



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

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DEL ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO SISMICO EN  
EDIFICIOS ACOPLADOS Y DESACOPLADOS A SÓTANOS EN LA CIUDAD DE  
GUATEMALA**

**Joseline Michelle Cárdenas Carrillo**

Asesorado por MSc. Ing. Ronald Enrique Urizar Monzón

Guatemala, 21 de marzo del 2024

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DEL ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO SÍSMICO EN  
EDIFICIOS ACOPLADOS Y DESACOPLADOS A SÓTANOS EN LA CIUDAD DE  
GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**JOSELINE MICHELLE CÁRDENAS CARRILLO**  
ASESORADO POR MSC. ING. RONALD URIZAR MONZÓN

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERA CIVIL**

GUATEMALA, 21 DE MARZO DEL 2024

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. José Francisco Gómez Rivera (a.i.)
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
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**

DECANO	Ing. José Francisco Gómez Rivera
EXAMINADOR	Ing. Omar Enrique Medrano Méndez
EXAMINADOR	Ing. José Mauricio Arriola Donis
EXAMINADOR	Ing. Luis Eduardo Portillo España
SECRETARIO	Mtro. 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 DEL ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO SISMICO EN  
EDIFICIOS ACOPLADOS Y DESACOPLADOS A SÓTANOS EN LA CIUDAD DE  
GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Posgrado, con fecha 6 de octubre del 2023.

A handwritten signature in black ink, consisting of several overlapping loops and a long horizontal stroke extending to the right.

**Joseline Michelle Cárdenas Carrillo**



EEPM-PP-1320-2023

Guatemala, 6 de octubre de 2023

Director  
Armando Fuentes Roca  
Escuela De Ingenieria Civil  
Presente.

Estimado Mtro. Fuentes

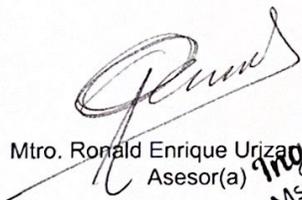
Reciba un cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería.

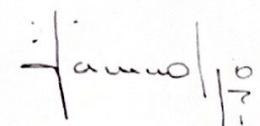
El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado y aprobado el Diseño de Investigación titulado: **ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO SÍSMICO EN EDIFICIOS ACOPLADOS Y DESACOPLADOS A SÓTANOS EN LA CIUDAD DE GUATEMALA**, el cual se enmarca en la línea de investigación: **Análisis y Diseño Estructural y Estructuras Complejas - Respuesta estructural**, presentado por la estudiante **Joseline Michelle Cárdenas Carrillo** carné número **201709098**, 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.

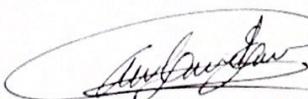
Atentamente,

*"Id y Enseñad a Todos"*

  
Mtro. Ronald Enrique Urizar  
Asesor(a) Ingeniería Estructural  
Msc. Ingeniería Estructural  
Col. 11,582

  
Mtro. Armando Fuentes Roca  
Coordinador(a) de Maestría



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

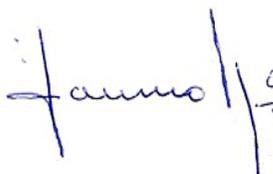




EEP.EIC.1241.2023

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: **ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO SÍSMICO EN EDIFICIOS ACOPLADOS Y DESACOPLADOS A SÓTANOS EN LA CIUDAD DE GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario **Joseline Michelle Cárdenas Carrillo**, 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 e Ingeniería

24189101- 24189102

LNG.DECANATO.OIE.153.2024

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: **ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO SÍSMICO EN EDIFICIOS ACOPLADOS Y DESACOPADOS A SÓTANOS EN LA CIUDAD DE GUATEMALA**, presentado por: **Joseline Michelle Cárdenas Carrillo** 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: 21/03/2024 13:09:08  
Lugar: Facultad de Ingeniería, USAC.

Ing. José Francisco Gómez Rivera  
Decano a.i.



Guatemala, marzo de 2024

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: 2024 Correlativo: 153 CUI: 3001032710101

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:**

<b>Dios</b>	Agradecida por la vida, ser mi guía y darme la oportunidad de crecer en todos los aspectos de mi vida.
<b>Mi madre</b>	Lorena Cárdenas. Con gratitud y amor por ser mi más grande apoyo incondicional a lo largo de este camino.
<b>Mi padre</b>	Ennio Cárdenas. Por ser una luz en mi camino y apoyarme desde la distancia.
<b>Mi familia</b>	Zoila Carrillo (q. e. p. d.), Evelyn Cárdenas, Viviana Muñoz y demás familia. Por el apoyo a lo largo de este camino y por los aprendizajes que hemos compartido.
<b>Mis amigos</b>	Por el apoyo en todas mis etapas académicas y profesionales.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por ser la Universidad que me abrió las puertas a nivel académico y profesional.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por prepararme a nivel profesional a lo largo de estos años y permitirme optar una modalidad de graduación con la que pude seguir creciendo académicamente mientras concluía este proceso.
<b>Área de Técnica Complementaria</b>	Arq. Allen Ramírez y Arq. Alberto Ortiz. Por abrirme las puertas de la docencia en su área y permitirme iniciar mi camino laboral.
<b>Amigos de la Facultad</b>	Arelys Bardales e Ing. Samuel López. Por ser quienes me acompañaron a lo largo de estos años y fueron un gran apoyo en cada etapa.
<b>Compañeros y colegas de la Facultad</b>	Por los buenos momentos compartidos dentro y fuera de la Universidad. Agradecida por todos los momentos compartidos.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	VII
GLOSARIO .....	IX
1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. ANTECEDENTES .....	5
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	11
3.1. Descripción del problema .....	11
3.2. Causales del problema .....	11
3.2.1. Pregunta principal .....	12
3.2.2. Preguntas secundarias .....	13
4. JUSTIFICACIÓN .....	15
5. OBJETIVOS .....	17
5.1. General .....	17
5.2. Específicos .....	17
6. ALCANCES .....	19
7. MARCO TEÓRICO .....	21
7.1. Sismología y tectónica de placas .....	21
7.1.1. Comportamiento del sismo .....	22

7.1.2.	Ondas de cuerpo.....	22
7.1.3.	Ondas de superficie .....	23
7.1.4.	Instrumentos de medición de sismos .....	24
7.1.5.	Escala de medición de sismos .....	25
7.2.	Sismicidad en Guatemala .....	26
7.2.1.	Estadísticas de sismicidad en la región.....	27
7.2.2.	Amenazas sísmicas específica para la Ciudad de Guatemala.....	31
7.3.	Comportamiento Sísmico de Edificios.....	34
7.3.1.	Dinámica de estructuras y ondas sísmicas .....	34
7.3.1.1.	Altura.....	36
7.3.1.2.	Período natural de vibración.....	37
7.3.1.3.	Influencia de la geometría y masa.....	37
7.3.1.4.	Inercia.....	38
7.3.1.5.	Rigidez .....	38
7.3.1.6.	Ductilidad.....	39
7.3.1.7.	Capacidad de disipación de energía ....	39
7.4.	Sistemas estructurales para Guatemala .....	40
7.4.1.	Sistemas sismorresistentes.....	41
7.4.2.	Comportamiento sísmico de los sistemas estructurales.....	41
7.4.2.1.	Análisis sísmico.....	42
7.4.2.2.	Método de diseño por resistencia.....	42
7.5.	Edificios acoplados y desacoplados a sótanos .....	43
7.6.	Mejoras en la resistencia sísmica .....	44
7.7.	Interacción suelo estructura .....	45
8.	HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN.....	47

9.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	49
10.	METODOLOGÍA.....	53
10.1.	Tipo de investigación.....	53
10.1.1.	Explorativa.....	53
10.1.2.	Correlativa .....	54
10.2.	Diseño experimental.....	54
11.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN .....	57
11.1.	Revisión Bibliográfica .....	57
11.2.	Plan de muestreo .....	57
11.3.	Análisis numérico y diseño .....	58
12.	CRONOGRAMA.....	61
13.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO .....	63
13.1.	Factibilidad técnica.....	63
13.2.	Factibilidad económica .....	65
	REFERENCIAS .....	67
	ANEXOS.....	71



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

<b>Figura 1.</b>	Ubicación de fallas para Guatemala .....	28
<b>Figura 2.</b>	Identificación de fallas para el caso de estudio.....	29
<b>Figura 3.</b>	Mapa de zonificación sísmica de Guatemala.....	32
<b>Figura 4.</b>	Efectos de las ondas sísmicas sobre los cimientos de la estructura.....	35
<b>Figura 5.</b>	Modelo de estructura acoplado a sótanos .....	44

### TABLAS

<b>Tabla 1.</b>	Identificación de fallas para el caso de estudio.....	30
<b>Tabla 2.</b>	Listado de amenaza sísmica y velocidad básica del viento por municipios de la República de Guatemala.....	33
<b>Tabla 3.</b>	Variables de investigación .....	55
<b>Tabla 4.</b>	Cronograma para el desarrollo de la investigación.....	61
<b>Tabla 5.</b>	Renglones presupuestados para el desarrollo de la investigación .....	65



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
%	Proporción que toma como referencia el número 100.



## GLOSARIO

### **ACI**

*American Concrete Institute.*

Es una organización profesional y técnica dedicada a la investigación y el desarrollo en el campo del concreto y las tecnologías relacionadas

### **AGIES**

Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica. Es una entidad privada no lucrativa, cultural, académica, gremial formativa y científica que promueve la investigación y divulgación de conocimientos científicos y tecnológicos en el campo de las estructuras, la sismología y áreas afines, así como el mejoramiento de los niveles docentes y profesionales en dichos campos, y el mejor y mayor uso de los recursos materiales y humanos conexos con el mismo.

**ASCE**

*American Society of Civil Engineers.*

Es una sociedad profesional dedicada al avance y promoción de la ingeniería civil.

**Ductilidad**

Es una propiedad mecánica de los materiales que se refiere a su capacidad para deformarse plásticamente antes de fracturarse.

**Disipación de energía**

Proceso mediante el cual una estructura absorbe y disipa energía durante eventos sísmicos u otras cargas dinámicas.

**Inercia**

La inercia en estructuras se refiere a la propiedad de resistir cambios en su movimiento o reposo.

**INSIVUMEH**

Instituto nacional de sismología, vulcanología, meteorología e hidrología.

**Mo**

Magnitud momento en un evento sísmico

**Mw**

Magnitud local de un evento sísmico, mejor conocido como Escala de Richter.

**Placa Tectónica**

Es una gran porción de la litosfera de la Tierra que se desplaza sobre la astenosfera subyacente.

**Período Natural de Vibración**

Es el tiempo que tarda una estructura o sistema en completar un ciclo de oscilación cuando se le perturba y luego se le deja evolucionar libremente.

**Sismo Máximo Creíble**

El sismo máximo creíble es la magnitud máxima de un terremoto que se estima que puede ocurrir en una región específica, basada en la historia sísmica, la tectónica de placas y otros datos geológicos.

**Sismorresistencia**

Capacidad de una estructura para resistir y minimizar los daños causados por movimientos sísmicos o terremotos.

**Tefra**

Son fragmentos de roca y material piroclástico, como ceniza, lapilli y bloques, que son expulsados durante una erupción volcánica.



# 1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la investigación Análisis del comportamiento sísmico en edificios acoplados y desacoplados a sótanos en la Ciudad de Guatemala pretende resolver una serie de interrogantes respecto a cuál sistema estructural presenta un mejor desempeño y por ende constituye una mejor opción para este tipo de edificios, para evaluar ambos casos se considera un análisis comparativo de los dos tipos de estructuras bajo las mismas sollicitaciones sísmicas.

La investigación es de carácter importante considerando el creciente desarrollo inmobiliario en Guatemala que se denota con el número de obras que se han ejecutado en los últimos 5 años, este tipo de estructuras requieren un análisis más detallado con la finalidad de generar un diseño óptimo satisfaciendo las necesidades del cliente y del diseño arquitectónico, por la clasificación de estas obras generalmente están destinadas a ser torres de apartamentos o de oficinas con comercios por lo que en la mayoría de casos involucran pisos subterráneos destinados para aparcamiento de vehículos.

Se considera como punto de análisis la Ciudad de Guatemala ya que constituye el centro de desarrollo del país por lo que representa la ubicación de análisis para los casos de estudio; en esta zona cada vez se erigen edificios más altos, con configuraciones arquitectónicas especiales, irregulares pero llamativos, con varios pisos subterráneos para ganar espacio y ofrecer al cliente mejores opciones pero la ubicación geográfica representa una alta amenaza sísmica por lo que incursionar en el tema descrito se considera relevante para obtener más información que permita a futuro tener estructuras con mejores propuestas estructurales.

