



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS
FACULTAD DE INGENIERÍA
CAMPUS I
COORDINACIÓN DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

**“ANÁLISIS COMPARATIVO SOBRE EL
COMPORTAMIENTO ANTISÍSMICO DEL
SISTEMA ESTRUCTURAL DIAGRID Y
ESTRUCTURAS DE CONCRETO ARMADO DE
MARCO TRADICIONAL”**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

**MAESTRA EN INGENIERÍA CON FORMACIÓN
EN CONSTRUCCIÓN**

PRESENTA:

KASSANDRA MALDONADO MAZA D130075

DIRECTOR DE TESIS:

MTRO. JORGE ALFREDO AGUILAR CARBONEY



TUXTLA GUTIERREZ, CHIAPAS; FEBRERO DE 2023



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS
FACULTAD DE INGENIERÍA C-I



Tuxtla Gutiérrez, Chiapas
30 de noviembre del 2022
Oficio No. F.I.01.2136/2022

C. KAASSANDRA MALDONADO MAZA
ALUMNA DE LA MAESTRÍA EN INGENIERÍA
CON FORMACIÓN EN CONSTRUCCIÓN
PRESENTE.

Con base en el Reglamento de Evaluación Profesional para los egresados de la Universidad Autónoma de Chiapas, y habiéndose cumplido con las disposiciones en cuanto a la aprobación por parte de los integrantes del jurado en el contenido de su Tesis Titulada:

“ANÁLISIS COMPARATIVO SOBRE EL COMPORTAMIENTO ANTISÍSMICO DEL SISTEMA ESTRUCTURAL DIAGRID Y ESTRUCTURAS DE CONCRETO ARMADO DE MARCO TRADICIONAL”

CERTIFICO el VOTO APROBATORIO emitido por este jurado, y autorizo la impresión de dicho trabajo para que sea sustentado en su Examen Profesional para obtener el grado de Maestra en Ingeniería con formación en Construcción.

Sin otro particular, reciba un cordial saludo.

ATENTAMENTE
“POR LA CONCIENCIA DE LA NECESIDAD DE SERVIR”

DR. JOSÉ ALONSO FIGUEROA GALLEGO
ENCARGADO DE DIRECCIÓN



Ccp. Dra. Daisy Escobar Castillejos. Coordinadora de Investigación y Posgrado. Facultad de Ingeniería. UNACH.
Archivo/minutario
JAFG/DEC/lcpg*

Teléfonos (961) 617-80-00 ext. 5363, (961) 615-03-22 ext. 101. Correo: facing@unach.mx www.ingenieria.unach.mx
Boulevard Belisario Domínguez, km 103.1, Sin número. | Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México, C.P. 29000. | www.unach.mx



Código: FO-113-05-05

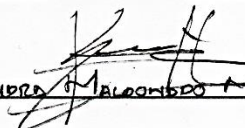
Revisión: 0

CARTA DE AUTORIZACIÓN PARA LA PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DE LA TESIS DE TÍTULO Y/O GRADO.

El (la) suscrito (a) MASANDRA MALDONADO MAZO
Autor (a) de la tesis bajo el título de "ANÁLISIS COMPARATIVO SOBRE EL COMPORTAMIENTO ANTISISMICO DEL SISTEMA ESTRUCTURAL DIAGRID Y ESTRUCTURAS DE CONCRETO ARMADO DE MARCO TRADICIONAL,"
presentada y aprobada en el año 2022 como requisito para obtener el título o grado de MAESTRÍA EN INGENIERÍA CON FORMACIÓN EN CONSTRUCCIÓN autorizo licencia a la Dirección del Sistema de Bibliotecas Universidad Autónoma de Chiapas (SIBI-UNACH), para que realice la difusión de la creación intelectual mencionada, con fines académicos para su consulta, reproducción parcial y/o total, citando la fuente, que contribuya a la divulgación del conocimiento humanístico, científico, tecnológico y de innovación que se produce en la Universidad, mediante la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Consulta del trabajo de título o de grado a través de la Biblioteca Digital de Tesis (BIDITE) del Sistema de Bibliotecas de la Universidad Autónoma de Chiapas (SIBI-UNACH) que incluye tesis de pregrado de todos los programas educativos de la Universidad, así como de los posgrados no registrados ni reconocidos en el Programa Nacional de Posgrados de Calidad del CONACYT.
- En el caso de tratarse de tesis de maestría y/o doctorado de programas educativos que sí se encuentren registrados y reconocidos en el Programa Nacional de Posgrados de Calidad (PNPC) del Consejo Nacional del Ciencia y Tecnología (CONACYT), podrán consultarse en el Repositorio Institucional de la Universidad Autónoma de Chiapas (RIUNACH).

