



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Civil

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE SISMO RESISTENTE PARA EDIFICIOS DE CUATRO  
NIVELES, APLICANDO EL MÉTODO DE MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA**

**Walter Alejandro Rodríguez García**  
Asesorado por el MSc. Ing. Manuel Alberto Ávila

Guatemala, noviembre de 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE SISMO RESISTENTE PARA EDIFICIOS DE CUATRO NIVELES, APLICANDO EL MÉTODO DE MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**WALTER ALEJANDRO RODRÍGUEZ GARCÍA**  
ASESORADO POR EL MSC. ING. MANUEL ALBERTO ÁVILA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO CIVIL**

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Armando Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco
EXAMINADOR	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
EXAMINADOR	Ing. Andy Williams Alonzo Vásquez
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE SISMO RESISTENTE PARA EDIFICIOS DE CUATRO NIVELES, APLICANDO EL MÉTODO DE MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Estudios de Postgrado con fecha 30 de octubre de 2020.

**Walter Alejandro Rodríguez García**

Ref. EEPFI-0400-2021  
Guatemala, 03 de julio de 2021

Director  
Armando Fuentes Roca  
Escuela de Ingeniería Civil  
Presente.

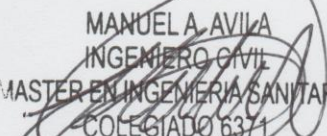
Estimado Mtro. Fuentes:

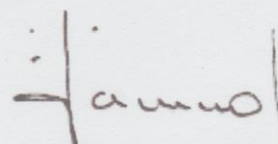
Reciba un cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado. El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado y aprobado el **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN: DISEÑO SISMO RESISTENTE PARA EDIFICIOS DE CUATRO NIVELES, APLICANDO EL MÉTODO DE MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA**, presentado por el estudiante **Walter Alejandro Rodríguez García** carné número **201318601**, quien optó por la modalidad del "PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO". Previo a culminar sus estudios en la Maestría en Ciencias en Estructuras.

Y habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Décimo, Inciso 10.2 del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

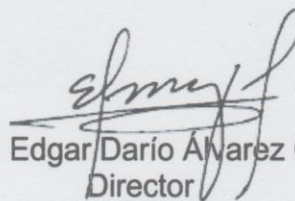
Atentamente,

*"Id y Enseñad a Todos"*

  
MANUEL A. AVILA  
INGENIERO CIVIL  
MASTER EN INGENIERIA SANITARIA  
COLEGIADO 6371  
Mtro. Manuel Alberto Ávila  
Asesor

  
Mtro. Armando Fuentes Roca  
Coordinador de Área de Infraestructura



  
Mtro. Edgar Darío Álvarez Cotí  
Director  
Escuela de Estudios de Postgrado  
Facultad de Ingeniería

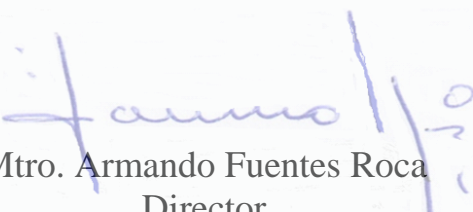




EEP-EIC-004-2021

El Director de la Escuela de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador y Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, del Diseño de Investigación en la modalidad Estudios de Pregrado y Postgrado titulado: **DISEÑO SISMO RESISTENTE PARA EDIFICIOS DE CUATRO NIVELES, APLICANDO EL MÉTODO DE MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA**, presentado por el estudiante universitario Walter Alejandro Rodríguez García, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería en esta modalidad.

ID Y ENSEÑAD A TODOS



Mtro. Armando Fuentes Roca  
Director  
Escuela de Ingeniería Civil



Guatemala, julio de 2021





**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Decanato  
Facultad de Ingeniería  
24189101 - 24189102  
secretariadecanato@ingenieria.usac.edu.gt

DTG.702.2021

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE SISMO RESISTENTE PARA EDIFICIOS DE CUATRO NIVELES, APLICANDO EL MÉTODO DE MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA**, presentado por el estudiante universitario: **Walter Alejandro Rodríguez García**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Inga. Anabela Cordova Estrada  
Decana



Guatemala, noviembre de 2021

AACE/cc

## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Por haberme apoyado en todas mis metas, por la vida que me ha dado, por todo lo que tengo y no tengo.
- Mis padres** Por darme la vida y llevarme al camino del bien, agradezco por apoyarme en mis logros, sin ustedes no lo hubiera logrado.
- Mis hermanos** Mario Rodríguez por tú apoyo y compañía.
- Mi tía** Rosa María García, por darme su apoyo cuando más lo necesite y sus consejos, y ser un ejemplo a seguir.
- Mi abuela** Isabel García, por estar a mi lado desde pequeño y darme sus consejos, y enseñanzas, por confiar en mí.
- Familia y amigos** Alejandra Hernández, Betzabé Sitán, Fabiola Martínez, Juan Luis Zamboni, Eddie Top, por haber tenido fe en mí y su apoyo cuando lo necesité.



## AGRADECIMIENTOS A:

<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por ser la <i>alma mater</i> que me permitió nutrirme de conocimientos.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por darme los conocimientos necesarios para prepararme como profesional y así lograr realizar este trabajo de graduación.
<b>Mis padres</b>	Por haberme dado la oportunidad de salir adelante con mis estudios.
<b>Mi asesor</b>	MSc. Ing. Manuel Alberto Ávila por la orientación y ayuda que me brindó para la realización de esta tesis, por su apoyo que me permitieron aprender mucho más.
<b>Familia y amigos en general</b>	Por acompañarme a lo largo de mi preparación como profesional.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	III
LISTA DE SÍMBOLOS .....	V
GLOSARIO .....	IX
RESUMEN .....	XIII
1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. ANTECEDENTES .....	3
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	7
4. JUSTIFICACIÓN .....	9
5. OBJETIVOS .....	11
6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN .....	13
7. MARCO TEÓRICO.....	15
7.1. Muros de ductilidad limitada .....	15
7.2. Muros de concreto armado.....	17
7.3. Muros portantes.....	18
7.4. Muros de corte.....	19
7.5. Ductilidad en muros.....	21
8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	23

9.	METODOLOGÍA .....	27
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN .....	29
11.	CRONOGRAMA .....	31
12.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO .....	33
13.	REFERENCIAS .....	35