El desarrollo de esta investigación plantea un análisis exploratorio y correlativo para analizar el comportamiento sísmico que presentan los edificios acoplados y desacoplados a sótanos y de esta forma comparar la influencia que tienen en el desempeño bajo ciertas solicitaciones sísmicas. Este tipo de estudio se basa en una serie de conceptos desarrollados por investigadores internacionales y proveerá una serie de criterios para futuros diseños estructurales correspondientes a proyectos ubicados en regiones con un índice de sismicidad y clasificación de sitio similar a los que se tienen en la Ciudad de Guatemala.

En el primer capítulo se abordarán los criterios básicos para comprender el comportamiento de los sismos, la interacción que genera en la estructura, las tipologías estructurales y se define toda la base teórica con relación al análisis y diseño de edificios para configuraciones acopladas y desacopladas a sótanos. En el segundo capítulo, se proporciona una serie de fundamentos teóricos en cuanto a los sismos que han afectado a Guatemala, la evolución en las tipologías estructurales para tener un fundamento claro y cuanto a la necesidad de generar nuevos estudios en esta rama de la ingeniería estructural.

En el tercer capítulo se define el uso de variables explorativas y correlativas que permitirán el diseño para cada caso de estudio tomando en cuenta los requerimientos de las normas, generar un diseño coherente y que sea válidos. Para el desarrollo de este capítulo se considera el uso un software especializado para modelar los edificios, aplicar cargas, criterios y obtener análisis que permitan generar una comparativa.

Con base a los resultados de los análisis desarrollados, en el cuarto capítulo se presentan los resultados y se genera una discusión de estos; esto permitirá plantear una serie de criterios sugeridos en cuanto al desarrollo de

nuevas estructuras de alto nivel con pisos subterráneos en la Ciudad de Guatemala y de esta forma plantear las conclusiones pertinentes de la investigación.



## 2. ANTECEDENTES

El creciente desarrollo inmobiliario en la Ciudad de Guatemala ha permitido obras de alto nivel y complejidad en cuanto a edificios, esto involucra un análisis más detallado con la finalidad de contemplar cualquier tipo de sollicitación en la que se vea involucrada la edificación y proveer sistemas estructurales seguros. Guatemala al ser un país altamente sísmico requiere que se analice cualquier tipo de estructura bajo condiciones críticas. Para objeto de análisis es importante determinar la variación que tiene el comportamiento de la estructura si se consideran pisos subterráneos acoplados a la estructura principal.

Analizando la base teórica en relación con este tema se puede mencionar algunos autores Chopra (2020):

El comportamiento de las estructuras ante el impacto de un sismo es crucial en la ingeniería sísmica.

La respuesta de los edificios que se deforman más allá del límite del comportamiento elástico lineal se considera esencial en este campo. Durante un evento sísmico, las estructuras que entran en su rango inelástico experimentan daños y deformaciones importantes. Estos daños pueden concentrarse en los pisos inferiores y en los pilares, lo que podría

provocar fallos en los pilares más rígidos y el posible colapso. La respuesta de los edificios inelásticos a los terremotos puede verse influida por diversos factores, como la rigidez y resistencia de los materiales de construcción, la distribución de la carga gravitatoria y los efectos de segundo orden. Es crucial tener en cuenta estos factores al analizar y diseñar estructuras que puedan resistir los efectos de los terremotos. (p. 756)

Cuando un edificio con sótanos está expuesto a un evento sísmico, la interacción entre el suelo y la estructura es crucial para determinar cómo se comportarán los sótanos y la estructura principal durante el evento sísmico.

Según Kramer (1996), "Cuando una base empotrada se somete a ondas S que se propagan verticalmente, se produce un momento de vuelco neto, se aplica a la base provocando así que se balancee y se traslade". (p. 300-302)

Diversos investigadores han propuesto temas de estudio que permiten una mayor introspección en el tema de desempeño estructural, con la finalidad de generar criterios y teorías que permitan una evolución en todo tipo de propuestas de diseño y de esta forma generar nuevas bases que permitan generar estructuras más seguras y que puedan sufrir el menor daño posible ante eventos sísmicos.

En cuanto a, Gazetas (1991) realizó un estudio que se centró en la interacción dinámica entre edificios y suelos bajo cargas sísmicas. El autor analizó cómo los efectos de la interacción pueden variar según la rigidez y la profundidad del sótano en edificios por lo que es fundamental analizar estas

variables para generar criterios validos de diseños estructurales con este tipo de características.

La inclusión de sótanos en una estructura es un factor para considerar ya que genera diferencias sustanciales en cuanto al diseño y comportamiento de la estructura.

En cuanto a, Priestley y Kowalsky (2008) examinaron cómo los sótanos en edificios afectan la respuesta sísmica. Mostraron que la presencia de sótanos puede influir en la distribución de fuerzas y deformaciones en la estructura, lo que tiene implicaciones significativas en términos de diseño y seguridad.

Por otra parte, investigadores han elaborado algunos estudios para definir de una mejor forma el comportamiento de la estructura utilizando algunos métodos experimentales y analíticos que permitan tener más detalle del comportamiento de las estructuras e incluir otras variables que reflejen de una mejor forma la interacción suelo - estructuras.

En cuanto a Mohammed y Jianxun (2022) evaluaron los efectos de la interacción suelo estructura en edificios de poca altura considerando diversas longitudes de empotramiento como consideración de sótanos.

Según Mohammed y Jianxun (2022), “La profundidad de empotramiento ha reducido los desplazamientos laterales en comparación con ninguna profundidad de empotramiento, considerar la profundidad empotrada en los análisis dinámicos produce efectos generalmente positivos debido a que minimiza la deflexión lateral de los edificios” (p. 17).

El enfoque de este estudio permite indagar un poco sobre la relevancia estructural que tiene la profundidad de empotramiento de una estructura ya que variará en términos de período, y su interacción de suelo estructura proporcionará otro tipo de comportamiento. Es importante considerar que al momento de involucrar sótanos se debe mencionar la interacción que estos tienen con los sistemas de contención y la influencia de la interacción suelo estructura, entre algunos de los estudios que respaldan estos criterios se puede mencionar.

En cuanto a, Mohammed y Sajjad (2018) analizaron la interacción suelo – estructura en la respuesta de edificios de varios pisos respecto a una excitación sísmica, específicamente en relación con la profundidad de empotramiento de la cimentación del edificio; para el desarrollo utilizan una metodología de análisis de historia del tiempo para calcular la respuesta en términos de desplazamientos laterales, fuerzas cortantes en la base, momentos en la base y variación en los periodos naturales de tiempo.

Por otra parte, las condiciones geotécnicas del lugar representan una variable crítica en cuanto al comportamiento de los edificios, el tipo de suelo puede influir directamente en la transmisión de ondas ya sea disipándolas o incrementándolas, por ejemplo, al mencionar suelos con potencial de licuefacción se denotará que al perder el suelo sus propiedades mecánicas este ocasionará el colapso o hundimiento de las estructuras que soporte.

La configuración estructural de un edificio, su simetría, alturas, irregularidades en planta o elevación son factores que influyen directamente con la distribución de fuerzas y por ende del comportamiento global de las estructuras. Es importante que al momento de diseñar se verifiquen las diversas penalizaciones estructurales que consideran las normas para aplicar factores

ante cierto tipo de irregularidades y de esta forma procurar un buen desempeño de la estructura.

Para el análisis de interacción sísmicas relacionadas con estructuras de considerable altura es importante definir los efectos que tienden a generar estos fenómenos en las estructuras y de esta forma lograr generar diseños capaces de disipar la energía y responder de forma controlada para minimizar el riesgo y preservar la integridad de la estructura y de sus ocupantes. De las principales literaturas en este campo se puede mencionar:

En cuanto a, Reboredo (2016) menciona que el daño estructural está relacionado con la energía que la estructura portante logra disipar por comportamiento plástico de sus elementos.

“El daño no estructural está directamente vinculado con la deformación local, la distorsión. Ambos se relacionan más directamente con el desplazamiento del suelo que con la aceleración, que es la base de los métodos más tradicionales” (Reboredo, 2016, p. 270).

En cuanto a, Gioncu y Mazzolani (2002) mencionaron la importancia de los efectos de las ondas, definiendo que la excitación torsional de columnas dentro de un sistema se ve afectada por el paso de ondas Love y por otra parte se genera una excitación oscilante por el paso de ondas Rayleigh por lo que es fundamental considerar estas acciones sobre los elementos estructurales para diseñarlos apropiadamente.

Para considerar el buen desempeño de la estructura se debe conocer su tipología, sistemas estructurales portante, geometría, configuración, número de niveles, cota de cimentación. Todo esto permitirá definir el periodo de la

estructura y analizar sus modos de vibración. La estructura al actuar como un todo busca absorber la energía cinética que ejercen las ondas sísmicas, la disipa por medio de movimiento y busca volver a su estado de equilibrio.

En cuanto a las investigaciones recientes, se muestra la necesidad de considerar apropiadamente variables como la profundidad de los subterráneos, el tipo de suelo alrededor de la subestructura, la altura de la edificación y las características de la demanda sísmica. También se reconoce que en edificaciones de gran altura la interacción dinámica suelo-estructura (DSSI) es importante y puede modificar la respuesta sísmica respecto a estimaciones de modelos simplificados convencionalmente empleados en los análisis y códigos de diseño estructural (Pinto y Ledezman, 2019).

En cuanto a, Moehle (2015) menciona que para pórticos resistentes a momento y por medio de análisis de registros pasados, experimentaciones y observaciones en la actualidad se aplican ciertos criterios de diseño para garantizar que el sistema estructural pueda soportar la incursión en rangos inelásticos sin decaimiento significativo en su resistencia. Estos principios consisten en: detallar el refuerzo longitudinal y transversal de las vigas y columnas para obtener una respuesta dúctil, garantizar el mecanismo de columna fuerte y viga débil, evitar modos de falla frágiles en los elementos y nudos, y reducir la interacción entre elementos estructurales y no estructurales.

En conjunto, estos antecedentes reflejan la diversidad de enfoques y metodologías utilizadas en la investigación de la distribución de sismo en edificios acoplados y desacoplados a sótanos. En la actualidad es de gran relevancia generar nuevos enfoques de investigación para validar teorías y generar nuevos criterios que permitan desarrollar diseños estructurales que garanticen seguridad y buen desempeño.

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

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

Analizar cómo mejora el comportamiento sísmico de edificios de gran altura, al separar sótanos de la estructura principal para disminuir el peso de la estructura.

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

La ciudad de Guatemala, situada en una región altamente propensa a movimientos de origen sísmico, se ha visto afectada históricamente por eventos de magnitudes variables que suponen riesgos significativos para los edificios y la seguridad de sus habitantes. La construcción de edificios en esta zona presenta retos considerables debido a las características geológicas del suelo y a la necesidad de garantizar una resistencia sísmica adecuada.

Un aspecto crucial en el diseño y la construcción de edificios en zonas sísmicas es la distribución adecuada de las fuerzas sísmicas por toda la estructura. En este contexto, los edificios con sótanos plantean un reto adicional debido a la complejidad de su interacción con la estructura principal. Los sótanos, utilizados para diversos fines como aparcamiento, comercio o vivienda, pueden influir significativamente en la distribución de las cargas sísmicas, lo que a su vez afecta a la respuesta global del edificio durante un terremoto.

Aunque se conoce el comportamiento de edificios convencionales en la Ciudad de Guatemala, no se ha explorado comparativamente si separar las

estructuras subterráneas de la estructura principal constituya una mejora en el comportamiento sísmico, por ende, poder disminuir secciones de elementos estructurales, presentar un presupuesto mejorado.

La presencia de sótanos en los edificios puede afectar significativamente a la distribución de las cargas sísmicas. Esto es especialmente relevante en regiones con gran actividad sísmica, como la ciudad de Guatemala, donde los terremotos pueden causar daños significativos a las estructuras existentes o futuras. Este análisis proporcionará información valiosa a los ingenieros y profesionales de la construcción, así como a las autoridades reguladoras, para tomar decisiones informadas en el diseño y la evaluación de edificios sismorresistentes y seguros.

Los factores que influyen en la distribución de la carga sísmica en edificios acoplados y desacoplados a sótanos en Ciudad de Guatemala incluyen la interacción sótano-estructura, los tipos de suelo, la geometría y el diseño, la rigidez, geometría, altura y la ductilidad que presente el sistema, el comportamiento dinámico, los códigos y reglamentos de construcción, la historia sísmica y los materiales de construcción. Estos elementos interactúan para determinar cómo se propagan las fuerzas sísmicas por el edificio y afectan a su respuesta ante los eventos sísmicos.

