



UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

**REFORZAMIENTO SUPERFICIAL DE MUROS DE MAMPOSTERÍA
CON TELA DE FIBRA DE CARBONO EN VIVIENDAS
VULNERABLES DE VILLA EL SALVADOR PARA LA
MITIGACIÓN DE RIESGOS SÍSMICOS**

Para optar el título profesional de Licenciado en Ingeniería Civil

AUTOR(ES)

Lumba Saenz, Kevin Alexis Sergi (0009-0001-4254-5039)

Malasquez Lopez, Jose Gabriel (0009-0000-6448-7864)

ASESOR(ES)

Eyzaguirre Acosta, Carlos Augusto (0000-0001-9769-2135)

Lima, [15 de octubre del 2024]

Dedicatoria

A nuestros padres, quienes nos formaron como las personas que somos y quienes fueron parte de nuestros logros, incluido este. Fuente importante de nuestra motivación por enseñarnos a mirar la vida con amor y entusiasmo, por su constante observación y por su comprensión durante el desarrollo de esta tesis.

Agradecimientos

A la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas por su colaboración en su formación.

A la familia por motivarnos a mejorar como personas y como profesionales en el desarrollo de esta tesis.

A las personas que, de alguna forma, estuvieron involucradas en el desarrollo de este trabajo final.

Resumen

Villa El Salvador, un distrito de Lima (Perú), está ubicado en la zona de subducción de la placa Nazca con la placa Sudamericana. Por ello, las viviendas de Villa El Salvador están vulnerables a ser perjudicadas ante un sismo. Asimismo, muchas de estas viviendas no cumplen con la reglamentación estipulada por el Ministerio de Viviendas, Construcción y Saneamiento, ya que un 80% de estas son informales. Por un lado, la falta de profesionales capacitados en el proyecto de edificación. Por otro lado, el intento de reducción de costos conlleva a utilizar materiales precarios para la ejecución de la obra. Esta reducción de calidad en la vivienda que sean susceptibles al colapso ante un evento sísmico, dejando a la ciudad en una situación de daños colaterales cuantiosos, aumentando a la vez el costo de reconstrucción y la cantidad de personas damnificadas producto de un fenómeno de esta naturaleza.

La propuesta de solución es aplicar un reforzamiento superficial a los muros de albañilería usando telas de fibra de carbono (CF), las cuales nos permite mejorar la resistencia al corte, la tenacidad de las paredes y su ductilidad, estas tiras serán colocadas juntas al lecho de las paredes de mampostería, ya que, limitan la propagación y expansión de las grietas. La propuesta de solución es analizar el uso de estas telas de fibra de carbono mediante una prueba de mesa vibratoria. Para analizar los resultados se realiza una comparación entre muros reforzados con tela CF y muros no reforzados con la simulación del terremoto de Pisco de 2007.

Palabras clave: Mampostería; fibra de carbono (CF); desplazamientos; costos; fuerzas cortantes.

Optimization of the construction of masonry walls with carbon fiber fabric in vulnerable housing in villa el salvador for seismic risk mitigation.

Abstract

Villa El Salvador, a district of Lima (Peru), is located in the subduction zone of the Nazca plate with the South American plate. As a result, homes in Villa El Salvador are vulnerable to damage in the event of an earthquake. In addition, many of these houses do not comply with the regulations stipulated by the Ministry of Housing, Construction and Sanitation, since 80% of them are informal. On the one hand, the lack of trained professionals in the building project. On the other hand, the attempt to reduce costs leads to the use of precarious materials for the execution of the work. This reduction in housing quality makes it susceptible to collapse in the event of a seismic event, leaving the city in a situation of substantial collateral damage, increasing both the cost of reconstruction and the number of people affected by a phenomenon of this nature.

The proposed solution is to apply a surface reinforcement to the masonry walls using carbon fiber (CF) fabrics, which allows us to improve the shear strength, the toughness of the walls and their ductility, these strips will be placed together with the bedding of the masonry walls, since they limit the propagation and expansion of cracks. The proposed solution is to analyze the use of these carbon fiber fabrics by means of a shaking table test. To analyze the results, a comparison is made between walls reinforced with CF fabric and unreinforced walls with the simulation of the 2007 Pisco earthquake.

Keywords: Masonry; carbon fiber (CF); displacements; costs; shear forces.

u201912745_ REFORZAMIENTO SUPERFICIAL DE MUROS DE MAMPOSTERÍA CON TELA DE FIBRA DE CARBONO EN VIVIENDAS VULNERABLES DE VILLA EL SALVADOR

INFORME DE ORIGINALIDAD

8%

INDICE DE SIMILITUD

9%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

1%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorioacademico.upc.edu.pe Fuente de Internet	3%
2	es.readkong.com Fuente de Internet	1%
3	repositorio.utea.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	tesis.pucp.edu.pe Fuente de Internet	<1%
5	hdl.handle.net Fuente de Internet	<1%
6	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	<1%
7	ece.nitdgp.ac.in Fuente de Internet	<1%
8	bvpad.indeci.gob.pe Fuente de Internet	<1%

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Realidad problemática	1
1.2 Formulación del problema.....	5
1.3 Justificación del problema	6
1.4 Antecedentes del problema.....	6
1.5 Indicadores del problema.....	7
1.6 Hipótesis	7
1.7 Objetivos.....	7
1.7.1 Objetivo General.....	7
1.7.2 Objetivos Específicos	7
1.8 Delimitación del problema	8
1.9 Limitaciones del Proyecto	8
1.10 Contenido de la Investigación	8
1.11 Estado del Arte	10
2. MARCO TEÓRICO	11
2.1 Fibra de Carbono	11
2.1.1 Tela de Fibra de Carbono (CF).....	13
2.2 Aditivo Resina Epoxi	13
2.3 Vivienda Informal.....	13
2.4 Muros de Albañilería	14
2.5 Zona de Evacuación.....	15
2.6 Peligro Sísmico.....	15
2.7 Vulnerabilidad Sísmica	15
2.8 Riesgo Sísmico	15
3. METODOLOGÍA.....	16
3.1 Programa experimental.....	16
3.1.1 Procedimiento	18
3.1.1.1 Preparación de los muretes	18
3.1.1.2 Preparación de la base	19
3.1.1.3 Instalación de la tela de CF.....	19

3.1.1.4 Implementación del aditivo Epoxi.....	20
3.1.1.5 Tarrajeo del murete reforzado con tela de CF.....	20
3.1.1.6 Acabado y curado	21
4. DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN INGENIERIL	22
4.1. Especificaciones técnicas de los ensayos realizados en investigaciones previas para la implementación en la mesa vibradora a escala 1:8.....	22
4.2. Registro sísmico	24
4.2.1. Ensayo de vibración libre	25
4.2.2. Ensayo dinámico con registro sísmico	25
4.3. Costo de la tela de fibra de carbono (CF) en muros de mampostería.....	26
5. RESULTADOS	30
5.1. Resultados en los ensayos de vibración libre en mesa vibratoria.....	30
5.2. Resultados en el PGA y Desplazamientos de los Especímenes	37
5.3. Resultados del costo unitario del refuerzo de la tela de fibra de carbono (CF)...	38
6. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	39
6.1. Análisis de resultados de vibración libre	39
6.2. Análisis de resultados del PGA y desplazamientos.....	40
6.3. Análisis de Costos en Porcentaje.....	42
7. CONCLUSIONES.....	43
8. RECOMENDACIONES	45
9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47
ANEXO(S)	51
Anexo A. Plano de Vivienda Típica.....	51
Anexo B. Plano de Vivienda Típica con refuerzo de Tela de Fibra de Carbono.	52

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Nivel de riesgo para población y viviendas en Lima Sur.	2
Tabla 2 Proceso Constructivo Inicial en las viviendas de Villa el Salvador.....	4
Tabla 3 Proceso Constructivo de ampliación y remodelación en las viviendas.	4
Tabla 4 Indicadores del problema.	7
Tabla 5 Propiedades Generales de las Fibras de Acero, de Carbono y de Vidrio.	12
Tabla 6 Características de los especímenes ESR y ECR.	17
Tabla 7 Propiedades físicas de los componentes de mampostería.	22
Tabla 8 Propiedades mecánicas de los materiales empleados en el laboratorio.	23
Tabla 9 Cálculo del área de los muros.	28
Tabla 10 Cálculo del m ² de tira de tela de CF para la vivienda.	29
Tabla 11 Resultados obtenidos en el ensayo de mesa vibradora para el espécimen ESR.	37
Tabla 12 Resultados obtenidos en el ensayo de mesa vibradora para el espécimen ECR.	38
Tabla 13 Cálculo del m ² de tira de tela de CF para la vivienda.	39
Tabla 14 Comparación de las frecuencias de los especímenes en el ensayo de Vibración Libre.	39
Tabla 15 Comparación del PGA y desplazamientos de los especímenes en el sismo 2007.	40
Tabla 16 Costos de materiales para la construcción de una vivienda típica en Villa el Salvador.....	42

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Mapa del Cinturón de Fuego del Pacífico.</i>	1
Figura 2 <i>Mapa de material de construcción en Villa el Salvador.</i>	3
Figura 3 <i>Diagrama de árbol de problemas.</i>	5
Figura 4 <i>Tela de CF.</i>	13
Figura 5 <i>Viviendas informales en Lima, Perú</i>	14
Figura 6 <i>Vivienda con muros de mampostería.</i>	15
Figura 7 <i>Diseño de murete de mampostería sin refuerzo a escala reducida.</i>	17
Figura 8 <i>Diseño de murete de mampostería con refuerzo a escala reducida.</i>	17
Figura 9 <i>Ladrillos a escala reducida (1:3).</i>	18
Figura 10 <i>Preparación de la base.</i>	19
Figura 11 <i>Instalación de la tela de CF en el murete.</i>	19
Figura 12 <i>Implementación del aditivo epoxi.</i>	20
Figura 13 <i>Tarrajeo del murete reforzado con tela de CF.</i>	20
Figura 14 <i>Murete de mampostería a escala reducida sin refuerzo.</i>	21
Figura 15 <i>Murete de mampostería a escala reducida reforzada con tela de CF.</i>	21
Figura 16 <i>Cubos de mortero</i>	23
Figura 17 <i>Distribución de canales para la adquisición de data de los especímenes en la mesa vibradora.</i>	24
Figura 18 <i>Escalamiento del registro del sismo de Pisco 2007.</i>	24
Figura 19 <i>Ensayo dinámico de vibración libre.</i>	25
Figura 20 <i>Ensayo dinámico usando registro sísmico en la mesa vibradora.</i>	25
Figura 21 <i>Plano de vivienda típica en el distrito de Villa el Salvador.</i>	26
Figura 22 <i>Sistema de evacuación para una vivienda típica en Villa el Salvador.</i>	27
Figura 23 <i>Dimensiones de los 4 muros para ser reforzadas.</i>	28
Figura 24 <i>Implementación de las tiras de tela de CF en los 4 muros.</i>	29
Figura 25 <i>Resultados del Ensayo de Vibración Libre-ESR (Frecuencia: 34.2Hz).</i>	30
Figura 26 <i>Resultados del Ensayo de Vibración Libre-ECR (Frecuencia: 88.2Hz).</i>	30
Figura 27 <i>Aceleración de 0.62 G y desplazamiento de la base de 0.80 mm y desplazamiento del techo de 0.86 mm, en la estructura ESR-PIS2007.</i>	31
Figura 28 <i>Aceleración de 1.66 G y desplazamiento de la base de 1.76 mm y desplazamiento del techo de 1.79 mm, en la estructura ESR-PIS2007.</i>	31

Figura 29 <i>Aceleración de 1.79 G y desplazamiento de la base de 0.80 mm y desplazamiento del techo de 0.97 mm, en la estructura ESR-PIS2007.</i>	32
Figura 30 <i>Aceleración de 2.89 G y desplazamiento de la base de 1.00 mm y desplazamiento del techo de 2.28 mm, en la estructura ESR-PIS2007.</i>	32
Figura 31 <i>Aceleración de 1.16 G y desplazamiento de la base de 0.68 mm y desplazamiento del techo de 0.69 mm, en la estructura ECR-PIS2007.</i>	32
Figura 32 <i>Aceleración de 1.43 G y desplazamiento de la base de 0.78 mm y desplazamiento del techo de 0.79 mm, en la estructura ECR-PIS2007.</i>	33
Figura 33 <i>Aceleración de 2.16 G y desplazamiento de la base de 1.13 mm y desplazamiento del techo de 1.19 mm, en la estructura ECR-PIS2007.</i>	33
Figura 34 <i>Aceleración de 2.42 G y desplazamiento de la base de 1.80 mm y desplazamiento del techo de 1.83 mm, en la estructura ECR-PIS2007.</i>	33
Figura 35 <i>Aceleración de 2.99 G y desplazamiento de la base de 2.48 mm y desplazamiento del techo de 2.52 mm, en la estructura ECR-PIS2007.</i>	34
Figura 36 <i>Aceleración de 3.89 G y desplazamiento de la base de 2.78 mm y desplazamiento del techo de 2.90 mm, en la estructura ECR-PIS2007.</i>	34
Figura 37 <i>Aceleración de 3.74 G y desplazamiento de la base de 9.55 mm y desplazamiento del techo de 9.72 mm, en la estructura ECR-LIM1974.</i>	35
Figura 38 <i>Aceleración de 4.64 G y desplazamiento de la base de 15.04 mm y desplazamiento del techo de 15.44 mm, en la estructura ECR-LIM1974.</i>	35
Figura 39 <i>Resultados del Ensayo de Vibración Libre-ECR con 6 pesas (Frecuencia: 56.1Hz).</i>	36
Figura 40 <i>Aceleración de 4.32 G y desplazamiento de la base de 13.29 mm y desplazamiento del techo de 13.73 mm, en la estructura ECR con 6 pesas- LIM1974.</i>	36
Figura 41 <i>Aceleración de 7.71 G y desplazamiento de la base de 18.51 mm y desplazamiento del techo de 19.00 mm, en la estructura ECR con 6 pesas- LIM1974.</i>	37
Figura 42 <i>ECR VS. ESR.</i>	41

1. INTRODUCCIÓN

En el contexto global actual, los desastres sísmicos han cobrado una relevancia creciente, evidenciada por eventos recientes como el terremoto en Turquía. Perú, al estar ubicado en una zona de alta actividad sísmica, enfrenta riesgos similares, especialmente en áreas con infraestructura débil o no adecuada para resistir temblores severos.

1.1 Realidad problemática

En la actualidad, el mundo ha sido testigo de terremotos devastadores, como el ocurrido en Turquía con una magnitud de 7.8 en la escala de Richter. Según la Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM, 2023), la acumulación de energía sísmica en el Perú es similar a la de Turquía, lo que pronostica una alta intensidad de desastres que pueden ocurrir, especialmente en construcciones y ubicaciones informales. Asimismo, el departamento de Ingeniería Civil y Ambiental de la universidad politécnica de Cataluña, Barcelona afirma que en el mundo ocurre muchos terremotos a lo largo de la historia, representando una problemática alarmante, ya que ocasiona muchas pérdidas, tanto en términos de vidas humanas como de daños económicos de viviendas (Inga Paz, 2021). Además, estos terremotos son más frecuentes en una zona conocida como el "Cinturón de Fuego del Pacífico" como se muestra en la Figura 1, el mapa del Cinturón de Fuego del Pacífico, que es una región geográfica alrededor del Océano Pacífico conocida por ser una de las zonas con mayor actividad sísmica y volcánica del mundo, debido a la convergencia entre placas tectónicas en la zona del Pacífico. Esta zona tiene una extensión aproximada de cuarenta mil km y los países más expuestos son Chile, Ecuador, Perú, entre otros.

Figura 1

Mapa del Cinturón de Fuego del Pacífico.



Nota. De “Análisis de vulnerabilidad sísmica de una vivienda informal de albañilería confinada empleando la metodología Hazus”, por S. Caparachin Vilca, 2023 (<https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/25772>)

En Perú, se construyen alrededor de 30,000 viviendas anuales, y el 70% de ellas son informales (Alfaro Valencia & Hernandez Nongrados, 2023). Asimismo, Villa El salvador es uno de los distritos con un 88% de índice de sismicidad alta en el Perú, y el 31.4% de sus viviendas son vulnerables. Estas viviendas presentan muchas deficiencias en su construcción, especialmente en los materiales utilizados, que por ser de baja calidad no cumplen con la Norma E0.70 del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE, 2019) y por ello, requiere soluciones adecuadas. En la tabla 1 se muestran los niveles de exposición sísmica de Lima.

Tabla 1

Nivel de riesgo para población y viviendas en Lima Sur.

