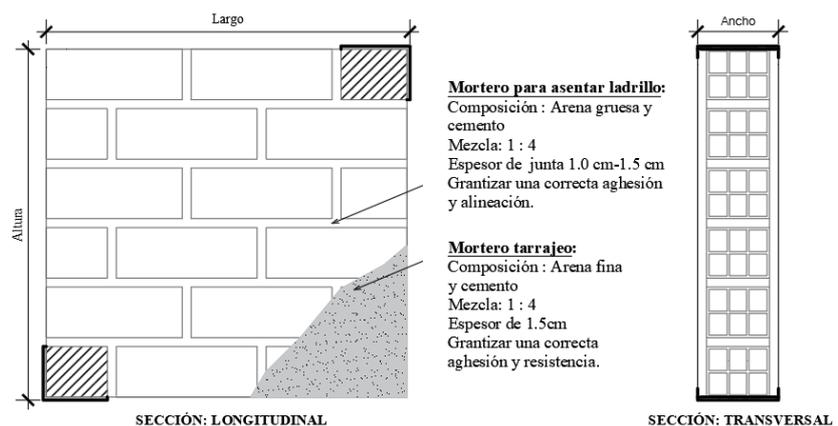


Figura 29. Muretes de albañilería tubular sin reforzada. Fuente: Elaboración Propia.

b) Proceso constructivo

Tabla 25

Procedimiento para la construcción de muretes no reforzadas.

Procedimiento para la elaboración de muretes no reforzadas



Primero, un día antes de la construcción de los muretes, se regaron con agua potable todas las unidades de albañilería. Esta acción se realizó con el fin de mejorar la adherencia entre ladrillo y el mortero, así como para reducir la absorción.



Segundo, se comprobó que la superficie estuviera plana y limpia, asegurándose de que estuvieran niveladas en ambas direcciones.



Tercero, luego se colocaron las unidades de albañilería encima de una madera, tomando en cuenta las consideraciones establecidas en la figura 29.



Cuarto, se aplicó mortero de 1.5 cm entre cada una de ellas, utilizando un nivel de mano para asegurar que las hiladas estuviera nivelada y recta. Esto es de suma importancia para su estabilidad y la horizontalidad del murete.



Quinto, transcurrido 14 días desde la construcción de las pilas, se procedió a humedecerlas con agua. Posteriormente, se aplicó lechada de cemento para garantizar una buena adherencia entre la superficie.

Después, se procedió a tarrajear en ambas caras de la muestra.



Y, por último, se aplicó un capping de 1 a 1,5 cm en la parte superior e inferior diagonal de la muestra, con el fin de garantizar una correcta aplicación de carga en la superficie diagonal (transcurrido los 28 días desde de haber finalizado la elaboración de los especímenes).

Fuente: Elaboración propia.

2) Muretes de albañilería tubular reforzada con mallas GFRP

a) Característica del murete reforzada

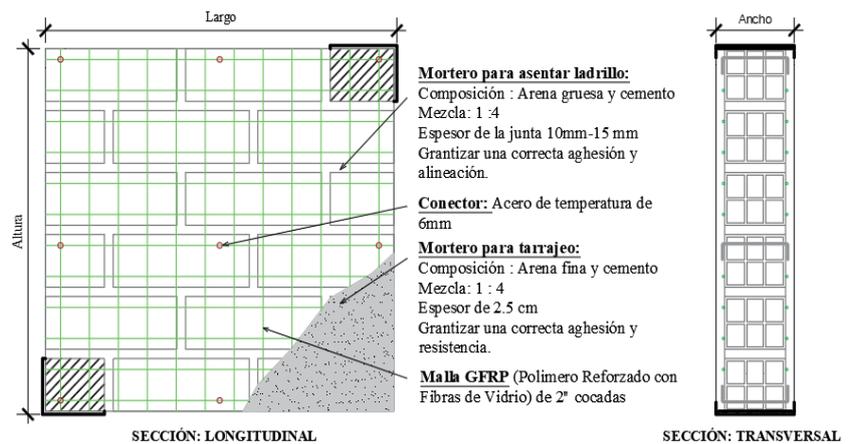


Figura 30. Muretes de albañilería tubular con refuerzo. Fuente Elaboración Propia.

b) Proceso constructivo

Tabla 26

Procedimiento para la elaboración de muretes reforzadas.

Procedimiento para la elaboración de muretes reforzadas



Transcurridos catorce días, se colocó malla de GFRP en ambos lados del murete y se empotraron conectores de acero de grado 60 de 6 mm de diámetro a intervalos de 30 cm. Luego, se humedece toda la superficie con agua para garantizar unas condiciones de aplicación adecuada.



A continuación, se humedecieron las superficies con agua y se aplicó una lechada de cemento para favorecer una adherencia adecuada. Posteriormente, se procedió al enlucido en ambas caras de la pared, con un espesor uniforme de 2.5 cm.



Y, por último, se aplicó un capping de 1 a 1,5 cm en la parte superior e inferior diagonal de la muestra, con el fin de garantizar una correcta aplicación de carga en la superficie diagonal (transcurrido los 28 días desde de haber finalizado la elaboración de los especímenes).

Fuente: Elaboración propia.

3) Ensayo de compresión diagonal de muretes sin y con refuerzo

Los muretes fueron transportados desde la ciudad de Huancayo hasta Lima en un camión, asegurando que estuvieran bien protegidas durante la trayectoria. Para ello, fueron colocadas sobre una base estable,

acolchonada y rodeadas de material protector, asegurando que no sufrieran daños por golpes o movimientos bruscos. Además, fueron asegurados con correas para evitar movimientos durante el trayecto del camión, asegurando la integridad de las muestras. Al llegar al laboratorio GEOCONTROL PERÚ, los especímenes fueron descargado por el personal del laboratorio para su posterior ensayo.

Las pruebas de resistencia a la compresión se realizaron utilizando una máquina universal de una capacidad de 20 toneladas, donde se aplicó una carga de 1 tonelada por minuto, con un tiempo de prueba aproximado de 2-4 minutos. Estos ensayos se efectuaron de acuerdo a las pautas establecidas por la NTP 399.621.

a) Muretes sin refuerzo

Para obtener resultados coherentes y comparables, se realizaron tres ensayos en muretes no reforzadas, donde fueron sometidos a cargas de compresión. Los especímenes fueron etiquetados como: M-1, M-2 y M-3, donde estas etiquetas permiten una clara diferenciación y un registro apropiado en los resultados de las pruebas.

M-1

Se aprecia una falla frágil y explosiva, donde las grietas se desarrollaron de manera diagonal atravesando tanto el mortero y los ladrillos pandereta. Esta grieta nos indica que hubo una fuerte adhesión entre el mortero y las unidades de albañilería, donde la carpa aplicada se transfirió correctamente.



Figura 31. Descripción de las fallas observadas en la M-1. Fuente: Elaboración propia.

M-2 y M-3

Se observa una falla común frágil y explosiva, en la parte superior de la diagonal del murete los ladrillos se fracturaron antes que el mortero. Esto evidencia que la resistencia del ladrillo es menor que la del mortero, lo cual genera un comportamiento estructural desfavorable.



Figura 32. Descripción de las fallas observadas en la M-2. Fuente: Elaboración propia.

b) Muretes con refuerzo

Para garantizar una comparación fiable, se realizaron tres ensayos de muretes reforzados con malla GFRP, etiquetados como: MR-1, MR-2 y MR-3. Asimismo, se aplicó una carga de compresión diagonal a cada espécimen, siguiendo el procedimiento descrito de la norma técnica peruana.

MR-1 y MR-2

Falla lenta y progresiva donde la grieta se extiende a lo largo de la diagonal principal, alcanzando el extremo opuesto a donde se aplicó la carga. Asimismo, se puede apreciar las grietas y cómo la malla no se separa con el revestimiento de la pared. Esto sugiere un nivel de riesgo reducido, al permitir un mayor margen de tiempo para una evacuación.



Figura 33. Descripción de las fallas observadas en la MR-2. Fuente: Elaboración propia.

MR- 3

Se aprecia una falla dúctil, donde las grietas se propagan de forma lenta y gradual a lo largo de la diagonal principal del murete hasta llegar al borde opuesto. En la figura 35 se puede apreciar como la malla no se separa con el revestimiento de la pared, esto indica que la muestra tiene cierta capacidad de absorción de energía antes de fallar de manera explosiva.



Figura 34. Descripción de las fallas observadas en la MR-3. Fuente: Elaboración propia.

2.2.5. Análisis y precios unitarios.

Para la investigación planteada, el análisis de precios unitarios nos posibilita la estimación de los costos asociados a cada partida según una unidad de medida, facilitando así la toma de decisiones sobre la viabilidad económica de reforzar los muros con mallas de GFRP.

PARTIDA N°: 1 Tarrajeo interior de pared 1:5, e= 1.5 cm

CUADRILLA: 1 operario + 0.5 peon

Rendimiento 20 m²/día
Unidad m²

DESCRIPCION	UND	CUADRILLA	CANTIDAD	P.UNIT	PARCIAL	TOTAL
MATERIALES						
cemento	bls		0.117	25.59	2.98	
arena fina	m3		0.017	59.32	0.98	
agua	m3		0.004	5.00	0.02	
regla de aluminio 3m x 0.10 m	und		0.003	33.90	0.10	
madera tornillo	p2		0.580	5.51	3.20	
clavos 3"	kg		0.030	6.69	0.20	
COSTO MATERIALES S/.						7.48
MANO DE OBRA						
OPERARIO	HH	1.00	0.40	20.28	8.11	
PEON	HH	0.50	0.20	14.49	2.9	
COSTO MANO DE OBRA S/.						11.01
EQUIPO Y HERRAMIENTAS						
HERRAMIENTAS MANUALES(3%)	%MO		0.030	11.01	0.33	
COSTO EQUIPO Y HERRAMIENTAS S/.						0.33
TOTAL S/.						18.82

Figura 35. Análisis de precio unitario de tarrajeo interior de pared de una proporción de 1:5 con un espesor de 1.5cm. Tomado de Costos y Presupuesto en Edificaciones.

PARTIDA N°: 3 Instalacion de malla de GFRP

CUADRILLA: 1 operario + 0.5 peon

Rendimiento 25 m²/día
Unidad m²

DESCRIPCION	UND	CUADRILLA	CANTIDAD	P.UNIT	PARCIAL	TOTAL
MATERIALES						
Acero 1/4	kg		0.044	5.085	0.226	
Alambre # 16	kg		0.024	2.440	0.059	
Mallas GFRP 2"	m2		1.000	13.482	13.470	
COSTO MATERIALES S/.						13.75
MANO DE OBRA						
OPERARIO	HH	1.00	0.32	20.28	6.49	
PEON	HH	0.50	0.16	14.49	2.32	
COSTO MANO DE OBRA S/.						8.81
EQUIPO Y HERRAMIENTAS						
HERRAMIENTAS MANUALES(5%)	%MO		0.050	8.81	0.44	
COSTO EQUIPO Y HERRAMIENTAS S/.						0.44
TOTAL S/.						23.00

Figura 36. Análisis de precio unitario de la instalación de mallas de GFRP en la pared.

PARTIDA N°: 2 Tarrajeo interior de pared con mallas GFRP 1:4, e= 2.5 cm

CUADRILLA: 1 operario + 0.5 peon

Rendimiento

17 m2/día

Unidad

m2

DESCRIPCION	UND	CUADRILLA	CANTIDAD	P.UNIT	PARCIAL	TOTAL
MATERIALES						
cemento	bls		0.243	25.59	6.21	
arena fina	m3		0.028	59.32	1.63	
agua	m3		0.009	5.00	0.04	
regla de aluminio 3m x 0.10 m	und		0.003	33.90	0.10	
madera tornillo	p2		0.580	5.51	3.20	
clavos 3"	kg		0.030	6.69	0.20	
COSTO MATERIALES S/.						11.38
MANO DE OBRA						
OPERARIO	HH	1.00	0.47	20.28	9.54	
PEON	HH	0.50	0.24	14.49	3.41	
COSTO MANO DE OBRA S/.						12.95
EQUIPO Y HERRAMIENTAS						
HERRAMIENTAS MANUALES(3%)	%MO		0.030	12.95	0.39	
COSTO EQUIPO Y HERRAMIENTAS S/.						0.39
TOTAL S/.						24.72

Figura 37. Análisis de precio unitario de tarrajeo interior de pared con mallas de GFRP, proporción 1:4 y un espesor de 2.5cm.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Método, y alcance de investigación

3.1.1. Método de investigación

El método de investigación es el conjunto de procedimientos y técnicas que se utilizan para recolectar, analizar e interpretar datos con el objetivo de responder preguntas de investigación o resolver problemas específicos. Es la estrategia estructurada guía el proceso de indagación científica (Hernández et al., 2014).

Esta investigación aplicada es de carácter científico, donde busca realizar un análisis detallado y profundo utilizando múltiples fuentes de información de los datos del uso de malla polímero reforzado con fibras de vidrio en el campo de la ingeniería civil. Estos hallazgos contribuyen directamente a resolver el problema identificado en la investigación, ofreciendo perspectivas que ayudan a perfeccionar y mejorar el problema investigado.

3.1.2. Tipo de investigación

Se considera una investigación aplicada, ya que se caracteriza por su interés en aplicar, utilizar o transferir los conocimientos que se adquieren mediante la investigación para la solución de problemas concretos, ya sea del hombre o de la sociedad en general (Hernández et al., 2014).

Se considera una investigación aplicada, puesto que busca transferir y utilizar conocimientos teóricos, para la mejora de las propiedades mecánicas de los muros de ladrillo tubular reforzados con malla de polímero con fibras de vidrio en un contexto experimental. A través de ensayos de laboratorio, se pretende obtener resultados concretos y verificables que permitan transformar la teoría en soluciones prácticas orientadas a mejorar el comportamiento estructural de estos muros, con posibles beneficios para la seguridad y eficiencia en la construcción.

3.1.3. Nivel de investigación

En esta investigación es de nivel explicativo, ya que “Se centra en explicar por qué ocurre un fenómeno y en qué condiciones se manifiesta o por qué se relacionan dos o más variables” (Hernández et al., 2014).

3.2. Diseño de la investigación

“Un diseño cuasi experimental es aquel en el que el investigador manipula deliberadamente una variable independiente para observar su efecto en una o más variables dependientes, pero sin la asignación aleatoria de los participantes a los grupos de estudio” (Hernández et al., 2022).

En este tipo de diseño, la variable independiente son la malla de polímero reforzado con fibras de vidrio, donde serán manipuladas o tratadas para dar efecto en las propiedades mecánicas de los muros de ladrillo tubular, que es la variable dependiente es por ello, nuestra una investigación cuasi experimental.

3.3. Población y muestra

3.3.1. Población

La población se define como “un conjunto finito o infinito de elementos con características comunes para las cuales serán extensivas las conclusiones de la investigación” (Arias, 2012).

Para la investigación, la población son muros portantes hechos con ladrillo tubular en edificaciones.

3.3.2. Muestra

La muestra se define como una parte o el subconjunto de la población, accesible y limitado, sobre el cual se llevan a cabo las mediciones o el experimento, con el propósito de obtener conclusión que garantiza a la totalidad de la población (Palella & Martins, 2012).

Para la investigación la muestra es tres pilas y tres muretes con y sin refuerzo como se muestra en la tabla 27.

Tabla 27

Cantidad de muestra.

Espécimen	Cantidad
PL (Pila sin refuerzo)	3
PR (Pila con refuerzo)	3
M (Murete sin refuerzo)	3
MR (Murete con refuerzo)	3

Fuente: Elaboración propia.