En este contexto, la presente investigación pretende responder a la siguiente pregunta central:

### **3.2.1. Pregunta principal**

¿Cuáles son las principales diferencias en el comportamiento sísmico entre edificios acoplados y desacoplados a sótanos en la Ciudad de Guatemala,

y cómo pueden estas diferencias influir en el diseño y la seguridad de estas estructuras?

### **3.2.2. Preguntas secundarias**

- Pregunta 1

¿Cómo influyen la altura del edificio, la rigidez estructural y las características de los sótanos en el diseño eficiente y seguro de edificios acoplados y desacoplados en la Ciudad de Guatemala?

- Pregunta 2

¿Cuáles es el impacto de la interacción entre el suelo y la estructura en los edificios acoplados y desacoplados a sótanos en la Ciudad de Guatemala?

- Pregunta 3

¿Cuál es el nivel de riesgo y vulnerabilidad de los edificios acoplados y desacoplados en la Ciudad de Guatemala frente a diferentes escenarios sísmicos, y cuáles son las posibles consecuencias en términos de seguridad pública y daños económicos?

- Pregunta 4

¿Cómo se comparan los costos asociados a los diferentes enfoques de diseño de edificios acoplados y desacoplados en términos de seguridad y durabilidad en la Ciudad de Guatemala?



## 4. JUSTIFICACIÓN

Alta actividad sísmica en la región: Guatemala se encuentra en una zona de alta actividad sísmica debido a su ubicación en la convergencia de placas tectónicas. Como resultado, la región es propensa a terremotos, lo que convierte el estudio del comportamiento sísmico de los edificios en una cuestión crítica para la seguridad pública y la resiliencia de la infraestructura.

Riesgo para la población y la economía: La Ciudad de Guatemala es la ciudad más grande y densamente poblada del país, con una economía en crecimiento. Los eventos sísmicos representan un riesgo significativo tanto para la seguridad de sus habitantes como para la estabilidad económica de la región. Un análisis en profundidad de cómo los edificios responden a los terremotos es esencial para mitigar estos riesgos y proporcionar edificios estructuralmente seguros.

Diferentes estrategias de diseño: El tema aborda la comparación de dos enfoques de diseño sísmico: edificios acoplados y desacoplados a sótanos. Esto es especialmente relevante ya que permite entender cuál de estas estrategias es más efectiva en el contexto guatemalteco, lo que puede influir en futuros proyectos de construcción.

Innovación en el diseño sísmico: El estudio de estrategias de diseño innovadoras, como el uso de sistemas de aislamiento sísmico y flexibilidad estructural, puede abrir nuevas oportunidades para mejorar la resiliencia de los edificios en la Ciudad de Guatemala. Esta investigación puede contribuir al desarrollo de prácticas de diseño más seguras y eficientes.

Beneficios para la planificación urbana: Los resultados de esta investigación pueden tener un impacto directo en la planificación urbana y la toma de decisiones en la Ciudad de Guatemala. Pueden influir en la formulación de regulaciones de construcción y en la identificación de áreas de mayor riesgo sísmico.

La presente investigación forma parte de la línea de investigación Análisis y Diseño Estructural y Estructuras complejas, en la rama de Respuesta Estructural que pertenece al pensum de estudios de la Maestría en Ingeniería en Estructuras, de la Escuela de Estudios de Postgrado, de la Facultad de ingeniería, USAC.

## **5. OBJETIVOS**

### **5.1. General**

Realizar un análisis comparativo del comportamiento sísmico de edificios acoplados y desacoplados a sótanos en la Ciudad de Guatemala.

### **5.2. Específicos**

1. Evaluar como interactúan las variables como la altura del edificio, la rigidez estructural y las características de los sótanos para lograr un diseño eficiente y seguro.
2. Evaluar el impacto de la interacción suelo-estructura en edificios acoplados y desacoplados a sótanos en la Ciudad de Guatemala, con el fin de proporcionar recomendaciones específicas para el diseño sísmico optimizado de dichas estructuras en la región.
3. Realiza un análisis de riesgo y vulnerabilidad para edificios acoplados y desacoplados en la Ciudad de Guatemala.
4. Identificar los beneficios de tener sótanos acoplado y desacoplados a la estructura principal para evaluar seguridad y desempeño.



## 6. ALCANCES

Esta investigación se centra en comprender el comportamiento de edificios considerando dos casos de análisis: cuando la estructura principal está acoplada en su conjunto y cuando los sótanos están separados de la estructura principal. El análisis pretende cubrir los aspectos estructurales y dinámicos que influyen en la respuesta sísmica de estos edificios generando una comparación de desempeño sísmico para caracterizar el diseño que proporcione mejor comportamiento ante sollicitaciones sísmicas.

En el estudio se definen edificios de pórticos de hormigón resistentes a momento, ya que actualmente es la principal tipología estructural utilizada en edificios de más de 10 niveles en Guatemala. Se define la misma geometría y configuración de elementos para ambos casos de análisis, y se considera un número de plantas entre 10 y 15 niveles. Los términos clave que guían esta investigación son: Estructuras, Carga Sísmica, Edificios Acoplados, Edificios Desacoplados, Sótanos, Análisis Estructural, Simulación Sísmica, Seguridad Sísmica, Diseño Estructural.

Basándose en los resultados obtenidos, se generarán recomendaciones específicas dirigidas al diseño y la construcción de edificios con sótanos en la Ciudad de Guatemala, con el propósito de fortalecer su seguridad y capacidad de resistencia ante eventos sísmicos. También se propone una optimización en el diseño en función de los datos sísmicos especificados involucrando las variables de análisis.

La investigación proporcionará información y conocimientos actualizados sobre el comportamiento de las edificaciones de altura convencional que están acopladas y desacopladas sótanos. Esto permitirá a los ingenieros y profesionales de la ingeniería estructural mejorar el diseño y la implementación de medidas de mitigación para garantizar la seguridad y la resistencia de las estructuras frente a eventos sísmicos. También será de apoyo a estudiantes de la carrera de ingeniería civil como fuente de técnica para el desarrollo de nuevas investigaciones.

Algunos de los beneficiarios en el desarrollo de la investigación serán:

Las empresas y organizaciones dedicadas al diseño y construcción de edificios se beneficiarán al obtener orientación y recomendaciones específicas para abordar el tema de diseño de sótanos en sus proyectos. Esto les permitirá mejorar la calidad y la confiabilidad de sus diseños y reducir los riesgos asociados a eventos sísmicos.

Autoridades y organismos de regulación: Las agencias gubernamentales y los organismos de regulación encargados de establecer códigos y normativas de construcción se beneficiarán al contar con información complementaria al considerar ambos casos. Esto permitirá mejorar las pautas y regulaciones relacionadas con el diseño sísmico y la mitigación de riesgos, garantizando la seguridad y el cumplimiento de los estándares en las estructuras.

## **7. MARCO TEÓRICO**

### **7.1. Sismología y tectónica de placas**

La teoría de la tectónica de placas explica el movimiento y la interacción de las placas rígidas de la Tierra, que flotan sobre un manto semilíquido. Este movimiento lento provoca la formación de fenómenos geológicos como montañas, terremotos, cadenas volcánicas, desplazamiento de placas y formación de cuencas oceánicas. La comprensión de la evolución de la Tierra a lo largo de millones de años se basa en gran medida en esta teoría, que también ayuda a identificar las zonas sísmicas y volcánicas para tomar medidas de prevención contra las catástrofes naturales.

La amenaza sísmica es un factor crítico en muchas partes del mundo, normalmente en lugares donde las placas tectónicas interactúan con algún tipo de movimiento o se presenta un tipo de falla dentro de la corteza ya que tienden a ser zonas sometidas a una gran tensión y acumulación de energía.

Estos puntos de liberación de energía son considerados de alta probabilidad sísmica por lo que están en una constante investigación y monitoreo con la finalidad de recopilar la mayor cantidad de registros, estos registros se obtienen en estaciones sísmicas equipadas con instrumentos que detectan el movimiento y algunas de sus características.

### **7.1.1. Comportamiento del sismo**

La descarga de energía en los puntos de alta tensión genera una zona de ruptura donde las rocas se fracturan al alcanzar un nivel crítico de tensión, esto genera la liberación de ondas sísmicas que se originan en el hipocentro o foco de la ruptura como vibraciones y se desplazan por todo el suelo hasta llegar a la superficie. Las ondas sísmicas pueden ser de dos tipos: ondas superficiales y ondas de cuerpo.

### **7.1.2. Ondas de cuerpo**

Se propagan en el interior de la tierra, transmiten la mayor cantidad de energía liberada desde el punto de ruptura (hipocentro o foco) hacia todas las direcciones. Este tipo de ondas pueden clasificarse como:

Ondas P: son conocidas como ondas primarias o de compresión y transmiten fuerzas axiales a lo largo de corteza, el efecto que tienen en ejercer una compresión y tensión en el suelo; además son capaces de viajar por sólidos, líquidos y gases. Por su velocidad de propagación son las primeras en ser registradas por los instrumentos de medición.

Ondas S: son conocidas como ondas secundarias o de cizallamiento transmiten fuerzas cortantes y se propagan en medios sólidos, generan vibraciones laterales en el suelo y pueden causar daños significativos en las estructuras.

### **7.1.3. Ondas de superficie**

También conocidas como ondas secundarias o de cizallamiento son las ondas que viajan por la superficie de la tierra y se propagan por medio sólidos. Tienden a generar vibraciones laterales en el suelo, a ser más lentas, pero con amplitudes mayores. Este tipo de ondas pueden clasificarse como:

Ondas Love: causan movimientos horizontales y de cizallamientos en los estratos de suelo, en la superficie se propagan a lo largo de una dirección perpendicular a la dirección de la propagación, el movimiento que generan puede interpretarse como “balanceo”.

Ondas Rayleigh: puede simularse el comportamiento de estas ondas como el movimiento de las olas del mar. “Se caracterizan por tener un movimiento de partículas que es elíptico y se produce en el plano vertical que contiene la dirección de propagación de la onda.

“Estas ondas son mixtas con componentes de ondas P y de ondas S, se propagan con una velocidad que está entre las velocidades de las ondas P y S de los dos estratos que componen el medio de propagación” (Villaverde, 2009, p. 105).

Dentro del análisis de ondas sísmicas se ha identificado que bajo ciertas condiciones geológicas y condiciones del suelo pueden llegar a amplificarse, por ejemplo, cuando atraviesan zonas con suelo blando, sedimentos no consolidados u otras características que pueden desencadenar que las ondas que lleguen a una estructura sean mayores.

En cuanto a, Villaverde (2009) define que la ingeniería sísmica a lo largo del planeta ha buscado tener una mejor caracterización global del comportamiento sísmico, se puede deducir que la recopilación de esta información en forma de registros facilita la evaluación de amplitudes, distancias, intensidades y otros datos que son cruciales para un análisis continuo de los movimientos del terreno y de esta forma determinar máximos sismos esperados, comportamiento de determinados tipos de suelo, períodos de retorno.

Además, el estudio continuo que posibilita esta recopilación de datos permite integrar datos de diversos lugares del mundo para realizar análisis globalizados y generar constantes actualizaciones en códigos y normativas por medio de la predicción de ocurrencia de eventos sísmicos y la evaluación del peligro sísmico en determinadas zonas.

#### **7.1.4. Instrumentos de medición de sismos**

En cuanto a mediciones sísmicas se designa el sismógrafo como el encargado de medir la velocidad del suelo, este parámetro permite el estudio en general de eventos sísmicos; por otra parte, el acelerógrafo mide la aceleración del suelo y proporciona detalles precisos sobre el cambio de velocidad del terreno ante la propagación de ondas sísmicas.

Se busca registrar el movimiento del suelo en estaciones sísmicas distribuidas dentro de un área de interés, los datos obtenidos permiten calcular la magnitud del evento y evaluar la su intensidad.

### **7.1.5. Escala de medición de sismos**

Las formas de medir un evento sísmico buscan proporcionar una medida estándar para definir un sismo y caracterizarlo en base a una escala o cantidad de energía, se puede mencionar:

Magnitud del evento ( $M_0$ ), principalmente se busca definir la magnitud momento. Según este parámetro es definido por Villaverde (2009), “Medida de la fuerza total liberada por un terremoto y se define como el producto de la rigidez de la roca, el área de la falla que se rompe y la cantidad promedio de deslizamiento en la falla” (p. 151). Esta medida se expresa en unidades de energía y describe la cantidad total de energía liberada por el evento.

Escala de Richter ( $M_w$ ), también conocida como escala de magnitud local, es un método logarítmico utilizado para evaluar la intensidad de un terremoto con una dimensional de grados. Fue desarrollada por Charles Richter en 1935 y se basa en la medición de la amplitud de las ondas sísmicas detectadas por un sismógrafo.

