



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

**DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN**  
**EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DE LAS ESTRUCTURAS EN LA ZONA 1**  
**DE LA CIUDAD DE HUEHUETENANGO**

**David Alexander López Poitán**

Asesorado por Msc. Ing. Julio Oswaldo Pirir Quelex

Guatemala, octubre de 2023



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN**  
**EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DE LAS ESTRUCTURAS EN LA ZONA 1**  
**DE LA CIUDAD DE HUEHUETENANGO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA DIRECCIÓN DE LA  
ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO  
POR

**DAVID ALEXANDER LÓPEZ POITÁN**  
ASESORADO POR MSC. ING. JULIO OSWALDO PIRIR QUELEX

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO CIVIL**

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2023



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martinez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Ing. Kevin Vladimir 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. Dario Francisco Lucas Mazariegos
EXAMINADOR	Ing. Marco Antonio García Díaz
EXAMINADORA	Inga. Lesbia Magalí Herrera
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 LA INVESTIGACIÓN  
EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DE LAS ESTRUCTURAS EN LA ZONA 1  
DE LA CIUDAD DE HUEHUETENANGO**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado Maestría en Ciencias en Estructuras, con fecha 6 de octubre de 2023.



**David Alexander López Poitán**







**EEPFI-PP-1316-2023**

Guatemala, 6 de octubre de 2023

**Director**  
**Armando Fuentes Roca**  
Escuela De Ingenieria Civil  
Presente.

**Estimado Mtro. Fuentes**

Reciba un cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería.

El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado y aprobado el Diseño de Investigación titulado: **DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DE LAS ESTRUCTURAS EN LA ZONA 1 DE LA CIUDAD DE HUEHUETENANGO**, el cual se enmarca en la línea de investigación: **Evaluación del Riesgo Sísmico y Desempeño Estructural - Sismología. Fuentes, zonificación.**, presentado por el estudiante **David Alexander López Poitán** carné número **201708943**, 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"*

  
**Julio O. Pirir Q.**  
Ingeniero Civil  
MSc. Estructuras  
Colegiado No. 6614  
Mtro. Julio Oswaldo Pirir Quelex  
Asesor(a)

  
Mtro. Armando Fuentes Roca  
Coordinador(a) de Maestría



  
Mtra. Aurelia Anabela Cordova Estrada  
Directora  
Escuela de Estudios de Postgrado  
Facultad de Ingeniería



Oficina Virtual







EEP.EIC.1237.2023

El Director de la Escuela De Ingenieria 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 DE LA INVESTIGACIÓN EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DE LAS ESTRUCTURAS EN LA ZONA 1 DE LA CIUDAD DE HUEHUETENANGO**, presentado por el estudiante universitario **David Alexander López Poitán**, 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 Ingenieria Civil

Guatemala, octubre de 2023







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

Decanato  
Facultad de Ingeniería

24189101- 24189102

LNG.DECANATO.OIE.108.2023

El Decano 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 LA INVESTIGACIÓN EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DE LAS ESTRUCTURAS EN LA ZONA 1 DE LA CIUDAD DE HUEHUETENANGO**, presentado por: **David Alexander Lopez Poitan** después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Firmado electrónicamente por: José Francisco Gómez Rivera  
Motivo: Orden de impresión  
Fecha: 30/10/2023 19:24:05  
Lugar: Facultad de Ingeniería, USAC.

Ing. José Francisco Gómez Rivera  
Decano a.i.



Guatemala, octubre de 2023

Para verificar validez de documento ingrese a <https://www.ingenieria.usac.edu.gt/firma-electronica/consultar-documento>

Tipo de documento: Correlativo para orden de impresión Año: 2023 Correlativo: 108 CUI: 3145873651301

Escuelas: Ingeniería Civil, Ingeniería Mecánica Industrial, Ingeniería Química, Ingeniería Mecánica Eléctrica, - Escuela de Ciencias, Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS). Postgrado Maestría en Sistemas Mención Ingeniería Vial. Carreras: Ingeniería Mecánica, Ingeniería Electrónica, Ingeniería en Ciencias y Sistemas. Licenciatura en Matemática. Licenciatura en Física. Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas (CESEM). Guatemala, Ciudad



## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Por su inmenso amor, al brindarme la oportunidad de llegar a este punto de formación profesional y personal, culminando así una meta más dentro del proyecto de mi vida.
- Mis padres** Irma Judith Poitán Zaballa de López y Nery Hitler López Ajanel, quienes me han brindado su amor y apoyo incondicional en cada una de las etapas de mi vida y durante este proceso de crecimiento académico y profesional.
- Mi hermana** Vivian Sttefani López Poitán por ser un ejemplo de persistencia y superación representando un apoyo incondicional.
- Mi sobrino** Rodrigo Noé López Poitán por ser el aliciente constante para alcanzar cada una de mis metas.
- Mis abuelos** Ladislao David Poitán García (q. e. p. d.), María Victoria Zaballa de Poitán (q. e. p. d.), Candelario López López y Fidelina Ajanel Hernández de López; por los valores transmitidos que formaron a la persona que soy el día de hoy.

**Mis tíos**

Por su cariño y valiosa ayuda en momentos importantes.

**Mis primos**

Por ser grandes amigos y compañeros a lo largo de mi vida.

**Mis amigos**

Por la valiosa amistad y gran apoyo en todo momento, con quienes he creado un gran vínculo y anécdotas memorables.



## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Mi eterno agradecimiento a ¡mi <i>Alma Máter!</i> , gracias a mi universidad he alcanzado una meta más, lugar en el que luego de tantos años de esfuerzo y sacrificio veo culminado un paso más de mi vida profesional.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Que en tus instalaciones acompañado de grandes amigos y estupendos catedráticos finalizo con gran orgullo y honor la carrera de ingeniería civil.
<b>Catedráticos</b>	Grandes profesionales de la facultad que compartieron su conocimiento y experiencia a través de la catedra.
<b>Asesor</b>	Msc. Ing. Julio Oswaldo Pirir Quelex un especial agradecimiento por el tiempo, la colaboración y orientación que dedico de la forma más profesional a la elaboración de este trabajo de graduación.
<b>Centro Universitario Ciudad Vieja</b>	Mi hogar durante mi etapa universitaria, quienes contribuyeron a mi formación y desarrollo personal, gracias a cada uno de los miembros del CUCV.



## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	III
1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. ANTECEDENTES .....	5
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	9
3.1. Descripción del problema .....	9
3.2. Causales del problema .....	9
3.3. Pregunta principal.....	11
3.4. Preguntas secundarias .....	11
4. JUSTIFICACIÓN .....	13
5. OBJETIVOS.....	15
5.1. Objetivo general .....	15
5.2. Objetivos específicos.....	15
6. ALCANCES.....	17
7. MARCO TEÓRICO .....	19
7.1. Generalidades del municipio de Huehuetenango .....	19
7.1.1. Municipio de Huehuetenango.....	19
7.1.2. Ubicación y localización geográfica.....	20
7.1.3. Extensión, límites y colindancias.....	21

7.1.4.	Población .....	21
7.1.5.	Sismicidad en Guatemala.....	22
7.1.6.	Medidas de los sismos .....	22
7.1.7.	Intensidad.....	22
7.1.8.	Magnitud .....	23
7.2.	Conceptos generales .....	23
7.2.1.	Peligrosidad.....	23
7.2.2.	Métodos deterministas .....	24
7.2.3.	Métodos probabilistas.....	24
7.2.4.	Vulnerabilidad.....	25
7.3.	Metodología de Giovinazzi y Lagomarsino .....	25
7.3.1.	Descripción de metodología .....	26
8.	HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN.....	27
9.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	29
10.	METODOLOGÍA.....	33
11.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN .....	39
12.	CRONOGRAMA .....	41
13.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO.....	43
13.1.	Factibilidad Técnica .....	43
13.2.	Factibilidad Económica.....	45
	REFERENCIAS.....	47
	DOCUMENTOS DEL ASESOR.....	53

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

<b>Figura 1.</b>	Delimitación de la zona 1 del municipio de Huehuetenango .....	21
<b>Figura 2.</b>	Conjuntos difusos de categorías de vulnerabilidad .....	34
<b>Figura 3.</b>	Calibración del conjunto de clase de vulnerabilidad A.....	35

### TABLAS

<b>Tabla 1.</b>	Metodología de la investigación.....	36
<b>Tabla 2.</b>	Cronograma de elaboración de tesis de maestría.....	41
<b>Tabla 3.</b>	Tabulación de inversión para recursos y fuente de procedencia..	45



# 1. INTRODUCCIÓN

El municipio de Huehuetenango, ubicado en la zona noroeste de Guatemala, la exposición a eventos sísmicos representa una preocupación constante debido a la convergencia de placas tectónicas en esta región. Los sismos pueden tener un impacto devastador en las comunidades locales, situando en riesgo la vida de las personas y causando daños significativos a la infraestructura existente. Para abordar esta problemática, es esencial realizar un análisis detallado de la vulnerabilidad sísmica de las estructuras en esta área con énfasis a la zona 1 del municipio de Huehuetenango, lo que permitirá una mejor preparación y mitigación de riesgos cuando ocurra un evento sísmico.

El presente trabajo de investigación se enfocará a evaluar la vulnerabilidad sísmica en la zona 1 de la cabecera municipal de Huehuetenango, utilizando la metodología desarrollada por Lagomarsino y Giovinazzi, que se basa en el estudio de la tipología estructural y la correlación en grupos difusos de los valores de vulnerabilidad que presentan las estructuras en función del nivel de daño. Esta metodología proporciona una sólida base para entender cómo las características de las estructuras influyen en su comportamiento frente a eventos sísmicos, permitiendo así la identificación de las áreas más vulnerables.

El objetivo principal de esta investigación es evaluar la vulnerabilidad sísmica para las estructuras en la zona uno del municipio de Huehuetenango. Para lograrlo, se llevará a cabo un análisis detallado de la tipología estructural de las edificaciones presentes en la zona de estudio, considerando factores como la metodología constructiva empleada, disposición de espacios y cantidad de niveles. Este enfoque nos permitirá comprender cómo las características

intrínsecas de las estructuras pueden afectar su capacidad de resistir un evento sísmico.

Una vez recopilados los datos y realizado el análisis, los resultados se presentarán de manera visual mediante un mapa de calor de vulnerabilidad. Este mapa proporcionará una representación clara de las áreas con mayor y menor vulnerabilidad sísmica en la zona uno del municipio de Huehuetenango, lo que será de gran utilidad para las autoridades locales, los planificadores urbanos y los equipos de respuesta a desastres. Estos datos ayudarán a tomar decisiones informadas en cuanto a la inversión en la mejora de la infraestructura existente y la implementación de medidas de mitigación de riesgo.

En el capítulo uno de la tesis se describirán las generalidades del municipio de Huehuetenango, proporcionando el contexto histórico, sísmico y la delimitación del área seleccionada para el estudio. En el segundo capítulo se abarcarán los conceptos útiles para comprender el peligro, la vulnerabilidad y el daño provocado por eventos sísmicos. Durante el capítulo tres se describirá la metodología de creación de las curvas de fragilidad y las matrices de probabilidad, empleadas para definir los conjuntos de las categorías de vulnerabilidad.

En el cuarto capítulo se describirán los fundamentos, de la metodología propuesta por Giovinazzi y Lagomarsino para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de entornos urbanos, basados en su tipología estructural, con lo anterior en el quinto capítulo se procederá a la descripción del proceso de levantamiento de los datos en campo y los instrumentos empleados, así como la delimitación de los grupos de tipologías encontradas.



