



Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Civil

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN: ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE
DIAFRAGMAS ESTRUCTURALES EN EDIFICACIONES IRREGULARES: ANÁLISIS Y
DISEÑO**

Gerber Francisco Alfonso González Sosa

Asesorado por el Mtro. Ing. Hugo Roberto Nájera Castillo

Guatemala, julio de 2025

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN: ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE
DIAFRAGMAS ESTRUCTURALES EN EDIFICACIONES IRREGULARES: ANÁLISIS Y
DISEÑO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

GERBER FRANCISCO ALFONZO GONZÁLEZ SOSA
ASESORADO POR EL MTRO. ING. HUGO ROBERTO NÁJERA CASTILLO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, JULIO DE 2025

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO (a. i.)	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL IV	Ing. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Ing. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Dr. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

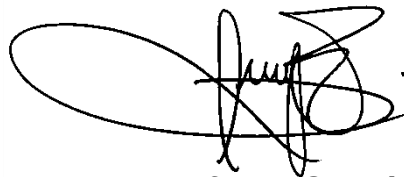
DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Omar Enrique Medrano Méndez
EXAMINADOR	Ing. Marco Antonio García Días
EXAMINADORA	Inga. Karla Giovanna Pérez Loarca
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

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: ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE
DIAFRAGMAS ESTRUCTURALES EN EDIFICACIONES IRREGULARES: ANÁLISIS Y
DISEÑO**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Posgrado, con fecha 3 de mayo de 2025.

A handwritten signature in black ink, featuring a large, stylized 'G' and 'F' that are interconnected, with a horizontal line crossing through the middle of the letters.

Gerber Francisco Alfonzo González Sosa



EEPFI-PP-9333-2025

Guatemala, 3 de mayo de 2025

Director
Armando Fuentes Roca
Escuela De Ingeniería Civil
Presente.

Estimado Armando Fuentes Roca

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

El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado y aprobado el Diseño de Investigación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN: ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE DIAFRAGMAS ESTRUCTURALES EN EDIFICACIONES IRREGULARES: ANALISIS Y DISEÑO**, el cual se enmarca en la línea de investigación: **Análisis y Diseño Estructural y Estructuras Complejas - Aberturas, asimetrías. Distribución de esfuerzos**, presentado por el estudiante **Gerber Francisco Alfonso González Sosa** carné número **201020763**, 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.

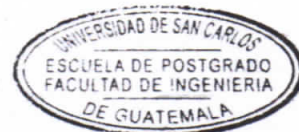
Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

Mtro. Hugo Roberto Nájera Castillo
Ingeniero Estructural
Col. 4658

Mtro. Hugo Roberto Nájera Castillo
Asesor(a)

Mtro. Armando Fuentes Roca
Coordinador(a) de Maestría



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



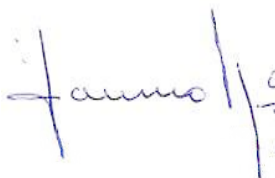
Oficina Virtual



EEP.EIC.8841.2025

El Director de la Escuela De Ingenieria Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador y Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, del Diseño de Investigación en la modalidad Estudios de Pregrado y Postgrado titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN: ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE DIAFRAGMAS ESTRUCTURALES EN EDIFICACIONES IRREGULARES: ANALISIS Y DISEÑO**, presentado por el estudiante universitario **Gerber Francisco Alfonso González Sosa**, 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, mayo de 2025



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Decanato
Facultad de Ingeniería

24189101- 24189102

LNG.DECANATO.OIE.627.2025

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte de la Dirección de Escuela de Ingeniería Civil, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN: ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE DIAFRAGMAS ESTRUCTURALES EN EDIFICACIONES IRREGULARES: ANALISIS Y DISEÑO**, presentado por: **Gerber Francisco Gonzalez Sosa** después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. José Francisco Gómez Rivera
Decano a.i.

Guatemala, julio de 2025



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: 2025 Correlativo: 627 CUI: 1876370910101

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

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por ser la guía de mi vida y nunca desampararme en el camino.
Mis padres	Thelma Sosa y Francisco González por su apoyo incondicional, esfuerzo y amor.
Mis hermanos	Princesa y Marvin González por ser ejemplos por seguir y siempre creer en mí.
Mi abuela	María Gómez (q. e. p. d.) por ser luz y amor para toda la familia.
Mis amigos	Ana Juárez, Brian Castro, Javier Hernández, Jimmy Yoc, Josué Chic, Kevin Martínez, Khirbet López, Luis Corcuera y Ester Benito.
Mis sobrinos	Luis, Briana y Lian Rodríguez, Samantha e Isabella Monroy, Deylin Gonzalez y Adriana Córdón.
Mi novia	Marylu Santos.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por abrirme las puertas y poder formarme como profesional.
Facultad de ingeniería	Por ser mi segundo hogar a lo largo de la carrera, por inculcarme la dedicación, responsabilidad y el trabajo.
Amigos	Por su amistad y siempre apoyarme en todos los aspectos.
Mi novia	Por confiar y creer siempre en mis capacidades.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
GLOSARIO	VII
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	3
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	7
3.1. Contexto general	7
3.2. Descripción del problema	8
3.3. Formulación del problema	9
3.3.1. Pregunta central	9
3.3.2. Preguntas auxiliares	9
3.4. Delimitación del problema	9
4. JUSTIFICACIÓN	11
5. OBJETIVOS	13
5.1. General.....	13
5.2. Específicos	13
6. ALCANCES	15
7. MARCO TEÓRICO.....	17
7.1. Generalidades de diafragmas.....	17

7.1.1.	Generalidades	17
7.1.1.1.	Fuerzas en el plano de diafragma	18
7.1.1.2.	Fuerzas de transferencia del diafragma	19
7.1.1.3.	Fuerzas de conexión	19
7.1.1.4.	Fuerzas de arriostramiento de las columnas	20
7.1.1.5.	Fuerzas fuera del plano del diafragma	21
7.1.2.	Clasificación de diafragmas estructurales	23
7.1.2.1.	Diafragma rígido	23
7.1.2.2.	Diafragma flexible	25
7.1.2.3.	Diafragma semi rígido	26
7.2.	Aspectos sísmicos según norma AGIES NSE 2	26
7.2.1.	Definiciones	28
7.2.2.	Aceleración máxima del suelo (AMS)	30
7.2.3.	Espectros permitidos en normas AGIES NSE 2	31
7.2.3.1.	Establecer solamente un espectro determinístico	32
7.2.3.2.	Establecer un espectro probabilístico extremo	32
7.3.	Irregularidades en edificaciones	33
7.3.1.	Irregularidades en planta	33
7.3.1.1.	Irregularidad torsional	33
7.3.1.2.	Irregularidad torsional extrema	33
7.3.1.3.	Esquina entrante	34
7.3.1.4.	Diafragma discontinuo	34
7.3.1.5.	Desfase lateral	34
7.3.1.6.	Sistema no paralelo	34

7.3.2.	Irregularidades en elevación.....	35
7.3.2.1.	Piso flexible.....	35
7.3.2.2.	Piso flexible caso extremo	35
7.3.2.3.	Masa irregular verticalmente.....	35
7.3.2.4.	Geometría vertical escalonada	36
7.3.2.5.	Discontinuidad en el plano vertical	36
7.3.2.6.	Condiciones de potencial debilidad	36
7.3.2.7.	Discontinuidad en la resistencia lateral – piso débil.....	36
7.3.2.8.	Discontinuidad en la resistencia lateral – piso extremadamente débil	37
7.4.	Análisis y diseño de diafragmas estructurales.....	37
7.4.1.	Análisis de diafragmas estructurales	37
7.4.1.1.	Cargas	38
7.4.1.1.1.	Cargas vivas.....	38
7.4.1.1.2.	Cargas muertas	38
7.4.1.1.3.	Cargas sísmicas	39
7.4.1.1.4.	Otras cargas	39
7.4.1.2.	Combinación de cargas	40
7.4.1.2.1.	Método de diseño por resistencia	40
7.4.1.2.2.	Métodos de esfuerzos de servicio	41
7.4.1.3.	Modelos de análisis	41
7.4.1.3.1.	Modelo de viga	41
7.4.1.3.2.	Modelo puntal.....	42
7.4.1.3.3.	Modelo de elementos finitos	42
7.4.2.	Diseño de diafragmas estructurales	43

7.4.2.1.	Factores de reducción de carga y resistencia	44
7.4.2.2.	Acordes de tensión y compresión	44
7.4.2.3.	Corte de diafragma.....	45
8.	HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN.....	47
8.1.	Hipótesis general	47
8.2.	Hipótesis específicas.....	47
9.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS	49
10.	METODOLOGÍA	53
10.1.	Características del estudio	53
10.2.	Unidades de análisis	54
10.3.	Variables	55
10.4.	Fases de estudio	56
11.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	57
12.	CRONOGRAMA	59
13.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO	61
	REFERENCIAS	63
	APÉNDICES	67

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

Figura 1.	Acciones típicas en el diafragma	18
Figura 2.	Diafragma de viga horizontal rígida sobre apoyos flexibles.....	22
Figura 3.	Diafragma rígido en su plano.....	24
Figura 4.	Mapa con fallas geológicas en Guatemala	28
Figura 5.	Mapa de zonificación sísmica de Guatemala.....	30
Figura 6.	Cronograma de trabajo para investigación	59

TABLAS

Tabla 1.	Variables en estudio.	55
Tabla 2.	Tabla de presupuesto.	61

GLOSARIO

Acero estructural	Acero diseñado para propósitos de construcción de edificaciones y sirve como refuerzo de elementos estructurales.
Amplitud de onda sísmica	Es una medida de la variación máxima del movimiento producido por las ondas sísmicas, es un factor determinante de la magnitud de los terremotos.
Análisis estructural	Método que se utiliza para examinar y evaluar la resistencia, estabilidad y comportamiento de una estructura.
Asimetría estructural	Falta de equilibrio o proporciones entre las partes de una estructura.
Carga sísmica	Fuerza y deformación que se produce en una estructura o en el suelo debido a un movimiento sísmico.
Diafragma estructural	Unidad plana que transmite cargas laterales a los elementos verticales de una estructura.