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas; a los 13 días del mes de Febrero del año 2023.


MASANDRA MALDONADO MAZO

Nombre y firma del Tesista o Tesistas

AGRADECIMIENTOS

Gracias a Dios por permitirme lograr una más de mis metas

Dedico esta investigación a mis padres Jesús y Edith por sus consejos y apoyo incondicional en todo momento.

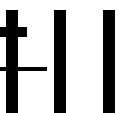
A mi hermana Aleksandra por su cariño e inspiración.

A los amigos quienes me aconsejaron durante el proceso.

A mi familia por creer en mí.

A mi director de tesis Mtro. Jorge Alfredo Aguilar Carboney y asesores Mtro. Gabriel Sánchez Rodríguez y Mtro. Enrique M. De Coss Gómez por sus conocimientos transmitidos.

Con admiración y respeto a los integrantes del comité de revisión de tesis.



RESUMEN

La investigación actual se enfoca en el avance de los diseños urbanos de expansión horizontal y su relación con la viabilidad de la seguridad sísmica de las edificaciones. La capacidad de garantizar la seguridad de las poblaciones en zonas altamente sísmicas es un aspecto crucial, y es por ello que se estudia el caso en cuestión como un avance en la certeza de los sistemas estructurales actuales y en la incorporación de nuevos diseños que combinan arquitectura e ingeniería civil de manera más intrínseca.

La investigación realiza un análisis comparativo del comportamiento antisísmico del sistema estructural Diagrid y las estructuras de concreto armado de marco tradicional en edificios de media y gran altura con núcleos centrales. Se evalúa tanto la solución arquitectónica como la estructural, con el objetivo de determinar la efectividad de ambos sistemas en la mitigación de los efectos sísmicos dada la necesidad de garantizar la seguridad de las personas en zonas altamente sísmicas, y la importancia de tener sistemas estructurales fiables que permitan la construcción de edificios seguros y resistentes a los desastres naturales. La comparación entre el sistema estructural Diagrid y las estructuras de concreto armado de marco tradicional permitirá una evaluación objetiva de ambos sistemas y la identificación de sus fortalezas y debilidades.



ABSTRACT

The current research focuses on the advancement of horizontal urban design and its relationship with the viability of seismic safety in buildings. The ability to guarantee the safety of populations in highly seismic areas is a crucial aspect, and that is why the case in question is studied as an advancement in the certainty of current structural systems and the incorporation of new designs that more intrinsically combine architecture and civil engineering.

The research conducts a comparative analysis of the seismic performance of the Diagrid structural system and traditional reinforced concrete frame structures in mid- and high-rise buildings with central cores. Both the architectural and structural solutions are evaluated, with the aim of determining the effectiveness of both systems in mitigating seismic effects given the need to guarantee the safety of people in highly seismic areas and the importance of having reliable structural systems that allow the construction of safe and disaster-resistant buildings. The comparison between the Diagrid structural system and traditional reinforced concrete frame structures will allow for an objective evaluation of both systems and the identification of their strengths and weaknesses.



