



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**ANÁLISIS DE MÉTODOS DE REFORZAMIENTO SÍSMICO DE MUROS PARA EL
CENTRO HISTÓRICO DE CUENCA**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
título de Ingeniero Civil

AUTOR: ANTHONY GONZALO YUMBAY GUAMAN

TUTOR: ING. JONNATHAN DARÍO SANTOS BENÍTEZ, MSC

Cuenca - Ecuador

2024

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Anthony Gonzalo Yumbay Guaman con documento de identificación N° 0706181831, manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 15 de febrero del 2024

Atentamente,



Anthony Gonzalo Yumbay Guaman

0706181831

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, Anthony Gonzalo Yumbay Guaman con documento de identificación N° 0706181831, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Proyecto de investigación: “Análisis de métodos de reforzamiento sísmico de muros para el Centro Histórico de Cuenca”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Civil, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 15 de febrero del 2024

Atentamente,



Anthony Gonzalo Yumbay Guaman

0706181831

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Jonnathan Darío Santos Benítez con documento de identificación N° 0105088058, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: ANÁLISIS DE MÉTODOS DE REFORZAMIENTO SÍSMICO DE MUROS PARA EL CENTRO HISTÓRICO DE CUENCA, realizado por Anthony Gonzalo Yumbay Guaman con documento de identificación N° 0706181831, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción proyecto de investigación que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 15 de febrero del 2024

Atentamente,

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'J. Santos Benítez', written over a horizontal line.

Ing. Jonnathan Darío Santos Benítez, MSc.

0105088058

Dedicatoria

A mis queridos padres, Gonzalo Yumbay y Patricia Guaman, sus palabras llenas de cariño y motivación han hecho posible que pueda llegar a una de mis metas. Esto no habría sido posible sin su apoyo y atención continua por estos largos años, algo que agradezco de todo corazón ya que fue gracias al esfuerzo y sudor de su trabajo duro que pude prepararme para ser un profesional. Les agradezco por estar siempre conmigo, esperando que puedan estar presentes en mi vida muchos años más.

A toda mi familia que me ha dado motivación y han estado presentes brindándome apoyo de todo tipo. Sus consejos y ánimos para continuar mi camino me han ayudado para afrontar la llegada de un futuro que será desafiante, pero no insuperable.

Resumen

En este trabajo se realiza el diseño haciendo uso de normativas como la NEC, ACI y ASCE; además de una revisión de las ventajas y desventajas acerca del diseño de reforzamiento sísmico haciendo uso de láminas GFRP (glass fiber reinforced polymer) y barras GFRP, los cuales se encuentran dentro del conjunto de sistemas FRP. Mediante el uso de resultados obtenidos por otros autores, tales como: resistencia a la compresión, módulos de elasticidad, relación de poisson, pesos volumétricos y dimensiones de los elementos estructurales; es que fue posible realizar el modelamiento en el software ETABS de una vivienda de hormigón armado cuyos muros de mampostería confinados están compuestos de ladrillo macizo. Obteniendo del modelado de la vivienda los momentos, fuerzas cortantes y axiales de los muros de mampostería; valores que son empleados para realizar el diseño del reforzamiento utilizando sistemas FRP. El proceso de diseño dio como resultado la disposición que tendrán las tanto las láminas GFRP y barras GFRP en el muro de mampostería, resultados los cuales no se pudo realizar una comparativa de su desempeño sísmico debido a la falta de información y métodos de modelamiento confiables para simular el comportamiento de la mampostería considerando los refuerzos que se colocaran. Esto hace que sea necesario el desarrollo y una revisión literaria más profunda acerca de un procedimiento confiable acerca del modelado de sistemas FRP aplicado en estructuras, y así poder ver su comportamiento frente a un sismo con el fin de salvaguardar la vida de las personas.

Palabras clave: Vulnerabilidad sísmica, Actividad sísmica, Centro histórico de Cuenca, UNESCO, Refuerzo sísmico, Refuerzo de muros, Refuerzo con fibras, NEC 2015, ACI.

Abstract

In this work, the design is carried out using standards such as NEC, ACI and ASCE; in addition to a review of the advantages and disadvantages of seismic reinforcement design using GFRP (glass fiber reinforced polymer) sheets and GFRP bars, which are part of the FRP systems. By using results obtained by other authors, such as compressive strength, modulus of elasticity, Poisson's ratio, volumetric weights and dimensions of the structural elements, it was possible to perform the modeling in ETABS software of a reinforced concrete house whose confined masonry walls are composed of solid brick. Obtaining from the modeling of the house the moments, shear and axial forces of the masonry walls; values that are used to design the reinforcement using FRP systems. The design process resulted in the arrangement of the GFRP sheets and GFRP bars in the masonry wall, results which could not be compared for seismic performance due to the lack of information and reliable modeling methods to simulate the behavior of the masonry considering the reinforcements to be placed. This calls for the development and further literature review of a reliable procedure for modeling FRP systems applied to structures, in order to see how they behave in an earthquake in order to safeguard people's lives.

Keywords: Seismic vulnerability, Seismic activity, Historic center of Cuenca, UNESCO, Seismic reinforcement, Wall reinforcement, Fiber reinforcement, NEC 2015, ACI.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	14
2. PROBLEMA: DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	18
2.1. ANTECEDENTES	18
2.2. IMPORTANCIA Y ALCANCES.....	19
2.3. DELIMITACIÓN.....	21
3. OBJETIVOS	25
3.1. OBJETIVO GENERAL	25
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	25
4. REVISIÓN DE LITERATURA O FUNDAMENTOS TEÓRICOS	25
4.1. MAMPOSTERÍA.....	25
4.1.1. <i>Muros estructurales</i>	26
4.1.2. <i>Clasificación de la mampostería</i>	26
4.1.3. <i>Unidades de mampostería</i>	28
4.1.4. <i>Comportamiento en estructuras con muros de mampostería</i>	29
4.2. PELIGRO SÍSMICO	33
4.2.1. <i>Zonificación sísmica y factor de zona Z</i>	34
4.2.2. <i>Coefficientes de perfil de suelo F_a, F_d y F_s</i>	35
1.1.1. <i>Espectro elástico horizontal de diseño en aceleraciones</i>	35
1.1.2. <i>Categoría de edificio y coeficiente de importancia (I)</i>	37
1.1.3. <i>Periodo de vibración</i>	37
1.1.4. <i>Cortante basal de diseño (V)</i>	38
1.2. TECNOLOGÍA FRP	39
1.2.1. <i>Fibra de carbono</i>	40
1.2.2. <i>Fibra de aramida</i>	41
1.2.3. <i>Fibra de vidrio</i>	42
1.3. REFUERZO CON BARRAS	43

1.3.1.	<i>Refuerzo con barras verticales</i>	44
1.3.2.	<i>Refuerzo con barras horizontales</i>	44
2.	MARCO METODOLÓGICO	45
2.1.	DEFINICIÓN DE VIVIENDA	46
2.2.	DATOS PARA MODELADO.....	48
2.2.1.	<i>Materiales</i>	48
2.2.2.	<i>Cargas y acciones consideradas</i>	51
2.2.3.	<i>Acciones de sismo</i>	53
2.2.4.	<i>Combinaciones de carga</i>	55
2.2.5.	<i>Peso sísmico</i>	57
2.3.	MODELAMIENTO DE VIVIENDA	57
2.4.	MÉTODO DE DISEÑO PARA REFORZAMIENTOS EN MUROS DE MAMPOSTERÍA	58
2.4.1.	<i>Limitaciones de uso para el FRP</i>	58
2.4.2.	<i>Diseño a flexión</i>	59
2.4.3.	<i>Diseño a corte</i>	62
2.4.4.	<i>Datos para diseño</i>	65
2.5.	PROCEDIMIENTO DE DISEÑO	66
3.	RESULTADOS	67
4.	CONCLUSIONES	73
5.	RECOMENDACIONES	74
6.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	76
7.	ANEXOS	79
7.1.	RESULTADOS DE MODELAMIENTO.....	79
7.2.	PROCEDIMIENTO DE DISEÑO DE REFORZAMIENTOS	83

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1.: Mapa de daño correspondiente a un terremoto leve, con aceleración máxima en roca de 0.05g. Extraído de (Quezada et al., 2021)	20
Figura 2: Tipologías de edificaciones de mampostería. Extraído de (Quezada et al., 2021)...	23
Figura 3: Mapa de delimitación del Centro histórico de Cuenca	24
Figura 4: Configuración básica de una estructura de mampostería confinada. Extraído de (Ramírez Quintero, 2022).....	28
Figura 5: Ecuador, zonas sísmicas para propósitos de diseño y valor del factor de zona Z. Extraído de (NEC-SE-DS, 2014).	34
Figura 6: Espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño. Extraído de (NEC-SE-DS, 2014).	36
Figura 7: Fibra de vidrio tradicional. Extraído de (Cevallos Oña, 2014).....	43
Figura 8: Anclaje de las barras de refuerzo. Extraído de (Daza, 2004).	44
Figura 9: Tipos de refuerzo horizontal. Extraído de (Daza, 2004).....	45
Figura 10: Fachada de vivienda. Extraído de (Quezada et al., 2021).....	46
Figura 11: Área de estudio para el patrimonio edificado del centro histórico de Cuenca. Extraído de (Quezada et al., 2021).....	47
Figura 12: Vistas en planta de la vivienda. Extraído de (Quezada et al., 2021).	48
Figura 13: Curvas de conversión para el ensayo con el esclerómetro. Extraído de (Ortega & Sisalima, 2019).....	49
Figura 14: Descripción de las partes de una escalera. Extraído de (Peldanea, 2017).	53
Figura 15: Modelado de edificación de estudio en software ETABS.	58
Figura 16: Refuerzo de muros de cortante con polímeros reforzados con fibras. Extraído de (American Concrete Institute, 2010).....	62

Figura 17: Diagrama de flujo del proceso de diseño para el reforzamiento de muros de
mampostería 66

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1: Escala Mercalli relacionada con la aceleración máxima.....	20
Tabla 2: Tipologías de las edificaciones de mampostería en el Centro Histórico de Cuenca. Extraído de (Quezada et al., 2021).....	24
Tabla 3: Descripción de modos de comportamiento en muros de mampostería. Extraído de (Ramírez Quintero, 2022).....	31
Tabla 4: Valores del factor Z en función de la zona sísmica adoptada. Extraído de (NEC-SE- DS, 2014).	35
Tabla 5: Tipo de uso, destino e importancia de la estructura. Extraído de (NEC-SE-DS, 2014).	37
Tabla 6: Valores a considerar para el periodo de vibración según tipo de estructura. Extraído de (NEC-SE-DS, 2014).....	38
Tabla 7: Información de vivienda	47
Tabla 8: Propiedades de elementos estructurales	51
Tabla 9: Dimensiones de elementos estructurales.....	51
Tabla 10: Propiedades de mampostería por defecto y estado. Extraído de (American Society of Civil Engineers, 2007).....	51
Tabla 11: Cargas consideradas en losa de entrepiso. Extraído de (NEC-SE-CG, 2014).	52
Tabla 12: Cargas consideradas en losa de azotea. Extraído de (NEC-SE-CG, 2014).....	52
Tabla 13: Cargas consideradas en descanso y escaleras. Extraído de (NEC-SE-CG, 2014). ..	53
Tabla 14: Factor de zona para Cuenca. Extraído de (NEC-SE-DS, 2014).....	53
Tabla 15: Estaciones acelerográficas de la red sísmica del austro (RSA) con ubicación u tipo de perfil de suelo. Extraído de (Bermeo Moyano, 2016).....	54
Tabla 16: Valores de espectro de aceleración para zona de estudio	54

Tabla 17: Limitaciones de uso para FRP. Extraído de (American Concrete Institute, 2010)..	59
Tabla 18: Factores de reducción medioambientales para condiciones de exposición. Extraído de (American Concrete Institute, 2010)	60
Tabla 19: Geometría y propiedades mecánicas de la mampostería.....	65
Tabla 20: Propiedades del sistema FRP reportado por el fabricante. Extraído de (American Concrete Institute, 2010).....	65
Tabla 21: Resultados de modelamiento de mampostería	80

ANÁLISIS DE MÉTODOS DE REFORZAMIENTO SÍSMICO DE MUROS PARA EL CENTRO HISTÓRICO DE CUENCA

1. Introducción

De acuerdo con la Ordenanza para el Manejo y Conservación de los Espacios Históricos y Patrimoniales del Cantón Cuenca, el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal (GAD) del cantón tiene competencia sobre las intervenciones en estructuras que forman parte del patrimonio cultural. Adicionalmente, el Código Orgánico Integral Penal (COIP) garantiza la conservación y preservación del Patrimonio Cultural Edificado mediante la imposición de penas, incluida la privativa de libertad de uno a tres años, a quienes causen daño, deterioro o destrucción total o parcial de los bienes. que constituyan parte del Patrimonio Cultural del Estado Ecuatoriano, independientemente de su derecho de propiedad sobre los mismos. Por lo tanto, la preservación y protección del diseño arquitectónico tendrá prioridad en el diseño del refuerzo sismológico (COIP, 2021).

Para conocer el nivel de importancia del centro histórico de Cuenca, recurriremos a la definición dada por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). Esta entidad define que: *“Patrimonio Cultural es el conjunto de bienes muebles e inmuebles, materiales e inmateriales, de propiedad de particulares o de instituciones u organismos públicos o semipúblicos que tengan valor excepcional desde el punto de vista de la historia, del arte, de la ciencia y de la cultura y por lo tanto sean dignos de ser considerados y conservados para la nación y conocidos por la población a través de las generaciones”* (Rodas Espinoza, 2016).

El 1 de diciembre de 1999, la UNESCO designó a Cuenca como una de las ciudades patrimonio cultural de la humanidad, de acuerdo con su definición de patrimonio cultural. Recibió elogios por mantener la trama original del Centro Histórico desde que fue fundado el 12 de abril de

1557. Destaca que, a pesar de tener una arquitectura neoclásica europea, los materiales utilizados en la construcción de sus inmuebles fueron tomados en consideración al momento de hacer la declaratoria. Estos materiales incluían piedra, adobe, pared, madera y bejuco, siendo todos hechos a mano. También tenían la mentalidad de crear cosas hermosas como balcones y techos bajos (Gobierno del Ecuador, 2023).

Las Normas de Construcción de Ecuador y su Guía Práctica para la Evaluación Sísmica y la Rehabilitación de Estructuras, dejan muy claro que el cumplimiento de las normas no garantiza que un edificio no sufra daños significativos por terremotos. Los siguientes principios se tienen en cuenta en la filosofía de diseño resistente a los terremotos de (NEC, 2015).

La filosofía de diseño sismorresistente que presenta la NEC 2015 contempla los siguientes principios:

- *“Prevenir daños en elementos no estructurales y estructurales, ante terremotos pequeños y frecuentes, que pueden ocurrir durante la vida útil de la estructura”.*
- *“Prevenir daños estructurales graves y controlar daños no estructurales, ante terremotos moderados y poco frecuentes, que pueden ocurrir durante la vida útil de la estructura”.*
- *“Evitar el colapso ante terremotos severos que pueden ocurrir rara vez durante la vida útil de la estructura, procurando salvaguardar la vida de los ocupantes”.*

Dado que el Ecuador, y por extensión territorial la ciudad de Cuenca, se encuentran en una de las regiones sísmicamente activas del mundo, conocida como el “Cinturón de Fuego”, el diseño sismo resistente está de acuerdo con este hecho. Debido al fenómeno de la subducción de la placa oceánica de Nazca y a la presencia de un sistema de fallas locales activas, lo que resulta en una alta actividad sísmica. El sismo ocurrido el 18 de marzo de 2023, a las 12h 12 tiempo local (TL) es uno de los terremotos más recientes que avala la existencia de este fenómeno,

donde se registró un sismo con epicentro en el extremo nororiental de la Isla Puná, dentro del Golfo de Guayaquil. Con la ayuda de la técnica de inversión de forma de onda de MECAVEL, la magnitud de momento (M_w) de este evento se determinó en 6,64 y su profundidad en 63,1 km. (IGEPN, 2023). El sismo afectó a múltiples ciudades de las cuales entre ellas se encuentra la ciudad de Cuenca, donde se causó daños al patrimonio cultural y arquitectónico, al mismo tiempo de contabilizar varias muertes y pérdidas económicas. Además, en la historia del Ecuador, se han registrado varios eventos sísmicos, uno de ellos y el de mayor intensidad experimentado por la provincia de Azuay sucedió en el año 1887, específicamente en la ciudad de Cuenca, con una magnitud de 7 grados dando como resultado: daños en la arquitectura religiosa y monumental, daños en la arquitectura civil doméstica y efectos en la población (Jiménez-Pacheco et al., 2022).

Ante el peligro constante de que el Patrimonio Cultural Edificado de Cuenca sea destruido por sismos, y aún peor, sus habitantes perezcan junto con ellos, se pueden aplicar diversos métodos de refuerzo sísmico que en lo posible respeten el diseño arquitectónico original. Estos métodos incluyen el refuerzo de muros, techos y cimentación, la instalación de sistemas de amortiguación y el refuerzo de esquinas y elementos estructurales. Si bien existen otros métodos además de los expuestos, en este caso en particular se analizará el método de reforzamiento de muros ya que ha demostrado ser especialmente útil en edificaciones que han sufrido daños por sismos, previniendo futuros colapsos.

Dentro de las tipologías existentes en el centro histórico de Cuenca se identificaron cuatro tipos de edificaciones de mampostería, según el tipo de material de los muros y el grado de confinamiento: mampostería de adobe no confinada, mampostería de ladrillo no confinada, mampostería de ladrillo con tirante y mampostería de ladrillo confinada (Quezada et al., 2021). Los dos primeros tipos se consideran tipologías tradicionales, mientras que los otros dos se

encuentran catalogados como tipología moderna. El primer tipo de estructura, la mampostería de adobe no confinada, que constituye el 40% de las viviendas del centro histórico de Cuenca. Aunque esta tipología es la que mayor presencia posee, se tomara la tipología de mampostería de ladrillo confinado que representa el 20% de las viviendas (Quezada et al., 2021).

El autor Michiels (2015), en su artículo trata directamente con técnicas de rehabilitación sísmica de edificios históricos de adobe, analizando la viabilidad que pueden tener estas técnicas en la ingeniería estructural y evaluar su idoneidad para la conservación histórica. Se menciona que tradicionalmente, la estabilidad para estas estructuras se lograba mediante la aplicación de vigas anulares de madera, tirantes de madera que unen muros paralelos, llaves de esquina o añadiendo contrafuertes. Y para los casos donde la prioridad es la preservación del valor histórico; y, por lo tanto, optar por técnicas menos invasivas, menciona que se aplican técnicas tales como: introducción de un diafragma de madera contrachapada, varillas de acero horizontales, una geomalla recubierta con enlucido de barro o un sistema de zunchado son las más idóneas como refuerzo para muros.

Aunque las técnicas de refuerzo de muros mencionadas anteriormente pueden ser efectivas, están enfocadas especialmente en mampostería de adobe, contrario a la mampostería de ladrillo, es por eso que existen opciones más innovadoras y actualizadas en el campo de la ingeniería estructural que también pueden ser consideradas. En este sentido, el estudio de Gkournelos (2022) se enfoca en una serie de técnicas. En particular, este estudio destaca la importancia de los nuevos materiales de refuerzo basados en fibras, como los sistemas de FRP y Tejido Reforzado con Malla (TRM), los cuales han demostrado ser cada vez más populares en comparación con los materiales tradicionales. Estos materiales ofrecen una serie de ventajas, como una mayor resistencia y durabilidad, así como una aplicación más sencilla y económica. Además, presentan algunas técnicas de refuerzo más tradicionales que se basan en la adición

de refuerzo adicional encima o dentro de los elementos de mampostería existentes.

Por lo tanto, se tomarán dos métodos de refuerzo para muros los cuales están separados en dos categorías como son: tradicionales e innovadoras. El método que se tomará de la categorización tradicional será el refuerzo con varillas de acero horizontales, pero haciendo uso del material FRP y con respecto a la categorización innovadora, se tomará el refuerzo con láminas de polímero reforzado con fibra (FRP). Además, para la evaluación sísmica de las edificaciones de la tipología escogida, se tomará la Guía práctica para evaluación sísmica y rehabilitación de estructuras de la NEC 2015, además de la normativa de peligro sísmico (NEC-SE-DS, 2014).

2. Problema: Descripción del Problema

2.1. Antecedentes

Teniendo en cuenta la cantidad de personas que interactúan con el Centro Histórico de Cuenca, se debe prestar atención al estado en que se encuentran las edificaciones, ya que estas después de un sismo, pueden presentar: fisuras y grietas, deformaciones estructurales, desplazamientos de elementos, daños no perceptibles, etc; pero no hay que olvidar la consecuencia más seria, el colapso parcial o total. Este estado de la edificación, puede provocar su pérdida como patrimonio histórico, daños económicos, impacto emocional y el riesgo a la seguridad pública. El terremoto del 18 de marzo de 2023, aunque su epicentro no fue en la provincia del Azuay, tuvo consecuencias como la muerte de una persona causada de manera indirecta por el colapso de una edificación histórica, además de pérdidas económicas; de allí proviene la importancia de realizar intervenciones para reforzar algunos elementos que la conforman, y así aumentar la seguridad pública (Primicias, 2023b). Además, al menos 35 inmuebles patrimoniales de Cuenca sufrieron daños leves y graves a causa del sismo, el equipo técnico del Departamento de Áreas Históricas encontró 198 daños en las 35 edificaciones; de las cuales hay paredes y techos trizados o con grietas, desprendimiento de material o problemas estructurales (Primicias,

2023a).

2.2.Importancia y Alcances

Como es comúnmente conocido de manera nacional, Ecuador y por lo tanto Cuenca, se encuentran en una región sísmicamente activa debido a la presencia del Cinturón de Fuego. Según el estudio realizado por Quezada (2021), acerca de la amenaza y vulnerabilidad sísmica del Centro Histórico de Cuenca, demuestra un alto nivel de amenaza, con una aceleración máxima en roca de 0.25 g para el sismo de diseño, con período de retorno de 475 años. Los grados de daño estructural mostrados en la Figura 1 clasifican el nivel de daño sufrido por una estructura después de un sismo u otra carga, proporcionando una indicación de la extensión del daño. Las categorías son las siguientes:

- Daño Leve: los daños superficiales a la estructura no comprometen la integridad estructural. La estructura sigue siendo segura para su uso, incluso si hay grietas menores en las paredes o techos.
- Daño Moderado: se han observado daños más significativos que pueden afectar la funcionalidad de la estructura. Esto puede incluir grietas más profundas, desplazamientos en componentes no estructurales o daños en la resistencia general de la estructura.
- Daño Severo: el daño es lo suficientemente grave como para que la estructura no pueda soportar la carga. La seguridad estructural puede estar comprometida, y puede ser necesaria una reparación importante o incluso una demolición parcial.
- Daño Muy Severo: la integridad estructural está gravemente comprometida, y la estructura puede volverse inhabitable o incluso colapsar parcialmente.
- Colapso: el colapso total o parcial de una estructura significa la pérdida completa de su integridad.

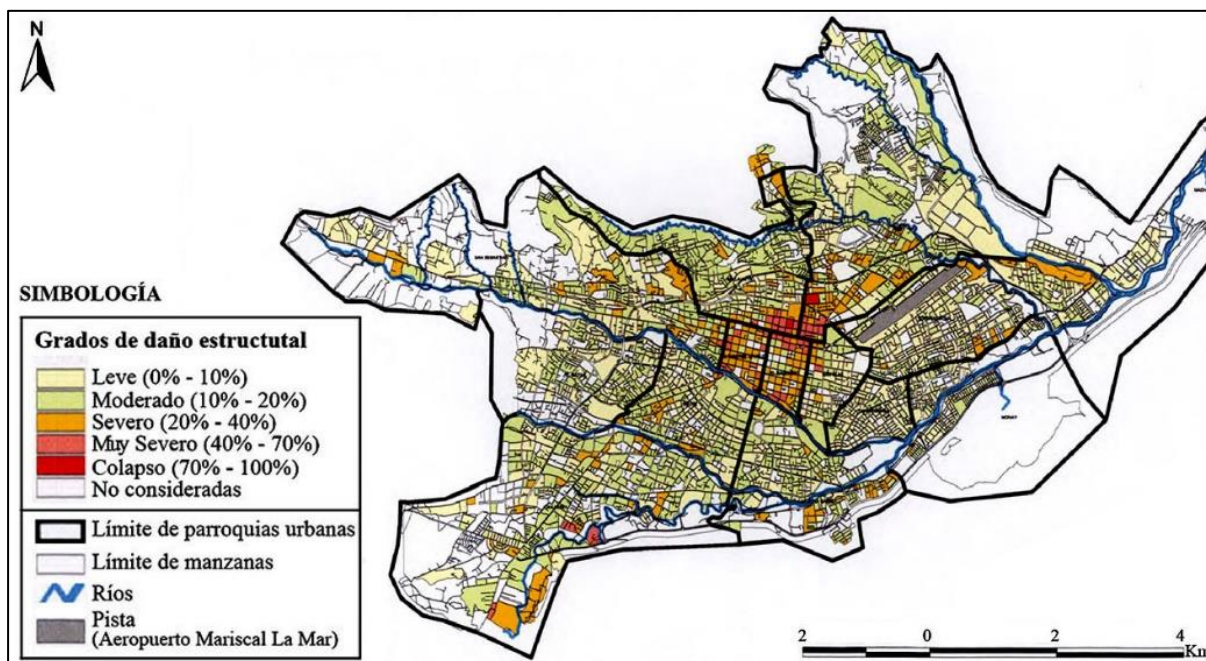


Figura 1.: Mapa de daño correspondiente a un terremoto leve, con aceleración máxima en roca de 0.05g.
 Extraído de (Quezada et al., 2021)

Tomando en cuenta que la Figura 1 se representa mediante la aceleración en roca, se hará uso de la escala de Mercalli expresada en la Tabla 1. El valor de aceleración máxima en roca, siendo este de 0.05g, se compara con los rangos de valores en la columna de aceleración sísmica de la Tabla 1, dando como resultado que la Figura 1 representa un sismo de magnitud 5, según la escala de Mercalli.