Diseño estructural	Rama de la ingeniería civil que se encarga de diseñar estructuras seguras, estables y funcionales.
Edificación	Estructura construida para ser utilizada por las personas, y que es diseñada, planificada y ejecutada por el ser humano.
Empuje de suelo	Fuerza que ejerce el terreno sobre un muro y su cimentación.
Esfuerzo a corte	Fuerza que se aplica a un material cuando se le somete a un movimiento de torsión o giro.
Esfuerzo a flexión	Fuerza que se aplica en un componente cuando se le aplica una fuerza externa que lo dobla.
FEMA	Agencia Federal para el Manejo de Emergencias, es una agencia del gobierno de Estados Unidos que se encarga de coordinar la respuesta ante desastres.
Norma técnica	Conjunto de especificaciones técnicas que se aplican de manera voluntaria y que se basan en el desarrollo tecnológico y la experiencia.
Puntal tensor	Es una herramienta de diseño estructural que se utiliza para modelar deformaciones no lineales en elementos de concreto. Se basa en una armadura ficticia que representa las trayectorias de esfuerzos en el elemento.

Sismo

Es un rompimiento repentino de las rocas en el interior de la Tierra, Esta liberación repentina de energía se propaga en forma de ondas que provocan el movimiento del terreno.

1. INTRODUCCIÓN

El auge de la construcción de edificios en Guatemala, inició a mediados de la década de 1990, planteó desafíos significativos para los ingenieros estructurales. En aquella época, el sistema de marcos era predominante, caracterizado por su flexibilidad y diafragmas con deformaciones no significativas, lo que simplificaba el análisis y diseño de los diafragmas estructurales.

Sin embargo, el desarrollo inmobiliario actual impulsa la creación de edificios más altos y de configuraciones complejas, con irregularidades tanto en planta como en elevación. Esta tendencia favorece sistemas estructurales duales y muros de baja ductilidad, los cuales generan esfuerzos complejos en los diafragmas, incluyendo momentos flectores, compresiones y cortantes.

La literatura técnica con la que se cuenta actualmente proporciona ejemplos de análisis y diseño de diafragmas estructurales, en donde suele simplificar las condiciones reales, pero en la práctica las configuraciones son cada vez más complejas.

Dada la alta sismicidad de nuestro país, es importante adoptar una metodología rigurosa para el análisis y diseño de diafragmas estructurales. Esto garantizará la construcción de estructuras seguras, capaces de disipar energía de manera eficiente ante eventos sísmicos de gran magnitud, protegiendo así la vida de los ocupantes y la integridad del edificio.

2. ANTECEDENTES

La aplicación de cargas sobre una estructura induce deformaciones en sus componentes. El análisis estructural se emplea para determinar la magnitud de estas fuerzas y las deformaciones resultantes. Por otro lado, el diseño estructural tiene como objetivo establecer la configuración general del sistema y dimensionar sus elementos para resistir las fuerzas y deformaciones anticipadas (McCormac, 2011).

La forma en que una edificación soporta y distribuye las cargas, especialmente las fuerzas horizontales como las de sismos o vientos, depende significativamente de la configuración de los diafragmas presentes en cada losa o entrepiso. Estos diafragmas, que actúan como elementos estructurales clave, pueden clasificarse en tres categorías principales según su rigidez: rígidos, semirrígidos y flexibles. Cada tipo de diafragma influye de manera distinta en el comportamiento estructural de la edificación (Federal Emergency Management Agency, 1997).

Por ejemplo, el diafragma rígido se asume como hipótesis que el entrepiso tiene solamente 3 grados de libertad, 2 posibles traslaciones en planta y un giro alrededor del eje Z. Para este caso, se toma como referencia un nodo principal o nodo maestro en el plano del diafragma. Todos los demás nodos secundarios se conectarán a este nodo simulando un elemento infinitamente rígido que no permite deformaciones axiales. Todos los nodos estarán conectados a este único nodo principal, el cual será el que condense todos los posibles desplazamientos que tenga el diafragma (Jiménez, 2024).

Como bien hace énfasis Tapia (2009) en el contexto de la respuesta estructural ante eventos sísmicos, es común en países como México asumir que los sistemas de piso actúan como diafragmas rígidos. Sin embargo, esta suposición frecuentemente se aplica sin una verificación rigurosa de su validez. Esta investigación busca comparar el comportamiento de diafragmas flexibles y rígidos, con el objetivo de obtener datos cuantitativos que permitan optimizar el diseño y desempeño de las estructuras ante sismos.

Según la Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica (2024a):

La suposición de diafragmas infinitamente rígidos puede ser una herramienta de trabajo para facilitar el proceso de análisis de la estructura, pero las corridas finales del análisis deben reconocer la rigidez finita porque actualmente se requiere la verificación de esfuerzos de diafragma.
(p. 20)

El diseñador estructural necesitará en general tomar en cuenta las rigideces finitas de los diafragmas en el análisis, no solo para lograr una mejor distribución de cortantes en el modelo, sino para evaluar los esfuerzos de diafragma que son actualmente un requisito de cálculo.
(AGIES, 2024b, p. 27).

La evaluación del riesgo sísmico tiene como objetivo identificar las fallas potenciales en las edificaciones que pueden presentarse ante eventos sísmicos de magnitud significativa, tomando en consideración la zonificación sísmica para

la República de Guatemala de acuerdo con NSE 2. Se aplica a edificaciones construidas con concreto reforzado, acero estructural y mampostería reforzada (AGIES, 2024a).

El -13 es uno de los primeros trabajos que se han realizado utilizando la técnica de la observación ATC post sismo. Se deriva a partir del juicio de expertos, las matrices de probabilidad de daño para 78 clases de estructuras diferentes, 40 de las cuales son edificios y la importancia que tienen los diafragmas en el desempeño ante un sismo de gran magnitud. La estimación del porcentaje esperado de daño que podría sufrir una determinada estructura ante una intensidad sísmica dada.

Según las diversas normativas extranjeras han adoptado nuevos enfoques con respecto al diseño sísmico de los sistemas de piso, a partir de la versión 2014, ha incluido un capítulo sobre las consideraciones para el diseño de diafragmas (Capítulo 12), mientras que el ASCE/SEI 7-16 *Minimum Design Load and Associated Criteria for Buildings and Other Structures* y el NTCDS. Por tanto, han adoptado un enfoque nuevo para estimar fuerzas de diseño en diafragmas, basado en el método de reducción del primer modo siendo este más racional, realista y simple (González, 2022).

Para el diseño sísmico de muros estructurales, la norma ACI 318-19 presenta varios requisitos de diseño nuevo. Costando que los diseños anteriores permitieron el uso de traviesas con ganchos de 90 grados en un extremo, todas las traviesas para elementos de contorno especial ahora deben tener ganchos de 135 grados en ambos extremos. Las nuevas disposiciones también restringían la ubicación de los empalmes de solape de refuerzo vertical cerca de las zonas de articulación plásticas previstas. Otra nueva disposición de diseño permite verificar que los detalles sean adecuados para las demandas de desplazamiento sísmico

calculadas. A lo más importante es que las nuevas disposiciones amplificar las fuerzas cortantes de diseño de muros, se basan en consideraciones sobre la resistencia a la flexión del muro y los efectos de la respuesta elevada madura, lo que puede en aumento de las fuerzas sustanciales de las fuerzas cortantes de diseño para algunos muros (Mohele, 2019)

SAP2000 es un programa de elementos finitos con interfaz gráfica 3D orientado a objetos que se utiliza para el cálculo y diseño de estructuras. Con SAP2000, es posible realizar la modelación, análisis y dimensionamiento de forma integrada, lo que permite obtener resultados precisos y confiables en cada etapa del proceso. Este *software* es ampliamente utilizado en diversos proyectos de ingeniería civil y arquitectura, abarcando desde puentes y edificios hasta estadios y presas. (Tavera, 2023, párr. 2)

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Hace 50 años el sistema estructural de marcos era el más utilizado (los marcos son relativamente flexibles en todos los sentidos, no hay un diferencial de deformaciones en el diafragma que genere algún tipo de esfuerzo considerable), debido a esto en esa época no se requería realizar un análisis y diseño complejo al diafragma estructural. En la actualidad el desarrollo inmobiliario propone edificios más altos y complejos en configuración y estructuras irregulares.

3.1. Contexto general

La tendencia actual en la construcción se inclina hacia sistemas estructurales que incorporan muros de concreto, como los sistemas duales y muros de baja ductilidad. Esta transición plantea desafíos significativos en el diseño de diafragmas estructurales. La disparidad en la rigidez entre los muros y el resto del sistema puede inducir esfuerzos internos complejos en el diafragma, incluyendo momentos flectores, compresiones y cortantes.

Las normativas y literatura técnica, como las del ACI y AGIES, proporcionan ejemplos y guías para el diseño de diafragmas. Sin embargo, estos suelen simplificar las condiciones reales, basándose en análisis estáticos. En la práctica guatemalteca, donde las configuraciones estructurales son cada vez más complejas, estos ejemplos resultan insuficientes.

Es crucial abordar esta problemática y desarrollar métodos de diseño más precisos y adaptados a las condiciones locales. Esto implica considerar el comportamiento dinámico de los diafragmas y la interacción con los muros estructurales, para garantizar la seguridad y eficiencia de las construcciones.

3.2. Descripción del problema

El comportamiento de los diafragmas estructurales, de manera práctica, se asumen como rígidas sin realizar un análisis que se cerciore de lo mencionado. Lo que conlleva a que, el diseño dependiente del análisis estructural esté sujeto a resultados que no muestran el verdadero comportamiento de la estructura y se generen daños estructurales importantes.

Dado que nuestro país se encuentra en una zona de alta sismicidad, el análisis y diseño estructural meticuloso son cruciales para prevenir el colapso de edificaciones. Es imperativo evaluar el comportamiento de construcciones sin diafragmas rígidos, caracterizadas por su flexibilidad, y desarrollar estrategias que mitiguen sus efectos adversos ante eventos sísmicos.

La irregularidad en planta y elevación de las estructuras, la utilización de combinaciones de distintos tipos de sistemas estructurales, con diferentes ductilidades, sótanos con sistemas de pantallas de pilotes inducen grandes esfuerzos y deformaciones en los diafragmas estructurales.

3.3. Formulación del problema

La falta de estudios detallados sobre el comportamiento sísmico de diafragmas estructurales impide establecer metodologías precisas para su diseño. La complejidad de las configuraciones estructurales, con sus irregularidades y combinaciones de sistemas, genera desafíos significativos en el análisis de esfuerzos y deformaciones.

3.3.1. Pregunta central

¿Cómo es el comportamiento sísmico de los diafragmas estructurales en edificaciones irregulares, y que tipo de metodología se puede utilizar para analizar y diseñar?

3.3.2. Preguntas auxiliares

- ¿Cuáles son las irregularidades que afectan considerablemente a los diafragmas estructurales?
- ¿Cuál es la metodología para analizar diafragmas estructurales?
- ¿Cómo se deben diseñar los diafragmas estructurales?