En comparativa se puede mencionar que la magnitud de momento es una medida más exacta y confiable que la escala de Richter, ya que no se satura para terremotos grandes y se puede calcular a partir de mediciones de ondas sísmicas en todo el mundo, en la actualidad para designar un terremoto se utiliza la medida en grados que proporciona Richter. La escala de intensidad de Mercalli, la cual se basa en las observaciones del daño representativo a estructuras, alteraciones en la tierra, no se considera para objeto de análisis precisos ya que tiende a ser muy subjetiva y no proporciona un parámetro real.

## **7.2. Sismicidad en Guatemala**

En el caso de Guatemala, que está situada en un punto geográficamente desfavorable, ya que se encuentra principalmente entre tres placas tectónicas (Placa de Norteamérica, Placa del Caribe y Placa de Cocos) es una zona con un historial sísmico amplio que desafortunadamente no se ha podido registrar a lo largo de los siglos de la mejor forma, pero en la actualidad disponemos de catálogos online como el del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) que permite acceder a registros sísmicos y de algunos medios de respaldo de información que permiten continuar con investigación y análisis como los datos obtenidos del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH).

Para comprender la alta amenaza sísmica en Guatemala se debe identificar las principales fallas e interacción entre placas tectónicas ya que esto ha permitido desarrollar una serie de análisis de amenaza y riesgo para el territorio. De forma general se define que las principales fuentes de liberación de energía surgen de la interacción entre las placas Norteamericana y Caribeña que se clasifican de tipo transcurrente ya que el desplazamiento entre ambas es de forma horizontal dentro de la litósfera terrestre, se pueden identificar de este tipo las fallas Chixoy-Polochic y Motagua.

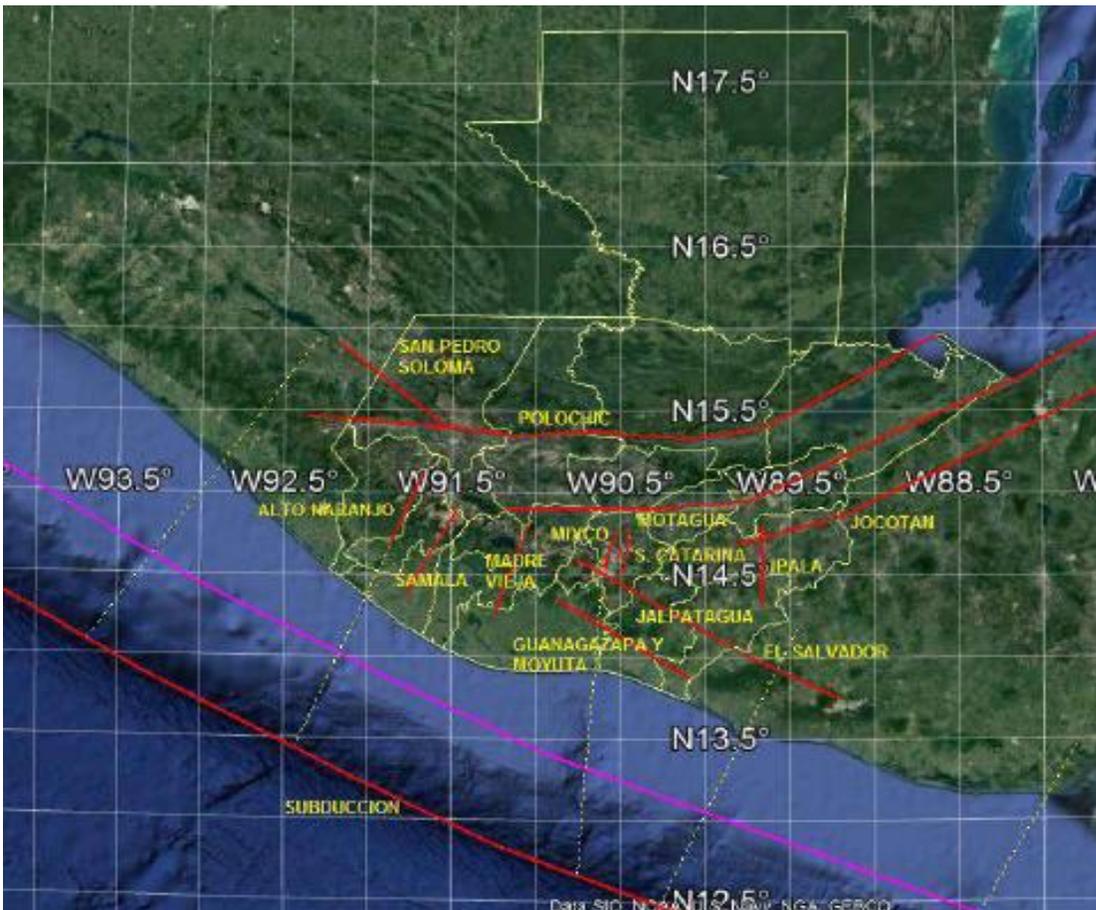
Por otro lado, las placas del Caribe y de Cocos se encuentran aproximadamente a 50 km de las costas del Océano Pacífico, y debido a su interacción convergente, generan una zona de subducción muy propensa a generar terremotos de gran intensidad, muy asociados al Cinturón de Fuego del Pacífico del país. Como resultado de todas estas interacciones, existen algunas fallas secundarias dentro de la corteza que tienen a ser puntos de interés en la generación de movimientos sísmicos y de la actividad volcánica del país.

### **7.2.1. Estadísticas de sismicidad en la región**

Dentro de los estudios más recientes se encuentra el artículo técnico publicado por la Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica (AGIES) en el año 2021 donde algunos investigadores identificaron las principales fallas del territorio y realizaron una serie de análisis con la información actual y los registros disponibles de décadas pasadas para proponer un valor que represente el “sismo máximo creíble” para Guatemala.

## Figura 1.

Ubicación de fallas para Guatemala



Nota. Las líneas rojas designan las fallas identificadas para Guatemala. Obtenido de AGIES (2021). *Análisis de riesgo sísmico para la república de Guatemala*. (<https://www.agies.org/bibliotecas/>), consultado 20 de agosto de 2023. De dominio público.

## Figura 2.

*Identificación de fallas para el caso de estudio*



*Nota.* Las líneas rojas designan las fallas identificadas para Guatemala. Obtenido de AGIES (2021). *Análisis de riesgo sísmico para la república de Guatemala.* (<https://www.agies.org/bibliotecas/>), consultado 22 de agosto de 2023. De dominio público.

En cuanto a, AGIES (2021) define como resultado del análisis realizado una tabla con valores en escala de Richter (Mw) de la magnitud calculada para cada tipo de falla descrita, estadísticamente se observa una alta probabilidad de ocurrencia con registros cercanos a los determinados de este estudio.

**Tabla 1.***Identificación de fallas para el caso de estudio*

ITM	FALLA	MAGNITUD (Mw)	PROFUNDIDA D (KM)	ÁNGULO (°)
1	Subducción 1	7.9	20	37
1	Subducción 2	7.9	30	37
1	Subducción 3	7.9	40	38
1	Subducción 4	7.9	50	40
1	Subducción 5	7.5	70	42
1	Subducción 6	7.5	90	43
2	Jalpatagua	6.9	20	88
3	El Salvador	6.9	20	88
4	Ipala	6.5	10	85
5	Motagua Oeste	7	20	86
6	Motagua Este	7.3	20	85
7	Polochic Oeste	7.3	20	85
8	Polochic Este	7.1	20	85
9	Jocotán	6.8	20	87
10	Mixco	6.2	15	73
11	Santa Catarina	6	10	80
12	Trébol	5.8	10	87
13	Alto Naranjo	5.5	20	78
14	Samalá	5.8	20	88
15	Madre Vieja	5.7	20	85
16	Soloma	7	20	86
17	Moyuta	6.6	20	85
18	Ixcán	6.5	20	85
19	San Jose Pinula	5.8	10	70
20	chaparrón	5.8	10	85
21	Peten 1	5	10	85
22	Peten 2	5	10	85
23	Peten 3	5	10	85
24	Peten 4	5	10	85
25	Concordia	7	20	85
26	Mex. 1	5	10	85
27	Mex. 2	5	10	85
28	Mex. 3	5	10	85

*Nota.* Tabla propuesta de magnitudes en escala de Richter para cada caso de falla en Guatemala. Obtenido de AGIES (2021). *Análisis de riesgo sísmico para la república de Guatemala.* (<https://www.agies.org/bibliotecas/>), consultado 22 de agosto de 2023. De dominio público.

### **7.2.2. Amenazas sísmicas específica para la Ciudad de Guatemala**

Como se ha mencionado Guatemala se encuentra en punto geográfico donde la amenaza sísmica es una variable para considerar. Dentro de las principales amenazas para la Ciudad de Guatemala se puede mencionar las siguientes fallas:

La Falla del Motagua ya que está asociada a la constante liberación de energía, en el pasado ha sido la responsable del terremoto de mayor magnitud registrado para el país, este terremoto se generó en la parte oriental de esta falla y su magnitud fue de 7.5 grados generando una fuerte sacudida y desencadenando el colapso de estructuras, pérdidas humanas y materiales.

Por otra parte, la zona de subducción también es conocida por su constante generación de movimientos sísmicos, se han registrados infinidad de registros con un epicentro asociado a la interacción de estas placas.

Otro factor para considerar es la amenaza volcánica, la ciudad de Guatemala se encuentra en un punto cercano a volcanes activos, este tipo de actividad puede desencadenar movimientos sísmicos y representar otro tipo de fuente. Teniendo definidas las falla que afectan geográficamente al país, se puede definir todas tienen una correlación directa con los sismos pasados, en la actualidad la AGIES ha definido una serie de normativas que definen varios temas de diseño y consideraciones sísmicas para diseño de estructuras.

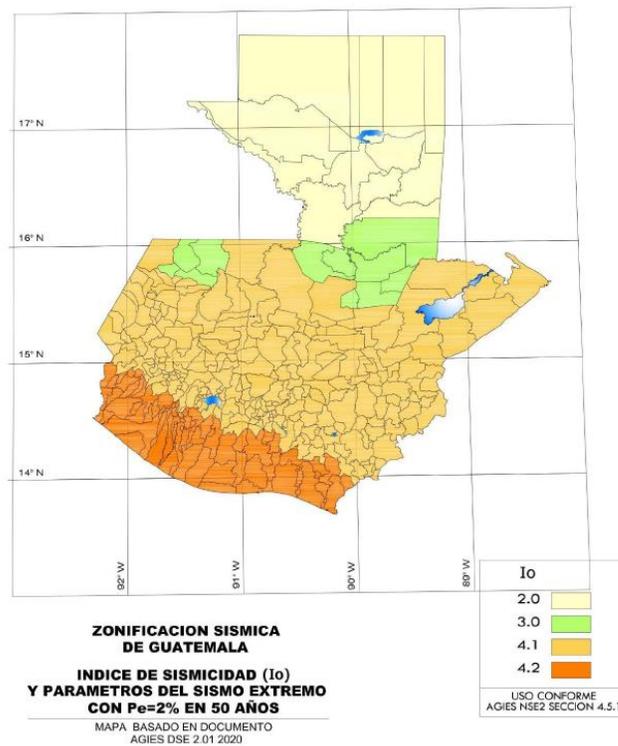
La Norma de Seguridad Estructural de Guatemala define en su capítulo 2 Demandas Estructurales y Condiciones de Sitio una serie de parámetros a

considerar para el diseño de obras en diferentes categorías, definiendo un parámetro en base a su ubicación geográfica.

Esta normativa define un mapa de microzonificación para todo el territorio, tal como se muestra en la Figura II, la representación del índice de sismicidad ( $I_o$ ) está asociada a la probabilidad de incidencia que se puede registrar en determinada área. Para el caso de la Ciudad de Guatemala está registrada en una zona intermedia de ocurrencia sísmica.

### Figura 3.

*Mapa de zonificación sísmica de Guatemala*



*Nota.* Índice de sismicidad definido por Municipios. Obtenido de AGIES (2020). *Demandas Estructurales y Condiciones de Sitio.* (<https://www.agies.org/bibliotecas/>), consultado 8 de julio de 2023. De dominio público.

Dentro de los parámetros que define la microzonificación de amenaza sísmica para Guatemala, se puede mencionar que el índice de sismicidad asocia directamente otras variables como el Nivel de protección (NPS), Clasificación de sitio, ordenadas espectrales correspondientes a un espectro de respuesta de la región.