ÍNDICE

Introducción	2
Capítulo 1 Planteamiento del problema	4
1.1 Planteamiento del problema	5
1.2 Objetivos	6
1.2.1 General	6
1.2.2 Específicos	6
1.3 Hipótesis	6
1.4 Justificación	7
1.5 Alcances y límites	8
Capítulo 2 Antecedentes	9
2.1 Antecedentes generales	10
2.2 Antecedentes en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas	14
Capítulo 3 Marco Teórico	16
3.1 Del antiguo al nuevo urbanismo	17
3.1.1 Estructura del espacio urbano y el rol del hábitat humano	19
3.1.1.1 Tendencias sociales en el espacio urbano	20
3.2 Sismicidad	21
3.2.1 Sismicidad en México	22
3.2.1.1 Regiones sísmicas	23
3.2.1.2 Antecedentes de sismos en México	24
3.2.2 Sismicidad en Chiapas	27
3.2.2.1 Provincias tectónicas y fuentes sismogénicas	27
3.2.3 Suelo y sismicidad en Tuxtla Gutiérrez	29
3.2.3.1 Microzonificación sísmica y zonificación sísmica por suelo	29

3.3 Sistemas estructurales	34
3.3.1 Sistemas estructurales por tipo de materiales	35
3.3.2 Sistemas estructurales por tipo de diseño	36
3.3.3 Sistemas estructurales por tipo de cerramiento	37
3.4 Sistema estructural Diagrid	39
Capítulo 4 Análisis de modelos estructurales	42
4.1 Modelos EV-A01/EV-A02 y EV-B01/EV-B02	44
4.1.1 Clasificación y uso de la estructura	44
4.1.2 Análisis de cargas permanentes o muertas	45
4.1.3 Cargas vivas unitarias y cargas de servicio	47
4.1.4 Factores de carga y combinaciones de carga	49
4.1.5 Espectro de diseño por sismo y factor de comportamiento sísmico	51
4.1.6 Modelos estructurales	54
4.1.6.1 EV-A01/EV-A02	54
4.1.6.2 EV-B01/EV-B02	57
Capítulo 5 Resultados y conclusiones	61
5.1 Periodos modales	62
5.2 Distorsiones de entrepiso	67
5.2.1 Cálculo del periodo de la estructura	69
5.2.2 Factor de sobre-resistencia y revisión de estados límite	78
5.3 Conclusiones finales	90
Bibliografía	92

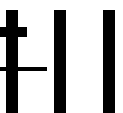
ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 EDIFICIO "HOME INSURANCE"	10
FIGURA 2 EDIFICIO "TRUMP INTERNATIONAL HOTEL AND TOWER"	11
FIGURA 3 EDIFICIO "JOHN HANCOCK CENTER"	12
FIGURA 4 EDIFICIO "POLY REAL ESTATE HEADQUARTERS TOWER 1 & 2"	13
FIGURA 5 EDIFICIO "TORRE CHIAPAS"	14
FIGURA 6 EDIFICIO "TORRES KAN LUXURY TOWERS"	15
FIGURA 7 MAPA DE LOCALIZACIÓN DE PLACAS TECTÓNICAS EN MÉXICO.....	22
FIGURA 8 MAPA DE REGIONALIZACIÓN SÍSMICAS DE MÉXICO.....	24
FIGURA 9 MAPA DE SISMOS REGISTRADOS EN 2021	25
FIGURA 10 MAPA DE PERIODOS EN TUXTLA GUTIÉRREZ.....	30
FIGURA 11 MAPA DE FRECUENCIAS EN TUXTLA GUTIÉRREZ.....	31
FIGURA 12 MAPA DE REGIONALIZACIÓN SÍSMICAS DE MÉXICO.....	33
FIGURA 13 ESTRUCTURA DEL SISTEMA DIAGRID	40
FIGURA 14 MODELO DE MARCO TRADICIONAL.....	56
FIGURA 15 MODELO DIAGRID.....	56
FIGURA 16 MODELO DE MARCO TRADICIONAL.....	60
FIGURA 17 MODELO DIAGRID.....	60
FIGURA 18 PERIODOS MODALES "MARCO TRADICIONAL EV-A01" OBTENIDOS DEL MODELO ETABS.....	62
FIGURA 19 PERIODOS MODALES "DIAGRID EV-A02" OBTENIDOS DEL MODELO ETABS.....	63
FIGURA 20 PERIODOS MODALES "MARCO TRADICIONAL EV-B01" OBTENIDOS DEL MODELO ETABS.....	64
FIGURA 21 PERIODOS MODALES "DIAGRID EV-B02" OBTENIDOS DEL MODELO ETABS.....	64