3.4. Delimitación del problema

Este estudio se va a limitar a analizar y diseñar los diafragmas estructurales, sometidos a esfuerzos y deformaciones considerables, y no al análisis y diseño de la edificación completa.

4. JUSTIFICACIÓN

La Ciudad de Guatemala se asienta sobre una zona de alto riesgo sísmico, caracterizada por ordenadas espectrales de periodo corto ($S_{cr}=1.50$ g) y de 1 segundo ($S_{1r}=0.55$ g). Esta condición expone a las edificaciones a la amenaza constante de sismos de gran magnitud. A lo largo de las décadas, la evolución de las tipologías estructurales y arquitectónicas ha introducido mayor complejidad e irregularidad en los diseños. Esta tendencia exige un análisis y diseño detallado de los diafragmas estructurales, ya que estas variaciones incrementan significativamente los esfuerzos y deformaciones que deben soportar.

Las normativas actuales, aunque proporcionan guías, a menudo se quedan cortas al abordar la complejidad de los proyectos estructurales contemporáneos en nuestro entorno. Por ello, es imperativo desarrollar una metodología más precisa y adaptada para el análisis y diseño de diafragmas bajo estas condiciones desafiantes.

Un diseño inadecuado de los diafragmas estructurales puede tener consecuencias catastróficas durante un sismo de gran magnitud, resultando en el colapso de edificaciones, la pérdida de vidas humanas y daños materiales irreparables.

5. OBJETIVOS

5.1. General

Estudiar el sísmico de los diafragmas estructurales en edificaciones irregulares, para analizarlos y diseñarlos.

5.2. Específicos

1. Analizar las irregularidades en las edificaciones que afectan considerablemente a los diafragmas estructurales.
2. Plantear metodología para analizar diafragmas estructurales.
3. Recomendar cómo diseñar diafragmas estructurales.

6. ALCANCES

Tiene como alcance exploratorio: el análisis detallado del comportamiento sísmico de los diafragmas estructurales, elementos cruciales en la respuesta de las edificaciones ante eventos sísmicos, el objetivo principal es investigar el comportamiento de los diafragmas cuando se someten a esfuerzos y deformaciones significativas inducidas por sismos.

- Analizar las interacciones entre los diafragmas y otros componentes estructurales.
- Evaluar la capacidad de los diafragmas para resistir y distribuir las fuerzas sísmicas.
- Desarrollar una metodología de análisis que permita predecir con precisión el comportamiento de los diafragmas bajo cargas sísmicas.
- Proponer recomendaciones para el diseño óptimo de diafragmas estructurales, considerando factores como la rigidez, la resistencia y la ductilidad.

Tiene como alcance explicativo: comprender cómo las irregularidades en la configuración de las edificaciones influyen en la generación de esfuerzos y deformaciones críticas en los diafragmas estructurales.

- Identificar tipos de irregularidades estructurales más comunes (por ejemplo, irregularidades en planta y en altura).

- Analizar cómo estas irregularidades afectan la distribución de las fuerzas sísmicas en la estructura.
- Determinar cómo estas irregularidades aumentan la demanda de esfuerzos y deformaciones en los diafragmas.
- Obtener el conocimiento para poder mitigar los daños ocasionados por las irregularidades.

Es importante destacar que el presente trabajo se limita específicamente al análisis y diseño de los diafragmas estructurales que experimentan esfuerzos y deformaciones considerables. El estudio no abarca el análisis y diseño integral de la edificación completa. Esto significa que:

- Se enfoca en el comportamiento detallado de los diafragmas como elementos individuales y en su interacción con los elementos estructurales verticales, como muros y columnas.
- No se incluyen análisis exhaustivos de la respuesta global de la edificación ante sismos, como el análisis modal o el análisis de respuesta espectral de toda la estructura.
- Se enfocará en la transferencia de cargas horizontales, y cómo estas afectan al diafragma.

7. MARCO TEÓRICO

7.1. Generalidades de diafragmas

Un diafragma puede definirse como un conjunto estructural horizontal o ligeramente alejado de la horizontal, de espesor pequeño respecto de sus otras dos dimensiones, que tiene la capacidad de trabajar bajo fuerzas contenidas en su propio plano, y a su vez transmite las cargas al resto de elementos verticales. Comúnmente se usa en pisos y muros de cortante (McCormac, 2011).

7.1.1. Generalidades

La función principal de un diafragma estructural ya sea un piso o una cubierta, es resistir cargas verticales (gravitacionales) y distribuirlas a los elementos estructurales de soporte, como columnas y muros. Además, los diafragmas juegan un papel importante en la respuesta de la estructura ante fuerzas horizontales, como las inducidas por sismos o vientos, al transferir y distribuir estas fuerzas a los elementos verticales resistentes.

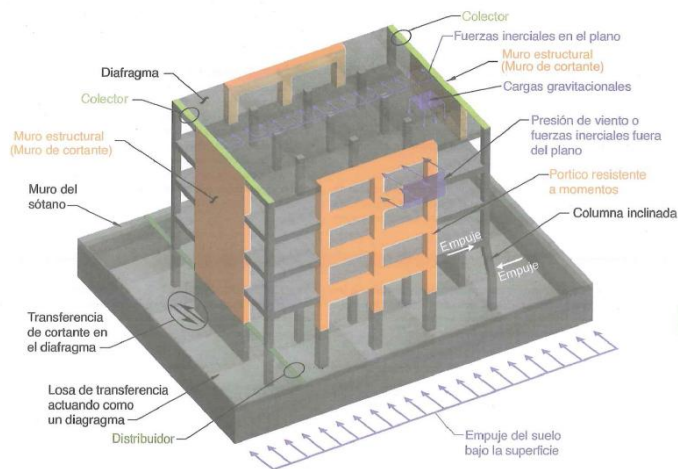
Las losas de piso se comportan como diafragmas, tal como son usados en las edificaciones, son elementos estructurales que cumplen las siguientes funciones:

- Apoyan los elementos de la estructura como los muros, tabiques, entre otros. Estos resisten fuerzas horizontales, los cuales no son parte del sistema vertical que resiste a estas fuerzas.

- Transfieren las fuerzas laterales desde el punto de aplicación al sistema vertical (Sacalxot, 2021).

Figura 1.

Acciones típicas en el diafragma



Nota. Se ejemplifica con esta edificación los distintos esfuerzos y cargas típicas a las que están sometidos los diafragmas del sistema estructural. Adaptado de ACI (2022). *Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural*. (<https://es.scribd.com/document/528813223/ACI-318-19-Espanol>), consultado el 15 de marzo de 2025. De dominio público.

7.1.1.1. Fuerzas en el plano de diafragma

Las fuerzas laterales de los diafragmas se transmiten hacia y desde el suelo a través de muros cortantes o marcos resistentes al momento. Las fuerzas son fuerzas de corte, aquellas que tienden a distorsionar la forma de la pared, o fuerzas de flexión para estructuras esbeltas como un rascacielos. La construcción puede incluir paredes que tienen mayor

resistencia al corte o arriostramiento diagonal de acero, o ambos.
(LibreTexts, s.f., pár. 16)

7.1.1.2. Fuerzas de transferencia del diafragma

Según Jiménez (2024):

En el caso de que los elementos verticales varíen su configuración o sus planos de resistencia en toda la altura de la edificación, se debe transferir las fuerzas de estos elementos verticales de una planta a otra mediante el diafragma, garantizando de esta manera una transferencia de fuerzas entre todos los elementos verticales aún en casos de irregularidad. (párr. 4)

7.1.1.3. Fuerzas de conexión

La fuerza de conexión en la presión del viento actúa sobre las superficies expuestas de la edificación y genera fuerzas fuera del plano sobre esas superficies. Del mismo modo, la vibración producida por un sismo puede generar fuerzas inerciales en los elementos estructurales verticales y no estructurales como son los de la fachada. Estas fuerzas son transferidas desde los elementos donde se desarrollan las fuerzas hacia el diafragma a través de las conexiones. (American Concrete Institute, 2022)

7.1.1.4. Fuerzas de arriostramiento de las columnas

En las estructuras de acero, el sistema de arriostramiento de columnas es responsable de formar un bloque rígido que garantiza la firmeza de toda la estructura y su capacidad para soportar fuerzas verticales. La rigidez vertical de la estructura de acero de una fábrica suele ser baja, ya que está diseñada principalmente en dirección horizontal. El sistema de arriostramiento de columnas es crucial para lograr un equilibrio en la rigidez de la estructura de acero de la fábrica.

El sistema de arriostramiento de columnas, junto con la viga de la grúa y dos columnas combinadas, sirve para aumentar la rigidez vertical de la fábrica. Cuando intervienen fuerzas verticales, como terremotos, viento o fuerzas de frenado de la grúa, estas se transmiten desde la columna a través de la viga de la grúa, luego al sistema de arriostramiento de columnas y, finalmente, a la cimentación. Como resultado, estas fuerzas tendrán un impacto mínimo en la integridad de la estructura de acero.

El sistema de arriostramiento de columnas de la estructura de acero de la fábrica consta de barras diagonales colocadas en los tramos superior e inferior de las columnas, especialmente en posiciones con

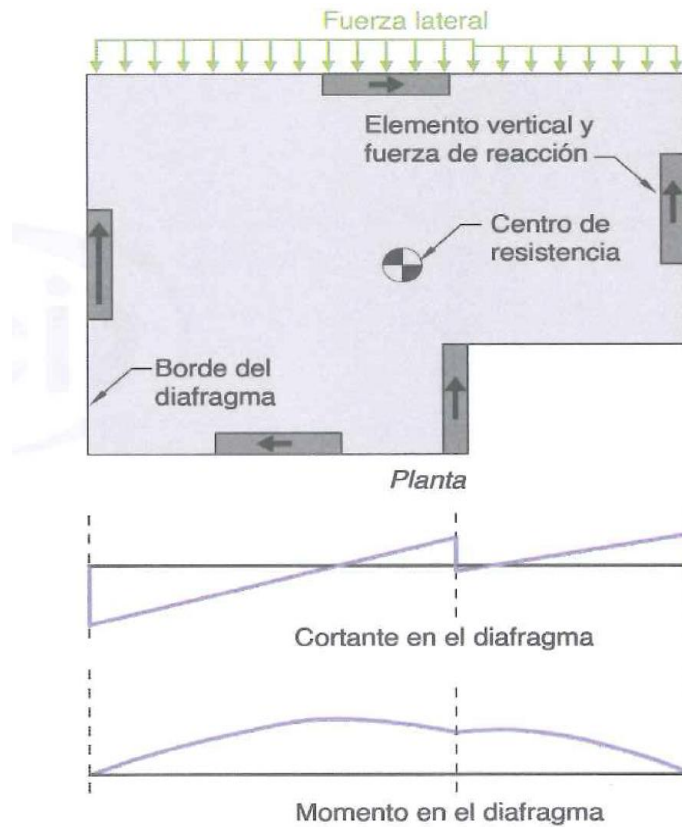
arriostramiento de techo. Dependiendo de si se requiere una grúa o no, se considerará el tamaño adecuado de las barras diagonales y se colocarán en los lugares adecuados. (Pebsteel. 2023, párr. 8-10)

7.1.1.5. Fuerzas fuera del plano del diafragma

Estas fuerzas son muy comunes en diafragmas que forman parte de sistemas de piso o bien, estructura para cubiertas de techo. En este tipo de elementos es esencial considerar el efecto de las fuerzas gravitacionales, así como la componente vertical del sismo en el caso de losas. (Jiménez 2024, párr. 6)

Figura 2.