Tabla 1: Escala Mercalli relacionada con la aceleración máxima

Escala de mercalli	Aceleración sísmica (g)	Percepción del temblor	Potencial de daño
I	< 0,0017	No apreciable	Ninguno
II-III	0,0017 - 0,014	Muy leve	Ninguno
IV	0,014 - 0,039	Leve	Ninguno
V	0,039 - 0,092	Moderado	Muy leve
VI	0,092 - 0,18	Fuerte	Leve
VII	0,18 - 0,34	Muy fuerte	Moderado
VIII	0,34 - 0,65	Severo	Moderado a fuerte
IX	0,65 - 1,24	Violento	Fuerte
X+	> 1,24	Extremo	Muy fuerte

Con este trabajo se espera contribuir a la preservación de un valioso patrimonio histórico al

proponer métodos efectivos y adecuados de refuerzo sísmico para las estructuras de mampostería en el Centro Histórico de Cuenca, así como también la mitigación del riesgo sísmico y realizar una pequeña contribución técnica. Aportar conocimientos específicos sobre la aplicación de tecnologías de refuerzo sísmico con FRP; puede ser útil no solo en Cuenca, sino también en otras regiones con estructuras similares a la escogida en este trabajo. Esto, por supuesto, favoreciera no solo a la comunidad local y residentes, las organizaciones de preservación podrán tomar este trabajo como una referencia y tomar decisiones sobre estrategias y nuevas iniciativas de refuerzo sísmico dirigido a las edificaciones históricas.

En cuanto a instituciones tales como el Instituto Nacional de Patrimonio Cultural (INCP) y otras entidades encargadas de la conservación del patrimonio histórico, enfrentan el desafío de mantener la integridad de las estructuras patrimoniales ante la amenaza sísmica; pero estas también pueden tener limitaciones presupuestarias y técnicas para implementar programas de refuerzo sísmico a gran escala en el centro histórico. Además, en los sectores tales como el económico y empresarial no están exentos de enfrentar las consecuencias del peligro sísmico, ya que podría afectar negativamente la economía local al disminuir la atracción turística y la viabilidad de los negocios de la zona, de igual manera, el desarrollo inmobiliario se ve afectado ya que los propietarios de las edificaciones históricas enfrentan desafíos al buscar mantener sus propiedades en condiciones seguras y cumplir con regulaciones de preservación patrimonial y códigos de construcción sísmica.

2.3.Delimitación

Cuenca tiene una población de alrededor de 580.000 personas y está situada a una altura de 2.538 metros sobre el nivel del mar. 15.730 hectáreas componen todo su territorio. La zona residencial más antigua se encuentra en el Centro Histórico, que se extiende por 200 hectáreas. Aquí se encuentran la zona arqueológica, los barrios artesanales, los mercados centrales, el

Barranco del Tomebamba con el Paseo 3 de noviembre y varios otros sitios significativos del paisaje y la cultura. Estas características demuestran por qué esta zona fue designada como Ciudad Patrimonio Cultural (Alcaldía de Cuenca, 2023).

El Centro Histórico de Cuenca presenta una variedad de tipologías de edificaciones de mampostería identificadas en el estudio de (Quezada et al., 2021). La clasificación de estas tipologías se basa en el material de las paredes y su grado de confinamiento, lo que proporciona una visión completa de la composición estructural de esta zona histórica. En particular, se identifican cuatro categorías diferentes de estructuras de mampostería, como se detalla en la Figura 2. Estas tipologías ofrecen datos importantes sobre la variedad de materiales y técnicas de construcción utilizados en el desarrollo histórico de la ciudad. El enfoque en las tipologías modernas se centra en la transición hacia el uso de miembros de hormigón armado, lo que representa un cambio significativo en la construcción y está principalmente destinado a reemplazar las estructuras tradicionales de adobe.

Mampostería de adobe (no confinado)



Mampostería de ladrillo (no confinado)



Mampostería de ladrillo con vigas de atado



Mampostería de ladrillo confinado



Figura 2: Tipologías de edificaciones de mampostería. Extraído de (Quezada et al., 2021).

Además, cada una de estas tipologías cuentan con un porcentaje que representa su presencia dentro de la limitación del Centro Histórico y un criterio de reconocimiento, descrito en la Tabla 2.

Tabla 2: Tipologías de las edificaciones de mampostería en el Centro Histórico de Cuenca. Extraído de (Quezada et al., 2021).

Tipologías	Porcentaje (%)	Criterio de reconocimiento
Adobe (no confinado)	40	Muros de adobe en todas las plantas; muros de adobe en la planta baja y bajareque en la planta alta
Ladrillo (no confinado)	20	Muros de ladrillo no confinados en todas las plantas; muros de ladrillo con vigas soleras en la planta alta
Ladrillo con vigas de atado	20	Paredes de ladrillo con vigas de atado en ambas plantas
Ladrillo confinado	20	Muros de ladrillo confinados (con vigas y columnas de amarre) en ambas plantas

Si bien en el Centro Histórico de Cuenca la tipología predominante es la de Adobe (no confinado), se ha optado por elegir la tipología de ladrillo confinado ya que de esa manera se facilita la aplicación de los reforzamientos planteados en este trabajo. Por lo tanto, se ha escogido la edificación cuyos datos se encuentran en la Tabla 7, y se ha cerciorado que esta se encuentre dentro de los límites del centro histórico de Cuenca como lo indica la Figura 3.

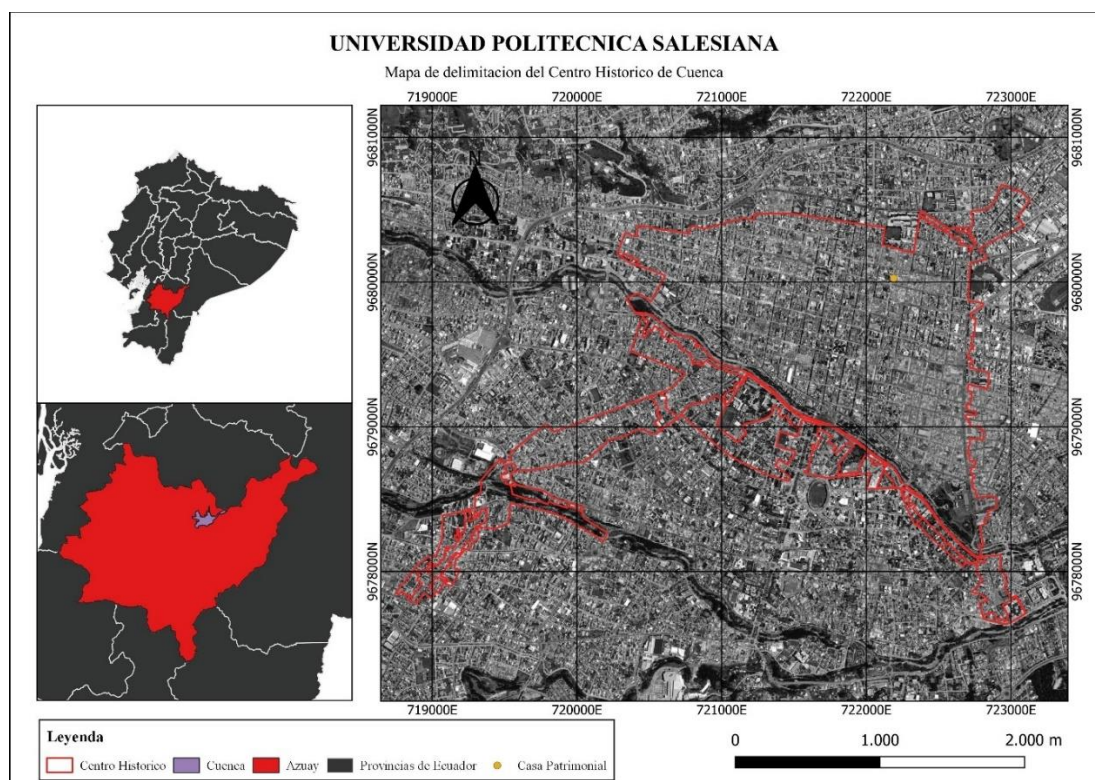


Figura 3: Mapa de delimitación del Centro histórico de Cuenca

3. Objetivos

3.1.Objetivo General

- Analizar el método de refuerzo sísmico de muros usando láminas de FRP y refuerzo con barras FRP para la edificación seleccionada ubicada en el centro histórico de Cuenca, Ecuador, con el fin de preservar su diseño arquitectónico y proteger el patrimonio cultural de la ciudad.

3.2.Objetivos Específicos

- Realizar el modelamiento de la estructura y diseño del reforzamiento con láminas de FRP y barras FRP para un muro de mampostería seleccionado.
- Evaluar la viabilidad y la idoneidad de técnicas tradicionales, como la introducción de barras FRP, y técnicas innovadoras, como el refuerzo de muros a base de láminas de polímero reforzado con fibra (FRP), para el refuerzo sísmico de las edificaciones.

4. Revisión de Literatura o Fundamentos Teóricos

4.1.Mampostería

El autor Páez-M, (2006), en su trabajo define a la mampostería como un grupo de piezas unidas entre sí, haciendo uso de un material como el mortero de barro o cemento; las piezas pueden ser de origen natural (piedras) o artificial (adobe, tabiques, bloques).

La evolución y avances que han sufrido los materiales, técnicas y sistemas de construcción son cada vez más notorias para las personas. Sin embargo, el factor humano sigue siendo de gran importancia en la mampostería, ya que la colocación y el pegado de las piezas de mampostería se las realiza a mano principalmente. Pero también cabe mencionar los nuevos métodos constructivos alternativos que han emergido no hace mucho, siendo la impresión en 3D de viviendas y por tanto mampostería haciendo uso de concreto.

4.1.1. Muros estructurales

Son aquellos que además de resistir cargas verticales (tanto muertas como vivas), estas estructuras son capaces de resistir las fuerzas horizontales provocadas por terremotos o vientos asociados con la construcción. La capacidad de carga de un muro depende de la resistencia de los materiales utilizados, sus proporciones, las condiciones de borde de los elementos estructurales y su capacidad para resistir fuerzas internas (Páez-M, 2006).

4.1.2. Clasificación de la mampostería

En la NEC (2014) se hace referencia a los siguientes tipos de muros de mampostería:

Mampostería reforzada

Es la estructura conformada por piezas de mampostería de perforación vertical, unidas por medio de mortero, reforzada internamente con barras y alambres de acero. El mortero de relleno puede colocarse en todas las celdas verticales o solamente en aquellas donde está ubicado el refuerzo (NEC-SE-MP, 2014).

Mampostería parcialmente reforzada

Es la estructura conformada por piezas de mampostería de perforación vertical, unidas por medio de mortero, reforzada internamente con barras y alambres de acero (NEC-SE-MP, 2014).

Mampostería simple (no reforzada)

Es la estructura conformada por piezas de mampostería unidas por medio de mortero y que no cumplen las cuantías mínimas de refuerzo establecidas para la mampostería parcialmente reforzada (NEC-SE-MP, 2014).

Esta sólo puede utilizarse como sistema de resistencia sísmica en aquellas regiones de amenaza sísmica baja, donde el valor de A_a es menor o igual a 0.05g. Este sistema estructural se clasifica, para efectos de diseño sismo resistente, como uno de los sistemas con capacidad mínima de disipación de energía en el rango inelástico (Páez-M, 2006).

Mampostería de Muros Confinados

La NEC (2014) la define como una estructura formada por piezas de mampostería unidas entre sí mediante mortero, reforzadas con elementos de hormigón armado construidos alrededor del muro o piezas de mampostería especiales logrando un confinamiento a la mampostería. Cuando se utilicen estas piezas especiales, se pueden considerar parte del recubrimiento de los elementos de hormigón armado.

En este tipo de construcción, la mampostería está encerrada o confinada por elementos de hormigón armado de sección transversal relativamente pequeña, como lo indica la Figura 4. La autora Ramírez Quintero (2022) y teniendo en cuenta que México cuenta con la Norma Mexicana de Albañilería (NMA) además de las Normas Técnicas Complementarias para Diseño Sismorresistente (NTCDS), menciona que los elementos que confinan a la mampostería se los denominan castillos y dalas o cerramientos.

Entre las funciones que cumplen los elementos de confinamiento en los muros de mampostería son:

- Dar continuidad a los muros entre sí y a su vez con los sistemas de entrepiso (losas).
- Brindar mayor capacidad de resistencia, de deformación y de disipación de energía ante fuerzas laterales reversibles, como las inducidas por sismo.

Los materiales utilizados para la construcción de estos muros pueden ser piezas macizas o huecas. Por lo general, las piezas macizas demuestran un comportamiento más estable siendo capaces de mantener en mayor medida la resistencia y su capacidad de deformación inelástica frente a fuerzas laterales cíclicas reversibles, lo cual contrasta con el comportamiento de las piezas huecas que, a pesar de presentar una mayor resistencia inicial, una vez que alcanzan su límite esta misma decae considerablemente.

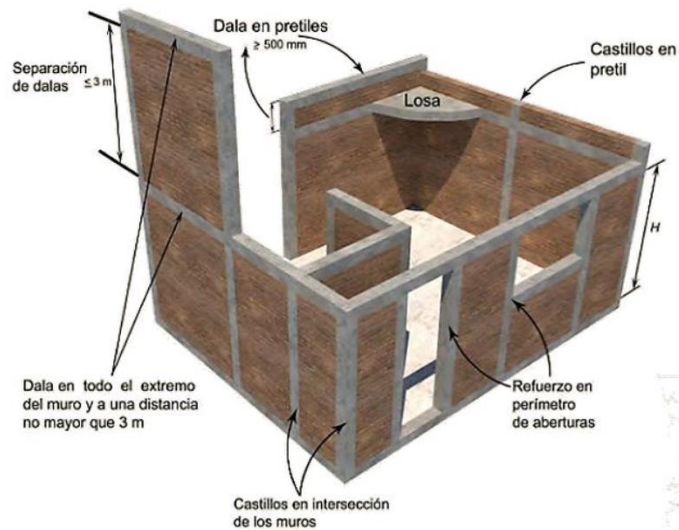


Figura 4: Configuración básica de una estructura de mampostería confinada. Extraído de (Ramírez Quintero, 2022).

4.1.3. Unidades de mampostería

Como se mencionó anteriormente, están clasificadas en dos tipos principalmente: sólidas y huecas. Y estas se subclasifican según el material del que están hechas o su método de fabricación. El autor Quinde (2023) y los otros colaboradores, en su trabajo, mencionan que las normas con las cuales están trabajando regulan tanto su geometría como su resistencia a la compresión. Sin embargo, se tiene una exigencia más estricta con las unidades huecas de perforación vertical, concentrándose en regular el área neta, esto es, el área maciza de la unidad y valores mínimos de resistencia a compresión.

Las unidades sólidas, que tienen un área neta superior al 75% del área bruta, deben tener valores de (f_b) menores a los que se requieren para las unidades perforadas. Esto se debe a que las investigaciones experimentales han demostrado que los muros con este tipo de unidades tienen un mejor comportamiento sísmico que los muros con unidades huecas (Quinde et al., 2023).

Mortero

La resistencia a compresión de la mampostería (f_m) está influenciada por la resistencia a compresión del mortero (f_j) y el espesor de la junta horizontal. Por el contrario, el espesor excesivo de la junta de mortero reduce la resistencia a compresión de la mampostería. Las normas analizadas sugieren dosificaciones que pueden incluir cal hidratada para lograr resistencias a compresión mínimas, dependiendo del tipo de mortero. La (NEC-SE-MP, 2014) especifica los tipos de morteros de pega en términos de dosificación y especifica sus resistencias a compresión; sin embargo, no controla el espesor de la junta horizontal de mortero para alcanzar las resistencias de diseño .

4.1.4. Comportamiento en estructuras con muros de mampostería

El desempeño de las estructuras de mampostería bajo diversas cargas está determinado por su típico comportamiento frágil, donde la resistencia y la rigidez disminuyen rápidamente en ausencia de refuerzo. En estructuras basadas en muros de mampostería se producen fuerzas axiales, fuerzas cortantes y momentos debido a los desplazamientos laterales provocados por fuerzas sísmicas. La combinación de esfuerzos de tracción y corte es la principal causa del daño observado en estas estructuras.

En general, se pueden presentar cuatro tipos de agrietamiento en muros de mampostería:

- a) Inclinado. Debido a esfuerzos de tensión diagonal en las piezas.
- b) En forma de escalera, siguiendo las juntas de mortero. Generado por esfuerzos de corte cuando el mortero es más débil que las piezas.
- c) Horizontal en la base y vertical en las intersecciones con muros transversales, originado por la flexión fuera del plano del muro y el volteo del elemento.
- d) Horizontal en la base del muro, con agrietamiento escalonado característico de una falla por flexión o fuerza cortante por deslizamiento.

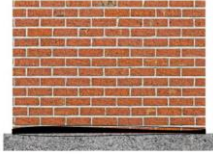
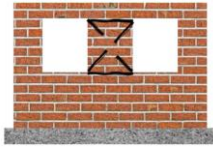
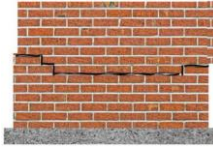
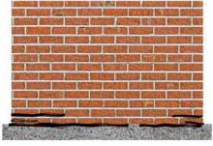
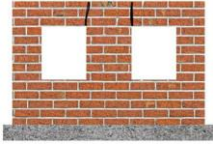
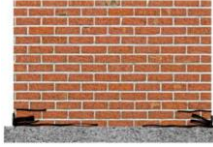
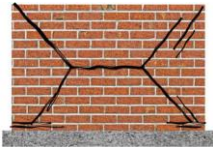
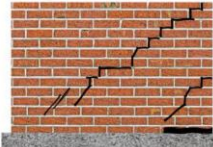
En zonas de alto peligro sísmico, el modo de falla más común asociado a estructuras a base de muros de carga de mampostería es por tensión diagonal o fuerza cortante (Ramírez Quintero, 2022).

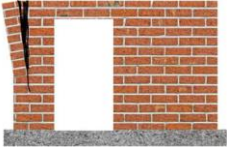
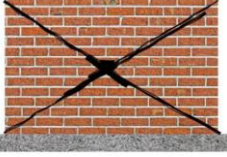
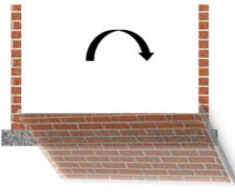

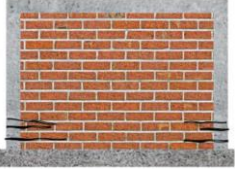
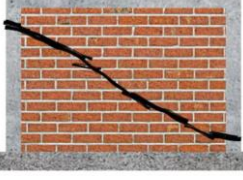
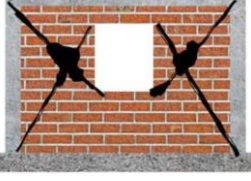
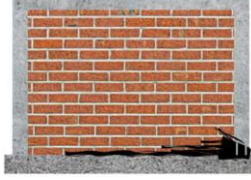
En estructuras de mampostería simple, el comportamiento dista de la mampostería confinada. La mampostería cuenta con una baja capacidad para resistir esfuerzos de tensión al no contar con la presencia de elementos de confinamiento que aporten a la resistencia de fuerzas laterales; las estructuras de este tipo muestran un comportamiento frágil. Una vez que es alcanzada la resistencia, la caída de la resistencia y rigidez es inminente, generando una falla generalmente súbita en sus elementos y componentes. Para el caso de las estructuras de mampostería confinada, se ha realizado una mayor investigación experimental con la finalidad de estudiar el comportamiento de éstas ante eventos sísmicos. De diversos estudios se ha observado que, inicialmente, este tipo de estructuras muestran un comportamiento elástico-lineal ante distorsiones inferiores a las que generan el primer agrietamiento inclinado. Una vez sucedido este agrietamiento se acelera la caída de la rigidez con la presencia marcada de un agrietamiento más generalizado que sigue la dirección de las diagonales de los muros, generando un par de bloques triangulares. Para resistir la fuerza horizontal en los muros se considera la aportación a la resistencia por parte de los castillos ya que generan fuerzas cortantes concentradas en sus extremos. También se considera la aportación de la mampostería debido al efecto de fricción y trabazón entre la superficie de las grietas en las piezas. Una vez que las grietas de los muros se extienden a los extremos de los castillos, el muro llega a su resistencia. Después de alcanzar la resistencia, la estructura experimenta grandes desplazamientos junto a una notable degradación de la resistencia y la rigidez (Ramírez Quintero, 2022).

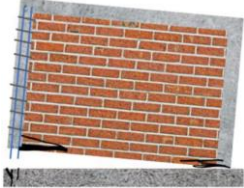

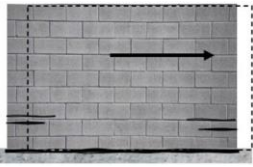
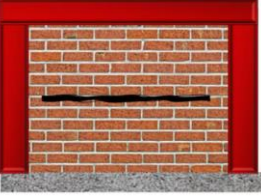
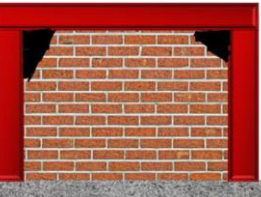
De acuerdo con el Volumen II de la Metodología de Evaluación Post sísmica de la Infraestructura Física Educativa de México (INIFED, 2021b), en la Tabla 3 se describen los

modos de comportamiento asociados a estructuraciones a base de muros de mampostería (Ramírez Quintero, 2022).

Tabla 3: Descripción de modos de comportamiento en muros de mampostería. Extraído de (Ramírez Quintero, 2022).

Modo de fallo	Estructuración	Descripción	Representación grafica
Cabeceo de la cimentación junto con el muro	M. Simple M. Confinada M. Reforzada interiormente	Causada por el desprendimiento de la cimentación debido a la ocurrencia de un sismo. Se muestra agrietamiento horizontal por flexión. Cada vez que el edificio golpea el suelo existe disipación de energía.	
Cabeceo de muros o de segmentos de muros	M. Simple M. Reforzada interiormente	Ocurre posterior al agrietamiento por flexión del segmento de muro, éste adopta un comportamiento de cuerpo rígido, girando alrededor de la punta.	
Cortante por deslizamiento	M. Simple	Deslizamiento del muro a lo largo de las juntas de mortero. El agrietamiento puede ser escalonado u horizontal.	
Deslizamiento del muro en su base	M. Simple	El deslizamiento se da en la base del muro, considerando una pobre o nula conexión con la cimentación.	
Agrietamiento vertical en vigas de acoplamiento	M. Simple	Ocurre cuando la resistencia a flexión en las vigas de acoplamiento que conectan dos muros se alcanza antes que la resistencia a fuerza cortante.	
Cabeceo y aplastamiento de los puntales del muro	M. Simple	Se observa aplastamiento en las esquinas de la mampostería debido al cabeceo del muro.	
Tensión diagonal posterior al agrietamiento por flexión	M. Simple	El agrietamiento comienza en el talón del muro (grieta horizontal), debido a flexión, generando una redistribución de la fuerza cortante hacia la punta del muro, causando una grieta con inclinación a 45 grados.	
Agrietamiento por flexión y aplastamiento de la punta del muro	M. Simple	Inicia con una grieta a flexión en el talón del muro aunado a un deslizamiento en la base. Se origina un agrietamiento inclinado y un aplastamiento y falla local de la mampostería debido a la concentración de fuerza cortante en la punta del muro.	