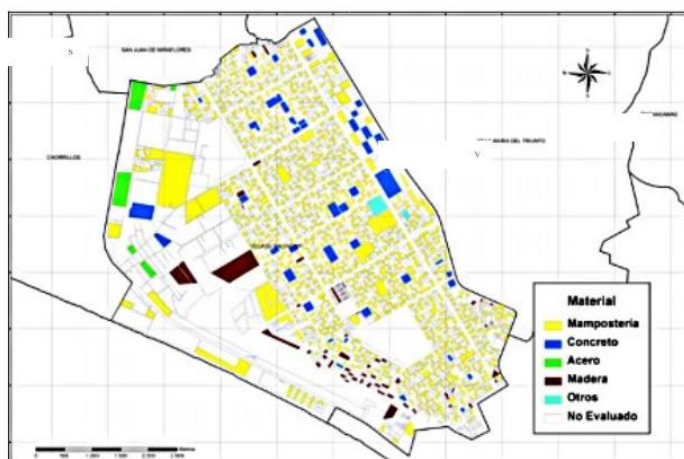
Provincia	N°	Distrito	Riesgo alto y muy alto		Población relativa (%)	Densidad pob. (hab/km ²)	Porcentaje hacinamiento
			Población	Viviendas			
Lima	1	Villa el Salvador	309,271	69,658	91	10,112	29
	2	Los olivos	201,324	52,788	75	14,773	46
	3	Ate	256,892	66,236	60	4,978	36
	4	Ancón	24,862	6,940	60	129	24
	5	Chorrillos	141,896	36,004	54	7,133	33
	6	Lurín	27,838	7,349	46	320	29
	7	San Juan de Lurigancho	362,342	86,351	46	5,659	34
	8	Puente Piedra	102,237	24,848	45	4,531	34
	9	La Molina	29,813	7,916	28	2,179	25
	10	Independencia	35,470	8,626	21	10,381	34
	11	Lima	48,609	13,693	20	11,340	55
	12	Comas	81,177	18,829	19	8,526	32
	13	Breña	9,137	2,673	13	22,112	57
	14	Carabayllo	6,651	1,900	3	701	31
	15	El agustino	353	75	1	11,661	43
Total			1,328,601	334,228			

Nota. De “Propuesta metodológica constructiva de reforzamiento de viviendas autoconstruidas de bajo desempeño sísmico utilizando muros de concretos prefabricados en el distrito de Villa el Salvador”, J. Ramos Guadalupe y L. Villagaray Camposano, 2022.

Además, en la tabla 1, indica las zonas de riesgo sísmico en los distritos de Lima Sur, donde Villa el Salvador tiene cerca del 91% de viviendas y habitantes en riesgo alto y muy alto, siendo un distrito con mayor exposición sísmica, donde esto afecta considerablemente dichas viviendas. Por otro lado, cerca del 96,7% de viviendas tiene como material predominante la mampostería (Ramos Guadalupe & Villagaray Camposano, 2022).

Figura 2

Mapa de material de construcción en Villa el Salvador.



Nota. De “Propuesta metodológica constructiva de reforzamiento de viviendas autoconstruidas de bajo desempeño sísmico utilizando muros de concretos prefabricados en el distrito de Villa el Salvador”, por J. Ramos Guadalupe y L. Villagaray Camposano, 2022 (<https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/659069>)

Por otro lado, según Rivas Quispe (2020), indica que el 40 al 55% del diseño de las viviendas lo realizan los mismos propietarios y que el periodo de construcción de un primer piso es de 3 a 6 meses y equivale a un 73% de las viviendas construidas en Villa el Salvador. Asimismo, los encargados de realizar la construcción, en su mayoría, son de dos a tres personas. Por ello, la construcción tiene a tener materiales muy económicos y que no reciben ninguna asesoría técnica, dando vulnerabilidad a la construcción y evadiendo la norma E0.70. Además, como se muestra en la Tabla 2 y en la Tabla 3, según encuestas, existe un gran

número de viviendas vulnerables, de lo cual se presentan los siguientes cuadros del proceso constructivo de estas.

Tabla 2

Proceso Constructivo Inicial en las viviendas de Villa el Salvador.

Proceso constructivo inicial	Tipo de decisiones (% hogares)				
	Diseño Arquitectónico	Aspectos estructurales	Aspectos habitacionales	Selección de la calidad de materiales	Instalaciones (sanitarias y eléctricas)
Propietario	61.70%	45.00%	56.70%	30.00%	16.70%
Maestro de Obra	36.90%	55.00%	38.30%	70.00%	81.60%
Ing-Civil	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Arquitecto	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%

Nota. De “Propuesta metodológica constructiva de reforzamiento de viviendas autoconstruidas de bajo desempeño sísmico utilizando muros de concretos prefabricados en el distrito de Villa el Salvador”, por J. Ramos Guadalupe y L. Villagaray Camposano, 2022.

Tabla 3

Proceso Constructivo de ampliación y remodelación en las viviendas.

Proceso constructivo de ampliación y remodelación	Tipo de decisiones (% hogares)				
	Diseño Arquitectónico	Aspectos estructurales	Aspectos habitacionales	Selección de la calidad de materiales	Instalaciones (sanitarias y eléctricas)
Propietario	63.20%	13.50%	67.60%	34.20%	32.30%
Maestro de Obra	36.80%	86.50%	32.40%	65.80%	67.60%
Ing-Civil	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Arquitecto	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%

Nota. De “Propuesta metodológica constructiva de reforzamiento de viviendas autoconstruidas de bajo desempeño sísmico utilizando muros de concretos prefabricados en el distrito de Villa el Salvador”, por J. Ramos Guadalupe y L. Villagaray Camposano, 2022.

Asimismo, según Carrion Carbajal (2021), indica que la mayoría de las casas son construidas con ladrillos de pandereta, pues son más económicas y se utilizan en muros de carga u otros. Lo cual, está prohibido según la Norma Técnica de Edificación E.070. Estas construcciones, mayormente se realizan en viviendas modulares sin asesoramiento técnico, lo cual lleva deficiencia y problemas en su rendimiento sísmico. A consecuencia de esto, en Villa el Salvador, el costo de reparación de viviendas tras un sismo es elevado, con una estimación de recuperación del 85% del costo de construcción.

En este contexto, es esencial comprender a fondo los problemas sobre la vulnerabilidad para implementar una estrategia efectiva de mitigación. Por ello, se ha realizado un diagrama de árbol de problemas donde ofrece una visión detalla de los factores clave que perpetúan esta situación. Esto se muestra en la figura 3.

Figura 3

Diagrama de árbol de problemas.



1.2 Formulación del problema

¿En qué medida se debe mitigar el riesgo en las viviendas de Villa El Salvador para un evento sísmico de gran magnitud?

1.3 Justificación del problema

Las viviendas construidas en una zona con alto índice de sismicidad y sin los materiales adecuados, pueden ocasionar numerosos daños, ya sea un colapso en la edificación como también, pérdidas humanas.

Como solución se propone prever los daños mencionados, reforzando los muros de mampostería de las viviendas usando telas de fibra de carbono (CF). Los ladrillos reforzados con este material muestran mejor resistencia al corte y un aumento en la resistencia lateral. Los valores máximos de resistencia al corte de la tela de fibra de carbono (CF) estiman una proximidad de 93-99%. (Li et al., 2022). Por ello, se busca aplicar el uso de este material como reforzamiento superficial en muros de mampostería para la mejora en la estructura de estas viviendas.

1.4 Antecedentes del problema

La investigación presentada tiene un impacto significativo en la sociedad, dado que cada vez aumenta las construcciones de viviendas y carecen de las características de seguridad necesarias ante un evento sísmico. Para abordar este problema, se propone el uso de una técnica de tela de fibra de carbono (CF) para muros de mampostería en construcciones.

Un material crucial para esta técnica es la fibra de carbono, que es una fibra delgada hecha de aproximadamente un 92 % de átomos de carbono dispuestos en redes hexagonales planas. La fibra de carbono tiene una alta elasticidad y resistencia, y puede ayudar a ahorrar energía, reducir las emisiones de carbono y minimizar la contaminación ambiental causada por otros materiales (Dong et al., 2021).

Según Behera et al. (2021), desarrollaron dos productos geo sintéticos como refuerzo de muros de mampostería. Estos productos fueron el geotextil a base de resinas epoxi y geomalla en las juntas del lecho embebido en mortero de ladrillo. Este estudio se realizó mediante ensayos de laboratorio para determinar su resistencia a compresión y flexión, donde obtuvieron resultados óptimos. Puesto que, en su aplicación, estos obtuvieron una mejora capacidad de carga y un aumento de resistencia del geotextil. Además, Bouyahyaoui et al. (2023), afirman que el refuerzo de polímeros reforzados con fibra (FRP) en paredes de mampostería son eficientes, pues aumentan su capacidad de corte y su pseudoductilidad en un 200%. Esto indica que el uso de esta técnica puede mejorar la resistencia del muro no reforzado, alcanzando su máxima capacidad de carga.

1.5 Indicadores del problema

Los indicadores del problema están detallados en la Tabla 4.

Tabla 4

Indicadores del problema.

Indicador	Unidad de Medida	Descripción
Desplazamientos en muros de mampostería	mm	Se realiza la prueba de mesa vibratoria con condiciones de carga de un evento sísmico. Después de cada carga, se examina comparativamente las condiciones de daño en los muros de mampostería.
Rigidez de muros de mampostería	N.m ²	La rigidez se realiza para estimar la resistencia a la deformación de los muros de mampostería al aplicar una simulación de un evento sísmico.
Costos	Soles y/o dólares	En muros de mampostería se escogen dos tipos de ladrillos, el ladrillo pandereta que cuesta 0.71 soles c/u y el ladrillo King Kong, el cual cuesta 0.88 soles c/u.

1.6 Hipótesis

Al utilizar la tela de fibra de carbono (CF) en los muros de mampostería, este aumenta la resistencia sísmica de hasta un 7.71 G en estas viviendas, reduciendo los accidentes hasta un 20% y dando facilidad de evacuación de las personas.

1.7 Objetivos

1.7.1 Objetivo General

- Reforzar con tela de fibra de carbono (CF) un modelo de muro de mampostería a escala 1:8 para mitigar el riesgo sísmico en una vivienda típica del distrito de Villa El Salvador.

1.7.2 Objetivos Específicos

- Desarrollar una investigación previa sobre las especificaciones de los ensayos dinámicos para elaborar dos especímenes escalados 1:8.
- Analizar la respuesta sísmica y la capacidad de resistencia de los especímenes sin y con refuerzo de tela de fibra de carbono mediante ensayos dinámicos.

- Determinar el impacto económico del refuerzo superficial con tela de fibra de carbono en muros de mampostería, representado como un porcentaje del costo total de la vivienda.

1.8 Delimitación del problema

- Técnica, el proyecto se centra en el área de construcción. No obstante, se analiza viviendas construidas con materiales precarios en Villa El Salvador. Por lo que, en la presente investigación se elude las edificaciones formales, y se orienta a viviendas en peligro sísmico.
- Geográfica, la presente investigación está situada en el distrito de Villa El Salvador en Lima, Perú.
- Temporal, la investigación tuvo una procedencia de datos comprendidos entre los años 2020-2024.

1.9 Limitaciones del Proyecto

Las telas de fibra de carbono son refuerzos superficiales. Por ello, esta tela será colocada en las juntas de mortero de una pared de mampostería. Sin embargo, existen algunas limitaciones asociadas con la propuesta:

- Por un lado, existen pocos establecimientos de venta física de la tela de fibra de carbono en Lima y la exigencia de compras online al solo poder realizar un pedido si la cantidad mínima de compra es 100 m².
- Por otro lado, en el proceso de los ensayos se tuvo una difícil comunicación con el Centro Peruano-Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID). Este centro cuenta con ensayos de mesa vibradora a escala reducida, que abarata los costos para una propuesta de refuerzo en muros de albañilería. Dando una opción rentable en cuanto a otras universidades.

1.10 Contenido de la Investigación

En el capítulo de Introducción, examina la alta vulnerabilidad sísmica en Perú, especialmente en Villa El Salvador, donde el 80% de las viviendas son informales y no cumplen con las normativas de construcción, incrementando el riesgo de daños en caso de terremotos. Destaca la necesidad urgente de reforzar estas viviendas, proponiendo el uso de telas de fibra de carbono para mejorar su resistencia sísmica.

En el capítulo de Marco Teórico, detalla cómo la fibra de carbono, con sus excepcionales propiedades de resistencia y ligereza, puede reforzar eficazmente los muros de

mampostería. Explica los tipos de fibra de carbono disponibles, su aplicación en construcción y la importancia de la resina epoxi para su adhesión, además de las deficiencias de las viviendas informales en Perú y los desafíos de la albañilería en casos sísmicos

En el capítulo de Metodología, se especifica la investigación como descriptiva, explicativa y experimental. Se realizan pruebas en el laboratorio de Estructuras del CISMID con dos tipos de muros a escala reducida: uno sin refuerzo y otro reforzado con tela de fibra de carbono. Se detalla el proceso de construcción, preparación de los muros, instalación de la fibra de carbono y el tarrajeo, así como el procedimiento para los ensayos dinámicos en la mesa vibradora.

En el capítulo de Desarrollo de Solución Ingenieril, aborda la aplicación de especificaciones técnicas previas en la mesa vibradora, incluyendo propiedades físicas y mecánicas de los materiales de mampostería y mortero, así como el cálculo de costos para el refuerzo de muros con fibra de carbono en una vivienda típica de Villa El Salvador. Se presentan detalles sobre los ensayos dinámicos realizados, la distribución de datos y el análisis de costos para la implementación de la fibra de carbono en los muros.

En el capítulo de Resultados, presenta los resultados de los ensayos con mesa vibratoria, comparando el comportamiento sísmico de los especímenes sin refuerzo (ESR) y con refuerzo (ECR). Se observan mejoras en la frecuencia natural y en la resistencia a aceleraciones y desplazamientos en el ECR. También se incluye un análisis del costo del refuerzo con fibra de carbono en comparación con el costo total de la construcción.

En el capítulo de Análisis de Resultados, se analiza los datos obtenidos de los ensayos de mesa vibratoria para evaluar la efectividad del refuerzo con fibra de carbono. Se compararán las frecuencias naturales, aceleraciones y desplazamientos de los modelos sin refuerzo (ESR) y con refuerzo (ECR) para determinar las mejoras en la estabilidad del modelo. Además, se evaluará el impacto económico del refuerzo en relación con el costo total de construcción, proporcionando un análisis detallado del costo-beneficio del sistema de refuerzo aplicado.

En el capítulo de Conclusiones, ofrece un resumen de cómo el refuerzo con tela de fibra de carbono mejora la respuesta sísmica de los muros de mampostería, destacando sus beneficios en términos de rigidez, reducción de daños y costos. También evaluará la viabilidad económica del refuerzo comparado con el costo total de construcción.

En el capítulo de Recomendaciones, proporciona sugerencias para futuras investigaciones y prácticas, incluyendo la evaluación del refuerzo en diferentes escalas, la estandarización de procedimientos de instalación, la realización de ensayos dinámicos a escala real y el análisis económico detallado del refuerzo en relación con sus beneficios y costos.

1.11 Estado del Arte

La investigación presentada en este estudio tiene un impacto significativo en la sociedad, dado que cada vez aumenta las construcciones de viviendas y carecen de las características de seguridad necesarias. Para abordar este problema, el estudio propone el uso de una técnica de refuerzo superficial para muros de mampostería en estos edificios.

Por un lado, Dong et al. (2021), presentaron los comportamientos fuera del plano de las paredes no reforzadas por los compuestos de mortero reforzados con textiles (TRM) optimizados de fibras cortas de PVA, donde los resultados estudiados mostraron que el compuesto de mortero reforzado con textiles optimizados mejora significativamente la deformación fuera del plano y, además, la ductilidad de las muestras reforzadas mejoró significativamente y oscilaron entre 2.03 y 7 respectivamente.

Sin embargo, Banerjee et al. (2021), realizaron técnicas de refuerzo de banda de propileno (PP) y malla de alambre de acero, en mesa vibratoria a escala reducida y ver la comparativa de ambas técnicas, concluyendo que ambos obtuvieron una frecuencia de 27.95 Hz y 32.24 Hz, a comparación del espécimen sin refuerzo que tuvo 25 Hz, esto indica que resistieron una propagación de grietas y colapso, respectivamente. Además, Hoyos y Silva (2022), presentan técnicas de reacondicionamiento, de las que destaca la malla de acero por su capacidad portante de 100%, una ductilidad de 400%; y las bandas de acero que, aplicados en el muro, aumentó del 29 % al 65 % en la capacidad de resistencia; y una ductilidad entre 1,0 y 1,5 %.