Diafragma de viga horizontal rígida sobre apoyos flexibles



Nota. Acciones en el plano del diafragma obtenidas al modelar el diafragma como una viga horizontal rígida sobre apoyos flexibles. Adaptado de ACI (2022). *Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural*. (<https://es.scribd.com/document/528813223/ACI-318-19-Espanol>), consultado el 15 de marzo de 2025. De dominio público.

7.1.2. Clasificación de diafragmas estructurales

La clasificación de los diafragmas aún es un tema subjetivo entre las diferentes entidades que proponen normativas para la ingeniería civil. Entre ellas se encuentran: American Association of Civil Engineers (ASCE), American Concrete Institute (ACI) y Federal Emergency Management Agency (FEMA).

Los diafragmas pueden clasificarse como rígidos o flexibles, esto se basa en el comportamiento de cada uno ante las fuerzas que debe resistir. En muchos casos, se asigna la clasificación de diafragma rígido a una losa o entrepiso que en la realidad no tiene este comportamiento asumido como hipótesis en el diseño. Es por esta razón, que resulta estrictamente necesario conocer acerca del comportamiento de estos modelos. (Jiménez, 2024, párr. 12)

7.1.2.1. Diafragma rígido

Es clasificado como rígido cuando distribuye las fuerzas horizontales a los elementos verticales en proporción a su rigidez relativa en estructuras simétricas. En este caso, la deflexión es insignificante.

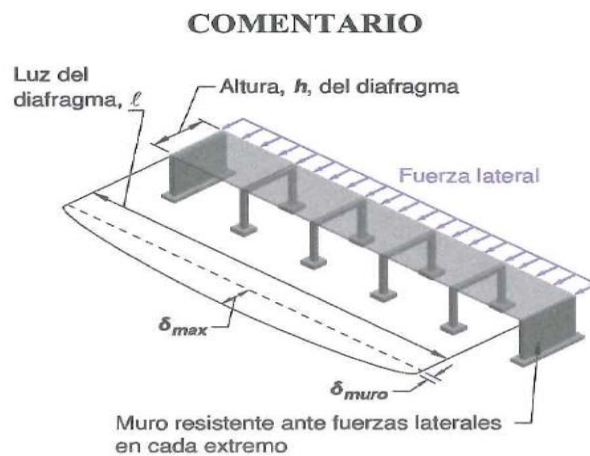
En el caso del diafragma rígido se asume como hipótesis que el entrepiso tiene solamente 3 grados de libertad, 2 posibles traslaciones en planta y un giro alrededor del eje Z. Para este caso, se toma como referencia un nodo principal o nodo maestro en el plano del diafragma. Todos los demás nodos secundarios se conectarán a este nodo simulando un elemento

infinitamente rígido que no permite deformaciones axiales. Todos los nodos estarán conectados a este único nodo principal, el cual será el que condense todos los posibles desplazamientos que tenga el diafragma. (Jiménez, 2024, párr. 13)

El Eurocódigo 8 define un diafragma como rígido cuando, al comparar los resultados de un modelo que considera la flexibilidad del diafragma en su plano con un modelo que asume rigidez total, los desplazamientos horizontales en cualquier punto del diafragma flexible no superan el 10 % de los desplazamientos correspondientes en el modelo rígido.

Figura 3.

Diafragma rígido en su plano



Nota. Ejemplo de diafragma que podría ser considerado rígido en su plano, por su configuración geométrica. Adaptado de ACI (2022). *Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural*. (<https://es.scribd.com/document/528813223/ACI-318-19-Espanol>), consultado el 15 de marzo de 2025. De dominio público.

7.1.2.2. Diafragma flexible

Un diafragma flexible cambia de forma cuando es sometido a cargas laterales. Su cuerda a tensión se dobla hacia afuera y la cuerda a compresión se dobla hacia adentro. Se supone que los diafragmas flexibles son incapaces de transmitir torsión a elementos resistentes. Un diafragma flexible distribuye la fuerza de este en proporción a sus áreas tributarias. Además, tiene una máxima deflexión lateral mayor a dos veces el promedio de su deflexión habitual. (Donnadieu y Castillo, s.f., párr. 2)

Asimismo, Jiménez (2024) dice:

Los diafragmas flexibles poseen 6 de libertad por cada nodo. En este caso, no existe un nodo maestro o nodo vinculante que condense todos los desplazamientos; por el contrario, cada nodo puede desplazarse en cada uno de sus grados de libertad y pueden existir fuerzas axiales en cada uno de ellos. La distribución de las fuerzas hacia los elementos verticales se hace con base en las áreas tributarias. De forma similar, existen algunas estructuras (techos, cubiertas) para las cuales la distribución de las fuerzas laterales se hace en proporción al número de nodos colocando la misma cantidad de fuerza a cada uno de ellos. (párr.16)

7.1.2.3. Diafragma semi rígido

Este diafragma es una combinación del comportamiento de los diafragmas rígido y flexible, por tanto, es fundamental reconocer que ningún diafragma estructural exhibe una rigidez o flexibilidad absoluta. La mecánica de materiales nos enseña que todos los materiales son susceptibles a deformación, aunque sea en grado mínimo. Sin embargo, para simplificar el análisis estructural, es común idealizar los diafragmas como perfectamente rígidos o flexibles. El análisis de diafragmas semi rígidos presenta una complejidad significativa, ya que requiere la consideración de la rigidez relativa de todos los elementos estructurales involucrados, incluyendo el propio diafragma. Una aproximación útil para modelar este comportamiento es tratar el diafragma como una viga continua apoyada sobre soportes elásticos (Naeim, 2001).

7.2. Aspectos sísmicos según norma AGIES NSE 2

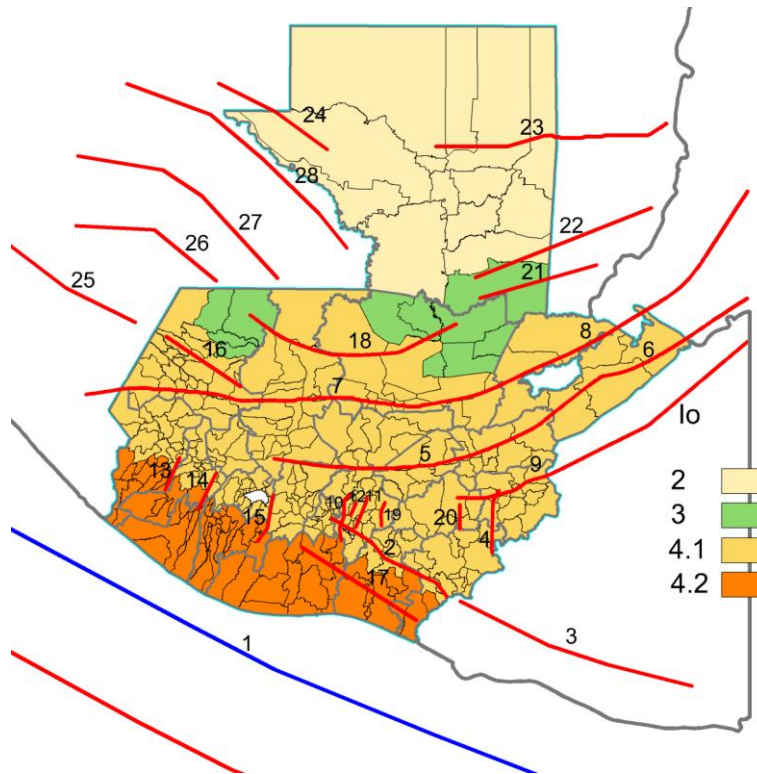
Guatemala es un país de alta sismicidad, la ubicación geográfica de Guatemala, en la convergencia de las placas tectónicas de Norteamérica, Caribe y Coco, la convierte en una zona de alta actividad sísmica y volcánica. La interacción constante entre estas placas genera una compleja red de fallas geológicas, cuya caracterización precisa es fundamental para comprender y mitigar el riesgo sísmico. Un parámetro en el análisis de riesgo sísmico es el Sismo Máximo Considerado (MCE), definido como el sismo de mayor magnitud razonablemente probable en un área determinada. Desde un punto de vista probabilístico, el MCE se establece como aquel sismo con una probabilidad de excedencia del 2 % en un período de 50 años, lo que equivale a un período de retorno de 2475 años.

Fallas geológicas en Guatemala:

- La falla de subducción marcada en la fosa mesoamericana
- La falla de Jalpatagua y su continuación en El salvador
- El graben de Ipala
- La falla del Motagua
- La falla del Polochic
- La falla de Jocotán
- La falla de Mixco
- La falla de Santa Catarina Pínula
- La falla del Trébol (Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica, 2019).

Figura 4.

Mapa con fallas geológicas en Guatemala



Nota. Describe la ubicación de las principales fallas geológicas dentro del territorio de Guatemala. Adaptado de Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica (2024a). *Versión beta.* NSE 2 Demandas estructurales y condiciones de sitio. (<https://www.agies.org/bibliotecas/>), consultado el 15 de marzo de 2025. De dominio público.

7.2.1. Definiciones

AGIES (2019a) dice:

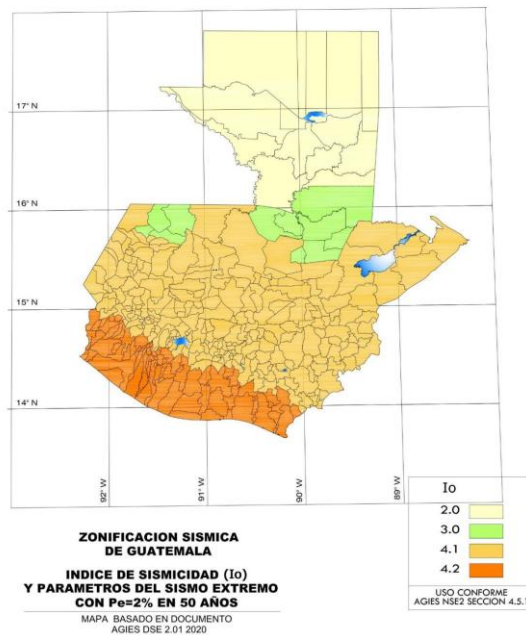
- El sismo básico se define como aquel que tiene un 10 % de probabilidad de ser superado en un período de 50 años. Este sismo

se utilizará como referencia para el diseño estructural de obras ordinarias, o en aquellos casos permitidos por las normas NSE 3, NSE 5 y NSE 7.