3.3.3. Muestreo

El muestreo “es el proceso de seleccionar una parte de la población para hacer inferencias sobre ella” (Hernández et al., 2014). En este tipo de muestreo no se aplica la matemática ni la estadística, sino que el investigador selecciona la muestra en función a su criterio técnico.

3.3.3.1. Muestreo no probabilístico

Este tipo de muestreo, no todas las unidades de la población tienen la misma probabilidad de ser designadas. También es conocido como muestreo por conveniencia, no es aleatorio, razón por la que se desconoce la probabilidad de selección de cada unidad o elemento de la población (Pineda et al., 1994).

En esta investigación, utilizamos un muestreo no probabilístico, concretamente un muestreo intencional, ya que seleccionamos la muestra basándonos en criterios predefinidos relevantes para nuestro estudio.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.4.1. Técnica de recolección de datos

Las técnicas de recopilación de datos se refieren a los métodos y procedimientos organizados que se emplean para recabar información importante durante un proyecto de investigación, con el objetivo de analizar los datos y responder a las preguntas de la investigación (Hernández et al., 2014). Para la investigación la técnica de recolección de datos fue la observación directa y la recopilación de información.

3.4.2. Instrumento de recolección de datos

El instrumento de recolección de datos es “el medio o herramienta utilizada para obtener información necesaria en una investigación, pudiendo ser cuestionarios, entrevistas, pruebas u observaciones” (Hernández et al., 2014).

En el presente estudio, se emplearon como instrumento las fichas de registro del ensayo de laboratorio, las cuales contienen datos que fueron registrados durante el ensayo. Estas fichas permitieron documentar de manera ordenada y confiable los resultados técnicos, constituyéndose en una fuente clave para el análisis y la interpretación de los datos experimentales.

CAPÍTULO IV

RESULTADO Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados de ensayo

4.1.1. Ensayo de compresión axial de pilas

Este tipo de ensayo es primordial para este presente tema de investigaciones, pues proporciona información crucial sobre la carga máxima que soporta. En base en este enfoque, se elaboraron pilas sin y con refuerzo (GFRP) como se muestra en la tabla 28 y 29 para comparar los resultados obtenidos.

1) Pilas sin refuerzo

Se ensayaron pilas no reforzadas para establecer una comparación con los reforzados, donde el tarrajeo está aplicado en ambos lados. Los ensayos se realizaron en el laboratorio de GEOCONTROL PERÚ.

Tabla 28

Resultados de ensayo de compresión axial de pilas sin refuerzo.

Muestra	Área (mm ²)	Carga de rotura. (kgf)	Esbeltez (hp/tp)	f.c.	f'm corregido (kgf/cm ²)
PL-1	31020	12019	4.02	0.951	36.83
PL-2	30590	11007	4.02	0.951	34.22
PL-3	31725	12096	3.93	0.947	36.11
			Promedio		35.72
			Desviación		1.35
			f'm		34.37

Fuente: Elaboración propia.

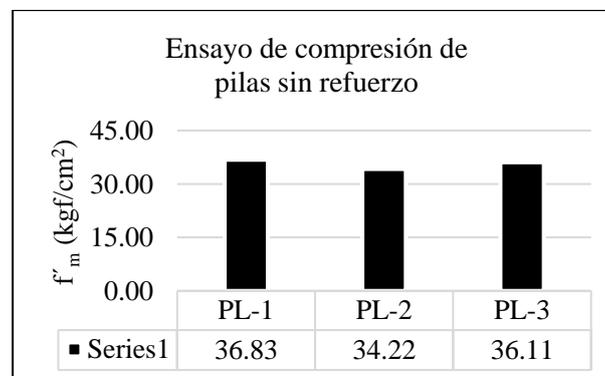


Figura 38. Resultados de ensayo de compresión axial de pila sin refuerzo.

Fuente: Elaboración propia.

- Los ensayos realizados en la prensa mostraron la carga de rotura de las pilas sin refuerzo: 12019 kgf, 11007 kgf y 12096 kgf logrando una resistencia a la compresión axial (f'_m) de: 36.83 kgf/cm², 34.22 kgf/cm² y 36.11 kgf/cm², de las cuales la media y la desviación estándar de los resultados se calcularon para permitir un análisis estadístico más exhaustivo de las pruebas de pilas no reforzados.
- En los ensayos de compresión axial sin refuerzo las fallas observadas fueron frágil y explosiva, donde los ladrillos tubulares fueron triturados al alcanzar la carga máxima, esto nos indica que este tipo de fallas es peligroso.

2) Pilas con refuerzo

Las pilas fueron realizadas con refuerzo para realizar una comparación con el grupo control (pilas sin refuerzo), donde el tarrajeo está aplicado en ambos lados. El ensayo se realizó en el laboratorio GEOCONTROL PERÚ.

Tabla 29

Resultados de ensayo de compresión axial de pila con refuerzo.

Muestra	Área (mm²)	Carga de rotura. (kgf)	Esbeltez (Hp/tp)	f.c.	fm corregido (kgf/cm²)
PR-1	36425	20985	3.45	0.928	53.47
PR-2	36425	19055	3.45	0.928	48.55
PR-3	35650	18776	3.42	0.927	48.81
			Promedio		50.28
			Desviación		2.77
			f'm		47.51

Fuente: Elaboración propia.

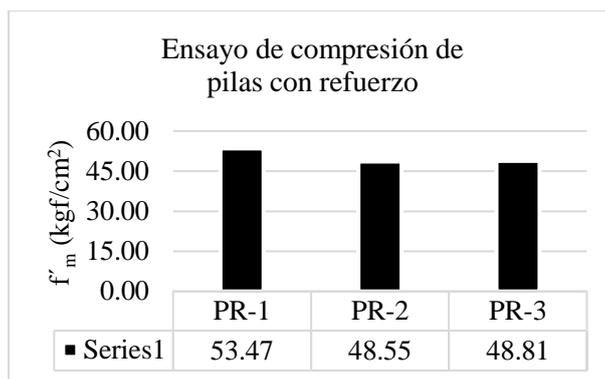


Figura 39. Resultados de ensayo de compresión axial de pila con refuerzo.

Fuente: Elaboración propia.

- Los ensayos realizados en la prensa mostraron la carga de rotura de las pilas con refuerzo: 20985 kgf, 19055 kgf y 18776 kgf logrando una resistencia a la compresión diagonal (f'_m) de: 53.47 kgf/cm², 48.55 kgf/cm² y 48.81 kgf/cm², de las cuales la media y la desviación estándar de los resultados se calcularon para permitir un análisis estadístico más exhaustivo de las pruebas de pilas reforzadas.
- Por lo tanto, las fallas observadas en el ensayo fueron de tipo dúctil, donde primero falló la malla, posteriormente el ladrillo tubular sin defectos explosivos. Este comportamiento indicó que el material tenía la capacidad de deformarse significativamente antes de romperse.

4.1.2. Ensayo de compresión diagonal de muretes

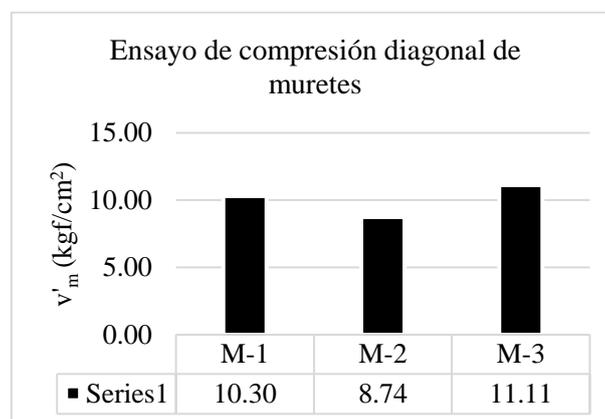
Este ensayo resulta fundamental para el desarrollo del presente estudio, ya que permite obtener información clave sobre la resistencia máxima que pueden soportar los muretes. En base a ello, se elaboraron muretes sin y con refuerzo (GFRP) como se aprecia en la tabla 30 y 31. Posteriormente, compararlo los resultados obtenidos para determinar si la malla tuvo algún efecto.

1) Muretes sin refuerzo

A todos los muretes se les aplicó tarrajeo en ambas caras, de manera similar a como se hace en una obra real. Los ensayos fueron realizados en el laboratorio de GEOCONTROL PERÚ, bajo condiciones controladas, lo que garantizó la precisión y confiabilidad de los resultados obtenidos.

Tabla 30*Resultados de ensayo de compresión diagonal de muretes sin refuerzo.*

Muestra	Diagonal (mm)	Carga de rotura. (kgf)	Área (mm ²)	V'm (kgf/cm ²)
M-1	869.770	12096.00	117418.961	10.30
M-2	866.213	10602.00	121269.823	8.74
M-3	873.284	13589.00	122259.764	11.11
		Promedio		10.05
		Desviación		1.21
		v'm		8.85

Fuente: Elaboración propia.**Figura 40.** Resultados de ensayo de compresión diagonal de muretes sin refuerzo. Fuente: Elaboración propia.

- Durante los ensayos realizados con la prensa, se registraron las cargas máximas que soportaron los muretes sin refuerzo: 12,096.00 kgf, 10,602.00 kgf y 13,589.00 kgf. Estas mediciones permitieron calcular la resistencia a compresión diagonal (v'_m), que fueron de 10.30 kgf/cm², 8.74 kgf/cm² y 11.11 kgf/cm². Posteriormente, se determinó la media y la desviación estándar de los resultados para un análisis estadístico más exhaustivo.
- Asimismo, las fallas observadas en el ensayo fueron frágil y explosiva, donde las grietas se propagaron rápidamente de forma diagonal. Esto indica que es peligroso porque no ofrece tiempo para evacuar.

2) Muretes con refuerzo

Los muretes fueron realizados con refuerzo para realizar una comparación con el grupo control (muretes sin refuerzo), donde el tarrajeo está aplicado en ambos lados. El ensayo se realizó en el laboratorio GEOCONTROL PERÚ.

Tabla 31

Resultados de ensayo de compresión diagonal de muretes con refuerzo

Muestra	Diagonal (mm)	Carga de rotura. (kgf)	Área (mm ²)	v_m (kgf/cm ²)
MR-1	883.91	21841.0	150265.0	14.53
MR-2	883.91	19761.0	150265.0	13.15
MR-3	883.91	20485.0	150265.0	13.63
		Promedio		13.77
		Desviación		0.70
		v'_m		13.07

Fuente: Elaboración propia.

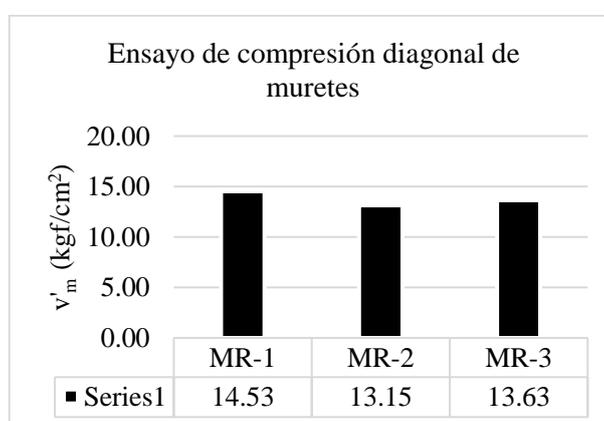


Figura 41. Resultados de ensayo de compresión diagonal de muretes con refuerzo. Fuente: Elaboración propia.

- Durante los ensayos realizados con la prensa, se registraron las cargas máximas que soportaron los muretes con refuerzo: 21841.0 kgf, 19761.0 kgf y 20485.0 kgf. Estas mediciones permitieron calcular la resistencia a compresión diagonal (v'_m), que fueron de: 14.53 kgf/cm² y 13.15 kgf/cm², 13.63 kgf/cm². Posteriormente, se determinó la media y la

desviación estándar de los resultados para un análisis estadístico más exhaustivo.

- Asimismo, las fallas observadas en el ensayo fueron de tipo dúctil, donde las grietas se propagaron de forma lenta y gradual a lo largo de la diagonal principal del murete hasta llegar al borde opuesto. Esto indica que es menos peligroso porque ofrece tiempo para evacuar a los ocupantes.

4.1.3. Análisis de precios unitarios

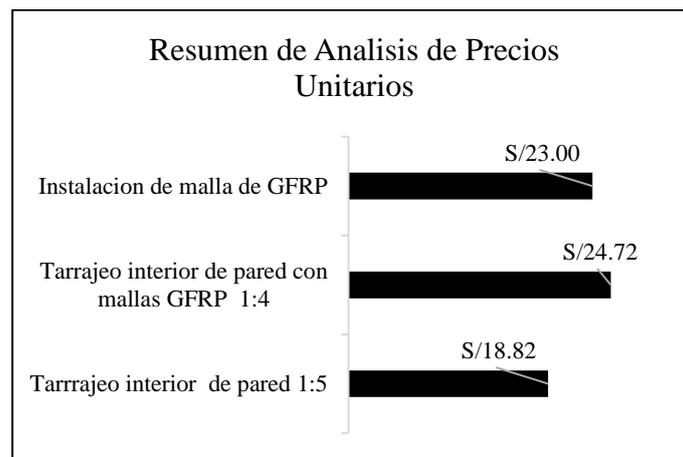


Figura 42. Resumen de Análisis de precios unitarios. Fuente: Elaboración propia

- De acuerdo con el análisis de precios unitarios, el tarrajeo interior convencional de muros, utilizando una mezcla en proporción 1:5, tiene un costo de s/ 18.82 por metro cuadrado. Del mismo modo, el tarrajeo aplicado sobre paredes con malla, utilizando una mezcla en proporción 1:4, tiene un costo de S/ 24.72 por metro cuadrado. A este se suma el costo de instalación de la malla en el muro, que es de S/ 23.00 por metro cuadrado.

4.2. Prueba de hipótesis

- **Hipótesis general**

Para evaluar estadísticamente la hipótesis general de la investigación planteada como, “La malla de polímero reforzado con fibras de vidrio influyen significativamente en las propiedades mecánicas en muros de ladrillo tubular”. Para el procesamiento de datos se empleó el software estadístico SPSS.

4.2.1. Prueba de hipótesis del ensayo de compresión axial de pilas

- **Hipótesis nula:** La malla de polímero reforzado con fibras de vidrio no produce efectos significativos en las propiedades mecánicas en muros de ladrillo tubular sujetas al ensayo de compresión axial de pilas.
- **Hipótesis alterna:** La malla de polímero reforzado con fibras de vidrio produce efectos significativos en las propiedades mecánicas en muros de ladrillo tubular sujetas al ensayo de compresión axial de pilas.

a) Normalidad

Se comprobó que la variable aleatoria en ambos grupos, el patrón y el reforzado con malla de GFRP, sigue una distribución normal. Para ello, se aplicó la prueba de Shapiro-Wilk, la cual es recomendada cuando el tamaño de la muestra es inferior a 30 unidades. Asimismo, se estableció un nivel de significancia de 0.05 para determinar la normalidad de los datos.

Hipótesis:

H_0 = Proviene de una distribución normal.

H_1 = No proviene de una distribución normal.

Tabla 32

Compresión axial de pilas.

Compresión axial de pilas (kgf/cm ²)	GRUPO
36,83	Patrón
34,22	Patrón
36,11	Patrón
53,47	Pila con GFRP
48,55	Pila con GFRP
48,81	Pila con GFRP

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 33

Pruebas de normalidad de compresión axial de pilas.