Mientras que, Asad et al. (2022), desarrollaron el polímero reforzado con fibra de carbono en la resistencia a la compresión y las características de deformación de los muros de mampostería y como resultados principales se observan que los muros reforzados por CFRP mejoraron la resistencia en la compresión hasta en un 20% y la rigidez y ductilidad mejoraron hasta 30% en comparación con los muros no reforzados.

Además, Park et al. (2022), indicaron que los muros reacondicionados con paneles de fibra mostraron una gran mejora en términos de carga y disipación de energía sísmica, pues todos los especímenes modificados muestran una capacidad de carga admisible del 29.6 % al 49.5%, más alta que el espécimen no reforzado, que tiene del 0.58% al 1.17%. Además, la disipación

de energía sísmica de los especímenes modificados fue entre un 30 % y un 55 %, mayor que el espécimen no reforzado, que mantiene en un 3.7%, respectivamente.

Asimismo, Chingakham et al. (2022), plantearon sobre la malla de bolsa de cemento plástico (PCBM), que son bolsas de cemento ordinario vacías (hechas de plástico), las cuales fueron modificadas en mallas de tiras de 25 mm de ancho, este material aplica como reforzamiento eficaz para muros de mampostería. Este estudio lo aplicaron en edificios de mampostería confinada reforzada (CM ST), donde se obtuvo un aumento en la resistencia lateral, entre otros.

Por último, Yavartanoo y Kang (2022), señala que el método de los polímeros con fibra de carbono (FRP) fue muy eficaz ya que, como resultado mostró un aumento significativo en la resistencia última a la flexión de todas las pruebas y se demostró que mejoró su capacidad soportando 32 veces la carga lateral del muro de mampostería. Por otro lado, el refuerzo de geomallas provocó una mejor distribución de tensiones en las paredes de mampostería.

2. MARCO TEÓRICO

Este capítulo examina cómo la Tela de Fibra de Carbono (CF) puede fortalecer muros de albañilería en viviendas expuestas a riesgos sísmicos, destacando su resistencia y ligereza. También se considera el factor de la resina epoxi en la adhesión de estas telas y su revisión en la problemática de las viviendas informales.

2.1 Fibra de Carbono

Las fibras de carbono o más conocido por sus siglas como CF (Carbon Fiber), son fibras delgadas que poseen aproximadamente un 92% de átomos de carbono esparcidos en redes hexagonales planas. Asimismo, Gao et al. (2021), indican que la fibra de carbono brinda un mejor ahorro de energía, una reducción de emisiones de carbono y ayuda en la disminución de la contaminación ambiental causada por otros materiales.

Por otro lado, Mateo García y Pereyra Copa (2021), mencionan que la fibra de carbono es uno de los materiales más utilizados para el reforzamiento en una construcción, debido a que, proporciona un refuerzo adicional de flexión y corte; además sobre su corto tiempo de ejecución. La aplicación de este material depende de su adherencia y su transferencia en tensión en el componente.

Además, la fibra de carbono tiene un peso unitario de entre 1.5 y 1.7 g/cm³, lo que la hace cinco veces más ligera que el acero convencional, y su resistencia a la tracción es de 8 a

10 veces superior a la de dicho material. Las fibras de carbono poseen un módulo de elasticidad de 165 GPa y una relación de Poisson de 0.183. Esto demuestra que el concreto reforzado con fibra de carbono presenta una mayor resistencia a la tensión y una mayor resistencia a las fisuras, entre otras ventajas (Pérez et al., 2021).

Como se muestra en la tabla 5, Propiedades Generales de las Fibras de Acero, de Carbono y de Vidrio, se presenta las propiedades generales de las fibras de acero (AF), con otras fibras: fibra de carbono (CF) y fibra de vidrio (VF).

Tabla 5

Propiedades Generales de las Fibras de Acero, de Carbono y de Vidrio.

Fibra	Resistencia a la tensión (MP _A)	Módulo de elasticidad (GP _A)
Acero	1700	210
Carbono	3200	380
Vidrio	2500	72

Nota. De “Uso de PRFC para mejorar las propiedades mecánicas del concreto: una revisión.”, por S. Pérez, D. Chunga & R. Rafael, 2021.

Además, según Rendón Tapia (2022), la fibra de carbono tiene varias formas comerciales de su producto, tales como:

- Tela: Es el tipo más común en la industria, debido a que posee refuerzos altos en sus tejidos. Existen distintos tejidos, tranzados y tricotados.
- Cinta unidireccional: Tiene un espesor de aproximadamente 0.2 mm y está compuesta por alrededor de 3000 filamentos, lo que le confiere propiedades mecánicas óptimas para su aplicación.
- Felpudo: Consiste en un material con fibras cortas dispuestas de manera aleatoria, lo que resulta en un comportamiento menos predecible debido a la orientación de las fibras.

Por consiguiente, Huaitalla Chate (2023), indica las ventajas y desventajas de la fibra de carbono, de las cuales son:

- Ventajas: Son materiales livianos y fáciles de instalar en cualquier sitio. Inclusive, no tienen problemas de corrosión y sirven para ser refuerzos de aplicaciones de construcción.
- Desventajas: El reforzamiento con fibra de carbono es costosa.

2.1.1 Tela de Fibra de Carbono (CF)

La tela de CF como se muestra en la figura 4, es un material de refuerzo eficiente para mejorar el comportamiento al corte de los muros de mampostería. La investigación está enfocada en realizar el refuerzo superficial con telas de fibra de carbono, como material de refuerzo para los muros de mampostería, limitando la propagación y expansión de las grietas.

Figura 4

Tela de CF.



2.2 Aditivo Resina Epoxi

Son elementos compuestos por resina epoxi y un agente endurecedor, también conocido como agente de curado. Asimismo, este aditivo se puede solidificar a temperatura ambiente. Además, según Guerra Chiquito y Tigmasa Paredes, (2022), indican que al usar la resina epoxi no produce reacciones durante el curado. Además, presentan una alta adherencia a otros materiales y tienen excelentes propiedades mecánicas, al mismo tiempo, elude la conducción de la electricidad, brindando seguridad y evitando accidentes.

2.3 Vivienda Informal

Las viviendas informales no satisfacen los requisitos esenciales de construcción, tales como el diseño por parte de arquitectos e ingenieros, el uso de mano de obra calificada y materiales adecuados, la obtención de licencias y permisos correspondientes, y la supervisión por parte de las autoridades municipales. Estas viviendas se dividen en dos tipos: la autoconstrucción, en la que el propietario de la vivienda la edifica gradualmente,

asumiendo él mismo o algún miembro de su familia la responsabilidad; y la autogestión, en la que una persona sin conocimientos en construcción contrata a alguien que no necesariamente es un maestro de obra (Ichpas Gomez & Pillaca Puella, 2021). En ambos casos, la construcción no cumple con los estándares y regulaciones necesarios para garantizar la seguridad y calidad de las viviendas. Por otro lado, Chipana Pujaiico y Ybargüen Ignacio, (2022), muestran en la figura 5, las viviendas informales en Lima, Perú, localizadas en zonas de alto riesgo como terremotos, inundaciones, incendios, entre otros.

Figura 5

Viviendas informales en Lima, Perú



Nota. De “La expansión de viviendas informales y la degradación ambiental en las Lomas del Paraíso”, por J. Chipana Pujaiico y C. Ybargüen Ignacio, 2022 (<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/102043>)

2.4 Muros de Albañilería

La albañilería es utilizada en la mayoría de las construcciones debido a su bajo costo, durabilidad y facilidad de construcción, por tal motivo este proceso constructivo sigue aún vigente. Asimismo, como muestra la Figura 6, la vivienda con muros de mampostería está conformados por dos elementos fundamentales: ladrillos o bloque y mortero. Asimismo, posee elementos constructivos que brinda protección contra el fuego, aislamiento térmico y acústico, la mejora en la apariencia estética y la distribución de espacios (Medina Rodríguez & Medina Vargas, 2021).

Figura 6

Vivienda con muros de mampostería.



Nota. Edificación antisísmica con mampostería confinada, adaptado de “Mampostería Confinada Elementos Constructivos” por ACH SAINT-GOBAIN, 2021 (<https://panelesach.com/latam/pe/blog/construccion-mamposteria-confinada/>)

2.5 Zona de Evacuación

Son rutas despejadas que se utilizan en situaciones de emergencia, permitiendo que los ocupantes evacuen hacia un lugar seguro en el menor tiempo posible (Araujo Sánchez, 2022).

2.6 Peligro Sísmico

El peligro sísmico se refiere a la intensidad de los terremotos en una ubicación específica y está determinado exclusivamente por la perspectiva sismo-tectónico de la región, la topografía local y las propiedades del suelo.

2.7 Vulnerabilidad Sísmica

La vulnerabilidad se refiere al grado de daño que una estructura puede experimentar debido a sus características propias. Esto implica que la vulnerabilidad sísmica es una falta de resistencia, rigidez, y ductilidad, así como la calidad de los materiales y las técnicas constructivas utilizadas (Ichpas Gomez & Pillaca Puella, 2021).

2.8 Riesgo Sísmico

El riesgo sísmico se refiere al daño que una estructura puede sufrir debido a su vulnerabilidad y al peligro que lo amenaza. Esto se puede expresar como: $\text{Riesgo} = \text{Peligro} \times \text{Vulnerabilidad}$. Por ello, para controlar el riesgo de una estructura, es posible reducir su vulnerabilidad, tomando en cuenta los peligros naturales.

3. METODOLOGÍA

Este capítulo de metodología abarca un enfoque de investigación descriptivo y explicativo, utilizando un diseño experimental para evaluar el refuerzo de muros de mampostería con tela de fibra de carbono (CF). Se detalla el procedimiento de construcción de especímenes a escala (ECR y ESR), los cuales fueron sometidos a pruebas dinámicas de mesa vibratoria para analizar su comportamiento sísmico.

Para el desarrollo de esta tesis, se ha considerado los niveles de investigación descriptiva y explicativa.

1. Nivel de Investigación

Nivel Descriptivo: Puesto que se describe el proceso de la construcción de un modelo a base de mampostería con tela de fibra de carbono y someterlos a ensayos y compararlos con otro prototipo sin este material.

Nivel de Explicativo: Permite explicar el uso de la técnica de tela de fibra de carbono como propuesta de mejora para el refuerzo en muros de mampostería y verificar su eficacia.

2. Diseño de Investigación

El diseño de la investigación será experimental, pues permite una evaluación precisa de la propuesta del reforzamiento de la tela de fibra de carbono (CF) en un modelo de muros de mampostería. Además, esto implica la realización de un ensayo dinámico de mesa vibradora para los prototipos a escala 1:8, utilizando acelerómetros y láseres para medir la respuesta de los muros ante un evento sísmico.

3.1 Programa experimental

El programa experimental se llevó a cabo en el Laboratorio de Estructuras del CISMID (Lima, Perú). Para la realización de los ensayos se realizó 2 especímenes a escala reducida, un murete conformado por una base de mortero y una estructura de albañilería (ESR-Espécimen sin refuerzo) y otra vivienda que se implementó un refuerzo con tiras de tela de fibra de carbono (ECR-Espécimen con refuerzo). Asimismo, como se muestra en la Tabla 6, Características de los especímenes ESR y ECR, se consideraron de acuerdo con el criterio del CISMID para los ensayos en la mesa vibradora, para que se pueda acoplar y tener mejor función sobre su experimentación.

Tabla 6

Características de los especímenes ESR y ECR.

Espécimen	Longitud 1	Longitud 2	Altura	Espesor	Peso	Peso adicional
ESR	33 cm	33 cm	32 cm	1.8 cm	23.8 kg	13.5 kg
ECR	33 cm	34 cm	32 cm	2.85 cm	27.9 kg	13.5 kg

El diseño de murete de mampostería sin refuerzo a escala reducida como la Figura 7 y el de murete de mampostería con refuerzo a escala reducida como en la Figura 8, se realizan en planta de L con diafragma superior a escala 1:8. Asimismo, se realiza el techo y losa a escala de 1:3. También, se proporciona las especificaciones técnicas a usar:

- Dosificación del mortero (Cemento: Arena) 1:3
- Espesor de las juntas de mortero 0.22 cm
- Espesor de la losa base es de 3 cm
- Espesor de la losa techo 2.8 cm

Figura 7

Diseño de murete de mampostería sin refuerzo a escala reducida.



Figura 8

Diseño de murete de mampostería con refuerzo a escala reducida.



En las Figuras 7 y 8 mostradas se plasman los muretes con techo escala reducida en una base en forma de L.

3.1.1 Procedimiento

El procedimiento de la construcción de muretes de mampostería a escala reducida reforzadas con tela de CF para ser colocados en ensayos.

3.1.1.1 Preparación de los muretes

El primer paso es preparar los muretes, de los cuales son 2 muros en forma en planta de L a escala reducida, con dimensiones de 32.5 cm de largo, 32.5 cm de altura con un espesor de 2 cm. Luego prepararlos a base de una mezcla de mortero y colocación de ladrillo a escala reducida (1:3), asegurando que la superficie sea lisa y libre de escombros. Además, se empieza con los ladrillos donde se corta en esas dimensiones para poder juntarlos en un murete. Considerando que se tiene que realizar 14 filas de ladrillos para un día y 12 filas de ladrillo para el otro día para mejor proceso de secado, como se muestra en la Figura 9, Ladrillos a escala reducida (1:3). También se colocaron, aproximadamente, 19 ladrillos $\frac{1}{2}$ en los dos muretes.

Figura 9

Ladrillos a escala reducida (1:3).



3.1.1.2 Preparación de la base

El segundo paso como se muestra en la Figura 10, la preparación de la base, se observa una base de madera de espesor de 3 cm en forma de L. Para ello se requiere un listón de madera de 2 metros de largo. Además, se prepara una mezcla de 2:1 de mortero para la base y luego ser sometido a una vibradora para dejarlo reposar por 2 días.

Figura 10

Preparación de la base.



3.1.1.3 Instalación de la tela de CF

El siguiente paso como se muestra en la Figura 11, la instalación de la tela de CF en el murete. El proceso de instalación se da cuando la tela es cortada a la medida de 3 cm y colocada en la superficie del murete; la colocación es sobre ambas caras del murete. Luego se presiona la tela con mortero para cubrirlo.

Figura 11

Instalación de la tela de CF en el murete.



3.1.1.4 Implementación del aditivo Epoxi

Luego de la colocación de la tela se procede a colocar un pegamento, como se muestra en la Figura 12, la implementación del aditivo epoxi, pues este permite una mejor adhesión en la tela, posteriormente se presiona en la tela y se cubre con mortero.

Figura 12

Implementación del aditivo epoxi.



3.1.1.5 Tarrajeo del murete reforzado con tela de CF

Luego de tener colocadas las telas en el muro se procede a realizar, como se muestra en la Figura 13, el tarrajeo del murete reforzado con tela de CF, con mortero 3:1, con nivelación a la base, para así se implemente el material de refuerzo con el murete.

Figura 13

Tarrajeo del murete reforzado con tela de CF.



3.1.1.6 Acabado y curado

Se alisa y nivela la superficie del murete. Asimismo, se asegura de que no haya burbujas de aire atrapadas entre la tela de fibra de carbono y el adhesivo para luego, esperar un aproximado de 28 días para el curado del murete. Asimismo, en la Figura. 14 y en la Figura 15 se muestra el murete de mampostería a escala reducida sin refuerzo y con refuerzo respectivamente.

Figura 14

Murete de mampostería a escala reducida sin refuerzo.

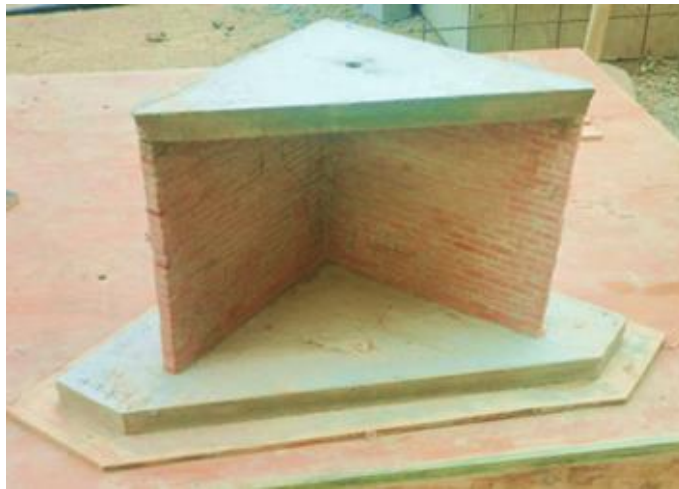


Figura 15

Murete de mampostería a escala reducida reforzada con tela de CF.



4. DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN INGENIERIL

La solución ingenieril se basa en el ensayo de mesa vibradora a escala 1:8, utilizando materiales preparados según especificaciones previas. Se emplea acelerómetros y láseres para medir la respuesta dinámica de los especímenes durante las pruebas sísmicas. Además, se analiza el costo del refuerzo con tiras de tela de fibra de carbono (CF) por m² en los muros de mampostería de una vivienda típica.