- El sismo severo se define como aquel que tiene una probabilidad del 5 % de ser excedido en un período de 50 años. Este parámetro se utiliza para el diseño estructural de Obras Importantes y Obras Esenciales, o cuando así lo especifiquen las disposiciones de las normas NSE 3, NSE 5 y NSE 7, así como otras normas NSE relevantes. Alternativamente, el desarrollador del proyecto puede optar por utilizar el sismo severo en lugar del Sismo Básico, si así lo prefiere.
- El sismo extremo se define como aquel con un 2 % de probabilidad de excedencia en un período de 50 años. Este parámetro sísmico fundamental se utiliza para elaborar el mapa de zonificación sísmica.
- Se define como sismo mínimo a la reducción del sismo básico, aplicable solo en excepciones normativas como obras utilitarias y readaptaciones sísmicas. (p. 12)

Figura 5.

Mapa de zonificación sísmica de Guatemala



Nota. Describe la ubicación de las zonas según su índice de sismicidad dentro del territorio de Guatemala. Adaptado de Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica (2024a). *Versión beta. NSE 2 Demandas estructurales y condiciones de sitio.* (<https://www.agies.org/bibliotecas/>), consultado el 15 de marzo de 2025. De dominio público.

7.2.2. Aceleración máxima del suelo (AMS)

Para los casos en que sea necesario estimar la Aceleración Máxima del Suelo del sismo de diseño se utiliza $AMS_d = 0.40 \cdot Sc_d$ (4-7). Este parámetro es equivalente a la aceleración pico del suelo (PGA) ampliamente utilizada como base del espectro de diseño antes de que se empezara a utilizar atenuación de coordenadas espectrales. Este parámetro fija el inicio del espectro de diseño en $T = 0$.

7.2.3. Espectros permitidos en normas AGIES NSE 2

La sección 21.2.3 de ASCE 7-05 requiere que el espectro probabilístico y el espectro determinístico se comparen para generar un espectro de sitio. A diferencia del documento guía citado, estas normas permiten dos opciones:

- Establecer solamente un espectro determinístico basado en la envolvente espectral generada para modelar la magnitud sísmica máxima creíble a la distancia más desfavorable en modelos tectónicos de las fallas regionales relevantes para el sitio. Las magnitudes máximas creíbles podrán basarse en criterios de sismos característicos para las fallas de interés. Se utilizarán las atenuaciones medias o medianas por 1.5. El espectro así calculado se considerará un sismo extremo como el descrito en la sección 4.3.2.
- Establecer un espectro probabilístico extremo (probabilidad de excedencia de 2 % en 50 años) y además establecer el espectro determinístico descrito en el párrafo anterior. Ambos espectros se pueden combinar, ya sea por criterio envolvente (como ASCE 7-05) o por un criterio de combinación ponderada. El espectro así calculado se considerará un sismo extremo como el descrito en la sección 4.3.2. (AGIES, 2024a, p. 18)

7.2.3.1. Establecer solamente un espectro determinístico

Se obtiene con base en la envolvente de las aceleraciones espectrales producidas por un sismo con magnitud máxima considerada. Los valores de aceleración espectral son atenuados desde la distancia más desfavorable a modelos de las fallas regionales relevantes para el sitio. Las magnitudes máximas consideradas podrán basarse en criterios que utilicen magnitudes características para las fallas de interés. Se utilizarán las atenuaciones medias o medianas multiplicadas por 1.5 o bien las medias más una desviación estándar. El espectro así calculado se considerará un sismo extremo determinístico. (Sosa, 2020, p. 19)

7.2.3.2. Establecer un espectro probabilístico extremo

Para obtener un espectro de sismo extremo se utilizarán relaciones de atenuación para aceleraciones espectrales con 5 % de amortiguamiento; los valores serán atenuados desde los modelos de fuentes sísmicas hasta el sitio de interés y se utilizarán los resultados que correspondan a una probabilidad de excedencia de 2 % en un período de 50 años. (Sosa, 2020, p. 19)

7.3. Irregularidades en edificaciones

Las irregularidades estructurales se refieren a las discontinuidades o variaciones significativas en la geometría o distribución de masas y rigideces de una estructura, lo que puede afectar negativamente su comportamiento, especialmente ante cargas sísmicas. Estas irregularidades pueden presentarse tanto en planta como en elevación, y su presencia puede aumentar la vulnerabilidad de la estructura.

7.3.1.1. Irregularidades en planta

Las irregularidades estructurales en planta se refieren a configuraciones geométricas o distribuciones de rigidez y masa que pueden generar comportamientos sísmicos desfavorables en una edificación. Estas irregularidades pueden provocar torsión, concentración de esfuerzos y otros efectos que aumentan el riesgo de daño estructural durante un sismo de gran magnitud.

7.3.1.2. Irregularidad torsional

“Existe irregularidad torsional cuando la deriva máxima del nivel en un extremo de la estructura, incluyendo la torsión accidental, es mayor a 1.20 veces el promedio de las derivas en ambos extremos de la estructura, en la dirección de análisis” (AGIES, 2024b, p. 1-21).

7.3.1.3. Irregularidad torsional extrema

Existe irregularidad torsional extrema cuando la deriva máxima del nivel en un extremo de la estructura, incluyendo la torsión accidental, es mayor

a 1.40 veces el promedio de las derivadas en ambos extremos de la estructura, en la dirección de análisis. (AGIES, 2024b, p. 1-21)

7.3.1.4. Esquina entrante

“Esta irregularidad existe cuando ambas proyecciones de la estructura en planta poseen un reentrante mayor al 15 % de la dimensión” (AGIES, 2024b, pp 1-21).

7.3.1.5. Diafragma discontinuo

“El diafragma tiene menos del 25 % del área del rectángulo que circunscribe al piso o si cambia rigidez en más de 50 % de un piso al siguiente” (AGIES, 2024b, p. 1-21).

7.3.1.6. Desfase lateral

“Existe cuando se produce una discontinuidad en la ruta de la carga del sistema de resistencia lateral, tal que al menos uno de sus elementos verticales se encuentra desfasados del plano de los elementos de los niveles superiores o inferiores” (AGIES, 2024b, p. 1-21).

7.3.1.7. Sistema no paralelo

“Esta irregularidad se presenta cuando los elementos verticales del sistema de resistencia lateral no son paralelos a los ejes principales de la estructura” (AGIES, 2024b, p. 1-21).

7.3.2. Irregularidades en elevación

Las irregularidades estructurales en elevación se refieren a discontinuidades o cambios abruptos en la geometría o rigidez de una edificación a lo largo de su altura. Estas irregularidades pueden tener un impacto significativo en el comportamiento sísmico de la estructura.

7.3.2.1. Piso flexible

“La rigidez lateral de un piso es menos que 70 % de la rigidez del piso de encima; o menos que 80 % de la rigidez promedio de los 3 pisos encima -- ver Inciso C de la Sección 1.9.2 (2).” (AGIES, 2024b, p. 1-23).

7.3.2.2. Piso flexible caso extremo

“La rigidez lateral de un piso es menos que 60 % de la rigidez del piso de encima; o menos que 70 % de la rigidez promedio de los 3 pisos encima – ver Inciso C de la Sección 1.9.3.” (AGIES, 2024b, p. 1-23).

7.3.2.3. Masa irregular verticalmente

“El peso sísmico de un piso es más del 150 % del peso sísmico de cualquier piso adyacente. No necesita considerarse un techo que es más liviano que su piso inferior” (AGIES, 2024b, p. 1-23).

7.3.2.4. Geometría vertical escalonada

“Esta condición existe cuando la dimensión horizontal del sistema de resistencia lateral en cualquier nivel es un 130 % de la dimensión horizontal de un nivel adyacente” (AGIES, 2024b, p. 1-23).

7.3.2.5. Discontinuidad en el plano vertical

“Existe cuando uno de los sistemas sismo-resistentes verticales sufre un desfase o reducción en su propio plano que resulta en demandas de volteo en los elementos estructurales que lo soportan” (AGIES, 2024b, p. 1-23).

7.3.2.6. Condiciones de potencial debilidad

“Existe cuando un muro o tramo arriostrado superior se interrumpe y queda soportado en columnas” (AGIES, 2024b, p. 1-23).

7.3.2.7. Discontinuidad en la resistencia lateral – piso débil

Existe cuando la resistencia lateral de un nivel es menor al 80 % de la del nivel superior. La resistencia lateral del nivel es la resistencia lateral total de todos los elementos del sistema de resistencia lateral que resisten el cortante del nivel en la dirección en consideración. (AGIES, 2024b, p. 1-24)

7.3.2.8. Discontinuidad en la resistencia lateral – piso extremadamente débil

Existe cuando la resistencia lateral de un nivel es menor al 65 % de la del nivel superior. La resistencia lateral del nivel, es la resistencia lateral total de todos los elementos del sistema de resistencia lateral que resisten el cortante del nivel en la dirección en consideración. (AGIES, 2024b, p. 1-24)

7.4. Análisis y diseño de diafragmas estructurales

Una vez que el edificio se modela adecuadamente y se determinan las fuerzas de inercia y transferencia del diafragma, se debe realizar un análisis de las fuerzas internas dentro del diafragma para determinar las fuerzas de diseño para los componentes del diafragma. Se han desarrollado varios métodos analíticos, y hay poca orientación sobre la selección de uno adecuado. Como mínimo, el método de análisis de diafragma debe usar fuerzas de inercia y transferencia de diafragma que sean consistentes con las del análisis del edificio.

7.4.1. Análisis de diafragmas estructurales

El análisis estructural de diafragmas es el proceso de evaluar cómo un elemento estructural horizontal (como un piso o techo) distribuye y transfiere las fuerzas laterales, como las de un sismo o viento, a los elementos verticales de una edificación, asegurando su estabilidad y resistencia.

7.4.1.1. Cargas

Las cargas estructurales son fuerzas, deformaciones o aceleraciones que actúan sobre una estructura. Estas fuerzas pueden ser externas o internas (Federal Emergency Management Agency, 2016).