ÍNDICE DE GRÁFICAS

GRÁFICA 1 ESPECTROS DE DISEÑO Y RESPUESTA E-9.....	52
GRÁFICA 2 ESPECTROS DE DISEÑO Y RESPUESTA E-20.....	53
GRÁFICA 3 PERIODOS MODALES EV-A01/EV-A02.....	66
GRÁFICA 4 PERIODOS MODALES EV-B01/EV-B02.....	66
GRÁFICA 5 DISTORSIONES DE ENTREPISO (SY Y SX) ENTRE EV-A01 Y EV-A02	67
GRÁFICA 6 DISTORSIONES DE ENTREPISO (SY Y SX) ENTRE EV-B01 Y EV-B02	68
GRÁFICA 7 REVISIÓN DE ESTADO LÍMITE DE PREVENCIÓN DE COLAPSO EV-A01 Y EV-A02 EN X.....	80
GRÁFICA 8 REVISIÓN DE ESTADO LÍMITE DE PREVENCIÓN DE COLAPSO EV-A01 Y EV-A02 EN Y.....	80
GRÁFICA 9 REVISIÓN DE ESTADO LÍMITE DE PREVENCIÓN DE COLAPSO EV-B01 Y EV-B02 EN X.....	83
GRÁFICA 10 REVISIÓN DE ESTADO LÍMITE DE PREVENCIÓN DE COLAPSO EV-B01 Y EV-B02 EN Y.....	83
GRÁFICA 11 REVISIÓN DE ESTADO LÍMITE DE LIMITACIÓN DE DAÑOS EV-A01 Y EV-A02 EN X.....	86
GRÁFICA 12 REVISIÓN DE ESTADO LÍMITE DE LIMITACIÓN DE DAÑOS EV-A01 Y EV-A02 EN Y.....	86
GRÁFICA 13 REVISIÓN DE ESTADO LÍMITE DE LIMITACIÓN DE DAÑOS EV-B01 Y EV-B02 EN X.....	89
GRÁFICA 14 REVISIÓN DE ESTADO LÍMITE DE LIMITACIÓN DE DAÑOS EV-B01 Y EV-B02 EN Y.....	89



ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1	MOMENTOS DE INERCIA	43
TABLA 2	ANÁLISIS DE CARGA "LOSA DE ENTREPISO"	45
TABLA 3	ANÁLISIS DE CARGA "LOSA DE AZOTEA"	46
TABLA 4	CARGAS VIVAS UNITARIAS.....	47
TABLA 5	CARGA DE SERVICIO DE ENTREPISOS	48
TABLA 6	CARGA DE SERVICIO DE AZOTEA	48
TABLA 7	CASOS DE CARGA.....	49
TABLA 8	COMBINACIONES DE CARGA	50
TABLA 9	PARÁMETROS SÍSMICOS PARA ESPECTRO DE DISEÑO Y RESPUESTA	51
TABLA 10	COEFICIENTES DE CAPACIDAD DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA PARA EV-A01 Y EV-A02.....	52
TABLA 11	COEFICIENTES DE CAPACIDAD DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA PARA EV-B01 Y EV-B02.....	53
TABLA 12	DATOS GENERALES DE LOS MODELOS.....	54
TABLA 13	DATOS ESPECÍFICOS DEL MODELO EV-A01.....	55
TABLA 14	DATOS ESPECÍFICOS DEL MODELO EV-A02.....	55
TABLA 15	DATOS GENERALES DE LOS MODELOS.....	57
TABLA 16	DATOS ESPECÍFICOS DEL MODELO EV-B01.....	58
TABLA 17	DATOS ESPECÍFICOS DEL MODELO EV-B02.....	59
TABLA 18	COMPARATIVO DE PERIODOS MODALES (EV-A01 Y EV-A02).....	63
TABLA 19	COMPARATIVO DE PERIODOS MODALES (EV-B01 Y EV-B02).....	65
TABLA 20	PERIODO FUNDAMENTAL EV-A01 EN X.....	70
TABLA 21	PERIODO FUNDAMENTAL EV-A01 EN Y.....	71
TABLA 22	PERIODO FUNDAMENTAL EV-A02 EN X.....	72