<p>Agrietamiento vertical en las esquinas</p>	<p>M. Simple</p>	<p>Sucede en la intersección de muros con el sistema de piso, generalmente en las esquinas. Se formación se debe a las demandas en el plano del muro y fuera de él.</p>	
<p>Tensión diagonal pura</p>	<p>M. Simple M. Confinada M. Reforzada interiormente Muros diafragma</p>	<p>Grietas inclinadas (forma de letra X) a través de las piezas y mortero. Las grietas llegan a penetrar las puntas del muro, provocando separación entre los triángulos superior e inferior de este.</p>	
<p>Flexión fuera de plano</p>	<p>M. Simple M. Confinada Muros diafragma</p>	<p>Agrietamiento horizontal en la base y su caída. Puede suceder por desprendimiento del diafragma del sistema de piso del muro.</p>	
<p>Flexión pura</p>	<p>M. Reforzada interiormente</p>	<p>Observable en muros planos (sin patines y de bajo espesor) y esbeltos sometido a grandes desplazamientos fuera del plano.</p>	
<p>Flexión pura</p>	<p>M. Confinada M. Reforzada interiormente</p>	<p>Se destaca por la presencia de grietas horizontales en la mitad inferior de los muros que comienzan en los castillos (en mampostería confinada). Es poco frecuente, sin embargo, es un modo de falla deseable.</p>	
<p>Flexión tensión diagonal</p>	<p>M. Confinada M. Reforzada interiormente</p>	<p>Comienza con la aparición de una grieta horizontal en el talón del muro, seguido por la formación de una grieta a 45 grados (tensión diagonal) que puede llegar a penetrar los castillos. Es un modo de falla común.</p>	
<p>Flexión compresión diagonal</p>	<p>M. Confinada</p>	<p>Se distingue por el aplastamiento de piezas en la parte media y media superior del muro, combinado con un agrietamiento diagonal que penetra los castillos.</p>	
<p>Flexión deslizamiento</p>	<p>M. Confinada M. Reforzada interiormente</p>	<p>Comienza con agrietamiento por flexión en el talón del muro, que posteriormente se extiende en toda la longitud. Ante grandes desplazamientos puede generar aplastamiento local en las primeras hiladas de mampostería.</p>	

Flexión y fallas en anclaje de castillos	M. Confinada	Se observan grietas verticales a la altura del anclaje. Se da por una longitud de desarrollo escasa del acero longitudinal de los castillos respecto a la cimentación.	
Flexión y fallas por adherencia en traslapes	M. Reforzada interiormente	Se generan grietas verticales a la altura de los traslapes del refuerzo, debido a una longitud insuficiente de las barras en la base del muro. Además, se presenta aplastamiento de la mampostería en la punta del muro. Puede generarse cabeceo del muro sobre la cimentación por la falla de adherencia	
Deslizamiento puro del muro en su base	M. Reforzada interiormente	Se presenta poco agrietamiento, generalmente horizontal en la mitad inferior del muro, aplastamiento y desprendimiento de piezas en la primera hilada. El muro presenta un desplazamiento como cuerpo rígido.	
Deslizamiento por cortante a lo largo de las juntas	Muros diafragma	Se genera en muros sin aberturas, ante resistencias bajas de mortero y una relación de aspecto del muro pequeña. Se presenta agrietamiento horizontal a la mitad de la altura del muro, asociado a grandes desplazamientos laterales. Este modo es más común en marcos de acero.	
Aplastamiento en las esquinas	Muros diafragma	El agrietamiento se da en las esquinas extremas del puntal diagonal de los muros debido a una alta concentración de esfuerzos. Ante un aumento en los desplazamientos laterales, el daño se extiende hacia el centro del claro/mitad de la altura de las columnas.	

4.2. Peligro sísmico

En Ecuador se han producido terremotos de gran magnitud que han provocado daños considerables a la población e infraestructura del país. El último terremoto grande se registró el 16 de abril de 2016, de magnitud Mw 7.8, y afectó fundamentalmente a la provincia de Manabí y el sur de la de Esmeraldas. Estos eventos llegan a ser más catastróficos por la calidad de las construcciones, son estas que fracasan al momento del terremoto las causantes de la catástrofe, no el terremoto en sí mismo, los terremotos sacan a la luz las condiciones de vulnerabilidad que

ya existían antes del evento natural (IG, 2024).

4.2.1. Zonificación sísmica y factor de zona Z

Los mapas de peligro sísmico en función y comportamiento, debido a la localización del Ecuador y siendo parte del Cinturón de Fuego, se crearon y tienen la intención de representar de manera gráfica la zonificación sísmica del Ecuador. La Figura 5 realizada y hecha por la Normativa Ecuatoriana de la Construcción (NEC), abarca y se limita a seis zonas sísmicas, caracterizada por el valor del factor de zona Z.

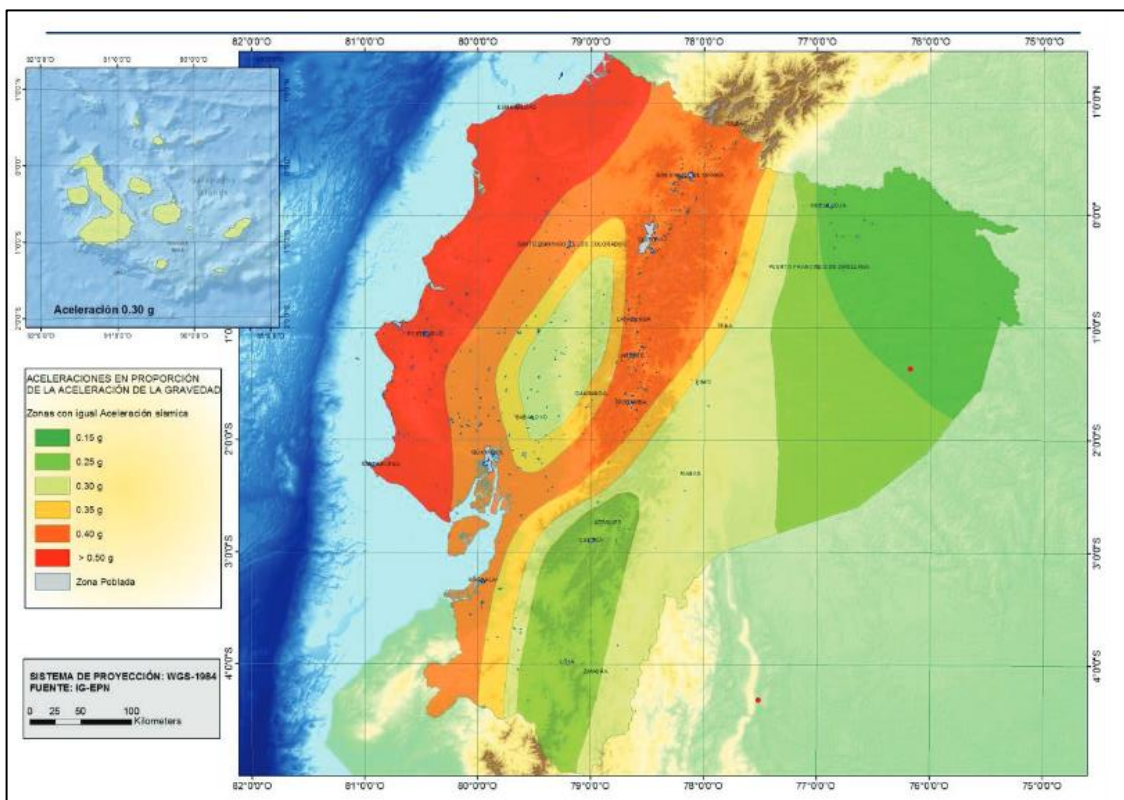


Figura 5: Ecuador, zonas sísmicas para propósitos de diseño y valor del factor de zona Z. Extraído de (NEC-SE-DS, 2014).

La Figura 5 se basa en los hallazgos del estudio de amenaza sísmica, para una superación del 10 % en 50 años (período de retorno 475 años), lo que denota que existe un 10 % de probabilidad de superar su intensidad. La saturación de 0,5 g de valores de aceleración sísmica en roca en la costa ecuatoriana, que caracteriza a la zona IV simbolizada en la Tabla 4, también se incluye en la proyección de 50 años de la Figura 5.

Tabla 4: Valores del factor Z en función de la zona sísmica adoptada. Extraído de (NEC-SE-DS, 2014).

Zona sísmica	I	II	III	IV	V	VI
Valor factor Z	0,15	0,25	0,3	0,35	0,4	≥ 0,5
Caracterización del peligro sísmico	Intermedia	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy Alta

4.2.2. Coeficientes de perfil de suelo F_a , F_d y F_s

a. F_a : Coeficiente de amplificación de suelo en la zona de período corto.

El coeficiente F_a amplifica las ordenadas del espectro de respuesta elástico de aceleraciones para diseño en roca, tomando en cuenta los efectos de sitio (NEC-SE-DS, 2014).

b. F_d : Amplificación de las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos para diseño en roca

El coeficiente F_d amplifica las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos para diseño en roca, considerando los efectos de sitio (NEC-SE-DS, 2014).

c. F_s : Comportamiento no lineal de los suelos

El coeficiente F_s , que consideran el comportamiento no lineal de los suelos, la degradación del período del sitio que depende de la intensidad y contenido de frecuencia de la excitación sísmica y los desplazamientos relativos del suelo, para los espectros de aceleraciones y desplazamientos (NEC-SE-DS, 2014).

1.1.1. Espectro elástico horizontal de diseño en aceleraciones

El espectro de respuesta elástico de aceleraciones S_a contenido en la Figura 6, expresado como fracción de la aceleración de la gravedad, para el nivel del sismo de diseño. El cual es consistente con el factor de zona Z, el tipo de suelo del sitio y los coeficientes de amplificación del suelo (NEC-SE-DS, 2014).

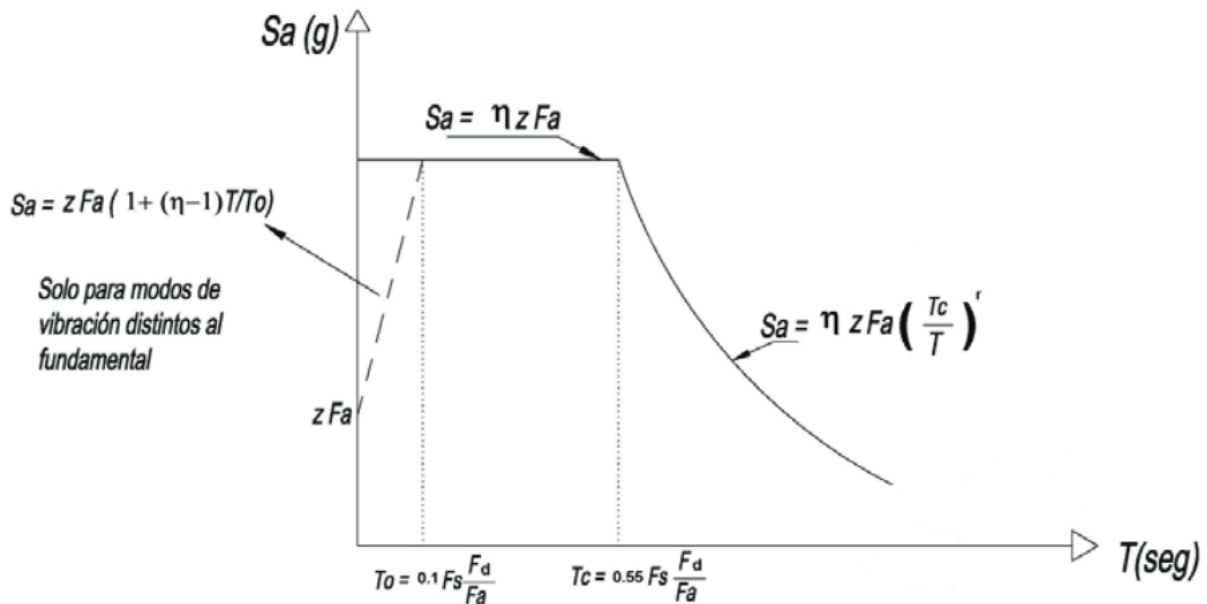


Figura 6: Espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño. Extraído de (NEC-SE-DS, 2014).

Donde:

- n Razón entre la aceleración espectral $S_a(T=0.1 \text{ s})$ y el Peak Ground Acceleration (PGA) para el periodo de retorno seleccionado.
- F_a Coeficiente de amplificación de suelo en la zona de periodo corto.
- F_d Coeficiente de amplificación de suelo. Amplifica las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos para diseño en roca, considerando los efectos de sitio.
- F_s Coeficiente de amplificación de suelo. Considera el comportamiento no lineal de los suelos, la degradación del periodo del sitio que depende de la intensidad y contenido de frecuencia de la excitación sísmica y los desplazamientos relativos del suelo, para los espectros de aceleraciones y desplazamientos.
- S_a Espectro de respuesta elástico de aceleraciones.
- T Periodo fundamental de vibración de la estructura.
- T_0 Periodo límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño.
- T_c Periodo límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño.
- Z Aceleración máxima en roca esperada para el sismo de diseño, expresada como fracción de la aceleración de la gravedad g .

1.1.2. Categoría de edificio y coeficiente de importancia (I)

El factor I tiene la intención de incrementar la demanda sísmica de diseño para estructuras, que por sus características de utilización o de importancia deben permanecer operativas o sufrir menores daños durante y después de la ocurrencia del sismo de diseño, tal como lo indica la Tabla 5 (NEC-SE-DS, 2014).

Tabla 5: Tipo de uso, destino e importancia de la estructura. Extraído de (NEC-SE-DS, 2014).

Categoría	Tipo de uso, destino e importancia	Coefficiente I
Edificaciones esenciales	Hospitales, clínicas, Centros de salud o de emergencia sanitaria. Instalaciones militares, de policía, bomberos, defensa civil. Garajes o estacionamientos para vehículos y aviones que atienden emergencias. Torres de control aéreo. Estructuras de centros de telecomunicaciones u otros centros de atención de emergencias. Estructuras que albergan equipos de generación y distribución eléctrica. Tanques u otras estructuras utilizadas para depósito de agua u otras sustancias anti-incendio. Estructuras que albergan depósitos tóxicos, explosivos, químicos u otras sustancias peligrosas.	1,5
Estructuras de ocupación especial	Museos, iglesias, escuelas y centros de educación o deportivos que albergan más de trescientas personas. Todas las estructuras que albergan más de cinco mil personas. Edificios públicos que requieren operar continuamente	1,3
Otras estructuras	Todas las estructuras de edificación y otras que no clasifican dentro de las categorías anteriores	1

1.1.3. Periodo de vibración

El periodo fundamental de vibrar de un edificio es un parámetro clave para el diseño sísmico de una estructura; en el caso de construcciones existentes es un valor que puede ayudar a determinar las condiciones actuales de seguridad estructural.

El período de vibración aproximativo de la estructura, para cada dirección principal, según la NEC-SE-DS es posible realizar su cálculo mediante 2 métodos sugeridos por la misma. Pero es el primer método el que se puede considerar el más simplificado en comparación con el

segundo.

El valor del periodo de vibración obtenido al utilizar este método y representado con la ecuación (1) es una estimación inicial razonable del período estructural que permite el cálculo de las fuerzas sísmicas a aplicar sobre la estructura y realizar su dimensionamiento.

$$T=C_t h_n^\alpha \quad (1)$$

Donde:

C_t Coeficiente que depende del tipo de edificio

h_n Altura máxima de la edificación de n pisos, medida desde la base de la estructura en metros.

T Periodo de vibración

En función del tipo de estructura, se pueden adoptar los valores adicionales a h_n para realizar el cálculo de T mediante los valores especificados en la Tabla 6.

Tabla 6: Valores a considerar para el periodo de vibración según tipo de estructura. Extraído de (NEC-SE-DS, 2014).

Tipo de estructura	C_t	α
Estructuras de acero		
Sin arriostramientos	0,072	0,8
Con arriostramientos	0,073	0,75
Porticos especiales de hormigon armado		
Sin muros estructurales ni diagonales rigidizadoras	0,055	0,9
Con muros estructurales o diagonales rigidizadoras y para otras estructuras basadas en muros estructurales y mamposteria estructural	0,055	0,75

1.1.4. Cortante basal de diseño (V)

El cortante basal total de diseño, a nivel de cargas últimas, aplicado a una estructura en una dirección especificada, se determinará mediante la ecuación (2).

$$V = \frac{I S_a(T_a)}{R \phi_p \phi_E} W \quad (2)$$

Donde:

$S_a(T_a)$	Espectro de diseño en aceleración
$\phi_p \phi_E$	Coefficientes de configuración en planta y elevación
I	Coefficiente de importancia
R	Factor de reducción de resistencia sísmica
V	Cortante basal total de diseño
W	Carga sísmica reactiva
T_a	Periodo de vibración

1.2. Tecnología FRP

Los refuerzos están hechos de fibras de carbono, vidrio, etc., mientras que los compuestos de matriz polimérica de FRP tienen la matriz generalmente hecha de resina epóxica. Los FRP han sido utilizados desde hace muchos años en los campos aeronáutico, astronáutico y militar debido a su resistencia excepcional. Debido a la notable disminución de los costos, especialmente de las fibras de carbono, debido a su mayor difusión y a la optimización de los procesos productivos, las fibras de carbono se han vuelto más populares en el sector de la construcción. Esto se debe a su facilidad de uso y su peso relativamente bajo, similar al de la tela. El uso de FRP en la construcción está principalmente relacionado con la restauración y el refuerzo de estructuras deterioradas o dañadas, especialmente en el campo sismo resistente.

Los beneficios estructurales de este material incluyen su alta resistencia a la tensión, su resistencia a la corrosión y su bajo costo de instalación y rápida puesta en servicio. Las diferentes clases de materiales de FRP incluyen los siguientes: La fibra orgánica aramida, Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP) y Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) tienen propiedades mecánicas diferentes. La fibra de vidrio tradicional también está disponible en el mercado y se utiliza para múltiples propósitos, como aislar el calor, hacer artesanías y fabricar

componentes para automóviles.

El autor Castillo (2010), en su artículo menciona las ventajas y desventajas del material FRP, y los cuales son más presentes en el campo del refuerzo de elementos de concreto.

Entre las ventajas de los materiales FRP en general se encuentran:

- Inmunidad a la corrosión
- Bajo peso, del orden de la cuarta parte en comparación con el acero
- Facilidad de aplicación en espacios confinados
- Reducción en los costos finales, especialmente de mano de obra
- Resistencia alta a la tensión axial.
- Rigidez que puede adaptarse a las necesidades del proyecto
- Disponibilidad casi ilimitada en tamaños y formas

Sin embargo, este material también tiene sus desventajas tales como:

- Comportamiento lineal hasta la falla, sin deformaciones plásticas, lo que reduce la ductilidad de los elementos
- Costo elevado por peso de material FRP en comparación con el acero
- Coeficientes de expansión térmica incompatibles con el concreto
- Degradación y posterior colapso prematuro de las fibras al ser sujetas a temperaturas elevadas producto del fuego
- Los materiales son propensos a sufrir daños por impacto, vandalismo y/o accidentes debido a que son un refuerzo externo
- Técnicas de diseño empíricas poco desarrolladas y variabilidad de las propiedades de los materiales

1.2.1. Fibra de carbono

Los aceros al carbono son más pesados y menos resistentes que los materiales compuestos

reforzados con fibras de carbono. Su resistencia al desgaste es superior a la de los metales y, cuando se combinan con los polímeros adecuados, son uno de los tipos de materiales más resistentes al deterioro ambiental. Las conductividades térmicas del cobre son tres veces inferiores a las de ciertas fibras hechas de breas, alquitranes de carbón o petróleo, conocidas como fibras pitch.

Por lo general, la fibra de carbono posee las siguientes ventajas en su uso:

- Ligero
- Alta resistencia a la tracción
- Baja expansión térmica
- Durabilidad excepcional
- Resistencia a la corrosión
- Resistente a los rayos ultravioleta.

Aunque, este material tiene sus inconvenientes, ya que es un peligro para las personas durante su manipulación siendo capaces de desprender pequeñas partículas de polvo. Si no se tiene el cuidado adecuado y equipo de seguridad, estas partículas podrían generar irritación en la piel y en las membranas y mucosas del sistema respiratorio. Además, esta fibra se agrietará si recibe un impacto por un martillo. El más importante inconveniente es su costo, ya que el carbono al ser un material excelente y con una demanda que no ha aumentado y por tanto tampoco su producción, hace que su precio no disminuya y se mantenga.

1.2.2. Fibra de aramida

Son de origen sintético y estas se producen por el hilado de poliamidas aromáticas. Tiene una estructura química perfectamente regular que da como resultado las moléculas del polímero con unas propiedades de una cadena razonablemente rígida (Hernández & Ortiz, 2019). Debido a su ligereza, alta resistencia mecánica y alta tenacidad, se ha utilizado en una amplia gama de

industrias, como materiales compuestos, sustitución del asbesto, fabricación de cables y tirantes para sujeción de varios tipos de estructuras, protección antibalística, tejidos y ropa de protección personal. Se puede destacar su baja resistencia a la compresión y la flexión, pérdida de resistencia en presencia de humedad y baja adherencia a las matrices como los termoplásticos. Además, es más costosa que otras fibras.

1.2.3. Fibra de vidrio

Las fibras de vidrio se utilizan con mayor frecuencia en materiales compuestos de matriz polimérica debido a su bajo costo y versatilidad. Estas fibras de alta calidad tienen una serie de características que las convierten en una alternativa a la fibra de vidrio tradicional como se muestra en la Figura 7, y donde también compensan sus costos. Además, descubrieron en un PMC que este material puede ser un reemplazo para otros que se utilizan tradicionalmente en una variedad de aplicaciones.

En el trabajo de investigación de Hernández & Ortiz (2019), recalca que la fibra de vidrio ha evolucionado considerablemente, y que las personas han optado por utilizar esta fibra por las principales ventajas que ofrece, tales como:

- Estructura ligera
- Longevidad
- Capacidad de adaptación
- Eficiencia
- Versatilidad

Pero como las anteriores, esta también tiene sus desventajas, ya que es dañino para las personas y su eficiencia está en función del clima.

Para usar este tipo de material, se debe tener en cuenta las recomendaciones del proveedor, como el uso de gafas, guantes, etc. La resina se compone de dos componentes: A y B. La resina

se usa de la siguiente manera: Se debe mezclar primero el componente A, mientras que el componente B no requiere mezclado. El manual de uso de resina dice que se debe mezclar toda la unidad; no se puede dividir. Después, se debe agregar el componente B al componente A y mezclar completamente durante cinco minutos con un mezclador mecánico de bajas revoluciones (400-600 rpm) hasta que la mezcla sea homogénea. Después de limpiar las impurezas, se aplica la resina con una brocha. Es importante destacar que se utilizó una estructura de 10 centímetros por 10 centímetros y una longitud de 2,44 metros para aplicar la fibra de vidrio. Actualmente, esta estructura se encuentra frente a los laboratorios de Química de la Universidad de las Fuerzas Armadas. ESPE. Finalmente, se debe emparar la fibra de vidrio y aplicar presión con la brocha para pegarla al objeto, asegurándose de que no haya espacios entre las superficies. Se deben seguir las recomendaciones del fabricante y tomar todas las precauciones pertinentes. Se dice que el tiempo de contacto es de noventa minutos. Después de este tiempo, la mezcla comienza a producir vapor, aumentar la temperatura y finalmente se vuelve una masa sólida.



Figura 7: Fibra de vidrio tradicional. Extraído de (Cevallos Oña, 2014)

1.3.Refuerzo con barras

El refuerzo es una parte de la mampostería y se requiere en una variedad de situaciones y

condiciones, por lo que el diseñador debe definir su tipo y cantidad. Por lo general, se colocan dos tipos de refuerzo: de funcionamiento y de sollicitación. El primero permite que el sistema funcione como tal (conexiones entre muros o en elementos de bloque sin traba, etc.); el segundo cumple con la función estructural de absorber esfuerzos de tracción, compresión y cortante, entre otros. Es necesario que el mortero se embebe en los diferentes tipos de refuerzo para que pueda transmitir los esfuerzos entre las unidades de mampostería y el refuerzo y viceversa, así como para protegerlo de las condiciones climáticas adversas.

1.3.1. Refuerzo con barras verticales

El primer refuerzo vertical, conocido como dovelas de empalme, está compuesto por barras con los diámetros especificados por el diseñador estructural. Se deben colocar en su lugar antes de vaciar las vigas de fundación y verificar con cuidado que no se encuentren en el plano estructural. Para traslaparse con la barra superior, todas las barras posteriores deberán sobresalir la longitud de empalme especificada por el diseñador estructural de la superficie de la fundación, como se puede observar en la Figura 8.

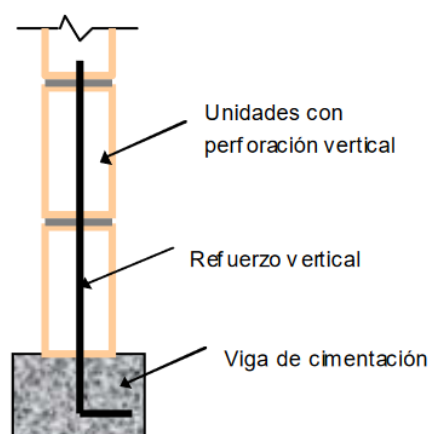


Figura 8: Anclaje de las barras de refuerzo. Extraído de (Daza, 2004).