7.4.1.1.1. Cargas vivas

Las cargas vivas son generalmente empíricas, basadas en criterios de ingeniería de larga trayectoria; algunas veces pueden tener una base estadística, pero con dispersiones muy amplias. Son transitorias con distribución cambiante.

- Cargas vivas especificadas
- Empuje en pasamanos y barandas
- Impacto

7.4.1.1.2. Cargas muertas

“Las cargas muertas comprenden todas las cargas de elementos permanentes de la construcción. Incluyen, pero no necesariamente están limitadas al peso propio de la estructura, pisos, rellenos, cielos, vidrieras, tabiques fijos y equipo permanente rígidamente anclado a la estructura” (AGIES, 2024a, p. 2-1)

- Peso de materiales y contenidos
- Peso propio de la estructura

- Cargas muertas superpuestas
- Cargas especiales.

7.4.1.1.3. Cargas sísmicas

La carga sísmica es la fuerza y deformación que se produce en una estructura debido a un movimiento sísmico del suelo.

Factores que afectan la carga sísmica son: la magnitud, frecuencia del sismo, distancia y dirección de la fuente, tipo de suelo, la geometría y rigidez de la estructura, la distribución de masas del edificio.

Tipos de carga sísmica:

- Las cargas inerciales, que son las fuerzas que resultan de la aceleración de la masa de la estructura.
- Las cargas cinemáticas, que son las fuerzas y deformaciones que resultan del desplazamiento relativo entre la estructura y el suelo.

7.4.1.1.4. Otras cargas

Los empujes de suelo deberán establecerse conforme se indique en la Norma NSE 2.1, en función de las propiedades de los estratos de suelo a ser retenidos y en función de la manera de deformarse de la estructura o dispositivo de contención. Estas presiones, se denominan G en las

combinaciones de carga del Capítulo 8, Tabla 8.2.4-1 de esta norma con las que se diseña la contención.

Se tendrán en cuenta las posibles sobrecargas, tanto vivas como muertas, que pueda haber en la parte superior del suelo retenido; las presiones derivadas de estas sobrecargas también se clasificarán como G en las combinaciones de carga con las que se diseña la contención. (AGIES, 2024a, p. 6-3)

7.4.1.2. Combinación de cargas

Las combinaciones de carga que deben utilizarse para determinar la capacidad resistente mínima que deben tener los componentes de una estructura (AGIES, 2024a).

7.4.1.2.1. Método de diseño por resistencia

“Estas normas utilizan en general este método de diseño estructural, conocido también como “método de diseño por factores de carga y resistencia (Load and Resistance Factor Design, LRFD por sus siglas en inglés). Las excepciones se indican explícitamente” (AGIES, 2024a, p. 6-3).

7.4.1.2.2. Métodos de esfuerzos de servicio

Conocido también como método de esfuerzos permisibles (*Allowable Stress Design*, ASD por sus siglas en inglés). En los casos en que las normas de la serie NSE 7, u otras normas NSE, aún especifiquen el método de esfuerzos de servicio o esfuerzos permisibles, para diseñar el sistema constructivo respectivo, se utilizarán las combinaciones de la Sección 8.4. (AGIES, 2024a, pp 6-3)

7.4.1.3. Modelos de análisis

El cálculo de las fuerzas internas en un diafragma puede abordarse mediante una variedad de métodos, que van desde idealizaciones simples hasta análisis complejos. La complejidad del análisis debe ser proporcional a la necesidad de representar con precisión el flujo de fuerzas laterales a través del edificio, incluyendo los diafragmas. (Moehle et al., 2016, p. 14)

7.4.1.3.1. Modelo de viga

“Los modelos de haz representan un diafragma como una viga en rígido o soportes flexibles. El análisis implica la determinación de (1) momentos internos, cizallas y reacciones y (2) el determinación de las fuerzas internas resultantes” (Moehle et al., 2016, p. 14).

7.4.1.3.2. Modelo puntal

Los modelos de puntal se pueden usar para idealizar el flujo de forzar un diafragma de una manera que satisfaga el equilibrio. Tales modelos no se han utilizado ampliamente para el diseño general de diafragmas, aunque a veces pueden ser útiles para este propósito. Modelos de puntal se usan con mayor frecuencia para identificar caminos de fuerza y Diseños de refuerzo alrededor de las discontinuidades. Donde se usa, esta guía recomienda que el refuerzo distribuido de al menos 0.0025 veces se proporciona el área de losa bruta en cada dirección para controlar el agrietamiento. (Moehle et al., 2016, p. 17)

7.4.1.3.3. Modelo de elementos finitos

El modelado de elementos finitos de un diafragma puede ser útil para identificar las rutas de carga en diafragmas con grandes aberturas u otras irregularidades, modelando la rigidez de rampas en estacionamientos y evaluar la fuerza que transfiere entre elementos verticales de la configuración del sistema resistente sísmico.

Para modelar adecuadamente la flexibilidad del diafragma, la malla de elementos finitos generalmente debe ser de 1/5 a 1/3 de la bahía longitud o longitud de la pared, aunque a veces una malla más fina es

beneficioso. Si los cortes de sección se realizan a través del modelo de diafragma para determinar la distribución de corte dentro del diafragma, el elemento finito de malla en cerca del corte de sección debe estar moderadamente bien. (Moehle et al., 2016, pp. 17-18).

7.4.2. Diseño de diafragmas estructurales

Un análisis exacto de fuerzas y desplazamientos en una losa de dos vías es complejo, debido a su naturaleza altamente indeterminada; Esto es cierto incluso cuando los efectos de la fluencia y el comportamiento no lineal del concreto se descuidan. Se pueden usar métodos numéricos como elementos finitos, pero simplificados los métodos como los presentados por el código ACI son más adecuados para el diseño práctico. (Hassoun & Al-Manaseer, 2008, p. 615)

Los resultados obtenidos del diafragma semirrígido son muy sensibles al tamaño de la malla de elementos finitos que se usa para modelar el diafragma. Se advierte al usuario que evite el uso de Oddpaped elementos al modelar el diafragma y se recomienda el uso de una malla más importante alrededor de las aberturas de diafragma. (Structural Engineers Association of California, 2013, p. 218)

7.4.2.1. Factores de reducción de carga y resistencia

La norma ACI 318 utiliza el método de diseño por resistencia para proporcionar el nivel de seguridad deseado. El requisito básico para el diseño por resistencia se puede expresar como resistencia de diseño $\geq$ resistencia requerida. La resistencia de diseño se expresa en la forma general ϕS_n , donde ϕ es un factor de reducción de resistencia y S_n es la resistencia nominal. La resistencia requerida se expresa en términos de cargas mayoradas o momentos y fuerzas internas relacionadas. El método de diseño por resistencia es esencialmente el mismo que el Método de Factores de Carga y Resistencia (LRFD) utilizado para el diseño de otros materiales. (Moehle et al., 2016, p. 21)

7.4.2.2. Acordes de tensión y compresión

Cuando se utilizan modelos de vigas simples, ACI 318 12.5.2.3 exige que el refuerzo no preesforzado resistente a la tensión debida al momento se ubique dentro de $h/4$ del borde de tensión del diafragma, donde h = canto del diafragma medido en el plano del diafragma en esa ubicación. Cuando el canto del diafragma varía a lo largo de la longitud del tramo del diafragma, se permite desarrollar refuerzo en segmentos adyacentes del diafragma que no estén dentro del límite de $h/4$. (Moehle et al., 2016, p. 22)

7.4.2.3. Corte de diafragma

Cada sección de un diafragma debe diseñarse para tener una resistencia al corte de diseño unitario no inferior a la resistencia al corte unitario-mayorada. Para diafragmas con refuerzo de cordón ubicado cerca del borde de tensión de flexión extremo, la resistencia al corte mayorada (V_u) se distribuye uniformemente. En este caso, la resistencia al corte de diseño viene dada por ϕV_n , donde $\phi = 0,6$ o $0,75$, como se explica en la Sección 7.1. (Moehle et al., 2016, p. 22)

8. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN

8.1. Hipótesis general

El empleo de una metodología de análisis y diseño adecuada para los diafragmas estructurales permite evaluar con precisión los efectos críticos que, de no ser considerados, pueden comprometer significativamente la seguridad de la estructura.

8.2. Hipótesis específicas

- Las irregularidades verticales y horizontales en las edificaciones pueden amplificar de manera crítica los esfuerzos y deformaciones en los diafragmas estructurales, comprometiendo la seguridad de la estructura.
- Una elección adecuada de la idealización del diafragma estructural (rígido, flexible o semirrígido) permite un análisis más preciso y realista ante el comportamiento de fuerzas sísmicas.
- La selección y aplicación de un método de diseño adecuado para diafragmas estructurales puede resultar en una reducción significativa de las dimensiones de las secciones y de la cantidad de acero requerida, lo que se traduce directamente en un ahorro económico considerable.

9. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

OBJETIVOS

HIPÓTESIS

RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

1. MARCO REFERENCIAL

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Generalidades de diafragmas

2.1.1. Generalidades

2.1.1.1. Fuerzas en el plano de diafragma

2.1.1.2. Fuerza de transferencia del diafragma

2.1.1.3. Fuerza de conexión

2.1.1.4. Fuerza de arriostamiento de las
columnas

2.1.1.5. Fuerza fuera del plano de diafragma

2.1.2. Clasificación de diafragmas estructurales

2.1.2.1. Diafragma rígido

2.1.2.2. Diafragma flexible

2.1.2.3. Diafragma semi rígido

- 2.2. Aspectos sísmicos según norma AGIES NSE 2
 - 2.2.1. Definiciones
 - 2.2.2. Aceleración máxima del suelo (AMS)
 - 2.2.3. Espectros permitidos en normas AGIES NSE 2
 - 2.2.3.1. Establecer solamente un espectro determinístico
 - 2.2.3.2. Establecer un espectro probabilístico extremo
- 2.3. Irregularidades en edificaciones
 - 2.3.1. Irregularidades en planta
 - 2.3.1.1. Irregularidad torsional
 - 2.3.1.2. Irregularidad torsional extrema
 - 2.3.1.3. Esquina entrante
 - 2.3.1.4. Diafragma discontinuo
 - 2.3.1.5. Desfase lateral
 - 2.3.1.6. Sistema no paralelo
 - 2.3.2. Irregularidades en elevación
 - 2.3.2.1. Piso flexible
 - 2.3.2.2. Piso flexible caso extremo
 - 2.3.2.3. Masa irregular verticalmente
 - 2.3.2.4. Geometría vertical escalonada
 - 2.3.2.5. Discontinuidad en el plano vertical
 - 2.3.2.6. Condiciones de potencial debilidad
 - 2.3.2.7. Discontinuidad en la resistencia lateral - piso débil
 - 2.3.2.8. Discontinuidad en la resistencia lateral – piso extremadamente débil
- 2.4. Análisis y diseño de diafragmas estructurales
 - 2.4.1. Análisis de diafragmas estructurales

- 2.4.1.1. Cargas
 - 2.4.1.1.1. Cargas vivas
 - 2.4.1.1.2. Cargas muertas
 - 2.4.1.1.3. Cargas sísmicas
 - 2.4.1.1.4. Otras cargas
- 2.4.1.2. Combinación de cargas
 - 2.4.1.2.1. Método de diseño por resistencia
 - 2.4.1.2.2. Método de esfuerzos de servicio
- 2.4.1.3. Modelos de análisis
 - 2.4.1.3.1. Modelo de viga
 - 2.4.1.3.2. Modelo puntal
 - 2.4.1.3.3. Modelo de elementos finitos
- 2.4.2. Diseño de diafragmas estructurales
 - 2.4.2.1. Factores de reducción de carga y resistencia
 - 2.4.2.2. Acordes de tensión y compresión
 - 2.4.2.3. Corte de diafragma

3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

ANEXOS

10. METODOLOGÍA

10.1. Características del estudio

El enfoque de esta investigación es mixto, por ser un proceso que analiza información cuantitativa y cualitativa para estudiar, analizar y diseñar los diafragmas estructurales en función de su comportamiento sísmico, según la configuración irregular de la edificación.