**Tabla 2.**

*Listado de amenaza sísmica y velocidad básica del viento por municipio de la República de Guatemala*

			<b>Suelo Tipo A</b>				<b>Suelo Tipo B</b>		
No	Municipio	Departamento	$I_o$	$S_{cr}$	$S_{1s}$	$T_l$	$S_{cr}$	$S_{1s}$	$T_l$
1	Guatemala	Guatemala	4.1	1.28	0.47	2.48	1.43	0.52	2.43

			<b>Suelo Tipo C</b>				<b>Suelo Tipo D</b>		
No	Municipio	Departamento	$I_o$	$S_{cr}$	$S_{1s}$	$T_l$	$S_{cr}$	$S_{1s}$	$T_l$
1	Guatemala	Guatemala	4.1	1.53	0.68	2.69	1.43	0.88	3.26

			<b>Suelo Tipo D</b>				<b>Suelo Tipo E</b>		
No	Municipio	Departamento	$I_o$	$S_{cr}$	$S_{1s}$	$T_l$	$S_{cr}$	$S_{1s}$	$T_l$
1	Guatemala	Guatemala	4.1	1.43	0.88	3.26	1.28	1.66	3.49

Nota. índice de sismicidad definido por Municipios. Obtenido de AGIES (2020). *Demandas Estructurales y Condiciones de Sitio*. (<https://www.agies.org/bibliotecas/>), consultado 9 de julio de 2023. De dominio público.

### **7.3. Comportamiento Sísmico de Edificios**

Para analizar los edificios de concreto armado con marcos resistentes a momento como objeto de estudio, es necesario establecer ciertas variables que permitan evaluar su comportamiento frente a las solicitaciones sísmicas. En el contexto de Guatemala, donde las fuerzas sísmicas representan un factor crítico en el diseño estructural, es fundamental desarrollar un diseño efectivo que garantice la seguridad. En este sentido, se definen una serie de parámetros que ejercen influencia en la respuesta sísmica de estas edificaciones.

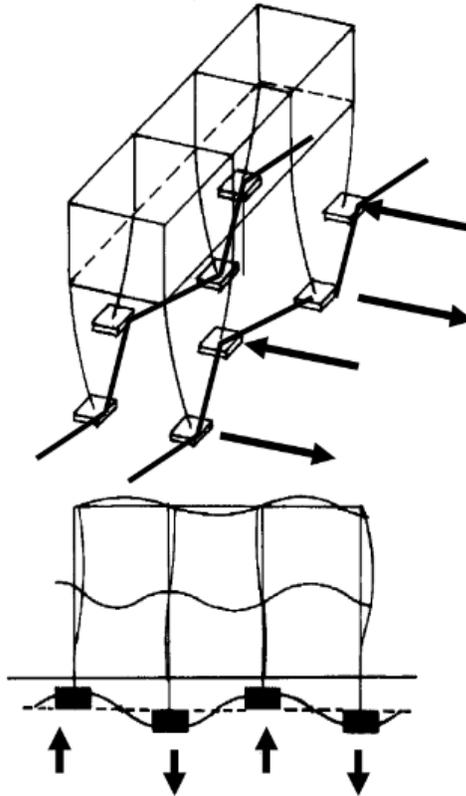
#### **7.3.1. Dinámica de estructuras y ondas sísmicas**

Luego de la llega de las ondas sísmicas a la superficie terrestre, estas ejercen fuerzas sobre las edificaciones generalmente en distintas direcciones induciendo esfuerzos para cada uno de los elementos de la estructura; la onda genera que la estructura se comporte como un elemento en conjunto de ahí la importancia de diseñar en base a requerimientos de normativa, tener un diseño eficiente, óptimo y también verificar la correcta ejecución de los elementos.

La principal interacción que generan las ondas se traduce en energía cinética que induce el movimiento oscilatorio y torsión en los elementos. Sin embargo, las estructuras diseñadas se deben ajustar a parámetros que les permiten disipar la energía a través de sus mecanismos de amortiguamiento y ductilidad. En los diseños estructurales actuales, se considera esencial que la estructura exhiba un comportamiento resiliente y una capacidad de ductilidad adecuada para asegurar su correcto funcionamiento.

**Figura 4.**

*Efectos de las ondas sobre los cimientos de la estructura*



*Nota.* Efectos de las ondas sísmicas. Obtenido de Gioncu y Mazzolannu (2010). *Earthquake Engineering for Structural Design*. (<https://elibro.net/es/ereader/urural/158566>), consultado 30 de agosto de 2023. Derechos de autor 2023 por Earthquake Engineering for Structural Design

Luego de unos segundos o minutos las ondas sísmicas se disipan, la estructura puede estar involucrada de varios casos:

- La estructura regresa a su posición y equilibrio inicial sin perder su integridad esto representa que el edificio puede seguir con su ocupación normal.

- Regresa a su posición inicial y de equilibrio, pero presenta serios daños estructurales por lo que involucra un análisis para determinar si sufrió daños críticos o si se puede considerar una reparación, esto involucra que hasta nuevo aviso puede ser ocupado el edificio y que se considera la reparación si el daño no representa un porcentaje crítico.
- En el peor de los casos presenta un colapso parcial o total de la estructura lo que incurre en pérdidas materiales y generalmente en pérdidas humanas.

El caso 1 representa el escenario ideal ya garantiza la integridad de los ocupantes y no se consideran pérdidas humanas, es el tipo de diseño que se debe proveer. Las Normas de Seguridad Estructural de Guatemala definen una serie de criterios para generar edificios que cumplan con requisitos de diseño y se minimice el riesgo.

Para definir un buen análisis se deben definir algunas variables propias de la estructura:

#### **7.3.1.1. Altura**

La altura del edificio que está en función del número de niveles es una variable a considerar en el diseño ya que puede influir en una amplificación de la sacudida en los niveles más altos debido a la dinámica estructural que se propuso en su diseño, esto genera que en ciertos pisos superiores tengan una mayor índice de participación que los inferiores lo que genera efectos negativos ya que las fuerzas inducidas y la distribución de las mismas será de forma diferente a la propuesta originalmente.

### **7.3.1.2. Período natural de vibración**

El periodo natural de vibración de la estructura representa el tiempo en que se genera una oscilación de este y está relacionado directamente a la altura del edificio. Se considera que al tener un edificio de gran altura su periodo será mayor y viceversa. En este parámetro se busca que el periodo de una estructura no sea igual al periodo de alto de espectro de diseño para evitar que se genere resonancia en las estructuras lo que genera un caso crítico de amplificación de la respuesta estructural.

El periodo también debe permitir que la estructura sea capaz de disipar energía por parte de cada uno de sus elementos garantizando un buen comportamiento.

### **7.3.1.3. Influencia de la geometría y masa**

La geometría se refiere a la forma y configuración de la estructura ya sea en planta o en elevación, se considera un factor que puede determinar la respuesta sísmica ya que si no es analizada de forma adecuada puede inducir a fuerzas adicionales que pueden no estén consideradas en el diseño original. La Norma de Seguridad 3 “Diseño Estructural de Edificaciones” menciona en una serie de sanciones que se aplican al identificar cualquier tipo de irregularidad para garantizar un buen diseño.

La distribución uniforme de la masa dentro de una estructura permite una mejor distribución de cargas muertas y que al momento de actuar el sismo no se generen efectos de torsión y desplazamientos no considerados y que pueden ser críticos.

Para generar un buen diseño se debe considerar una distribución estratégica de los elementos estructurales como vigas, columnas, muros de corte, riostras de disipación de energía. Por ejemplo, cuando se considera un edificio con un núcleo de elementos estructurales se sabe que su comportamiento será mejor ante un edificio donde sus componentes se distribuyen de forma asimétrica o aleatoria.

Además de la geometría, la masa total de la estructura está directamente vinculada a la respuesta que ofrecerá una estructura ya que puede influir en su estabilidad, es importante mencionar el sismo que actúa en una estructura está vinculado al peso sísmico de la estructura. También la masa se relaciona a las propiedades inerciales de la estructura.

#### **7.3.1.4. Inercia**

La inercia representa la resistencia que provee la estructura a cambiar su estado de equilibrio ante acciones sísmicas o de viento en algunos casos. Se vincula directamente con la masa total de la estructura, se identifica que, a mayor masa, mayor inercia, lo que representa que será más difícil inducir algún movimiento sobre la estructura.

#### **7.3.1.5. Rigidez**

La rigidez constituye la capacidad de resistir deformaciones o movimientos que pueda generar una fuerza sísmica o de viento. Directamente se vincula con la relación entre deformaciones y las fuerzas aplicadas a los elementos. Para garantizar rigidez en los elementos se debe considerar el buen uso de materiales, diseño de elementos y la correcta disposición de estos.

Dentro de una estructura se disponen una serie de elementos que aportan cierta cantidad de rigidez por lo que al realizar un análisis global se deben vincular cada uno de estos elementos por medio de nodos o puntos en común para determinar la rigidez global de la estructura.

#### **7.3.1.6. Ductilidad**

La ductilidad representa la capacidad de una estructura para sufrir deformaciones plásticas sin perder su habilidad de soportar cargas. En este contexto, opera en el rango inelástico, asegurando que todos sus componentes sigan el diseño preestablecido.

Esta característica es de gran una importancia para un diseño estructural, ya que permite que la estructura absorba gradualmente la energía liberada durante un sismo, lo que resulta en una reducción de las tensiones y fuerzas que actúan sobre la estructura, evitando, en última instancia, un colapso repentino y catastrófico. La ductilidad proporciona tiempo adicional para la evacuación segura de los ocupantes y permite la realización de reparaciones estructurales una vez que ha concluido el evento sísmico.

Alguno de los métodos que se utilizan para evaluar la ductilidad de una estructura, es la relación de capacidad frente a demanda (C/D), que compara la capacidad de carga de la estructura con las demandas sísmicas previstas. Una C/D alta indica una mayor ductilidad.

#### **7.3.1.7. Capacidad de disipación de energía**

La capacidad de disipación de energía se relaciona con la capacidad de la estructura para absorber y redistribuir la energía generada por el terremoto sin

colapsar. Esto se logra a través de la ductilidad de los materiales y la capacidad de absorción de energía en elementos de amortiguación, como conexiones especiales o sistemas de disipación de energía.

#### **7.4. Sistemas estructurales para Guatemala**

Los sistemas estructurales definidos en la actualidad se establecen en la NSE 3, se mencionan los siguientes sistemas que se pueden utilizar en distintas estructuras:

- Sistema E1 - Estructura de marco simples
- Sistema E2 - Estructuras de muros o tipo cajón
- Sistema E3 – Estructura combinada
- Sistema E4 – Estructura dual
- Sistema E5 – Soportes en voladizo y naves
- Sistema E6 – Péndulo invertido

El sistema de marcos de concretos resistentes a momento E1 son comunes en edificios de varios pisos debido a su capacidad para disipar la energía sísmica a través de la ductilidad, es decir, la capacidad de deformarse antes de fallar. En la actualidad es de los principales sistemas que se utilizan para el desarrollo de edificios de varios niveles, aunque en algunos casos se suele combinar con muros de corte que son elementos verticales que proporcionan resistencia a las cargas sísmicas al resistir la flexión y la torsión.

Se utilizan en combinación con sistemas de marcos para mejorar la resistencia sísmica. Los sistemas de núcleos de concreto, que incluyen muros estructurales en el núcleo central del edificio, se emplean en rascacielos para proporcionar rigidez torsional y mejorar la estabilidad lateral.

#### **7.4.1. Sistemas sismorresistentes**

En la actualidad el tipo de diseño necesario en regiones altamente sísmicas corresponde a un sistema capaz de resistir las fuerzas que ejerza un sismo sobre la estructura, absorber la energía por medio de sus elementos y lograr disiparla generando un movimiento oscilatorio. Al finalizar el evento la estructura volverá a su estado original sin perder su integridad, se pueden generar un daño mínimo en elementos no estructurales pero este sistema garantiza la vida de sus ocupantes.

Para lograr un diseño sismorresistente se consideran algunas variables: diseño sísmico, reforzamiento y detallamiento estructural, cimentaciones adecuadas, control de daños estructurales, inspecciones y mantenimiento.

#### **7.4.2. Comportamiento sísmico de los sistemas estructurales**

Durante un terremoto, los sistemas estructurales experimentan fuerzas inerciales debido a las aceleraciones del suelo. La respuesta sísmica de un sistema depende de su rigidez y capacidad de disipación de energía. Cada uno presenta un comportamiento específico.

El sistema estructural E1 trabaja en conjunto con medio de columnas, vigas y diafragmas rígidos que transmiten las cargas, en el capítulo 18 del ACI 318-14 e definen los criterios para marcos con características sismorresistentes,

el tipo de comportamiento debe ser elástico con incursión en el rango inelástico procurando la fluencia del acero en ciertos periodos de tiempo, pero sin perder sus capacidades.