En el capítulo seis se describirá la calibración del método para el entorno nacional además de aplicar la metodología del índice de vulnerabilidad general de cada estructura y así poder categorizarlas según la vulnerabilidad calculada. Por último, en el capítulo siete se presentarán los resultados obtenidos del capítulo anterior donde se procederá a la colocación de mapas de calor de las concentraciones de vulnerabilidad en la zona estudiada.

En resumen, este trabajo de investigación tiene como objetivo contribuir a una mejor comprensión de la vulnerabilidad sísmica en la zona uno del municipio de Huehuetenango y proporcionar información valiosa para la toma de decisiones en la gestión de riesgos sísmicos en esta región. El análisis de la tipología estructural y la creación de un mapa de calor de vulnerabilidad son herramientas fundamentales en este proceso, y se espera que los resultados contribuyan a una mayor resiliencia ante futuros eventos sísmicos.



## 2. ANTECEDENTES

Al referirnos a la vulnerabilidad sísmica es posible enmarcar la definición bajo la descripción de los efectos que sufre una estructura, notables a través del nivel de daño que presenta posteriormente a un terremoto, secuelas que afectan la resistencia de la construcción, estas consecuencias impactan a diversos elementos como lo son los que forman parte de la estructura quienes son capaces de resistir las fuerzas a las que son sometidas las construcciones y los elementos no estructurales como fachadas arquitectónicas, instalaciones y demás elementos que forman parte de la edificación sin resistir las carga como lo mencionan (Yépez et al.,1995), debido a esta definición que relaciona los términos de daño y vulnerabilidad es posible considerar la importancia que tiene la observación de los daños post sismo para determinar el grado de vulnerabilidad que presentara una estructura frente a un nuevo sismo.

También en Guatemala se ha realizado un esfuerzo constante en el desarrollo de la ingeniería sísmica y estructural con la finalidad de reducir las consecuencias nefastas que se pueden presentar por la ocurrencia de un movimiento sísmico, motivo por el cual también se cuenta con la descripción del término vulnerabilidad como la capacidad de sobrellevar el peligro que representa un sismo, además se establece la relación directa que existe entre la amenaza y la vulnerabilidad para definir otro termino importante, el riesgo como medida de daño (Molina et al., 1996), por lo que podemos establecer para este trabajo que la vulnerabilidad es determinante en la mitigación de los riesgos presentes al estar en una zona de alta sismicidad.

Para comprender que Guatemala es un país con una alta probabilidad de sufrir eventos sísmicos de altas magnitudes se debe observar la localización del territorio nacional dentro de una zona que alberga los límites de tres placas tectónicas; la placa de Norteamericana, Caribe y Cocos, que nos proporciona dos puntos de interés en el estudio sísmico, el contacto de tipo transcurrente que sucede con las placas Norteamericana y del Caribe y por otro lado la convergencia entre la placa de Cocos y del Caribe que producen un fenómeno de subducción (INSIVUMEH, 2016), si nos centramos en las zonas más cercanas al municipio de Huehuetenango hay que considerar la zona de transcurrencia cuya franja atraviesa al país desde Izabal y llega al departamento de Huehuetenango, zona en la cual se originó el terremoto de 1976, uno de los sismos de mayor magnitud y de impacto alto en la población guatemalteca. (Monzón-Despang, 1996).

Por lo tanto, resulta de interés el estudio de los fenómenos sísmicos y su análisis a través del modelado de ecuaciones para describir las causas y las respuestas que presentan las estructuras como lo estudia la dinámica estructural, cuyo punto de interés empieza con el rompimiento de las fallas, fenómeno que producen aceleraciones a los suelos que inducen fuerzas en las estructuras y estas sollicitaciones deben ser sometidas a un análisis (Hurtado, 2000), información que ha sido empleada para el diseño y la evaluación de los edificios.

Las opciones de métodos para la evaluación de la respuesta de una estructura frente a un evento sísmico es amplia, pero surgió la inquietud de poder realizar un análisis en áreas urbanas y no limitarse a los análisis estructurales ya existentes pues conlleva mayor tiempo y trabajo especialmente al aplicarse a zonas extensas, esto motivo a desarrollar un método para medir la respuesta sísmica de edificios en áreas urbanas de Italia, a través de la ponderación de parámetros de calificación de la estructura afectados por el peso, el conocido

método italiano (Barbat et al., 1998) uno de los métodos probabilísticos más antiguos y conocidos para la evaluación de la vulnerabilidad general de estructuras de zonas urbanas.

Con este método se pueden encontrar un fenómeno probabilístico, esto quiere decir que nos basamos en razonamientos aproximados ya que se adoptan términos lingüísticos cuyo valor es menos preciso pero que aporta información más útil para el razonamiento a través de la lógica difusa que busca justamente mostrar estas representaciones lingüísticas en valores matemáticos a través de las funciones características asociados a los conjuntos difusos (Pérez, 2005), es por eso que se seleccionó este tipo de metodología para los avances en el desarrollo de la evaluación de vulnerabilidad.

Posteriormente se fueron desarrollando avances que permitieron evaluar la vulnerabilidad, uno de estos trabajos empieza a través de la identificación del comportamiento de edificios de mampostería que permitieron encontrar escenarios de daño tras la relación de emplear análisis modales para un grupo control de edificios y así a través de un modelo de Abrams determinar el índice de daño de cada edificio (Yépez et al., 1995b), esto permite realizar calibraciones de funciones de vulnerabilidad para el sitio de estudio simplificando pues del escenario de daño se puede establecer el escenario postsismo que será indicador de la vulnerabilidad de las estructuras (Yépez et al., 1995a). Por ultimo los índices de vulnerabilidad se obtienen ya sea por eventos observados o por modelado matemático de estructuras a través de dos métodos, el primero que involucra las matrices de daño y el segundo las funciones de vulnerabilidad (Yépez et al., 1996)

Esto ha motivado la evaluación de la respuesta sísmica de edificaciones existentes de concreto armado a través de listas de verificación y así descubrir

las deficiencias que presente el edificio, aplicado en República Dominicana (Lew et al., 2002), así como en Colombia se han desarrollado diversos estudios de vulnerabilidad como el aplicado a un grupo de viviendas de bloques de mampostería de hasta dos niveles cuya metodología empleada fue el índice de vulnerabilidad obteniendo como resultados, un 80% de alta vulnerabilidad en la zona estudiada (Moreno, 2010) o el estudio aplicado a un grupo control de escuelas con método del índice prioritario, que pondera en base a la geometría de la edificación unos índices que dependiendo del valor obtenido entran en una de las tres categorías de vulnerabilidad planteadas en el método (Zora y Acevedo, 2019), aunque la vulnerabilidad no se limita a los índices, pues como presentaron (Shekhar et al., 2023) la influencia de la corrosión en la vulnerabilidad sísmica se realizó a través de un estudio histerético de marcos de concreto reforzado. Esto ha demostrado la constante evolución de métodos que permiten estudiar la vulnerabilidad sísmica para afrontar de mejor manera eventos sísmicos futuros.

En Guatemala se ha desarrollado de igual manera un método para determinar forma rápida si una estructura es vulnerable a través de la metodología de evaluación de obras existentes con la evaluación rápida de la norma NSE 6 (AGIES, 2018) sin embargo este método no clasifica en grupos de vulnerabilidad ni la pondera, sino sirve para determinar si es necesaria la intervención o mantenimiento de la obra examinada.

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

#### **3.1. Descripción del problema**

Alta vulnerabilidad sísmica de las construcciones de la zona 1 del municipio de Huehuetenango, pone en riesgo su estabilidad estructural.

#### **3.2. Causales del problema**

Es sabido que Guatemala es un país de alta actividad sísmica, esto debido al contexto tectónico en el cual se encuentra localizado el territorio nacional, la posición en el conocido anillo del pacífico es la principal causa de eventos sísmicos en el país, esto se presenta de esta manera por la interacción que existe entre las tres placas que convergen en Guatemala, por tal razón se viven una cantidad considerable de eventos sísmicos de diferentes magnitudes a lo largo del tiempo, siendo de especial interés los sismos de mediana y gran magnitud que pueden vulnerar las edificaciones existentes del país.

Esta vulnerabilidad parte de varios aspectos que se relacionan directamente con la estructura, el primero de ellos es la práctica constructiva inadecuada que se puede describir como falta de implementación de un reglamento de diseño por parte de las autoridades locales, la utilización de técnicas de construcción inadecuadas basadas además, en un empirismo constructivo de la región y una inexistente supervisión profesional durante el proceso constructivo lo que conlleva a una construcción realizada de forma empírica fuera de los normativos nacionales lo que puede generar configuraciones estructurales inadecuadas; así como no contar con

mantenimiento preventivo o reparación de la estructura luego de un evento sísmico.

Otro aspecto fuera de la estructura que genera vulnerabilidad en esta es la construcción en lugares inseguros o que presentan riesgos físicos como laderas o taludes; así mismo el no contar con regulaciones municipales que se vinculen al riesgo sísmico provoca un ambiente en el cual no se previene la vulnerabilidad estructural de las construcciones.

Esto genera una serie de problemas a nivel privado como social, debido a que una edificación vulnerable puede presentar daños estructurales considerables, como el desprendimiento de elementos estructurales como losas o muros, produciendo así colapsos totales o parciales de viviendas, edificios comerciales o edificios históricos y sitios culturales; provocando pérdidas de vidas humanas, económicas y patrimonio cultural.

De esta manera instituciones como AGIES, ha realizado estudios y propuesto definiciones respecto al riesgo sísmico que se presenta en Guatemala, la cual está definida como la relación que existe entre la amenaza sísmica y la vulnerabilidad de las estructuras, y siendo la amenaza sísmica un fenómeno natural que no puede ser limitado por la acción del hombre, el factor que se puede estudiar y combatir del riesgo sísmico es la vulnerabilidad al ser una variable relacionada a lo pragmático del diseño y construcción es posible a través de investigación definir, delimitar y reducir la vulnerabilidad presente en las construcciones del país.



### **3.3. Pregunta principal**

¿Es posible disminuir la vulnerabilidad sísmica de las construcciones de la zona 1 del municipio de Huehuetenango, reduciendo el riesgo de inestabilidad con la identificación de su tipología estructural?

### **3.4. Preguntas secundarias**

Para obtener un enfoque más preciso del problema de investigación surgen las siguientes preguntas.

- **Pregunta 1**

¿Existen un indicador que categorice la vulnerabilidad de las estructuras?

- **Pregunta 2**

¿Se puede establecer una relación entre la tipología estructural y la vulnerabilidad frente a eventos sísmicos?

- **Pregunta 3**

¿Es posible clasificar la vulnerabilidad de las edificaciones según AGIES?

- **Pregunta 4**

¿Se puede observar el impacto de los eventos sísmicos a través de los registros sísmicos que afectan el área de estudio?

- **Pregunta 5**

¿Se puede representar de forma gráfica la vulnerabilidad obtenida por la metodología de Giovinazzi y Lagomarsino?

## 4. JUSTIFICACIÓN

Debido a la ubicación de Huehuetenango en una región sísmicamente activa, las estructuras se encuentran en una amenaza sísmica constante, por lo que es crucial comprender el grado de peligro que enfrentan la población y sus bienes, con la finalidad de promover medidas preventivas.

Ya que la zona 1 del municipio de Huehuetenango es una de las zonas más densamente pobladas, en cuya área se alberga infraestructura crítica como hospitales, escuelas, edificios de gobierno, áreas comerciales y residenciales es fundamental garantizar la seguridad de la población y reducir al mínimo los daños materiales causados por los eventos sísmicos.