1.3.2. Refuerzo con barras horizontales

A medida que se construye un muro, se debe colocar un refuerzo horizontal de acuerdo con las instrucciones del diseñador estructural para ayudar a controlar las fisuras por contracción del

muro, como se muestra en la Figura 9. Para que quede embebido en la junta de pega, sus diámetros deben ser menores que el espesor de la misma. La escalera, la celosía, la malla y el alambazón son los tipos de refuerzo horizontal más comunes, y se recomienda que se utilicen en mampostería estructural para evitar taponar las celdas que llevan mortero y refuerzo. de inyección, como retículas de malla electrosoldadas, escaleras y alambres. Los dos últimos deben modularse para que coincidan con los tabiques de los bloques.

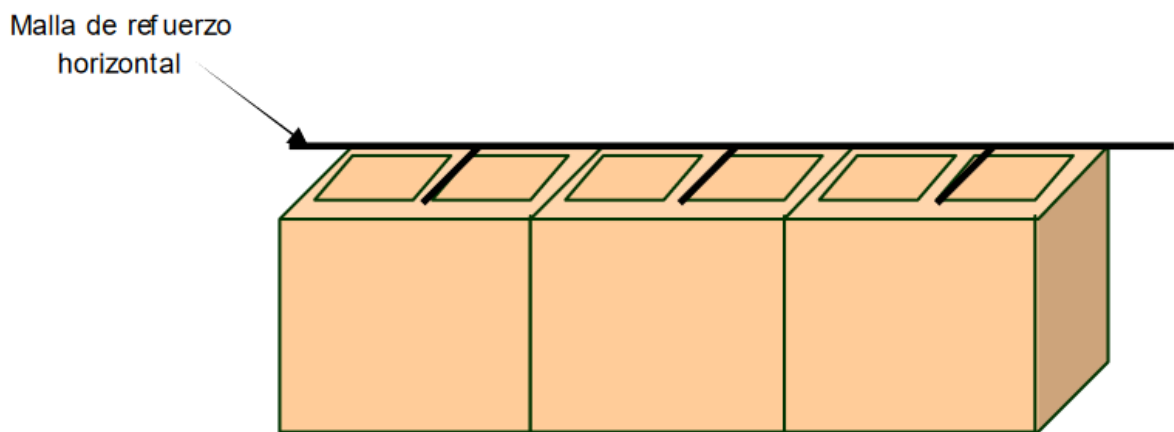


Figura 9: Tipos de refuerzo horizontal. Extraído de (Daza, 2004).

Las vigas horizontales pueden tener refuerzos de mayor diámetro que el anterior, que se embeben en mortero de inyección y se utilizan separadores para evitar que las barras descansen sobre la superficie del bloque.

2. Marco metodológico

Considerando una vivienda de la cual se desea extraer su comportamiento frente a un sismo, para de esa manera extraer las cargas las cuales afectan a los muros de mampostería, tales como: Momentos, Carga axial y Cortantes. Estos datos serán de gran importancia para el diseño del refuerzo con FRP y barras FRP.

La vivienda será modelada teniendo en cuenta toda su superestructura, la cual es la porción de una edificación que se construye sobre el nivel del suelo y sirve al propósito del uso previsto de la estructura, esta incluye: Pisos, techos, columnas, vigas, losas, entre otros. Por tanto, y

teniendo en cuenta el análisis dinámico no lineales que plantea la Guía práctica para evaluación sísmica y rehabilitación de estructuras NEC (2015), se hará uso de manera conjunta la guía mencionada junto con la NEC-SE-DS (2014). Para realizar un modelado adecuado de la estructura, se tomó la guía de la grabación perteneciente a Jose Daniel Luna Macias (2021) donde trata el modelamiento de una estructura de mampostería confinada. Además, también se tendrá en cuenta la guía de la grabación de Mario Amaguaya (2020), donde trata el análisis estructural en cumplimiento con la NEC-SE-DS (2014).

2.1. Definición de vivienda

En función del trabajo realizado por Quezada (2021), se hizo la selección de una vivienda de tipo ladrillo confinado que representa como indicaba la Tabla 2 el 20% de las edificaciones dentro del área de estudio indicada en la Figura 11. También, dentro del mismo trabajo proporciona datos como fachadas, plantas y una breve descripción de las edificaciones típicas de ladrillo, y que a partir de su fachada indicada en la Figura 10 se ubicó una vivienda que presentaba una fachada similar, cuya ubicación se indicó anteriormente en la Figura 3.

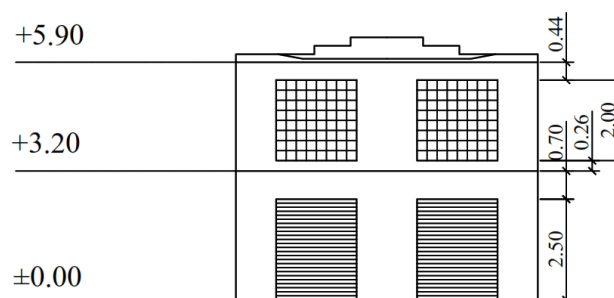


Figura 10: Fachada de vivienda. Extraído de (Quezada et al., 2021).

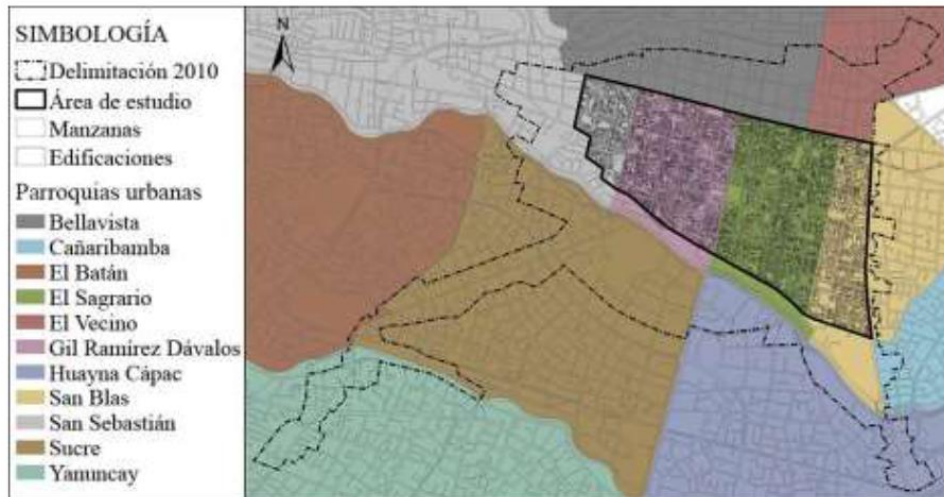


Figura 11: Área de estudio para el patrimonio edificado del centro histórico de Cuenca. Extraído de (Quezada et al., 2021).

Considerando lo mencionado anteriormente, se tuvo que tomar un punto más para la selección, la cual está relacionada con el perfil de suelo de la zona que está definido por la estación acelerográfica más cercana. Tomando como punto de partida las estaciones mostradas en la Tabla 15, de las edificaciones candidatas se seleccionó la más cercana.

Vivienda

Se escogió la vivienda del señor Gil Jara Fulton Robert para realizar el diseño de los refuerzos para mampostería, donde esta se la puede ubicar mediante la Figura 3 anteriormente mostrada. Además, en la Tabla 7 se muestra la información correspondiente de la vivienda extraída del geportal web del gobierno autónomo descentralizado (GAD) municipal de Cuenca.

Tabla 7: Información de vivienda

Predio Urbano/Clave	0201024028000
Área de terreno	662.48
Coordenadas (UTM)	17M 722192 9680019
Dirección	Hermano Miguel 13-54

Se debe mencionar que al haberse presentado problemas de tiempo e inconvenientes para una reunión presencial y obtener el permiso del propietario para el ingreso y toma de datos, se hizo uso de los planos proporcionados por el trabajo de Quezada (2021), plasmados en la Figura 12.

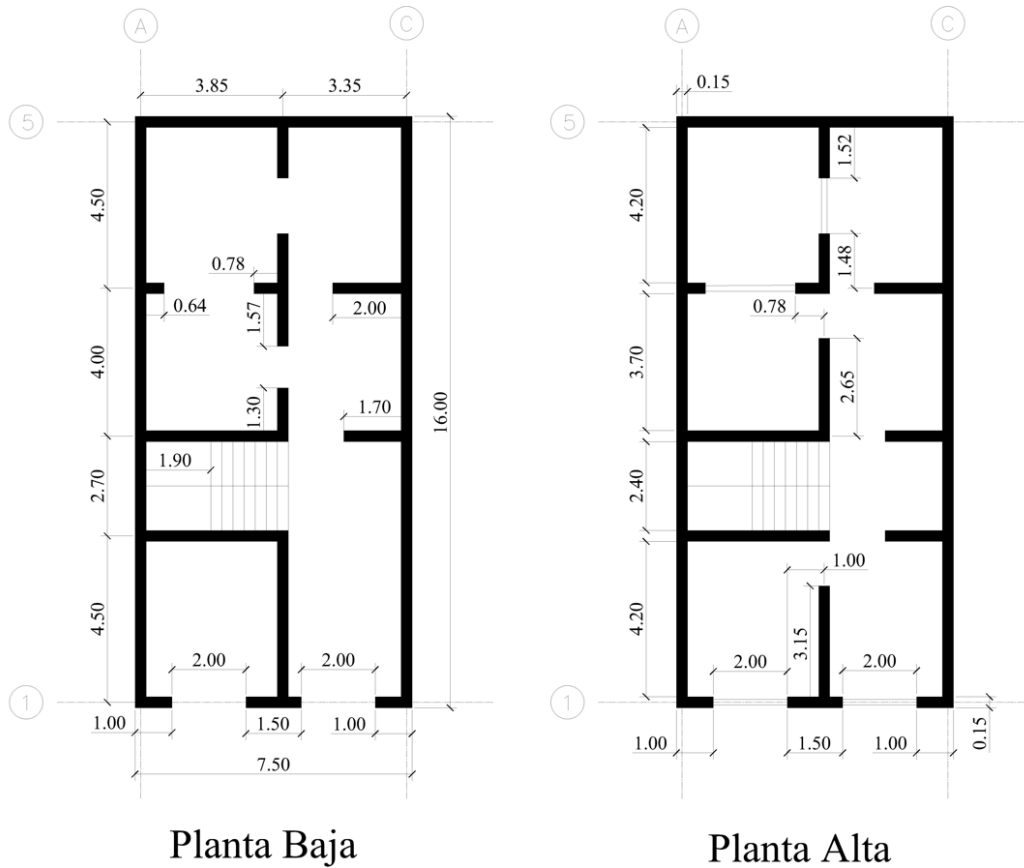


Figura 12: Vistas en planta de la vivienda. Extraído de (Quezada et al., 2021).

2.2. Datos para modelado

2.2.1. Materiales

Para la obtención del módulo de elasticidad, se debe tener con anterioridad la resistencia a compresión del material. Siendo el caso de este trabajo, se tuvo que optar por la adopción de valores provenientes del ensayo realizado por Ortega & Sisalima (2019), el cual consiste esencialmente en el uso del esclerómetro. Este es un instrumento utilizado para la medir la dureza superficial del concreto, que consiste en un dispositivo portátil que tiene un penetrador de punta dura que presiona contra la superficie. Esta medición proporciona una indicación de la calidad y resistencia del material, siendo útil para evaluar la durabilidad y la capacidad estructural de una estructura.

El procedimiento del ensayo, lo describen los autores anteriormente mencionados, el cual

explican mediante un conjunto de procedimientos, explicados a continuación:

1. Para realizar el ensayo, solicite el permiso correspondiente en las casas.
2. Averiguar donde la superficie del material a ensayar sea lisa.
3. Utilizar el cilindro de hormigón para limpiar la superficie de la muestra.
4. Realizar dos cuadrículas de 5x5 en el material con veinticinco puntos cada una y una separación mínima de 25 mm.
5. Se debe colocar el esclerómetro en los puntos conformados por la cuadrícula de forma perpendicular, luego empujarlo contra la pared de forma que se libera un resorte.
6. Empujar lentamente el instrumento hacia la superficie de la prueba mientras se presiona el botón de bloqueo. Esto produce un impacto (rebote) contra la superficie del material.
7. La respuesta del rebote se lee en una escala de 10 a 100, cuyo dato es adimensional.
8. Después de encontrar el valor del rebote y la posición del esclerómetro obtenidos en la Figura 13, observamos dónde se interseca y de esa manera obtendremos el valor de la resistencia a la compresión del material, siendo el eje x el rebote y el eje de las y el valor de f'_c .

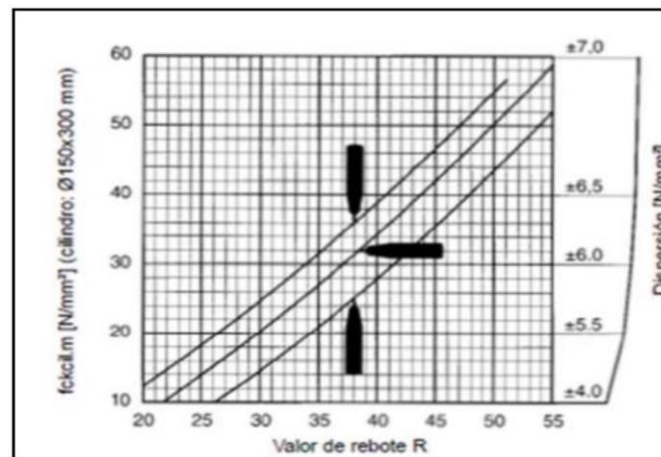


Figura 13: Curvas de conversión para el ensayo con el esclerómetro. Extraído de (Ortega & Sisalima, 2019).

Además, se menciona que, para una mayor exactitud, tomaron 50 puntos para cada material y de los cuales se calculó y extrajo un promedio, valor mostrado en la Tabla 8.

En el caso de la mampostería y su resistencia a la compresión, se ha optado por el uso del trabajo de Sánchez Camana (2017) en el cual tiene como propósito analizar y comparar la resistencia a la compresión de las paredes de mampostería tradicional vs la de material reciclado PET (polyethylene terephthalate). En este trabajo propusieron como población y muestra 6 modelos de tipo mampostería, de la cual se elaboraron 3 muestras de cada modelo y se usara como mampuesto el ladrillo común y las botellas PET, además para el confinamiento de muestras se utilizó malla de tumbado y otros elementos. Una vez realizado el ensayo a compresión para la mampostería se hizo un promedio de las 3 muestras de mampostería tradicional con bloques macizos, siendo su valor de resistencia a la compresión el expuesto en la Tabla 8.

Para calcular el módulo de elasticidad, se apegó a la ecuación proporcionada por la (American Society of Civil Engineers, 2007). Para obtener el módulo de elasticidad para una mampostería de arcilla es mediante la ecuación (3).

$$E_m = 550 f'_m \quad (3)$$

Donde:

E_m Módulo de elasticidad de la mampostería

Para calcular el módulo de elasticidad del hormigón, se hace uso de la NEC (2014) la cual proporciona la ecuación (4).

$$E_c = 4.7 \cdot \sqrt{f'_c} \quad (4)$$

Donde:

E_c Módulo de elasticidad para el hormigón (GPa)

f'_c Resistencia a la compresión del hormigón (MPa)

Con respecto al coeficiente de poisson (ν) y la densidad (ρ) de los materiales, se tomaran los

datos proporcionados por Ortega & Sisalima (2019), los cuales han realizado una pequeña encuesta acerca de los valores típicos para el hormigón y ladrillo, en base a la experiencia de ingenieros estructurales de Cuenca, siendo estos los contenidos en la Tabla 8.

Tabla 8: Propiedades de elementos estructurales

	Columnas	Vigas	Losa	Mampostería
Resistencia a la compresión, f'_m	-	-	-	46,43 kg/cm ²
Resistencia a la compresión, f'_c	30,68 Mpa	30,68 Mpa	30,68 Mpa	-
Modulo de elasticidad, E	26,033 Gpa	26,033 Gpa	26,033 Gpa	25536,5 kg/cm ²
Relación de poisson, ν	0,2	0,2	0,2	0,1
Peso volumétrico, ρ	2400 kg/m ³	2400 kg/m ³	2400 kg/m ³	2000 kg/m ³

Con respecto a las dimensiones de los elementos estructurales a modelar mostrados en la (tabla 9), se ha tomado las dimensiones del trabajo realizado por Ortega & Sisalima (2019).

Tabla 9: Dimensiones de elementos estructurales

	Columnas	Vigas	Losa (maciza)	Mampostería
Dimensiones (cm)	20 x 15	15 x 18	-	-
Espesor (cm)	-	-	10	15

La American Society of Civil Engineers (2007), además contiene valores los cuales se usaran para el diseño del refuerzo de muros de mampostería en función del estado del muro, el cual es de un estado regular, siendo los valores los mostrados en la Tabla 10.

Tabla 10: Propiedades de mampostería por defecto y estado. Extraído de (American Society of Civil Engineers, 2007).

Propiedad	Estado de mampostería		
	Bueno	Regular	Mala
Resistencia a la compresión f'_m	900 psi	600 psi	300 psi
Modulo elástico en compresión	550 f'_m	550 f'_m	550 f'_m
Resistencia la tracción por flexión	20 psi	10 psi	0

2.2.2. Cargas y acciones consideradas

Las cargas que serán consideradas en la estructura serán acorde a la NEC-SE-CG (2014), donde las cargas muertas se encontraran en función de los pesos unitarios de materiales de

construcción, mientras que las cargas vivas serán de acuerdo a las sobrecargas mínimas.

Losa de entrepiso

En las cargas que se consideraron para el entrepiso, se tomaron los valores dados por la NEC-SE-CG (2014), tanto para la carga muerta y viva, presentadas en la Tabla 11.

Tabla 11: Cargas consideradas en losa de entrepiso. Extraído de (NEC-SE-CG, 2014).

G. Contrapisos y recubrimientos	kN/m²
Baldosa de cerámica, con mortero de cemento: por cada cm, de espesor	0,2
Residencias	
Viviendas (Unifamiliares y bifamiliares)	2

Carga muerta: 0.2 kN/m²

Carga viva: 2 kN/m²

Losa azotea

En la azotea, se consideró para la carga viva lo indicado en la NEC-SE-CG (2014), pero para la carga muerta se tomó como valor de la carga muerta lo mencionado en el trabajo de Ortega & Sisalima (2019).

Tabla 12: Cargas consideradas en losa de azotea. Extraído de (NEC-SE-CG, 2014).

Material	kg/m²
Teja de 3 cm	60
Cubiertas	kN/m²
Cubiertas planas, inclinadas y curvas	0,7

Carga muerta: 60 kg/m²

Carga viva: 0.7 kN/m²

Descanso y Escaleras

Las cargas consideradas serán las indicadas en la Tabla 13, esta escalera será una de tipo en U. El descanso se refiere a un espacio intermedio entre dos tramos de escaleras, que permite un cambio de dirección en la escalera o proporciona espacio para descansar entre subidas o bajadas prolongadas, y la cual se puede observar en la Figura 14.

Tabla 13: Cargas consideradas en descanso y escaleras. Extraído de (NEC-SE-CG, 2014).

G. Contrapisos y recubrimientos	kN/m²
Baldosa de cerámica, con mortero de cemento: por cada cm, de espesor	0,2
Residencias	
Viviendas (Unifamiliares y bifamiliares)	2

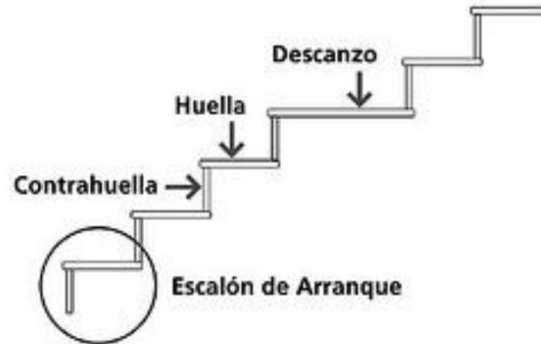


Figura 14: Descripción de las partes de una escalera. Extraído de (Peldanea, 2017).

Carga muerta: 0,2 kN/m²

Carga viva: 2 kN/m²

2.2.3. Acciones de sismo

Para realizar el modelamiento dinámico, es necesario definir y especificar ciertos factores que se han mencionado anteriormente.

El factor Z se ha definido usando la normativa de peligro sísmico (NEC-SE-DS, 2014). Siendo su valor presentado en la Tabla 14.

Tabla 14: Factor de zona para Cuenca. Extraído de (NEC-SE-DS, 2014).

Población	Parroquia	Cantón	Provincia	Z
Cuenca	Cuenca	Cuenca	Azuay	0,25

Mientras que el tipo de suelo presente en la zona de estudio se definió haciendo uso del trabajo realizado por Bermeo Moyano (2016), el cual plasma en una tabla los perfiles de suelo que hay en diferentes estaciones, y entre ellos el más cercano a la vivienda de estudio es la estación del Registro Civil, siendo su perfil de suelo B, y contenido en la Tabla 15.

Tabla 15: Estaciones acelerográficas de la red sísmica del austro (RSA) con ubicación u tipo de perfil de suelo. Extraído de (Bermeo Moyano, 2016).

Estación	Ubicación			Perfil de suelo
	Latitud (°)	Longitud (°)	Altura (msnm)	
Universidad de cuenca	-2,8981	-79,0074	2480	B
Registro civil	-2,9003	-78,9996	2532	B
Miraflores	-2,8816	-78,9909	2541	C
Chanlud base	-2,6747	-79,0392	3350	A
Presa D.P. base	-2,5955	-78,5647	1835	A
Mazar base	-2,5938	-78,6227	2120	A

Mediante los valores fundamentales como el perfil de suelo y el factor de zona, se pueden obtener los coeficientes F_a , F_d y F_s mediante el uso de las tablas contenidas en la NEC-SE-DS (2014). El coeficiente I , considerando la estructura actual, no se encuentra dentro de las edificaciones esenciales o las estructuras de ocupación especial, por lo tanto, su valor es de 1. El factor r se da en función del tipo de perfil de suelo, siendo 1 el valor que representa todos los suelos a excepción del suelo tipo E. El factor n viene dado por la región del Ecuador, siendo para la región Sierra un valor de 2.48, y para el factor R se ha escogido un valor de 8 ya que para regiones sísmicamente activas a menudo requiere un valor más alto para garantizar una mayor resistencia. En virtud de lo expuesto anteriormente, se presenta la Tabla 16.

Tabla 16: Valores de espectro de aceleración para zona de estudio

Tipo de suelo	B	
Factor de zona	Z	0,25
Coefficiente de importancia	I	1
Coefficiente de amplificación de suelo en la zona de periodo corto	F_a	1
Amplificación de las ordenadas del espectro elastico de respuesta de desplazamientos para diseño en roca	F_d	1
Comportamiento no lineal de los suelos	F_s	0,75
Factor usado en el espectro de diseño elastico	r	1
Razon entre la aceleracion espectral y el PGA	n	2,48
Factor de reduccion de resistencia sismica	R	8

2.2.4. Combinaciones de carga

En Ecuador se cuenta con la NEC-SE-CG (2014), la cual nos proporciona las combinaciones básicas, mencionando lo siguiente: “Cuando sea apropiado, se deberá investigar cada estado límite de resistencia. Los efectos más desfavorables, tanto de viento como de sismo, no necesitan ser considerados simultáneamente. Las estructuras, componentes y cimentaciones, deberán ser diseñadas de tal manera que la resistencia de diseño iguale o exceda los efectos de las cargas incrementadas”.

Combinación 1

$$1.4D \quad (5)$$

Combinación 2

$$1.2D+1.6L+0.5 \max[L_r;S;R] \quad (6)$$

Combinación 3

$$1.2D+1.6 \max[L_r;S;R]+ \max[L;0.5W] \quad (7)$$

Combinación 4

$$1.2D+ 1.0W+L + 0.5 \max[L_r;S;R] \quad (8)$$

Combinación 5

$$1.2D+1.0E+L+0.2S \quad (9)$$

Combinación 6

$$0.9D+1.0W \quad (10)$$

Combinación 7

$$0.9D+1.0E \quad (11)$$

Donde:

D	Carga permanente
E	Carga de sismo
L	Sobrecarga (carga viva)
L _r	Sobrecarga cubierta (carga viva)
S	Carga de granizo
W	Carga de viento

Pero en vista que se está realizando el reforzamiento de una vivienda, y por tanto se puede considerar que se está realizando la rehabilitación de la misma. Entonces, es preferible optar por las combinaciones especiales de cargas que nos proporciona la Guía práctica para evaluación sísmica y rehabilitación de estructuras NEC (2015). Para efectos de rehabilitación, la NEC-SE-RE expresa que las acciones gravitacionales y sísmicas se combinan de manera diferente a la utilizada en el diseño porque se considera el método de esfuerzos admisibles. Se debe elegir la combinación que tenga el mayor impacto negativo en la estructura entre las ecuaciones (12) y (13).

$$1.1 D+0.275 L+1 E \quad (12)$$

$$0.9 D+0.225 L+1 E \quad (13)$$

2.2.5. Peso sísmico

El peso sísmico de una estructura es la fuerza que un sismo ejerce sobre ella, y esta fuerza depende del peso que posea la estructura, siendo que cuanto más pesada sea, más fuerza experimentara durante un sismo.