4.1. Especificaciones técnicas de los ensayos realizados en investigaciones previas para la implementación en la mesa vibradora a escala 1:8

Dada la investigación de Behera y Nanda (2021), desarrollaron un proyecto experimental de refuerzo de muros de mampostería con geomallas incrustados en mortero, esto mediante ensayos de compresión y tracción. Tomando en cuenta las especificaciones técnicas en su elaboración de los ladrillos a escala reducida, estos se limpiaron y se sumergieron en agua durante 24 horas de su uso. Posteriormente, se secaron a temperatura ambiente para eliminar exceso de humedad. Luego, como se muestra en la Tabla 7, las propiedades físicas de los componentes de mampostería, se procede a realizar las pruebas físicas de absorción de agua y eflorescencia mediante la norma internacional Indian Standard 3495 (IS, 1992).

Tabla 7

Propiedades físicas de los componentes de mampostería.

Propiedades	Ladrillo	Mortero
Densidad, ρ (kg/m ³)	1800	2160
Absorción de agua	9.13	-
Valor de eflorescencia	Nulo	-

Nota. De “In-plane shear strengthening of brick masonry panel with geogrid reinforcement embedded in bed and bed-head joints mortar”, por B. Behera, y R. Nanda, 2021.

Por consiguiente, se procede a realizar el ensayo de tracción, esto mediante la normativa internacional American Society for Testing and Materials C1006 (ASTM, 2007), como se muestra en la Tabla 8 se detallan las propiedades mecánicas de los materiales empleados en el laboratorio.

Tabla 8

Propiedades mecánicas de los materiales empleados en el laboratorio.

Especímenes de prueba	Resistencia a la compresión del ladrillo, f'_c (MPa)	Resistencia a la tracción del ladrillo, (MPa)	Resistencia a la compresión del mortero (MPa)	Resistencia a la tracción del mortero (MPa)
Muestra 1	8.8	1.4	4.2	0.7
Muestra 2	8.9	1.5	4.1	0.7
Muestra 3	9.1	1.4	4.7	0.6
Muestra 4	9.1	1.5	4.2	0.6
Muestra 5	9.3	1.4	4.4	0.7
Muestra 6	9.2	1.4	4.4	0.6
Significar	9.1	1.4	4.4	0.6

Nota. De “In-plane shear strengthening of brick masonry panel with geogrid reinforcement embedded in bed and bed-head joints mortar”, por B. Behera, y R. Nanda, 2021.

Estas propiedades de los materiales utilizados en el laboratorio se consideración para esta investigación, como también, las propiedades físicas del mortero que se adaptó en 6 cubos para su ensayo de tracción, como se muestra en la Figura 16, los cubos de mortero, que tiene una curación de 28 días, una relación de agua-cemento de 0.45 y una dosificación de 1:3 (Cemento: Arena), esto mediante la Norma Internacional American Society for Testing and Materials C1006 (ASTM, 2007).

Figura 16

Cubos de mortero

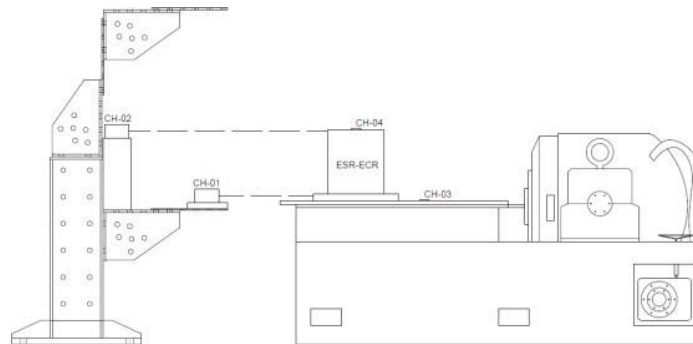


Por consiguiente, para la realización de este ensayo se montó un mecanismo en una superficie aislada de la cimentación de la mesa vibradora. Este aislamiento se debe al desacoplamiento del movimiento entre la mesa y los equipos de medición de desplazamiento (láseres).

Para la medición de la respuesta dinámica del espécimen se utilizó 1 acelerómetro y 1 láser en la base, y a la vez, en la parte superior de la losa. Estos dispositivos fueron ubicados estratégicamente para medir la respuesta del espécimen frente a los impactos sometidos y al movimiento sísmico como se muestra en la Figura 17, la distribución de canales para la adquisición de data de los especímenes en la mesa vibradora.

Figura 17

Distribución de canales para la adquisición de data de los especímenes en la mesa vibradora.

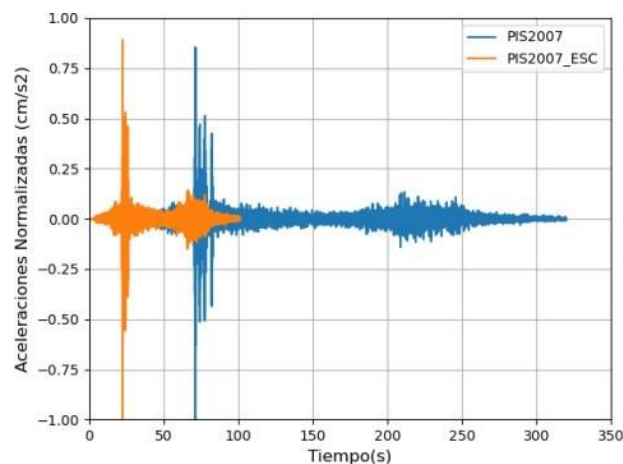


4.2. Registro sísmico

El ensayo dinámico sísmico se realizó con un registro escalado, como se muestra en la Figura 18, el escalamiento del registro del sismo de Pisco 2007.

Figura 18

Escalamiento del registro del sismo de Pisco 2007.



4.2.1. Ensayo de vibración libre

Con la finalidad de conocer la frecuencia predominante de las 2 estructuras, se realizó el ensayo de vibración libre, impactando 5 veces discontinuamente en la parte superior. De acuerdo con las especificaciones para el ensayo dinámico vibración libre como se muestra en la Figura 19, se siguió las recomendaciones del FEMA461.

Figura 19

Ensayo dinámico de vibración libre.

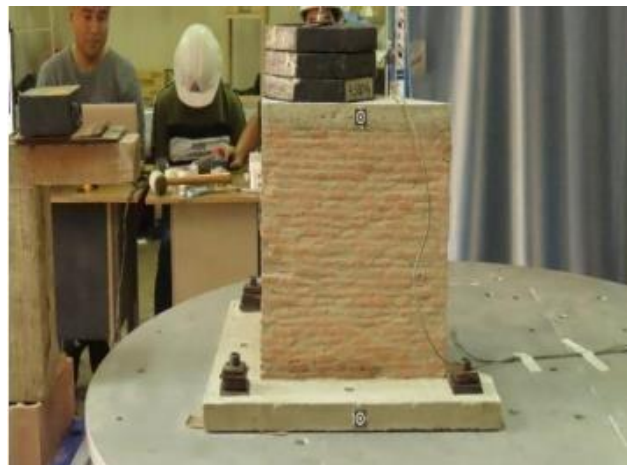


4.2.2. Ensayo dinámico con registro sísmico

Para conocer la respuesta de los especímenes ante un sismo real, se realizó el ensayo dinámico usando registro sísmico en la mesa vibradora como se muestra en la Figura 20. De acuerdo con las especificaciones para especímenes sometidos a ensayos con registro sísmico, se siguió recomendaciones del FEMA461.

Figura 20

Ensayo dinámico usando registro sísmico en la mesa vibradora.

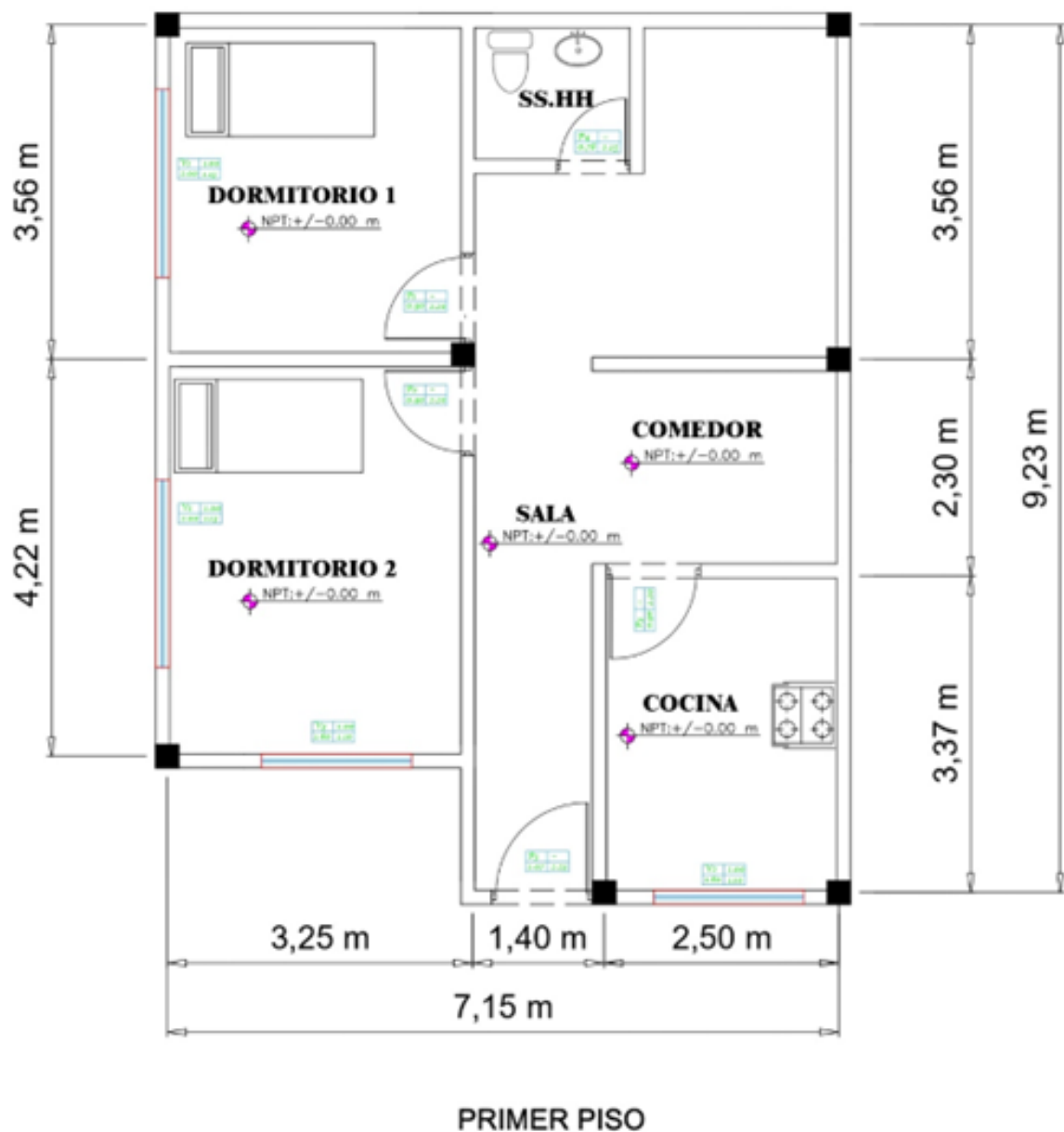


4.3. Costo de la tela de fibra de carbono (CF) en muros de mampostería

En el tema del costo del CF, se toma en cuenta el plano de una vivienda típica en el distrito de Villa el Salvador, como se muestra en la Figura 21, con el fin de obtener el costo de implementación de la tela de CF en una vivienda. Para ello, se indica el plano de planta de la vivienda donde esta seleccionado los 4 muros que se reforzaran con tela de CF. Además, para una mayor especificación, véase el Anexo A.

Figura 21

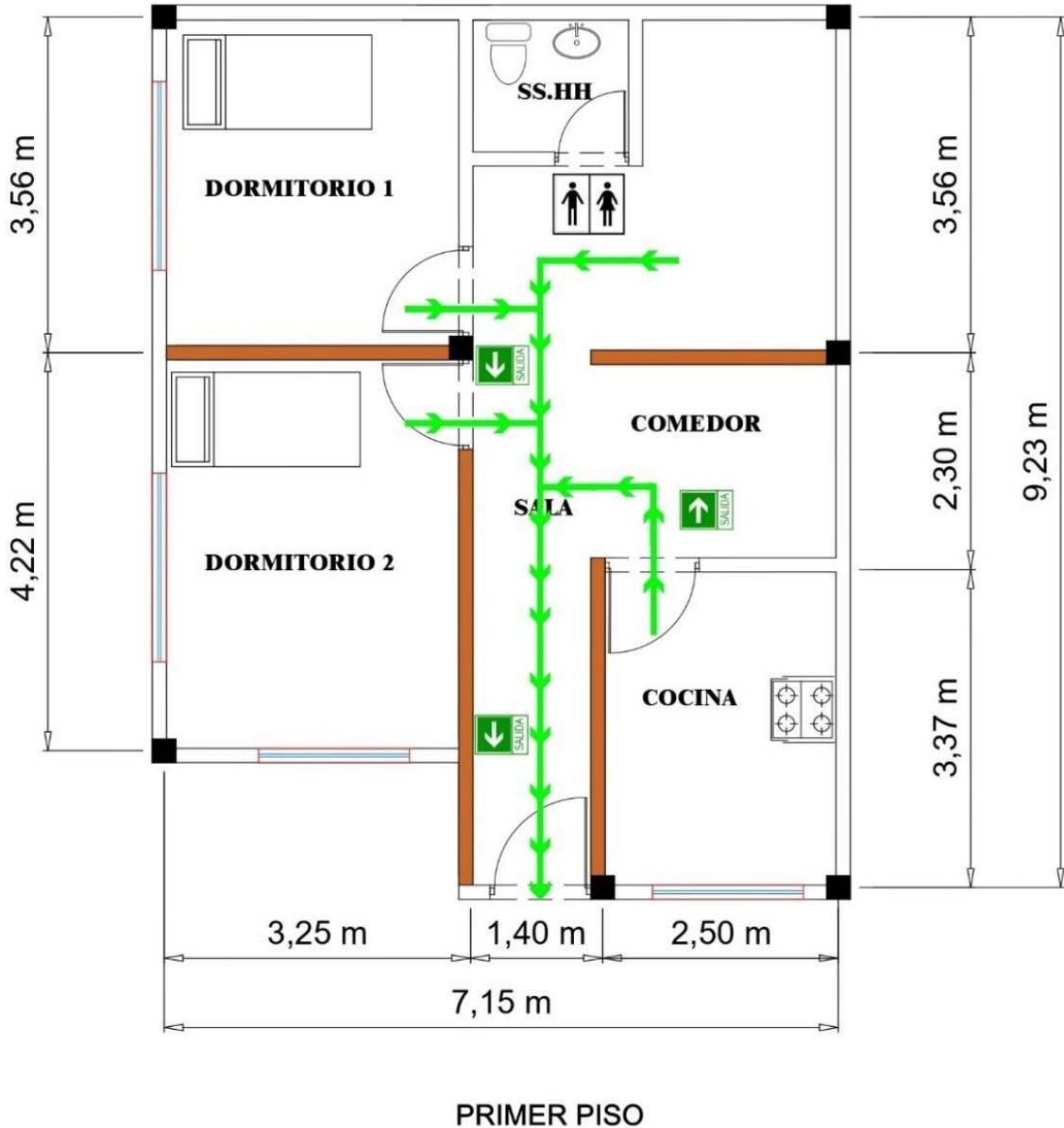
Plano de vivienda típica en el distrito de Villa el Salvador.



Luego, como se muestra en la Figura 22, sistema de evacuación para una vivienda típica en Villa el Salvador, se procede a la selección de 4 muros de mampostería para reforzarlas con tela de CF y así indicar la zona de evacuación ante un sismo. Además, para una mayor especificación, véase el Anexo B.

Figura 22

Sistema de evacuación para una vivienda típica en Villa el Salvador.



Después, como se muestra en la Figura 23, las dimensiones de los 4 muros para reforzarse con tela de CF.

Figura 23

Dimensiones de los 4 muros para ser reforzadas.