#### **7.4.2.1. Análisis sísmico**

El análisis sísmico es una parte fundamental del diseño de edificios en zonas sísmicas. Se utilizan modelos matemáticos y simulaciones numéricas para predecir cómo responderá la estructura ante un terremoto. En la actualidad se utilizan métodos por medio de softwares especializados que logran evaluar a detalle el comportamiento de las estructuras como por ejemplo SAP2000, ETABS.

Luego de tener una propuesta oficial y realizar los análisis en los softwares especializados; se debe verificar el cumplimiento de una serie de criterios establecidos en las Normas de Seguridad Estructuras de AGIES, también códigos como ACI y ASCE.

#### **7.4.2.2. Método de diseño por resistencia**

También conocido como “método de diseño por factores de carga y resistencia” es el método definido en las Normas de Seguridad Estructural para Guatemala y se fundamenta en código internacionales. El método define el cálculo de resistencia de cada elemento y se compara con las fuerzas externas que actuarán sobre la estructura, esto permite analizar la capacidad de resistencia de los materiales y elementos que conforman la estructura. Este método permite generar diseños seguros y que cumplan con los criterios de diseño definidos.

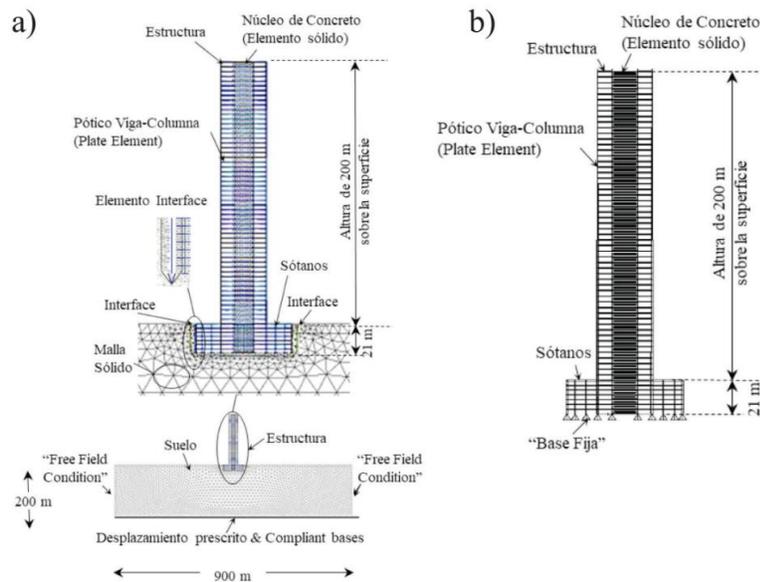
Este método en la normativa guatemalteca considera la acción de cargas muertas, vivas, vivas de techo, sísmica horizontal, sísmica vertical, viento, tefra volcánica, presión de fluidos, presiones de materiales a granel, empuje de suelos, subpresiones hidrostáticas, lluvia, delta de temperatura, impacto y explosión. Todas las cargas definidas son utilizadas en combinaciones definidas por la norma para analizar la estructura y definir los casos críticos.

### **7.5. Edificios acoplados y desacoplados a sótanos**

En términos de Edificios de sótano acoplados y desacoplados se define como la integración y relación entre la estructura de un edificio y su sótano subyacente en términos de rigidez, carga y comportamiento sísmico. Este es un aspecto para considerar en el diseño ya que al ser una sola estructura se considerará una longitud de empotramiento mayor, mayor periodo de la estructura y por ende la afección sísmica puede ser más representativa.

## Figura 5.

### Modelo de estructura acoplada a sótanos



*Nota.* Modelo de estructura de pórticos resistentes a momento con núcleo sólido acoplado a sótanos. Obtenido de Pinto y Ledezma (2018). *Interacción suelo estructura en edificios de gran altura con subterráneos en Santiago de Chile.* (<https://dx.doi.org/10.4067/S0718-28132019000100066>). Derechos de autor 2023 por Obras y Proyectos.

A diferencia de un sistema acoplado a sótanos como se muestra en la Figura 5, un sistema desacoplado considera la cimentación desde su cota 0 distinta a la cota de cimentación de los sótanos; es decir ambas estructuras están separadas para actuar de forma diferente ante las fuerzas que induzcan las ondas sísmicas.

## 7.6. Mejoras en la resistencia sísmica

Las mejoras en la resistencia sísmica de un edificio a menudo implican el uso de refuerzos, como refuerzos de acero o sistemas de aislamiento sísmico,

que pueden reducir las fuerzas sísmicas transmitidas a la estructura y, en consecuencia, al sótano.

El control activo de vibraciones, mediante el uso de amortiguadores y sistemas de control estructural, es una técnica avanzada que ajusta la respuesta sísmica en tiempo real para reducir la deformación y el riesgo de daños.

### **7.7. Interacción suelo estructura**

En cuanto a Kramer (1996) explica que la interacción suelo-estructura se refiere al proceso en el cual la respuesta del suelo influye en el movimiento de la estructura y la respuesta de la estructura influye en el movimiento del suelo.

Para objeto de análisis es importante definir la correlación que existe entre estructuras con sótanos y la interacción que se genera con el terreno circundante debido a factores como la masa, rigidez, altura total de la estructura, periodo natural de la estructura, nivel de desplante, tipo de cimentación y características geotécnicas que proporcione el suelo. Al momento de suscitarse un movimiento sísmico las fuerzas inducidas pueden ocasionar que los sótanos se encuentren influenciados por tensiones y deformaciones significativas. Esto es un factor relevante para considerar ya que puede interferir en el desempeño global de la estructura y afectar su integridad.

A continuación, se mencionan los factores que influyen es esta interacción: características geotécnicas y geológicas del suelo ya que afectan directamente en la forma en que se propagan las ondas sísmicas y la respuesta que el suelo transmite a la estructura. En la actualidad estos parámetros para la Ciudad De Guatemala se definen en la NSE 2.

Como se definió en capítulos anteriores la geometría del edificio, profundidad de sótanos son factores importantes ya que a sótanos más profundos pueden experimentar efectos más significativos en términos de dinámica estructural.

El diseño sísmico es un proceso fundamental para garantizar la seguridad de las estructuras. Se basa en la comprensión de la dinámica de las estructuras y utiliza métodos de análisis sísmico para dimensionar elementos estructurales como pilares, vigas y conexiones, de modo que puedan soportar las fuerzas sísmicas previstas. Para ello se tiene en cuenta la peligrosidad sísmica del lugar, el movimiento del terreno previsto, las propiedades de la estructura y la resistencia de los materiales.

Tras un terremoto, es importante evaluar la vulnerabilidad de las estructuras para determinar si son seguras para su ocupación o requieren reparaciones. Esto implica inspecciones visuales, análisis estructurales y, en algunos casos, pruebas no destructivas. Los resultados de la evaluación pueden utilizarse para dar prioridad a las reparaciones y mejoras, y para informar sobre el futuro diseño sísmico. Es importante señalar que la resistencia sísmica no consiste sólo en construir nuevas estructuras que puedan resistir los terremotos, sino también en adaptar las estructuras existentes para hacerlas más resistentes.

## **8. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN**

El comportamiento sísmico de los edificios es afectado por parámetros como la masa, la altura, la rigidez y el periodo, por lo que comparativamente los edificios desacoplados a sótanos mejoran su comportamiento sísmico en un 20 % siendo la mejor opción de diseño.



## 9. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

ÍNDICE DE TABLAS

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

OBJETIVOS

HIPÓTESIS

RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Sismología y tectónica de placas

1.1.1. Comportamiento del sismo

1.1.2. Ondas de cuerpo

1.1.3. Ondas de superficie

1.1.4. Instrumento de medición de sismos

1.1.5. Escala de medición de sismos

1.1.6. Registros obtenidos

1.1.7. Análisis de datos

1.2. Sismicidad en Guatemala

1.2.1. Estadística de sismicidad en la región

1.2.2. Amenazas sísmicas específica para la Ciudad de Guatemala

1.2.3. Espectro de diseño para la Ciudad de Guatemala

- 1.2.3.1. Parámetros sísmicos
- 1.3. Comportamiento sísmico de edificios
  - 1.3.1. Dinámica de estructuras y sismo
    - 1.3.1.1. Respuesta dinámica
    - 1.3.1.2. Análisis estructural involucrado en el diseño
    - 1.3.1.3. Características propias de la estructura
      - 1.3.1.3.1. Altura del edificio
      - 1.3.1.3.2. Geometría y configuración de los elementos
      - 1.3.1.3.3. Período natural
      - 1.3.1.3.4. Configuración de masa
      - 1.3.1.3.5. Propiedades de inercia
      - 1.3.1.3.6. Rigidez de la estructura
      - 1.3.1.3.7. Ductilidad y capacidad de disipación de energía
      - 1.3.1.3.8. Amortiguamiento
    - 1.3.1.4. Criterios de diseño en base a Norma de Seguridad Estructural
      - 1.3.1.4.1. Verificación de irregularidades en planta y elevación
- 1.4. Tipologías estructurales en edificios de gran altura
- 1.5. Edificios acoplados y desacoplados a sótanos
  - 1.5.1. Comportamiento sísmico de edificios sin pisos subterráneos
    - 1.5.1.1. Criterios de diseño
    - 1.5.1.2. Análisis de comportamiento estructural en función de las características de la estructura
    - 1.5.1.3. Ventajas y desventajas del sistema

- 1.5.2. Comportamiento sísmico de edificios con pisos subterráneos
  - 1.5.2.1. Teorías de comportamiento estructural de sótanos
  - 1.5.2.2. Interacción suelo estructura
  - 1.5.2.3. Tipos de sistemas de contención en sótanos
  - 1.5.2.4. Criterios de diseño
  - 1.5.2.5. Influencia de sótanos en la estructura
  - 1.5.2.6. Análisis del comportamiento estructural en función de las características de la estructura con sótanos
  - 1.5.2.7. Ventajas y desventaja del sistema
- 1.5.3. Criterios para diseño de estructuras acopladas y desacopladas a sótanos
- 1.5.4. Teorías desarrolladas para definir sótanos acoplados a estructura principal
- 1.5.5. Características de acoplamiento de sótanos a estructura
- 1.5.6. Interacción global de la estructura

## 2. ANTECEDENTES SÍSMICOS Y DE INFRAESTRUCTURA PARA LA CIUDAD DE GUATEMALA

- 2.1. Ubicación geográfica de Guatemala
- 2.2. Historial sísmico
- 2.3. Evolución de tipologías estructurales
- 2.4. Sistemas estructurales usados en la actualidad
- 2.5. Investigaciones desarrolladas respecto a sistemas estructurales en regiones altamente sísmicas para edificios de gran altura

## 3. DISEÑO Y MODELADO ESTRUCTURAL

- 3.1. Diseño edificio acoplado a sótano
  - 3.1.1. Propuesta de diseño y configuración estructural
  - 3.1.2. Verificación de diseño y chequeo
  - 3.1.3. Análisis sísmico para el caso de estudio
  - 3.1.4. Modelado en software SAP2000
  - 3.1.5. Registro de resultados
    - 3.1.5.1. Chequeo por derivas y desplazamientos
- 3.2. Diseño edificio desacoplado a sótano
  - 3.2.1. Propuesta de diseño y configuración estructural
  - 3.2.2. Verificación de diseño y chequeo
  - 3.2.3. Análisis sísmico para el caso de estudio
  - 3.2.4. Modelado en software SAP2000
  - 3.2.5. Registro de resultados
    - 3.2.5.1. Chequeo por derivas y desplazamientos

#### 4. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

- 4.1. Comparación del comportamiento sísmico de ambos tipos de estructuras
  - 4.1.1. Chequeos de derivas
  - 4.1.2. Chequeos de períodos
  - 4.1.3. Chequeo de distribución de masas
- 4.2. Evaluación de la seguridad estructural

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

ANEXOS

## **10. METODOLOGÍA**

### **10.1. Tipo de investigación**

El comportamiento sísmico de los edificios altos con pisos subterráneos en Ciudad de Guatemala es un campo de gran interés, principalmente si se pretende separar la estructura principal de los pisos subterráneos; esto permitirá comprender mejor su respuesta a diferentes tipos de solicitaciones. En el contexto de la Ciudad de Guatemala, es necesario investigar constantemente las formas más eficaces de diseñar estructuras de gran altura, ya que se trata de una zona de creciente desarrollo inmobiliario y alta amenaza sísmica. Para el propósito de este análisis, fue necesario delimitar el tema y darle un enfoque exploratorio y correlacional para análisis de sus variables y desarrollo del tema.

#### **10.1.1. Explorativa**

La Ciudad de Guatemala tiene sus propias características geológicas, sísmicas y de construcción que pueden influir en el comportamiento sísmico de los edificios por lo que es prioritario desarrollar nuevas líneas de investigación relacionadas a las tipologías estructurales de mayor desarrollo.