En la NEC (2015), se trata este tema y menciona que para el cálculo del peso sísmico P se debe considerar la ecuación (14) para lugares donde no es usual la aglomeración de personas, mientras que la ecuación (15) es preferible usar para lugares donde es usual la aglomeración de personas, siendo la ecuación (14) la que mejor se adapta a este trabajo.

$$D+0.25L \quad (14)$$

$$D+0.5L \quad (15)$$

2.3. Modelamiento de vivienda

Como se mencionó anteriormente, se tomó la guía de la grabación perteneciente a Jose Daniel Luna Macias (2021) donde trata el modelamiento de una estructura de mampostería confinada. En adición, también se tendrá en cuenta la guía de la grabación de Mario Amaguaya (2020), donde trata el análisis estructural en cumplimiento con la NEC-SE-DS (2014).

Para el modelamiento se hizo uso del programa ETABS, un programa de software ampliamente utilizado en ingeniería estructural para el análisis y diseño de estructuras, siendo una de sus características el análisis de la interacción que tiene la estructura con el suelo. La vivienda modelada está representada en la Figura 15.

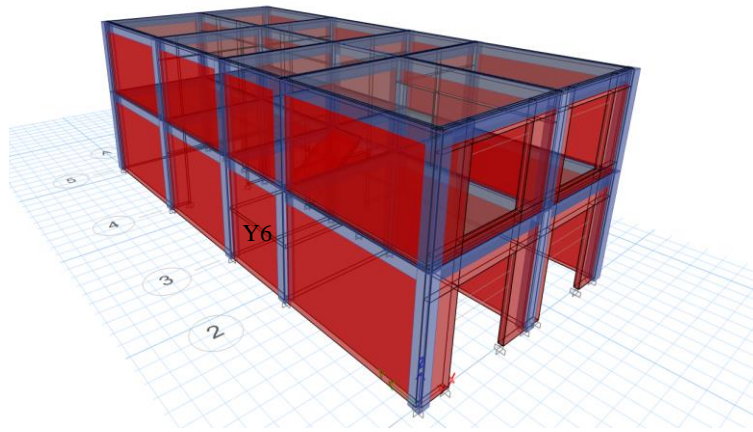


Figura 15: Modelado de edificación de estudio en software ETABS.

Los resultados obtenidos del modelamiento son valores como: momento, fuerza cortante y fuerza axial de los muros de mampostería, mostrados en la Tabla 21; los cuales son esenciales ya que, dentro del procedimiento de diseño de este trabajo, son los cuales definen si es o no necesario el reforzamiento.

2.4.Método de diseño para reforzamientos en muros de mampostería

La American Concrete Institute (2010), proporciona pautas sobre cómo diseñar y construir sistemas de refuerzo que utilizan materiales compuestos de fibra de polímero reforzado (FRP) aplicados externamente en estructuras de concreto.

La norma aborda temas como el diseño de la estructura, la preparación de la superficie, la instalación de refuerzos de fibra de carbono, la inspección y la evaluación de la efectividad del refuerzo. Los ingenieros estructurales y los profesionales en el campo utilizan esta guía para realizar refuerzos efectivos en estructuras de concreto utilizando materiales compuestos de FRP.

2.4.1. Limitaciones de uso para el FRP

Dentro de las limitaciones se encuentra que el FRP es aplicable para muros de mampostería huecos como macizos, y estos a su vez tienen que estar dentro de las limitaciones dadas por la American Concrete Institute (2010) con respecto a los espesores de la mampostería.

Dependiendo principalmente del espesor del muro, se considera si es necesario o no emplear el refuerzo mediante FRP como indica la Tabla 17.

Tabla 17: Limitaciones de uso para FRP. Extraído de (American Concrete Institute, 2010).

Tipo de mampostería	Construcción de muros	Disposición de refuerzo FRP
Muros de mampostería hueco (Bloques huecos)	$t = 8$ in. (200 mm) o menos (sin grout)	Refuerzo FRP en una cara del muro es aceptable
	$t = 8$ in. (200 mm) o menos (con grout)	Refuerzo FRP en dos caras del muro es requerido
	$t = 10 - 12$ in. (250 - 300 mm) (sin grout)	Refuerzo FRP en dos caras del muro es requerido
	$t = 10 - 12$ in. (250 - 300 mm) (con grout)	Refuerzo FRP no es recomendado
Muro de mampostería macizo (Bloques macizos)	$t = 4$ in. (100 mm) o menos	Refuerzo FRP en una cara del muro es aceptable
	$t = 8$ in. (200 mm) o menos	Refuerzo FRP en dos caras del muro es requerido
	$t > 8$ in. (200 mm)	Refuerzo FRP no es recomendado

Siendo el caso de este trabajo al tratarse de un muro de mampostería de 15 cm indicado anteriormente en la Tabla 9, es necesario refuerzo FRP en dos caras del muro.

2.4.2. Diseño a flexión

Como indica la ecuación (16), la resistencia a flexión del muro reforzado con FRP debe superar el momento factorizado para calcular la resistencia.

$$\phi M_n \geq M_u \quad (16)$$

Se recomienda el uso de un factor de reducción de resistencia (ϕ) de 0,6 para los muros Unreinforced Mansory (URM) sometidos a carga de flexión, carga axial o una combinación de ambas, según la norma ACI 530. La ductilidad reducida y la posibilidad de falla frágil de los

muros reforzados con polímero de fibra de vidrio justifican el uso de un factor ϕ URM.

Los límites de fortalecimiento deben tenerse en cuenta en dos situaciones. Estos casos requieren muros de hormigón que resistan cargas dentro y fuera del plano, siendo respectivamente las ecuaciones (17) y (18).

$$(\phi R_n)_{\text{existente, fuera del plano}} \geq (0.9D + 1.0H)_{\text{nuevo}} \quad (17)$$

$$(\phi R_n)_{\text{existente, dentro del plano}} \geq (0.9D + 1.0W)_{\text{nuevo}} \quad (18)$$

A menos que se indique lo contrario, las propiedades de los materiales indicadas por el fabricante del sistema, como la resistencia a la tracción, no suelen tener en cuenta la exposición a condiciones ambientales a largo plazo, por lo que deben considerarse las propiedades iniciales. Las propiedades de los materiales utilizados en las ecuaciones de diseño deben reducirse debido a que la exposición a largo plazo a diferentes tipos de entornos puede reducir las propiedades de tracción, la resistencia a la rotura por fluencia y la fatiga de los laminados de FRP. Los factores de reducción son expresados en la Tabla 18.

Tabla 18: Factores de reducción medioambientales para condiciones de exposición. Extraído de (American Concrete Institute, 2010)

Condiciones de exposicion	Tipop de fibra	Factor de reduccion medioambiental C_E
Exposicion interior	Carbon	0,95
	Vidrio	0,75
	Aramida	0,85
Exposicion exterior	Carbon	0,85
	Vidrio	0,65
	Aramida	0,75
Exposicion agresiva	Carbon	0,85
	Vidrio	0,5
	Aramida	0,7

El factor de reducción medioambiental C_E se utiliza para determinar la resistencia a la tracción de diseño presentada en la ecuación (19) para el tipo de fibra y las condiciones de exposición

adecuadas.

$$f_{fu} = C_E f_{fu}^* \quad (19)$$

Donde:

f_{fu} Resistencia a la tracción última de FRP

C_E Factor de reducción medioambiental

f_{fu}^* Resistencia última a la tracción del material FRP reportado por el fabricante

Del mismo modo, la tensión de rotura de diseño debe reducirse para las condiciones ambientales, siendo la ecuación (20).

$$\varepsilon_{fu} = C_E \varepsilon_{fu}^* \quad (20)$$

Donde:

ε_{fu} Ruptura de refuerzo FRP

ε_{fu}^* Tensión de ruptura final del refuerzo FRP

Los materiales poliméricos reforzados con fibras que constan de un tipo de fibra orientada principalmente en una dirección son prácticamente linealmente elásticos hasta el fallo. Su módulo de elasticidad puede calcularse utilizando la ecuación (21) y no cambia significativamente con el historial de carga y la exposición ambiental.

$$E_f = \frac{f_{fu}}{\varepsilon_{fu}} \quad (21)$$

Donde:

E_f Módulo de elasticidad en tracción de FRP

Los materiales constituyentes determinan la durabilidad y la resistencia de un sistema de FRP a la exposición ambiental. El fabricante del sistema FRP considerado puede proporcionar

información sobre las pruebas de durabilidad de los sistemas FRP con y sin revestimientos protectores. El factor de reducción se aproxima a la unidad si el sistema FRP está situado en un entorno relativamente benigno, como el interior. Se debe utilizar un factor de reducción menor si el sistema de FRP se encuentra en un ambiente agresivo donde se espera una exposición prolongada a alta humedad, ciclos de congelación y descongelación, agua salada o alcalina.

2.4.3. Diseño a corte

El método de cálculo de resistencia requiere que la resistencia a cortante del muro reforzado con FRP supere la demanda de cortante factorizada, como indica la ecuación (22).

$$\phi V_n \geq V_u \quad (22)$$

Como exige la norma ACI 530 para muros URM sometidos a cargas de cortante en el plano, la resistencia de cálculo se obtiene multiplicando la resistencia nominal por el factor de reducción de resistencia ϕ igual a 0,8.

Los muros de mampostería que no requieren refuerzo a cortante son aquellos que sufren una falla debido al deslizamiento de la junta escalonada o a la tensión diagonal. El refuerzo con FRP realizado con sistemas de colocación húmeda o near Surface mounted (NSM) se muestra en la (figura 16).

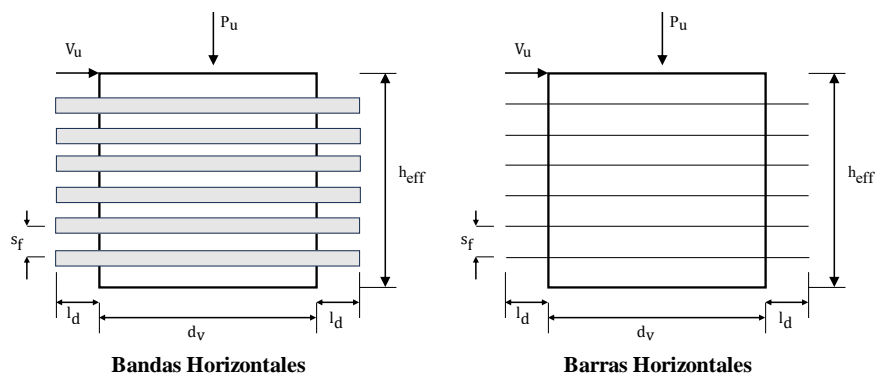


Figura 16: Refuerzo de muros de corte con polímeros reforzados con fibras. Extraído de (American Concrete

Institute, 2010).

Si el sustrato de mampostería no puede soportar la fuerza del sistema FRP en el estado límite de resistencia, puede romperse. El nivel de tensión generado en un sistema FRP típico, que es lineal clástico hasta la falla, depende del nivel de deformación del sistema. Se establece una limitación al nivel de deformación desarrollado en el laminado de FRP para evitar el desprendimiento. La deformación efectiva ε_{fe} y la tensión efectiva f_{fe} son los términos utilizados para describir la deformación máxima y la tensión correspondiente que los sistemas de FRP pueden alcanzar antes de desprenderse del sustrato de mampostería.

La deformación efectiva ε_{fe} y la tensión efectiva f_{fe} utilizadas para el diseño del refuerzo FRP a flexión fuera del plano y dentro del plano de muros de mampostería pueden ser calculadas con las ecuaciones (23) y (24), respectivamente.

$$\varepsilon_{fe} = \kappa_m \varepsilon_{fu}^* \leq C_E \varepsilon_{fu}^* \quad (23)$$

$$f_{fe} = E_f \varepsilon_{fe} \quad (24)$$

Donde κ es el coeficiente de reducción de enlace calibrado con los datos experimentales disponibles, donde puede tomar valores en función del sistema aplicado como lo indica la ecuación (25).

$$\kappa_m = \begin{cases} 0.45 & \text{Para sistemas FRP montados en superficie} \\ 0.35 & \text{Para sistemas FRP NSM} \end{cases} \quad (25)$$

Las condiciones para κ_m solo es aplicable cuando la fuerza total por unidad de anchura (por barra para los sistemas NSM) que el sistema FRP transmite al sustrato de mampostería satisface la limitación establecida en las ecuaciones (26) y (27).

$$P_{tm} = \begin{cases} n t_f f_{fe} \leq 1500 \text{ lb/in para sistemas FRP montados en superficie} \\ A_{f,bar} f_{fe} \leq 10000 \text{ lb/bar para sistemas FRP NSM} \end{cases} \quad (\text{in. -lb}) \quad (26)$$

$$P_{tm} = \begin{cases} n t_f f_{fe} \leq 260 \text{ N/mm para sistemas FRP montados en superficie} \\ A_{f,bar} f_{fe} \leq 44500 \text{ N/bar para sistemas FRP NSM} \end{cases} \quad (\text{SI}) \quad (27)$$

La deformación efectiva ε_{fe} , y la tensión efectiva f_{fe} a utilizar para el diseño de muros de mampostería reforzados con FRP a cortante en el plano pueden calcularse de acuerdo con las ecuaciones (28) y (29), respectivamente.

$$\varepsilon_{fe} = \kappa_v \varepsilon_{fu}^* \leq C_E \varepsilon_{fu}^* \quad (28)$$

$$f_{fe} = E_f \varepsilon_{fe} \quad (29)$$

El coeficiente de reducción de adherencia para los modos de fallo controlados por cizalladura κ_v , depende del índice de refuerzo FRP ω_f definido en las ecuaciones (30) y (31).

$$\omega_f = \frac{1}{1000} \frac{A_f E_f}{A_n \sqrt{f'_m}} \quad \text{para unidades en in. -lb} \quad (30)$$

$$\omega_f = \frac{1}{85} \frac{A_f E_f}{A_n \sqrt{f'_m}} \quad \text{para unidades en el sistema internacional (SI)} \quad (31)$$

El coeficiente de reducción de adherencia se calibra una vez más para los modos de falla controlados por cizalladura. La ecuación (32) muestra que los coeficientes para los modos de falla controlados por cizalladura para laminados FRP y sistemas NSM FRP son iguales.

$$\kappa_v = \begin{cases} 0.40 \text{ para } \omega_f \leq 0.20 \\ 0.64 - 1.2\omega_f \text{ para } 0.20 < \omega_f \leq 0.45 \\ 0.10 \text{ para } \omega_f > 0.45 \end{cases} \quad (32)$$

La ecuación (32) solo es aplicable cuando la fuerza por unidad de anchura (por barra para sistemas NSM) que el sistema FRP transmite al sustrato de mampostería satisface la limitación

dada en la ecuación (33) y (34) de forma similar a los modos de falla controlados por flexión.

$$P_{fv} = \begin{cases} n t_f f_{fc} \leq 1500 \text{ lb/in para sistemas FRP montados en superficie} \\ A_{f,bar} f_{fc} \leq 10000 \text{ lb/bar para sistemas FRP NSM} \end{cases} \quad (\text{in. -lb}) \quad (33)$$

$$P_{fv} = \begin{cases} n t_f f_{fc} \leq 260 \text{ N/mm para sistemas FRP montados en superficie} \\ A_{f,bar} f_{fc} \leq 44500 \text{ N/bar para sistemas FRP NSM} \end{cases} \quad (\text{SI}) \quad (34)$$

2.4.4. Datos para diseño

Los datos necesarios para el diseño del refuerzo usando laminas FRP y barras FRP, son los contenidos en las Tabla 19 y Tabla 20.

Tabla 19: Geometría y propiedades mecánicas de la mampostería.

Altura de muro, H	3,2 m
Espesor de muro, t	15 cm
Area de la seccion, A_n	150000 mm ² /mm
Modulo de seccion, S	3750000 mm ³ /mm
Resistencia a la compresion, f'_m	0,069 Mpa
Deformacion por compresion de la mamposteria, ϵ_{mu}	0,0035

La Tabla 20, presenta valores tales como: resistencia la tracción ultima (f_{fu}^*), módulo de elasticidad a la tracción del FRP (E_f), deformación de rotura última del refuerzo de FRP según el fabricante (ϵ_{fu}^*), el espesor de los tipos de refuerzo y el área transversal de la barra de GFRP.

Tabla 20: Propiedades del sistema FRP reportado por el fabricante. Extraído de (American Concrete Institute, 2010).

Tipo de refuerzo	f_{fu}^* , Mpa	E_f , Mpa	ϵ_{fu}^*	Espesor t_f , mm	Area $A_{f,bar}$, mm ²
GFRP lamina	1517	72000	0,021	0,356	-
GFRP barra	827	41000	0,02	-	32

2.5.Procedimiento de diseño

Cuando se lleva a cabo un procedimiento de diseño, especialmente en campos como la ingeniería estructural, es común tener una serie de pasos y decisiones que deben seguirse. Estos pasos pueden volverse complejos y detallados, lo que a veces dificulta la comprensión rápida y efectiva del proceso. En el proceso de diseño de reforzamiento para muros de mampostería, se realiza el diseño para flexión y corte. La Figura 17 proporcionara los puntos más importantes y una guía rápida del proceso para el diseño.

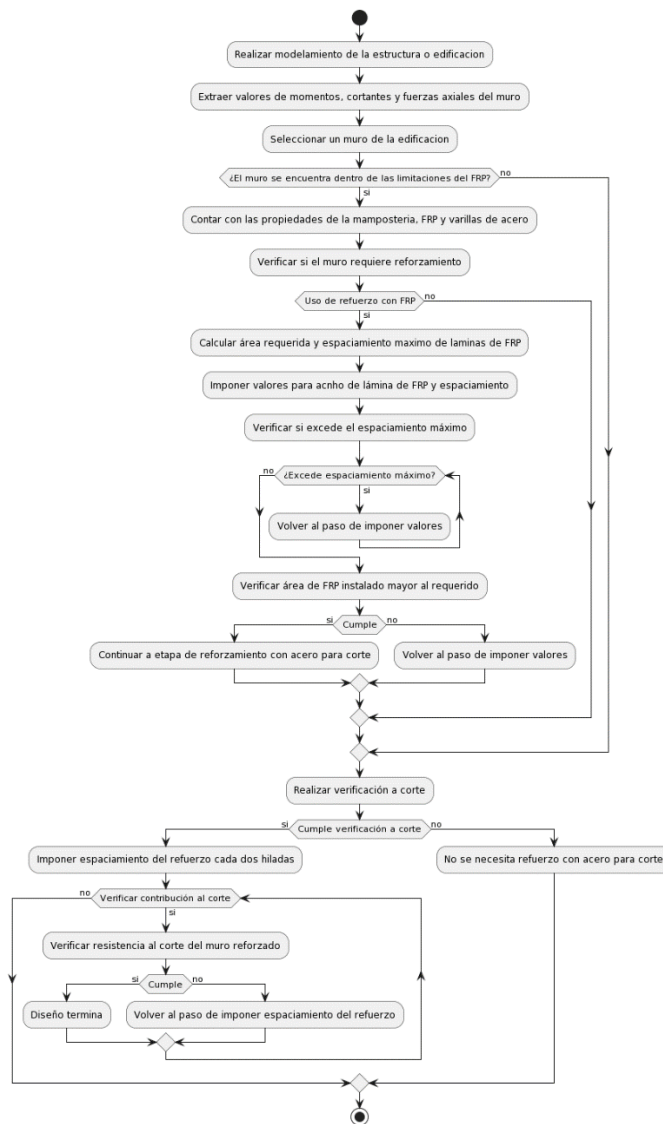


Figura 17: Diagrama de flujo del proceso de diseño para el reforzamiento de muros de mampostería

3. Resultados

Tomando en cuenta todas las consideraciones que se han mencionado anteriormente, se ha acoplado lo mayor posible a la guía que ha proporcionado la American Concrete Institute (2010), así como también el trabajo realizado por Hernández & Ortiz (2019).

Cabe también mencionar ciertas consideraciones adicionales para el cálculo y el diseño. La normativa ASCE establece que el valor de ϵ_{mu} de la mampostería para el hormigón es de 0.0025, mientras que para la mampostería de arcilla y piedra natural se puede esperar un valor de 0.0035.

Como se mencionó al principio, se ha utilizado la guía de modelamiento de Jose Daniel Luna Macias (2021) para mampostería confinada. Además, proporciona puntos importantes para un análisis dinámico detallado para que los resultados de momento, cortante y fuerza axial.

En cuanto a la meticulosidad en el modelamiento, esta se presenta como un elemento crítico, ya que la calidad del diseño está intrínsecamente ligada a la precisión de la información ingresada. Al tratarse de varios muros de mampostería de diferentes dimensiones, hemos optado por concentrarnos en el muro específico llamado Y6 en este caso, siendo el mostrado en la Figura 15. No se ha hecho esta elección aleatoriamente; en cambio, se ha hecho para facilitar la identificación y facilitar un análisis más detallado de este componente en particular. La elección de Y6 no solo facilita la gestión de información, sino que también nos permite concentrar nuestros esfuerzos analíticos en un punto, lo que facilita una comprensión completa de la carga estructural y la resistencia del muro en cuestión, además de también evitar un proceso repetitivo ya que el proceso de diseño es el mismo en los restantes muros de mampostería.

Por supuesto, los valores de cada muro de mampostería se han obtenido utilizando la combinación de carga de las ecuaciones (12) y (13).

Dimensiones de la mampostería:

$H_{\text{muro}}=3.2 \text{ m}$ Altura del muro de mampostería

$B_{\text{muro}}=2.7 \text{ m}$ Base del muro de mampostería

Descripción y propiedades de la mampostería:

$f'_m=4.553 \text{ MPa}$ Resistencia a la compresión de la mampostería

$E_m=550 \cdot f'_m=25536.5 \text{ kgf/cm}^2$ Módulo de elasticidad de la mampostería

$f_r=0.069 \text{ MPa}$ Módulo de ruptura de la mampostería

$\varepsilon_{mu}=0.0035$ Tensión máxima utilizable de la mampostería

$t_m=15 \text{ cm}$ Espesor de la mampostería

Propiedades de FRP – Sistema FRPV/Epóxico

Láminas para reforzamiento a flexión

$f_{fu}=1517 \text{ MPa}$ Resistencia última a la tracción de las láminas GFRP según lo indicado por el fabricante.

$E_f=72000 \text{ MPa}$ Módulo de elasticidad – Tensión de láminas GFRP

$C_E=0.65$ Factor de reducción medioambiental

$t_f=0.356 \text{ mm}$ Espesor de lámina a colocar

$\varepsilon_{fu}=0.021$ Ruptura del refuerzo láminas GFRP

Barras – Reforzamiento al corte

$f_{fu}=827.371 \text{ MPa}$ Resistencia última a la tracción de las barras GFRP según lo indicado por el fabricante.

$E_f=40816.963 \text{ MPa}$ Módulo de elasticidad – Tensión de barras GFRP

$A=32.258 \text{ mm}^2$ Área de sección transversal de barras GFRP

$\varepsilon_{fu}=0.02$ Ruptura del refuerzo barras GFRP

Reforzamiento a flexión

En el ejemplo dado por la American Concrete Institute (2010), el módulo de sección como el área neta se encuentran sobre una unidad de longitud, lo cual afecta a los cálculos posteriores

entando estos afectados de la misma manera. Algo a tener en cuenta, es que el área neta, como el mismo nombre lo indica es el área de la sección del muro de mampostería sin tener en consideración las aberturas que pueda tener los bloques usados, siendo el ejemplo de la ASCE con bloques de hormigón hueco, mientras que en este trabajo se lo realiza con ladrillos macizos. Como se dijo anteriormente se realizará el diseño para el muro de mampostería con el nombre de Y6, siendo sus valores de momento y carga axial los mostrados a continuación y contenidos en la Tabla 21.

$$M_u = 622431.708 \text{ N} \cdot \frac{\text{mm}}{\text{m}} \quad \text{Momento último del muro de mampostería}$$

$$P_u = 9471.655 \frac{\text{N}}{\text{m}} \quad \text{Carga axial última del muro de mampostería}$$

La condición representada en la ecuación (35) en caso de cumplirse, quiere decir que es necesario el reforzamiento del muro de mampostería a flexión. El valor del esfuerzo de tensión (f_b) calculado de 0.103 MPa y que se encuentra en el capítulo 7.2, representa a la fuerza interna que actúa en el material del muro debido a una carga que tiende a estirar o alargar el material.

$$f_b > 0.6 \cdot f_r \begin{cases} \text{Si } f_b > 0.6 \cdot f_r \text{ entonces el muro requiere reforzamiento} \\ \text{Si } f_b < 0.6 \cdot f_r \text{ entonces el muro no requiere reforzamiento} \end{cases} \quad (35)$$

$$0.103 \text{ MPa} > 0.041 \text{ MPa}$$

Posteriormente, realizando el cálculo de la resistencia de diseño de las láminas GFRP y su resistencia efectiva, se calcula el área de refuerzo GFRP (A_f) requerida a flexión. Dando como resultado el valor de 5.241 mm²/m la cual es el área de lámina por cada metro de muro, y cuyo calculo se encuentra en el capítulo 7.2. Cabe mencionar, que para el cálculo de (A_f), es necesario definir con anterioridad los valores de β_1 y γ , estos son definidos mediante el fallo predominante en el muro de mampostería. Su valor será de 0.8 cuando el fallo predominante es por aplastamiento de la mampostería, mientras que el fallo por el desprendimiento de FRP es

representado por el valor de 0.7, siendo este último valor el asumido para el diseño.