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Muros de ductilidad limitada.....	16
2.	Detalle de armado de muros de ductilidad limitada.....	17
3.	Tipos de muros portantes.....	19
4.	Muros de corte .....	20

### TABLAS

I.	Metodología de la investigación .....	27
II.	Cronograma de trabajo .....	31
III.	Recursos necesarios para la investigación .....	33



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>b</b>	Ancho de la cara en compresión del miembro
<b>A<sub>g</sub></b>	Área bruta de la sección de concreto
<b>A'<sub>s</sub></b>	Área de refuerzo a compresión
<b>A<sub>s</sub></b>	Área de refuerzo longitudinal no preesforzado a tracción
<b>A<sub>c</sub></b>	Área de sección de concreto que resiste la transferencia de cortante
<b>A<sub>T</sub></b>	Área tributaria
<b>M</b>	Carga muerta
<b>S<sub>h</sub></b>	Carga sísmica horizontal
<b>S<sub>v</sub></b>	Carga sísmica vertical
<b>V</b>	Carga viva
<b>P<sub>v</sub></b>	Carga viva concentrada
<b>W<sub>v</sub></b>	Carga viva uniformemente distribuida
<b>V<sub>t</sub></b>	Cargas vivas de techo
<b>F<sub>a</sub></b>	Coeficiente de sitio para períodos de vibración cortos
<b>F<sub>v</sub></b>	Coeficiente de sitio para períodos de vibración largos
<b>N<sub>a</sub></b>	Coeficiente por proximidad de las amenazas especiales para períodos de vibración cortos
<b>N<sub>v</sub></b>	Coeficiente por proximidad de las amenazas especiales para períodos de vibración largos
<b>d'</b>	Distancia desde la fibra extrema en compresión al centroide del refuerzo longitudinal en compresión

<b>d</b>	Distancia desde la fibra extrema en compresión hasta el centroide del refuerzo longitudinal en tracción
<b>E</b>	Efectos de las fuerzas horizontales y verticales inducidas por el sismo
<b>S</b>	Espaciamiento medido centro a centro de unidades
<b>h</b>	Espesor total o altura de un miembro
<b>K<sub>d</sub></b>	Factor de determinación de los niveles de diseño
<b>K<sub>v</sub></b>	Factor de reducción de carga viva
<b>φ</b>	Factor de reducción de resistencia
<b>R</b>	Factor de reducción de respuesta sísmica
<b>I<sub>o</sub></b>	Índice de sismicidad
<b>I<sub>d</sub></b>	Longitud de apoyo de la carga de un anclaje para cortante
<b>MPa</b>	Megapascal
<b>mm</b>	Milímetro
<b>mm<sup>2</sup></b>	Milímetro cuadrado
<b>E<sub>c</sub></b>	Módulo de elasticidad del concreto
<b>f<sub>r</sub></b>	Módulo de ruptura del concreto
<b>I</b>	Momento de inercia de la sección con respecto al eje que pasa por el centroide
<b>M<sub>a</sub></b>	Momento máximo
<b>M<sub>u</sub></b>	Momento mayorado en la sección
<b>S<sub>1s</sub></b>	Ordenada espectral ajustada del sismo extremo en el sitio de interés para estructuras con período de vibración de 1 segundo
<b>S<sub>cs</sub></b>	Ordenada espectral ajustada del sismo extremo en el sitio de interés para estructuras con período de vibración corto

<b>S<sub>1r</sub></b>	Ordenada espectral de periodo 1 segundo del sismo extremo considerado en el basamento de roca en el sitio de interés
<b>S<sub>cr</sub></b>	Ordenada espectral de periodo corto del sismo extremo considerado en el basamento de roca en el sitio de interés
<b>T<sub>s</sub></b>	Período expresado en segundos que separa los períodos cortos de los largos
<b>P<sub>e</sub></b>	Probabilidad de excedencia
<b>f'<sub>c</sub></b>	Resistencia especificada a la compresión del concreto
<b>f<sub>y</sub></b>	Resistencia especificada a la fluencia del refuerzo no preesforzado
<b>f<sub>cm</sub></b>	Resistencia promedio a la compresión requerida del concreto





## GLOSARIO

<b>Adobe</b>	Material para construcción hecha de una masa de barro (arcilla y arena), mezclado a veces con paja, moldeada en forma de ladrillo.
<b>Bajareque</b>	Material utilizado en la construcción de viviendas compuesto de cañas o palos entretnejidos y unidos con una mezcla de tierra húmeda y paja.
<b>Cargas dinámicas</b>	Son aquellas que varían continuamente su localización, dirección y magnitud, muestran importantes efectos dinámicos durante el tiempo en que aparecen.
<b>Cargas gravitacionales</b>	Cargas que actúan sobre una estructura como consecuencia de la acción de la gravedad.
<b>Confinamiento</b>	Encerrar el núcleo de concreto de un elemento estructural para evitar que este falle por cortante.
<b>Deformaciones</b>	Son consecuencias de procesos mecánicos, a partir de fuerzas externas o internas que afectan a las características mecánicas de los elementos constructivos.

<b>Ductilidad</b>	Propiedad de unos materiales, mediante los cuales, bajo la acción de una fuerza, pueden deformarse plásticamente de manera sostenible sin fallar.
<b>Encofrado</b>	Es el sistema de moldes temporales o permanentes que se utilizan para dar forma al hormigón u otros materiales similares antes de fraguar.
<b>Escala de Richter</b>	Es la escala de magnitud que mide un sismo por su tamaño, tomando en cuenta la energía liberada.
<b>Esfuerzos axiales</b>	Son los esfuerzos internos o resultantes de las tensiones perpendiculares a la sección transversal.
<b>Esfuerzos mecánicos</b>	Son magnitudes físicas de los cuerpos o elementos que requieren una resistencia para contrarrestar fuerzas o presiones.
<b>Estribo</b>	Refuerzo empleado para resistir fuerzas cortantes y de tensión en un elemento.
<b>Estructura</b>	Es el nombre que recibe el conjunto de elementos, unidos o conectados entre sí, que tienen la función de recibir cargas, soportar esfuerzos y transmitir esas cargas al suelo.