Con el desarrollo de esta investigación se busca adquirir una comprensión inicial y profunda del comportamiento sísmico de edificios acoplados y desacoplados a la estructura principal de un edificio de considerable altura, este tema constituye un vacío de conocimiento que se busca resolver por medio de esta investigación.

Por medio de esta investigación se propone el planteamiento de una hipótesis que relaciona distintas variables de gran relevancia para este estudio. El desarrollo de esta investigación servirá como punto de partida a nuevos casos de estudio relacionados al tema.

### **10.1.2. Correlativa**

Debido a la propuesta investigativa de dos casos de diseño estructural, se presentará un análisis correlacional entre variables relacionadas con el comportamiento sísmico de los edificios considerado para estructuras acopladas y desacopladas a sótanos; busca determinar si existe alguna asociación entre estas los dos casos de análisis, esto permitirá identificar el caso que presente un mejor comportamiento sísmico.

La investigación puede ayudar a identificar factores de riesgo que pueden influir en el comportamiento sísmico de los edificios. Al determinar qué variables están correlacionadas con un mayor riesgo sísmico, se puede contribuir a la formulación de recomendaciones de diseño y construcción más seguras.

## **10.2. Diseño experimental**

Se define un enfoque experimental por su capacidad para proporcionar datos precisos, establecer relaciones entre variables de interés, validar modelos teóricos y contribuir teóricamente al campo de diseño estructural en Guatemala. Este tipo de metodología permite desarrollar los objetivos y definir conclusiones concretas que pueden beneficiar el campo de la ingeniería estructural en el país.

El enfoque de esta investigación corresponde a un diseño experimental ya que busca manipular deliberadamente una variable independiente (el tipo de

edificio acoplado y desacoplado a sótanos) para observar cómo afecta la variable dependiente (el comportamiento sísmico) en condiciones controladas.

Esto permitiría hacer comparaciones directas y analizar si existe una diferencia significativa en el comportamiento sísmico entre los dos tipos de edificios.

**Tabla 3**

*Variables de la investigación*

<b>Campo</b>	<b>Variable</b>	<b>Tipo</b>	<b>Definición teórica</b>	<b>Definición operativa</b>	<b>Indicadores</b>
<b>Edificio</b>	Tipo de edificio	Cuantitativa	Disposición estructural del edificio, si está acoplado o desacoplado a sótanos.	El diseño estructural determinará la configuración específica para el caso de estudio, considerando la unión de sótanos a la estructura y estructuras separadas, lo que influirá en la respuesta sísmica.	Profundidad de sótanos (empotramiento) Período fundamental de la estructura Porcentaje de amortiguamiento de la estructura
	Geometría y propiedades de la estructura	Cuantitativa	Altura y dimensiones están vinculadas a la masa y rigidez que proporcionan la estructura por ende definen su comportamiento	Por medio del análisis y diseño estructural se definen secciones para cada elemento para generar una configuración capaz de solventar los requerimientos.	Altura de edificación Asimetrías en planta y elevación Rigidez Masa

Continuación Tabla 3

<b>Campo</b>	<b>Variable</b>	<b>Tipo</b>	<b>Definición teórica</b>	<b>Definición operativa</b>	<b>Indicadores</b>
<b>Interacción suelo - estructura</b>	Características del suelo	Cuantitativa	Las características del suelo, como su tipo y perfil de resistencia, influyen en la respuesta sísmica de la estructura.	La ubicación de los casos de estudio define el espectro de respuesta a utilizar.	Tipo de suelo Velocidad de corte del suelo
					Deriva máxima
<b>Comportamiento sísmico</b>	Respuesta estructural	Cualitativa	La respuesta estructural es la forma en que un edificio responde a las fuerzas sísmicas, incluyendo las oscilaciones y deformaciones.	Por medio del modelamiento de los dos casos de estudio se someterá a una evaluación sísmica a la estructura para analizar su comportamiento y desempeño.	Desplazamiento máximo
					Deriva máxima

Nota. Variables de tipo cuantitativa y cualitativa para la investigación. Elaboración propia, realizado con Excel.

## **11. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN**

El desarrollo de la investigación constituye un análisis multivariado donde se involucra el estudio de las dos principales variables: el comportamiento sísmico que presentan las estructuras acopladas y desacopladas a sótanos. Para el desarrollo de esta investigación será preciso realizar una serie de análisis teóricos y prácticos para validar la veracidad de la hipótesis planteada.

### **11.1. Revisión Bibliográfica**

Se realizará un análisis bibliográfico previo ya que es esencial para establecer una base sólida, identificar brechas de conocimiento, contextualizar la investigación, evitar duplicaciones y definir el marco conceptual y metodológico de la investigación sobre comportamiento sísmico en edificios acoplados y desacoplados a sótanos en la Ciudad de Guatemala. Este proceso es esencial para llevar a cabo una investigación de alta calidad y contribuir al avance del conocimiento en el campo de la ingeniería sísmica.

También se empleará la Normativa Guatemalteca para obtener parámetros de la modelación del sismo en el área delimitada.

### **11.2. Plan de muestreo**

Se investigará cuales son las tipologías estructurales más comunes en edificios de la Ciudad de Guatemala, con la finalidad de generar el diseño más representativo de la tipología definida. También se deberá indagar la cantidad de sótanos en relación con índices de ocupación del edificio.

### 11.3. Análisis numérico y diseño

La investigación se llevará a cabo de manera teórica, abarcando desde la fase de revisión de información hasta la elaboración detallada del diseño estructural de los edificios, y se profundizará en aspectos técnicos de manera exhaustiva.

Se contemplarán las siguientes etapas:

- Revisión de información teórica
- Determinación de diseño de edificios acoplado y desacoplado a sótanos
- Análisis de sismo en base a código AGIES
- Análisis global de estructuras por medio de hoja de cálculo en Excel
- Modelamiento y análisis de estructura sometida a cargas sísmicas por medio de software SAP2000
- Desarrollar un análisis de regresión múltiple para comprender cómo la altura, rigidez y características de los sótanos, interactúan para influir en el comportamiento sísmico de las estructuras.
- Realizar un análisis de riesgo sísmico para evaluar la probabilidad de daños y la vulnerabilidad de edificios acoplados y desacoplados bajo el escenario sísmico definido.

- Desarrollar un análisis de sensibilidad para evaluar cómo las características de los sótanos, como su acoplamiento a la estructura principal, afectan el desempeño sísmico de los edificios.
- Comparación final, análisis y conclusión de resultados teóricos empleando un análisis estadístico descriptivo



## 12. CRONOGRAMA

**Tabla 4.**

*Definición de cronograma para desarrollo de la investigación*

CRONOGRAMA 2024																									
No	Descripción	Mes 1				Mes 2				Mes 3				Mes 4				Mes 5				Mes 6			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
<b>FASE 1</b>																									
1	Revisión bibliográfica																								
2	Muestreo de información																								
3	Validación de criterios técnicos y de normativa																								
<b>FASE 2</b>																									
1	Definición de configuración de los edificios																								
2	Diseño y análisis estructural de edificios																								
3	Modelamiento de edificios en software especializado																								
4	Determinación de resultados aplicando técnicas de análisis de información																								
<b>FASE 3</b>																									
1	Análisis de resultados e integración de variables																								
2	Definición de conclusiones																								
3	Validación de resultados con fundamentos teóricos																								



## **13. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO**

### **13.1. Factibilidad técnica**

Para validar la factibilidad técnica del desarrollo de esta investigación se consideraron los siguientes aspectos:

- **Revisión de literatura:** Se llevó a cabo una exhaustiva revisión de la literatura científica y técnica relacionada con el comportamiento sísmico de edificios en la Ciudad de Guatemala, con un enfoque particular en aquellos edificios que cuentan con sótanos y su acoplamiento o desacoplamiento en condiciones sísmicas.
- **Disponibilidad de datos:** Se ha confirmado la disponibilidad de datos relevantes, como registros históricos de sismos en la región, información geotécnica detallada de la Ciudad de Guatemala y planos arquitectónicos de edificios de interés para el estudio. Estos recursos son esenciales para llevar a cabo un análisis riguroso.
- **Equipamiento y software:** Se cuenta con acceso a software especializado en análisis estructural y sísmico. Esto garantiza la capacidad técnica para llevar a cabo la investigación.
- **Asesoramiento experto:** Se ha establecido la colaboración de un asesor o director de tesis con experiencia en ingeniería sísmica y análisis

estructural. Esta orientación proporciona un respaldo técnico sólido para el desarrollo de la tesis.

- Consideraciones geográficas: Se han evaluado las condiciones geográficas específicas de la Ciudad de Guatemala, incluyendo la ubicación de fallas sísmicas, la topografía y la geología local. Se tomarán las precauciones necesarias para abordar cualquier desafío adicional que estas condiciones puedan presentar.
- Planificación de tiempo y recursos: Se ha elaborado un plan de trabajo que abarca el tiempo necesario para la investigación y se ha asegurado el acceso a los recursos financieros requeridos para llevar a cabo el proyecto de tesis de manera eficiente.

En resumen, la factibilidad técnica de la tesis propuesta está respaldada por una sólida revisión de literatura, acceso a datos y recursos, *expertise* técnico, consideración de condiciones geográficas y planificación adecuada en términos de tiempo y recursos. Además, se garantizará el cumplimiento de las normativas éticas y regulaciones pertinentes. Esta evaluación técnica respalda la viabilidad de llevar a cabo la investigación en cuestión.

### 13.2. Factibilidad económica

Se presenta el desglose de presupuesto previsto para el desarrollo de la investigación.

**Tabla 5.**

*Definición de renglones presupuestales para desarrollo de investigación*

<b>No.</b>	<b>Actividad</b>	<b>unidad</b>	<b>cantidad</b>	<b>precio (Q)</b>	<b>TOTAL (Q)</b>
1	Asesoramiento de investigación	Global	1	2,500.00	2,500
2	Licencia Software especializado SAP 2000	Global	1	17,689.64	17,689.64
<b>Total, de elaboración de investigación</b>					<b>20,189.64</b>

*Nota.* Definición de presupuesto para desarrollo de tesis. Elaboración propia, realizado con Excel.

La factibilidad económica des desarrollo de la investigación se encuentra descrita en la Tabla 5, se determina que el trabajo de graduación es viable en el aspecto económico, siendo cubierto el rubro total por el maestrante.



## 14. REFERENCIAS

- American Concrete Institute. (2014). *Requisitos de reglamento para concreto estructural (ACI 318-14)*. Michigan, USA: ACI. Recuperado de <https://www.concrete.org/>
- Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica (AGIES). (2020a). *Generalidades, administración de las normas y supervisión técnica*. Guatemala. Recuperado de <https://www.agies.org/bibliotecas/>
- Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica. (2020). *Demandas estructurales y condiciones de sitio*. Guatemala. Recuperado de <https://www.agies.org/bibliotecas/>
- Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica. (2020). *Diseño estructural de edificaciones*. Guatemala. Recuperado de <https://www.agies.org/bibliotecas/>
- Avilés, J., Pérez R., (1996). Evaluation of interaction effects on the system period and the system damping due to foundation embedment and layer depth. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* **15**(1), 11-27. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0267726195000356>
- Castañeda, A., Mielles B. (2017). Una mirada al comportamiento estructural de columnas, vigas, entresijos y edificaciones durante el sismo de Ecuador 2016. *Revista ingeniería de construcción*, **32**(3), 157-172. Recuperado de <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732017000300157>

Chora A. (2020). *Dynamics of Structures*. (5ta edi.). Pearson.

EI, M., Ma, J., & Josephine, M. (2022). Effect of Embedded Basement Stories on Seismic Response of Low-Rise Building Frames Considering SSI via Small Shaking Table Tests. *Sustainability*, 14(3), 1275. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.3390/su14031275>.

Espíndola, V., Pérez, X. (2018). ¿Qué son los sismos, donde ocurren y cómo se miden? *Ciencia*, 1(1), 1-8. Recuperado de [QueSonSismos.pdf \(amc.edu.mx\)](http://QueSonSismos.pdf(amc.edu.mx))

Gazetas, G. (1991). Formulas and Charts for Impedances of Surface and Embedded Foundations. *Journal of Geotechnical Engineering*, 117(9), 1363-1381. Recuperado de [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9410\(1991\)117:9\(1363\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9410(1991)117:9(1363))

Gioncu, V. & Mazzolani, F. (2010). *Earthquake Engineering for Structural Design*. Taylor & Francis Group. Recuperado de <https://elibro.net/es/ereader/urural/158566>.