		Pruebas de normalidad					
		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	GRUPO	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Compresión axial de pilas	Patrón	,280	3	.	,937	3	,516
	Pila con GFRP	,369	3	.	,790	3	,090

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 34*Interpretación de la prueba de normalidad de compresión axial de pilas.*

Grupo	Valor -p	Nivel de significancia (α)	Comparación	Decisión estadística
Patrón	0.516	0.05	$0.516 > 0.05$	Se acepta la hipótesis nula (H_0)
Pila con GFRP	0.090	0.05	$0.090 > 0.05$	Se acepta la hipótesis nula (H_0)

Fuente: Elaboración propia.

- Dado que en ambos casos el valor-p es mayor que el nivel de significancia (0.05), se acepta la hipótesis nula. Por lo tanto, se concluye que las variables en los dos grupos analizados presentan una distribución normal.

b) Igualdad de varianzas (Prueba de Levene)**Hipótesis:** H_0 = Varianzas son iguales. H_1 = Existe diferencia significativa entre las varianzas.**Tabla 35***Estadística de grupos de compresión axial de pilas.*

	Estadísticas de grupo				
	GRUPO	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Compresión axial de pilas	Patrón	3	35,7200	1,34800	,77827
	Pila con GFRP	3	50,2767	2,76856	1,59843

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 36*Prueba de muestras independientes de compresión axial de pilas.*

Prueba de muestras independientes										
		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl.	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
									Inferior	Superior
Compresión axial de pilas	Se asumen varianzas iguales	3,2	,147	-8,188	4	,001	-14,56	1,7778	-19,4927	-9,621
	No se asumen varianzas iguales			-8,188	2,9	,004	-14,56	1,7778	-20,3291	-8,784

Fuente: Elaboración propia.**Tabla 37***Interpretación de prueba de Levene de igualdad de varianzas de compresión axial de pilas.*

Prueba realizada	Valor - p	Nivel de significancia (α)	Comparación	Decisión estadística
Igualdad de varianzas	0.147	0.05	$0.147 > 0.05$	Se acepta la hipótesis nula (H_0)

Fuente: Elaboración propia.

- Dado que el valor-p es mayor que el nivel de significancia ($\alpha = 0.05$), se acepta la hipótesis nula. En consecuencia, se concluye que las varianzas de los dos grupos analizados son iguales; no existe diferencia significativa entre las varianzas.

c) Prueba T de Student

Para evaluar si dos grupos (Patrón y pila con GFRP) difieren de manera significativa respecto a sus medias en la variable, se empleó T de Student.

Para tomar una decisión estadística se tomó las siguientes consideraciones:

Tabla 38

Interpretación de Prueba T de Student para la igualdad de medias de compresión axial de pilas.

Prueba realizada	Valor - p	Nivel de significancia (α)	Comparación	Decisión estadística
Prueba t de Student	0.001	0.05	$0.001 < 0.05$	Se rechaza la hipótesis nula (H_0)

Fuente: Elaboración propia.

- Dado que el valor-p es menor que el nivel de significancia ($\alpha = 0.05$), se rechaza la hipótesis nula. Esto indica que si existe una diferencia significativa entre las medias del grupo patrón y el grupo con refuerzo GFRP. Por lo tanto, se concluye que la malla de polímero reforzado con fibra de vidrio (GFRP) genera un efecto significativo en las propiedades mecánicas de los muros de ladrillo tubular sometidos a ensayo de compresión axial en pilas.

4.2.2. Prueba de hipótesis del ensayo de compresión diagonal de muretes

- **Hipótesis nula:** La malla de polímero reforzado con fibras de vidrio no producen efectos significativos en las propiedades mecánicas en muros de ladrillo tubular sujetas al ensayo de compresión diagonal de muretes.
- **Hipótesis alterna:** La malla de polímero reforzado con fibras de vidrio producen efectos significativos en las propiedades mecánicas en muros de ladrillo tubular sujetas al ensayo de compresión diagonal de muretes.

a) Normalidad

Se comprobó que la variable aleatoria en ambos grupos, el patrón y el reforzado con malla de GFRP, sigue una distribución normal. Para ello, se aplicó la prueba de Shapiro-Wilk, la cual es recomendada cuando el tamaño de la muestra es inferior a 30 unidades. Asimismo, se estableció un nivel de significancia de 0.05 para determinar la normalidad de los datos.

Hipótesis:

H_0 = Proviene de una distribución normal.

H_1 = No proviene de una distribución normal.

Tabla 39*Compresión diagonal de muretes.*

Compresión diagonal de muretes (kgf/cm ²)	GRUPO
10,30	Patrón
8,74	Patrón
11,11	Patrón
14,53	Murete con GFRP
13,15	Murete con GFRP
13,63	Murete con GFRP

Fuente: Elaboración propia.**Tabla 40***Pruebas de normalidad de compresión diagonal de muretes.*

		Pruebas de normalidad					
		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	GRUPO	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Compresión diagonal de muretes	Patrón	,249	3	.	,968	3	,655
	Murete con GFRP	,246	3	.	,970	3	,668

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Elaboración propia.**Tabla 41***Interpretación de pruebas de normalidad de compresión diagonal de muretes.*

Grupo	Valor -p	Nivel de significancia (α)	Comparación	Decisión estadística
Patrón	0.655	0.05	0.655 > 0.05	Se acepta la hipótesis nula (H ₀)
Murete con GFRP	0.668	0.05	0.668 > 0.05	Se acepta la hipótesis nula (H ₀)

Fuente: Elaboración propia.

- En ambos casos, el valor-p supera el nivel de significancia ($\alpha = 0.05$), por lo que se acepta la hipótesis nula. Se concluye que las variables de los dos grupos analizados se distribuyen normalmente.

b) Igualdad de varianza (Prueba de Levene)

Se corroboró la igualdad de varianza entre los dos grupos.

Hipótesis:

H_0 = Varianzas son iguales.

H_1 = Existe diferencia significativa entre las varianzas.

Tabla 42

Estadística de grupo de compresión diagonal de muretes.

Estadísticas de grupo					
	GRUPO	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Compresión diagonal de muretes	Patrón	3	10,0500	1,20462	,69549
	Murete con GFRP	3	13,7700	,70057	,40447

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 43

Prueba de muestras independientes de compresión diagonal de muretes.

Prueba de muestras independientes										
		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
									Inferior	Superior
Compresión diagonal de muretes	Se asumen varianzas iguales	,977	,379	-4,624	4	,010	-3,7200	,80455	-5,9538	-1,48621
	No se asumen varianzas iguales			-4,624	3,214	,016	-3,7200	,80455	-6,1866	-1,25337

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 44

Interpretación de prueba de Levene de igualdad de varianza de compresión diagonal de muretes.

Prueba realizada	Valor - p	Nivel de significancia (α)	Comparación	Decisión estadística
Igualdad de varianzas	0.379	0.05	$0.379 > 0.05$	Se acepta la hipótesis nula (H_0)

Fuente: Elaboración propia.

- Dado que el valor-p es mayor que el nivel de significancia ($\alpha = 0.05$), se acepta la hipótesis nula. Por lo tanto, se concluye que no existe una

diferencia significativa entre las varianzas de ambos grupos, lo que indica que las varianzas son iguales.

c) Prueba T de Student

Tabla 45

Interpretación de Prueba T de Student para la igualdad de medias de compresión diagonal de muretes.

Prueba realizada	Valor - p	Nivel de significancia (α)	Comparación	Decisión estadística
Prueba t de Student	0.01	0.05	$0.01 < 0.05$	Se rechaza la hipótesis nula (H_0)

Fuente: Elaboración propia.

- Dado que los valores-p obtenidos son menores al nivel de significancia ($\alpha = 0.05$), se rechaza la hipótesis nula. Esto indica que hay una diferencia significativa entre las medias del grupo patrón y el grupo reforzado con GFRP. Por lo tanto, se concluye que el uso de mallas de polímero reforzado con fibras de vidrio (GFRP) tiene un efecto significativo en las propiedades mecánicas de los muros de ladrillo tubular, específicamente en su comportamiento frente a esfuerzos de compresión diagonal en muretes.

4.3. Discusión de resultados

4.3.1. Ensayo de compresión axial de pilas

Los resultados obtenidos demuestran que la resistencia a la compresión axial de las pilas construidas sin ningún tipo de refuerzo alcanzó un valor promedio de 34.37 kgf/cm², mientras que las pilas reforzadas con malla de polímero reforzado con fibras de vidrio (GFRP) lograron incrementar su resistencia hasta 47.51 kgf/cm², lo que implica un aumento significativo del 38.2 % en comparación con las pilas no reforzadas. Este notable incremento confirma la efectividad de la incorporación de la malla GFRP como técnica de refuerzo para muros de ladrillo tubular. Esta mejora en la resistencia a la compresión axial proporciona una mayor confiabilidad estructural frente a la acción de las cargas gravitacionales, reduciendo la vulnerabilidad de la edificación ante posibles fallas por sobrecarga vertical. En conjunto, estos resultados sustentan la viabilidad técnica de aplicar este tipo de refuerzo en

edificaciones de albañilería, especialmente en zonas sísmicas o donde se requiere prolongar la vida útil de estructuras existentes.

Según PlastPolimer Perú, las mallas de GFRP son idóneas para reforzar muros de albañilería debido a su alta resistencia a la tracción y sus buenas propiedades mecánicas. Sin embargo, no todas las investigaciones reportan mejoras significativas. (Alcantar, 2020) observaron que el uso de láminas de GFRP no generó un incremento en la resistencia a compresión, probablemente debido a una deficiente adherencia entre el refuerzo y las unidades de albañilería, lo cual resalta la importancia del tipo de refuerzo y su correcta aplicación.

Por otro lado, (Ruiz, 2020) encontró que la resistencia a la compresión axial promedio en pilas sin refuerzo fue de 29.85 kgf/cm², mientras que en pilas reforzadas se incrementó a 37.53 kgf/cm², reflejando un aumento del 26 %. Estos resultados respaldan los hallazgos del presente estudio, reafirmando que la malla de polímero reforzado con fibras de vidrio constituye una técnica efectiva para reforzar muros de ladrillo tubular, contribuyendo a mejorar su resistencia a la compresión axial y, por ende, a incrementar la seguridad estructural de edificaciones, especialmente en contextos con alta vulnerabilidad sísmica.

4.3.2. Ensayo de compresión diagonal de muretes

La resistencia a compresión diagonal obtenida en los muretes sin refuerzo fue de 8.85 kgf/cm², mientras que en los muretes reforzados con malla de polímero reforzado con fibras de vidrio (GFRP) se alcanzó un valor de 13.07 kgf/cm², lo que representa un incremento del 47.7 % en comparación con los elementos sin reforzamiento. Este aumento significativo confirma la eficacia del empleo de la malla GFRP para fortalecer la capacidad de los muros de ladrillo tubular frente a esfuerzos de corte, factores que suelen ser determinantes durante la ocurrencia de cargas laterales como las provocadas por eventos sísmicos. Asimismo, la presencia de la malla contribuye a controlar la propagación de fisuras en dirección diagonal, favoreciendo un comportamiento más dúctil.

Este comportamiento observado es consistente con lo establecido por la guía ACI 440.1R-15, la cual respalda la aplicación de materiales compuestos como el GFRP para tareas de reforzamiento estructural, resaltando sus propiedades de alta resistencia a la tracción, su peso ligero y su excelente desempeño frente a agentes corrosivos, humedad o ambientes con presencia de sales.

Estudios previos sustentan los resultados obtenidos. Por ejemplo, (Kaluza, 2022), determinó que al adicionar tiras de polímero reforzado con fibra de vidrio en orientación vertical sobre la superficie de los muretes permitió aumentar su capacidad de carga en un 56%. Asimismo, (Mosaad et al., 2015), reportó que, al reforzar las paredes con placas de polímero reforzado con fibras de vidrio, la resistencia de carga aumentó de 29.85 kg/cm² (sin refuerzo) a 37.53 kg/cm² (con refuerzo), lo que representa un incremento de 27%. Estos hallazgos refuerzan los resultados obtenidos en esta investigación y confirman la efectividad del refuerzo con malla de GFRP en muros de ladrillo tubular.

4.3.3. Costo y beneficio

En el análisis de los precios unitarios del tarrajeo interior de los muros, se evidenció un incremento significativo del 154 % al incorporar la malla de polímero reforzado con fibras de vidrio (GFRP) en comparación con el tarrajeo convencional, lo que evidencia el impacto económico de implementar esta técnica de reforzamiento.

No obstante, estudios como el de (Sagir, 2019), señalan que la aplicación de barras y mallas de GFRP en proyectos de rehabilitación, como en el caso del estacionamiento La Chanceliere, no solo generó una mejora significativa en el desempeño estructural de la edificación, sino que también permitió incrementar la rentabilidad a largo plazo, debido a la prolongación de la vida útil de la estructura y a la reducción de intervenciones de mantenimiento futuras.

Por otro lado, (Alcantar, 2020) reportó que, si bien la implementación de materiales compuestos como el GFRP implica un costo de reforzamiento relativamente considerable en comparación con técnicas convencionales, este gasto se justifica ampliamente debido al beneficio considerable que ofrece. Entre sus principales ventajas destacan su alta resistencia a la corrosión, su bajo peso, su facilidad de instalación. Estos atributos no solo prolongan la vida útil de los elementos reforzados y reducen la necesidad de mantenimientos frecuentes, sino que también incrementan la seguridad de la edificación frente a eventos sísmicos, factor crucial en zonas de alta actividad tectónica. En conjunto, la aplicación de GFRP se confirma como una solución innovadora, rentable y eficaz para reforzar estructuras de albañilería, garantizando un mejor desempeño ante sollicitaciones dinámicas y condiciones ambientales agresivas.

CAPÍTULO V

CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

Conclusión

Se determinó que la aplicación de malla de polímero reforzado con fibras de vidrio mejora de forma significativa la resistencia de los muros de ladrillo tubular, tanto en términos de compresión axial de las pilas como en la resistencia a la compresión diagonal de los muretes. Este aumento en la capacidad resistente permite que los muros soporten con mayor eficacia las cargas verticales y, sobre todo, ofrezcan una mejor respuesta frente a las fuerzas laterales generadas durante un sismo, reduciendo así el riesgo de fallas estructurales. Asimismo, el uso de este refuerzo resulta ser una alternativa práctica y viable para reforzar viviendas construidas con ladrillo tubular, aportando mayor seguridad para los ocupantes y extendiendo la vida útil de las edificaciones. Por lo tanto, se concluye que la malla de polímero reforzado con fibras de vidrio demuestra ser una alternativa eficaz para incrementar la resistencia de los muros de ladrillo tubular.

Se demostró que la incorporación de malla de polímero reforzado con fibras de vidrio incrementa de forma significativa en las propiedades mecánicas de los muros de ladrillo tubular, específicamente en la resistencia a la compresión axial de pilas, registrándose un aumento del 38.2 % en la capacidad de soportar cargas verticales. Este resultado evidencia que el refuerzo con este material contribuye directamente a mejorar la respuesta de los muros ante cargas gravitacionales, aumentando su capacidad para soportar el peso de los elementos estructurales superiores y otros esfuerzos verticales. Por lo tanto, se concluye que la malla es una alternativa técnica viable para mejorar la resistencia de los muros de ladrillo tubular frente a las cargas gravitacionales que actúan permanentemente sobre la edificación.