<b>Falla</b>	Es una fractura en la corteza terrestre a lo largo de la cual se mueven los bloques rocosos que son separados por ella.
<b>Hormigón</b>	Es un material compuesto empleado en la construcción, formado esencialmente por un aglomerante (cemento) al que se añade partículas o fragmentos de un agregado (grava y arena), agua y aditivos.
<b>Muros</b>	Son elementos destinados a soportar cargas o cerrar y dividir espacios, cuyo espesor es menor a su altura y longitud.
<b>Placas tectónicas</b>	Es un fragmento de litosfera relativamente rígido que se mueve sobre la astenosfera, una zona relativamente plástica del manto superior.
<b>Rigidez</b>	Es la capacidad de un elemento estructural para soportar esfuerzos sin adquirir grandes deformaciones, es una medida cuantitativa a la oposición a las deformaciones elásticas producidas en un material a causa de una fuerza o un esfuerzo.
<b>Sismos</b>	Es el movimiento brusco de la tierra causado por la liberación de energía acumulada durante un largo tiempo.

<b>Terremoto</b>	Movimiento sísmico que se presenta con movimientos vibratorios, rápidos y violentos de la superficie terrestre.
<b>Vivienda</b>	Edificación cuya principal función es ofrecer refugio y habitación a las personas.
<b>Zona sísmica</b>	Son las regiones activas de la corteza terrestre muy propensas a sufrir grandes movimientos sísmicos.

## RESUMEN

Se abordará la parte teórica sobre los muros de ductilidad limitada y los antecedentes de las experiencias que se han tenido al aplicar este método, para posteriormente se determinarán los criterios estructurales del método. Se expondrán las características físicas y las propiedades mecánicas que presentan los muros de ductilidad limitada utilizados en una estructura, así como las situaciones en donde se puede aplicar este método. Se enumeran las características y propiedades de los materiales que se utilizarán para la fabricación de los muros de ductilidad limitada.

Se determinará los parámetros estándares de diseño de los muros de ductilidad limitada, como el análisis sísmo resistente de este tipo de estructura, y así crear un modelo óptimo.

Se realizará un análisis estructural, considerando las propiedades mecánicas y su respectiva validación. Se realizará un análisis estructural utilizando el software SAP 2000 y así tener una comparativa con los datos obtenidos. Finalmente, se realizarán pruebas experimentales para comparar los resultados de un análisis estructural de un software y lo real.



# 1. INTRODUCCIÓN

El método de muros de ductilidad limitada ha surgido a través de los efectos que ha tenido los sismos en las estructuras construidas con los métodos tradicionales los cuales no han cumplido con las exigencias que se esperaban, así es como se han ido innovando las técnicas y aplicando nuevas tecnologías para evitar pérdidas humanas y de recursos.

Se implementará este método en un modelo simple de una estructura de cuatro niveles, para analizar el efecto que tiene y de qué manera se distribuyen los efectos de las cargas en estará sometida la estructura. Se describe el proceso de construcción de este método como también el diseño y los materiales a utilizar.

Se describen las características físicas y las propiedades mecánicas que presentan los muros de ductilidad limitada utilizadas en una estructura, como también las situaciones en donde se puede aplicar este método.

Se realizará un análisis y diseño estructural, mediante la evaluación del método de análisis por elementos finitos y comparar los resultados que se obtengan de los ensayos que se realizarán al someter muros de ductilidad limitada a pruebas de cargas dinámicas y gravitacionales, teniendo en cuenta una variación de los resultados tanto teóricos como experimentales sin que se alejen de la realidad.





## 2. ANTECEDENTES

Una de las necesidades principales del hombre ha sido la vivienda, es una necesidad básica del cual está obligado a producir para sobrevivir. La vivienda es el espacio físico de una persona, que da respuesta a la situación vital dentro del entorno de la familia y la sociedad, creando espacios adecuados para la elaboración de actividades. El hombre ha venido desarrollando métodos para producir estos espacios habitables, para satisfacer sus necesidades.

Estudios geográficos muestran que nuestro país se localiza en una zona con mayores riesgos. Si observamos la zona montañosa de nuestro país y un mapa de localización de las placas tectónicas muestran los riesgos que podrían ocurrir, es por ello que se ve la necesidad de educar en prevención. (González, 2006, p. 1)

La innovación arquitectónica vino de la mano de las nuevas tecnologías, pero también ha sido impulsada por los recurrentes eventos sísmicos. Guatemala se encuentra en una zona sísmica, en el territorio convergen tres placas tectónicas (Norteamérica, Cocos y el Caribe). Dando a lugar a eventos sísmicos, que han dejado a su paso grandes pérdidas humanas y económicas, por lo que se han innovado los métodos de construcción, implementando nuevas tecnologías

Para González (2006):

El Terremoto de 1976 fue registrado el 4 de febrero, aunque el terremoto del 42 fue de mayor magnitud este se considera el más destructor

probablemente porque nuestro país estaba más poblado que en la época anterior. Se registraron 25,000 muertos y 75,000 heridos, se calcula que las pérdidas excedieron el billón de dólares. Se destruyeron muchas viviendas y edificios públicos. (p. 3)

A partir de este punto surgió un cambio en los métodos de construcción que se habían llevado a cabo antes del terremoto.

González (1979), en su trabajo de graduación titulado Evaluación comparada de la vivienda construida antes y después del terremoto de febrero 1976, en el municipio de San Lucas Sacatepéquez, hace mención que el adobe era el material predominante de esa época, por ser un material abundante y no requería mano de obra calificada se construyeron una cantidad significativa de viviendas, la desventaja está en su baja resistencia a esfuerzos mecánicos (corte, compresión, tensión y flexión) así como el deterioro físico por efecto de la humedad.

Por lo tanto, este material no cumplía con normas con requisitos mínimos para garantizar una estructura segura, resistente y confiable. A partir de este punto, los constructores buscaron otros métodos para la elaboración de obras, y así innovar los sistemas constructivos para evitar pérdidas humanas.

En el área de la construcción existen diferentes técnicas para edificar, uno de estos métodos es el de muros de ductilidad limitada, en Perú se ha implementado este método de construcción y ha obtenido muy buenos resultados, por lo que se recomienda utilizar como un método sismorresistente. Los muros de ductilidad limitada tienen un doble comportamiento, ante cargas verticales y ante el efecto sísmico; los cuales son a su vez muros portantes (muros que soportan una gran parte del peso de una estructura) y muros de corte

Según Vielman, Oller y Barbat (2014) en su investigación titulada *Vulnerabilidad de edificios de ductilidad limitada*, hacen mención que los muros de ductilidad limitada son conocidos así debido por dos razones principales: son muros que no poseen ningún confinamiento en sus extremos, dado que por su espesor es imposible usar estribos, y porque el refuerzo que generalmente se usa son mallas.