Así también esta investigación de vulnerabilidad proporcionará información valiosa que retroalimentará a la normativa de evaluación de estado de las edificaciones que existe actualmente en el país, con el fin de obtener una correlación entre ambos métodos a través de futuros estudios que comparen los resultados obtenidos en esta investigación con los resultados que se obtengan bajo inspecciones basadas en NSE 6 – 2018.

Así proporcionará resultados que podrán ser empleados por las autoridades locales para desarrollar planes de emergencia específicos para los terremotos, pues se identificarán las áreas de mayor vulnerabilidad a las que sería propicio una mayor asignación de recursos para la respuesta y recuperación de la infraestructura luego de un sismo.

En el aspecto del conocimiento científico, se pretende proporcionar herramientas para los profesionales de la construcción en la cual se pueda medir la vulnerabilidad de las estructuras cercanas a un predio determinado dentro del área de influencia, así como emplear este método para evaluar la vulnerabilidad del proyecto constructivo que se encuentren realizando en la zona 1 del municipio de Huehuetenango con la finalidad de tener un marco preliminar para la realización de dictámenes estructurales puntuales.

Con la descripción es posible enlazar a la línea de investigación “Evaluación del riesgo sísmico y desempeño estructural”, que pertenece al pensum de estudios de la Maestría en Ingeniería en Estructuras de la Escuela de estudios de Postgrado, específicamente en la sub línea de “Zonificación sísmica”.

En resumen, la evaluación de la vulnerabilidad sísmica en la zona 1 de la ciudad de Huehuetenango es una investigación que responde a una necesidad crítica de la seguridad pública y a la planificación urbana. Su relevancia radica en la protección de vidas, la reducción de daños materiales y la mejora de la resiliencia de la comunidad ante eventos sísmicos, contribuyendo así al bienestar y la seguridad de la población.

## **5. OBJETIVOS**

### **5.1. Objetivo general**

Evaluar la vulnerabilidad estructural que presentan las edificaciones ubicadas en la zona 1 del municipio de Huehuetenango, agrupando las estructuras en categorías de vulnerabilidad.

### **5.2. Objetivos específicos**

1. Determinar el índice de vulnerabilidad de las estructuras a partir de la metodología Giovinazzi y Lagomarsino.
2. Identificar la tipología estructural a la cual pertenecen las edificaciones ubicadas en la zona 1 del municipio de Huehuetenango.
3. Clasificar las edificaciones según el índice de vulnerabilidad en distintas categorías según AGIES NSE6-2018.
4. Examinar los registros sísmicos que involucren actividad sensible y de gran magnitud cuya influencia fue percibida en el área de estudio.
5. Trazar un mapa que represente a las estructuras y las distintas categorías de vulnerabilidad a través de GIS.



## 6. ALCANCES

Se ha planteado por AGIES que la vulnerabilidad y la amenaza son las dos variables que influye en el riesgo que se presenta para una estructura, las amenazas se entienden como los factores externos a la estructura que pueden afectar su comportamiento frente a un evento o desastre natural, para este caso de investigación serían los movimientos sísmicos, por otra parte la vulnerabilidad es una propiedad intrínseca de la estructura, la cual se puede ver mermada o incrementada en función del diseño de la estructura, los materiales, técnicas constructivas, mano de obra y otros factores que se involucran en el proceso de diseño y construcción.

Partiendo de esta definición se pretende examinar la vulnerabilidad que presentan las estructuras en el área central de la ciudad de Huehuetenango, que de forma legal está delimitada por zonas, considerando de interés la zona 1 de Huehuetenango, debido a su creciente desarrollo constructivo el cual incrementa el nivel de uso del suelo en esta zona.

Para esto se busca evaluar la vulnerabilidad de las estructuras empleando la metodología propuesta por Giovinazzi y Lagomarsino la cual ayudara a agrupar cada una de las construcciones del área de interés en categorías que irán desde la menos vulnerable hasta la más vulnerable.

Finalmente se espera esquematizar la vulnerabilidad que presentan las estructuras frente a eventos sísmicos con la finalidad de ser base para investigaciones futuras y considerarse para posibles medidas de mitigación.

Se busca beneficiar a la población de estudiantes de la carrera de ingeniería civil y de maestría en estructuras de todo el país ya que servirá como fuente de consulta para el desarrollo de esta metodología de evaluación de estructuras, así como el punto de inicio para nuevas y más amplias investigaciones.

A las organizaciones municipales y de gestión de riesgo, pues permite verificar de forma concreta zonas de vulnerabilidad, y así poder proponer de forma puntual planes de contingencia por zonas frente a un evento sísmico de esta manera minimizando los daños causados por el mismo.

Así también a la población de la zona 1 de Huehuetenango, pues en este estudio podrán corroborar el estado de sus edificaciones y así promover el mantenimiento de las estructuras, ya sea a través de mantenimiento preventivo o por la reparación de elementos estructurales que pudieran presentar daño por sismos anteriores.



## **7. MARCO TEÓRICO**

### **7.1. Generalidades del municipio de Huehuetenango**

El área que se considera como punto de partida para esta investigación está en la jurisdicción del municipio de Huehuetenango, al noroeste de Guatemala, es necesario contextualizar para el marco de esta investigación las características de esta región del país, de esta manera se describen a continuación los siguientes aspectos cuya relevancia para este trabajo es notoria.

#### **7.1.1. Municipio de Huehuetenango**

El municipio de Huehuetenango es la cabecera del departamento de Huehuetenango, este departamento ubicado en el área noroeste del país entre “los paralelos 15° 8’ y 16° 4’ 32” de latitud norte y entre los 91° 3’ y 92° 8’ de longitud oeste del meridiano de Greenwich” (Recinos, 2013, p. 14) tiene colindancias con el país de México al norte y al oeste, con Quiché al este y en el sur con los departamentos de San Marcos, Quetzaltenango y Totonicapán; cuenta con una extensión territorial de 7,403 km<sup>2</sup> (Instituto de estudios y capacitación cívica, 2002).

El municipio de Huehuetenango cuenta con un amplio desarrollo histórico, en esta tierra se asentó la etnia Mam en la ciudad maya de Zaculeu donde el último monarca de los mames, Kaibil Balam resistió la invasión del Capitán Gonzalo de Alvarado hasta su caída en el año 1526 (Recinos, 2013) , está situado en las faldas de Los Cuchumatanes, declarada por acuerdo gubernativo como ciudad desde noviembre de 1866, se ha desarrollado a un ritmo constante,

basando su economía en producción agropecuaria, artesanal y de servicios (Instituto de estudios y capacitación cívica, 2002).

Dentro de su orografía se observa un territorio montañoso por la presencia de la cordillera de los Cuchumatanes, una de las elevaciones macizas de origen sedimentario más importantes de Centroamérica, en estas montañas se observa el nacimiento de diversos ríos que cruzan el municipio y el resto del departamento siendo suministrados a través de la infiltración del agua en los Cuchumatanes (Recinos, 2013).

En la parte tectónica el municipio de Huehuetenango se ve influenciada en gran medida por la falla Chixoy-Polochic que atraviesa el departamento de Huehuetenango en su parte central, en esta zona de fallas transcurrentes que atraviesa el país de este a oeste se han registrados sismos de gran repercusión en la historia sísmica, recordando el terremoto de febrero de 1976 ocurrido en la falla del Motagua (Molina et al., 1996).

### **7.1.2. Ubicación y localización geográfica**

La cabecera departamental de Huehuetenango se encuentra localizada en la latitud 15° 19' 14" y longitud 91° 28' 13" y se encuentra a una distancia de 262 km de la ciudad de Guatemala. A una altura de 1,901 metros sobre la altura del nivel del mar (Recinos, 2013).

## Figura 1.

### *Delimitación de la zona 1 del municipio de Huehuetenango*



*Nota:* Captura de pantalla de delimitación de la zona 1 del mapa de Huehuetenango. Elaboración Propia. Realizada en Google Earth 2023.

### **7.1.3. Extensión, límites y colindancias**

El municipio de Huehuetenango cuenta con una extensión territorial de 189.53 kilómetros cuadrados, con una *“división político-administrativa de una ciudad con 20 aldeas y 16 caseríos”* (Instituto de estudios y capacitación cívica, 2002, p. 89) esto según lo estudiado hasta el 2002, sin embargo, el dato crucial es que se cuenta con una sola ciudad dividida en 12 zonas. El municipio colinda con los municipios de Chiantla, Aguacatán, Malacatancito, Santa Barbara, San Sebastián Huehuetenango y con San Pedro Jocopilas del departamento de Quiché.

### **7.1.4. Población**

De acuerdo con el (INE, 2023) el departamento de Huehuetenango luego del censo del 2018 contaba con una población de 1,170,669 habitantes siendo este el tercer departamento más poblado solo por detrás de Guatemala y Alta Verapaz, representando el 8 % de la población nacional, de estas cifras 117,818

personas habitan la cabecera departamental, aglomerando al 10 % de la población departamental en el municipio de Huehuetenango.

#### **7.1.5. Sismicidad en Guatemala**

Como se define en el marco tectónico de Guatemala el país se encuentra en la convergencia de tres placas tectónicas, que son el grupo de material rocoso sólido que flota sobre la astenosfera (Gioncu & Mazzolani, 2011) y su interacción han provocado dos zonas sismogénicas como son la convergencia de la placa en la zona de subducción del pacífico y la zona de transurrencia en el área central de Guatemala. (INSIVUMEH, 2016).

#### **7.1.6. Medidas de los sismos**

Se conocen dos medidas para cuantificar la respuesta sensible de un sismo como el tamaño o fuerza e históricamente se han empleado para describir el efecto que ha tenido sobre la población: la intensidad y la magnitud, estas escalas de medición permiten cuantificar el efecto percibido.

#### **7.1.7. Intensidad**

Esta es una medida cualitativa de la intensidad sísmica, ya que es la interpretación de un observador de que tan fuerte ha sentido un sismo, este parámetro será variable respecto a la distancia epicentral del terremoto, la geología del lugar y de la fuerza del terremoto y por lo general se observa a través del nivel de daño o la fuerza de sacudida percibida (Kolarhayar & Sitharam, 2021)

### **7.1.8. Magnitud**

Esta es una medida cuantitativa de la cantidad de energía liberada en el terremoto, independientemente de las características del lugar (Kolarhayar & Sitharam, 2021). Una de las escalas más conocidas es la escala de Richter.

## **7.2. Conceptos generales**

La parte técnica básica de la investigación es descrita a través de los siguientes términos y definiciones, punto de partida para comprender el eje central y parte de los objetivos de este trabajo.

### **7.2.1. Peligrosidad**

Los estudios de peligrosidad sísmica tienen como finalidad principal prever el comportamiento del suelo en una ubicación específica en respuesta a la actividad sísmica en diversas zonas geográficas, normalmente asociadas a características geotectónicas particulares. Estos análisis se basan en la cuantificación del movimiento del suelo, que suele expresarse mediante parámetros físicos como la aceleración, la velocidad o el desplazamiento máximo, o a través de la aplicación de escalas de intensidad sísmica (Caicedo et al., 1994) Para abordar esta evaluación, se emplean dos enfoques principales los métodos deterministas y los métodos probabilistas.

Los métodos deterministas se fundamentan en el estudio de registros de terremotos pasados y buscan calcular los posibles efectos de estos eventos en una localidad específica. Esto se logra mediante el empleo de diversos criterios de ampliación con el propósito de estimar los riesgos sísmicos locales. Por otro lado, los métodos probabilistas no utilizan directamente los registros sísmicos,

sino que estos datos se utilizan para establecer leyes de probabilidad de ocurrencia en regiones específicas y estas se emplean para desarrollar modelos regionales de ocurrencia sísmica, que permiten calcular las influencias de cada una de estas áreas de estudio, brindando una perspectiva más completa de la peligrosidad sísmica de la región (Caicedo et al., 1994).