- Cuantitativo: principal enfoque debido a que se medirán las deformaciones y esfuerzos que experimentan los diafragmas estructurales bajo demanda sísmica en edificaciones irregulares.
- Cualitativo: por la recolección de información de eventos sísmicos de gran magnitud que han afectado negativamente a las edificaciones irregulares y el estudio de las observaciones y opiniones de expertos sobre estas investigaciones.

El alcance de esta investigación es estudiar el comportamiento de los diafragmas estructurales bajo la demanda sísmica en edificaciones irregulares y poder proponer una metodología adecuada para analizar y diseñar.

Exploratorio, este estudio aborda la investigación del comportamiento de diafragmas estructurales en edificios irregulares bajo cargas sísmicas por la falta de información existente sobre este tema, que genera dudas significativas en su análisis y diseño.

Descriptivo, busca dar a conocer las características de las irregularidades en edificaciones que afectan de forma negativa a los diafragmas estructurales ante un evento sísmico de gran magnitud.

Correlacional, buscar da a conocer cómo se relacionan las irregularidades de las edificaciones, los sismos de gran magnitud y la respuesta de los diafragmas estructurales.

Explicativo, poder explicar en qué casos específicos los diafragmas estructurales están sometidos a deformaciones y esfuerzos considerables.

El diseño de la investigación no es experimental, porque no utiliza ensayos de laboratorio, dado que la información requerida de los diafragmas estructurales se realizará por medio de casos reales de diseño estructural en edificaciones irregulares ubicados en Guatemala.

10.2. Unidades de análisis

La población en estudio será de tres casos reales de diseño estructural en edificaciones irregulares ubicadas en Guatemala, se estudiará un diafragma estructural específico de cada caso, y será el que presente el mayor grado de dificultad dependiendo de la configuración estructural del edificio.

10.3. Variables

Las variables en estudio se describen a continuación.

Tabla 1.

Variables en estudio

Objetivos	Variable	Definicion teorica	Definicion operativa	Indicadores
Estudiar el sísmico de los diafragmas estructurales en edificaciones irregulares, para analizarlos y diseñarlos.	Diafragma	Según (RAE, 2025) Unidad estructural plana que se usa para transferir fuerzas.	Transfiere fuerzas	Deformaciones y esfuerzos
Analizar las irregularidades en las edificaciones que afectan considerablemente a los diafragmas estructurales.	Irregularidad	Según (RAE, 2025) Cualidad de irregular.	Comportamiento complejo	Comportamiento
Plantear metodología para analizar diafragmas estructurales.	Metodología	Según (RAE, 2025) Conjunto de métodos que se siguen en una investigación científica o en una exposición doctrinal.	Proceso de transformar ideas abstractas en términos concretos, medibles y observables	Validad, confiable, precisos, claros y verificables
Recomendar como diseñar diafragmas estructurales.	Diseño	Según (RAE, 2025) Proceso que implica crear, desarrollar y optimizar	Proceso para definir geometria y resistencia de elementos estructurales.	Validos, confiable, precisos, claros y verificables

Nota. La tabla muestra las variables de estudio, para organizar los objetivos y alinearlos con los indicadores. Elaboración propia, realizado con Excel.

10.4. Fases de estudio

- Primera fase, investigación bibliográfica: en esta fase se estudiarán libros, revistas científicas, guías de diseño y análisis, normas y códigos nacionales e internacionales. Duración de 30 días.
- Segunda fase, selección de casos típicos a estudiar: en esta fase se seleccionarán los casos típicos de edificaciones a las que se les realizó un análisis y diseños estructural real en la República de Guatemala. Duración de 5 días.
- Tercera fase, seleccionar el diafragma estructural de cada caso típico a estudiar: en esta fase se seleccionarán los diafragmas estructurales de los casos típicos de las edificaciones seleccionadas. Duración 5 días.
- Cuarta fase, realizar análisis estructural de diafragmas estructurales: en esta etapa se seleccionará la metodología y se aplicará, para analizar los diafragmas estructurales. Duración 50 días.
- Quinta fase, realizar el diseño estructural de diafragmas estructurales: en esta etapa se seleccionará la metodología y se aplicará, para diseñar los diafragmas estructurales. Duración 50 días.
- Sexta fase, recomendar metodología de diseño y análisis de diafragmas estructurales: en esta etapa se realizará la recomendación de una metodología adecuada para analizar y diseñar diafragmas estructurales en edificaciones irregulares. Duración 40 días.

11. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

En la investigación se hará uso de diferentes técnicas de análisis de información y se llevarán a cabo visitas a distintos despachos de diseño estructural para poder revisar y seleccionar los casos que se van a estudiar.

Análisis descriptivo, se estudiará de forma general cada caso de edificación irregular, para conocer su comportamiento general y tener una visión amplia del comportamiento que presenta.

Análisis de diagnóstico, se realizará la reducción de los datos de cada caso, seleccionando la información necesaria para el estudio del diafragma estructural seleccionado, y con estos datos comprender las dificultades que se presentan al estudio de diafragmas estructurales.

Análisis predictivo, se modelarán los datos de los diafragmas estructurales mediante el *software* ETABS para conocer el comportamiento de estos, ante circunstancias preestablecidas.

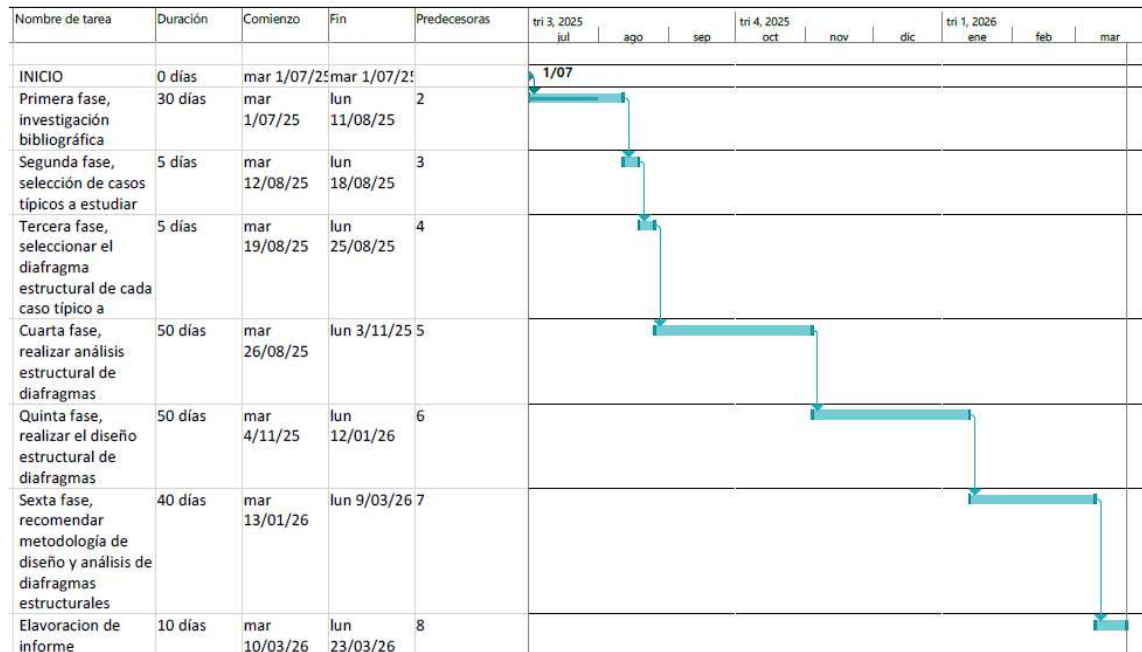
Análisis prescriptivo, se proporcionará la recomendación de una metodología basada en los datos, analizados y procesados para proponer una solución de análisis y diseño de diafragmas estructurales de estructuras irregulares bajo los efectos de cargas sísmicas.

12. CRONOGRAMA

Se presenta cronograma para trabajar la investigación del estudio del comportamiento sísmico de diafragmas estructurales en edificaciones irregulares para analizar y diseñar. Con un aproximado de 190 días.

Figura 6.

Cronograma de trabajo para investigación



Nota. Cronograma que indica el tiempo y orden de las fases para realizar el trabajo de investigación. Elaboración propia, realizado con Project.

13. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

Se presenta una tabla de presupuestos para poder realizar la investigación del estudio del comportamiento sísmico de diafragmas estructurales en edificaciones irregulares para analizar y diseñar. La investigación será cubierta por el investigador en un cien por ciento de su presupuesto.

Tabla 2.

Tabla de presupuesto

Recurso	Descripción	Cantidad	Unidad	Costo	Sub total	Fuente de financiamiento
Humano	Asesor principal	1.00	Global	Q2,500.00	Q2,500.00	Propia
	Asesor secundario	6.00	Cita	Q500.00	Q3,000.00	Propia
	Investigador	1.00	Global	Q4,800.00	Q4,800.00	Propia
Material	Útiles de oficina	1.00	Global	Q250.00	Q250.00	Propia
	Gasolina	1.00	Global	Q500.00	Q500.00	Propia
	Internet	6.00	meses	Q50.00	Q300.00	Propia
	Energía eléctrica	6.00	meses	Q25.00	Q150.00	Propia
Tecnológico	Equipo de computo	1.00	Global	Q1,000.00	Q1,000.00	Propia
	Licencia Software	1.00	Global	Q1,500.00	Q1,500.00	Propia
Otros	Varios	1.00	Global	Q500.00	Q500.00	Propia
Total					Q14,500.00	

Nota. Presupuesto que desglosa los recursos y su valor monetario proyectados para elaborar el trabajo de investigación. Elaboración propia, realizado con Excel.