Habiendo obtenido el área de refuerzo requerido, a continuación, se impondrán valores tanto para el ancho de la lámina que será colocada de manera vertical, como también del espaciamiento que tendrán estas. El valor dado por w_f es un indicativo de un ancho mínimo que tendrá las láminas de FRPV por cada metro de muro, el cual es calculado y se encuentra en el capítulo 7.2.

$$w_f = 14.722 \text{ mm/m}$$

Ancho de lámina asumido

$$w_f = 0.1 \text{ m}$$

Espaciamiento asumido

$$s_f = 0.55 \text{ m}$$

Área del refuerzo laminado GFRP colocado

$$A_f = 64.727 \text{ mm}^2$$

El valor del área de lámina GFRP (A_f) fue calculado teniendo en cuenta los valores asumidos. Posteriormente se realiza una verificación representada en la ecuación (36) la cual consiste en ver si el área de GFRP instalado es mayor al requerido, la cual en este caso si cumple.

$$A_{f_instalado} > A_{f_requerido} \begin{cases} \text{Si } A_{f_instalado} \geq A_{f_requerido} \text{ entonces cumple} \\ \text{Si } A_{f_instalado} < A_{f_requerido} \text{ entonces no cumple} \end{cases} \quad (36)$$

$$64.727 \text{ mm}^2 > 5.241 \text{ mm}^2$$

Como una verificación adicional para el reforzamiento a flexión, se tiene que tener en cuenta que el espaciamiento que tendrán las láminas no debe exceder un límite, donde su cálculo se encuentra contenido en el capítulo 7.2, y el cual se representa con s_{f_max} . La ecuación (37) es la verificación adicional, y que en este caso cumple

$$s_{f_max} \leq s_f \begin{cases} \text{Si } s_{f_max} \leq s_f \text{ entonces cumple} \\ \text{Si } s_{f_max} > s_f \text{ entonces no cumple} \end{cases} \quad (37)$$

$$s_{f_max} = 550 \text{ mm}$$

Finalmente, como resultado de los cálculos y diseño a flexión, se concluye que se debe instalar

100 mm de PRFV colocados de manera vertical, con un espaciamiento de 550 mm de centro a centro de cada lamina.

Reforzamiento a corte

Para verificar si el muro requiere reforzamiento al corte haciendo uso de barras GFRP, es necesario conocer el valor del módulo de ruptura del muro, siendo tomada la contenida en la ASCE de 20 psi.

$$V_u = 594.35 \text{ kgf} \qquad \text{Fuerza de corte última}$$

Con la fuerza de corte se realiza la verificación, para comprobar si el muro de mampostería requiere reforzamiento a corte usando barras GFRP, siendo la condición la ecuación (38), y que en este caso dio como resultado que si es necesario el reforzamiento. El valor de f_{vm} es calculado y se encuentra en el capítulo 7.2.

$$f_{vm} < V_u \begin{cases} \text{Si } f_{vm} < V_u \text{ entonces no requiere reforzamiento a corte} \\ \text{Si } f_{vm} > V_u \text{ entonces requiere reforzamiento a corte} \end{cases} \quad (38)$$

$$44678.027 \text{ N} > 5828.582 \text{ N}$$

Siendo necesario el reforzamiento, se debe asumir un valor para el espaciamiento que tendrán las barras, siendo un espaciamiento s_f de 16 in. Con la altura del muro se calcula el número de barras y el área total de barras GFRP que se colocara.

$$n = 8 \text{ barras}$$

$$A_f = 254 \text{ mm}^2$$

Con los valores obtenidos se realiza el cálculo de la cuantía del refuerzo, la cual se refiere a la proporción o fracción del área total de una sección transversal que se encuentra ocupada por barras. Siendo su valor de 0.141.

El valor de contribución al corte de 6939.226 N, hace referencia a la capacidad de las barras para contribuir a la resistencia al corte de una estructura, cuyo calculo se encuentra en el capítulo

7.2. Este valor posteriormente se somete a una verificación donde este debe ser menor o igual a 44500 N, el cual cumple.

En cuanto a la última verificación, en esta se debe calcular la resistencia al corte del muro, teniendo un valor de 89912.824 N, y este siendo sometido a la ecuación (39) y cumpliendo la condición.

$$0.8 V_n > V_u \begin{cases} \text{Si } 0.8 V_n > V_u \text{ entonces cumple} \\ \text{Si } 0.8 V_n < V_u \text{ entonces no cumple} \end{cases} \quad (39)$$

$$71930.259 \text{ N} > 5828.582 \text{ N}$$

Finalmente, para los cálculos y diseño a corte, se debe realizar la colocación de barras #2 ($\emptyset 6\text{mm}$) con un espaciamiento de 16 in.

4. Conclusiones

La relevancia de los momentos, la fuerza cortante y la carga axial se manifiesta claramente en el proceso de diseñar el refuerzo para un muro de mampostería, siendo estos valores los más cruciales para dar inicio al cálculo, además de ser de suma importancia para la consideración de la aplicación tanto del reforzamiento a flexión con láminas GFRP como a corte con barras GFRP. En el proceso de diseño del refuerzo para muros de mampostería tuvo sus dificultades como la falta de opciones de lamitas y barras GFRP, y por lo tanto también problemas en encontrar fabricantes que puedan proveer de las propiedades mecánicas de láminas y barras superiores, para así realizar una comparación. El diseño toma en cuenta las exposiciones a la que va a estar cometido el refuerzo, considerando exposiciones interiores como exteriores y en diferentes niveles de magnitud, siendo esta un punto importante para el reforzamiento ya que típicamente los materiales FRP suelen ser conocidos por su resistencia a la corrosión, además, también toma en cuenta el tipo de fallo predominante que tendrá el muro.

La idoneidad para la aplicabilidad de los reforzamientos mencionados en este trabajo, tiene mucho que ver con los ambientes agresivos, su peso, adherencia, ductilidad, resistencia a la tracción, etc. Las láminas GFRP son adecuadas para el refuerzo de superficies extensas, como muros, losas y vigas; poseen resistencia a la corrosión por lo que son adecuadas en entornos corrosivos como instalaciones industriales entre otros. El peso que poseen facilita su manipulación e instalación, donde es beneficioso en proyectos donde se busca minimizar el peso adicional a la estructura, y su flexibilidad le hace posible adaptarse a formas y contornos irregulares de la superficie de una estructura. El precio de estos, aunque varían dependiendo del proveedor o fabricante, la fibra de vidrio es considerablemente más económico que una de sus variantes las cuales es la fibra de carbono, lo cual la hace una de las opciones más convenientes para el reforzamiento de estructuras.

El uso de sistemas GFRP como alternativa a los métodos tradicionales de refuerzo como: barras de acero, mallas electrosoldadas y contrafuertes; viene de acuerdo a las ventajas que proporciona en comparación a los métodos antes mencionados. El uso de barras de acero, así como el uso de sistemas GFRP tienen una ventaja compartida de ofrecer un aumento en la resistencia a la tracción, pero en cuanto al aumento del peso de la estructura, son las barras de acero las que tienen mayor impacto. Los sistemas GFRP son altamente resistentes a la corrosión, característica que no poseen las barras de acero y que repercute directamente en su vida útil y la durabilidad de la estructura; adicionalmente, las barras de acero son más pesadas y requieren técnicas de instalación más complicadas lo que aumenta su costo de mano de obra en comparación con los sistemas GFRP. Las mallas electrosoldadas si bien proporcionan una resistencia adicional, generalmente tienen una rigidez menor además de ser susceptibles a la corrosión; en cuanto al costo y estética, los sistemas GFRP tienden a ser más costosos, pero al tener un perfil más delgado pueden ser menos visibles una vez instalados. Los contrafuertes, al estar concentrados en puntos específicos, pueden ofrecer una mayor resistencia en esquina o aberturas, pero con la desventaja que pueden ser menos efectivos en la mejora del comportamiento global de la estructura, algo que los sistemas GFRP pueden ofrecer. Los contrafuertes al ser elementos que sobresalen del muro, alteran la estética; además de requerir más tiempo y recursos lo cual provocaría un aumento considerable en los costos.

5. Recomendaciones

La ACI 440.7R-10 trata a valores como el área neta de la mampostería, módulo de sección, momentos y cortantes, como un valor sobre una unidad de longitud. Por lo que, si se desea seguir la normativa, se tendrá que tener en cuenta para un correcto cálculo y por tanto de un resultado placentero.

Este trabajo se ve limitado debido a la falta de casos de aplicación del reforzamiento haciendo

uso de FRP. Esto provoca que no se tenga conocimiento acerca de edificaciones que hayan aplicado este método, y por tanto no se pueda tener una mejor perspectiva acerca de su efectividad en la zona o los cambios que ha tenido desde su colocación hasta la actualidad.

El uso de sistemas FRP para reforzar muros de mampostería requiere investigación adicional, especialmente en lo que respecta a sus sistemas de anclaje. La principal objeción a su implementación radica en la falta de garantías sobre la transferencia efectiva de carga entre pisos, lo que limita su aceptación. Se hace hincapié en la importancia de llevar a cabo investigaciones exhaustivas tanto en el ámbito académico como en las empresas distribuidoras. Además, también es necesario una revisión detallada de la literatura sobre refuerzo sísmico de muros de mampostería, pero centrándose en estudios previos sobre el uso de láminas y barras de GFRP. El modelado estructural y análisis de comportamiento sísmico considerando los refuerzos GFRP instalados, es algo que en este trabajo se vio muy limitado ya que no existen guías, consideraciones o serie de pasos para realizar un modelamiento aceptable que pueda proporcionar resultados los cuales nos demuestren una mejora en la capacidad de la edificación para soportar sismos, como puede ser las derivas de piso antes y después de la instalación de los sistemas FRP; por lo tanto es de suma importancia una investigación profunda de una o varios métodos de modelamiento para simular el comportamiento que tendrá un muro de mampostería reforzado con sistemas FRP.

6. Referencias Bibliográficas

- Alcaldía de Cuenca. (2023). Visita Técnica/Turística—Centro Histórico de Cuenca y Obras de Restauración Emblemáticas | GAD Municipal de Cuenca. *CENTRO HISTÓRICO DE CUENCA Y OBRAS DE RESTAURACIÓN EMBLEMATICAS*. <https://www.cuenca.gob.ec/content/visita-t%C3%A9cnica-tur%C3%ADstica-centro-hist%C3%B3rico-de-cuenca-y-obras-de-restauraci%C3%B3n-emblem%C3%A1ticas>
- American Concrete Institute. (2010). *Guide for the Design and Construction of Externally Bonded Fiber-Reinforced Polymer Systems for Strengthening Unreinforced Masonry Structures*.
- American Society of Civil Engineers (Ed.). (2007). *Seismic rehabilitation of existing buildings: This document uses both the International System of Units (SI) and customary units*. American Society of Civil Engineers.
- Bermeo Moyano, H. V. (2016). *DETERMINACIÓN DE ESPECTROS DE RESPUESTA Y ESPECTROS DE DISEÑO ELÁSTICOS E INELÁSTICOS PARA LA CIUDAD DE CUENCA*. Universidad de Cuenca.
- Castillo, I. R. (2010). *Uso de polímeros reforzados con fibras (FRP) como refuerzo externo de elementos de concreto de puentes en Costa Rica*.
- Cevallos Oña, D. P. (2014). *Artículo Científico—Reforzamiento sísmico de estructuras con fibra de vidrio.-*. <http://repositorio.espe.edu.ec/jspui/handle/21000/8082>
- COIP. (2021). *CÓDIGO ORGÁNICO INTEGRAL PENAL*.
- Daza, C. E. A. (2004). *COMPORTAMIENTO DE MUROS EN MAMPOSTERÍA REFORZADA CON CARGA PARALELA AL PLANO*. UNIVERSIDAD DE LOS ANDES.
- Gkournelos, P., Triantafyllou, T., & Bournas, D. (2022). Seismic upgrading of existing masonry structures: A state-of-the-art review. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, *161*, 107428. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2022.107428>
- Gobierno del Ecuador. (2023). *Cuenca – Instituto Nacional de Patrimonio Cultural*. <https://www.patrimoniocultural.gob.ec/cuenca/>

Hernández, J. L., & Ortiz, A. P. U. (2019). *ESTADO DEL ARTE DEL REFORZAMIENTO DE MUROS DE MAMPOSTERÍA NO ESTRUCTURALES CON EL USO DE POLÍMEROS REFORZADOS CON FIBRAS*. UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS.

IG. (2024). *Peligro Sísmico—Instituto Geofísico—EPN*. <https://www.igepn.edu.ec/peligro-sismico>

IGEPN. (2023, marzo 18). *ISE No. 2023-003—IG - EPN*. <https://www.igepn.edu.ec/servicios/noticias/2024-informe-sismico-especial-no-2023-003>

Jiménez-Pacheco, J., Quezada, R., Calderón-Brito, J., Ortega-Guamán, E., & García, H. (2022). Characterisation of the built heritage of historic centres oriented to the assessment of its seismic vulnerability: The case of Cuenca, Ecuador. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 71, 102784. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2022.102784>

Jose Daniel Luna Macias (Director). (2021, noviembre 26). *TUTORIAL PARA EL MODELADO EN ETABS DE UNA ESTRUCTURA DE MAMPOSTERIA CONFINADA*. https://www.youtube.com/watch?v=Q0kDHoPTI_E

Mario Amaguaya (Director). (2020, mayo 8). *Análisis estructural en cumplimiento con la NEC15—Clase 5*. <https://www.youtube.com/watch?v=1b65Ok9eaVs>

Michiels, T. L. G. (2015). Seismic Retrofitting Techniques for Historic Adobe Buildings. *International Journal of Architectural Heritage*, 9(8), 1059-1068. <https://doi.org/10.1080/15583058.2014.924604>

NEC. (2014). *ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO*.

NEC. (2015). *Guía práctica para evaluación sísmica y rehabilitación de estructuras, de conformidad con la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC 2015*. Diseño, diagramación e impresión Imprenta Activa, Quito - Ecuador.

NEC-SE-CG. (2014). *NEC- CARGAS (NO SISMICAS)*.

NEC-SE-DS. (2014). *PELIGRO SÍSMICO - DISEÑO SISMO RESISTENTE*. Dirección de Comunicación Social, MIDUVI.

NEC-SE-MP. (2014). *Mampostería estructural*.

Ortega, D. K. G., & Sisalima, W. V. G. (2019). *Capacidad Sísmica de las Estructuras de Mampostería*

- del Centro Histórico de la Ciudad de Cuenca* [UNIVERSIDAD DEL AZUAY].
<https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/9424/1/15061.pdf>
- Páez-M, D. F. (2006). COMPORTAMIENTO DE LA MAMPOSTERÍA BAJO ESFUERZOS CORTANTES DEBIDO A EFECTOS SÍSMICOS. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*.
- Peldanea. (2017, noviembre 2). Conoce las partes y elementos de una escalera. *Peldaña*.
<https://www.peldanea.com/conoce-las-partes-y-elementos-de-una-escalera/>
- Primicias. (2023a, marzo 20). 35 edificios patrimoniales de Cuenca sufrieron daños en el terremoto. *Primicias*. <https://www.primicias.ec/noticias/sociedad/bienes-patrimoniales-cuenca-terremoto/>
- Primicias. (2023b, marzo 20). Terremoto de 6,5 en Ecuador: 14 muertos y 446 heridos. *Primicias*.
<https://www.primicias.ec/noticias/sucesos/sismo-provincias-ecuador-balao-guayas/>
- Quezada, R., Jiménez-Pacheco, J., & García, H. (2021). Caracterización del patrimonio edificado del centro histórico de Cuenca-Ecuador. *CienciAmérica*, 10(3), 134-153.
<https://doi.org/10.33210/ca.v10i3.376>
- Quinde, J., Jiménez-Pacheco, J., & Ortega-Guamán, E. (2023). Revisión de normas de diseño para mampostería confinada en Latinoamérica: Propuestas para la Norma Ecuatoriana de Construcción. *Revista Politécnica*, 51(1), 77-92. <https://doi.org/10.33333/rp.vol51n1.07>
- Ramírez Quintero, D. C. (2022). *TÉCNICAS DE REHABILITACIÓN DE MUROS DE MAMPOSTERÍA*. UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO.
- Rodas Espinoza, P. F. (2016). *Modelo de Gestión para la Conservación del Patrimonio Edificado de la ciudad de Cuenca*. Universidad de Cuenca.
- Sánchez Camana, P. de los A. (2017). *ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE UNA PARED CON MAMPOSTERÍA TRADICIONAL VS UNA PARED CON MAMPOSTERÍA DE MATERIAL RECICLADO (PET)*. UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO.

7. Anexos

7.1.Resultados de modelamiento

La Tabla 21, primeramente, muestra en la columna perteneciente a story el número de piso de la vivienda. La columna pier, viene de la función de etiquetado del software ETABS, donde se le asigna una etiqueta con un nombre asignado manualmente, esto con el fin de la extracción de resultados con mayor facilidad; en este caso la columna pier contiene los nombres asignados a los muros de mampostería del modelamiento con el fin de diferenciarlas. La columna perteneciente al output case, no es más que las combinaciones de carga presentadas anteriormente en las ecuaciones (12) y (13), mientras que la columna case type hace referencia al tipo de caso presentado en la columna del output case. La columna Step type hace referencia al tipo de valor que se muestra, siendo este máximo o mínimo, complementándose con la columna de location que señala si el valor es en la parte superior o inferior del muro de mampostería.

El valor (P) no es más que la carga axial sobre el muro, (V_2) y (V_3) representan las fuerzas cortantes verticales que actúan en las direcciones 2 y 3 del muro, siendo la dirección 2 el eje y mientras que la dirección 3 es el eje z. El termino (T) representa la torsión a la cual está sometida el muro. Los términos (M_2) y (M_3) representan los momentos flectores alrededor de los ejes 2 y 3.

Tabla 21: Resultados de modelamiento de mampostería

Story	Pier	Output Case	Case Type	Step Type	Location	Pier Forces					
						P	V2	V3	T	M2	M3
						kgf	kgf	kgf	kgf-m	kgf-m	kgf-m
Story2	X1	Rehabilitacion combo1 +x	Combination	Max	Top	-1025.96	982.41	73.39	19.03	-130.64	340.42
Story2	X1	Rehabilitacion combo1 +x	Combination	Max	Bottom	-3310.93	1331.78	162.28	-42.43	128.08	45.31
Story2	X1	Rehabilitacion combo1 +x	Combination	Min	Top	-1074.86	-699.43	68.46	4.62	-133.94	-29.56
Story2	X1	Rehabilitacion combo1 +x	Combination	Min	Bottom	-3885.28	-495.06	153.2	-60.72	124.49	-646.25
Story2	X1	Rehabilitacion combo1 +y	Combination	Max	Top	-1031.26	368.46	74.26	18.98	-129.73	218.72
Story2	X1	Rehabilitacion combo1 +y	Combination	Max	Bottom	-3363.85	645.92	164.71	-47.06	129.21	-260.15
Story2	X1	Rehabilitacion combo1 +y	Combination	Min	Top	-1069.56	-85.48	67.59	4.66	-134.85	92.14
Story2	X1	Rehabilitacion combo1 +y	Combination	Min	Bottom	-3832.36	190.79	150.76	-56.09	123.37	-340.79
Story2	X1	Rehabilitacion combo2 +x	Combination	Max	Top	-834.98	956.69	60.49	16.88	-106.58	312.16
Story2	X1	Rehabilitacion combo2 +x	Combination	Max	Bottom	-2656.73	1255.71	133.6	-33.05	105.12	99.94
Story2	X1	Rehabilitacion combo2 +x	Combination	Min	Top	-883.88	-725.16	55.57	2.47	-109.89	-57.82
Story2	X1	Rehabilitacion combo2 +x	Combination	Min	Bottom	-3231.08	-571.13	124.52	-51.34	101.53	-591.62
Story2	X1	Rehabilitacion combo2 +y	Combination	Max	Top	-840.28	342.74	61.37	16.83	-105.67	190.46
Story2	X1	Rehabilitacion combo2 +y	Combination	Max	Bottom	-2709.65	569.86	136.03	-37.69	106.25	-205.52
Story2	X1	Rehabilitacion combo2 +y	Combination	Min	Top	-878.57	-111.21	54.69	2.51	-110.8	63.88
Story2	X1	Rehabilitacion combo2 +y	Combination	Min	Bottom	-3178.16	114.73	122.08	-46.71	100.41	-286.16
Story2	X2	Rehabilitacion combo1 +x	Combination	Max	Top	-1402.01	496.72	114.04	-22.37	-213.37	111.05
Story2	X2	Rehabilitacion combo1 +x	Combination	Max	Bottom	-4006.21	254.13	200.77	49.34	193.92	638.98
Story2	X2	Rehabilitacion combo1 +x	Combination	Min	Top	-1453.99	-1568.18	108.69	-39.09	-216.62	-337.87
Story2	X2	Rehabilitacion combo1 +x	Combination	Min	Bottom	-4607.64	-1956.76	192.75	24.51	190.87	-257.66
Story2	X2	Rehabilitacion combo1 +y	Combination	Max	Top	-1405.24	-290.01	115.28	-22.78	-211.89	-43.14
Story2	X2	Rehabilitacion combo1 +y	Combination	Max	Bottom	-4036.15	-605.36	204.29	42.15	195.72	236.42
Story2	X2	Rehabilitacion combo1 +y	Combination	Min	Top	-1450.76	-781.45	107.44	-38.68	-218.1	-183.69
Story2	X2	Rehabilitacion combo1 +y	Combination	Min	Bottom	-4577.7	-1097.27	189.24	31.7	189.07	144.9
Story2	X2	Rehabilitacion combo2 +x	Combination	Max	Top	-1142.38	594.13	93.79	-16.78	-174.28	131.67
Story2	X2	Rehabilitacion combo2 +x	Combination	Max	Bottom	-3223.13	408.91	165	42.63	158.94	604.31
Story2	X2	Rehabilitacion combo2 +x	Combination	Min	Top	-1194.35	-1470.78	88.44	-33.5	-177.53	-317.25
Story2	X2	Rehabilitacion combo2 +x	Combination	Min	Bottom	-3824.57	-1801.97	156.98	17.8	155.89	-292.32
Story2	X2	Rehabilitacion combo2 +y	Combination	Max	Top	-1145.6	-192.61	95.04	-17.19	-172.8	-22.51
Story2	X2	Rehabilitacion combo2 +y	Combination	Max	Bottom	-3253.08	-450.58	168.51	35.44	160.74	201.75
Story2	X2	Rehabilitacion combo2 +y	Combination	Min	Top	-1191.13	-684.04	87.2	-33.09	-179.01	-163.07
Story2	X2	Rehabilitacion combo2 +y	Combination	Min	Bottom	-3794.62	-942.48	153.46	24.99	154.09	110.24
Story2	Y1	Rehabilitacion combo1 +x	Combination	Max	Top	-1760.73	1030.52	151.33	50.16	-289.3	325.21
Story2	Y1	Rehabilitacion combo1 +x	Combination	Max	Bottom	-4692.26	1463.68	259.23	-50.58	282.57	-272.34
Story2	Y1	Rehabilitacion combo1 +x	Combination	Min	Top	-1839.05	-80.59	140.39	24.94	-304.48	96.98
Story2	Y1	Rehabilitacion combo1 +x	Combination	Min	Bottom	-5727.84	253.04	226.78	-76.4	261.95	-666.43
Story2	Y1	Rehabilitacion combo1 +y	Combination	Max	Top	-1781.9	1378.16	148.51	44.23	-295.1	402.69
Story2	Y1	Rehabilitacion combo1 +y	Combination	Max	Bottom	-4977.38	1822.34	246.79	-55.34	273.86	-146.91
Story2	Y1	Rehabilitacion combo1 +y	Combination	Min	Top	-1817.87	-428.23	143.21	30.87	-298.67	19.5
Story2	Y1	Rehabilitacion combo1 +y	Combination	Min	Bottom	-5442.72	-105.62	239.22	-71.64	270.66	-791.87
Story2	Y1	Rehabilitacion combo2 +x	Combination	Max	Top	-1433.47	944.16	124.81	43.33	-235.32	286.83
Story2	Y1	Rehabilitacion combo2 +x	Combination	Max	Bottom	-3744.98	1307.61	215.05	-39.04	233.07	-187
Story2	Y1	Rehabilitacion combo2 +x	Combination	Min	Top	-1511.79	-166.95	113.87	18.11	-250.5	58.6
Story2	Y1	Rehabilitacion combo2 +x	Combination	Min	Bottom	-4780.56	96.97	182.6	-64.85	212.45	-581.09
Story2	Y1	Rehabilitacion combo2 +y	Combination	Max	Top	-1454.65	1291.81	121.99	37.41	-241.12	364.31
Story2	Y1	Rehabilitacion combo2 +y	Combination	Max	Bottom	-4030.1	1666.27	202.61	-43.8	224.36	-61.56
Story2	Y1	Rehabilitacion combo2 +y	Combination	Min	Top	-1490.62	-514.59	116.69	24.04	-244.7	-18.88
Story2	Y1	Rehabilitacion combo2 +y	Combination	Min	Bottom	-4495.44	-261.69	195.04	-60.1	221.16	-706.53
Story2	Y3	Rehabilitacion combo1 +x	Combination	Max	Top	-1254.58	1106.56	103.49	-11.85	-187.03	170.79
Story2	Y3	Rehabilitacion combo1 +x	Combination	Max	Bottom	-4377.24	1099.99	229.31	58.75	220.41	422.43
Story2	Y3	Rehabilitacion combo1 +x	Combination	Min	Top	-1338.94	-1098.94	88.79	-48.45	-204.08	-393.69
Story2	Y3	Rehabilitacion combo1 +x	Combination	Min	Bottom	-5346.29	-1197.09	193.71	38.19	200.2	90.35
Story2	Y3	Rehabilitacion combo1 +y	Combination	Max	Top	-1293.72	1021.03	96.69	-29.31	-195.28	102.74
Story2	Y3	Rehabilitacion combo1 +y	Combination	Max	Bottom	-4843.51	1026.94	213.66	52.83	210.76	535.95
Story2	Y3	Rehabilitacion combo1 +y	Combination	Min	Top	-1299.8	-1013.41	95.59	-30.99	-195.83	-325.64
Story2	Y3	Rehabilitacion combo1 +y	Combination	Min	Bottom	-4880.01	-1124.04	209.37	44.11	209.85	-23.17
Story2	Y3	Rehabilitacion combo2 +x	Combination	Max	Top	-1018.8	1105.87	86.01	-6.37	-151.47	191.06
Story2	Y3	Rehabilitacion combo2 +x	Combination	Max	Bottom	-3493.28	1108.82	190.85	49.94	182.18	375.82
Story2	Y3	Rehabilitacion combo2 +x	Combination	Min	Top	-1103.17	-1099.64	71.31	-42.96	-168.53	-373.43
Story2	Y3	Rehabilitacion combo2 +x	Combination	Min	Bottom	-4462.33	-1188.26	155.26	29.38	161.97	43.73
Story2	Y3	Rehabilitacion combo2 +y	Combination	Max	Top	-1057.94	1020.34	79.21	-23.83	-159.72	123
Story2	Y3	Rehabilitacion combo2 +y	Combination	Max	Bottom	-3959.56	1035.77	175.2	44.02	172.52	489.33
Story2	Y3	Rehabilitacion combo2 +y	Combination	Min	Top	-1064.03	-1014.1	78.11	-25.51	-160.28	-305.37
Story2	Y3	Rehabilitacion combo2 +y	Combination	Min	Bottom	-3996.05	-1115.21	170.91	35.3	171.62	-69.78
Story2	Y5	Rehabilitacion combo1 +x	Combination	Max	Top	-498.59	546.03	60.25	1.79	-42.01	118.06
Story2	Y5	Rehabilitacion combo1 +x	Combination	Max	Bottom	-2990.7	598.13	129.75	3.46	43.35	147.74
Story2	Y5	Rehabilitacion combo1 +x	Combination	Min	Top	-621.31	-491.79	42.4	-4.72	-53.31	-97.53
Story2	Y5	Rehabilitacion combo1 +x	Combination	Min	Bottom	-3825.35	-570.65	86.91	-4.88	7.28	-123.95
Story2	Y5	Rehabilitacion combo1 +y	Combination	Max	Top	-556.56	697.26	51.96	1.1	-47.33	152.14
Story2	Y5	Rehabilitacion combo1 +y	Combination	Max	Bottom	-3376.02	754.15	109.34	2.83	26.13	165.15
Story2	Y5	Rehabilitacion combo1 +y	Combination	Min	Top	-563.34	-643.01	50.68	-4.03	-47.99	-131.61
Story2	Y5	Rehabilitacion combo1 +y	Combination	Min	Bottom	-3440.04	-726.67	107.31	-4.25	24.5	-141.36
Story2	Y5	Rehabilitacion combo2 +x	Combination	Max	Top	-396.78	541.1	50.92	2.06	-33.34	116.19
Story2	Y5	Rehabilitacion combo2 +x	Combination	Max	Bottom	-2371.06	595.63	110.05	3.59	38.75	145.58
Story2	Y5	Rehabilitacion combo2 +x	Combination	Min	Top	-519.5	-496.72	33.06	-4.45	-44.65	-99.4
Story2	Y5	Rehabilitacion combo2 +x	Combination	Min	Bottom	-3205.71	-573.15	67.21	-4.75	2.68	-126.11
Story2	Y5	Rehabilitacion combo2 +y	Combination	Max	Top	-454.75	692.32	42.63	1.37	-38.66	150.27
Story2	Y5	Rehabilitacion combo2 +y	Combination	Max	Bottom	-2756.38	751.65	89.64	2.96	21.52	162.99
Story2	Y5	Rehabilitacion combo2 +y	Combination	Min	Top	-461.53	-647.94	41.35	-3.77	-39.33	-133.47
Story2	Y5	Rehabilitacion combo2 +y	Combination	Min	Bottom	-2820.4	-729.17	87.62	-4.12	19.9	-143.52