### **7.2.2. Métodos deterministas**

Estos métodos parten de la premisa de que la actividad sísmica futura en una región era idéntica a la del pasado. En estos métodos, se investigan los efectos individuales de cada terremoto en la zona de estudio, considerando la posible existencia de zonas sismogénicas o estructuras geológicas relacionadas con los sismos. Si se contemplan tales áreas, se supone que los terremotos pueden ocurrir en cualquier parte de ellas, y se ubican los sismos registrados en cada zona lo más cerca posible del sitio de interés, aplicando las leyes de atenuación para calcular sus efectos en ese punto. Se selecciona el valor máximo de la acción sísmica como una medida del movimiento del suelo en el lugar en estudio (Muñoz, 1989). No obstante, este método presenta limitaciones, como asumir que los futuros terremotos no superarán los máximos registrados en el pasado y no permitir una adaptación flexible del nivel de riesgo a diferentes tipos de estructuras, lo que puede dar lugar a diseño demasiado costosos.

### **7.2.3. Métodos probabilistas**

Estos métodos se basan en el análisis estadístico de la actividad sismológica de una región, y a través de estos análisis definir la probabilidad de desarrollar un evento futuro con alguna intensidad en un periodo de tiempo dado (Muñoz, 1989), estos métodos se pueden emplear tanto en etapas de diseño,

construcción y uso, y así predecir el desempeño futuro y planificar medidas para garantizar la seguridad y funcionalidad de las estructuras. (Kappos, 2019). Con una línea central en el uso de técnicas diversas de estadística se pueden nombrar las estimaciones bayesianas y el método de valores extremos que también pueden tomarse según el autor como métodos independientes.

#### **7.2.4. Vulnerabilidad**

En el contexto de la EMS-98 se define la vulnerabilidad como la vibración que afecta a una estructura, que será distinta para los distintos tipos de tipologías constructivas (Comisión Sismológica Europea, 1998), esto también es abordado por (Chen et al., 2002) recalcando la importancia del tipo de estructura en la valoración de la vulnerabilidad y así podemos decir que es una propiedad única para cada estructura (Romero, 2016) así mismo se puede definir como la predisposición de recibir daño en un evento sísmico (Bonett, 2003).

Por lo que la vulnerabilidad se puede agrupar en función de los tipos de estructuras, quienes comparten los mismos sistemas estructurales y diferirán de las estructuras que empleen otro tipo de mecanismos de sustentación.

#### **7.3. Metodología de Giovinazzi y Lagomarsino**

Los ingenieros civiles e investigadores Sonia Giovinazzi y Sergio Lagomarsino basándose en el conocido método italiano para la determinación de la vulnerabilidad sísmica proponen esta metodología que busca disminuir la incertidumbre que acarrea la ponderación del daño sísmico de forma cualitativa (Giovinazzi & Lagomarsino, 2004), de aquí en adelante se abarcan las componentes que conforman esta metodología.

### **7.3.1. Descripción de metodología**

En este trabajo se desarrolla la idea de la matriz de probabilidad de daños que según (Giovinazzi & Lagomarsino, 2004) se logra a través de los conjuntos difusos que logran comprender los términos lingüísticos de cantidad de daño y de estructuras que presentan daño en una parametrización de estos valores que no representan una certeza en su discernimiento.

La medición de la vulnerabilidad que se desarrolló de forma mecánica por (Cattari et al., 2004) describen las características que tienen las distintas estructuras de mampostería en función de las propiedades mecánicas de las estructuras y su interacción con el sismo, y es aquí donde se abre la inclusión y enriquecimiento de esta metodología a través de un análisis probabilístico con curvas de fragilidad, cuya importancia radica en la calibración de las matrices de probabilidad de daño.

Esta calibración se dedujo en el trabajo posterior de (Bernardini et al., 2007) en la cual a través de la representación de curvas de vulnerabilidad que definen las clases de daño de la norma EMS-98 es posible relacionar la intensidad con el valor medio de distribución de daño, cuyas ecuaciones presentan una gran convergencia de valores.

Es entonces que a través de la lógica difusa que define a los conjuntos de vulnerabilidad y parámetros de vulnerabilidad tipológicos es posible categorizar por grupos de vulnerabilidad las estructuras de una zona urbana, permitiendo un enfoque con resultados certeros y de rápida aplicación en la práctica.



## **8. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN**

Las edificaciones construidas sin las solicitudes de normativos de construcción presentaran un mayor índice de vulnerabilidad sísmica en comparación con aquellas construidas los normativos existentes en el país actualmente.



## **9. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS**

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

OBJETIVOS

HIPÓTESIS

RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

### **1. GENERALIDADES DEL MUNICIPIO DE HUEHUETENANGO**

- 1.1. Municipio de Huehuetenango
- 1.2. Ubicación y localización geográfica
- 1.3. Extensión, límites y colindancias
- 1.4. Delimitación y ubicación de zona de estudio
- 1.5. Población
- 1.6. Sismicidad en Guatemala
- 1.7. Medidas de los sismos
  - 1.7.1. Magnitud
  - 1.7.2. Intensidad
- 1.8. Terremotos históricos importantes en Guatemala
- 1.9. Terremotos que han afectado a la ciudad de Huehuetenango

### **2. CONCEPTOS GENERALES**

- 2.1. Peligrosidad
  - 2.1.1. Métodos deterministas

- 2.1.2. Métodos probabilistas
  - 2.2. Vulnerabilidad
  - 2.3. Métodos de evaluación de vulnerabilidad
    - 2.3.1. Clasificación de acuerdo con el tipo de resultados
    - 2.3.2. Clasificación de acuerdo con los datos del método y el resultado
  - 2.4. Daño sísmico
    - 2.4.1. Elementos propensos al daño
    - 2.4.2. Clasificación de los indicadores de daño
    - 2.4.3. Indicadores e índices de daño
- 3. CURVAS DE FRAGILIDAD Y MATRICES DE PROBABILIDAD DE DAÑO
  - 3.1. Método de la observación de campo
  - 3.2. Descripción de otros métodos
- 4. METODOLOGÍA DE GIOVINAZZI Y LAGOMARSINO
  - 4.1. Descripción de metodología macrosísmica europea EMS-98
  - 4.2. Clasificación de daños
  - 4.3. Fundamentos de la metodología de Giovinazzi y Lagomarsino
  - 4.4. Conjuntos de clase de vulnerabilidad
  - 4.5. Índice de vulnerabilidad
    - 4.5.1. Índice de vulnerabilidad tipológica
    - 4.5.2. Índice de modificadores de comportamiento sísmico
    - 4.5.3. Índice de vulnerabilidad regional
- 5. METODOLOGÍA DE OBTENCIÓN Y PROCESAMIENTO DE DATOS EN CAMPO
  - 5.1. Descripción de instrumento de levantamiento de datos
  - 5.2. Datos recabados en campo
  - 5.3. Delimitación de grupos de tipologías presentes en el área de estudio

6. APLICACIÓN DE EVALUACION DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA
  - 6.1. Clasificación de edificaciones en los grupos de tipologías
  - 6.2. Calibración de metodología Giovinazzi y Lagomarsino para los grupos tipológicos y el entorno de Huehuetenango
  - 6.3. Cálculo de índices de vulnerabilidad
    - 6.3.1. Cálculo de índice de vulnerabilidad tipológica
    - 6.3.2. Cálculo de índice modificador de comportamiento sísmico
    - 6.3.3. Cálculo de índice de vulnerabilidad regional
  - 6.4. Clasificación en los grupos de vulnerabilidad
7. ANALISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS
  - 7.1. Análisis de los resultados de la vulnerabilidad general de las estructuras
  - 7.2. Análisis de los valores de vulnerabilidad por tipología
  - 7.3. Análisis de las subzonas de mayor vulnerabilidad de la zona 1 de Huehuetenango

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

ANEXOS



## 10. METODOLOGÍA

Esta investigación está planteada bajo la metodología de evaluación de vulnerabilidad de estructuras en áreas macrosísmicas que proponen Lagomarsino y Giovinazzi en su trabajo *“The vulnerability assessment of current buildings by a macroseismic approach derived from the EMS-98 scale”*; la primera parte de la metodología empleada establece la definición de los valores medios de probabilidad de daño (Ecuación 1), partiendo de la definición de estos valores medios se pueden establecer una serie de conjuntos difusos de un intervalo definido para cada categoría de vulnerabilidad que según el estudio van desde el conjunto A hasta el F, esta relación es posible gracias a la calibración descrita en el trabajo realizado por Lagomarsino y Giovinazzi.

### Ecuación 1.

*Función de valor medio de distribución de daño*

$$\mu_D = 2.5 + 3 \tanh\left(\frac{I + 6.25V - 12.7}{3}\right) * f(V, I)$$

De la ecuación anterior también se define la función  $f(V, I)$  cuyo valor depende de la intensidad y del índice de vulnerabilidad.

### Ecuación 2.

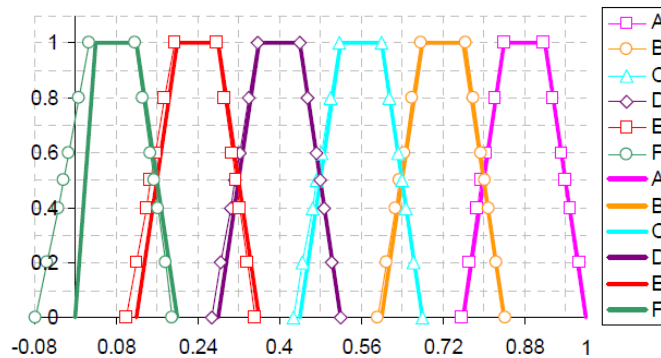
*Función  $f(V, I)$*

$$f(V, I) = \begin{cases} e^{\frac{V}{2} * (I-7)} & I \leq 7 \\ 1 & I > 7 \end{cases}$$

A través de estas ecuaciones se pudo cuantificar las definiciones lingüísticas de daño para las clases de vulnerabilidad que propone la escala EMS-98 y definir los intervalos para las categorías de vulnerabilidad; así también se parametrizaron las particiones de los conjuntos difusos y se linealizaron las funciones de pertenencia para el intervalo de 0 a 1 como se observa en la figura 1.

**Figura 2.**

*Conjuntos difusos de categorías de vulnerabilidad*



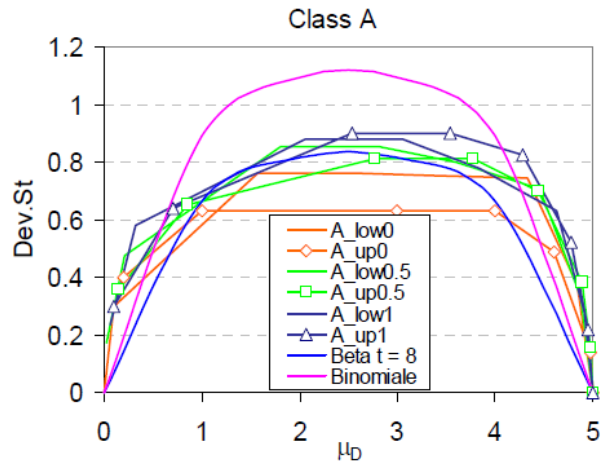
*Nota:* La figura presenta las 6 categorías de vulnerabilidad presentadas por Bernardini, Lagomarsino y Giovinazzi, 2007.