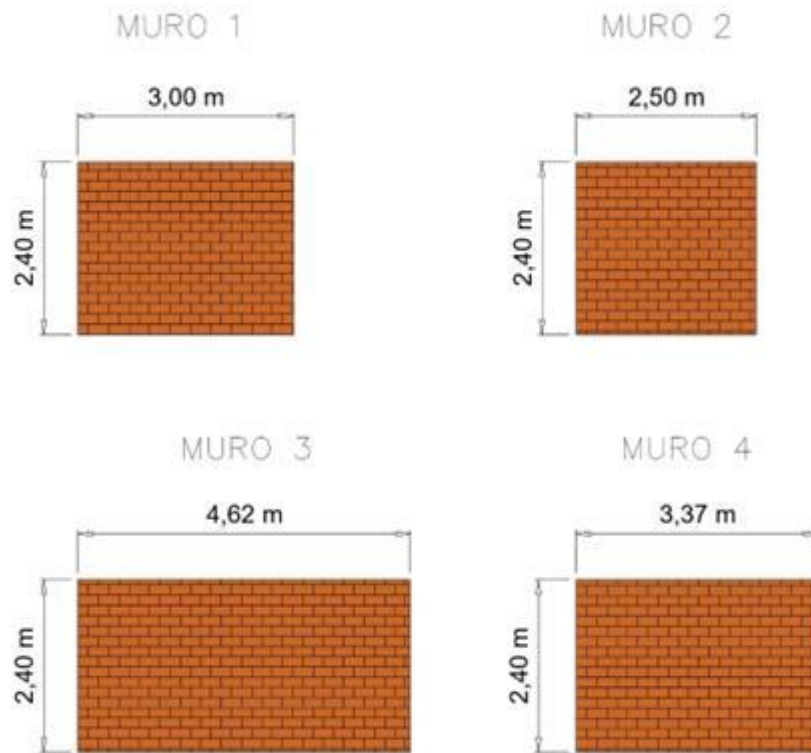


Tabla 9

Cálculo del área de los muros.

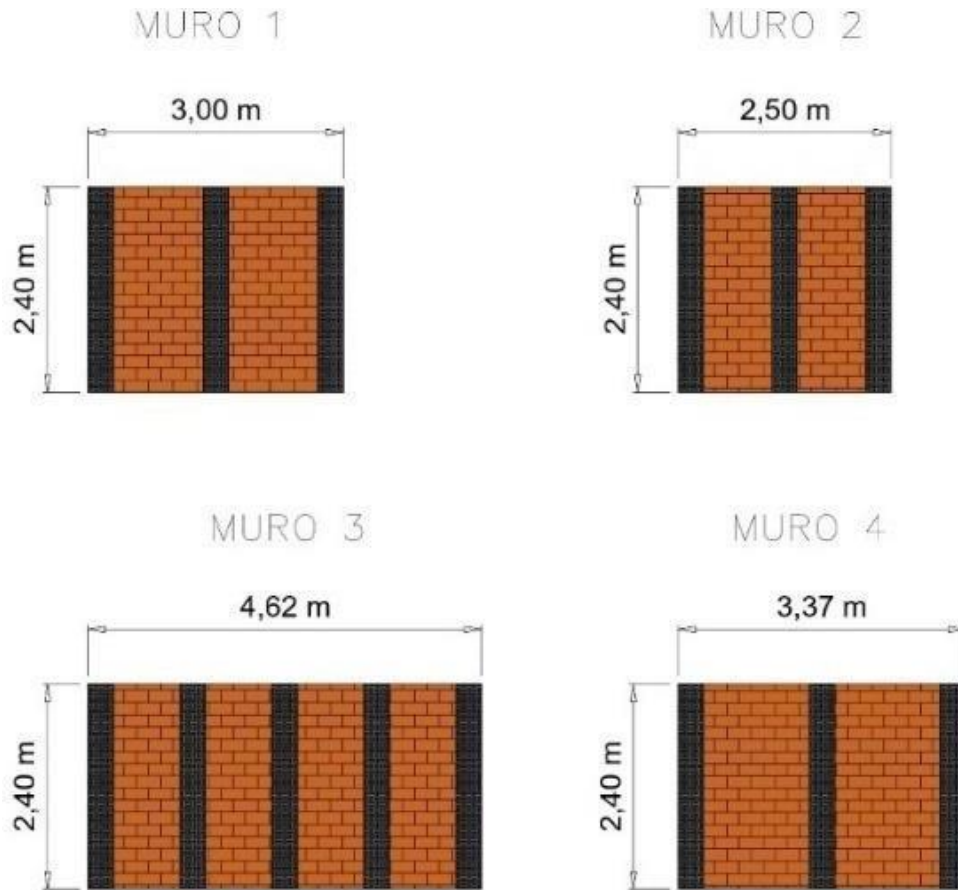
Longitud (m)	Altura (m)	Área (m ²)
3.00	2.40	7.20
2.50	2.40	6.00
4.62	2.40	11.09
3.37	2.40	8.90
Total		32.376

Como se muestra en la Tabla 9, el cálculo del área de los muros, se coloca la longitud, altura y área de la vivienda típica de Villa el Salvador.

Por otro parte, se implementa la tela de CF, en tiras de 30 cm. para los muros que estén en el sistema de evacuación, como se muestra en la Figura 24, la implementación de las tiras de tela de CF en los 4 muros.

Figura 24

Implementación de las tiras de tela de CF en los 4 muros.



Como se muestra en la Tabla 10, el cálculo del m² de tiras de tela de CF para la vivienda, da un total de 14 tiras de CF, que se implementan en la vivienda. considerando el costo m² de tela de CF de ¾” a 250 soles.

Tabla 10

Cálculo del m² de tira de tela de CF para la vivienda.

Tiras de tela (m)				
Muro 1	Muro 2	Muro 3	Muro 4	Total (m ²)
2.88	3.84	4.80	2.88	14.40

5. RESULTADOS

Los resultados obtenidos en el ensayo de la mesa vibratoria muestran diversas frecuencias y respuestas dinámicas para los especímenes. Los datos incluyen aceleraciones y desplazamientos para las estructuras ESR y ECR, evidenciando variaciones en su comportamiento bajo el registro sísmico de Pisco 2007. Además, se analiza el costo por m2 de la implementación de tela de fibra de carbono (CF) en una vivienda típica.

5.1. Resultados en los ensayos de vibración libre en mesa vibratoria

Mediante la mesa vibratoria se puede sacar los ensayos dinámicos de lo cual puede ser la vibración libre. Por ello, como se muestra en la Figura 25, resultados del ensayo de la Vibración Libre-ESR (Frecuencia: 34.2Hz), asimismo como se muestra en la Figura 26, resultados del ensayo de la Vibración Libre-ESR y la frecuencia hallada del espécimen ESR (Frecuencia: 88.2Hz).

Figura 25

Resultados del Ensayo de Vibración Libre-ESR (Frecuencia: 34.2Hz).

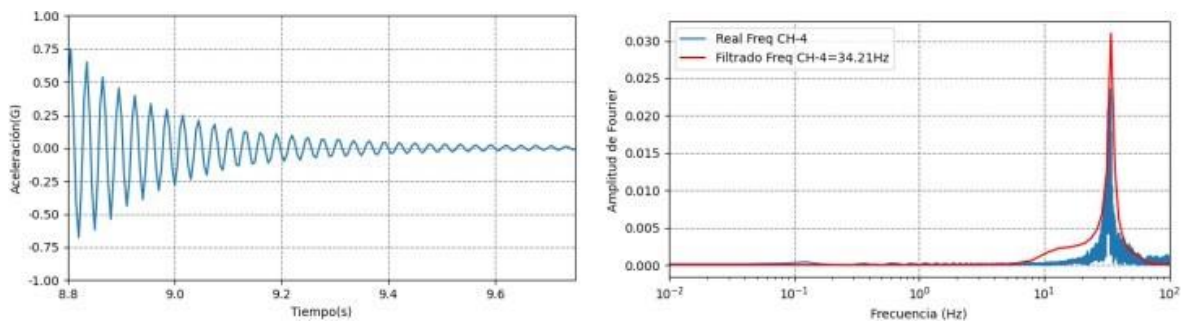
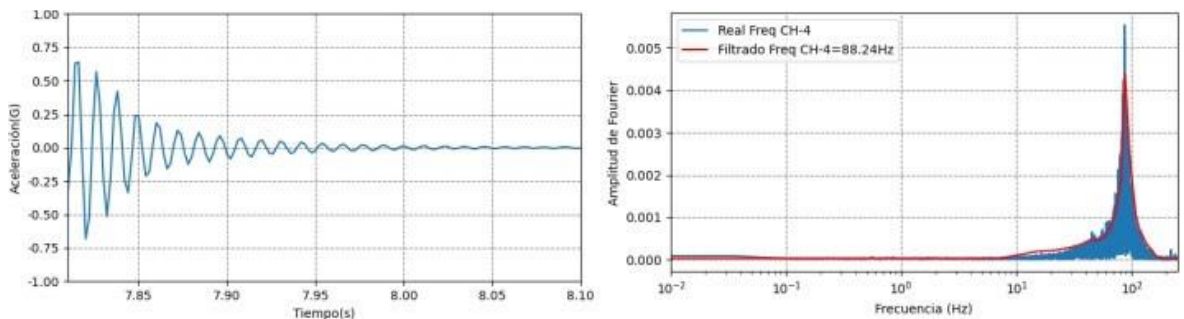


Figura 26

Resultados del Ensayo de Vibración Libre-ECR (Frecuencia: 88.2Hz).



Además, como se muestra en la Figura 27, Aceleración de 0.62 G y desplazamiento de la base de 0.80 mm y desplazamiento del techo de 0.86 mm, en la estructura ESR-PIS2007; en la Figura 28, Aceleración de 1.66 G y desplazamiento de la base de 1.76 mm y desplazamiento del techo de 1.79 mm, en la estructura ESR-PIS2007; en la Figura 29, Aceleración de 1.79 G y desplazamiento de la base de 0.80 mm y desplazamiento del techo de 0.97 mm, en la estructura ESR-PIS2007 y en la Figura 30, Aceleración de 1.66 G y desplazamiento de la base de 1.76 mm y desplazamiento del techo de 1.79 mm, en la estructura ESR-PIS2007, presentan las curvas de aceleración y desplazamientos de los diferentes niveles del registro de ESR-PIS2007 para los canales CH01, CH02 y CH 04 del espécimen.

Figura 27

Aceleración de 0.62 G y desplazamiento de la base de 0.80 mm y desplazamiento del techo de 0.86 mm, en la estructura ESR-PIS2007.

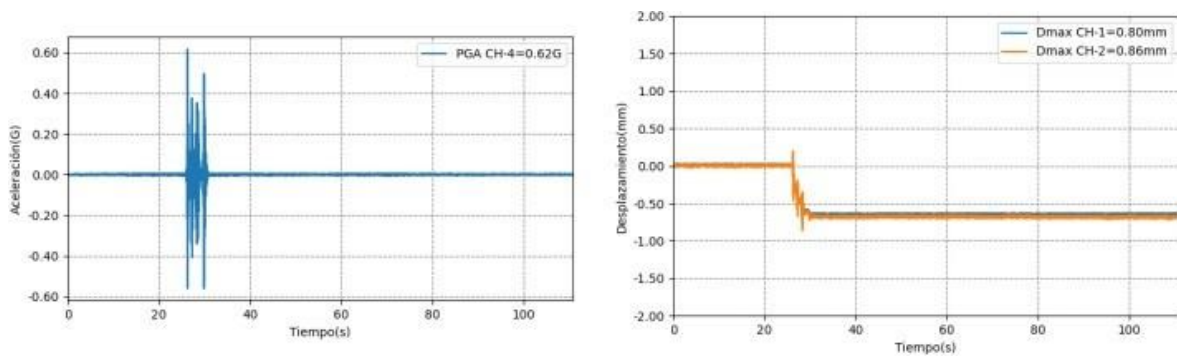


Figura 28

Aceleración de 1.66 G y desplazamiento de la base de 1.76 mm y desplazamiento del techo de 1.79 mm, en la estructura ESR-PIS2007.

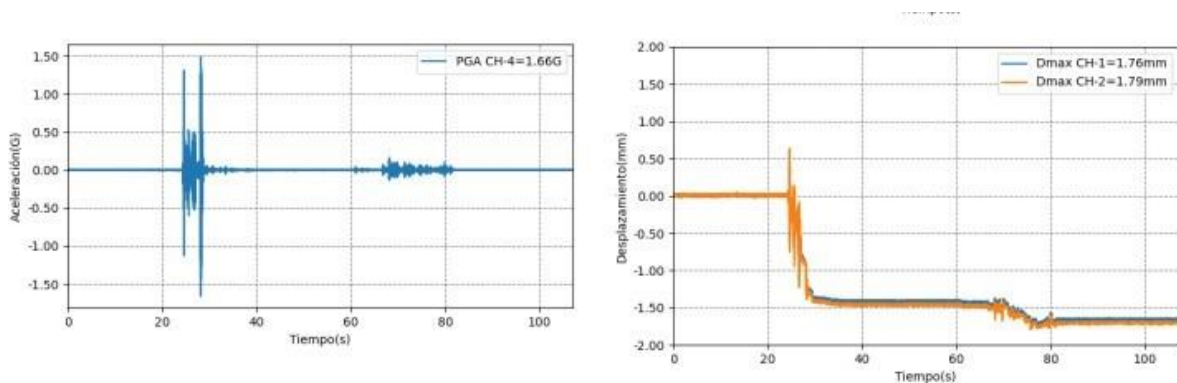


Figura 29

Aceleración de 1.79 G y desplazamiento de la base de 0.80 mm y desplazamiento del techo de 0.97 mm, en la estructura ESR-PIS2007.

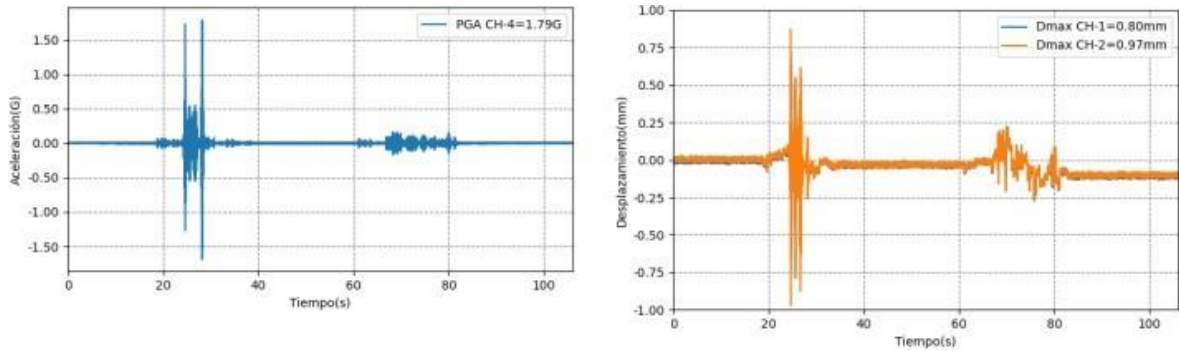
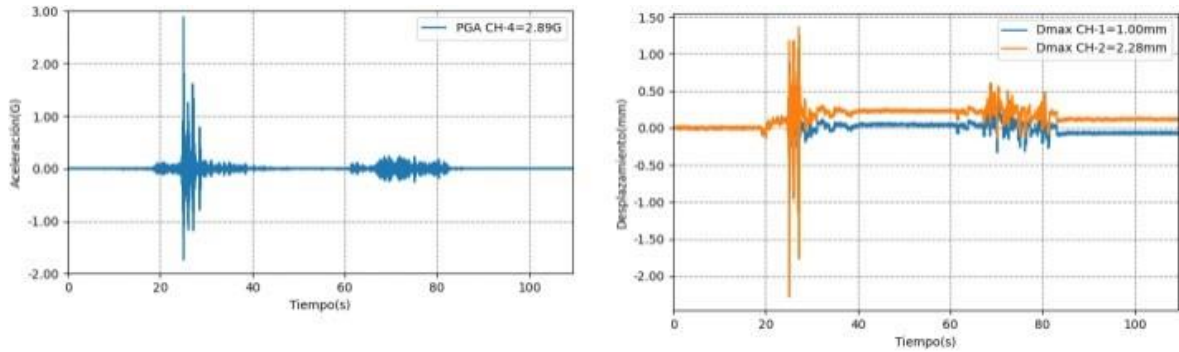


Figura 30

Aceleración de 2.89 G y desplazamiento de la base de 1.00 mm y desplazamiento del techo de 2.28 mm, en la estructura ESR-PIS2007.



Nota: En las figuras mostradas, se observa la secuencia del proceso de la aceleración y el desplazamiento del modelo sin refuerzo (ESR), mediante la simulación del sismo de Pisco 2007.

Figura 31

Aceleración de 1.16 G y desplazamiento de la base de 0.68 mm y desplazamiento del techo de 0.69 mm, en la estructura ECR-PIS2007.