La práctica de sistemas constructivos tradicionales y los efectos que han causado los sismos afectando las estructuras ha llevado a mejorar estas técnicas, actualmente las viviendas se elaboran mediante métodos como: mampostería reforzada o confinada, concreto armado o materiales prefabricados, no son los únicos métodos que se pueden utilizar en la elaboración de obras.

La técnica de muros de ductilidad limitada es otro método que puede utilizarse en una estructura para vivienda, con el fin de reducir la cantidad de materiales que se utilizarían con respecto a los métodos tradicionales, teniendo en cuenta los requisitos mínimos que necesita una obra para que cumpla con su fusión y sea estructuralmente resistente.

Gómez (2004) en su trabajo de graduación titulado Procedimiento recomendado para el diseño estructural de un edificio de 4 niveles, formado con marcos de concreto reforzado, utilizando las Normas AGIES 2002, determino una guía para el diseño estructural de un sistema de cargas aplicadas a una serie de elementos; los cuales deben soportar y distribuirlas de la mejor manera para que la estructura soporte cargas.

En la investigación de Chillagana (2013) hace referencia que los edificios que se construyen tienen como sistema estructural losa y muros delgados de concreto armado. Estos edificios tienen algunas características particulares que

hacen que su diseño y construcción no estén completamente considerados por las normas actuales para edificios. Esto puede conducir a importantes diferencias en el desempeño sismoresistencia de estas edificaciones, diferencias que podrían ir más allá de las que suelen existir en sistemas debidamente normados.

Merodio y Vásquez (2018) en su investigación titulada Estudio Comparativo del comportamiento y diseño estructural de un edificio multifamiliar de 5 pisos, hace referencia que la albañilería confinada es el sistema estructural más utilizado. Su predominancia sobre otros sistemas estructurales para edificaciones de baja complejidad y reducida altura radica fundamentalmente en la cantidad de materiales y mano de obra. Entre los años 2004 y 2012, el aumento de las inversiones y proyecciones con tendencias economía en crecimiento, originó el fenómeno que trajo consigo el incremento en la ejecución de edificaciones estructurales bajo el sistema de muros de ductilidad limitada (MDL).

Este tipo de sistema tiene gran rigidez y ductilidad limitada, la estructura es capaz de soportar pequeñas deformaciones, pues la baja ductilidad no permite que absorba grandes deformaciones. La importancia estructural de este sistema radica en el uso de muros de hormigón, lo cual asegura que no se produzcan cambios bruscos de las propiedades resistentes y principales de las rigideces.

Se debe tener en cuenta que no se deben bajar instalaciones por los muros, ya que, al ser estructurales, se van a debilitar notoriamente, ni tampoco se permite la eliminación de los muros para hacer ampliaciones de los ambientes, por lo mismo. Es decir, que se debe controlar el proceso constructivo y no cometer errores, para este sistema se deben utilizar encofrados metálicos o encofrados artesanales y el uso de hormigón premezclado, haciendo más ágil y económico el proceso constructivo de las obras.

### **3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El terremoto de 1976 en Guatemala establece un punto importante en la historia de la construcción; cabe mencionar, que antes de esta fecha, una cantidad significativa de viviendas se construían con materiales que no cumplían con normas mínimas para garantizar una estructura segura, resistente y confiable. A partir de esta fecha, los constructores buscaron otros métodos para la elaboración de obras, y así innovar los sistemas constructivos para evitar pérdidas físicas y humanas

La práctica de sistemas constructivos tradicionales y los efectos que han causado los sismos afectando las estructuras ha llevado a mejorar estas técnicas. Actualmente, las edificaciones se diseñan y construyen mediante materiales prefabricados. Estos métodos no eran los únicos que se podían utilizar en la elaboración de obras; ya que actualmente la técnica de muros de ductilidad limitada es otra forma que puede utilizarse en una estructura para vivienda, con el fin de reducir la cantidad de materiales que se utilizarían con respecto a los métodos tradicionales, y siempre teniendo en cuenta los requisitos mínimos que necesita una obra para que cumpla con su función y sea estructuralmente resistente.

El método de diseño de muros de ductilidad limitada es un sistema del cual no se cuenta con suficiente información en el medio, por lo que es importante evaluarlo y analizarlo, con el fin de proponerlo en el gremio de la construcción, como un sistema funcional técnicamente viable.

Esto lleva a plantear la pregunta principal de este estudio: ¿El método de diseño de edificios con muros de ductilidad limitada, puede mejorar las técnicas de construcción como una opción funcional y con desempeño sísmico adecuado?

Para responder a esta interrogante se deberán contestar las siguientes preguntas auxiliares:

- ¿Investigar las condiciones estructurales del sistema de muros de ductilidad limitada, establecerlo como un sistema funcional?
- ¿Aplicando cargas dinámicas y gravitacionales, se puede determinar las condiciones físicas y estructurales de los muros de ductilidad limitada?
- ¿El desempeño estructural de los muros de ductilidad limitada representa una mejora en la eficiencia de una estructura construida mediante métodos tradicionales?

## 4. JUSTIFICACIÓN

Se desea implementar un sistema constructivo que sea funcional, económico y fácil de adaptar a las edificaciones de cuatro niveles. El sistema de muros de ductilidad limitada presenta muy buenos resultados en su aplicación, por lo tanto, se estudiará el comportamiento de este sistema, aplicándolo a una estructura simple y así determinar un parámetro de diseño que reduzca las deficiencias que aún existen en la construcción.

Este método posee buenos resultados en la resistencia ante los efectos de cargas dinámicas y gravitacionales, pero existe limitada información de éste; cabe destacar que dicho sistema amerita ser estudiado y evaluado para hacer un correcto uso del mismo.

En cuanto al sistema constructivo, no cuenta con vigas y columnas, es decir, muros con losas de entrepiso y cimentación, por lo que sería una ventaja en cuanto al ahorro de recursos naturales.

El estudio y evaluación del método de muros de ductilidad limitada aplicado a una edificación para el uso de vivienda que se desarrolla como tema de trabajo de investigación pretende determinar: las características, propiedades mecánicas, diseño y su funcionalidad de dicho método.

El presente trabajo de investigación está dirigido bajo las líneas de investigación de la Maestría en ingeniería estructural de la Escuela de Estudios de Postgrado, de la Universidad de San Carlos de Guatemala.