Estas funciones de pertenencia de los distintos grupos que corresponden a las diferentes categorías de vulnerabilidad se pudieron obtener a través de una función de distribución probabilística que partió de la discretización de una función beta dentro del intervalo 0 a 5, cuyas variaciones y distintos valores empleados para su calibración fueron representados por Lagomarsino en la figura.



**Figura 3.**

*Calibración del conjunto de clase de vulnerabilidad A*



*Nota:* en la figura se presentan las diferentes aproximaciones estadísticas para la delimitación de la vulnerabilidad tipo A descrita por Bernardini, Lagomarsino y Giovinazzi, 2007.

Así por último se desarrolla la correlación de las clases de vulnerabilidad con las tipologías estructurales que describe la EMS-98 definiéndolo en términos de probabilidad de las clases.

De esta manera definidos varios de los parámetros importantes y quedando establecidos los conjuntos de las clases de vulnerabilidad se procede a la calibración de este método para el entorno de la ciudad de Huehuetenango a través de la revisión de los registros históricos de los sismos que han afectado la zona 1 de la ciudad de Huehuetenango, y así poder definir el índice de vulnerabilidad de las estructuras dentro del área de interés; por lo anterior descrito esta investigación se categoriza como una investigación no experimental.

Para esto las variables implicadas en la investigación son las tipologías estructurales, la intensidad sísmica para un sismo de calibración, la posición de las construcciones y el índice de vulnerabilidad general.

Por lo anterior descrito y por el enfoque del estudio se define este trabajo como una investigación de tipo correlacional, cuya relación se plantea entre la variable de la tipología constructiva de la zona 1 de Huehuetenango con el índice de vulnerabilidad, ampliando los conceptos se explican los tipos de variables que se dividen en cuantitativas para los índices de vulnerabilidad, intensidad sísmica y la posición geográfica de las construcciones; y cualitativa en el caso de la tipologías estructurales. Así se procede a resumir este párrafo en la siguiente tabla.

**Tabla 1.**

*Metodología de la investigación*

<b>Campo</b>	<b>Variable</b>	<b>Tipo</b>	<b>Definición teórica</b>	<b>Definición operativa</b>	<b>Indicadores</b>
<b>Vulnerabilidad sísmica de estructuras según</b>	Tipología estructural	Cualitativa	Describe las técnicas y materiales empleados para definir el sistema encargado de resistir una fuerza sísmica	Por medio de un levantamiento en campo se clasificarán estructuras diversas en categorías tipologías estructurales definidas en Guatemala	Elementos estructurales Fachada de la construcción Distribución en planta Cantidad de niveles
	Intensidad sísmica	Cuantitativa	Es una medida que describe la percepción y los efectos de un terremoto en un área específica.	Evaluando la manifestación en registros históricos a través del daño reportado, y la magnitud en la escala registrada por el INSIVUMEH	Daños reportados en las estructuras para evento sísmico Magnitud en la escala registrada por el INSIVUMEH Escala de daño EMS-98

Continuación de Tabla 1

Ubicación de las estructuras	Cuantitativa	El lugar espacial en el cual se encuentran localizadas las estructuras estudiadas.	Por medio de una aplicación de GPS se georreferenciará cada una de las edificaciones del estudio	Coordenadas geográficas de la estructura
Índice de vulnerabilidad	Cuantitativa	Valor que define la probabilidad de vulnerabilidad frente a eventos sísmicos	Se describirá a través de la relación tipológica con la probabilidad de daño que puede recibir la estructura.	Índice de vulnerabilidad tipológico Modificador del índice Índice de vulnerabilidad regional

*Nota:* la tabla muestra los procesos metodológicos que se analizarán durante la investigación. Elaboración propia. Realizada en Word 2023.

Luego de describir el enfoque y la metodología a emplear en esta investigación se puede definir las diversas fases que se consideran mínimas indispensables para la consecución de los diversos objetivos planteados, empezando con la recolección de información para la redacción de los primeros capítulos de la investigación, así como la información histórica de eventos sísmicos que han afectado el casco urbano de la ciudad de Huehuetenango, así como datos que ayuden a la investigación existentes de parte del catastro de la municipalidad de Huehuetenango.

Luego se procedería a la elaboración del instrumento de recolección de información a través de un formulario de Google Forms, que tabule los datos recolectados en campo, como la tipología estructural, cantidad de plantas, tipo de elementos resistentes, consideración de mantenimiento a la estructura y la posición geográfica de cada punto estudiado.

Posteriormente con los datos obtenidos en la primera fase se procede a la calibración del método de Lagomarsino y Giovinazzi al entorno Huehueteco y la posterior evaluación de los diferentes elementos de la población de estudio. Esto implica la revisión y agrupación de las tipologías estructurales recolectadas para calibrar el índice general de vulnerabilidad por tipología y selección de evento sísmico de mayor intensidad para la calibración del índice de vulnerabilidad regional.

Se procede a la deducción de los índices de vulnerabilidad de cada uno de los edificios de la muestra estudiada y su incorporación a los distintos grupos de vulnerabilidad estructural desde el más vulnerable hasta el menos vulnerable según el índice propio de cada elemento. Con lo que se evaluarán los resultados obtenidos y se redactarán los capítulos que describan y resuman los hallazgos relacionados a la correlación que se desea explorar entre la tipología y la vulnerabilidad.

Para terminar, se procederá a la elaboración de un mapa de calor que agrupe por subsectores de la zona 1 de Huehuetenango la vulnerabilidad que se podría presentar en estos sectores y que permite una fácil interpretación de los resultados del estudio, así como la redacción de las conclusiones obtenidas por los resultados y contraste con la hipótesis y las correspondientes recomendaciones que surgen para la ampliación futura de dicha investigación y generar interés en la población.

## 11. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Esta investigación tiene como fundamento la teoría de los conjuntos difusos, teoría que permite agrupar los diferentes índices de vulnerabilidad en categorías desde la más vulnerable a la menos vulnerable, esto por la incertidumbre que causa el realizar las consideraciones de daño en un conjunto de parámetros cualitativos que varían en probabilidad y no permite categorizar estos valores en conjuntos certeros.

La formulación de las funciones de los límites de los conjuntos difusos es posible gracias a la implementación de una distribución beta que permite ajustar la función para abarcar los valores observados a través del levantamiento en campo de las variables aleatorias estudiadas, que para fines de esta investigación es para los valores de vulnerabilidad que están definidos en función de la tipología estructural, la metodología de Giovinazzi y Lagomarsino regularizan esta distribución de forma que quedan segmentos rectos para facilitar el estudio de los grupos de vulnerabilidad.

Esta investigación se podrá evaluar de forma concreta con el uso de hojas de cálculo que permitirá la gestión de los distintos datos y programar los distintos procesos estadísticos y representaciones graficas que conllevan este estudio.

Como parte de los objetivos se plantea la creación de un mapa de calor que permita comprender los diferentes grupos de vulnerabilidad y observar las concentraciones en subzonas de riesgo de estructuras altamente vulnerables, por lo que para esta parte se emplearan sistemas de información geográfica, con la cual se podrá realizar esta parte de la investigación, aprovechando el

levantamiento en campo de las tipologías y modificadores de respuesta sísmica para incluir el posicionamiento geográfico de cada una de las estructuras.

La recolección de los datos anteriores se realizara a través de un instrumento de investigación que se aplicará en cada uno de los puntos de estudio, basado en la norma EMS-98 y la metodología del trabajo de Giovinazzi y Lagomarsino, se seleccionan estas investigaciones debido a que presentan las consideraciones en campo necesarias para dar validez a la recolección de información apropiada para medir las variables propuestas en esta investigación, esto será posible a través de un formulario digital elaborado en la plataforma de Google Forms, que previamente se medirá su confiabilidad al pasar una prueba piloto en 5 puntos en tres ocasiones consecutivas con la finalidad de poder determinar la uniformidad de los datos recolectados en condiciones similares.

## 12. CRONOGRAMA

**Tabla 2.**

*Cronograma de elaboración de tesis de maestría*

<i>Descripción de la actividad</i>	<i>MES 1</i>				<i>MES 2</i>				<i>MES 3</i>				<i>MES 4</i>			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
<b><i>Recolección de información</i></b>																
Recolección de información																
Recolección de datos sísmicos históricos																
Recolección de datos de catastro																
Recolección de información adicional																
Recolección de tipologías estructurales																
Vinculación de la posición geográfica de las estructuras																
<b><i>Calibración de metodología</i></b>																
Revisión y selección de evento sísmico de análisis																
Análisis de tipologías estructurales																
Calibración de índices de vulnerabilidad																
<b><i>Análisis de datos</i></b>																
Asignación de grupos de vulnerabilidad a estructuras																
Evaluación de resultados																
Elaboración de resumen de resultados																
Construcción de informe final																
Elaboración de mapa GIS con resultados de vulnerabilidad de la tesis																

*Nota:* la tabla presenta el cronograma para la elaboración de la investigación con una duración de cuatro meses. Elaboración propia. Realizada en Word 2023.





## **13. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO**

### **13.1. Factibilidad Técnica**

En los aspectos técnicos básicos para el correcto desarrollo de la investigación es el contar con la colaboración y el acompañamiento de las autoridades del municipio, por lo que se han realizado los primeros acercamientos con representantes de CONRED y el INSIVUMEH los respectivos centros presentes en el departamento de Huehuetenango, quienes han expresado la apertura para proporcionar información y dar acompañamiento durante la investigación y la recolección de datos; así también se gestionara el acompañamiento de la municipalidad y el acceso a datos catastrales referentes a la tipología estructural de la zona de interés, estos datos no presentan un carácter indispensable para la investigación, ya que sería una forma de corroborar la información recolectada en la recolección de datos en campo, en caso de no poder obtenerlo o no existir no influirá en el desarrollo de esta investigación.

El recurso humano empleado para esta investigación será el personal que pueda acompañar a el autor de este trabajo de investigación por parte de la municipalidad y la CONRED, pues representa una vía para agilizar el proceso de levantamiento de información luego de una capacitación a través de la plataforma virtual de Google Meet en la cual se darían los parámetros y los aspectos a evaluar con el instrumento de investigación de esta tesis que será proporcionada a través de un formulario de Google Forms; de no contar con el personal de estas instituciones el levantamiento puede ser realizado por el autor de la investigación

ya que la zona es de fácil acceso y se ha programada el tiempo en el cronograma para poder ser realizado por una sola persona.

Para el apartado de equipo se deberá contar con un smartphone con acceso a internet y que cuente con GPS por cada persona que realice este levantamiento en campo, debido a que no se emplearan aplicaciones especializadas se puede realizar desde el dispositivo personal del técnico que pasara el instrumento de investigación.

Así también se deberá contar con un ordenador en el cual se procesarán los datos recolectados y se realizará los cálculos para determinar la vulnerabilidad de las estructuras para definir la clase de vulnerabilidad al que pertenece; en el ordenador se deberá contar con los softwares Word, Excel y ArcGIS Pro para los cálculos y las representaciones escritas y graficas de los resultados obtenidos del análisis, este ordenador lo posee el autor de la tesis con las licencias de los programas anteriormente mencionados.

Esto acompañado de la suficiente documentación bibliográfica impresa como lo son los libros y referencias de internet que se encuentran en diversas plataformas de artículos científicos, revistas científicas, motores de búsqueda de investigación y repositorios de universidades con acceso libre.

De lo anterior mencionado, se resume que es factible el desarrollo de esta investigación en el aspecto técnico pues se cuenta con las partes indispensables para el desenvolvimiento de las diversas actividades para esta tesis.