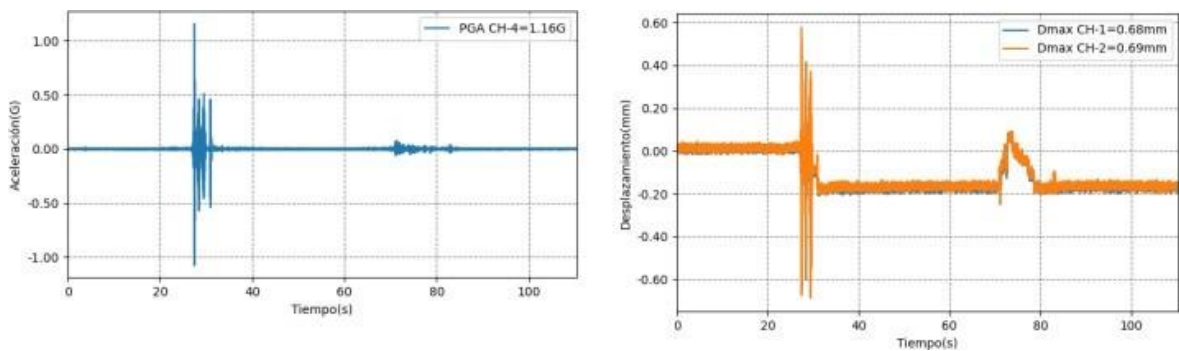


Figura 32

Aceleración de 1.43 G y desplazamiento de la base de 0.78 mm y desplazamiento del techo de 0.79 mm, en la estructura ECR-PIS2007.

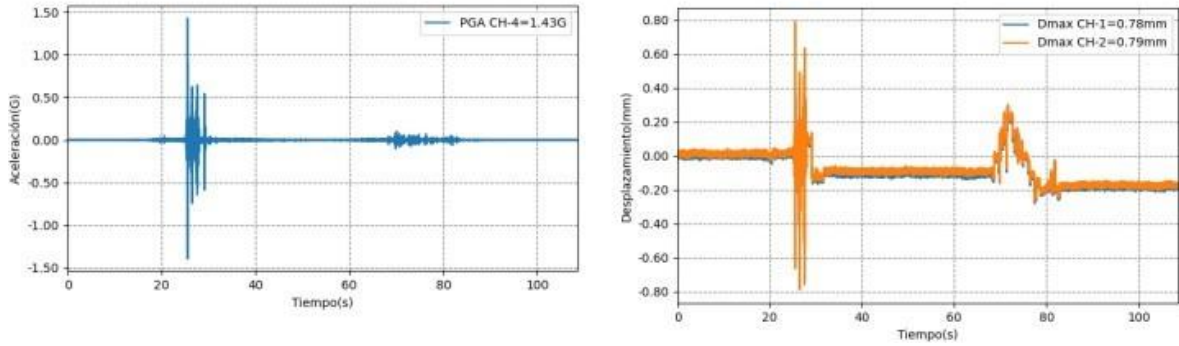


Figura 33

Aceleración de 2.16 G y desplazamiento de la base de 1.13 mm y desplazamiento del techo de 1.19 mm, en la estructura ECR-PIS2007.

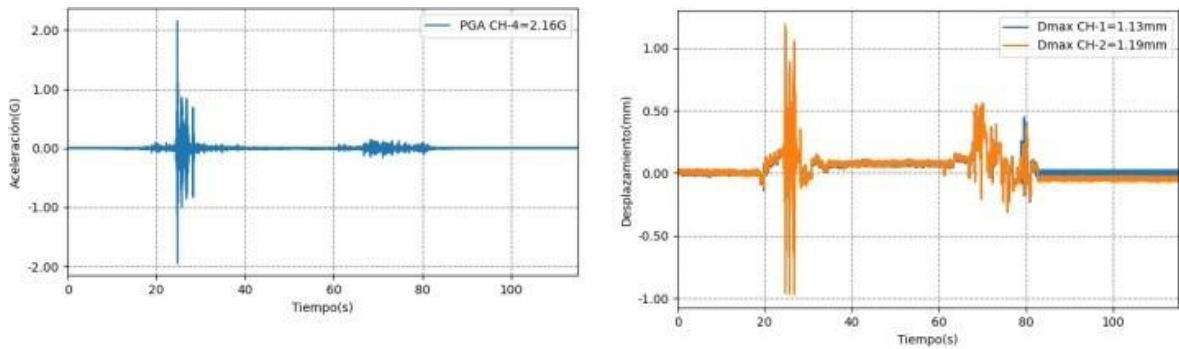


Figura 34

Aceleración de 2.42 G y desplazamiento de la base de 1.80 mm y desplazamiento del techo de 1.83 mm, en la estructura ECR-PIS2007.

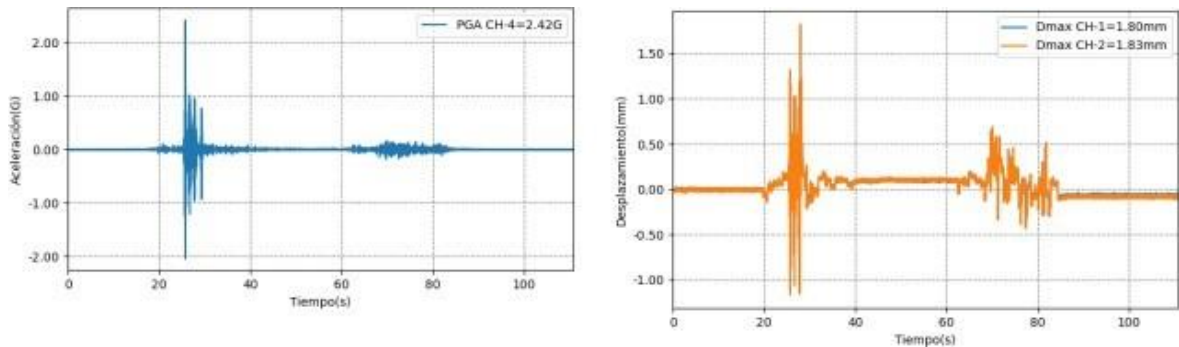
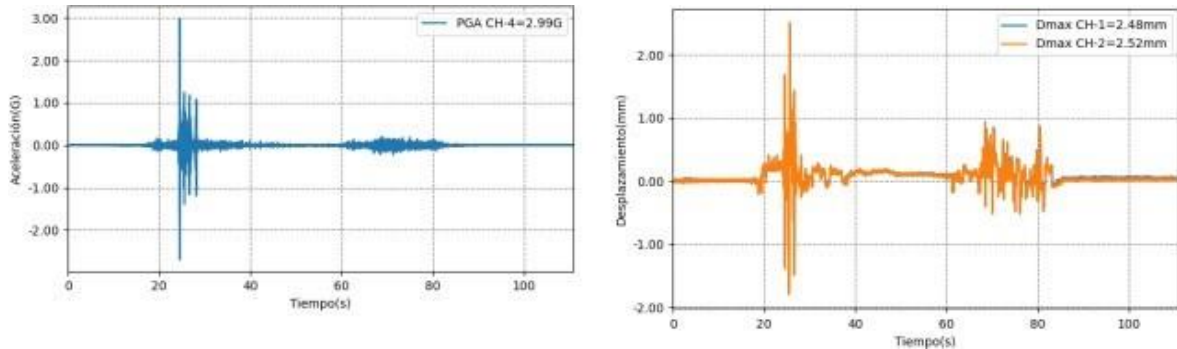


Figura 35

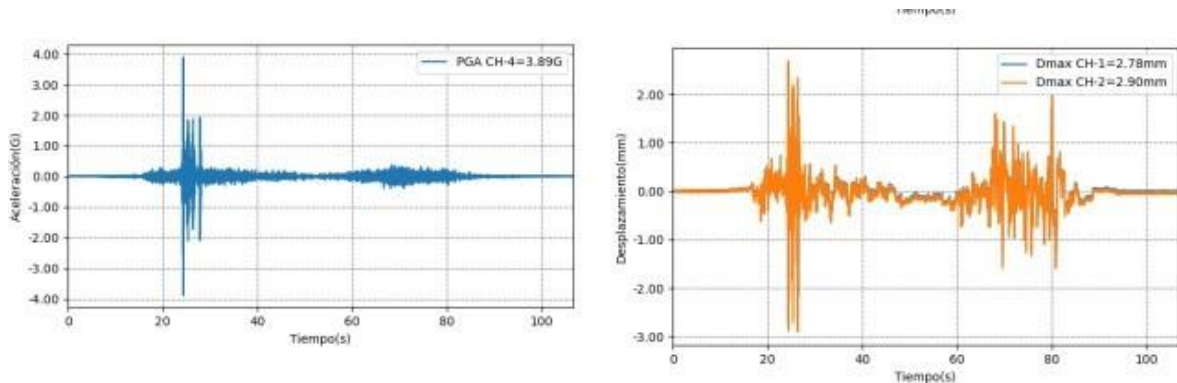
Aceleración de 2.99 G y desplazamiento de la base de 2.48 mm y desplazamiento del techo de 2.52 mm, en la estructura ECR-PIS2007.



Asimismo, como se muestra en la Figura 31, Aceleración de 1.16 G y desplazamiento de la base de 0.68 mm y desplazamiento del techo de 0.69 mm, en la estructura ECR-PIS2007; en la Figura 32, Aceleración de 1.43 G y desplazamiento de la base de 0.78 mm y desplazamiento del techo de 0.79 mm, en la estructura ECR-PIS2007; en la Figura 33, Aceleración de 2.16 G y desplazamiento de la base de 1.13 mm y desplazamiento del techo de 1.19 mm, en la estructura ECR-PIS2007; en la Figura 34, Aceleración de 2.42 G y desplazamiento de la base de 1.80 mm y desplazamiento del techo de 1.83 mm, en la estructura ECR-PIS2007; en la Figura 35, Aceleración de 2.99 G y desplazamiento de la base de 2.48 mm y desplazamiento del techo de 2.52 mm, en la estructura ECR-PIS2007 y en la Figura 36, Aceleración de 3.89 G y desplazamiento de la base de 2.78 mm y desplazamiento del techo de 2.90 mm, en la estructura ECR-PIS2007, presentan las curvas de aceleración y desplazamientos de los diferentes niveles del registro de ECR-PIS2007 para los canales CH01, CH02 y CH 04 del espécimen.

Figura 36

Aceleración de 3.89 G y desplazamiento de la base de 2.78 mm y desplazamiento del techo de 2.90 mm, en la estructura ECR-PIS2007.



Nota: En las figuras mostradas, se observa la secuencia del proceso de la aceleración y el desplazamiento del modelo con refuerzo (ECR), mediante la simulación del sismo de Pisco 2007.

Igualmente, como se muestra en la Figura 37, Aceleración de 3.74 G y desplazamiento de la base de 9.55 mm y desplazamiento del techo de 9.72 mm, en la estructura ECR-LIM1974 y en la Figura 38, Aceleración de 4.64 G y desplazamiento de la base de 15.04 mm y desplazamiento del techo de 15.44 mm, en la estructura ECR-LIM1974, presentan las curvas de aceleración y desplazamientos de los diferentes niveles del registro de ECR-LIM1974 para los canales CH01, CH02 y CH 04 del espécimen.

Figura 37

Aceleración de 3.74 G y desplazamiento de la base de 9.55 mm y desplazamiento del techo de 9.72 mm, en la estructura ECR-LIM1974.

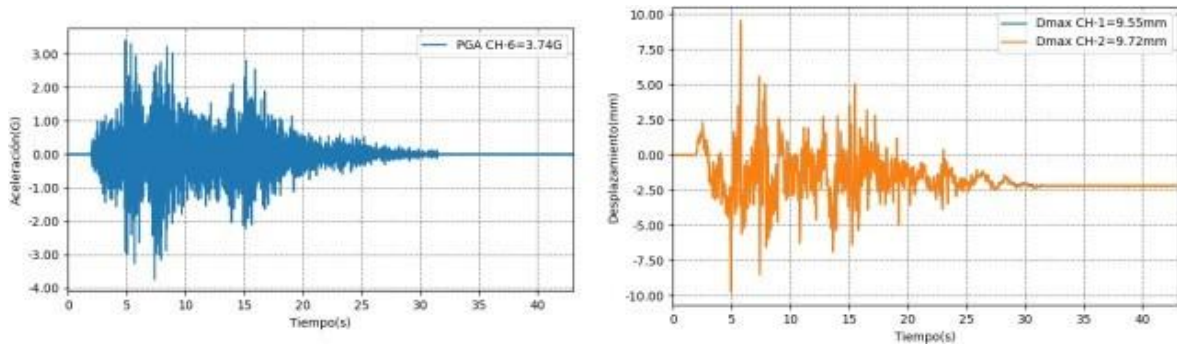
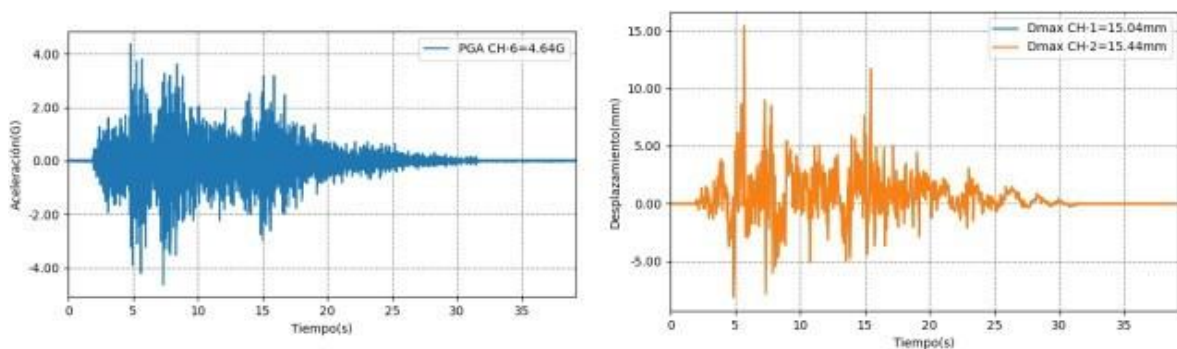


Figura 38

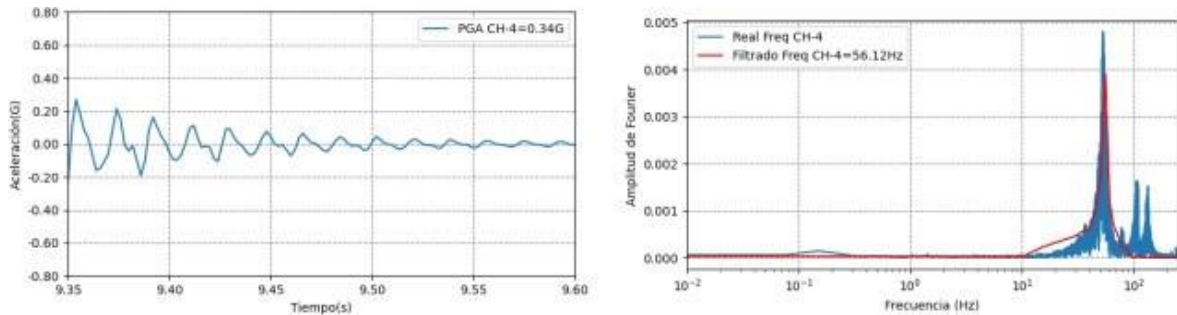
Aceleración de 4.64 G y desplazamiento de la base de 15.04 mm y desplazamiento del techo de 15.44 mm, en la estructura ECR-LIM1974.



Adicionalmente, se agregó 3 pesas más al espécimen para aumentar la demanda de fuerzas en el espécimen e inducir al colapso, como se muestra en la Figura 39, Resultados del Ensayo de Vibración Libre-ECR con 6 pesas (Frecuencia: 56.1Hz).

Figura 39

Resultados del Ensayo de Vibración Libre-ECR con 6 pesas (Frecuencia: 56.1Hz).



A partir de aquí, las aceleraciones y desplazamientos de la base y techo de la estructura ECR se considera con 6 pesas, como se muestra en la Figura 40, Aceleración de 4.32 G y desplazamiento de la base de 13.29 mm y desplazamiento del techo de 13.73 mm, en la estructura ECR con 6 pesas- LIM1974 y en la Figura 41, Aceleración de 7.71 G y desplazamiento de la base de 18.51 mm y desplazamiento del techo de 19.00 mm, en la estructura ECR con 6 pesas- LIM1974.

Figura 40

Aceleración de 4.32 G y desplazamiento de la base de 13.29 mm y desplazamiento del techo de 13.73 mm, en la estructura ECR con 6 pesas- LIM1974.