Los beneficiarios de la investigación serán, los estudiantes de Ingeniería para el estudio de los otros métodos sismo resistentes aplicados a las estructuras, desarrolladores de proyectos como un método innovador siendo este un método funcional y los diseñadores estructurales para el análisis de las estructuras y evaluar cual es la mejor opción para aplicar en sus diseños.

## **5. OBJETIVOS**

### **5.1. General**

Proponer el método de diseño de muros de ductilidad limitada como un sistema funcional sismo resistente, que mejore las técnicas de construcción para edificaciones de viviendas de cuatro niveles.

### **5.2. Específicos**

- Describir las características estructurales del sistema de muros de ductilidad limitada.
- Determinar en qué condiciones estructurales se puede aplicar este método.
- Describir el proceso de construcción del método de muros de ductilidad limitada.
- Evaluar las condiciones físicas y estructurales de los muros de ductilidad limitada mediante la aplicación de cargas dinámicas y gravitacionales.
- Diseñar una estructura de cuatro niveles implementando el método de muros de ductilidad limitada mediante el análisis por elementos finitos.



## **6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN**

Se investigarán las características estructurales del método de muros de ductilidad limitada como: resistencia, durabilidad, ductilidad entre otros. Se evaluará las condiciones físicas y estructurales de los muros de ductilidad limitada aplicando cargas dinámicas y gravitacionales mediante equipo de laboratorio, obteniendo datos, los cuales serán evaluados y analizados.

Se describirá el proceso constructivo como: armado, encofrado y fraguado de los muros de ductilidad limitada. Como un método comparativo se hará la evaluación del sistema de muros de ductilidad limitada mediante el método de análisis por elementos finitos, se obtendrán datos que se compararán con datos obtenidos en el laboratorio y así establecer un parámetro de error.



## 7. MARCO TEÓRICO

### 7.1. Muros de ductilidad limitada

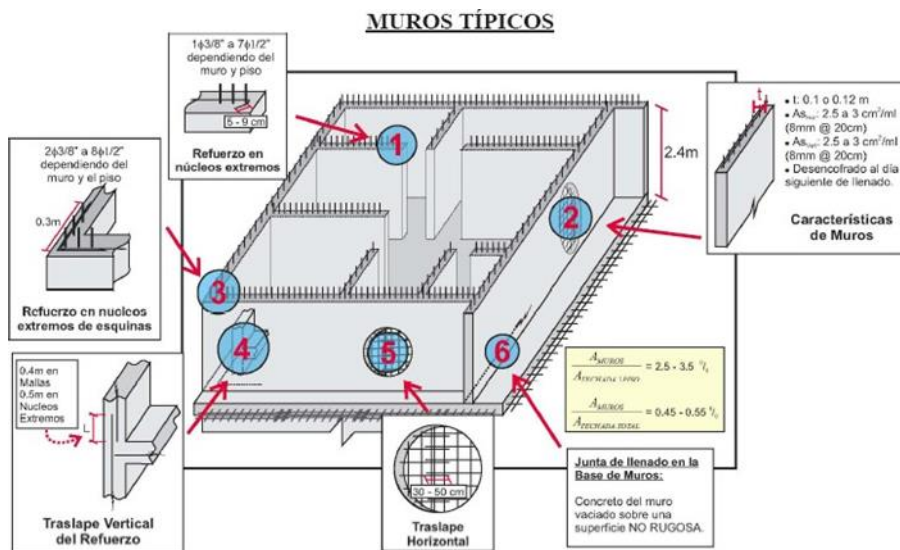
Es un sistema de construcción que consiste en losas y muros portantes delgados de concreto armado, para los cuales no es necesario utilizar estructuras tales como vigas y columnas; los muros de ductilidad tienen un doble efecto, actúan ante cargas gravitacionales y efectos de sismos; una de las características principales de estos muros de concreto armado es que deberá resistir las pruebas de construir este método y el poco tiempo en realizarlo, se ha implementado las edificaciones.

Gran parte de los edificios de vivienda entre 5 y 10 pisos que se construyen hoy en Lima, tienen como sistema estructural losas y muros delgados de concreto armado (10 y 12 cm). Debido a que estos edificios carecen de confinamiento en los extremos de sus muros y a que, por lo general, emplean mallas electrosoldadas como refuerzo, estos no pueden desarrollar desplazamientos inelásticos importantes, por lo que se les denomina edificios de muros de ductilidad limitada. (Delgado y Peña, 2006, p. 1)

“Las estructuras de muros de ductilidad limitada son edificios de muros portantes tanto para solicitaciones de gravedad como sísmicas, generalmente no tiene vigas y las losas se apoyan directamente sobre los muros” (Delgado y Peña, 2006, p. 39). Se puede construir que los muros de ductilidad limitada son del tipo de sistema estructural donde las solicitaciones de carga por sismo y gravedad son alcanzadas por muros de concreto armado en ambas direcciones, estos no

pueden desarrollar desplazamientos inelásticos importantes, los mismos que precinden de extremos confinados y el refuerzo vertical y horizontal están distribuidos en una sola capa. Teniendo como sistema de piso a las losas macizas o aligeradas.

Figura 1. **Muros de ductilidad limitada**

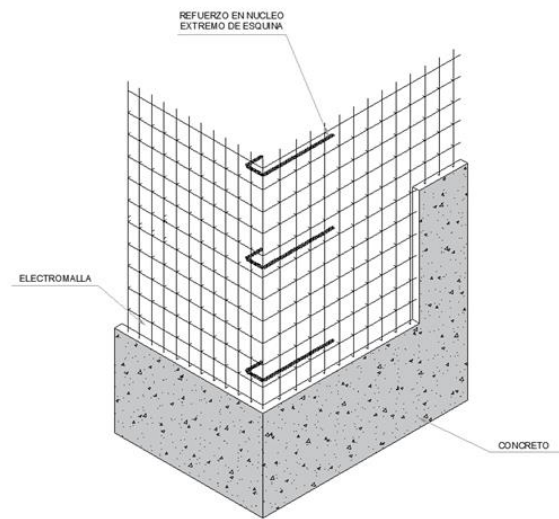


Fuente: Gálvez (2008). *Propuesta del factor de reducción de fuerza sísmica para sistemas estructurales en concreto armado con muros reforzados por barras dúctiles y mallas electrosoldadas*. Consultado el 19 septiembre 2021. Recuperado de <https://docplayer.es/41365150-Propuesta-del-factor-de-reduccion-de-fuerza-sismica-para-sistemas-estructurales-en-concreto-armado-con-muros-reforzados-por-barras-ductiles.html>.