### 13.2. Factibilidad Económica

Para el factor económico se definen los siguientes recursos y se tabulan a continuación con su precio de mercado actual con valores en quetzales y dólares para los insumos que se encuentran en esta divisa.

**Tabla 3.**

*Tabulación de inversión para recursos y fuente de procedencia*

Insumos	Precio en Q.	Precio en US\$.
Laptop Dell	Q 7,500.00	\$956.41
Smartphone personal	Q 3,000.00	\$382.56
Office 365 personal	Q 450.00	\$57.38
ArcGIS Pro para uso personal	Q 784.18	\$100.00
Plan de internet mensual	Q 103.05	\$13.14
Libros de ingeniería de terremotos	Q 7,841.84	\$1,000.00
Acceso a artículos y revistas científicas	Q 3,920.92	\$500.00
Honorarios de asesor	Q 2,500.00	\$318.80
Total, de inversión	Q 26,099.99	\$3328.29

*Nota:* la tabla presenta el desglose del presupuesto para la elaboración de la investigación, elaboración propia. Realizada en Word 2023.

Se considera la investigación viable, dado que los gastos serán cubiertos en su totalidad por el maestrante.



## REFERENCIAS

- AGIES, Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica. (2020). *NSE 6 Evaluación y rehabilitación de obras existentes*. <https://www.agies.org/biblioteca/nse-6-edicion-2018/>
- Barbat Barbat, H. A., Yépez Moya, F., & Canas Torres, J. A. (1996). Simulación de escenarios de daño sísmico en zonas urbanas. *Revista Internacional de Metodos Numericos Para Calculo y Diseno en Ingenieria*. <https://upcommons.upc.edu/handle/2099/7823>
- Bernardini, A., Giovinazzi, S., Lagomarsino, S., & Parodi, S. (2006). The vulnerability assessment of current buildings by a macroseismic approach derived from the EMS-98 scale. *3er Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica*. <https://core.ac.uk/download/35463205.pdf>
- Bonett Díaz, R. L. (2003). *Vulnerabilidad y riesgo sísmico de edificios. Aplicación a entornos urbanos en zonas de amenaza alta y moderada* [Universidad Politécnica de Cataluña]. <http://hdl.handle.net/2117/93542>
- Caicedo, C., Barbat, H., Canas, J., & Aguiar, R. (1994). *Vulnerabilidad sísmica de edificios*. Centre Internacional de Mètodes Numèrics en Enginyeria (CIMNE). <http://hdl.handle.net/2117/27020>

Cattari, S., Curti, E., Giovinazzi, S., Lagomarsino, S., & Parodi, S. (2004). Un modello meccanico per l'analisi di vulnerabilità del costruito in muratura a scala urbana. *XI Congresso Nazionale "L'ingegneria Sismica in Italia"*, Genova 25-29.

Chen, W. F., & Scawthorn, C. (2002). *Earthquake engineering handbook*. CRC Press.

Comisión Sismológica Europea. (1998). *Escala Macrosísmica Europea 1998 EMS - 98*. Musée National d'Histoire Naturelle.

Gioncu, V., & Mazzolani, F. M. (2011). *Earthquake engineering for structural design*. Routledge.

Giovinazzi, S., & Lagomarsino, S. (2004). A macroseismic method for the vulnerability assessment of buildings. *13th World Conference on Earthquake Engineering*. [https://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/13\\_896.pdf](https://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/13_896.pdf)

Hurtado Gómez, J. E. (2000). *Introducción a la dinámica de estructuras*. Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/12240/9589322581.2000.pdf>

INE. (2023, septiembre 17). *Resultados del censo 2018*. Censo población y vivienda. <https://www.censopoblacion.gt/mapas>

INSIVUMEH, Departamento de Investigación y Servicios Geofísicos Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología. (2016). *Sismología en Guatemala*. [https://insivumeh.gob.gt/folletos/folleto\\_sismo-1.pdf](https://insivumeh.gob.gt/folletos/folleto_sismo-1.pdf)

Instituto de estudios y capacitación cívica. (2002). *Diccionario municipal de Guatemala*. Biblioteca presidencial para la paz.

Kappos, A. J. (2019). *Dynamic loading and design of structures*. Routledge Member of the Taylor and Francis Group.

Kolathayar, S., & Sitharam, T. G. (2018). *Earthquake hazard assessment*. CRC Press.

Lagomarsino, S., & Giovinazzi, S. (2006). Macroseismic and mechanical models for the vulnerability and damage assessment of current buildings. *Bull Earthquake Eng*, 4, 415–443. [https://www.researchgate.net/publication/227298362\\_Macroseismic\\_and\\_mechanical\\_models\\_for\\_the\\_vulnerability\\_assessment\\_of\\_current\\_buildings](https://www.researchgate.net/publication/227298362_Macroseismic_and_mechanical_models_for_the_vulnerability_assessment_of_current_buildings)

Lew, H. S., Simiu, Emil, Gross, John L., Stames, Monica A. (2002). *Manual de evaluación sísmica y de huracanes de edificios existentes de hormigón para la República Dominicana*. NIST, National Institute of Standards and Technology. <https://www.mopc.gov.do/media/2016/manual-evaluacion-s%C3%ADsmica.pdf>

- Mena, U., Barbat Barbat, H. A., & Yépez Moya, F. (1998). Evaluación probabilista del riesgo sísmico en zonas urbanas. *Revista internacional de métodos numéricos para cálculo y diseño en ingeniería*, 14(2), 247–268. <http://hdl.handle.net/2099/7822>
- Moireno Rodriguez, N. (2010). Comportamiento ante movimientos sísmicos, de viviendas de mampostería de una y dos plantas en el barrio La Paz de Barranquilla. *Revista Inge-CUC*, 6, 85–94.
- Molina, Enrique, Villagrán, Mario, & Logorría, Juan Pablo. (1996). *Amenaza sísmica en Guatemala*. [https://www.geo.mtu.edu/volcanoes/06upgrade/Seismicity-Rudiger/molina\\_etal\\_1996.pdf](https://www.geo.mtu.edu/volcanoes/06upgrade/Seismicity-Rudiger/molina_etal_1996.pdf)
- Monzón Despang, H. (1996). *La construcción y el uso del terreno en Guatemala: su vulnerabilidad sísmica*. <http://cidbimena.desastres.hn/docum/crid/ASH/pdf/spa/doc7550/doc7550-1a.pdf>
- Muñoz, D. (1989). Conceptos básicos en riesgo sísmico. *Física de la tierra*, Núm. 1, 199–216.
- Penelis, G., & Penelis, G. (2021). *Concrete buildings in seismic regions*. CRC Press.
- Pérez Pueyo, R. (2005). *Procesado y optimización de espectros raman mediante técnicas de lógica difusa: aplicación a la identificación de materiales pictóricos* [Universitat Politècnica de Catalunya. Departament de Teoria del Senyal i Comunicacions]. <http://hdl.handle.net/10803/6887>



- Pujades, L. G., Lantada, N., González Drigo, R., Blázquez, A., & Meza, K. (2021). *Guía para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica*. Interreg.
- Recinos, A. (2013). *Monografía del departamento de Huehuetenango*. Editorial Cultura.
- Romero Avecillas, A. N. (2016). *Evaluación de la vulnerabilidad sísmica para la ciudad de Azogues*. Escuela Politécnica Nacional.
- Safina Melone, S. (2002). *Vulnerabilidad sísmica de edificaciones esenciales. Análisis de su contribución al riesgo sísmico*. Universidad Politécnica de Cataluña.
- Shekhar, S, Freddi, F, Ghosh, J, Lad, D. (2023). Influence of corrosion on failure modes and lifetime seismic vulnerability assessment of low-ductility RC frames. *Earthquake Engng Struct Dyn*, 1–23.
- Velasteguí Cáceres, L. A., Velasteguí Cáceres, J. D., & Chamorro Sevilla, H. E. (2022). *Evaluación de vulnerabilidad sísmica apoyada en tecnologías de información geográfica*. Ciencia Digital. <https://doi.org/10.33262/cde.11>
- Yepez, F., Barbat, H., & Canas, J. (1995a). *Riesgo, peligrosidad y vulnerabilidad sísmica de edificios de mampostería*. Centre Internacional de Mètodes Numèrics en Enginyeria (CIMNE). <http://hdl.handle.net/2117/27297>
- Yepez, F., Barbat, H., & Canas, J. (1995b). *Simulación de escenarios de daño para estudios de riesgo sísmico*. Centre Internacional de Mètodes Numèrics en Enginyeria (CIMNE). <http://hdl.handle.net/2117/27339>

Yépez, F., Barbat, H., & Canas, J. (1996). *Evaluación probabilista de la vulnerabilidad y riesgo sísmico de estructuras de hormigón armado por medio de simulación*. Centre Internacional de Mètodes Numèrics en Enginyeria (CIMNE). <http://hdl.handle.net/2117/27736>

Yepez, F., Barbat, H., & Canas, J. (1995). Simulación de funciones de vulnerabilidad y matrices de probabilidad de daño para estudios de riesgo sísmico. *Física de la Tierra*, 327–366.

Zora-Mejía, Faver Norbey, & Acevedo-Jaramillo, Ana Beatriz. (2019). Índice de vulnerabilidad sísmica de escuelas del área metropolitana de Medellín, Colombia. *Revista EIA*, 16(32), 195–207.

# DOCUMENTOS DEL ASESOR

Julio. O. Pirir Q. / Curriculum Vitae / 2023-septiembre

## CURRICULUM VITAE

### *Datos personales:*

---

Nombre: Julio Oswaldo Pirir Quelex

Dirección: Boulevard Jardines de San Lucas, Casa 0-04, Km. 30 Carretera Interamericana

Dirección electrónica: juliopqx@yahoo.com

Teléfonos: (502) 5552 0798

Fecha: septiembre 2023

### *Formación académica:*

---

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

Abril 2008-Diciembre 2016

Título obtenido: Maestro en Ciencias en Estructuras

CEDUCA, COLEGIO DE INGENIEROS DE GUATEMALA

- Diseño de geosistemas y alcantarillas, noviembre 2011
- Diseño estructural en mampostería reforzada, agosto 2005
- Aplicación de escoria en carreteras, agosto 2005

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

Enero 1998-Septiembre 2003

Título obtenido: Ingeniero Civil, colegiado No. 6614

*Experiencia en diseño y planificación:*

---

- Diseño estructural mezzanine Tienda Despensa Familiar, Chiquimula, junio 2023
- Evaluación estructural Tienda Despensa Familiar, Cobán, abril 2023
- Evaluación estructural Tienda Despensa Familiar, Guastatoya, marzo 2023
- Evaluación estructural Tienda Despensa Familiar, Chiquimulilla, marzo 2023
- Diseño de estructura metálica para soporte de equipo fotovoltaico, Edificio Central Instituto Nacional de Electrificación - INDE -, 7ª. avenida 2-29, zona 9, Guatemala, enero 2023
- Evaluación estructural Tienda Despensa Familiar, Cubulco, marzo 2022
- Evaluación estructural Tienda Despensa Familiar, Salamá, marzo 2022
- Evaluación estructural Tienda Despensa Familiar, Totonicapán, febrero 2022
- Evaluación estructural Tienda Paiz Novicentro, febrero 2022
- Evaluación estructural Tienda Despensa Familiar San Francisco Zapotitlán, enero 2022
- Diseño estructural proyecto Construcción Vivienda Unifamiliar Familia Vásquez, colonia El Rejon, Morales, Izabal, noviembre 2021
- Evaluación estructural Tienda Despensa Familiar Coatepeque, noviembre 2021
- Diseño estructural proyecto Construcción Vivienda Unifamiliar Familia González, zona 11 Huehuetenango, octubre 2021
- Evaluación estructural Tienda Despensa Familiar Momostenango, septiembre 2021
- Diseño estructural proyecto Construcción Sala de Ventas Corporación Vásquez & Sosa, S. A. Las Lagunas, zona 10, Huehuetenango, mayo 2021
- Diseño estructural Puente Peatonal San Josecito, zona 6 Mixco, para la Municipalidad de Mixco, abril 2021
- Evaluación estructural losa sótano, Walmart Puerta Parada, noviembre 2020
- Evaluación de las condiciones de riesgo para Tienda Despensa Familiar Zacapa, noviembre 2020