Guzmán, M., Maldonado, N., Castro, G., (2011). Evaluación de un sistema de refuerzo estructural para un edificio: Un caso de estudio. *Revista de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción*, 1(1), 1-16. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=427639584001>

Kramer, S. (1996). *Geotechnical Earthquake Engineering*. Prentice Hall.

McCormac, J. (s.f.). *Diseño de concreto reforzado*. México: Alfaomega.

- Moehle, J. (2015). *Seismic Design of Reinforced Concrete Buildings*. McGraw-Hill Education.
- Mohammed, H. & Sajjad, A. (2018). Effect of foundation embedment on the response of a multi-story building to earthquake excitation. *Geotechnical and Transportation Engineering*. 5(1), 1-4. Recuperado de <https://doi.org/10.1051/matecconf/201816201016>
- Monzón, H. (2021). Riesgos sísmicos. *Amenaza Sísmica en Guatemala* 2(2), 2-5. Recuperado de <https://www.agies.org/bibliotecas/>
- Monzón, H. (2021). Lecciones repetidas del terremoto del 7 de noviembre. *Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica* 1(1), 1-6. Recuperado de <https://www.agies.org/bibliotecas/>
- Monzón, H., Callejas, F., Rodas, J. (2021) Análisis del Riesgo Sísmico para la República de Guatemala. *Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica*. 1(1), 6-97. Recuperado de <https://www.agies.org/bibliotecas/>
- Muñoz, R., (2011). Edificios altos del Movimiento Moderno. *Arquitectura y Urbanismo*, 32(1), 88-94. Recuperado de <https://www.redalyc.org/comocitar.oa?id=376839861012>
- Pinto V., Francisco J., & Ledezma, Christian. (2019). Interacción suelo estructura en edificios de gran altura con subterráneos en Santiago, Chile. *Obras y proyectos*, (25), 66-75. Recuperado de <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-28132019000100066>

Priestley, M., Calvi, G., Kowalsky, M. & Powell, G. (2008). Displacement-Based Seismic Design of Structures. *Earthquake Spectra* 1(1), 1-5. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/254850548\\_Displacement-Based\\_Seismic\\_Design\\_of\\_Structures](https://www.researchgate.net/publication/254850548_Displacement-Based_Seismic_Design_of_Structures)

Reboredo, A. (2016). *El diseño estructural*. Nobuko.  
<https://elibro.net/es/ereader/urural/77427?page=26>

Villaverde, R. (2009). *Fundamental Concepts of Earthquake Engineering* CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781439883112>.

## 15. ANEXOS

### Anexo 1.

#### Curriculum vitae del asesor

EXPERIENCIA LABORAL	
	<p style="text-align: right;">(+502) 5019 9333 reurizar@hotmail.com</p> <h2 style="text-align: center;">Msc. Ing. Ronald Urizar</h2> <h3 style="text-align: center;">Ingeniero Estructural</h3> <hr/> <p>Profesional de la ingeniería, con más de 14 años formulando y ejecutando proyectos en el área estructural e hidráulica. Durante mi carrera profesional he dirigido con éxito equipos de trabajo, orientándolos al logro de objetivos. He participado en grandes proyectos de ejecución con una elevada exigencia en el control de calidad técnica, seguridad industrial, plazo y presupuestario.</p>
2011 - actualmente	<p><b>GERENTE DE PROYECTOS</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>+ Encargado de administrar y gestionar recursos (financieros, materiales y humanos) para completar un proyecto dentro de las restricciones de tiempo, calidad y costo planificados.</li><li>+ Dirección de ingeniería para proyectos hidráulicos y estructurales.</li></ul> <p><b>PRINCIPALES LOGROS</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>+ Diseños estructurales e hidráulicos para diferentes proyectos.</li><li>+ Dirección de la ejecución de ingenierías de detalle para diferentes proyectos de ingeniería.</li><li>+ Manejo simultáneo de proyectos</li></ul>
2009 - actualmente	<p><b>DISEÑADOR ESTRUCTURAL – consultor individual</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>+ Diseño estructural de:<ul style="list-style-type: none"><li>o Bases para equipos mecánicos de altas revoluciones</li><li>o Casas de 2 y 3 niveles</li><li>o Edificios de baja altura (hasta 6 niveles)</li><li>o Techos metálicos para áreas abiertas</li><li>o Escuelas típicas para gobierno</li><li>o Muelles para vehículos</li><li>o Refuerzo para una iglesia de 10 metros de altura, de mampostería reforzada (tipo bodega)</li><li>o Plantas de tratamiento de aguas negras</li><li>o Muros de contención de diferentes alturas (hasta 7 metros)</li></ul></li></ul>

Continuación del anexo 1.

EDUCACION		(+502) 5019 9333 reurizar@hotmail.com
2021 – Actualmente	DOCTORADO EN ADMINISTRACIÓN FINANCIERA Universidad de San Carlos de Guatemala	
2020	ESPECIALIZACIÓN EN INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Universidad de San Carlos de Guatemala	
2017 – 2019	MAESTRÍA EN ADMINISTRACIÓN FINANCIERA Universidad de San Carlos de Guatemala + Graduado con reconocimiento al desempeño estudiantil	
2014 – 2017	MAESTRÍA EN FORMULACIÓN Y EVALUACIÓN DE PROYECTOS Universidad de San Carlos de Guatemala + Graduado con reconocimiento al desempeño estudiantil	
2012 – 2015	MAESTRÍA EN ESTRUCTURAS Universidad de San Carlos de Guatemala + Publicación sobre aisladores sísmicos.	
2011	ESPECIALIZACIÓN EN ANÁLISIS ESTRUCTURAL Universidad de San Carlos de Guatemala	
2006 – 2011	INGENIERO CIVIL, COLEGIADO 11,582 Universidad de San Carlos de Guatemala + Diplomado en administración	
FORMACIÓN ADICIONAL		
2015	DIRECCIÓN Y SUPERVISIÓN EFECTIVA Cámara de Comercio de Guatemala	
2020	PATOLOGÍAS DEL CONCRETO Sociedad de Ingenieros de Bolivia	
2020	BUENAS PRÁCTICAS PARA LA GESTIÓN DE PROYECTOS USAC	
2020	ESPECIALIZACIÓN EN ADMINISTRACIÓN DE PROYECTOS COURSERA	
2020	ESPECIALIZACIÓN EN ANÁLISIS DE DATOS PARA LA TOMA DE DECISIONES COURSERA	

Continuación del anexo 1.

	(+502) 5019 9333 reurizar@hotmail.com
<b>INFORMÁTICA</b>	
Cálculos Hidráulicos	AUTOSPRINK, WATERCAD, EPANET Y SEWERCAD
Cálculo Estructural	ETABS, SAP 2000, SAFE
Gestión de Proyectos	MS PROJECT
Dibujo	AUTOCAD, SKETCHUP Y REVIT
Herramientas oficina	MICROSOFT OFFICE, CON ÉNFASIS EN EXCEL.
Otros software	MATCAD PRIME, POWER BI, INFOSTAT, R STUDIO, GRETL, CRISTAL BALL
<b>IDIOMAS</b>	
ESPAÑOL	IDIOMA MATERNO
INGLÉS	80% DE FLUIDEZ

ING. RONALD URIZAR  
JUNIO 2023

*Nota.* Detalle del asesor Obtenido de Msc. Ing. Ronald Urizar. (2023) *Curriculum* (p. 1-3.)



**Anexo 3.**

*Título de máster universitario del asesor*

**La Universidad de San Carlos  
de Guatemala**



**Por cuanto:**

**El Licenciado**

**Ronald Enrique Arizar Monzón**

**cumplió con los requisitos que las leyes universitarias establecen para  
optar al grado académico de**

**Maestro en Ciencias en  
Estructuras**

**Por tanto:**

**le expide el presente Diploma que le acredita como miembro de la**

**Facultad de Ingeniería**

**y le concede el derecho de gozar de los honores y preeminencias  
debidas a su grado.**

**Dado en la ciudad de Guatemala, a los ocho días del mes de octubre  
del año dos mil dieciséis.**

**0213-08-2017**



*Aguilar*  
Decano

*[Signature]*  
Rector



*[Signature]*  
Secretario de la Universidad

Continuación del anexo 3.

Universidad de San Carlos de Guatemala  
 TRAMITE AUTORIZADO  
 INSTITUCION: 4030  
 Registro: 10002-0-0000  
 16 JUL 2017  
 Ing. *[Signature]*  
 Departamento de Registro y Estadística

Universidad de San Carlos de Guatemala  
 TITULO REGISTRADO  
 No. de registro: 2576017  
 16 AGO 2017  
 Lic. Luis Felipe Arias Giron  
 Departamento de Registro y Estadística

Razón de Pago		SAT	
PRODUCTOS Y SERVICIOS EDUCACIONALES y de Servicios Educativos a nivel universitario			
CUIT: 400000 Razon: 00000000000000000000 Universidad: Universidad de San Carlos de Guatemala Tipo de Pago: TITULO REGISTRADO Nombre de Pago: Estudiante	Fecha de Pago: 16/07/2017 No. de Documento SAT: 00000000000000000000 No.: 00000000000000000000 	Válido al momento de imprimir el título que corresponde o tenerlo en el sistema.	

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
 FACULTAD DE INGENIERIA

La Facultad de Ingeniería de Pago, en favor de quien que el señor:  
Ronald Enrique Urizar Mardín  
 Obtuvo el grado de Magister en Ingeniería en  
Electrónica  
 Según Acta No. 230 del 16 de Julio de 2017  
 Ciudad de Guatemala, G. de 2017

*[Signature]*

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
 DE GUATEMALA  
 FACULTAD DE INGENIERIA  
 De este título pago el día 16/07/2017  
 Guatemala 16 de Julio de 2017  
 Lic. *[Signature]*  
 Facultad de Ingeniería


 CGC  
 SERIE T-735144  
 INSTITUCION DE EDUCACION SUPERIOR  
 DEPARTAMENTO DE REGISTRO Y ESTADISTICA

Nota. Detalle del título del asesor. Obtenido de Msc. Ing. Ronald Urizar. *Título de máster universitario del asesor.* (p.1-2.)

## Anexo 4.

### Constancia de colegiado activo del asesor

**CONSTANCIA DE COLEGIADO ACTIVO**

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

Ingeniero(a) Civil, Diplomado Superior Certificado en el Proceso de Proyectos de Inversión Pública, con Sostenibilidad y Gestión de Riesgo

**RONALD ENRIQUE URIZAR MONZÓN**

Colegiado (a) 11582 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 31/01/2024, Con fecha de Colegiación 22/05/2012

Guatemala, 16 de enero de 2023

Entidad Académica: Universidad de San Carlos de Guatemala

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

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

(f):   
Firma y sello del colegiado

Entidad Receptora:

Esta constancia fue generada el día 16 de enero de 2023 y tiene vigencia de 3 verificaciones del código QR.  
Para los recursos que a la entidad receptora converga deberá verificar su autenticidad a través del link:  
<https://ca.wqio.cig.org.gt/Document/ValidarDocumento> o bien llamando al 2218-2000

Verificador: **a5d88905b86372497**  
ID: **72497**

**COLEGIO DE INGENIEROS DE GUATEMALA**  
7, avenida 39-80, zona 8, PBX: (502) 2218-2000  
email: [juntadirectiva@cig.org.gt](mailto:juntadirectiva@cig.org.gt) / [Guatemala.C.A.](mailto:Guatemala.C.A.)  
[www.cig.org.gt](http://www.cig.org.gt)

Nota. Detalle de constancia de colegiado activo en el Colegio de Ingenieros del asesor. Obtenido de Msc. Ing. Ronald Urizar. *Constancia de colegiado activo del asesor* (p.1)

## Anexo 5.

### *Carta de aceptación de asesoramiento*

Guatemala, 26 de agosto de 2023

Mtra. Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada  
Directora de la Escuela de Estudios de Postgrado  
Faculta de Ingeniería, USAC  
Presente

Estimada Maestra Inga. Cordova Estrada:

Por medio de la presente hago de su conocimiento que la estudiante **Joseline Michelle Cárdenas Carrillo**, estudiante de la **Maestría En Estructuras**, quien se identifica con número de carné **999011942**, con el tema **"ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO SÍSMICO EN EDIFICIOS ACOPLADOS Y DESACOPLADOS A SÓTANOS EN LA CIUDAD DE GUATEMALA"**, me es grato informar que estoy en la disposición de asesorar dicho trabajo.

Sin otro particular, me suscribo atentamente

  
MSc. Ronald Enrique Urizar Monzón  
Asesor  
[ronaldeum@gmail.com](mailto:ronaldeum@gmail.com)  
Tel. 5019 9333

*Nota.* Carta de aceptación del asesor como asesor del trabajo de graduación. Obtenido de Msc. Ing. Ronald Urizar. *Carta de aceptación de asesoramiento* (p.1.)