La respuesta básica parece ser limitar los esfuerzos axiales y proporcionar redundancia de muros de soporte. Es bien sabido que altos esfuerzos axiales reducen y aún anulan la limitada ductilidad inherente del concreto sin refuerzo confinante. Bajos esfuerzos axiales promueven un mejor desempeño sísmico.

También es muy importante limitar los esfuerzos de corte y sobre todo promover que la cedencia de las paredes se inicie por flexión.

Figura 2. **Detalle de armado de muros de ductilidad limitada**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2019.

## 7.2. Muros de concreto armado

Los edificios están estructurados integralmente por muros de concreto armado los cuales están diseñados para resistir combinaciones de cortante, momentos y fuerza axial inducidos por movimientos sísmicos; los muros de ductilidad limitada son una consecuencia de los muros de concreto armado porque no pueden desarrollar desplazamientos inelásticos importantes, tienen espesores reducidos con extremos confinados y el refuerzo vertical en una sola hilera. Los muros son de espesores 10 y 15 cm según las medidas que manda la arquitectura en la distribución de los ambientes. (Hilton, 2014, p. 6)



### **7.3. Muros portantes**

Según Casas (2011):

Se denominan muros portantes o muros de carga a las paredes de una edificación que poseen función estructural; es decir, aquellas que soportan otros elementos del edificio, como los forjados o la cubierta. Cuando los muros soportan cargas horizontales, como las cargas del terreno, se denominan muros de contención.

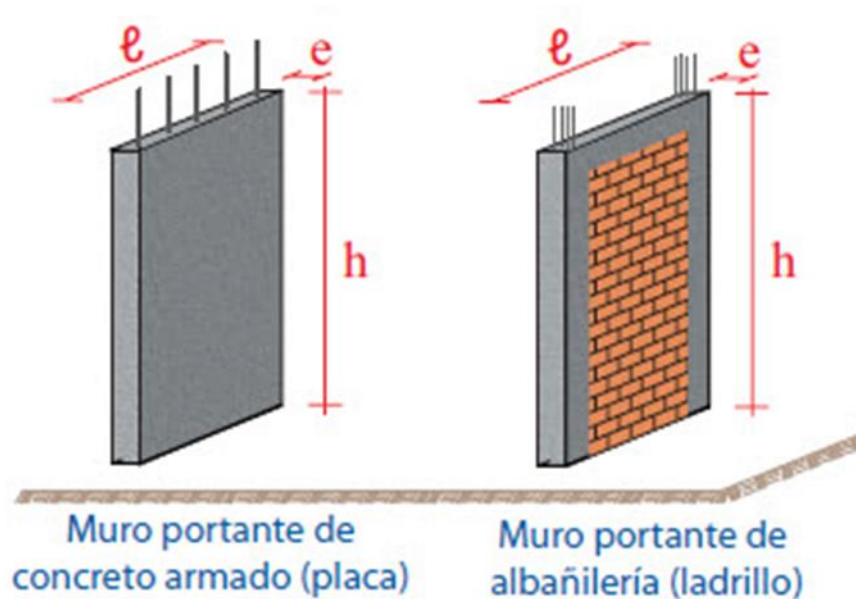
La cimentación de los muros de carga adopta la forma de zapata lineal o zapata corrida. Huecos en muros de carga por su naturaleza, los muros son superficies continuas. Sin embargo, es necesario practicar aberturas en ellos en forma de ventanas o puertas, para iluminar, ventilar o comunicar las estancias interiores. Para ello se utilizan dos métodos: El dintel, o el arco. Los muros portantes soportan los forjados de los edificios. (p. 274)

Tiene que transmitir las cargas al terreno, estos a su vez deben de estar dotados de cimentación, para que el muro no se clave en el terreno. La cimentación donde se encuentran los muros de carga es conocida como zapata lineal o corrida.

Los muros de carga de concreto reforzado son un sistema de resistencia sísmica ampliamente utilizado en el medio, en las últimas décadas ha obtenido gran aceptación por su buen comportamiento estructural y por la notable reducción de tiempos en la ejecución de obra, esto por el nivel de industrialización que ha desarrollado. Este sistema se caracteriza por brindar a las edificaciones una elevada rigidez que permite resistir de manera eficiente cargas debidas a las acciones sísmicas y disminuir los

desplazamientos laterales de la estructura. Además, poseen una gran capacidad para disipar energía y resistir la acción de terremotos intensos. (Valdemarrama, 2016, p. 23)

Figura 3. Tipos de muros portante



Fuente: TAYTA (2021). *¿Qué son los muros portantes y cuál es su importancia?*

Consultado el 19 septiembre 2021. Recuperado de

<https://www.taytaconstrucciones.com/2021/06/21/que-son-los-muros-portantes-y-cual-es-su-importancia/>.

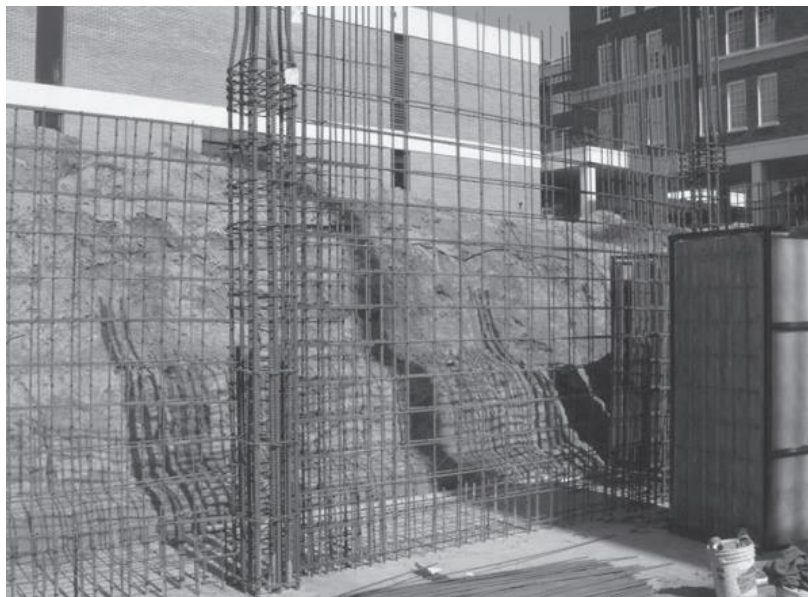
#### 7.4. Muros de corte

Son elementos que se comportan de una manera rígida, lo que evita excesivos desplazamientos en su dirección más larga. Son en efecto vigas en voladizo verticales de gran peralte que proporcionan estabilidad lateral a las estructuras al resistir las fuerzas cortantes y momentos flexionantes en sus planos causados por las fuerzas laterales, la resistencia de los muros de corte es

casi controlada por sus resistencias a flexión, sin embargo, en algunas ocasiones pueden requerir algún refuerzo cortante para prevenir las fallas por tensión diagonal.