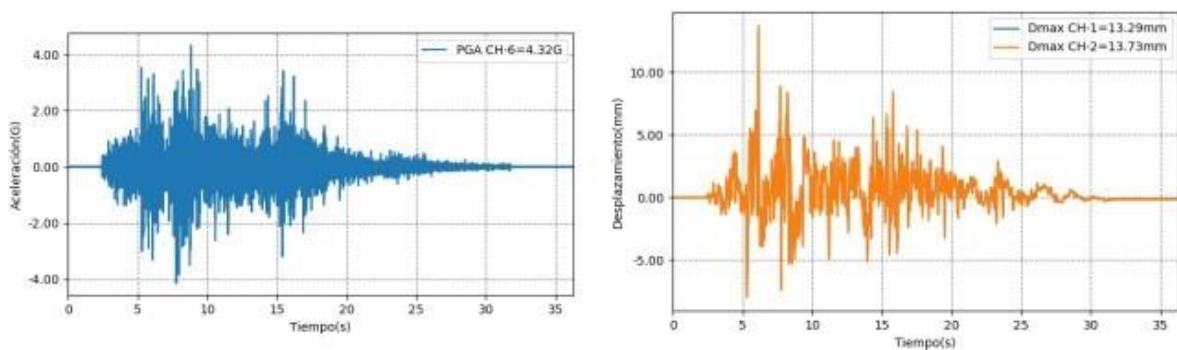
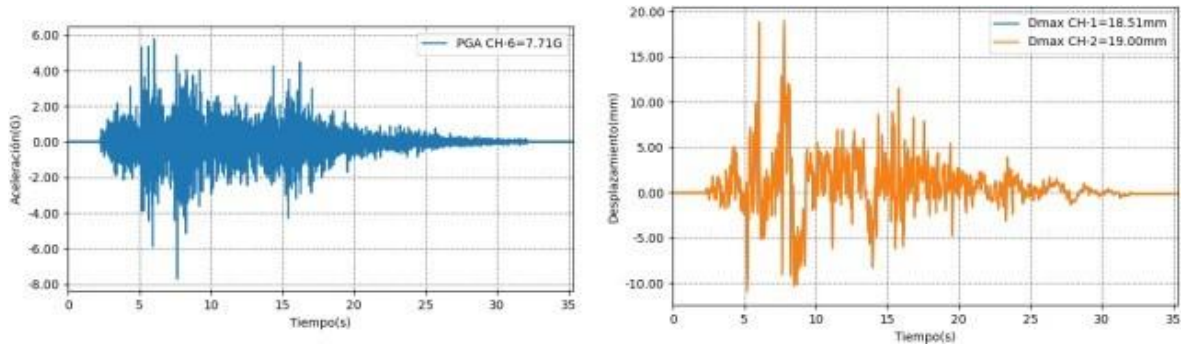


Figura 41

Aceleración de 7.71 G y desplazamiento de la base de 18.51 mm y desplazamiento del techo de 19.00 mm, en la estructura ECR con 6 pesas- LIM1974.



Nota: En las figuras mostradas, se observa la secuencia del proceso de la aceleración y el desplazamiento del modelo con refuerzo (ECR), mediante la simulación del sismo de Lima 1974.

5.2. Resultados en el PGA y Desplazamientos de los Especímenes

Tras el ensayo de mesa vibradora, se procede a analizar su PGA y desplazamientos. Como se muestra en la Tabla 11 y en la Tabla 12, los resultados obtenidos en el ensayo de mesa vibradora para los especímenes, resulta valores máximos alcanzados en los ensayos dinámicos como: la aceleración máxima, desplazamiento máximo y frecuencia.

Tabla 11

Resultados obtenidos en el ensayo de mesa vibradora para el espécimen ESR.

Especímen	Registro	Peso	Frecuencia	PGA- Techo	Desp.	Desp.
					Máximo Base	Máximo Techo
		<i>Kgf</i>	<i>Hz</i>	<i>G</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>
ESR	PIS2007	13.5	34.2	5.11	1.28	6.62
				4.41	1.44	6.17
				5.64	2.28	7.02
				6.62	2.68	8.07

Tabla 12*Resultados obtenidos en el ensayo de mesa vibradora para el espécimen ECR.*

Espécimen	Registro	Peso <i>Kgf</i>	Frecuencia <i>Hz</i>	PGA -	Desp.	Desp.
				Techo	Máximo Base	Máximo Techo
				<i>G</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>
ECR	PISC2007	13.5	88.2	0.51	0.68	0.69
				1.16	1.15	1.19
				1.43	0.78	0.79
				2.16	1.13	1.19
				2.42	1.8	1.83
				2.99	2.48	2.52
	LIM1974	27	56.1	3.89	2.78	2.9
				3.74	9.55	9.72
				4.64	15.04	15.74
				6.88	19.26	19.79
				4.32	13.29	13.73
				7.71	18.51	

5.3. Resultados del costo unitario del refuerzo de la tela de fibra de carbono (CF)

Para un análisis de costos, se toma en cuenta una casa típica antes mencionada del distrito de Villa el Salvador, con el fin de obtener el costo de implementación de la tela de CF en una vivienda. Se indica que se utilizan un total de 14.40 m² de tela de fibra de carbono en la vivienda. El costo por metro cuadrado de esta tela se establece en S/250.00, lo que resulta en un costo total de S/3,600.00 para la cantidad total de tela de CF utilizada. El costo total final, incluyendo el costo de las tiras de tela de F, se presenta como S/3,686.40. Asimismo, se especifica que también se utiliza un aditivo epoxi llamado Sikadur, con un total de 14.40 m² utilizado en la vivienda. El costo por metro cuadrado de este aditivo se fija en S/6.00, lo que da como resultado un costo total adicional de S/86.40 asociado con la aplicación de este aditivo. Asimismo, como se muestra en la Tabla, el cálculo del m² de tira de tela de CF para la vivienda, da un costo total de S/3,686.40.

Tabla 13*Cálculo del m2 de tira de tela de CF para la vivienda.*

Implementación de tela de CF en vivienda tradicional	m2	costo × m2	Costo	Costo Total
Tiras de tela de CF	14.40	S/250.00	S/3,600.00	S/3,686.40
Aditivo epoxi Sikadur	14.40	S/6.00	S/86.40	

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

El análisis de resultados revela que el refuerzo con tela de fibra de carbono mejora significativamente la resistencia y reduce los desplazamientos en comparación con el espécimen sin refuerzo durante la prueba de mesa vibratoria. Estos resultados destacan la efectividad del refuerzo en la estabilidad del espécimen. Además, se presenta una evaluación de costos para la implementación de este refuerzo en una vivienda típica.

6.1. Análisis de resultados de vibración libre

Tras someterse en el ensayo de vibración libre con los dos especímenes, ESR (Especimen Sin Refuerzo), y ECR (Especimen Con Refuerzo), adicionando las 3 pesas, se obtiene una frecuencia natural de 34.2 Hz. y 88.2 Hz. respectivamente. Estos resultados tienen una diferencia de 54 Hz., un incremento del 61.2 %. Como se muestra en la Tabla 14, Comparación de las frecuencias de los especímenes en el ensayo de Vibración Libre, el ECR se establece como un sistema más rígido, soportando grandes vibraciones ante una simulación del sismo de Pisco 2007.

Tabla 14*Comparación de las frecuencias de los especímenes en el ensayo de Vibración Libre.*

	ESR	ECR
Frecuencia	34.2 Hz.	88.2 Hz.

Dado la comparación de ambos especímenes, se puede indicar que el ECR es mucho más rígido que el ESR, pues las frecuencias naturales bajas presentan mayores deformaciones y daños en la vivienda. Al incrementar su frecuencia natural, el espécimen con refuerzo se vuelve más efectivo en la absorción y disipación de la energía sísmica. Esta capacidad

mejorada, reduce significativamente el riesgo de daños estructurales y, en última instancia, fortalece la seguridad de las edificaciones. Este análisis demuestra cómo la incorporación de técnicas de refuerzo puede jugar un papel vital en la mitigación de los riesgos asociados con eventos sísmicos y garantizar la estabilidad de las estructuras en situaciones de alta vibración.

6.2. Análisis de resultados del PGA y desplazamientos

Al momento de la comparación de ambos especímenes en el ensayo de mesa vibradora, se busca que el ECR con telas de fibra de carbono reduzca su desplazamiento máximo en los muros de mampostería. Por ello, como se muestra en la Tabla 15, Comparación del PGA y desplazamientos de los especímenes en el sismo 2007, ocurre una notable diferencia, con una reducción del 46.88% en la base y del 89.58% en el techo a favor del espécimen ECR.

Tabla 15

Comparación del PGA y desplazamientos de los especímenes en el sismo 2007.

Especímen	PGA - Techo <i>G</i>	Desp.	Desp.
		Máximo Base <i>mm</i>	Máximo Techo <i>mm</i>
ESR	6.62	1.28	6.62
ECR	7.71	0.68	0.69

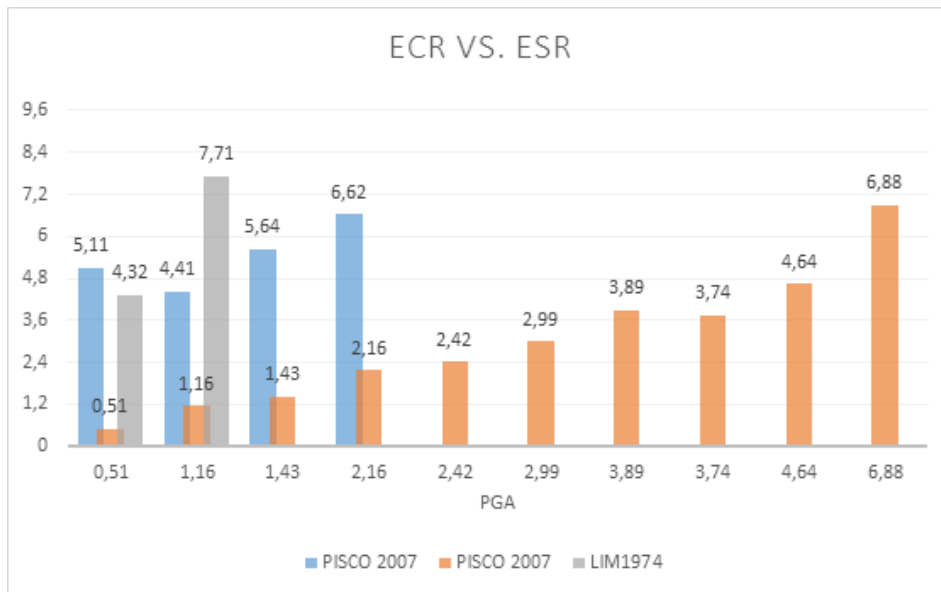
Nota: PGA significa Aceleración máxima del suelo.

Estos resultados indican claramente la ventaja del espécimen ECR en términos de estabilidad estructural. El menor desplazamiento registrado en el espécimen ECR sugiere que la estructura reforzada es más resistente y menos propensa a sufrir daños severos bajo cargas dinámicas, como las generadas por eventos sísmicos.

Posteriormente, para el PGA, como se muestra la Figura 42, ECR VS. ESR., que es una comparativa de ambos resultados y observar cuál de los dos modelos es más resistente.

Figura 42

ECR VS. ESR.



La comparación de los resultados entre el ECR y el ESR revela información crucial sobre la resistencia sísmica de ambos modelos. El modelo ESR alcanzó una resistencia máxima de 6.62 G durante la simulación del sismo de Pisco 2007, mientras que el modelo ECR demostró una resistencia aún mayor frente a las vibraciones de la mesa vibratoria. Ante la necesidad de aplicar una simulación más fuerte, representada por el sismo de Lima 1974, el modelo ECR pudo resistir hasta 7.71 G. Esto representa un incremento del 14.14% en la resistencia en comparación con el modelo ESR.

Esto debido a que, al reducir los desplazamientos máximos, se minimiza el riesgo de daño estructural y se aumenta la seguridad de la vivienda, ya que los desplazamientos excesivos pueden provocar grietas, deformaciones o incluso el colapso. Asimismo, estos resultados ayudan a la eficiencia del refuerzo aplicado, ya que demuestran su capacidad para mejorar la estabilidad y la capacidad de respuesta sísmica de la estructura.

Por último, estos resultados son indicativos de la capacidad del modelo ECR para resistir fuerzas sísmicas con mayor efectividad. Pues, tiene una mayor rigidez y capacidad para absorber y disipar la energía de las vibraciones intensas que sugieren que la estructura reforzada es más robusta para soportar eventos sísmicos. En resumen, estos resultados nos brindan una mejora en la seguridad y la resistencia de la vivienda.

6.3. Análisis de Costos en Porcentaje

Como se muestra en la tabla 16, Costos de materiales para la construcción de una vivienda típica en Villa el Salvador, se presenta los costos de materiales para la construcción de una vivienda típica en Villa el Salvador, utilizando el sistema tradicional de construcción. Se detallan los diferentes elementos de la construcción, el área en metros cuadrados (m²) de cada elemento, el costo por metro cuadrado, y el costo total asociado con cada elemento, así como el costo total acumulado de la construcción hasta el momento.

Tabla 16

Costos de materiales para la construcción de una vivienda típica en Villa el Salvador.

Construcción de vivienda sistema tradicional	m2	costo × m2	costo	total
Muro de ladrillo	150.00	S/60.40	S/9,060.00	
Acero para columnas	66.38	S/4.43	S/294.06	
Encofrado Y				
Desencofrado de columnas	20.80	S/38.48	S/800.38	S/20,767.76
Concreto en columnas	5.00	S/351.35	S/1,756.75	
Tarrajeo	150.20	S/44.04	S/6,614.81	
Cielo Raso Y Cobertura	35.00	S/64.05	S/2,241.75	

Para calcular el porcentaje del costo de implementación de la tela de fibra de carbono (CF) en comparación con el costo total de materiales de una vivienda construida, podemos utilizar la fórmula del porcentaje:

$$\frac{\text{Costo de la tela de fibra de carbono}}{\text{Costo total de la vivienda}} \times 100 = 17.75 \%$$

En general, el costo de implementar la tela de fibra de carbono como parte de un sistema de refuerzo estructural puede representar un porcentaje relativamente bajo del costo total de materiales de construcción de la vivienda.

7. CONCLUSIONES

El refuerzo con tela de fibra de carbono (CF) en muros de mampostería mejora significativamente su resistencia sísmica, demostrando menor deformación y daño en comparación con el espécimen sin refuerzo durante la prueba de mesa vibratoria.

Reforzar con tela de fibra de carbono (CF) un modelo de muro de mampostería a escala 1:8 para mitigar el riesgo sísmico en una vivienda típica del distrito de Villa El Salvador.

- Se han desarrollado ensayos dinámicos de 2 especímenes en una mesa vibratoria. Esto, permite una evaluación de la respuesta dinámica, proporcionando datos precisos sobre las aceleraciones y los desplazamientos en diferentes puntos clave. Esta información es fundamental para comprender cómo las estructuras reaccionan a cargas dinámicas por eventos sísmicos.
- Los muros reforzados con tela de fibra de carbono (ECR) muestran una mejor respuesta sísmica que los muros sin refuerzo (ESR), con menores deformaciones y daños durante los ensayos. El ECR, con mayor espesor (0.0285 m) y peso (27.9 kg) en comparación con el ESR (0.018 m y 23.8 kg), demostró una resistencia sísmica significativamente superior.
- En las pruebas con el registro sísmico escalado del sismo de Pisco 2007, el murete reforzado con CF (ECR) sufrió menos fisuras y daños en comparación con el murete sin refuerzo (ESR). Esto demuestra que el refuerzo con CF contribuye a una mayor estabilidad y reduce la probabilidad de fallas bajo condiciones sísmicas.

Desarrollar una investigación previa sobre las especificaciones de los ensayos dinámicos para elaborar dos especímenes escalados 1:8.

- Los especímenes escalados 1:8, tanto el murete sin refuerzo (ESR) como el reforzado con tela de fibra de carbono (ECR), demostraron ser adecuados para ensayos dinámicos, con dimensiones y pesos específicos (ESR: 0.33 m x 0.32 m y 23.8 kg; ECR: 0.33 m x 0.32 m y 27.9 kg) que permitieron una evaluación precisa en la mesa vibradora. La comparación entre ambos especímenes permitió observar cómo el refuerzo afecta la respuesta sísmica.
- El uso de normas internacionales para las propiedades de los materiales permitió una preparación estandarizada de los especímenes, validando la efectividad del refuerzo con CF en pruebas de simulación sísmica.

- Al utilizar acelerómetros y láseres en los ensayos, se ha obtenido una imagen completa del rendimiento de estos, lo que permite identificar áreas de mejora y evaluar la eficacia de las medidas de refuerzo o diseño implementadas.

Analizar la respuesta sísmica y la capacidad de resistencia de los especímenes sin y con refuerzo de tela de fibra de carbono mediante ensayos dinámicos.