Se examinó que la incorporación de malla de polímero reforzado con fibras de vidrio tiene una influencia significativa en las propiedades mecánicas de los muros de ladrillo tubular, específicamente en la resistencia a la compresión diagonal de muretes. Donde los resultados del ensayo demostraron un incremento del 47.7 % en la resistencia, lo que demuestra la efectividad de este refuerzo para contrarrestar esfuerzos cortantes y mejorar la capacidad de absorción de deformaciones en los muros. Además, la formación de fisuras con trayectoria diagonal, observada de forma gradual y controlada durante los ensayos, pone de manifiesto un comportamiento estructural más dúctil, reduciendo el riesgo de fallas frágiles y repentinas. En consecuencia, se concluye que la aplicación de la malla constituye una opción técnica adecuada y altamente efectiva para reforzar muros de ladrillo tubular, ya que incrementa de forma significativa su resistencia a la compresión diagonal.

Se evaluó el costo y beneficio de la implementación de malla de polímero reforzado con fibras de vidrio en muros de ladrillo tubular, observando un incremento de 154 % en el costo de tarrajeo respecto al sistema convencional. No obstante, este mayor gasto se justifica ampliamente por las múltiples ventajas que ofrece este material, entre las cuales destaca no solo el incremento significativo de la resistencia estructural, sino también su alta resistencia a la corrosión, lo que contribuye a prolongar la vida útil de los elementos reforzados. En conjunto, los resultados demuestran que, a pesar de la inversión inicial más elevada, los beneficios en términos de seguridad, durabilidad y menor mantenimiento convierten a esta solución en una alternativa técnica y económicamente viable para reforzar muros de ladrillo tubular, especialmente en edificaciones ubicadas en zonas con alta actividad sísmica o exposición a ambientes agresivos. Por lo tanto, se concluye que la relación costo y beneficio de la incorporación de la malla de polímero reforzado con fibras de vidrio es favorable, ya que el incremento en la inversión inicial se ve compensado por mejoras significativas en la resistencia, la vida útil y la seguridad de la estructura.

Recomendación

Se recomienda complementar el procedimiento de ensayo incorporando el uso de dispositivos LVDT (Transformador Diferencial Variable Lineal), ya que estos permiten medir con mayor precisión la deformación en tiempo real. La implementación de estos sensores posibilitaría la obtención de curvas de carga y deformación más detalladas, permitiendo identificar con mayor claridad los rangos elásticos e inelástico del material. Además, contar con registros detallados de la deformación contribuiría a realizar un análisis más riguroso de la dispersión de los valores obtenidos para el módulo de elasticidad y el módulo de corte de los muros de ladrillo tubular reforzados. De este modo, se optimizaría la calidad de los resultados y se fortalecería la base experimental para futuras investigaciones.

Se recomienda asegurarse cuidadosamente de que la malla de polímero reforzado con fibras de vidrio esté en perfectas condiciones antes de instalarla en los muros de ladrillo tubular. Es fundamental verificar que no presente cortes, rasgaduras, zonas deshilachadas ni daños visibles en las fibras o en la matriz polimérica, ya que cualquier imperfección puede afectar su capacidad de refuerzo y reducir la efectividad de los resultados. Además, se aconseja manipularla y almacenarla de manera adecuada, protegiéndola de la exposición directa del sol y posibles golpes durante el transporte, realizar esta inspección y cuidado previo no solo garantiza la calidad de los ensayos, sino que también contribuye a prolongar la vida útil del refuerzo y asegurar el máximo aprovechamiento de sus propiedades mecánicas.

Se recomienda asegurar la adecuada unión y fijación de la malla de polímero reforzado con fibras de vidrio en ambas caras del muro, utilizando conectores apropiados que garanticen una transferencia efectiva de esfuerzos entre la malla y la superficie del muro. Esta práctica es esencial para maximizar el aprovechamiento del refuerzo, ya que una correcta integración estructural contribuye a un aumento más significativo de la resistencia durante los ensayos de compresión axial en pilas y de compresión diagonal en muretes. Además, se sugiere verificar la correcta alineación y tensión de la malla durante la instalación para evitar zonas de desprendimiento o falta de adherencia, lo que asegurará resultados más fiables y uniformes en las propiedades mecánicas evaluadas.

Se recomienda identificar correctamente las dos direcciones principales de la malla de polímero reforzado con fibras de vidrio, prestando especial atención al diámetro de los hilos que la conforman. Por lo general, la malla presenta un conjunto de hilos longitudinales (de mayor diámetro y continuidad) y otro de hilos transversales (de menor diámetro o subdivididos para facilitar su entrelazado). Para garantizar un refuerzo eficiente y una adecuada transferencia de esfuerzos, se debe orientar el lado con los hilos de mayor diámetro en dirección horizontal, ya que este soporta mejor las cargas laterales y distribuye uniformemente los esfuerzos

inducidos por acciones sísmicas o cargas de viento. Esta correcta disposición contribuye a maximizar la resistencia y rigidez del muro reforzado, asegurando que la malla cumpla plenamente su función estructural frente a cargas horizontales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcantar, A. (2020). Análisis teórico, diseño y estrategia de implementación de refuerzos compuestos para mampostería confinada sujeta a cargas laterales (Tesis de maestría). Universidad Autónoma de Sinaloa. México.
- Arango, J. (2002). Análisis, Diseño y Construcción en Albañilería. Lima: Capitulo Peruano ACI.
- Arias, F. (2012). El Proyecto de Investigación (Sexta ed.). Episteme.
- Bardales, J., & Leyva, D. (Enero de 2020). Análisis patológico y vida útil de viviendas de albañilería confinada, barrio Santa Elena Baja, Cajamarca. (Tesis de pregrado). Universidad Privada del Norte, Trujillo. <https://hdl.handle.net/11537/25231>
- Bartolome, A. (1994). Construcciones de Albañilería "Comportamiento Sísmico y Diseño Estructural". Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú. <https://doi.org/https://doi.org/10.18800/9788483909652>
- Bartolome, A. et al.(2018). Diseño y Construcción de Estructuras Sismorresistentes de Albañilería (Vol. Segunda). Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú. <https://doi.org/https://doi.org/10.18800/9786123173661>
- Benmokrane, B. et al. (2006). Diseño y prueba de tableros de puentes de hormigón reforzados con barras de FRP de vidrio. 11(2). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1084-0702\(2006\)11:2\(217\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1084-0702(2006)11:2(217))
- Bhatt, A. et al. (2018). Procesos de fabricación primaria de compuestos reforzados con fibra. India. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/330/1/012107>
- Brahim, B., & Mohamed, H. (2016). Construcción de infraestructura de hormigón duradera mediante barras de polímero reforzado con fibra. Canadá, Thunder Bay. <https://www.researchgate.net/publication/287995961>
- Cutisaca, A. (2020). Validación estructural de viviendas informales construidas en Huancayo metropolitano hasta el año 2017 (Tesis de pregrado). Universidad Continental, Huancayo. <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/8525>
- Espinoza, C., & Bazalar, J. (2021). Estudio y Comparación del Comportamiento Mecánico de Prismas de Albañilería Tubular Reforzada (Tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.

- Fernandez, M. (2013). Hormigón (Vol. 10). Garceta. <https://www.garceta.es/catalogo/libro.php?ISBN=978-84-1545-250-8>
- Hernández, R. et al. (2022). Metodología de Investigación (Septima Edición ed.). México. <https://virtual.cuautitlan.unam.mx/rudics/?p=2612>
- Hernández, S. et al. (2014). Metodología de la Investigación (Sexta ed.). <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=775008>
- Horiuchi, J. (2016). Manual para la Reducción del Riesgo Sísmico de Viviendas en el Perú. Lima.
- ISO 12439. (2025). Mixing Water for Concrete (2 ed.). <https://www.iso.org/standard/83066>
- Kaluza, M. (2022). Análisis experimental de la aplicación superficial de un compuesto polimérico reforzado con fibra sobre el comportamiento al corte de muros de mampostería hechos de bloques de hormigón en autoclave. buildings. <https://doi.org/10.3390/buildings12122208>
- Mata, M., & Macassi, S. (1997). Cómo elaborar muestras para los sondeos de audiencias (Vol. 5). Quito.
- Mejia, V. et al. (2019). Evaluación de las relaciones comerciales entre fabricantes y distribuidores del canal de distribución de ladrillos cerámicos en Lima Metropolitana. Universidad ESAN, Lima. <https://hdl.handle.net/20.500.12640/1605>
- Mohamed, N. et al. (2013). Experimental Investigation of Concrete Shear Walls Reinforced with Glass Fiber-Reinforced Bars under Lateral Cyclic Loading. Journal of Composites for Construction, 18(3). [https://doi.org/10.1061/\(asce\)cc.1943-5614.0000393](https://doi.org/10.1061/(asce)cc.1943-5614.0000393)
- Mosaad, E. et al. (2015). Comportamiento estructural de muros de mampostería confinada reacondicionada con ferrocemento y GFRP bajo cargas cíclicas en el plano. Engineering Structures, 94, 16-26. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2015.03.035>
- Mostafizur, R., & Akntarul, I. (2021). Aplicación de resinas epoxi en materiales de construcción: avances y perspectivas. 79, 1949-1975. <https://doi.org/10.1007/s00289-021-03577-1>
- Nemessányi, C. (2023). Breve historia de los polímeros reforzados con fibra como material estructural. Periodica Politécnica Arquitectura, 54(3). <https://doi.org/10.3311/PPar.23291>

- ONU-HABITAT. (2022). Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos. Katowice, Polonia. <https://onu-habitat.org/index.php/onu-habitat-lanza-el-informe-mundial-de-las-ciudades-2022>
- Pacco, Y. (2019). Evaluación del comportamiento mecánico de unidades de albañilería de arcilla en muros portantes utilizados en la ciudad de Juliaca, 2018 (Tesis de pregrado). Universidad Peruana Unión, Juliaca. <http://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/2177>
- Parella, S., & Martins, F. (2012). Metodología de la Investigación Cuantitativa (Tercera ed.). Caracas: FEDUPEL.
- Pasquel, E. (1998). Tópicos de Tecnología de Concreto. Lima: Colegio de Ingenieros del Perú Cansejo Nacional.
- Pineda, B. et al. (1994). Metodología de la investigación: Manual para el desarrollo de personal de salud. Washington: Organización Panamericana de la Salud. <https://iris.paho.org/handle/10665.2/3132>
- RNE. (2018). Reglamento de Metrado para Obras de Edificación. Megabyte.
- RNE. (2019). Propuesta de Norma e070 Albañilería. <https://www.cip.org.pe/publicaciones/2021/enero/portal/e.070-alba-ñileria-sencico.pdf>
- Rossignolo, A. et al. (2022). Una revisión con foco en los usos potenciales de la biomasa pelágica de *Sargassum* spp. Revista de Gestión Ambiental, 303. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.114258>
- Ruiz, J. (2020). Comportamiento estructural de muros de albañilería con ladrillo pandereta reforzado con mallas de polímero y electrosoldada, Distrito de Ventanilla, 2020 (Tesis de pregrado). Universidad César Vallejo, Lima. https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UCVV_e27136ac558db5dedb1e36fae3a8e026
- Sagir, M. (2019). Estudio Comparativo de Polímero Reforzado con Fibra de Vidrio y Barras de Acero en Elementos de Hormigón Armado. Universidad del Cercano Oriente, Nicosia.
- Santillan, J. (2020). Análisis de la efectividad de dos técnicas de reparación de muros en albañilería confinada luego de un proceso de falla por acción sísmica (Tesis de pregrado). Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo. <https://repositorio.upao.edu.pe/handle/20.500.12759/6796>

- Seung, S. et al. (2021). Refuerzo en el plano de muros de mampostería no reforzada mediante poliurea reforzada con fibra de vidrio. *Civil Engineering Journal*, 7(12). <https://doi.org/10.28991/cej-2021-03091782>
- Tarque, N. et al. (2019). Análisis multicriterio de cinco opciones de refuerzo para muros de mampostería confinada peruanos. 17(2), 205-219. <https://doi.org/10.12989/eas.2019.17.2.205>
- Vergara, F. et al. (2022). Vivienda Informal y las Organizaciones Territoriales en América Latina. (81), 5-14. <https://doi.org/10.4067/S0718-34022022000100005>
- Wilfredo, A. (2017). Capeco: El 70% de viviendas en Lima son informales y vulnerables a un terremoto. RPP. <https://rpp.pe/economia/economia/capeco-el-70-de-viviendas-en-lima-son-construidas-sin-normas-tecnicas-noticia-1078934?ref=rpp>

ANEXOS

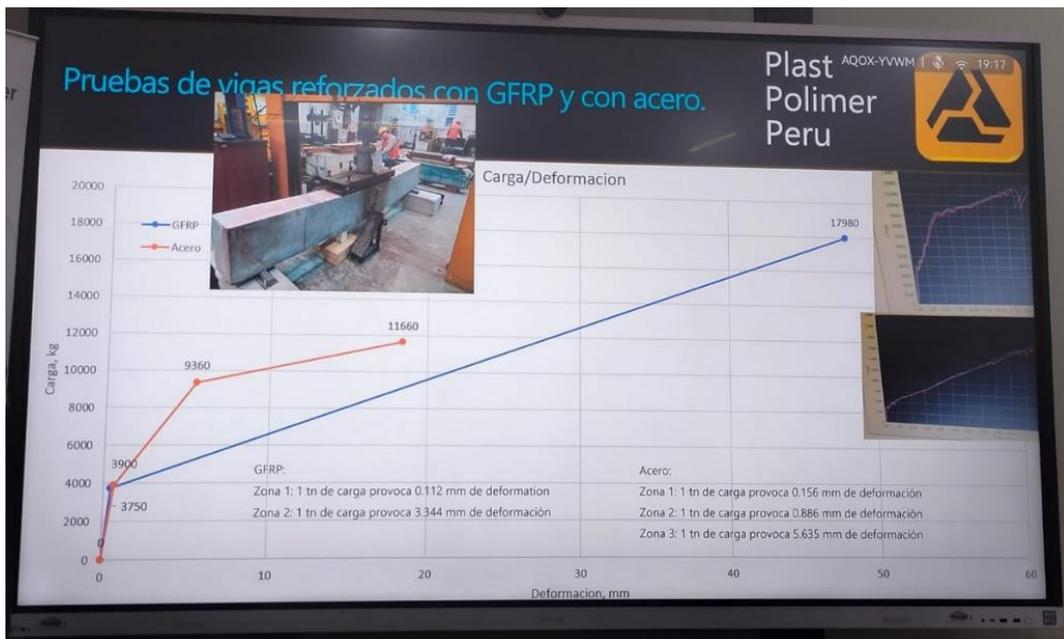


Figura 43. Charla en SENCICO, relación carga y deformación de elementos reforzados con barras de GFRP y con barras de acero, obtenida en los ensayos realizados en el laboratorio de la UNI por el Mg. Ing. Civil Mikhail Dmitrusenko. Fuente: Elaboración propia



Figura 44. Charla técnica en SENCICO por el Mg. Ing. Civil Mikhail Dmitrusenko sobre los usos de la malla GFRP en países desarrollados. Fuente: Elaboración propia.