REFERENCIAS

- American Concrete Institute (2022). *ACI 318S-19. Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural*. <https://ingenieriaymas.com/2022/02/aci-318-19-codigo-para-concreto-estructural-en-espanol.html>
- Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica (2019). *NSE 2-10 Normas de seguridad estructural de edificaciones y obras de infraestructura para la república de Guatemala*. <https://www.agies.org/wp-content/uploads/2019/02/agies-nse-2-10.pdf>
- Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica (2024a). *NSE 2 Demandas estructurales y condiciones de sitio*. <https://www.agies.org/wp-content/uploads/2024/08/NSE-2-2024-Demandas-estructurales-y-condiciones-de-carga-.pdf>
- Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica (2024b). *NSE 3 Diseño estructural de edificaciones*. <https://www.agies.org/wp-content/uploads/2024/08/NSE-3-2024-Diseno-estructural-de-edificaciones.pdf>
- Donnadieu, A. y Castillo, A. (s.f.). *Diferencia entre diafragmas rígidos y flexibles*. Imca. <https://www.imca.org.mx/newsletters/news19.php#:~:text=Un%20diafragma%20flexible%20distribuye%20la,promedio%20de%20su%20deflexi%C3%B3n%20habitual>

Federal Emergency Management Agency (1997). *NEHRP Guideline for the seismic rehabilitation of buildings* [Directriz del NEHRP para la rehabilitación sísmica de edificios].
<https://www.scinc.co.jp/nanken/pdf/fema273.pdf>

Federal Emergency Management Agency. (2016). *NEHRP Recommended Seismic Provisions: Design Examples* [Disposiciones sísmicas recomendadas por NEHRP: ejemplos de diseño].
https://www.fema.gov/sites/default/files/2020-07/fema_nehrp-seismic-provisions-examples_p-1051_7-2016.pdf

González, F. (2022). *Diseño sísmico de sistemas de piso rígido en edificios de concreto armado*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería de Perú]. Archivo digital.
https://www.researchgate.net/publication/359518912_Diseño_sismico_de_sistemas_de_piso_rigido_en_edificios_de_concreto_armado

Hassoun, M., & Al-Manaseer, A. (2008). *Structural concrete, theory and design* [Hormigón estructural, teoría y diseño]. Wiley.

Jiménez, A. (2024). Diafragmas y Colectores. INESA Tech. <https://www.inesa-tech.com/blog/diafragmas-y-colectores/>

LibreTexts, (s.f.). *Diseño sísmico de grandes estructuras*.
[https://espanol.libretexts.org/Geociencias/Sismolog%C3%ADa/Libro%3A_Vivir_con_sismos_en_el_noroeste_del_Pac%C3%ADfico_\(Yeats\)/04%3A_Parte_IV-_Preveni%C3%B3n_y_contramedidas/4.03%3A_Dise%C3%B1o_s%C3%ADsmico_de_grandes_estructuras#:~:text=Las%20fuerzas%20latera](https://espanol.libretexts.org/Geociencias/Sismolog%C3%ADa/Libro%3A_Vivir_con_sismos_en_el_noroeste_del_Pac%C3%ADfico_(Yeats)/04%3A_Parte_IV-_Preveni%C3%B3n_y_contramedidas/4.03%3A_Dise%C3%B1o_s%C3%ADsmico_de_grandes_estructuras#:~:text=Las%20fuerzas%20latera)

[les%20de%20los%20diafragmas%20se,estructuras%20esbeltas%20co
mo%20un%20rascacielos%20\(Figura%2012%2D5\)](#)

McCormac, J. (2011). *Análisis de estructuras*. Alfaomega Grupo Editor.

Moehle J., Hooper J. & Meyer T. (2016). *Seismic Design of Cast-in-Place Concrete Diaphragms, Chords, and Collectors* [Diseño sísmico de diafragmas, cordones y colectores de hormigón colado in situ]. National Institute of Standards and Technology.
<https://doi.org/10.6028/NIST.GCR.16-917-42>

Mohele, J. (2019). *Presentación de ACI 318-19: Requisitos del código de construcción para concreto estructural*. Building Safety Journal.
<https://www-iccsafe-org.translate.goog/building-safety-journal/bsj-technical/introducing-aci-318-19-building-code-requirements-for-structural-concrete/? x tr sl=en& x tr tl=es& x tr hl=es& x tr pto=sge#:~:text=La%20norma%20ACI%20318%2D19%20establece%20l%C3%ADmites%20para,varillas%20de%20Grado%2040%20en%20aplicaciones%20s%C3%ADsmicas>

Naeim, F. (2001). *The seismic design handbook* [El manual de diseño sísmico]. Springer.

Pebsteel. (2023). *¿Qué es el arriostramiento en estructuras de acero?*
<https://pebsteel-com.translate.goog/en/bracing-in-steel-structures/? x tr sl=en& x tr tl=es& x tr hl=es& x tr pto=sge#:~:tex t=En%20las%20estructuras%20de%20acero%2C%20el%20sistema,y%20su%20capacidad%20para%20soportar%20fuerzas%20verticales>

Sacalxot, J. (2021). *Diafragmas*.

<https://es.scribd.com/document/505679185/diafragmas#:~:text=Las%20lasas%20de%20piso%20pueden%20comportarse%20como,diafragma%20afecta%20la%20respuesta%20de%20la%20estructura%2C>

Sosa, A. (2020). *Evaluación de metodologías determinística y probabilística para estimación de aceleraciones sísmicas en la Ciudad de Guatemala*. [Tesis de pregrado, Universidad del Valle de Guatemala]. Archive digital. https://repositorio.uvg.edu.gt/xmlui/bitstream/handle/123456789/3986/T_G_ULTIMA_VERSI%C3%93N_ANA_SOSA%20con%20una%20observaci%C3%B3n%20listo%20para%20t%C3%ADtulo%2021%20de%20abril%20de%202021-1-6-fusionado.pdf?sequence=1

Structural Engineers Association of California. (2013). *2012 IBC SEAOC Structural/Seismic Design Manual Examples for Concrete Buildings* [Manual de diseño estructural y sísmico IBC SEAOC 2012 Ejemplos para edificios de hormigón]. Publisher.

Tapia, E. (2009). Comportamiento sísmico de edificios regulares con marcos dúctiles de acero con contraventeo concéntrico diseñado conforme al Reglamento del Distrito Federal mexicano. *Revista Internacional de Ingeniería en Estructuras*, 13-14(1), 1-28.

Tavera, b. (2023). *SAP2000: Una excelente opción para el cálculo de estructuras*. Inesa tech. <https://www.inesa-tech.com/blog/que-es-sap2000/>

APÉNDICES

Apéndice 1.

Matriz de coherencia

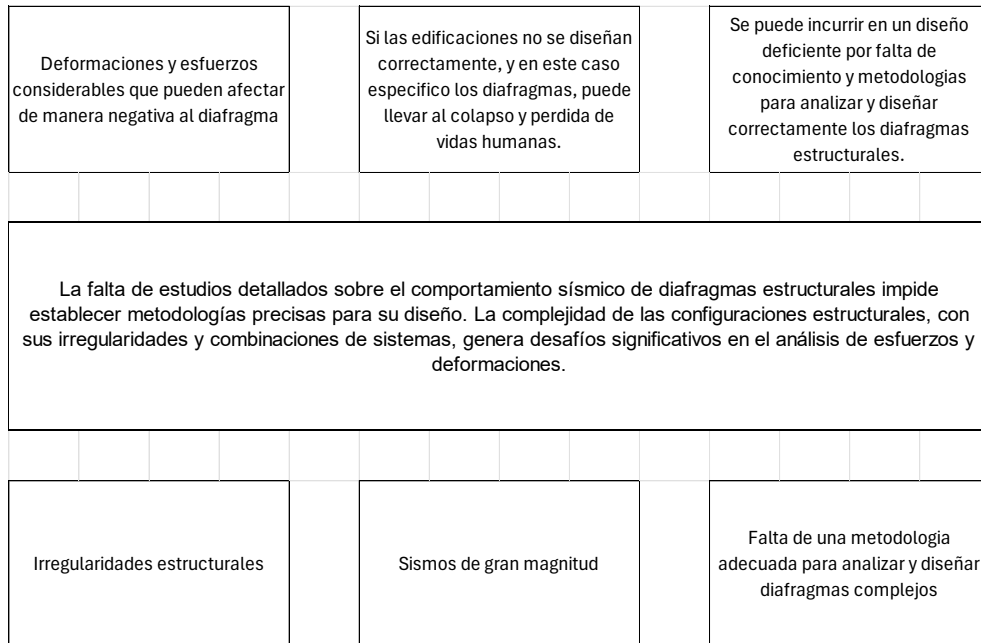
Matriz de Coherencia			
DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN: ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE DIAFRAGMAS ESTRUCTURALES EN EDIFICACIONES IRREGULARES: ANALISIS Y DISEÑO.			
Planteamiento del problema	Objetivos	Variables	Indicadores
Pregunta central	General	Dependiente	
¿Como es el comportamiento sísmico de los diafragmas estructurales en edificaciones irregulares, y que tipo de metodología se puede utilizar para analizar y diseñar?	Estudiar el sísmico de los diafragmas estructurales en edificaciones irregulares, para analizarlos y diseñarlos.	Diafragma	Deformaciones y esfuerzos
Preguntas auxiliares	General	Independientes	
¿Cuáles son las irregularidades que afectan considerablemente a los diafragmas estructurales?	Analizar las irregularidades en las edificaciones que afectan considerablemente a los diafragmas estructurales.	Irregularidad	Comportamiento
¿Cuál es la metodología para analizar diafragmas estructurales?	Plantear metodología para analizar diafragmas estructurales.	Metodologia	Validad, confiable, precisos, claros y verificables
¿Como se debe diseñar los diafragmas estructurales?	Recomendar como diseñar diafragmas estructurales.	Diseño	Validos, confiable, precisos, claros y verificables

Nota. Describe la congruencia lógica entre los diferentes elementos del trabajo de investigación.

Elaboración propia, realizado con Excel.

Apéndice 2.

Árbol de problema



Nota. Describe el problema central, las causas y efectos que lo rodean. Elaboración propia, realizado con Excel.