Story2	Y7	Rehabilitacion combo1 +x	Combination	Max	Top	-1784.27	444.05	157.85	75.57	-280.52	-193.11
Story2	Y7	Rehabilitacion combo1 +x	Combination	Max	Bottom	-4407.72	166.51	238.45	33.6	291.97	438.5
Story2	Y7	Rehabilitacion combo1 +x	Combination	Min	Top	-1861.16	-31.77	137.27	34.64	-310.23	-344.63
Story2	Y7	Rehabilitacion combo1 +x	Combination	Min	Bottom	-5194.25	-331.38	214.08	12.25	269.45	-53.79
Story2	Y7	Rehabilitacion combo1 +y	Combination	Max	Top	-1803.82	965.98	148.98	56.89	-293.02	-130.44
Story2	Y7	Rehabilitacion combo1 +y	Combination	Max	Bottom	-4532.64	728.95	227.66	25.72	281.83	571.92
Story2	Y7	Rehabilitacion combo1 +y	Combination	Min	Top	-1841.61	-553.7	146.14	53.32	-297.73	-407.3
Story2	Y7	Rehabilitacion combo1 +y	Combination	Min	Bottom	-5069.33	-893.82	224.87	20.13	279.59	-187.22
Story2	Y7	Rehabilitacion combo2 +x	Combination	Max	Top	-1452.87	406.57	131.02	65.55	-226.82	-144.22
Story2	Y7	Rehabilitacion combo2 +x	Combination	Max	Bottom	-3534.81	181.5	197.31	29.43	240.93	403.52
Story2	Y7	Rehabilitacion combo2 +x	Combination	Min	Top	-1529.76	-69.25	110.44	24.62	-256.52	-295.74
Story2	Y7	Rehabilitacion combo2 +x	Combination	Min	Bottom	-4321.34	-316.39	172.94	8.08	218.41	-88.77
Story2	Y7	Rehabilitacion combo2 +y	Combination	Max	Top	-1472.42	928.5	122.15	46.87	-239.31	-81.55
Story2	Y7	Rehabilitacion combo2 +y	Combination	Max	Bottom	-3659.73	743.93	186.52	21.55	230.79	536.95
Story2	Y7	Rehabilitacion combo2 +y	Combination	Min	Top	-1510.21	-591.18	119.31	43.3	-244.03	-358.41
Story2	Y7	Rehabilitacion combo2 +y	Combination	Min	Bottom	-4196.42	-878.83	183.73	15.96	228.55	-222.2
Story2	Y9	Rehabilitacion combo1 +x	Combination	Max	Top	-1617.6	994.22	-116.22	-5.35	234.08	255.41
Story2	Y9	Rehabilitacion combo1 +x	Combination	Max	Bottom	-4280.28	1357.25	-168.4	29.54	-197.76	-174.27
Story2	Y9	Rehabilitacion combo1 +x	Combination	Min	Top	-1714.51	-180.7	-128.87	-25.63	222.21	17.63
Story2	Y9	Rehabilitacion combo1 +x	Combination	Min	Bottom	-5328.83	86.46	-191.36	15.29	-210.16	-681.76
Story2	Y9	Rehabilitacion combo1 +y	Combination	Max	Top	-1648.59	1298.1	-119.96	-8.85	229.83	324.75
Story2	Y9	Rehabilitacion combo1 +y	Combination	Max	Bottom	-4575.02	1672.32	-176.36	31.33	-202.59	-104.95
Story2	Y9	Rehabilitacion combo1 +y	Combination	Min	Top	-1683.53	-484.58	-125.12	-22.13	226.46	-51.71
Story2	Y9	Rehabilitacion combo1 +y	Combination	Min	Bottom	-5034.08	-228.61	-183.4	13.5	-205.33	-751.08
Story2	Y9	Rehabilitacion combo2 +x	Combination	Max	Top	-1314.68	920.27	-93.94	-2.53	192.6	230.59
Story2	Y9	Rehabilitacion combo2 +x	Combination	Max	Bottom	-3406.72	1226.01	-135.7	25.47	-160.68	-96.45
Story2	Y9	Rehabilitacion combo2 +x	Combination	Min	Top	-1411.6	-254.66	-106.59	-22.82	180.73	-7.19
Story2	Y9	Rehabilitacion combo2 +x	Combination	Min	Bottom	-4455.27	-44.79	-158.66	11.21	-173.07	-603.94
Story2	Y9	Rehabilitacion combo2 +y	Combination	Max	Top	-1345.67	1224.14	-97.68	-6.03	188.35	299.93
Story2	Y9	Rehabilitacion combo2 +y	Combination	Max	Bottom	-3701.47	1541.07	-143.66	27.26	-165.5	-27.13
Story2	Y9	Rehabilitacion combo2 +y	Combination	Min	Top	-1380.61	-558.53	-102.84	-19.32	184.98	-76.53
Story2	Y9	Rehabilitacion combo2 +y	Combination	Min	Bottom	-4160.53	-359.85	-150.7	9.42	-168.25	-673.26
Story2	Y11	Rehabilitacion combo1 +x	Combination	Max	Top	-1246.1	870.11	-74.7	-8.21	161	80.91
Story2	Y11	Rehabilitacion combo1 +x	Combination	Max	Bottom	-4506.17	942.38	-138.77	-4.5	-141.28	134.05
Story2	Y11	Rehabilitacion combo1 +x	Combination	Min	Top	-1282.66	-593.98	-78.8	-11.47	150.89	-225.52
Story2	Y11	Rehabilitacion combo1 +x	Combination	Min	Bottom	-5118.1	-610.25	-169.08	-24.48	-157.83	-195.64
Story2	Y11	Rehabilitacion combo1 +y	Combination	Max	Top	-1262.39	1136.19	-76.67	-9.04	156.3	143.93
Story2	Y11	Rehabilitacion combo1 +y	Combination	Max	Bottom	-4789.86	1223.51	-152.95	-13.5	-149.23	227.34
Story2	Y11	Rehabilitacion combo1 +y	Combination	Min	Top	-1266.36	-860.06	-76.83	-10.64	155.6	-288.54
Story2	Y11	Rehabilitacion combo1 +y	Combination	Min	Bottom	-4834.41	-891.38	-154.89	-15.48	-149.88	-288.93
Story2	Y11	Rehabilitacion combo2 +x	Combination	Max	Top	-1016.21	845.01	-60.75	-6.42	132.65	94.05
Story2	Y11	Rehabilitacion combo2 +x	Combination	Max	Bottom	-3631.24	912.18	-110.78	-1.87	-114.09	139.65
Story2	Y11	Rehabilitacion combo2 +x	Combination	Min	Top	-1052.77	-619.08	-64.85	-9.68	122.54	-212.37
Story2	Y11	Rehabilitacion combo2 +x	Combination	Min	Bottom	-4243.17	-640.44	-141.09	-21.85	-130.64	-190.04
Story2	Y11	Rehabilitacion combo2 +y	Combination	Max	Top	-1032.51	1111.09	-62.72	-7.25	127.94	157.07
Story2	Y11	Rehabilitacion combo2 +y	Combination	Max	Bottom	-3914.93	1193.31	-124.97	-10.87	-122.04	232.94
Story2	Y11	Rehabilitacion combo2 +y	Combination	Min	Top	-1036.47	-885.16	-62.88	-8.85	127.24	-275.39
Story2	Y11	Rehabilitacion combo2 +y	Combination	Min	Bottom	-3959.48	-921.57	-126.91	-12.85	-122.69	-283.33
Story2	Y13	Rehabilitacion combo1 +x	Combination	Max	Top	-662.32	932.24	-33.2	17.83	59.85	-90.55
Story2	Y13	Rehabilitacion combo1 +x	Combination	Max	Bottom	-3498.48	902.07	-112.55	57.66	-67.78	-16.93
Story2	Y13	Rehabilitacion combo1 +x	Combination	Min	Top	-672.13	217.13	-35.02	16.21	57.1	-234.57
Story2	Y13	Rehabilitacion combo1 +x	Combination	Min	Bottom	-3940.26	129.71	-146.87	52.94	-81.33	-144.02
Story2	Y13	Rehabilitacion combo1 +y	Combination	Max	Top	-663.4	1213.21	-34.01	18	58.74	-27.78
Story2	Y13	Rehabilitacion combo1 +y	Combination	Max	Bottom	-3684.15	1210.21	-128.92	57.69	-73.85	73.01
Story2	Y13	Rehabilitacion combo1 +y	Combination	Min	Top	-671.05	-63.84	-34.2	16.04	58.22	-297.34
Story2	Y13	Rehabilitacion combo1 +y	Combination	Min	Bottom	-3754.59	-178.43	-130.51	52.91	-75.27	-233.96
Story2	Y13	Rehabilitacion combo2 +x	Combination	Max	Top	-541	827.75	-27	14.73	49.22	-61
Story2	Y13	Rehabilitacion combo2 +x	Combination	Max	Bottom	-2822.23	808.27	-88.97	47.61	-54.23	-2.3
Story2	Y13	Rehabilitacion combo2 +x	Combination	Min	Top	-550.82	112.64	-28.82	13.12	46.47	-205.01
Story2	Y13	Rehabilitacion combo2 +x	Combination	Min	Bottom	-3264.01	35.92	-123.29	42.88	-67.77	-129.38
Story2	Y13	Rehabilitacion combo2 +y	Combination	Max	Top	-542.08	1108.72	-27.81	14.91	48.1	1.78
Story2	Y13	Rehabilitacion combo2 +y	Combination	Max	Bottom	-3007.9	1116.41	-105.33	47.64	-60.29	87.64
Story2	Y13	Rehabilitacion combo2 +y	Combination	Min	Top	-549.74	-168.32	-28	12.94	47.59	-267.79
Story2	Y13	Rehabilitacion combo2 +y	Combination	Min	Bottom	-3078.34	-272.22	-106.92	42.85	-61.71	-219.33
Story2	Y15	Rehabilitacion combo1 +x	Combination	Max	Top	-1792.92	-202.47	-114.97	-32.26	256.9	174.45
Story2	Y15	Rehabilitacion combo1 +x	Combination	Max	Bottom	-5336.84	-419.79	-192.27	-78.98	-221.79	1013.98
Story2	Y15	Rehabilitacion combo1 +x	Combination	Min	Top	-1824.46	-1248.43	-119.43	-39.09	234.03	-5.2
Story2	Y15	Rehabilitacion combo1 +x	Combination	Min	Bottom	-5697.7	-1512.19	-228.29	-101.33	-249.73	335.34
Story2	Y15	Rehabilitacion combo1 +y	Combination	Max	Top	-1782.52	58.2	-116.58	-35.08	247.54	238.91
Story2	Y15	Rehabilitacion combo1 +y	Combination	Max	Bottom	-5212.09	-124.29	-208.52	-89.28	-233.67	1034.38
Story2	Y15	Rehabilitacion combo1 +y	Combination	Min	Top	-1834.86	-1509.1	-117.82	-36.27	243.39	-69.66
Story2	Y15	Rehabilitacion combo1 +y	Combination	Min	Bottom	-5822.45	-1807.69	-212.03	-91.03	-237.84	314.95
Story2	Y15	Rehabilitacion combo2 +x	Combination	Max	Top	-1464.07	-70.57	-93.66	-25.77	212.27	159.07
Story2	Y15	Rehabilitacion combo2 +x	Combination	Max	Bottom	-4333.7	-244.16	-154.04	-62.59	-178.92	891.31
Story2	Y15	Rehabilitacion combo2 +x	Combination	Min	Top	-1495.6	-1116.53	-98.12	-32.61	189.4	-20.59
Story2	Y15	Rehabilitacion combo2 +x	Combination	Min	Bottom	-4694.56	-1336.56	-190.05	-84.94	-206.86	212.68
Story2	Y15	Rehabilitacion combo2 +y	Combination	Max	Top	-1453.67	190.1	-95.28	-28.6	202.91	223.52
Story2	Y15	Rehabilitacion combo2 +y	Combination	Max	Bottom	-4208.95	51.35	-170.29	-72.89	-190.81	911.71
Story2	Y15	Rehabilitacion combo2 +y	Combination	Min	Top	-1506	-1377.2	-96.51	-29.78	198.76	-85.04
Story2	Y15	Rehabilitacion combo2 +y	Combination	Min	Bottom	-4819.31	-1632.06	-173.8	-74.64	-194.98	192.28
Story1	X3	Rehabilitacion combo1 +x	Combination	Max	Top	-4327.84	1378.31	48.45	2.32	-75.56	-62.78
Story1	X3	Rehabilitacion combo1 +x	Combination	Max	Bottom	-6887.65	1811.3	74.11	-0.07	29.94	230.21
Story1	X3	Rehabilitacion combo1 +x	Combination	Min	Top	-5012.62	-1538.46	41.22	-20.41	-80.18	-387.3
Story1	X3	Rehabilitacion combo1 +x	Combination	Min	Bottom	-8442.38	-1153.14	46.22	-51.91	17.78	-1048.42
Story1	X3	Rehabilitacion combo1 +y	Combination	Max	Top	-4378.19	200.53	51.94	2.43	-72.68	-133.96
Story1	X3	Rehabilitacion combo1 +y	Combination	Max	Bottom	-6942.2	580.05	96.66	-12.21	40.33	-283.22
Story1	X3	Rehabilitacion combo1 +y	Combination	Min	Top	-4962.27	-360.68	37.73	-20.51	-83.06	-316.12
Story1	X3	Rehabilitacion combo1 +y	Combination	Min	Bottom	-8387.82	78.11	23.67	-39.77	7.39	-534.99
Story1	X3	Rehabilitacion combo2 +x	Combination	Max	Top	-3478.71	1392.87	40.3	3.97	-61.4	-21.87
Story1	X3	Rehabilitacion combo2 +x	Combination	Max	Bottom	-5494.01	1751.47	63.17	4.65	25.6	304.59
Story1	X3	Rehabilitacion combo2 +x	Combination	Min	Top	-4163.49	-1523.9	33.07	-18.76	-66.03	-346.38
Story1	X3	Rehabilitacion combo2 +x	Combination	Min	Bottom	-7048.74	-1212.98	35.28	-47.18	13.44	-974.04
Story1	X3	Rehabilitacion combo2 +y	Combination	Max	Top	-3529.06	215.09	43.79	4.08	-58.52	-93.04
Story1	X3	Rehabilitacion combo2 +y	Combination	Max	Bottom	-5548.56	520.22	85.72	-7.48	35.99	208.84
Story1	X3	Rehabilitacion combo2 +y	Combination	Min	Top	-4113.14	-346.12	29.58	-18.87	-68.91	-275.2
Story1	X3	Rehabilitacion combo2 +y	Combination	Min	Bottom	-6994.19	18.27	12.73	-35.04	3.06	-460.61