Influencia de Malla GFRP en las Propiedades Mecánicas en Muros de Ladrillo Tubular

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	METODOLOGIA	
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLE I	D		Método: Científico Tipo: Aplicada Nivel: Explicativo Diseño: Cuasi experimental Poblacion: Muros portantes hechas con ladrillo tubular . Muestra: Delimitada por la norma e070 , los ensayos que se realizara son tres pilas y tres muretes con y sin refuerzo. Tecnica e instrumento de recopilacion de datos: La tecnica a emplear sera observacion directa y el instrumento de las fichas de registro de los ensayos en laboratorio.	
¿De qué manera influye la malla de polímero reforzado con fibras de vidrio en las propiedades mecánicas en muros de ladrillo tubular?	Determinar la influencia de la malla de polímero reforzado con fibras de vidrio en las propiedades mecánicas en muros de ladrillo tubular.	La malla de polímero reforzado con fibras de vidrio influye significativamente en las propiedades mecánicas en muros de ladrillo tubular.	Malla de polímero reforzado con fibras de vidrio	Propiedades físicas y mecánicas	Calibre, cocada y la resistencia a la traccion.		
PROBLEMA ESPECÍFICO	OBJETIVO ESPECÍFICO	HIPÓTESIS ESPECÍFICO	VARIABLE D	D1,D2			
a. ¿Cuáles serían los resultados de la malla de polímero reforzado con fibras de vidrio en las propiedades mecánicas en muros de ladrillo tubular sujetas al ensayo de compresión axial de pilas?	a. Demostrar la influencia de la malla de polímero reforzado con fibras de vidrio en las propiedades mecánicas en muros de ladrillo tubular sujetas al ensayo de compresión axial de pilas.	a. La malla de polímero reforzado con fibras de vidrio produce efectos significativos en las propiedades mecánicas en muros de ladrillo tubular sujetas al ensayo de compresión axial en pilas.	Propiedades mecánicas en muros de ladrillo tubular	Resistencia a la compresion axial (f/m)	Ensayo de resistencia a la compresion axial en pilas (kg/cm2)		
b.¿Cuáles serían los resultados de la malla de polímero reforzado con fibras de vidrio en las propiedades mecánicas en muros de ladrillo tubular sujetas al ensayo de compresión diagonal de muretes?	b. Examinar la influencia de la malla de polímero reforzado con fibras de vidrio en las propiedades mecánicas en muros de ladrillo tubular sujetas al ensayo de compresión diagonal en muretes.	b. La malla de polímero reforzado con fibras de vidrio produce efectos significativos en las propiedades mecánicas en muros de ladrillo tubular sujetas al ensayo de compresión diagonal en muretes.				Resistencia a la compresion diagonal (V'm)	Ensayo de resistencia a la compresion axial en pilas (kg/cm2)
c. ¿En qué medida favorece en costo y beneficio de la implementación de mallas de polímero reforzado con fibras de vidrio en muros de ladrillo tubular?	c. Evaluar el costo y beneficio de la implementación de la malla de polímero reforzado con fibras de vidrio en muros de ladrillo tubular.	c. La implementación de malla de polímero reforzado con fibras de vidrio favorece significativamente en costo y beneficio en muros de ladrillo tubular.					

Figura 45. Matriz de consistencia. Fuente: Elaboración propia.

Influencia de Malla GFRP en las Propiedades Mecánicas en Muros de Ladrillo Tubular

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTO
Variable independiente : Malla de GFRP (Polimero Reforzado con Fibras de Vidrio)	El material compuesto está asociado en dos fases: Primero, la fase matriz que esta de resina epoxi donde, rodea y mantiene unida la fase dispersa y protege de las influencias ambientales. La resina epoxi tiene una gran tenacidad, buena adhesión, elevada resistencia a la tracción, su baja contracción y su capacidad para ofrecer dureza, además de soportar tanto el calor como los productos químicos. Desde entonces, se utilizan ampliamente en el sector de la construcción. Segundo la fase dispersa que son las fibras de vidrio. Este material ofrece mayor resistencia y rigidez .Asimismo, presenta una larga vida útil si se coloca en un entorno adecuado.(NEMESSANYI, 2023)	La variable de Malla de GFRP (Polimero Reforzado con Fibras de Vidrio) se operacionalizará en toda el área que se va realizar el refuerzo en muros de ladrillo tubular.	Propiedades físicas.	Calibre, cocada	Ficha tecnica de malla GFRP
			Propiedades mecanicas.	Resistencia a traccion de varillas longitudinales y transversales.	
Variable dependiente: Propiedades mecánicas en muros de ladrillo tubular	Los muros con ladrillo tubular más conocidos como ladrillo pandereta está hecho de arcilla moldeada, extruida y posteriormente quemada en un horno a altas temperaturas. Debido a su poca resistencia y fragilidades los ladrillos pandereta se usa ampliamente en sector de la construcción para construir tabiques, (muros que no soportan cargas, solo sirven para dividir ambientes) y parapetos. Por lo cual es esencial evaluación las propiedades mecánicas en muros de ladrillo tubular sometidos a ensayos de compresión axial de pilas y diagonal en muretes. (NTP E070)	La variable de las propiedades mecánicas en muros de ladrillo tubular se operacionalizará a través de los ensayos de resistencia a la compresión axial (f'm) y resistencia diagonal (V'm), evaluando el efecto de la incorporación de mallas de GFRP (Polímero Reforzado con Fibras de Vidrio) como refuerzo, con el objetivo de mejorar sus propiedades mecánicas."	D1: Resistencia a la compresion axial (f'm) D2:Resistencia a la compresion diagonal (V'm)	Ensayo de resistencia a la compresion en pilas y muretes	Fichas de registro de los ensayos de laboratorio

Figura 46. Matriz de operacionalización de variables Fuente: Elaboración propia.

Polimer Perú

FICHA TÉCNICA DE BARRAS FRP

CONSTRUIR CON AHORRO Y DURABILIDAD

Denominación:
Barra FRP (eng. "fiber reinforced polymer") – barra de construcción fabricada de polímero reforzado con fibra de vidrio.

Fabricante:
PlastPolimer Perú S.A.C. | RUC: 20610970797

Producción:
La Barra FRP se fabrica mediante el proceso industrial continuo conocido como "needletrusión", el cual a su vez forma parte de la tecnología de "pultrusión", que genera un producto final lineal encajando todos los beneficios en este sentido. El proceso comprende el uso de fibra de vidrio en forma de roving directo de clase E-CR con el enfoque especial en la resistencia a corrosión y químicos, con diferente densidad lineal que acomoda a la mejor distribución del par "fibra-resina" en la barra compuesta; los filamentos de fibra de vidrio al impregnarse con la resina epóxica se forman en una varilla del diámetro deseado al compactarse dentro de un molde y, atravesados por el proceso de enrollado que estructura la barra y le consigna el efecto corrugado, de último se polimeriza dentro del horno a temperatura máxima de 300°C.

Descripción:
Barra FRP es refuerzo para concreto no metálico, realizada con material compuesto de fibra de vidrio y matriz aglutinante.



82-86% Fibra de vidrio

14-18% Resina epóxica

La barra FRP es un material de construcción liviano con el peso específico de 2.1 gr/mm³ y resistencia a tracción uniaxial mayor que el refuerzo convencional, no es conductor de electricidad y no altera campos magnéticos, con absoluta resistencia a corrosión y superada relación del costo-beneficio.

Normatividad referente:
Cumple con los requisitos de la norma ASTM D7957/D7957M Standard Specification for Solid Round Glass Fiber Reinforced Polymer Bars for Concrete Reinforcement.

Plast Polimer Perú

Concepto	Valor confirmado	Valor normado según ASTM D7957/D7957M
Límite de resistencia a tracción, MPa	>1050	>600
Módulo de elasticidad a la tracción, GPa**	>47	≥44.8
Porcentaje de alargamiento a la rotura, %	>2.0	≥1.1
Contenido de relleno de barra con fibra, %	>82-86	≥70
Resistencia al corte, MPa	>170	≥131
Resistencia de adhesión al concreto, MPa	>12	≥7.6
Resistencia al medio alcalino, %	>80*	≥80*

*La resistencia al medio alcalino consta el porcentaje indicado del valor de la resistencia a tracción original después de haber expuesto la barra a un medio alcalino durante 90 días con la temperatura 60°C.
**La barra FRP por su naturaleza se caracteriza solamente por el módulo elástico, sin el poder de fluencia, y por su reducida ductilidad no permite realizar doblez en obra.

Manipulación y transporte:

1. El trabajo con la barra FRP debe realizarse con los guantes no porosos, que crean una protección impenetrable.
2. El corte se realiza mediante amoladora, sierra, cizalla.
3. No doblar en obra.
4. El recubrimiento de concreto puede ser reducido hasta 2 cm.
5. El amarre y empalmes repiten el principio de trabajo con refuerzo de acero convencional.
6. Puede ser combinada con los elementos doblados y varillas de hierro.
7. En el transporte de la barra FRP debe evitarse la colocación de objetos pesados encima sin protección.

Aplicaciones:

- Construcción de instalaciones de infraestructura de transporte por carretera.
- Construcción de instalaciones de infraestructura de ingeniería civil, campos deportivos, coliseos, estacionamientos al aire libre y subterráneos, pistas y veredas, cercos perimétricos, malecones, losas de cimentación, viviendas unifamiliares.
- En estructuras de concreto sobre base distribuida (cimentaciones/fundaciones).
- Construcción de minas subterráneas y túneles, metro.
- Construcción de instalaciones marítimas y portuarias.
- Construcción de instalaciones agrícolas.
- Construcción de instalaciones de fabricación de productos químicos, lugares de enterramiento de sustancias tóxicas, tratamiento y purificación de agua.
- Construcción de estructuras operadas en condiciones de altos campos electromagnéticos y diferencia de potenciales, expuestas a corrientes de fuga.

Nota importante: Los elementos estructurales por encima del primer nivel donde aplican las barras de refuerzo de fibra de vidrio deben someterse al cálculo de cargas.

Figura 47. Ficha Técnica de barras GFRP. Fuente: Plast PolimerPerú.

Plast Polimer Perú

FICHA TÉCNICA DE MALLA FRP

CONSTRUIR CON AHORRO Y DURABILIDAD

Denominación:
Malla FRP (eng. "fiber reinforced polymer") – malla fabricada de polímero reforzado con fibra de vidrio.

Fabricante:
PlastPolimer Perú S.A.C. | RUC: 20610970797

Descripción:
Malla FRP es un producto de material compuesto fabricado a base de fibra de vidrio de clase E-CR con enfoque en la resistencia a corrosión, y resina epóxica; constituye un material de obra para reforzamiento de concreto o tarrajeo en su versión no metálica. Conjuntamente, representa un producto de uso autónomo para ser empleado en separación de ambientes o en soportes en el campo agroindustrial.

Posee una resistencia a tracción elevada

Flexible

Absoluta resistencia a corrosión

Costo muy competitivo

Propiedades físico-mecánicas :

Concepto	Valor garantizado por el fabricante
Resistencia a tracción de varillas transversales y longitudinales, MPa	≥800
Módulo de elasticidad en la tracción de las varillas transversales y longitudinales, GPa	≥45
Reducción de la resistencia a tracción después de exposición a un medio alcalino, %	≤20
Fuerza destructiva en el ensayo de cizallamiento de las intersecciones en el sentido longitudinal y transversal para los diámetros nominales mayores a 3mm, kN	≥0.55
Contenido de relleno con fibra de vidrio, %	≥70

Plast Polimer Perú

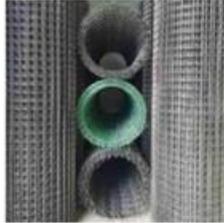
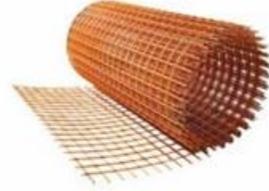
Presentación:

Denominación	Dimensiones de la cocada, (pulg.)	Ancho, (m)	Espesor de varilla, (calibre de alambre)	Largo del rollo, (m)*
Malla FRP en rollo	2 x 2	2	#8	25 y 50
Malla FRP en rollo	4 x 4	2	#8	25 y 50
Malla FRP en rollo	4 x 4	2	#10	25 y 50
Malla FRP en rollo	4 x 2	2	#8	25 y 50
Malla FRP en rollo	6 x 6	2	#8	25 y 50
Malla FRP en rollo	6 x 6	2	#10	25 y 50
Malla FRP en rollo	8 x 8	2	#8	25 y 50
Malla FRP en rollo	8 x 8	2	#10	25 y 50

* A solicitud de cliente se fabrica la malla FRP de dimensiones especiales, donde se puede variar el largo del rollo y el ancho del rollo.

El color estándar de la malla FRP es gris. Es factible la fabricación de colores distintos según el RAL que indica el cliente.

Aplicación:
Proyectos de construcción civil en infraestructura vial, en tarrajeo, refuerzo de taludes, obras de alta exposición a humedad, agua del mar, químicos, abonos; en agroindustria, criaderos de animales, piscicultura, cultivos de moluscos; en instalaciones domésticas, cercos perimétricos.


www.plastpolimerperu.com

Figura 48. Ficha Técnica de mallas GFRP. Fuente: Plast PolimerPerú.



FICHA TÉCNICA CEMENTO ANDINO PREMIUM



DESCRIPCIÓN:

Tipo I, Cemento Portland de uso general.

BENEFICIOS:

- > Excelente Trabajabilidad.
- > Acabado perfecto.
- > Alta resistencia a mediano y largo plazo.
- > Alta durabilidad.
- > Alto desempeño.
- > Bajo contenido de álcalis.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS:

- > Cumple con la Norma Técnica Peruana NTP - 334.009 y la Norma Técnica Americana ASTM C-150.

APLICACIONES:

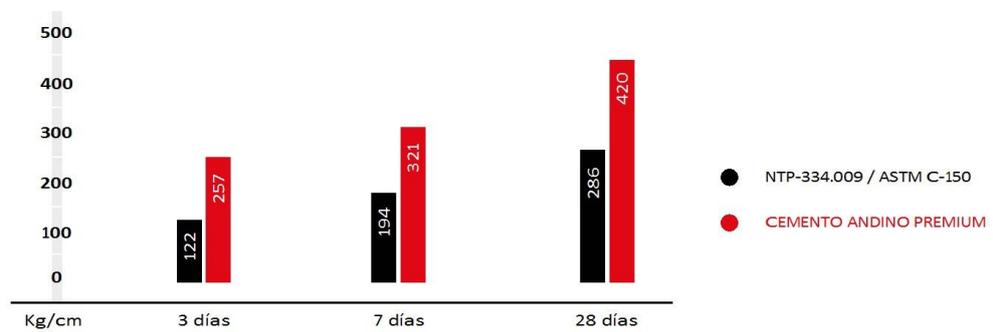
- > Para estructuras sólidas de acabados perfectos.
- > Construcciones en general de gran envergadura.

FORMATO DE DISTRIBUCIÓN:

- > Bolsas de 42.5 kg: 03 pliegos (02 de papel + 01 film plástico).
- > Granel: A despacharse en camiones bombonas y *big bags*.

REQUISITOS MECÁNICOS:

COMPARACIÓN RESISTENCIAS NTP-334.009 / ASTM C-150 VS. CEMENTO ANDINO PREMIUM.



PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

PARÁMETRO	UNIDAD	CEMENTO ANDINO PREMIUM	REQUISITOS NTP-334.009/ ASTM C-150
Contenido de aire	%	6	Máximo 12
Expansión autoclave	%	0.03	Máximo 0.80
Superficie específica	m ² /kg	386	Mínimo 260
Densidad	g/cm ³	3.18	No específica
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN			
Resistencia a la compresión a 3 días	kg/cm ²	257	Mínimo 122
Resistencia a la compresión a 7 días	kg/cm ²	321	Mínimo 194
Resistencia a la compresión a 28 días	kg/cm ²	420	Mínimo 286
TIEMPO DE FRAGUADO			
Fraguado Vicat inicial	min	122	Mínimo 45
Fraguado Vicat final	min	285	Máximo 375
COMPOSICIÓN QUÍMICA			
MgO	%	1.6	Máximo 6.0
SO ₃	%	2.6	Máximo 3.0
Pérdida al fuego	%	1.2	Máximo 3.0
Residuo insoluble	%	0.5	Máximo 1.5
FASES MINERALÓGICAS			
C3S	%	55	No específica
C2S	%	16	No específica
C3A	%	7	No específica
C4AF	%	10	No específica
ÁLICALIS EQUIVALENTES			
Contenido de álcalis equivalentes	%	0.53	Máximo 0.60*

*Requisito opcional

RECOMENDACIONES GENERALES

DOSIFICACIÓN:

- > Utilizar agua, arena y piedra libre de impurezas.
- > Respetar la relación agua-cemento (a/c) a fin de obtener un buen desarrollo de resistencias, trabajabilidad y performance del cemento.
- > Para desarrollar la resistencia a la compresión del concreto y evitar grietas, se necesita curar por lo menos durante 7 días.

MANIPULACIÓN:

- > Se debe manipular el cemento en ambientes ventilados.
- > Usar la vestimenta y epp adecuados: casco, protectores para los ojos, guantes y botas.
- > El contacto con la humedad o con el polvo de cemento sin protección puede causar irritación o daño en la piel.

ALMACENAMIENTO:

- > Las bolsas con cemento deben ser almacenadas en recintos secos, protegidos de la intemperie, lluvia y humedad.
- > Las bolsas deben ser colocadas sobre parihuelas de madera seca, en áreas niveladas y estables. Posteriormente cubrir las con mantas de plástico.
- > Apilar como máximo 10 bolsas de cemento y evitar tiempos prolongados de almacenamiento.

» unacem.com.pe



Figura 49. Ficha Técnica de Cemento Andino. Fuente UNACEM.



FICHA TÉCNICA PANDERETA PIRÁMIDE

DESCRIPCIÓN

Este tipo de ladrillos se emplean en la construcción de paredes o tabiques que actúan como cerramiento o divisiones que no soportan cargas. Están fabricados con arcilla libre de impurezas y agua, empleando procesos con altos estándares de calidad.

BENEFICIOS

- ▲ Ligereza
- ▲ Mejor adherencia al tarrajeo por su diseño acanalado
- ▲ Producto ecológico
- ▲ No presenta salitre (eflorescencia)
- ▲ Regulación térmica (frío y calor)
- ▲ Aislamiento acústico
- ▲ Alta resistencia al fuego

APLICACIONES

- ▲ Muros no portantes (divisorios)
- ▲ Elementos de limitación

DISTRIBUCIÓN

- ▲ Granel
- ▲ Parihuela o pallet

PROPIEDADES FÍSICAS

Peso	2.0 kg (min)	2.2 kg (max)	
Dimensiones	Largo (cm) 23	Ancho (cm) 11	Alto (cm) 9
Variación dimensional	± 2%	± 3%	± 4%
Absorción de agua	< 22%		
Área de vacíos	< 57%		
Alabeo	< 4 mm		
Octogonal (escuadra 90°)	< 4 mm		
Densidad aparente	1.9 g/cm ³ (min)	2.1 g/cm ³ (min)	

Eflorescencia (salitre)	No presenta
Rendimiento (1 cm mortero)	44 Und/m ² (soga)
Rendimiento (1.5 cm mortero)	41 Und/m ² (soga)
Eficacia del producto	90% ^(*)

(*) % mínimo de ladrillos conformes (sin defectos) del lote ofrecido.

• Normas de referencia: NTP 331.017 / RNE E.070 (requisito), NTP 399.613 (ensayo).

ALMACENAMIENTO Y MANIPULACIÓN

- El almacenamiento depende del lugar y la zona a trabajar.
- Los ladrillos deben apilarse sobre superficies limpias, planas y horizontales.
- Se recomienda emplear materiales que separen el contacto del producto con el suelo, como madera o plástico para evitar la contaminación y la presencia de eflorescencia.
- Los ladrillos deben manipularse usando equipos de protección personal (EPP), como cascos, protectores para ojos, guantes, botas.
- Se puede manipular los ladrillos de forma manual (boleado), trasladarlo con buguis, winches, grúas, etc.

RECOMENDACIONES Y OTROS ASPECTOS IMPORTANTES

- Las juntas de los muros deben ser de 1 a 1.5 cm como máximo.
- La presencia del salitre (eflorescencia) en el muro, podría deberse al uso de materiales no adecuados (agua, arena, cemento); por lo que se recomienda el uso de materiales certificados.
- La altura máxima del muro debe ser 20 veces el espesor del muro.
- La Norma Técnica E.070 del RNC (artículo 20), indica que la distancia máxima del muro entre columnas debe ser 5 metros como máximo, se recomienda 3.6 metros.
- Mojar los ladrillos un día antes de su instalación para evitar que absorban el agua del mortero de asiento, impidiendo su fragüe y disminuyendo su adherencia.
- Verificar la horizontalidad durante el asentado del ladrillo (utilizando el nivel de mano) y verticalidad del muro, luego de cada hilada, utilizando la plomada.
- En una misma jornada de trabajo, el asentado del muro no debe superar 1.30 m de altura.
- El dentado en los muros debe ser 2.5 cm como mínimo y 5 cm como máximo.
- El color de nuestros ladrillos es uniforme; sin embargo, puede tener una ligera variación en algunas unidades, lo que no implica degradación de sus propiedades físicas o mecánicas.
- Nuestro sistema de horneado automatizado usa gas natural como fuente de energía.
- Los ladrillos de arcilla destinados para uso en albañilería estructural y no estructural (no decorativo) cuya apariencia externa presenta rajaduras menores o grietas superficiales inherentes al método usual de fabricación y/o astillamientos resultantes de los métodos habituales de manipulación en el envío y despacho, no serán considerados causa de rechazo. Los lotes de productos ofrecidos poseen más del 90% de eficacia.
- La información técnica es resultado de datos promedios, pudiendo variar según el lote de producción. Los diferentes modelos de ladrillos tienen una absorción de 18% y no presentan eflorescencia. Todos nuestros productos cumplen con la Norma Técnica Peruana (NTP) y gracias a ello obtenemos un ladrillo de alta calidad y más resistente. GC-D-001 / Versión 02 / 20-02-2024 • Rev: SVEN • Aprob: GGA.



www.ladrillospiramide.com

Figura 50. Ficha técnica de ladrillo pandereta, propiedades físicas. Fuente: PIRAMIDE.



RUC. 20609900327

Cel.: +51 963 583 788 // +51 928 188 964
 Jr. La Veracidad 7799, Los Olivos 15307
 Email: Cotizaciones@geocontrolperu.com.pe
 Gerencia@geocontrolperu.com.pe

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	CERTIFICADO DE ENSAYO ENSAYO DE COMPRESIÓN DE PILAS	Código FOR-LAB-ALB-006.01
		Revisión 2
		Aprobado CC-GCP
		Fecha 17/02/2023
LABORATORIO DE TECNOLOGÍA DEL CONCRETO <i>Normativa de Albañilería E.070</i>		
PROYECTO : INFLUENCIA DE MALLAS DE POLÍMERO REFORZADO CON FIBRAS DE VIDRIO EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS EN MUROS DE LADRILLO TUBULAR		
SOLICITANTE : ELMER CASTILLO ICHPAS		
UBICACIÓN : LIMA		
Cantera :-		
Material :-		
N° Muestra : Pilas Sin Reforzamiento Fecha de ensayo: 04/02/2025		
ENSAYO DE COMPRESIÓN DE PILAS		

1. Resultados de los ensayos de compresión axial de pilas no reforzadas considerando el espesor del terraje.

Muestra	Dimensiones			Esbeltez (Hp/tp)	P máx (kgf)	Área (mm ²)	fm (kgf/cm ²)	f.c.	fm corregido Mpa (kgf/cm ²)	
	Altura Hp (mm)	Ancho Lp (mm)	Espesor (tp)							
PL-1	530	235	132	4.02	12019	31020	38.746	0.951	3.612	36.83
PL-2	535	230	133	4.02	11007	30590	35.982	0.951	3.355	34.22
PL-3	530	235	135	3.93	12096	31725	38.128	0.947	3.541	36.11
Promedio									3.503	35.72
Desviación									0.132	1.35
fm									3.370	34.37

$$f'm = f.c \cdot \frac{P_{max}}{A}$$

Donde:

Pmax: Es la carga máxima aplicada en kgf.

A: Es el área de la sección transversal de la muestra

f.c: Es el coeficiente de corrección por esbeltez.

Factor de corrección de fm 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

OBSERVACIONES:

- Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad de GEOCONTROL PERU Y SERVICIOS SAC.
- Unidades de albañilería conectadas a través del mortero.
- Se utilizó un sensor de deformación en la cara anterior de la pila.

Elaborado por: Kathelina A. Terribio Rodríguez T.C. DE LABORATORIO	Revisado por: Gilder García Guzmán INGENIERO CIVIL CIP N° 299741 Ingeniero de Suelos y Pavimentos	Aprobado por: José L. López García CONTROL DE CALIDAD Técnico de Laboratorio Control de Calidad GEOCONTROL PERU
--	---	---

www.geocontrolperu.com.pe

Figura 51. Certificado de ensayo de compresión axial de pilas sin refuerzo. Tomado de GEOCONTROL PERÚ-Lima.



RUC. 20609900327

Cel.: +51 963 583 788 // +51 928 188 964
 Jr. La Veracidad 7799, Los Olivos 15307
 Email: Cotizaciones@geocontrolperu.com.pe
 Gerencia@geocontrolperu.com.pe

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	CERTIFICADO DE ENSAYO ENSAYO DE COMPRESIÓN DE PILAS	Código FOR-LAB-ALB-006.01
		Revisión 2
		Aprobado CC-GCP
		Fecha 17/02/2023
LABORATORIO DE TECNOLOGÍA DEL CONCRETO <i>Normativa de Albañilería E.070</i>		
PROYECTO : INFLUENCIA DE MALLAS DE POLÍMERO REFORZADO CON FIBRAS DE VIDRIO EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS EN MUROS DE LADRILLO TUBULAR SOLICITANTE : ELMER CASTILLO ICHPAS UBICACIÓN : LIMA		
Cantera :- Material :- N° Muestra : Pilas Con Reforzamiento Fecha de ensayo: 04/02/2025		
ENSAYO DE COMPRESIÓN DE PILAS		

2. Resultados de los ensayos de compresión axial de pilas reforzadas con GFRP considerando el espesor del tarrajeo.

Muestra	Dimensiones			Esbeltez (Hp/tp)	P max (kgf)	Área (mm ²)	fm (kgf/cm ²)	f.c.	f'm corregido Mpa (kgf/cm ²)	
	Altura Hp	Ancho Lp	Espesor (tp)							
PR-1	535	235	155	3.45	20985	36425	57.612	0.928	5.243	53.47
PR-2	535	235	155	3.45	19055	36425	52.313	0.928	4.761	48.55
PR-3	530	230	155	3.42	18776	35650	52.668	0.927	4.786	48.81
							Promedio		4.930	50.28
							Desviación		0.271	2.77
							fm		4.659	47.51

$$f'm = f.c * \frac{P_{max}}{A}$$

Donde:

- Pmax: Es la carga máxima aplicada en ngt.
- A: Es el área de la sección transversal de la m.
- f.c: Es el coeficiente de corrección por esbeltez.

Factor de corrección de fm 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

OBSERVACIONES:

- Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad de GEOCONTROL PERU Y SERVICIOS SAC.
- Unidades de albañilería conectadas a través del mortero.
- Se utilizó un sensor de deformación en la cara anterior de la pila.

Elaborado por: Katherine A. Toribio Rodriguez T.C. DE LABORATORIO	Revisado por: Glider Gaseña Guzmán INGENIERO CIVIL	Aprobado por: José L. López García Técnico de Calidad
Jefe de Laboratorio	Ingeniero de Suños y Pañamentos	Control de Calidad GEOCONTROL PERU

www.geocontrolperu.com.pe

Figura 52. Certificado de ensayo de compresión axial de pilas con refuerzo. Tomado de GEOCONTROL PERÚ-Lima.



RUC. 20609900327

Cel.: +51 963 583 788 // +51 928 188 964
 Jr. La Veracidad 7799, Los Olivos 15307
 Email: Cotizaciones@geocontrolperu.com.pe
 Gerencia@geocontrolperu.com.pe

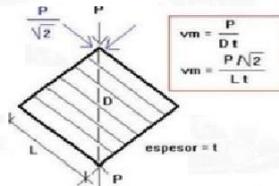
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	CERTIFICADO DE ENSAYO ENSAYO DE COMPRESIÓN DIAGONAL EN MURETES DE ALBAÑILERÍA	Código	FOR-LAB-ALB-005.01
		Revisión	2
		Aprobado	CC-GCP
LABORATORIO DE TECNOLOGÍA DEL CONCRETO		Fecha	17/02/2023

PROYECTO	: INFLUENCIA DE MALLAS DE POLÍMERO REFORZADO CON FIBRAS DE VIDRIO EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS EN MUROS DE LADRILLO TUBULAR		
SOLICITANTE	: ELMER CASTILLO ICHPAS		
UBICACIÓN	: LIMA		
Material			
N° Muestra	: Muretes sin reforzamiento		Fecha de ensayo: 04/02/2025

ENSAYO DE COMPRESIÓN DIAGONAL EN MURETES

1. Resultados de los ensayos de compresión diagonal de muretes no reforzados considerando el espesor del tarrajeo.

Muestra	Dimensiones (mm)			Diagona l (mm)	P máx (kgf)	Área (mm ²)	V'm Mpa (kgf/cm ²)	
	Largo (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)					
M-1	620	610	135	869.77	12096	117419	1.01	10.302
M-2	615	610	140	866.21	10602	121270	0.86	8.742
M-3	620	615	140	873.28	13589	122260	1.09	11.115
Promedio							0.99	10.053
Desviación							0.12	1.206
V'm							0.87	8.85



OBSERVACIONES:

- * Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de Calidad de GEOCONTROL PERU Y SERVICIOS SAC.
- * Unidades de albañilería conectadas a través del mortero.

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
 ENSAYO DE MATERIALES Katherine A. Sorbio Rodríguez TEC. DE LABORATORIO Jefe de Laboratorio	 GEOCONTROL PERU Y SERVICIOS Gilder García Guzmán INGENIERO CIVIL CIP N° 299741 Ingeniero de Suelos y Pavimentos	 GEOCONTROL PERU Y SERVICIOS CONTROL DE CALIDAD José L. López García Técnico de Laboratorio Control de Calidad GEOCONTROL PERU

GEOCONTROL PERU Y SERVICIOS

www.geocontrolperu.com.pe

Figura 53. Certificado de ensayo de compresión diagonal en muretes sin refuerzo. Tomado de GEOCONTROL PERÚ-Lima.