### **Julio. O. Pirir Q. / Curriculum Vitae / 2023-septiembre**

- Evaluación estructural Tienda Despensa Familiar Colomba Costa Cuca, noviembre 2020
- Diseño estructural proyecto construcción Vivienda para damnificados de Alotenango por la erupción del Volcán de Fuego, para Cáritas Arquidiocesana, octubre 2020
- Evaluación estructural losa sótano, Walmart Roosevelt, abril 2020
- Planificación de proyectos: Mejoramiento y reparación de edificios de la Escuela de Formación Agrícola -EFA- de San Marcos, Sololá, Cobán y Jacaltenango. Reparación de muro perimetral de EFA Sololá, Construcción de muro perimetral de EFA San Marcos, Reconstrucción de almacén y guardianía de EFA Jacaltenango, Muro perimetral Sede Departamental Jutiapa y Muro perimetral Sede Departamental Sede Escuintla, para el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, abril - noviembre 2019
- Diseño estructural de los proyectos: Ampliación escuela primaria oficial rural mixta Aldea Santa Marta, Construcción tanque Aldea Las Flores, Construcción centro de convergencia Aldea El Tunino, Ampliación escuela primaria oficial rural mixta Aldea San Rafael El Arado, para la Municipalidad de Sumpango Sacatepéquez, febrero - marzo 2019
- Planificación y diseño estructural del proyecto: Construcción Edificio Planta de Empaque para Productos Hortícolas, para la Escuela Nacional Central de Agricultura ENCA, diciembre 2018
- Revisión del diseño estructural rampa de emergencia ubicado en 12 calle 1-96 Colonia El Rosario, zona 3, Mixco, para Cáritas Arquidiocesana, noviembre 2018
- Diseño estructural Mezzanine Embotelladora Central S. A., Calzada Aguilar Batres, 26 calle 6-02, Zona 11, Guatemala, para la empresa SISTEMAS Y SERVICIOS, septiembre 2018
- Diseño estructural Bodega para Químicos Embotelladora Central S. A., Calzada Aguilar Batres, 26 calle 6-02, Zona 11, Guatemala, para la empresa SISTEMAS Y SERVICIOS, julio 2018
- Evaluación estructural local Librería y Papelería Progreso S. A., Centro Comercial Galerías Primma, para Seguros Universales, junio 2018
- Planificación de proyectos: Mejoramiento Parque Central; y Mejoramiento Parque Central Infantil, Cabecera Municipal, San José La Arada, Chiquimula, para la Municipalidad de San José La Arada, marzo 2018

#### **Julio. O. Pirir Q. / Curriculum Vitae / 2023-septiembre**

- Supervisión del proyecto Construcción Puente Vehicular, Muros de Contención y Mejoramiento del Sistema de Drenaje Pluvial en la 8ª. calle entre 7ª. avenida y 7ª. avenida E, Sector A-10, zona 8 del Municipio de Mixco, Departamento de Guatemala, para la Municipalidad de Mixco, octubre 2017 – marzo 2018
- Diseño estructural módulo de Cocina-Comedor Embotelladora Central S. A., Calzada Aguilar Batres, 26 calle 6-02, Zona 11, Guatemala, para la empresa SISTEMAS Y SERVICIOS, octubre 2017
- Planificación de proyectos: Mejoramiento Calle con Pavimentado de la Cabecera Municipal, Sector Correos de Guatemala; Mejoramiento Calle con Pavimentado y Arco Salida a Tierra Colorada, Sector El Puente, Barrio La Estación, San José La Arada, Chiquimula, para la Municipalidad de San José La Arada, marzo 2017
- Evaluación estructural Edificios C3 y C4, ubicados en 8ª. y 9ª. calle respectivamente, entre 5ª. y 6ª. avenida de la zona 1, Guatemala, propiedad de la empresa IDEAMSA del Grupo de Empresas Públicas de Medellín, febrero 2017
- Planificación de proyectos: Mejoramiento Camino Rural Con Pavimento, Aldea Tobar Sector Roble Gacho, San José La Arada; Construcción Letrinas Aldeas El Rincón, Los Cimientos y Colonia La Línea, Cabecera Municipal, Tercera Fase; Mejoramiento Camino Rural Con Pavimentado, Aldea Tontol, Sector El Tanque, San José La Arada, Chiquimula, para la Municipalidad de San José La Arada, septiembre 2016
- Diseño estructural Bodega ubicada en Zona 25 Guatemala, para la empresa Inversiones Athenea, agosto 2016
- Evaluación estructural de 11 Naves Industriales existentes en Embotelladora Central, S. A., Calzada Aguilar Batres, 26 calle 6-02, Zona 11, Guatemala, para la empresa SISTEMAS Y SERVICIOS, julio 2016
- Diseño estructural Iglesia Roca de Los Siglos, ubicado en Patzún, Chimaltenango, para la empresa SEDICO, junio 2016
- Diseño estructural Centro Comercial Plaza Pinula, ubicado en San José Pinula, para la empresa SEDICO, abril 2016
- Evaluación estructural Muro Perimetral, ubicado en Condominio "B", Residenciales Bosques de San Isidro, zona 16, Guatemala, para Seguros Universales, marzo 2016
- Planificación del proyecto: Mejoramiento Calle que Conduce del Casco Urbano hacia Caserío Tziquinya, Acatenango, Chimaltenango, para la Municipalidad de Acatenango, diciembre 2015

#### **Julio. O. Pirir Q. / Curriculum Vitae / 2023-septiembre**

- Evaluación estructural de instalaciones Centro Educativo para Superación Galileo, ubicado en zona 10 Guatemala, para el centro educativo, noviembre 2015
- Diseño estructural Auditorio del Museo Comunitario de la Memoria Histórica de Asociación para el Desarrollo de Las Víctimas de la Violencia en las Verapaces Maya Achí ADIVIMA, ubicado en Rabinal, Baja Verapaz, octubre 2015
- Diseño estructural de dissipador vertical de concreto reforzado, ubicado en Santiago Sacatepéquez, para la empresa CONFUDE, agosto 2015
- Planificación del proyecto: Construcción Parque Central de Aldea Los Planes, Acatenango, Chimaltenango, para la Municipalidad de Acatenango, agosto 2015
- Planificación del proyecto: Construcción Salón de Usos Múltiples Aldea San Antonio Nejapa, Acatenango, Chimaltenango, para la Municipalidad de Acatenango, julio 2015
- Evaluación estructural vivienda familiar, ubicado en Ciudad San Cristóbal, Mixco, para Seguros Universales, marzo 2015
- Planificación del proyecto: Mejoramiento Camino Rural (Sector Los Cerritos) que Comunica del Casco Urbano Hacia Aldea Pajales, Acatenango, Chimaltenango, para la Municipalidad de Acatenango, diciembre 2014
- Evaluación estructural de 5 Escuelas ubicadas en Flores Costa Cuca, Quetzaltenango, para Unidad de Construcción de Edificios del Estado, noviembre 2014
- Planificación del proyecto: Mejoramiento Sistema de Agua Potable (primera fase) Aldea San Antonio Nejapa, Acatenango, Chimaltenango, para la Municipalidad de Acatenango, junio 2014
- Planificación del proyecto: Mejoramiento Calle Cantón Quisaché, Acatenango, Chimaltenango, para la Municipalidad de Acatenango, junio 2014
- Planificación del proyecto: Construcción Puente Vehicular Tipo Bóveda, Aldea Los Planes, Acatenango, Chimaltenango, para Municipalidad de Acatenango, mayo 2014
- Diseño estructural para bodega de estructura metálica ubicada en Palín - Escuintla, para la empresa FEDECOCAGUA RL, febrero 2014

**Julio. O. Pirir Q. / Curriculum Vitae / 2023-septiembre**

- Elaboración de estudio técnico que incluye topografía, planos, perfil para el proyecto: Rehabilitación de Línea de Conducción de Aldea Agua Zarca, Acatenango, Chimaltenango, para Municipalidad de Acatenango, febrero 2014
- Revisión del cálculo estructural de estructura metálica para la Remodelación de la Municipalidad de San Pedro Pinula Jalapa, para la empresa CONFUDE, enero 2014
- Planificación del proyecto: Mejoramiento Parque Central y Construcción Cancha de Basquetbol, Casco Urbano, Acatenango, Chimaltenango, para Municipalidad de Acatenango, enero 2014
- Revisión del cálculo estructural para la Remodelación de las Instalaciones de la Municipalidad de Mataquesuintla, para la empresa SEDICO, agosto 2013
- Planificación del proyecto: Construcción Muro de Contención Sector Los Meléndez entrada de Aldea Los Planes, Acatenango, Chimaltenango, para Municipalidad de Acatenango, mayo 2013
- Planificación del proyecto: Mejoramiento Calle Principal Aldea Pacoc, Acatenango, Chimaltenango, para Municipalidad de Acatenango, mayo 2013
- Planificación del proyecto: Mejoramiento Calle Sector El Capulín Aldea Nueva Concepción, Acatenango, Chimaltenango, para Municipalidad de Acatenango, mayo 2013
- Chequeo de la cimentación de la Iglesia Monte San Francisco Km. 14.5 carretera a El Salvador, para la empresa MONSA CONSTRUCTORA, noviembre 2012
- Diseño estructural de losa de piso, área de almacenaje de azúcar, Embotelladora Central, S. A., Calzada Aguilar Batres, 26 calle 6-02, Zona 11, para la empresa SISTEMAS Y SERVICIOS, junio 2012
- Diseño estructural de muro en voladizo de concreto reforzado, Calle Barrio Nuevo, La Unión, Zacapa, para la empresa INCISA, abril - mayo 2011
- Evaluación de deslizamientos de suelo en carreteras región Oriente y Occidente, para la empresa INCO, septiembre - octubre 2010
- Supervisión de la construcción de viviendas en serie, para la empresa SOLUNA, 2007