Los muros deben ser suficientemente rígidos para limitar las deflexiones a valores razonables. Se usan comúnmente los muros de cortante en edificios con losas de piso de placa plana. De hecho, esta combinación de losas y muros es el tipo más común de construcción usado actualmente en edificios altos de apartamentos y otros tipos de edificios residenciales. (Cormac y Brown, 2011, p. 546)

Figura 4. **Muros de corte**



Fuente: Cormac y Brown (2011). *Diseño de Concreto Reforzado*. Consultado el 19 septiembre 2021. Recuperado de [https://www.u-cursos.cl/usuario/037b375d320373e6531ad8e4ad86968c/mi\\_blog/](https://www.u-cursos.cl/usuario/037b375d320373e6531ad8e4ad86968c/mi_blog/).

## **7.5. Ductilidad en muros**

La ductilidad es la propiedad que poseen los materiales de resistir cargas, las cuales producen una deformación en su estructura, en algunas ocasiones alcanzando su estado de límite de servicio, es decir, la etapa en donde se producen pérdidas en su funcionalidad o el deterioro sin afectar la capacidad de soportar cargas.

En un elemento la ductilidad está relacionada profundamente con su capacidad de absorber la energía producida por las cargas actuantes en su estructura, relacionando la máxima deformación permisible con la deformación inicial de fluencia.

La ductilidad en muros funciona para efectos de carga sísmicas o dinámicas, y los efectos de cargas superiores a las previstas que no superen su estado límite de falla, es decir, la etapa donde se han alcanzado daños totales o parciales que afecten a su capacidad de resistir nuevas acciones de cargas. (Ríos, 1989, p. 6)



## **8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS**

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

OBJETIVOS

HIPÓTESIS

RESUMEN DEL MARCO TEÓRICO

INTRODUCCIÓN

### **1. MARCO TEÓRICO**

1.1. Antecedentes

1.2. Muros de ductilidad limitada

1.2.1. Muros portantes

1.2.2. Muros de corte

1.2.3. Características de los muros de ductilidad limitada

### **2. ESTRUCTURACIÓN Y PREDIMENSIONAMIENTO**

2.1. Criterios de estructura

2.2. Predimensionamiento de elementos estructurales

2.2.1. Muros de ductilidad limitada

2.2.2. Losas macizas

### 3. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES UTILIZADOS

- 3.1. Concreto
  - 3.1.1. Propiedades mecánicas
  - 3.1.2. Características físicas
- 3.2. Refuerzo de acero
  - 3.2.1. Malla electrosoldada
    - 3.2.1.1. Propiedades mecánicas
    - 3.2.1.2. Características físicas
  - 3.2.2. Varillas de acero corrugadas
    - 3.2.2.1. Propiedades mecánicas
    - 3.2.2.2. Características físicas
- 3.3. Características de concreto armado
- 3.4. Encofrado

### 4. CONSIDERACIONES DE DISEÑO

- 4.1. Diseño sismorresistente
- 4.2. Elementos del análisis sismorresistente
- 4.3. Consideraciones para el diseño de muros
  - 4.3.1. Diseño por flexocompresión
  - 4.3.2. Diseño por cortante
  - 4.3.3. Ejemplo de diseño de muros
- 4.4. Consideraciones para el diseño de losas
  - 4.4.1. Diseño por flexión
  - 4.4.2. Diseño por cortante
  - 4.4.3. Diseño por deflexiones

### 5. ESTRUCTURA PARA ANALIZAR

- 5.1. Consideraciones generales
- 5.2. Sistema estructural

- 5.2.1. Predimensionamiento de elementos
    - 5.2.2. Integración de presos
  - 5.3. Cálculo de corte basal VB
  - 5.4. Distribución de fuerzas sísmicas
  
- 6. ANÁLISIS ESTRUCTURAL UTILIZANDO SAP2000
  
- 5. ENSAYO DE MUESTRAS

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

APÉNDICES

ANEXOS





## 9. METODOLOGÍA

La investigación tendrá un alcance exploratorio, debido a la escasa información que existe en el medio, se estudiará el método de muros de ductilidad limitada para determinar sus características y así aplicarlo como un sistema funcional sísmo resistente y un diseño no experimental.

La investigación tendrá un tipo de metodología cuantitativa, debido a que se estudiará el sistema de muros de ductilidad limitada mediante el método de análisis por elementos finitos que consiste en observar el comportamiento numérico de una estructura sometida a fuerzas sísmicas.

Tabal I. **Metodología de investigación**

CAMPO	VARIABLE	TIPO	DEFINICIÓN	DEFINICIÓN OPERATIVA	INDICADORES
MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA	Sismo	Cuantitativo	Se describirá el comportamiento sísmo resistente de una estructura mediante el estudio del método de muros de ductilidad.	Mediante el análisis del modelo de una estructura determinar su comportamiento ante una respuesta sísmica	Respuesta estructural.

Fuente: elaboración propia.



## 10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

La investigación utilizará análisis univariados porque se enfocará en observar las características que desarrollará el método de muros de ductilidad limitada sometida a fuerzas sísmicas, obteniendo una respuesta del mismo y así determinar su funcionalidad para desarrollar un modelo estructural más conveniente ante un parámetro sísmico.

- Revisión bibliográfica: se realizará una investigación de los documentos que hablen de los muros de ductilidad limitada y su ideología de diseño. En esta fase se tomará en cuenta los antecedentes descritos al inicio de la investigación, para reunir la información de las experiencias obtenidas por los profesionales que han aplicado este método.
- Investigación de obra: se investigará la tipología estructural del método de muros de ductilidad limitada, se efectuará una investigación de las experiencias de profesionales que conozcan del tema.
- Uso de recursos: para llevar a cabo la investigación se realizará un estudio basado en pruebas analíticas, mediante el método de análisis por elementos finitos, determinando las características y propiedades mecánicas del sistema de muros de ductilidad limitada y así lograr determinar los parámetros de diseño de un modelo estructural eficaz.