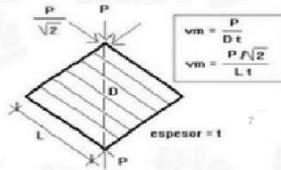
RUC. 20609900327

Cel.: +51 963 583 788 // +51 928 188 964
 Jr. La Veracidad 7799, Los Olivos 15307
 Email: Cotizaciones@geocontrolperu.com.pe
 Gerencia@geocontrolperu.com.pe

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	CERTIFICADO DE ENSAYO ENSAYO DE COMPRESIÓN DIAGONAL EN MURETES DE ALBAÑILERÍA	Código	FOR-LAB-ALB-005.01
		Revisión	2
		Aprobado	CC-GCP
LABORATORIO DE TECNOLOGÍA DEL CONCRETO		Fecha	17/02/2023
PROYECTO : INFLUENCIA DE MALLAS DE POLÍMERO REFORZADO CON FIBRAS DE VIDRIO EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS EN MUROS DE LADRILLO TUBULAR SOLICITANTE : ELMER CASTILLO ICHPAS UBICACIÓN : LIMA			
Material N° Muestra : Muretes con reforzamiento Fecha de ensayo:			
ENSAYO DE COMPRESIÓN DIAGONAL EN MURETES			

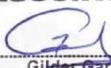
2. Resultados de los ensayos de compresión diagonal de muretes reforzadas con GFRP considerando el espesor del tarrajeo.

Muestra	Dimensiones (mm)			Diagona l (mm)	P máx (kgf)	Área (mm ²)	V'm Mpa (kgf/cm ²)	
	Largo (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)					
MR-1	630	620	170	883.91	21841	150265	1.43	14.535
MR-2	630	620	170	883.91	19761	150265	1.29	13.151
MR-3	630	620	170	883.91	20485	150265	1.34	13.633
Promedio							1.35	13.773
Desviación							0.07	0.703
V'm							1.28	13.07



OBSERVACIONES:

- Prohibida la reproducción parcial o total de este documento si
- Unidades de albañilería conectadas a través del mortero.

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
 Jefe de Laboratorio	 Gilder García Guzmán INGENIERO CIVIL CIP N° 289741 Ingeniero de Suelos y Pavimentos	 GEOCONTROL PERU S.A. Y SERVICIOS C. CONTROL DE CALIDAD José L. López García Técnico de Laboratorio Control de Calidad GEOCONTROL PERU

GEOCONTROL PERU S.A. Y SERVICIOS

www.geocontrolperu.com.pe

Figura 54. Certificado de ensayo de compresión diagonal en muretes con refuerzo. Tomado de GEOCONTROL PERÚ-Lima.



RUC. 20609900327

Cel.: +51 963 583 788 // +51 928 188 964
 Jr. La Veracidad 7799, Los Olivos 15307
 Email: Cotizaciones@geocontrolperu.com.pe
 Gerencia@geocontrolperu.com.pe

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	CERTIFICADO DE ENSAYO COMPRESIÓN DE ESPÉCIMENES CUBOS DE MORTERO	Código	FOR-LAB-CON-005.01
		Revisión	1
		Aprobado	GCP
		Fecha	31/01/2025
LABORATORIO DE TECNOLOGÍA DEL CONCRETO MTC E 609			

SOLICITANTE : ELMER CASTILLO
PROYECTO : INFLUENCIA DE MALLAS DE POLÍMERO REFORZADO CON FIBRAS DE VIDRIO EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS EN MUROS DE LADRILLO TUBULAR
UBICACIÓN : LIMA
Cantera : --
Fecha de ensayo: 31/01/2025

COMPRESIÓN DE ESPÉCIMENES CUBOS DE MORTERO
MTC E 609

A) INFORMACIÓN GENERAL:

Tipo de muestra: Moldedado

B) COMPRESIÓN DE CUBOS DE MORTERO:

IDENTIFICACIÓN DE ESPÉCIMEN	FECHA DE ELABORACIÓN	FECHA DE ROTURA	EDAD EN DÍAS	ÁREA (cm ²)	FUERZA MÁXIMA (kgf)	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)	PROMEDIO (Kg/cm ²)
MORTERO	10/12/2024	31/01/2025	52	25.0	4099.2	164.0	164.1
MORTERO	10/12/2024	31/01/2025	52	25.0	3670.9	146.8	
MORTERO	10/12/2024	31/01/2025	52	25.0	4537.7	181.5	

OBSERVACIONES:

* Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del Área de Calidad de GEOCONTROL PERU Y SERVICIOS S.A.C.

Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
	 Gilder García Guzmán INGENIERO CIVIL CIP N° 299741	 CONTROL DE CALIDAD José L. López García Técnico de Laboratorio
Jefe de Laboratorio	Ingeniero de Suelos y Pavimentos	Control de Calidad GEOCONTROL PERU

www.geocontrolperu.com.pe

Figura 55. Certificado de ensayo compresión de especímenes cubos de mortero. Tomado de GEOCONTROL PERÚ-Lima.



RUC. 20609900327

Cel.: +51 963 583 788 // +51 928 188 964
 Jr. La Veracidad 7799, Los Olivos 15307
 Email: Cotizaciones@geocontrolperu.com.pe
 Gerencia@geocontrolperu.com.pe

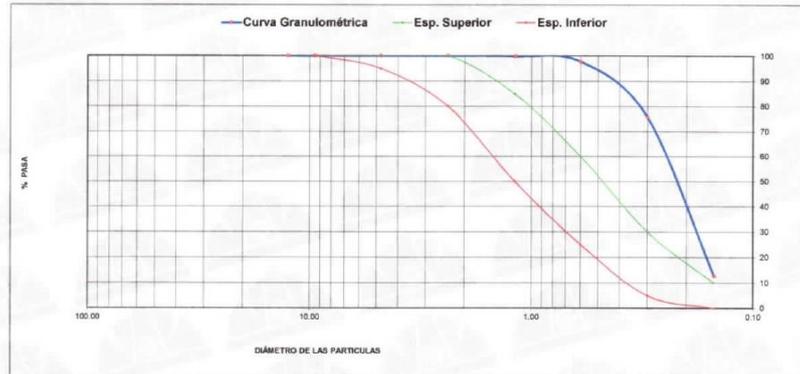
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES	CERTIFICADO DE ENSAYO ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADO FINO	Código	FOR-LTC-AG-001
		Revisión	2
		Aprobado	CC-GCP

LABORATORIO DE TECNOLOGÍA DEL CONCRETO
 ASTM C136

REFERENCIA : Datos de laboratorio.
SOLICITANTE : Eimer Castillo Ichpas
PROYECTO : Influencia de Mallas de Polímero Reforzado con Fibras de Vidrio en las Propiedades Mecánicas en Muros de Ladrillo Tubular
UBICACIÓN : Lima
F. DE ENSAYO : 03-02-2025

MATERIAL : AGREGADO FINO (TARRAJEO) **CANTERA** : -
PESO INICIAL HÚMEDO (g): 452.3 **% W** = 6.0
PESO INICIAL SECO (g): 426.6 **MF** = 1.14

MALLAS	ABERTURA (mm)	MATERIAL RETENIDO		% ACUMULADOS		ESPECIFICACIONES ASTM C33
		(g)	(%)	Retenido	Pasa	
1/2"	12.50	0.0	0.0	0.0	100.0	
3/8"	9.50	0.0	0.0	0.0	100.0	100
Nº4	4.76	0.0	0.0	0.0	100.0	95 - 100
Nº8	2.38	0.0	0.0	0.0	100.0	90 - 100
Nº16	1.18	0.5	0.1	0.1	99.9	80 - 85
Nº30	0.60	9.1	2.1	2.2	97.8	25 - 60
Nº50	0.30	94.1	22.1	24.3	75.7	5 - 30
Nº100	0.15	268.8	63.0	87.3	12.7	9 - 10
FONDO	-	54.1	12.7	100.0	0.0	



OBSERVACIONES:
 * Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita del área de calidad.

 Elaborado por:	Revisado por: Gilder García Guzmán INGENIERO CIVIL OIP N° 293741 Ingeniero de Suelos y Pavimentos	Aprobado por: GEOCONTROL PERU Y SERVICIOS CONTROL DE CALIDAD José L. López García Técnico de Laboratorio Área de Calidad GEOCONTROL PERU SAC
Jefe de Laboratorio	Ingeniero de Suelos y Pavimentos	Área de Calidad GEOCONTROL PERU SAC

www.geocontrolperu.com.pe

Figura 56. Certificado de ensayo análisis granulométrico de agregado fino para tarrajeo. Tomado de GEOCONTROL PERÚ-Lima.



PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.

LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LFP-646-2024

Página : 1 de 2

Expediente : T 378-2024
Fecha de emisión : 2024-07-11

1. Solicitante : GEOCONTROL PERU Y SERVICIOS S.A.C.

Dirección : JR. VERACIDAD NRO. 7798 URB. PRO - LOS OLIVOS - LIMA

2. Descripción del Equipo : ESTRUCTURA UNIVERSAL

Marca de Prensa : NO INDICA
Modelo de Prensa : NO INDICA
Serie de Prensa : NO INDICA
Capacidad de Prensa : 20 t

Marca de indicador : HIGH WEIGHT
Modelo de Indicador : 315x5
Serie de Indicador : 23822585

Marca de Transductor : ZEMIC
Modelo de Transductor : YB15
Serie de Transductor : 2076

Bomba Hidráulica : MANUAL

3. Lugar y fecha de Calibración

JR. VERACIDAD NRO. 7798 URB. PRO - LOS OLIVOS - LIMA
10 - JULIO - 2024

4. Método de Calibración

La Calibración se realizó de acuerdo a la norma ASTM E4.

5. Trazabilidad

INSTRUMENTO	MARCA	CERTIFICADO	TRAZABILIDAD
CELDA DE CARGA	AEP TRANSDUCERS	INF-LE 217	SISTEMA INTERNACIONAL
INDICADOR	AEP TRANSDUCERS		

6. Condiciones Ambientales

	INICIAL	FINAL
Temperatura °C	20,4	20,6
Humedad %	68	68

7. Resultados de la Medición

Los errores de la prensa se encuentran en la página siguiente.

8. Observaciones

Con fines de identificación se ha colocado una etiqueta autoadhesiva de color verde, con el número de certificado y fecha de calibración de la empresa PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.



Jefe de Laboratorio
Ing. Luis Loayza Capcha
Reg. CIP N° 152631

Av. Los Ángeles 653 - LIMA 42 Telf. 292-5106 698-9620

www.puntodeprecision.com E-mail: ventas@puntodeprecision.com.pe / puntodeprecision@hotmail.com

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN DE PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.

Figura 57. Certificado de calibración de la prensa hidráulica. Tomado de GEOCONTROL PERÚ-Lima.

	LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO		Código	C3-FOR-ALB-01	
	UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Métodos de muestreo y ensayo de ladrillos de arcilla usados en albañilería		Versión	01	
	NTP 399.613:2017		Fecha	08-05-21	
			Página	1 de 1	

Expediente N° : 1212-2024
Nombre del tesista : Bach. Ing. Elmer Castillo Ichpas
Nombre de la tesis : Influencia de mallas de polímero reforzado con fibras de vidrio en las propiedades mecánicas en muros de ladrillo tubular
Ubicación : Huancayo - Junín
Fecha de emisión : 12-Diciembre-2024

Método de ensayo : Resistencia a la compresión
Datos de la muestra : Ladrillo pandereta, marca PIRAMIDE

Identificación N°	Largo promedio (cm)	Ancho promedio (cm)	Altura promedio (cm)	Promedio del área bruta (A) (cm ²)	Máxima carga (W) (kg)	Resistencia a la compresión (C) (kg/cm ²)	Resistencia a la compresión (MPa)
1	23.1	11.3	9.4	261.03	10805.93	41.40	4.06
2	23.0	11.2	9.3	257.60	10260.38	39.83	3.91
3	23.1	11.1	9.4	256.41	9153.99	35.70	3.50
4	23.1	11.3	9.3	261.03	10466.37	40.10	3.93
5	23.2	11.2	9.2	259.84	9649.57	37.14	3.64
Promedio						38.83	3.81

Donde:
Resistencia promedio = 38.8 kg/cm²
Desviación estándar = 2.3 kg/cm²
Resistencia característica = 36.5 kg/cm²
Coeficiente de variación = 6.0 %

Fórmula:

$$C = \frac{W}{A}$$

Donde:
C = Resistencia a la compresión del espécimen, (kg/cm²).
W = Máxima carga indicada por la maquina de ensayo, kg
A = Promedio del área bruta de las superficies de contacto superior e inferior del espécimen, cm².

Nota:
*Ensayo realizado en ladrillo entero.

Observaciones:
1) La información referente al muestreo, procedencia, cantidad, fecha de obtención e identificación han sido proporcionadas por el solicitante.
2) El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad (GUÍA PERUANA INDECOPI: GP:004: 1993).

Realizado y revisado por el M.Sc. Ing. Omar Alex Huamán Salazar



C3 INGENIERIA ESPECIALIZADA SAC
Av. Los Próceres N° 1000 - Chilca - Huancayo - Junín
Celular: 947-898992
Email: c3ingenieriaspecializadasac@gmail.com

Figura 58. Certificado de ensayo de resistencia de compresión de ladrillo pandereta. Tomado de C3 Ingeniería.

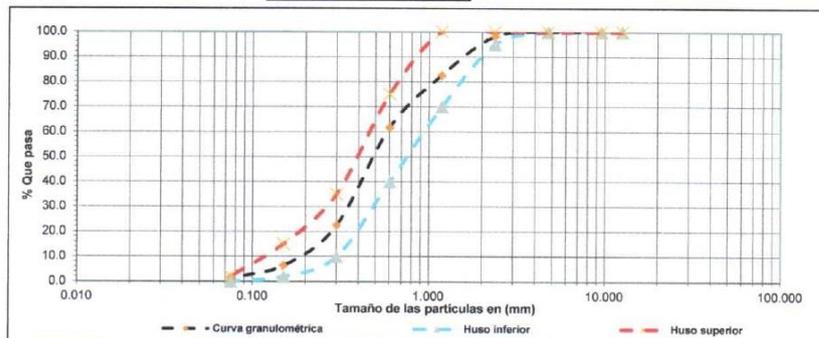
	LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO	Código	C3-A.Fino	
	AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino y grueso	Versión	01	
	NTP 400.012:2021	Fecha	04-01-21	
		Página	1 de 1	

Expediente N° : 1212-2024
Nombre del testista : Bach. Ing. Elmer Castillo Ichpas
Nombre de la tesis : Influencia de mallas de polímero reforzado con fibras de vidrio en las propiedades mecánicas en muros de ladrillo tubular
Ubicación : Huancayo - Junín
Fecha de emisión : 12-Diciembre-2024

Procedencia : Río Mantaro - Jauja
Matriz : Agregado fino
Clase de material : Arena gruesa
Muestra : M-1

Tamiz ASTM E11	Abertura (mm)	Masa retenida (g)	% Retenido	% Acumulado retenido	% Que pasa	Gradación
½ in.	19.000	0.0	0.0	0.0	100.0	100
¼ in.	12.500	0.0	0.0	0.0	100.0	100
¾ in.	9.500	0.0	0.0	0.0	100.0	100
No. 4	4.750	0.0	0.0	0.0	100.0	100
No. 8	2.360	11.3	1.8	1.8	98.2	95 a 100
No. 16	1.180	97.5	15.6	17.4	82.6	70 a 100
No. 30	0.600	130.7	20.9	38.3	61.7	40 a 75
No. 50	0.300	245.7	39.3	77.6	22.4	10 a 35
No. 100	0.150	100.7	16.1	93.7	6.3	2 a 15
No. 200	0.075	30.6	4.9	98.6	1.4	0 a 2
Fondo		8.8	1.4	100.0	0.0	
Masa inicial de la muestra seca (g)		625.3	100.0			

M.F 2.29



M.F = Módulo de fineza

NOTAS:

- Muestreo e identificación realizados por el peticionario.
- El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad (GUÍA PERUANA INDECOPI: GP:004: 1993).