Story1	X4	Rehabilitacion combo1 +x	Combination	Max	Top	-5381.2	1612.53	65.08	14.89	-117.69	378.24
Story1	X4	Rehabilitacion combo1 +x	Combination	Max	Bottom	-8447.85	1204.12	80.77	55.64	39.78	1122.1
Story1	X4	Rehabilitacion combo1 +x	Combination	Min	Top	-6095.1	-1863.67	57.63	-10.53	-122.32	18.93
Story1	X4	Rehabilitacion combo1 +x	Combination	Min	Bottom	-10014.15	-2271.49	57.86	-6.01	29.6	-530.37
Story1	X4	Rehabilitacion combo1 +y	Combination	Max	Top	-5404.75	191.15	69.84	14.59	-113.79	308
Story1	X4	Rehabilitacion combo1 +y	Combination	Max	Bottom	-8442.13	-245.46	106.96	40.37	52.38	457
Story1	X4	Rehabilitacion combo1 +y	Combination	Min	Top	-6071.56	-442.29	52.87	-10.24	-126.21	89.17
Story1	X4	Rehabilitacion combo1 +y	Combination	Min	Bottom	-10019.87	-821.91	31.68	9.25	17.01	134.74
Story1	X4	Rehabilitacion combo2 +x	Combination	Max	Top	-4337.9	1635.36	53.92	14.49	-95.87	342.14
Story1	X4	Rehabilitacion combo2 +x	Combination	Max	Bottom	-6769.49	1301.15	68.17	51.12	33.47	1068.31
Story1	X4	Rehabilitacion combo2 +x	Combination	Min	Top	-5051.8	-1840.84	46.48	-10.93	-100.5	-17.18
Story1	X4	Rehabilitacion combo2 +x	Combination	Min	Bottom	-8335.78	-2174.46	45.26	-10.53	23.3	-584.16
Story1	X4	Rehabilitacion combo2 +y	Combination	Max	Top	-4361.45	213.98	58.68	14.2	-91.97	271.89
Story1	X4	Rehabilitacion combo2 +y	Combination	Max	Bottom	-6763.77	-148.43	94.35	35.86	46.07	403.21
Story1	X4	Rehabilitacion combo2 +y	Combination	Min	Top	-5028.25	-419.46	41.72	-10.63	-104.39	53.06
Story1	X4	Rehabilitacion combo2 +y	Combination	Min	Bottom	-8341.5	-724.88	19.08	4.74	10.7	80.94
Story1	Y2	Rehabilitacion combo1 +x	Combination	Max	Top	-13995.1	-4.69	44.74	7339.75	1343.42	2852.79
Story1	Y2	Rehabilitacion combo1 +x	Combination	Max	Bottom	-21698.46	38.54	112.92	4130.57	5586.54	9046.45
Story1	Y2	Rehabilitacion combo1 +x	Combination	Min	Top	-14824.78	-583.98	21.81	-6769.64	-4435.13	-6289.84
Story1	Y2	Rehabilitacion combo1 +x	Combination	Min	Bottom	-23310.41	-333.03	-45.17	-11139.31	-6663.53	-10912.55
Story1	Y2	Rehabilitacion combo1 +y	Combination	Max	Top	-14329.46	2452.54	37.08	1670.78	695.16	1632.51
Story1	Y2	Rehabilitacion combo1 +y	Combination	Max	Bottom	-22372.73	2703.94	37.9	-2068.47	4053.6	7499.1
Story1	Y2	Rehabilitacion combo1 +y	Combination	Min	Top	-14490.42	-3041.2	29.46	-1100.66	-3786.88	-5069.56
Story1	Y2	Rehabilitacion combo1 +y	Combination	Min	Bottom	-22636.14	-2998.42	29.85	-4940.28	-5130.59	-9365.21
Story1	Y2	Rehabilitacion combo2 +x	Combination	Max	Top	-11375.11	48.83	38.69	7287.92	1624.48	3165.25
Story1	Y2	Rehabilitacion combo2 +x	Combination	Max	Bottom	-17606.75	65.31	106.76	4767.73	5684.44	9216.09
Story1	Y2	Rehabilitacion combo2 +x	Combination	Min	Top	-12204.79	-530.46	15.76	-6821.47	-4154.07	-5977.38
Story1	Y2	Rehabilitacion combo2 +x	Combination	Min	Bottom	-19218.69	-306.25	-51.33	-10502.15	-6656.62	-10742.9
Story1	Y2	Rehabilitacion combo2 +y	Combination	Max	Top	-11709.47	2506.05	31.03	1618.95	976.23	1944.97
Story1	Y2	Rehabilitacion combo2 +y	Combination	Max	Bottom	-18281.02	2730.71	31.74	-1431.31	4151.51	7668.75
Story1	Y2	Rehabilitacion combo2 +y	Combination	Min	Top	-11870.43	-2987.69	23.41	-1152.49	-3505.82	-4757.1
Story1	Y2	Rehabilitacion combo2 +y	Combination	Min	Bottom	-18544.42	-2971.65	23.69	-4303.12	-5032.68	-9195.56
Story1	Y4	Rehabilitacion combo1 +x	Combination	Max	Top	-5730.48	1062.94	61.99	57.52	-104.34	484.36
Story1	Y4	Rehabilitacion combo1 +x	Combination	Max	Bottom	-9030.01	1150.88	164.71	51.35	89.81	593.94
Story1	Y4	Rehabilitacion combo1 +x	Combination	Min	Top	-6896.62	-1393.99	45.29	-6.05	-121.46	-303.42
Story1	Y4	Rehabilitacion combo1 +x	Combination	Min	Bottom	-11571.61	-1157.53	35.26	-63.87	18.61	-259.19
Story1	Y4	Rehabilitacion combo1 +y	Combination	Max	Top	-6277.66	1406.71	54.96	25.55	-111.56	344.7
Story1	Y4	Rehabilitacion combo1 +y	Combination	Max	Bottom	-10226.6	1512.43	103.62	5.4	55.91	344.6
Story1	Y4	Rehabilitacion combo1 +y	Combination	Min	Top	-6349.44	-1737.76	52.32	19.73	-114.25	-163.75
Story1	Y4	Rehabilitacion combo1 +y	Combination	Min	Bottom	-10375.03	-1519.08	96.35	-11.72	52.52	-9.85
Story1	Y4	Rehabilitacion combo2 +x	Combination	Max	Top	-4582.56	1093.03	52.24	47.21	-83.82	467.92
Story1	Y4	Rehabilitacion combo2 +x	Combination	Max	Bottom	-7157.14	1151.48	146.53	58.12	79.96	563.51
Story1	Y4	Rehabilitacion combo2 +x	Combination	Min	Top	-5748.7	-1363.9	35.54	-10.16	-100.93	-319.87
Story1	Y4	Rehabilitacion combo2 +x	Combination	Min	Bottom	-9698.74	-1156.92	17.08	-63.3	8.76	-289.62
Story1	Y4	Rehabilitacion combo2 +y	Combination	Max	Top	-5129.75	1436.8	45.21	21.43	-91.03	328.25
Story1	Y4	Rehabilitacion combo2 +y	Combination	Max	Bottom	-8353.72	1513.03	85.44	5.97	46.05	314.17
Story1	Y4	Rehabilitacion combo2 +y	Combination	Min	Top	-5201.52	-1707.67	42.57	15.61	-93.72	-180.2
Story1	Y4	Rehabilitacion combo2 +y	Combination	Min	Bottom	-8502.15	-1518.47	78.17	-11.14	42.67	-40.28
Story1	Y6	Rehabilitacion combo1 +x	Combination	Max	Top	-2897.52	594.35	87.19	9.04	24.57	171.37
Story1	Y6	Rehabilitacion combo1 +x	Combination	Max	Bottom	-5078.88	730.86	187.38	29.16	79.27	117.57
Story1	Y6	Rehabilitacion combo1 +x	Combination	Min	Top	-4023.1	-828.44	-25.47	-10.28	-27.58	-75.84
Story1	Y6	Rehabilitacion combo1 +x	Combination	Min	Bottom	-8217.68	-666.11	17.83	-1.65	3.33	18.16
Story1	Y6	Rehabilitacion combo1 +y	Combination	Max	Top	-3424.29	933.67	33.44	0.56	-0.21	232.61
Story1	Y6	Rehabilitacion combo1 +y	Combination	Max	Bottom	-6563.88	1050.31	109.9	21.18	44.84	190.04
Story1	Y6	Rehabilitacion combo1 +y	Combination	Min	Top	-3496.33	-1167.76	28.29	-1.8	-2.8	-137.08
Story1	Y6	Rehabilitacion combo1 +y	Combination	Min	Bottom	-6732.67	-985.56	95.31	6.34	37.76	-54.31
Story1	Y6	Rehabilitacion combo2 +x	Combination	Max	Top	-2268.37	615.63	81.58	9.15	24.84	162.68
Story1	Y6	Rehabilitacion combo2 +x	Combination	Max	Bottom	-3870.1	724.97	168.72	26.66	71.76	105.23
Story1	Y6	Rehabilitacion combo2 +x	Combination	Min	Top	-3393.95	-807.16	-31.08	-10.17	-27.31	-84.52
Story1	Y6	Rehabilitacion combo2 +x	Combination	Min	Bottom	-7008.9	-671.99	-0.82	-4.15	-4.18	5.82
Story1	Y6	Rehabilitacion combo2 +y	Combination	Max	Top	-2795.14	954.95	27.83	0.68	0.06	223.93
Story1	Y6	Rehabilitacion combo2 +y	Combination	Max	Bottom	-5355.1	1044.43	91.25	18.68	37.33	177.7
Story1	Y6	Rehabilitacion combo2 +y	Combination	Min	Top	-2867.18	-1146.48	22.67	-1.69	-2.53	-145.77
Story1	Y6	Rehabilitacion combo2 +y	Combination	Min	Bottom	-5523.9	-991.45	76.65	3.83	30.25	-66.65
Story1	Y8	Rehabilitacion combo1 +x	Combination	Max	Top	-6245.59	901.29	87.2	48.17	-150.43	393.41
Story1	Y8	Rehabilitacion combo1 +x	Combination	Max	Bottom	-9419.31	441.31	162.56	46.23	104.36	1084.07
Story1	Y8	Rehabilitacion combo1 +x	Combination	Min	Top	-7272.17	-556.16	45.32	-38.06	-198.8	-183.97
Story1	Y8	Rehabilitacion combo1 +x	Combination	Min	Bottom	-12073.06	-1229.94	13.2	-2.22	11.93	-563.15
Story1	Y8	Rehabilitacion combo1 +y	Combination	Max	Top	-6434.39	1660.81	67.46	8.14	-172.99	171.53
Story1	Y8	Rehabilitacion combo1 +y	Combination	Max	Bottom	-10052.47	1140.35	93.89	25.89	61.74	984.88
Story1	Y8	Rehabilitacion combo1 +y	Combination	Min	Top	-7083.37	-1315.68	65.06	1.97	-176.24	37.91
Story1	Y8	Rehabilitacion combo1 +y	Combination	Min	Bottom	-11439.9	-1928.99	81.87	18.11	54.55	-463.96
Story1	Y8	Rehabilitacion combo2 +x	Combination	Max	Top	-5016.7	869.92	75.15	47.25	-118.68	374.37
Story1	Y8	Rehabilitacion combo2 +x	Combination	Max	Bottom	-7465.46	513	146.58	42.23	93.79	1036.72
Story1	Y8	Rehabilitacion combo2 +x	Combination	Min	Top	-6043.28	-587.54	33.28	-38.98	-167.05	-203.01
Story1	Y8	Rehabilitacion combo2 +x	Combination	Min	Bottom	-10119.2	-1158.24	-2.78	-6.22	1.35	-610.51
Story1	Y8	Rehabilitacion combo2 +y	Combination	Max	Top	-5205.5	1629.43	55.41	7.22	-141.24	152.49
Story1	Y8	Rehabilitacion combo2 +y	Combination	Max	Bottom	-8098.62	1212.05	77.91	21.89	51.17	937.53
Story1	Y8	Rehabilitacion combo2 +y	Combination	Min	Top	-5854.48	-1347.05	53.01	1.05	-144.49	18.87
Story1	Y8	Rehabilitacion combo2 +y	Combination	Min	Bottom	-9486.05	-1857.29	65.89	14.11	43.98	-511.32
Story1	Y10	Rehabilitacion combo1 +x	Combination	Max	Top	-5815.87	860.28	-45.4	18.84	140.38	-143.24
Story1	Y10	Rehabilitacion combo1 +x	Combination	Max	Bottom	-9043.29	1495.39	-7.86	52.35	-10.25	-263.9
Story1	Y10	Rehabilitacion combo1 +x	Combination	Min	Top	-7104.48	-1187.69	-75.24	-12.84	117.84	-527.37
Story1	Y10	Rehabilitacion combo1 +x	Combination	Min	Bottom	-11877.52	-638.14	-119.01	-18.54	-66.81	-1022.13
Story1	Y10	Rehabilitacion combo1 +y	Combination	Max	Top	-6191.76	1367.7	-56.68	11.77	131.1	-178.83
Story1	Y10	Rehabilitacion combo1 +y	Combination	Max	Bottom	-9877.5	2006.57	-56.86	29.5	-35.78	-54.03
Story1	Y10	Rehabilitacion combo1 +y	Combination	Min	Top	-6728.58	-1695.11	-63.96	-5.78	127.12	-491.78
Story1	Y10	Rehabilitacion combo1 +y	Combination	Min	Bottom	-11043.31	-1149.32	-70.02	4.31	-41.28	-1232.01
Story1	Y10	Rehabilitacion combo2 +x	Combination	Max	Top	-4641.29	890.04	-34.43	18.29	116.9	-82.28
Story1	Y10	Rehabilitacion combo2 +x	Combination	Max	Bottom	-7141.4	1417.46	3.67	49.28	-3.25	-146.99
Story1	Y10	Rehabilitacion combo2 +x	Combination	Min	Top	-5929.9	-1157.92	-64.27	-13.39	94.36	-466.41
Story1	Y10	Rehabilitacion combo2 +x	Combination	Min	Bottom	-9975.62	-716.07	-107.48	-21.61	-59.8	-905.22
Story1	Y10	Rehabilitacion combo2 +y	Combination	Max	Top	-5017.19	1397.46	-45.71	11.23	107.62	-117.87
Story1	Y10	Rehabilitacion combo2 +y	Combination	Max	Bottom	-7975.61	1928.64	-45.32	26.43	-28.77	62.88
Story1	Y10	Rehabilitacion combo2 +y	Combination	Min	Top	-5554.01	-1665.34	-52.99	-6.33	103.64	-430.82
Story1	Y10	Rehabilitacion combo2 +y	Combination	Min	Bottom	-9141.42	-1227.25	-58.49	1.24	-34.28	-1115.09

Story1	Y12	Rehabilitacion combo1 +x	Combination	Max	Top	-5722.56	972.51	-38.5	-0.39	100.23	121.37
Story1	Y12	Rehabilitacion combo1 +x	Combination	Max	Bottom	-9003.88	1029.52	-0.76	22.67	2.61	-51.72
Story1	Y12	Rehabilitacion combo1 +x	Combination	Min	Top	-6490.76	-1137.73	-53.33	-9.88	84.19	-274.68
Story1	Y12	Rehabilitacion combo1 +x	Combination	Min	Bottom	-11029.07	-1062.84	-121.21	-32.99	-61.98	-129.6
Story1	Y12	Rehabilitacion combo1 +y	Combination	Max	Top	-6082.49	1424.64	-45.76	-3.41	92.35	171.71
Story1	Y12	Rehabilitacion combo1 +y	Combination	Max	Bottom	-9979.03	1501.49	-59.54	-0.45	-28.97	82.62
Story1	Y12	Rehabilitacion combo1 +y	Combination	Min	Top	-6130.83	-1589.86	-46.08	-6.85	92.07	-325.02
Story1	Y12	Rehabilitacion combo1 +y	Combination	Min	Bottom	-10053.92	-1534.81	-62.43	-9.86	-30.4	-263.94
Story1	Y12	Rehabilitacion combo2 +x	Combination	Max	Top	-4612.26	987.53	-30.15	0.55	83.46	135.31
Story1	Y12	Rehabilitacion combo2 +x	Combination	Max	Bottom	-7182.7	1032.55	10.33	23.61	8.01	-35.24
Story1	Y12	Rehabilitacion combo2 +x	Combination	Min	Top	-5380.46	-1122.71	-44.98	-8.94	67.42	-260.74
Story1	Y12	Rehabilitacion combo2 +x	Combination	Min	Bottom	-9207.9	-1059.81	-110.12	-32.05	-56.58	-113.12
Story1	Y12	Rehabilitacion combo2 +y	Combination	Max	Top	-4972.19	1439.66	-37.41	-2.48	75.59	185.65
Story1	Y12	Rehabilitacion combo2 +y	Combination	Max	Bottom	-8157.85	1504.52	-48.45	0.49	-23.57	99.11
Story1	Y12	Rehabilitacion combo2 +y	Combination	Min	Top	-5020.53	-1574.84	-37.73	-5.92	75.3	-311.08
Story1	Y12	Rehabilitacion combo2 +y	Combination	Min	Bottom	-8232.74	-1531.78	-51.34	-8.92	-25	-247.46
Story1	Y14	Rehabilitacion combo1 +x	Combination	Max	Top	-4212.7	751.35	-11.53	-4.49	42.38	-200.33
Story1	Y14	Rehabilitacion combo1 +x	Combination	Max	Bottom	-6335.32	579.15	3.5	22.83	7.68	188.77
Story1	Y14	Rehabilitacion combo1 +x	Combination	Min	Top	-4773.72	-370.21	-13.23	-21.41	31.75	-463.63
Story1	Y14	Rehabilitacion combo1 +x	Combination	Min	Bottom	-7564.34	-609.37	-71.37	-57.85	-40.49	-289.07
Story1	Y14	Rehabilitacion combo1 +y	Combination	Max	Top	-4450.25	1170.68	-12.23	-12.51	37.53	-163.66
Story1	Y14	Rehabilitacion combo1 +y	Combination	Max	Bottom	-6875.15	985.54	-32.15	-15.55	-15.27	77.56
Story1	Y14	Rehabilitacion combo1 +y	Combination	Min	Top	-4536.16	-789.53	-12.53	-13.39	36.6	-500.3
Story1	Y14	Rehabilitacion combo1 +y	Combination	Min	Bottom	-7024.51	-1015.76	-35.73	-19.47	-17.53	-177.86
Story1	Y14	Rehabilitacion combo2 +x	Combination	Max	Top	-3395.75	716.7	-9.28	-2.13	35.64	-139.97
Story1	Y14	Rehabilitacion combo2 +x	Combination	Max	Bottom	-5071.71	581.9	9.67	26.02	10.67	197.89
Story1	Y14	Rehabilitacion combo2 +x	Combination	Min	Top	-3956.77	-404.86	-10.98	-19.06	25.01	-403.27
Story1	Y14	Rehabilitacion combo2 +x	Combination	Min	Bottom	-6300.74	-606.63	-65.2	-54.67	-37.51	-279.95
Story1	Y14	Rehabilitacion combo2 +y	Combination	Max	Top	-3633.31	1136.03	-9.98	-10.15	30.79	-103.3
Story1	Y14	Rehabilitacion combo2 +y	Combination	Max	Bottom	-5611.54	988.29	-25.98	-12.37	-12.29	86.68
Story1	Y14	Rehabilitacion combo2 +y	Combination	Min	Top	-3719.21	-824.18	-10.28	-11.04	29.86	-439.94
Story1	Y14	Rehabilitacion combo2 +y	Combination	Min	Bottom	-5760.9	-1013.01	-29.55	-16.28	-14.55	-168.74

7.2.Procedimiento de diseño de reforzamientos

Dimensiones de la mampostería:

$$H_{\text{muro}} = 3.2 \text{ m}$$

$$B_{\text{muro}} = 2.7 \text{ m}$$

Descripción y propiedades de la mampostería:

El módulo de elasticidad de la mampostería, así como el módulo de ruptura están sujetos a las recomendaciones y sugerencias dadas por la normativa ASCE. La resistencia a la compresión de la mampostería es un valor extraído de pruebas de laboratorio realizadas por Sánchez Camana (2017), en las cuales se ensayaron diferentes muestras de muros de mampostería con el fin de realizar una comparativa de resistencias con un muro de mampostería de material reciclado.

$$f'_m = 46.43 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} = 4.553 \text{ MPa}$$

Resistencia a la compresión de la mampostería

$$E_m = 550 \cdot f'_m = 25536.5 \text{ kgf/cm}^2$$

Módulo de elasticidad de la mampostería

$$f_r = 10 \text{ psi} = 0.069 \text{ MPa}$$

Módulo de ruptura de la mampostería

$$\epsilon_{\text{mu}} = 0.0035$$

Tensión máxima utilizable de la mampostería

$$t_m = 15 \text{ cm}$$

Espesor de la mampostería

Propiedades de FRP – Sistema FRPV/Epóxico

Laminas para reforzamiento a flexión

$$f_{fu}' = 1517 \text{ MPa} \quad \text{Resistencia última a la tracción del material FRP según lo indicado por el fabricante.}$$

$$E_f = 72000 \text{ MPa} \quad \text{Módulo de elasticidad – Tensión}$$

$$C_E = 0.65 \quad \text{Factor de reducción medioambiental}$$

$$t_f = 0.356 \text{ mm} \quad \text{Espesor de lámina a colocar}$$

$$\varepsilon_{fu}' = 0.021 \quad \text{Ruptura del refuerzo FRP}$$

Barras – Reforzamiento al corte

$$f_{fu}' = 827.371 \text{ MPa}$$

$$E_f = 40816.963 \text{ MPa}$$

$$A = 32.258 \text{ mm}^2$$

$$\varepsilon_{fu}' = 0.02$$

Reforzamiento a flexión

En el ejemplo dado por la American Concrete Institute (2010), el módulo de sección como el área neta se encuentran sobre una unidad de longitud, lo cual afecta a los cálculos posteriores entando estos afectados de la misma manera. Algo a tener en cuenta, es que el área neta, como el mismo nombre lo indica es el área de la sección del muro de mampostería sin tener en consideración las aberturas que pueda tener los bloques usados, siendo el ejemplo de la ACI con bloques de hormigón hueco, mientras que en este trabajo se lo realiza con ladrillos macizos.

$$M_u = 171.37 \text{ kgf}\cdot\text{m} \cdot \frac{1}{B_{\text{muro}}} = 622431.708 \text{ N}\cdot\text{mm}/\text{m} \quad \text{Momento último}$$

$$P_u = 0.9 \cdot 2897.52 \text{ kgf} \cdot \frac{1}{B_{\text{muro}}} = 9471.655 \text{ N}/\text{m} \quad \text{Fuerza axial última}$$

$$S = \frac{1 \text{ m} (t_m)^2}{6} \cdot \frac{1}{\text{m}} = 3750000 \text{ mm}^3/\text{m} \quad \text{Módulo de sección}$$

$$A_n = (t_m \cdot 1 \text{ m}) \cdot \frac{1}{m} = 150000 \text{ mm}^2/\text{m} \quad \text{Área neta}$$

$$f_b = \frac{M_u}{S} - \frac{P_u}{A_n} = 0.103 \text{ MPa} \quad \text{Esfuerzo de tensión}$$

La siguiente condición en caso de cumplirse, quiere decir que es necesario el reforzamiento del muro de mampostería a flexión. En este caso, si es necesario el refuerzo.

$$f_b > 0.6 \cdot f_r$$

$$0.103 \text{ MPa} > 0.041 \text{ MPa}$$

Resistencia nominal requerida:

$$M_n = \frac{M_u}{0.6} = 1037.386 \text{ N} \cdot \frac{\text{m}}{\text{m}}$$

Resistencia efectiva a la tensión de láminas de FRPV

El valor asumido de k_m es dado por la ACI, tomando el valor de 0.45 para sistemas FRP instalados en la superficie.

$$f_{fu} = C_E \cdot f'_{fu} = 986.05 \text{ MPa} \quad \text{Resistencia de diseño}$$

$$k_m = 0.45 \quad \text{Coeficiente de reducción de enlace calibrado}$$

$$f_{fe} = k_m \cdot f_{fu} = 443.723 \text{ MPa} \quad \text{Resistencia efectiva}$$

Área FRPV requerido:

En cuanto a los valores asumidos por β_1 y γ , son definidos mediante el fallo predominante en el muro de mampostería. Su valor será de 0.8 cuando el fallo predominante es por aplastamiento de la mampostería, mientras que el fallo por el desprendimiento de FRP es representado por el valor de 0.7.

$$\beta_1 = 0.7$$

$$\gamma = 0.7$$

$$\alpha = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot f'_m \cdot \beta_1^2 \cdot 1000 \text{ mm} = 780.879 \text{ N/mm}$$

$$\beta = -\gamma \cdot f'_m \cdot \beta_1 \cdot 1000 \text{ mm} \cdot t_m = -334662.228 \text{ N}$$

$$\delta = M_n \cdot 1 \text{ m} + \frac{1}{2} \cdot P_u \cdot 1 \text{ m} \cdot t_m = 1747760.292 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$c = \frac{-\beta - \sqrt{\beta^2 - 4 \cdot \alpha \cdot \delta}}{2 \cdot \alpha} = 5.29 \text{ mm}$$

Posición neutra del eje

$$A_f = \frac{\gamma \cdot f'_m \cdot \beta_1 \cdot c \cdot 1000 \text{ mm} - (P_u \cdot 1 \text{ m})}{f_{fe}} = 5.241 \text{ mm}^2$$

Área de refuerzo FRP requerido

Ancho de FRPV requerido:

Habiendo obtenido el área de refuerzo requerido, a continuación, se impondrán valores tanto para el ancho de la lámina que será colocada de manera vertical, como también del espaciamiento que tendrán estas. El valor dado por w_f es un indicativo de un ancho mínimo que tendrá las láminas de FRPV.

$$w_f = \frac{A_f}{t_f} \cdot \frac{1}{m} = 14.722 \text{ mm/m}$$

$$w_f = 100 \text{ mm} = 0.1 \text{ m}$$

Ancho de lámina asumido

$$s_f = 550 \text{ mm} = 0.55 \text{ m}$$

Espaciamiento asumido

$$A_f = \frac{1000 \text{ mm}}{s_f} \cdot w_f \cdot t_f = 64.727 \text{ mm}^2$$

Con los valores asumidos se puede conocer el área de FRPV que se va a instalar. Para posteriormente realizar una verificación, la cual en este caso si cumple.

$$A_{f_instalado} > A_{f_requerido} \begin{cases} \text{Si } A_{f_instalado} > A_{f_requerido} & \text{entonces si cumple} \\ \text{Si } A_{f_instalado} < A_{f_requerido} & \text{entonces no cumple} \end{cases}$$

$$64.727 \text{ mm}^2 > 5.241 \text{ mm}^2$$

Como una verificación adicional para el reforzamiento a flexión, se tiene que tener en cuenta que el espaciamiento que tendrán las láminas no debe exceder un límite, el cual se obtiene con la siguiente formula y que en este caso no se excede.

$$s_{f_max}=3 \cdot t_m + w_f = 550 \text{ mm}$$

Finalmente, para el diseño a flexión, se debe instalar 100 mm de PRFV con un espaciamiento de 550 mm

Reforzamiento a corte

Para verificar si el muro requiere reforzamiento al corte, es necesario conocer el valor del módulo de ruptura del muro, siendo tomada la sugerida por la ACI para una mampostería en condición regular

$$V_u = 594.35 \text{ kgf}$$

$$A_n = B_{muro} \cdot A_{n_{muro}} = 405000 \text{ mm}^2$$

Fuerza de corte última

$$f_{r_corte} = 20 \text{ psi}$$

Módulo de ruptura para corte, dada por la ACI para mampostería en condición regular

$$V_m = f_{r_corte} \cdot A_n = 55847.534 \text{ N}$$

$$f_{vm} = 0.8 \cdot V_m = 44678.027 \text{ N}$$

$$f_{vm} < V_u$$

Realizando la verificación con la condición dada por la ACI, dio como resultado que si se requiere reforzamiento a corte.

$$f_{fu_barras} = C_E \cdot f_{fu}' = 537.791 \text{ MPa}$$

Resistencia de diseño de barras

$$s_f = 16 \text{ in}$$

Espaciamiento asumido

$$n = \frac{H_{muro}}{s_f} = 7.874$$

Numero de barras a colocar

$$A_{f_barras} = n \cdot A_{barras} = 254 \text{ mm}^2$$

Área total de barras a colocar

Cuantía de refuerzo:

$$w_f = \frac{1}{85} \cdot \frac{A_{f_barras} \cdot E_f}{A_n \cdot \sqrt{f'_m}} = 0.141$$

$$k_v = 0.4$$

$$f_{fe_barra} = k_v \cdot f_{fu_barra} = 215.116 \text{ MPa}$$

Contribución al corte:

$$p_{fv} = A \cdot f_{fe_barra} = 6939.226 \text{ N}$$

$$p_{fv} \leq 44500 \text{ N}$$

$$d_v = 2.7 \text{ m}$$

$$V_f = p_{fv} \cdot \frac{d_v}{s_f} = 34065.29 \text{ N}$$

Resistencia al corte del muro reforzado:

Finalmente, para el diseño a corte, se realiza la verificación dando un resultado que la fuerza cortante nominal es mayor a la última.

$$V_n = V_m + V_f = 89912.824 \text{ N}$$

$$0.8 \cdot V_n > V_u$$

Para corte, se debe realizar la colocación de barras #2 espaciadas cada 16 in.