## 11. CRONOGRAMA

Tabal II. Cronograma de trabajo

FASE	ACTIVIDAD	Enero				Febrero				Marzo				Abril				Mayo				Junio			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Fase 1	Investigación bibliográfica	■	■	■	■																				
Fase 2	Redacción de generalidades					■	■	■	■																
Fase 3	Cálculos y diseño									■	■	■	■												
Fase 4	Elaboración del modelo													■	■	■	■	■							
Fase 5	Análisis de datos																	■	■	■	■				
Fase 6	Conclusiones finales																					■	■		
Fase 7	Recomendaciones																								■

Fuente: elaboración propia.



## 12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

Al realizar el análisis de costos para elaborar la investigación se determinó que el presente trabajo de investigación es viable en aspecto económico, siendo los gastos cubiertos por el maestrante.

Tabal III. Recursos necesarios para la investigación

ITEM	ACTIVIDAD	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
1	Asesoramiento del trabajo de investigación	GLOBAL	1	Q. 2,500.00	Q. 2,500.00
2	Ensayos de laboratorio	GLOBAL	2	Q. 1,500.00	Q. 3,000.00
3	Cemento	SACO	15	Q. 78.00	Q. 1,170.00
4	Arena	M3	2	Q. 13.00	Q. 26.00
5	Piedrín	M3	3	Q. 18.00	Q. 54.00
6	Agua	TONEL	1	Q. 10.00	Q. 10.00
7	Acero	QUINTAL	3	Q. 240.00	Q. 720.00
8	Electromalla	UNIDAD	6	Q. 83.00	Q. 498.00
9	Equipo, herramienta	GLOBAL	1	Q. 300.00	Q. 300.00
10	Mano de obra	GLOBAL	1	Q. 1,800.00	Q. 1,800.00
11	Software	UNIDAD	1	Q. 600.00	Q. 600.00
12	Imprevistos	GLOBAL	1	Q. 800.00	Q. 800.00
<b>TOTAL</b>					<b>Q. 11,478.00</b>

Fuente: elaboración propia.





### 13. REFERENCIAS

1. Búcaro, S. (2015). *Análisis crítico del proceso de remodelación de la población de San Andrés Itzapa, desbastada como consecuencia del terremoto de 1976* (Tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
2. Casas, N. (2011). *ESENCIAL, Narciso Casas - Muestra sus obras y secretos en las artes plásticas*. Madrid, España: Bubok Publishing.
3. Chillagana, J. (2013). *Sistemas Constructivos de muros de ductilidad limitada aplicados en viviendas de Quito bajo el reglamento del ACI 318S-08 y la norma ecuatoriana de la construcción* (Tesis de licenciatura). Universidad Central del Ecuador, Ecuador. Recuperado de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/2206/1/T-UCE-0011-70.pdf>
4. Cormac, J. y Brown, R. (2011). *Diseño de Concreto Reforzado*. México: Alfaomega. Recuperado de [https://www.u-cursos.cl/usuario/037b375d320373e6531ad8e4ad86968c/mi\\_blog/r/DiseA\\_o\\_de\\_Concreto\\_Reforzado\\_8\\_edicion\\_-.pdf](https://www.u-cursos.cl/usuario/037b375d320373e6531ad8e4ad86968c/mi_blog/r/DiseA_o_de_Concreto_Reforzado_8_edicion_-.pdf)
5. Delgado, R. y Peña, C. (2006). *Edificios peruanos con muros de concreto de ductilidad limitada* (Tesis de licenciatura). Pontificia Universidad

Católica del Perú, Perú. Recuperado de <https://core.ac.uk/download/pdf/196533007.pdf>

6. Gálvez, A. (2008). *Propuesta del factor de reducción de fuerza sísmica para sistemas estructurales en concreto armado con muros reforzados por barras dúctiles y mallas electrosoldadas*. Lima, Perú. Recuperado de <https://docplayer.es/41365150-Propuesta-del-factor-de-reduccion-de-fuerza-sismica-para-sistemas-estructurales-en-concreto-armado-con-muros-reforzados-por-barras-ductiles.html>
7. González, C. (2006). *Conocimiento sobre las medidas preventivas y de mitigación ante un sismo. Instituto Nacional Experimental de Educación Básica Dr. José Matos Pacheco* (Tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Recuperado de [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/29/29\\_0003.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/29/29_0003.pdf)
8. Gómez, L. (2004). *Procedimiento recomendado para el diseño estructural de un edificio de 4 niveles, formado con marcos de concreto reforzado, utilizando las Normas AGIES 2002* (Tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Recuperado de [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_2445\\_C.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_2445_C.pdf)
9. González, O. (1979). *Evaluación de la vivienda construida antes y después del terremoto de febrero 1976, en el municipio de San Lucas Sacatepéquez* (Tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.

10. Hilton, M. (2014). *Análisis y Diseño de una Edificación Multifamiliar de Siete Pisos con Muros de Ductilidad Limitada* (Tesis de licenciatura). Pontifica Universidad Católica de Perú, Perú. Recuperado de <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/5616>
11. Merodio, J. y Vásquez W. (2018). *Estudio Comparativo del comportamiento y diseño estructural de un edificio multifamiliar de 5 pisos* (Tesis de licenciatura). Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Perú. Recuperado de <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/624897>
12. Ríos, R. (1989). *Requerimientos de ductilidad en muros de ductilidad en muros de edificios formados de concreto reforzado* (Tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
13. Valdemarrama, G. (2016). *Procedimiento de análisis y diseño de muros portantes de concreto reforzado bajo un ambiente informático. Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito* (Tesis de maestría). Escuela Colombiana de Ingeniería, Colombia. Recuperado de <https://repositorio.escuelaing.edu.co/bitstream/handle/001/461/Valderrama%20Romero%2c%20Gabriel%20-%202016.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
14. Vielman, J., Oller, S. y Barbat, A. (2014). *Capítulo 3 Vulnerabilidad de edificios de ductilidad limitada*. Barcelona, España: Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería. Recuperado de <https://researchgate.net/publication/271505845>.

15. TAYTA (21 de junio, 2021). ¿Qué son los muros portantes y cuál es su importancia? [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://www.taytaconstrucciones.com/2021/06/21/que-son-los-muros-portantes-y-cual-es-su-importancia/>