- Realizado por el Ing. Cesar Elmer Taboada Perez
- Revisado por el M.Sc. Ing. Omar A. Huamani Salazar



C3 INGENIERIA ESPECIALIZADA SAC
Av. Los Próceres N° 1000 - Chilca - Huancayo - Junín
Celular: 947-898992
Email: c3ingenieriaspecializadasac@gmail.com

Figura 59. Certificado de ensayo análisis granulométrico de agregado fino para mortero de asentado de ladrillo. Tomado de C3 Ingeniería.

	LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO	Código	C3-FOR-S-MIG	
	Materia orgánica en suelos (Pérdida por ignición) MTC 118-2000	Versión	01	
		Fecha	04-01-21	
		Página	1 de 1	

Expediente N° : 1212-2024
Nombre del testista : Bach. Ing. Elmer Castil
Nombre de la tesis : Influencia de mallas de polímero reforzado con fibras de vidrio en las propiedades mecánicas en muros de ladrillo tubular
Ubicación : Huancayo - Junín
Fecha de emisión : 12-Diciembre-2024

Procedencia : Río Mantaro - Jauja
Matriz : Agregado fino
Clase de material : Arena gruesa
Muestra : M-1

ENSAYO N°	1
(A) Masa del crisol + suelo seco antes de la ignición (g)	156.314
(B) Masa del crisol + suelo seco después de la ignición (g)	156.292
(C) Masa del crisol (g)	107.071
(D) Pérdida por ignición (g) (A-B)	0.022
(E) Masa de suelo seco después de la ignición (g) (B-C)	49.221
% Materia Orgánica (D/E*100)	0.04

NOTAS:

- Muestreo e identificación realizados por el peticionario.
- El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad (GUÍA PERUANA INDECOPI: GP:004: 1993).

Realizado y revisado por el M.Sc. Ing. Omar Alex Huamán Salazar.



C3 INGENIERIA ESPECIALIZADA SAC
Av. Los Próceres N° 1000 - Chilca - Huancayo - Junín
Celular: 947-898992
Email: c3ingenieriaspecializadasac@gmail.com

Figura 60. Certificado de ensayo análisis granulométrico de agregado fino para mortero de asentado de ladrillo - Materia orgánica. Tomado de C3 Ingeniería.

	LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO	Código	C3-IO-A.Fino	
	AGREGADOS. Determinación de los efectos de las impurezas orgánicas del agregado fino sobre la resistencia de morteros NTP 400.013:2020	Versión	01	
		Fecha	02-01-20	
		Página	1 de 1	

Expediente N° : 1212-2024
 Nombre del tesista : Bach. Ing. Elmer Castillo Ichpas
 Nombre de la tesis : Influencia de mallas de polímero reforzado con fibras de vidrio en las propiedades mecánicas en muros de ladrillo tubular
 Ubicación : Huancayo - Junín
 Fecha de emisión : 12-Diciembre-2024

Procedencia	Matriz	Clase de material	Muestra	Color del patrón gardner CT-97	Resultado
Rio Mantaro Jauja	Agregado fino	Arena gruesa	M-1	Nº1	No presenta impurezas orgánicas

NOTAS:

- 1) Muestreo e identificación realizados por el peticionario.
- 2) El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad (GUÍA PERUANA INDECOPI: GP:004: 1993).

Realizado y revisado por el M.Sc. Ing. Omar Alex Huamani Salazar.



C3 INGENIERIA ESPECIALIZADA SAC
 Av. Los Próceres N° 1000 - Chilca - Huancayo - Junín
 Celular: 947-898992
 Email: c3ingenieriaspecializadasac@gmail.com

Figura 61. Certificado de ensayo análisis granulométrico de agregado fino para mortero de asentado de ladrillo - Comentario. Tomado de C3 Ingeniería.

Certificado de Calibración - Laboratorio de Fuerza
Calibration Certificate - Laboratory of Force

F-00436-001 R1

Page / Pág. 1 de 4

Equipo <i>Instrument</i>	MÁQUINA PARA ENSAYOS A COMPRESIÓN	<p>Los resultados emitidos en este Certificado se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones. Dichos resultados solo corresponden al ítem que se relaciona en esta página. El laboratorio que lo emite no se responsabiliza de los perjuicios que puedan derivarse del uso inadecuado de los instrumentos y/o de la información suministrada por el solicitante.</p> <p>Este Certificado de Calibración documenta y asegura la trazabilidad de los resultados a patrones nacionales e internacionales, que reproducen las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).</p> <p>El usuario es responsable de la Calibración de los instrumentos en apropiados intervalos de tiempo.</p> <p><i>The results issued in this Certificate relates to the time and conditions under which the measurements. These results correspond to the item that relates on page number one. The laboratory, which will not be liable for any damages that may arise from the improper use of the instruments and/or the information provided by the customer.</i></p> <p><i>This Calibration Certificate documents and ensures the traceability of the reported results to national and international standards, which realize the units of measurement according to the International System of Units (SI).</i></p> <p><i>The user is responsible for Calibration the measuring instruments at appropriate time intervals.</i></p>
Fabricante / Año <i>Manufacturer / Year</i>	A&A INSTRUMENTS (2018)	
Modelo <i>Model</i>	STYE-2000	
Número de Serie <i>Serial Number</i>	181012	
Identificación Interna <i>Internal Identification</i>	C3-P-001	
Capacidad Máxima <i>Maximum Capacity</i>	2000 kN	
Solicitante <i>Customer</i>	C3 INGENIERIA ESPECIALIZADA S.A.C.	
Dirección <i>Address</i>	AV. LOS PROCERES NRO. 1000 URB. CERCADO JUNIN - HUANCAYO -CHILCA	
Ciudad <i>City</i>	HUANCAYO	
Fecha de Calibración <i>Date of calibration</i>	2024 - 06 - 20	
Fecha de Emisión <i>Date of issue</i>	2024 - 07 - 03	
Número de páginas del certificado, incluyendo anexos <i>Number of pages of the certificate and documents attached</i>	04	

Without the approval of the Pinzuar Metrology Laboratory, the report can not be reproduced, except when it is reproduced in its entirety, since it provides the security that the parts of the Certificate are not taken out of context. Unsigned calibration certificates are not valid.

Firmas que Autorizan el Certificado
Signatures Authorizing the Certificate


Ing. Sergio Iyán Martínez
Director Laboratorio de Metrología


Br. Felix Jaramillo Castillo
Metrología Laboratorio de Metrología

LMPC-05-F-01 R14.1

LABORATORIO DE METROLOGÍA PINZUAR LTDA.

Fuerza · Longitud · Masa · Temperatura

Calle Ricardo Palma No. 998 Urb. San Joaquín - Bellavista - Callao (+51 1) 562 1263 · www.pinzuar.com.co

Figura 62. Certificado de calibración del equipo de compresión empleado en los ensayos de laboratorio. Tomado de C3 Ingeniería.



Figura 63. Charla presencial en SENCICO - Huancayo con Mg. de ing. Civil Mikhail Dmitrusenko *Fuente:* Elaboración propia.



Figura 64. Compra de materiales para realizar muretes y pilas - Huancayo Sodimac. Fuente: Elaboración propia.



Figura 64. Compra de mallas de polímero reforzado con fibras de vidrio -Av. Argentina 375 - B Las Malvinas - Lima. Fuente: Elaboración propia.



Figura 67. Compra de arena gruesa y arena fina para la preparación de morteros utilizados en la construcción de pilas y muretes. *Fuente:* Elaboración propia.



Figura 66. Compra de ladrillos tubulares en Sodimac para la construcción de pilas y muretes utilizados en los ensayos experimentales. *Fuente:* Elaboración propia.



Estimado (a) elmer

Tu cotización en la tienda Sodimac Huancayo está lista y registrada con el número: 146096. Para poder realizar el pago debes presentar en caja el número de la cotización o el código de barras que se adjunta.

La cotización tiene un período de validez de 3 días a partir de 10/12/2024

Cotización Generada N. 146096



Figura 67. Cotización de productos y materiales necesarios para la construcción de muestras.
Fuente: Elaboración propia.

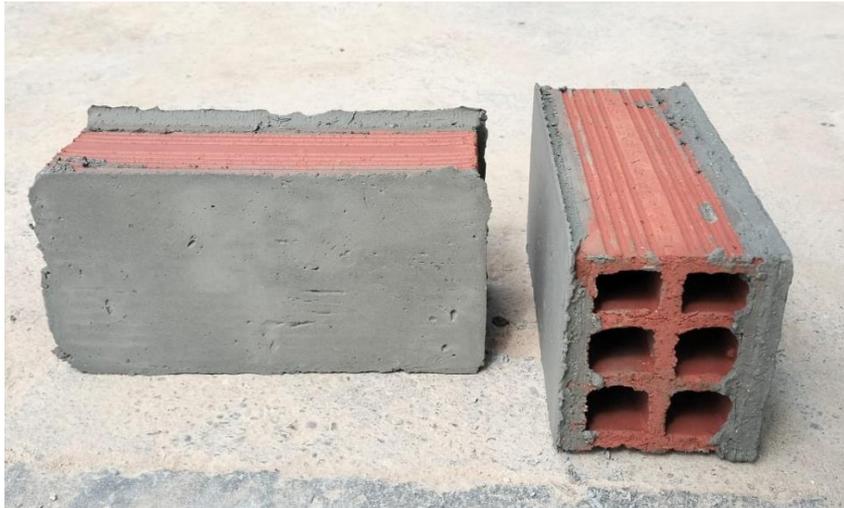


Figura 68. Colocación de capping a las unidades de ladrillo para garantizar una adecuada distribución de la carga. *Fuente* Elaboración propia.



Figura 69. Ensayo de compresión de la muestra de ladrillo N.º 1. *Fuente:* Elaboración propia.



Figura 70. Ensayo de compresión de la muestra de ladrillo N.º 2. Fuente: Elaboración propia



Figura 71. Ensayo de compresión de la muestra de ladrillo N.º 3. Fuente: Elaboración propia.



Figura 72. Ensayo de compresión de la muestra de ladrillo N.º 4. Fuente: Elaboración propia.



Figura 73. Ensayo de compresión de la muestra de ladrillo N.º 5. Fuente: Elaboración propia.



Figura 74. Fallas típicas presentadas durante el ensayo de compresión de ladrillo tubular. Fuente: Elaboración propia.



Figura 75. Mojar ladrillos tubulares antes del asentado con mortero. Fuente: Elaboración propia.



Figura 76. Ambiente preparado con materiales y herramientas listos para el asentado de pilas y muretes. Fuente: Elaboración propia.



Figura 77. Preparación del mortero para el asentado de ladrillos de pilas y muretes. Fuente: Elaboración propia.



Figura 78. Asentamiento y nivelación de las primeras hiladas de ladrillos para garantizar la estabilidad y la transmisión uniforme de cargas en la pila. Fuente: Elaboración propia.



Figura 79. Detalle de la fase final de asentamiento y nivelación de la hilada de ladrillos, asegurando la correcta alineación y la uniformidad del mortero de asiento para una transmisión óptima de cargas en la pila de ladrillo tubular. Fuente: Elaboración propia.



Figura 80. Detalle final de todas las pilas. *Fuente: Elaboración propia.*



Figura 81. Tarrajeo de las pilas con mortero, asegurando un recubrimiento uniforme. *Fuente: Elaboración propia.*



Figura 82. Colocación de la malla de polímero reforzado con fibras de vidrio (GFRP) en la pila, asegurando su correcta fijación y cobertura para garantizar su efectividad como refuerzo. Fuente: Elaboración propia.



Figura 83. Pila de albañilería tubular con tarrajeo. Fuente: Elaboración propia



Figura 84. Base de madera empleada para la construcción de muretes de ladrillo tubular durante la fase experimental. Fuente: Elaboración propia.



Figura 85. Colocación del mortero durante el proceso de asentado en murete. Fuente: Elaboración propia.



Figura 86. Colocación del ladrillo durante el proceso de asentado en murete. Fuente: Elaboración propia.



Figura 87. Total de pilas y muretes elaborados para la investigación. Fuente: Elaboración propia.



Figura 88. Colocación de reglas de aluminio para establecer las guías de nivel durante el inicio del tarrajeo de muretes. Fuente: Elaboración propia.



Figura 89. Lechada de cemento sobre la superficie del murete para asegurar una correcta adherencia entre el murete y el mortero de tarrajeo. Fuente: Elaboración propia.



Figura 90. Lechada de cemento sobre la superficie del murete con GFRP para asegurar una correcta adherencia entre el murete y el mortero de tarrajeo. Fuente: Elaboración propia.



Figura 91. Tarrajeo de la superficie del murete mediante la aplicación de mortero, asegurando un acabado uniforme y adecuada protección del muro. Fuente: Elaboración propia.



Figura 92. Murete de albañilería tubular con tarrajeo. Fuente: Elaboración propia.



Figura 93. Probetas cúbicas de mortero para asentado de ladrillo de 5 cm de lado. Fuente: Elaboración propia.



Figura 94. Muestras protegidas con manta acústica para transportar hasta la ciudad de Lima.
Fuente: Elaboración propia.



Figura 95. Carga de las muestras (pilas y muretes) al camión para su traslado al laboratorio de ensayos. Fuente: Elaboración propia.



Figura 96. Muestras en un camión de carga en la ciudad de Huancayo. Fuente: Elaboración propia.



Figura 97. Llegada de muestras al laboratorio GEOCONTROL PERÚ-Lima. Fuente: Elaboración propia.



Figura 98. Contenido de humedad de agregado fino para tarrajeo. Fuente: Elaboración propia.



Figura 99. Granulometría de agregado fino para tarrajeo. Fuente: Elaboración propia.



Figura 100. Rotura de morteros para asentado de ladrillo. Fuente: Elaboración propia.



Figura 101. Ensayo de compresión de pila sin refuerzo (PL-1) en Laboratorio GEOCONTROL PERÚ-Lima. Fuente: Elaboración propia.



Figura 102. Ensayo de compresión de pila sin refuerzo (PL-2) en Laboratorio GEOCONTROL PERÚ-Lima. Fuente: Elaboración propia.



Figura 103. Ensayo de compresión de pila sin refuerzo (PL-3) en Laboratorio GEOCONTROL PERÚ-Lima. Fuente: Elaboración propia.



Figura 104. Ensayo de compresión de pila con refuerzo (PR-1) en Laboratorio GEOCONTROL PERÚ-Lima. Fuente: Elaboración propia.



Figura 105. Ensayo de compresión de pila con refuerzo (PR-2) en Laboratorio GEOCONTROL PERÚ-Lima. Fuente: Elaboración propia.



Figura 106. Ensayo de compresión de pila con refuerzo (PR-3) en Laboratorio GEOCONTROL PERÚ-Lima. Fuente: Elaboración propia.



Figura 107. Ensayo de compresión diagonal en murete sin refuerzo (M-1) en Laboratorio GEOCONTROL PERÚ-Lima. Fuente: Elaboración propia.



Figura 108. Ensayo de compresión diagonal en murete sin refuerzo (M-2) en Laboratorio GEOCONTROL PERÚ-Lima. Fuente: Elaboración propia.



Figura 109. Ensayo de compresión diagonal en murete sin refuerzo (M-3) en Laboratorio GEOCONTROL PERÚ-Lima. Fuente: Elaboración propia.



Figura 110. Ensayo de compresión diagonal en muretes con refuerzo (MR-1 y MR-2) en Laboratorio GEOCONTROL PERÚ-Lima. Fuente: Elaboración propia.



Figura 111. Ensayo de compresión diagonal en muretes con refuerzo (MR-3) en Laboratorio GEOCONTROL PERÚ-Lima. Fuente: Elaboración propia.