- Luego de realizar el ensayo de vibración libre, el modelo ECR demostró ser significativamente más rígido que el modelo ESR, con una frecuencia natural de 88.2 Hz frente a los 34.2 Hz del ESR, lo que representa un incremento del 61.2%. Esta mayor rigidez del ECR, evidenciada también al adicionar pesas de 3 kg y mantener una alta frecuencia natural de 56.1 Hz, valida el efecto positivo del refuerzo en la mejora de la resistencia y estabilidad de los muros de mampostería.
- La capacidad del ECR, al soportar grandes vibraciones como las del sismo de Pisco 2007, reduce deformaciones y daños, mejorando la seguridad de las edificaciones y protegiendo a los ocupantes. Su alta frecuencia natural le permite absorber y disipar mejor la energía sísmica en comparación con el ESR, lo que disminuye el riesgo de daños estructurales. El análisis demuestra que la incorporación de técnicas de refuerzo, como el uso de telas de fibra de carbono, es crucial para mejorar la estabilidad y seguridad de las estructuras en situaciones de alta vibración, mitigando eficazmente los riesgos asociados con los terremotos.
- Los resultados del ensayo de mesa vibradora muestran que el espécimen ECR, reforzado con telas de fibra de carbono, reduce el desplazamiento máximo en un 46.88% en la base y un 89.58% en el techo en comparación con el ESR. Esto indica una mayor estabilidad estructural del ECR, crucial para minimizar daños severos durante sismos y mejorar la seguridad y resistencia de las viviendas informales.
- El modelo ECR mostró una resistencia superior a vibraciones intensas, con un PGA de 7.71G frente a 6.62G del ESR, un incremento del 14.14%. Su mayor capacidad para soportar aceleraciones sin daños destaca su rigidez y capacidad de absorción de energía sísmica. Esto resalta la importancia de los muros reforzados de una vivienda, pues tiene una mayor probabilidad de mantenerse durante y después de un sismo, lo que reduce el riesgo de pérdidas humanas y materiales.

Determinar el impacto económico del refuerzo superficial con tela de fibra de carbono en muros de mampostería, representado como un porcentaje del costo total de la vivienda.

- El análisis revela que el costo de implementar la tela de fibra de carbono como parte de un sistema de refuerzo de la estructura representa un 17.75% del costo total de materiales de construcción de la vivienda. Esta proporción relativamente baja sugiere que la incorporación de este tipo de refuerzo no implica un gasto significativo en comparación con el costo total de un proceso de construcción.
- La baja proporción del costo de la tela de fibra de carbono en relación con el costo total de la vivienda indica que la implementación de este tipo de refuerzo puede ser económicamente viable. Aunque representa un gasto adicional, este es relativamente pequeño en comparación con el gasto total de construcción.
- Invertir en este refuerzo puede ser una estrategia efectiva para garantizar la estabilidad y durabilidad a largo plazo de las viviendas ante un evento sísmico.

8. RECOMENDACIONES

Las recomendaciones se centran en la evaluación y optimización del uso de tela de fibra de carbono (CF) en muros de mampostería para mitigar riesgos sísmicos.

Reforzar con tela de fibra de carbono (CF) un modelo de muro de mampostería a escala 1:8 para mitigar el riesgo sísmico en una vivienda típica del distrito de Villa El Salvador.

- Establecer un proceso estándar para asegurar la correcta adhesión de la tela de CF y prevenir problemas durante la instalación.
- Investigar cómo el refuerzo con CF afecta el mantenimiento y durabilidad del muro de mampostería.
- Evaluar el refuerzo con CF a escala real en modelos de distintas escalas para confirmar su efectividad en estructuras reales.

Desarrollar una investigación previa sobre las especificaciones de los ensayos dinámicos para elaborar dos especímenes escalados 1:8.

- Documentar y estandarizar los procedimientos para la preparación y ejecución de los ensayos dinámicos.
- Confirmar que los resultados de los modelos escalados representan adecuadamente las condiciones reales.
- Revisar y adaptar regularmente las especificaciones de los ensayos según avances tecnológicos y normas internacionales.

Analizar la respuesta sísmica y la capacidad de resistencia de los especímenes sin y con refuerzo de tela de fibra de carbono mediante ensayos dinámicos.

- Utilizar sensores avanzados para captar datos precisos durante los ensayos dinámicos.
- Evaluar el desempeño de los especímenes con refuerzo bajo varias intensidades sísmicas.
- Realizar un análisis detallado de las mejoras en capacidad de carga y reducción de daños debido al refuerzo con CF.

Determinar el impacto económico del refuerzo superficial con tela de fibra de carbono en muros de mampostería, representado como un porcentaje del costo total de la vivienda.

- Comparar el costo del refuerzo con los beneficios en reducción de riesgos y ahorros futuros.
- Considerar costos indirectos y beneficios a largo plazo para obtener una visión completa del impacto económico.
- Calcular los costos de reparación de una vivienda informal, incluyendo material e instalación. Asimismo, evaluar los costos a largo plazo según la durabilidad y eficacia del refuerzo. Elegir la opción más adecuada considerando eficiencia económica, calidad y durabilidad.
- Realizar un estudio comparativo de costos entre demolición y refuerzo superficial de una estructura es esencial para tomar decisiones informadas sobre gestión de activos y planificación de proyectos de construcción.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACH SAINT-GOBAIN. (2021). *Edificación antisísmica con mampostería confinada*. Panelesach. Recuperado el 14 de octubre del 2024, de <https://panelesach.com/latam/pe/blog/construccion-mamposteria-confinada/>
- Alfaro Valencia, L. I., & Hernandez Nongrados, M. M. (2023). *Reforzamiento estructural de vigas mediante el uso de fibras de carbono (CFPR) en una vivienda de 4 pisos ubicada en el distrito de Carabayllo, Lima*. [Tesis de Titulación, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. Repositorio Académico UPC. https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/670394/Alfaro_VL.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- American Society for Testing and Materials C1006 (2007) *Standard test method for splitting tensile strength of masonry units, C 1006-07*. <https://tajhizkala.ir/doc/ASTM/C1006.pdf>
- Araujo Sánchez, M. A. (2022). *Evaluación del sistema de evacuación en los edificios de más de 15 pisos en la ciudad de Quito en el sector de la av. República del Salvador*. [Tesis de Titulación, Universidad Internacional SEK]. Repositorio de la Universidad Internacional SEK. <https://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/4866>
- Asad, M., Zahra, T., Thamboo, J. (2022). The Effectiveness of CFRP-and Auxetic Fabric- Strengthened Brick Masonry under Axial Compression: A Numerical Investigation. *Polymers*, 14(9). <https://doi.org/10.3390/polym14091800>
- Banerjee, S., Nayak, S., Das, S. (2021). Seismic performance enhancement of masonry building models strengthened with the cost-effective materials under bi-directional excitation. *Engineering Structures*, 242. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2021.112516>
- Behera, B., & Nanda, R. P. (2021). In-plane shear strengthening of brick masonry panel with geogrid reinforcement embedded in bed and bed-head joints mortar. *Engineering Structures*, 227. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2020.111411>
- Behera, B., Khan, H. A., & Nanda, R. P. (2021). Geosynthetic as a strengthening material for brick masonry wall. *Materials Today: Proceedings*, 38, 2612-2616. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785320360624>

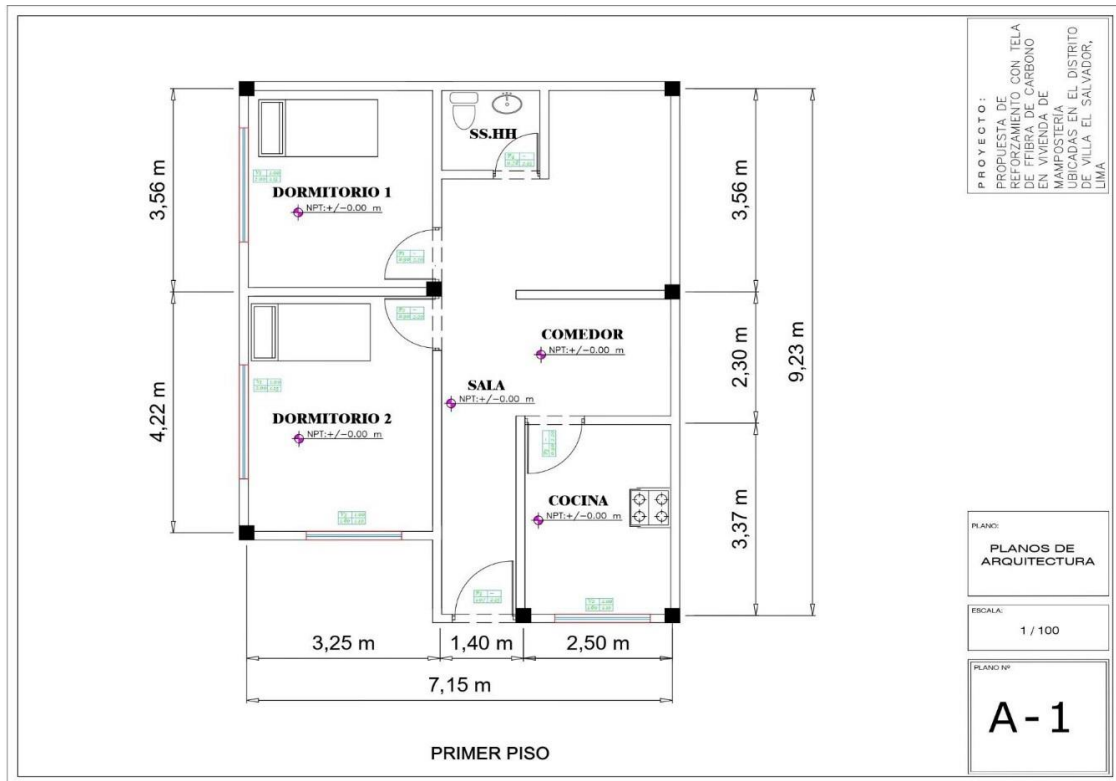
- Bouyahyaoui, A., Elmalyh, S., & Cherradi, T. (2023). Behaviour of masonry walls reinforced by fiber reinforced polymers. *Materials Today: Proceedings*. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.06.197>
- Caparachin Vilca, S. G. (2023). *Análisis de vulnerabilidad sísmica de una vivienda informal de albañilería confinada empleando la metodología Hazus*. [Tesis de Titulación, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio de Tesis PUCP. <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/25772>
- Carrion Carbajal, Z. E. (2021). *Reforzamiento de muros de mampostería con mallas poliméricas y electrosoldada para la reducción de la vulnerabilidad sísmica de viviendas informales en el distrito de Ate-Lima, 2022*. [Tesis de Titulación, Universidad Privada del Norte]. Repositorio Institucional UPN. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/31458>
- Chingakham, AC, Shijagurumayum, C. & Thokchom, S. (2022). A Review On-Confined Masonry Construction. *SAMRIDDHI: A Journal of Physical Science, Engineering and Technology*, 14 (01 SPL), 36-41. <http://smsjournals.com/index.php/SAMRIDDHI/article/view/2778>
- Chipana Pujaioco, J. A., & Ybargüen Ignacio, C. A. (2022). *La expansión de viviendas informales y la degradación ambiental en las Lomas del Paraíso*. [Tesis de Titulación, Universidad César Vallejo]. Repositorio de la UCV. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/102043>
- Dong, Z., Deng, M., Zhang, Y., & Ma, P. (2021). Strengthening of unreinforced masonry walls against out-of-plane loads using carbon textile reinforced mortar optimized by short PVA fibers. *Engineering Structures*, 227. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2020.111433>
- Gao, T., Zhang, Y., Li, C., Wang, Y., An, Q., Liu, B., Said, Z., & Sharma, S. (2021). Grindability of carbon fiber reinforced polymer using CNT biological lubricant. *Scientific Reports*, 11(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-02071-y>
- Guerra Chiquito, C. D., & Tigmasa Paredes, L. G. (2022). *Análisis de la resistencia de la junta traslapada simple, entre el acero estructural, resina epóxica y fibra de carbono unidireccional, utilizado para reforzamiento de vigas de acero*. [Tesis de Titulación, Universidad Técnica de Ambato]. Repositorio UTA. <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/36491>

- Hoyos, M. C., & Silva, V. (2022). Exploring benefit cost analysis to support earthquake risk mitigation in Central America. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 80. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2022.103162>
- Huaitalla Chate, J (2023). *Evaluación de las alternativas de reforzamiento estructural con fibras de carbono o encamisado de concreto armado mediante la comparativa resistencia y costo de las columnas del centro comercial A, en Lima Metropolitana*. [Tesis de Titulación, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. Repositorio Académico UPC. <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/667579>
- Ichpas Gomez, D., & Pillaca Puella, L. (2021). *Propuesta de reforzamiento con geomalla en dos viviendas de albañilería confinada ubicadas en el distrito de Villa El Salvador, Lima*. [Tesis de Titulación, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio de Tesis PUCP. <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/21742>
- Indian Standard 3495 (1992) *Methods of tests of burnt clay building bricks*. <https://law.resource.org/pub/in/bis/S03/is.3495.1-4.1992.pdf>
- Inga Paz, P. (2021). *Análisis de la vulnerabilidad sísmica frente a los sismos ocurridos en Perú-Yungay 1970 y Perú-Ica 2007, de dos edificios de 06 pisos en urbanización San Isidro, Trujillo*. [Tesis de Titulación, Universidad Privada del Norte]. Repositorio Institucional UPN. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/27225>
- Li, W., Tang, S., Huang, X., Liu, W., Yang, X., Shi, T. (2022). Carbon fiber-reinforced polymer mesh fabric as shear reinforcement in reinforced concrete beams. *Journal of Building Engineering*, 53. <https://doi.org/10.1016/j.jobee.2022.104433>
- Mateo García, B. W., & Pereyra Copa, F. A. (2021). *Desempeño sísmico del reforzamiento estructural con fibra de carbono y muros de corte, para la resiliencia en vivienda, Villa El Salvador*. [Tesis de Titulación, Universidad César Vallejo]. Repositorio UCV. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/77400>
- Medina Rodriguez, H. N., & Medina Vargas, L. F. (2021). *Análisis del comportamiento en muros de mampostería reforzados sometidos a fuerza cortante en voladizos*. [Tesis de Titulación, Universidad Santo Tomás]. Repositorio Institucional USTA. <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/35063>

- Park, S. H., Dinh, N. H., Kim, S. H., Hwang, J. W., Pham, H. H., Lee, S. J.; Choi, K. K. (2022). Seismic retrofit of unreinforced masonry walls using precast panels of fiber-reinforced cementitious composite. *Journal of Building Engineering*, 53. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2022.104548>
- Pérez, S. P. M., Chunga, D. M. B., & Rafael, R. I. B. (2021). Uso de PRFC para mejorar las propiedades mecánicas del concreto: una revisión. *CULCyT: Cultura Científica y Tecnológica*, 18(2), 1-10. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7986678>
- Ramos Guadalupe, J. N., & Villagaray Camposano, L. A. (2022). *Propuesta metodológica constructiva de reforzamiento de viviendas autoconstruidas de bajo desempeño sísmico utilizando muros de concretos prefabricados en el distrito de Villa el Salvador*. [Tesis de Titulación, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. Repositorio Académico UPC. <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/659069>
- Reglamento Nacional de Edificaciones. (2019). *Propuesta de NORMA E.070 ALBAÑILERÍA*. <https://www.cip.org.pe/publicaciones/2021/enero/portal/e.070-alba-ileria-sencico.pdf>
- Rendón Tapia, J. D. (2022). *Caracterización mecánica de un material compuesto de fibra de carbono con Matriz de Resina EPOXI*. [Tesis de Titulación, Universidad Politécnica Salesiana]. Repositorio Institucional Universidad Politécnica Salesiana. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/22518>
- Rivas Quispe, J. S. (2020). *Comportamiento sismorresistente de viviendas informales con el programa Etabs, Villa el Salvador 2020*. [Tesis de Titulación, Universidad César Vallejo]. Repositorio UCV. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/71813>
- Universidad Nacional Mayor de San Marcos. (2023). *Un sismo como el de Turquía y Siria podría suceder en el Perú, advierte experta sanmarquina*. Recuperado el 14 de octubre del 2024, de <https://unmsm.edu.pe/noticias-y-eventos/noticias/noticia-detalle/un-sismo-como-el-de-turquia-y-siria-podria-suced-en-el-peru-advierte-experta-sanmarquina>
- Yavartano, F., Kang, T. (2022). Retrofitting of unreinforced masonry structures and considerations for heritage-sensitive constructions. *In Journal of Building Engineering* (49), <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2022.103993>

ANEXO(S)

Anexo A. Plano de Vivienda Típica.



Anexo B. Plano de Vivienda Típica con refuerzo de Tela de Fibra de Carbono.