*Experiencia en supervisión de proyectos de obra civil:*

- Mejoramiento calle acceso oriente, Cabecera Municipal, Jerez, Jutiapa, Municipalidad de Jerez, Jutiapa, 2011/empresa: SERPRO
- Apertura y balastado de camino, Caserío Peb'lipan, Municipio de Jacaltenango, Huehuetenango, Fondo Nacional para la Paz, 2011/empresa: SERPRO
- Mejoramiento de calle, Colonia El Mirador, Palín, Municipalidad de Palín, Escuintla, 2011/Constructora C-3
- Reconstrucción de puente vehicular, Paraje Xalcatá Centro, Municipio de Santa María, Totonicapán, Fondo Nacional para la Paz, 2011/empresa: SERPRO
- Construcción de muelle fijo, El Jaibal, Aldea San Jorge La Laguna, Sololá, Fondo Nacional para la Paz PROCHISOTOTO, 2010/empresa: SERPRO
- Mejoramiento de calle Yupiltepeque, Municipalidad de Yupiltepeque, Jutiapa, 2010/empresa: SERPRO
- Ampliación y remodelación edificio municipal y salón de usos múltiples, Municipalidad de Jerez, Jutiapa, 2010/empresa: SERPRO
- Construcción de instituto diversificado casco urbano, Santa Catarina Mita, Jutiapa, Municipalidad de Santa Catarina Mita, Jutiapa, 2010/empresa: SERPRO
- Construcción de camino rural, Municipalidad de Asunción Mita, Jutiapa, 2010/empresa: SERPRO
- Construcción de cancha polideportiva, Municipalidad de Yupiltepeque, Jutiapa, 2010/empresa: SERPRO
- Adoquinamiento de calle principal, Colonia El Cortijo, Palín, Municipalidad de Palín, Escuintla, 2010/empresa: Constructora C-3
- Construcción de centro de salud tipo "B", Santa Lucia Milpas Altas, Municipalidad de Santa Lucia Milpas Altas, Sacatepéquez, 2010/empresa: CONFUDE
- Construcción sistema de alcantarillado sanitario fase IV Aldea La Libertad, Municipio de Santa Lucia Milpas Altas, Sacatepéquez, Municipalidad de Santa Lucia Milpas Altas, Sacatepéquez, 2010/empresa: CONFUDE
- Ampliación de sistema de agua, Caserío Piedra de Fuego, Monjas, Jalapa, Municipalidad de Monjas, Jalapa, 2009/empresa: SERPRO

**Julio. O. Pirir Q. / Curriculum Vitae / 2023-septiembre**

- Estudio de preinversión de sistema de agua, Aldea Aminas Lomas, Jutiapa, Fondo Nacional para la Paz, 2009/empresa: SERPRO
- Mejoramiento de calle, Aldea Papaturre, Zapotitlán, Municipalidad de Zapotitlán, Jutiapa, 2009/empresa: SERPRO
- Construcción sistema de alcantarillado sanitario fase III Aldea La Libertad, Municipio de Santa Lucia Milpas Altas, Sacatepéquez, Municipalidad de Santa Lucia Milpas Altas, Sacatepéquez, 2009/empresa: CONFUDE
- Reparación y construcción de aulas, Escuela Primaria San Andrés Semetabaj, Sololá, Unidad de Construcción de Edificios Escolares, 2009/empresa: Constructora C-3
- Construcción Centro de Convergencia, Comunidad El Duraznal, Jalapa, Cooperativa Integral El Recuerdo, 2008/empresa: CONFUDE
- Ampliación y construcción de Sede Asociación de Veteranos Militares de Guatemala, Guatemala ciudad, 2008/empresa: CONFUDE
- Construcción de Sistema de Agua por Bombeo, Chiquisis/Tzamjuyub, Nueva Santa Catarina Ixtahuacán, Sololá, Fondo Nacional Para La Paz, 2007/empresa: Constructora del Pacífico
- Construcción de Centro de Usos Múltiples, San Juan La Laguna, Sololá, Fondo Nacional Para La Paz, 2007/empresa: Constructora del Pacífico
- Construcción Escuela No. 1712, primera fase, San José Pinula, Guatemala, Municipalidad de San José Pinula, 2007/empresa: Constructora del Pacífico
- Construcción en Educación, Aldea El Chico, Retalhuleu, Fondo de Inversión Social, 2007/empresa: Constructora del Pacífico
- Construcción de puente peatonal colgante de 50 metros de longitud, Chicojom, Municipio de San Martín Jilotepeque, Chimaltenango, Fondo Nacional Para La Paz, 2006/empresa: Monsa Constructora
- Construcción de puente vehicular de concreto reforzado de 10 metros de longitud, Los Aposentos y Mogollón, Municipio de Chimaltenango, Chimaltenango, Fondo Nacional Para La Paz, 2006/empresa: Monsa Constructora
- Construcción de puente vehicular de concreto reforzado de 10 metros de longitud, San Cristóbal, Municipio de San Andrés Itzapa, Chimaltenango, Fondo Nacional Para La Paz, 2006/empresa: Monsa Constructora

### **Julio. O. Pirir Q. / Curriculum Vitae / 2023-septiembre**

- Pavimentación rígida 3ª. Avenida entre 6ª. y 7ª. calle zona 2, Palín, Escuintla, Municipalidad de Palín, 2006/empresa: Constructora del Pacífico
- Adoquinamiento Calle al Embarcadero Público, Sipacate, Escuintla, Municipalidad de La Gomera, 2006/empresa: Constructora del Pacífico
- Construcción de Centro Escolar San José Chicalquix, San Carlos Sija, Quetzaltenango, Fondo Nacional Para La Paz, 2006/empresa: Constructora del Pacífico
- Construcción de Centro Escolar, Flores Costa Cuca, Quetzaltenango, Fondo Nacional Para La Paz, 2006/empresa: Constructora del Pacífico
- Construcción drenaje sanitario Colonia Primero de Mayo, La Gomera, Escuintla, Municipalidad de La Gomera, 2005/empresa: Constructora del Pacífico
- Pavimentación rígida Calle de La Campiña, La Democracia, Escuintla, Municipalidad de La Democracia, 2005/empresa: Constructora del Pacífico
- Adoquinamiento Aldea El Arenal, La Democracia, Escuintla, Municipalidad de La Democracia, 2005/empresa: Constructora del Pacífico
- Construcción de segundo nivel Escuela María Matos, Palín, Escuintla, Municipalidad de Palín, 2004/empresa: Constructora del Pacífico
- Distribución de agua, para el Caserío Plan de Lázaro, de la Aldea El Quequesquillo, Jalapa, Cooperativa Integral El Recuerdo, 2004/empresa: Constructora del Pacífico
- Adoquinamiento segunda fase calles Colonia Primero de Mayo, La Gomera, Escuintla, Municipalidad de La Gomera, 2004/empresa: Constructora del Pacífico
- Construcción drenaje agua pluvial 8ª. Calle zona 2, Palín, Escuintla, Municipalidad de Palín, 2004/empresa: Constructora del Pacífico

#### ***Investigación:***

---

- Evaluación de la construcción y el comportamiento de muros de adobe sometidos a carga lateral. Concejo Nacional de Ciencia y Tecnología CONCYT, 2002



# La Universidad de San Carlos de Guatemala



Por cuanto:  
El licenciado

**Julio Oswaldo Pirir Quelex**

Cumplió con los requisitos de ley para optar al título universitario de

**Maestro en Ciencias en Estructuras**

en el grado académico de Maestría.

Por tanto:

Expede el presente diploma que acredita su vínculo con la

**Facultad de Ingeniería**

con el cual autoriza el ejercicio de la profesión correspondiente con los honores  
y preeminencias debidos.

Dado en la ciudad de Guatemala, el dos de diciembre de dos mil diecisiete.

"D y enseñad a todos"



*Aguiar*  
Rector

*[Signature]*  
Rector



*[Signature]*  
Decano de la Facultad



Registro  
Estadística

Firmado digitalmente  
por SERGIO  
RODRIGO  
BARRIOS  
SANDOVAL Fecha:  
27/07/2018 1:17:45  
p. m.



Firmado digitalmente  
por PEDRO  
ANTONIO AGUILAR  
POLANCO Fecha:  
16/08/2018 10:16:20  
a. m.



Firmado digitalmente  
por ERIKA ILEANA  
MARROQUIN GOTO  
DE CHEESMAN  
Fecha: 18/08/2018  
11:31:08 a. m.



Firmado digitalmente  
por CARLOS  
ENRIQUE  
VALLADARES  
CEREZO Fecha:  
27/08/2018 12:11:52  
p. m.



Firmado digitalmente  
por MURPHY  
OLYMPIA PAIZ  
RECINOS Fecha:  
21/08/2018 12:30:54  
p. m.

LESET  
No. REC. 157 Fecha: 27/08/2018  
Impreso: 0007746 y pag. 2 de 10  
Canc: CPE SAT-101234567891011  
Fecha y Hora



El Instituto Guatemalteco de Estadística y Censo de Guatemala  
hizo constar que el día 14 de noviembre del año 2018

se aprobó el registro de la Dirección de Educación

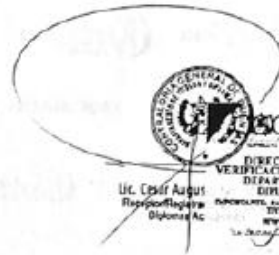
del programa Maestría en Planificación

Colgado No. 664

Guatemala, 27 de agosto del año 2018

F. [Signature] Director  
8100-1-02 FRENTE 1497  
RECTORÍA  
RECTORÍA Y SECRETARÍA  
ESTADÍSTICA Y CENSO

No. 11123



Lic. César August  
Rivas Rodríguez  
Diplomado Ac

MINISTERIO  
A 489028

DIRECCIÓN DE CONTROL Y  
VERIFICACIONES INTERINSTITUCIONAL  
DIPLOMAS ACADÉMICOS  
DIPARTAMENTO DE TÍTULOS Y  
DIPLOMAS ACADÉMICOS  
PUNTO DE ATENCIÓN AL ALUMNO DEL DE  
DIPLOMA A TÍTULO FONDO DE  
www.inec.gov.gt



### CONSTANCIA DE COLEGIADO ACTIVO

La Infrascrita, Secretaria de la Junta Directiva del Colegio de Ingenieros de Guatemala, hace constar que el / la

INGENIERO CIVIL, Maestro en Ciencias en Estructuras

**JULIO OSWALDO PIRIR QUELEX**

Colegiado (a) 6614 se encuentra activo (a) de conformidad con el Artículo 5, Decreto 72-2001 del Congreso de la República, Ley de Colegiación Profesional obligatoria, hasta el día 31/03/2024, Con fecha de Colegiación 09/03/2004

Guatemala, 21 de julio de 2023

Entidad Académica: Universidad de San Carlos de Guatemala

(f):   
Silvio Antonio Orozco Castillo  
Ingeniero Civil  
Presidente  
Junta Directiva 2021-2023

(f):   
Monica Patricia Rodas Castro  
Ingeniera Industrial  
Secretaria  
Junta Directiva 2021-2023

(f):   
Julio Oswaldo Pirir Quelex  
Ingeniero Civil  
MSc. Estructuras  
Colegiado No. 6614

Firma y sello del Colegiado

Entidad Receptora: Uso personal

Esta constancia fue generada el día 21 de julio de 2023 y tiene vigencia de 3 verificaciones del código QR. Para los recursos que a la entidad receptora convenga deberá verificar su autenticidad a través del link <https://colegiado.cig.org.gt/Document/ValidarDocumento> o bien llamando al 2218-2600

Verificador: bca357c6a1ee96665  
ID: 96665

COLEGIO DE INGENIEROS DE GUATEMALA  
7. avenida 39-60, zona 8, PBX: (502) 2218-2600  
email: [juntadirectiva@cig.org.gt](mailto:juntadirectiva@cig.org.gt) / Guatemala, C.A.  
[www.cig.org.gt](http://www.cig.org.gt)

Guatemala, 18 de septiembre de 2023

**MSc. Ing. Edgar Darío Álvarez Coti**  
Director  
Escuela de Estudios de Postgrado  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala  
Presente

Estimado MSc. Ing. Álvarez Coti:

De la manera más atenta me dirijo a usted, con el objeto de hacer de su conocimiento que he aceptado asesorar al ingeniero, David Alexander López Poitán estudiante de la Maestría en Estructuras, en el tema de investigación **“Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de las estructuras en la zona 1 de la ciudad de Huehuetenango”**.

Sin otro particular, me suscribo atentamente.

  
**Julio O. Pirir Q.**  
Ingeniero Civil  
MSc. Estructuras  
Colegiado No. 6614

MSc. Ing. Julio Oswaldo Pirir Quelex  
Asesor