TABLA 23 PERIODO FUNDAMENTAL EV-A02 EN Y.....	73
TABLA 24 PERIODO FUNDAMENTAL EV-B01 EN X.....	74
TABLA 25 PERIODO FUNDAMENTAL EV-B01 EN Y.....	75
TABLA 26 PERIODO FUNDAMENTAL EV-B02 EN X.....	76
TABLA 27 PERIODO FUNDAMENTAL EV-B02 EN Y.....	77
TABLA 28 REVISIÓN DE ESTADO LÍMITE DE PREVENCIÓN DE COLAPSO EV-A01	78
TABLA 29 REVISIÓN DE ESTADO LÍMITE DE PREVENCIÓN DE COLAPSO EV-A02	79
TABLA 30 REVISIÓN DE ESTADO LÍMITE DE PREVENCIÓN DE COLAPSO EV-B01	81
TABLA 31 REVISIÓN DE ESTADO LÍMITE DE PREVENCIÓN DE COLAPSO EV-B02	82
TABLA 32 REVISIÓN DE ESTADO LÍMITE DE LIMITACIÓN DE DAÑOS EV-A01	84
TABLA 33 REVISIÓN DE ESTADO LÍMITE DE LIMITACIÓN DE DAÑOS EV-A02	85
TABLA 34 REVISIÓN DE ESTADO LÍMITE DE LIMITACIÓN DE DAÑOS EV-B01	87
TABLA 35 REVISIÓN DE ESTADO LÍMITE DE LIMITACIÓN DE DAÑOS EV-B02	88



INTRODUCCIÓN

Parte del avance en los diseños urbanos de expansión horizontal actuales van estrechamente relacionados en la viabilidad de la seguridad sísmica de sus edificaciones, la capacidad de garantizar a las poblaciones en zonas altamente sísmicas, tales como el caso de estudio de la presente investigación, suponen un avance para dar certeza a los sistemas estructurales aplicados actualmente, así como nuevos diseños que emplean una relación más intrínseca entre la arquitectura y la ingeniería civil. Por lo tanto, la investigación realiza un análisis comparativo sobre el comportamiento antisísmico del sistema estructural Diagrid y estructuras de concreto armado de marco tradicional, bajo el esquema de edificios de media y gran altura dotados asimismo por su efectividad tanto en solución arquitectónica y estructural con núcleos centrales. A continuación, se describen a grandes rasgos cinco apartados:

Capítulo I

Se realiza la descripción de la problemática a analizar justificando las razones del porqué del estudio y definiendo los objetivos e hipótesis que tendrá el alcance de dicha investigación.

Capítulo II

Se establecerán los antecedentes para concretar las bases del presente proyecto de investigación, divididos en generales y específicos, delimitando la entidad en la que se desarrolla dicha investigación.

Capítulo III

Se delimita el Marco Teórico de la investigación analizando todos los puntos a tratar dentro del proyecto, tanto los aspectos sociales, arquitectónicos y de ingeniería necesarios para un desarrollo completo de la investigación.

Capítulo IV

Se determina la metodología a utilizar, la cual se basará según el objeto de estudio a una investigación cualitativa, además de que por su profundidad se realizará un trabajo de tipo

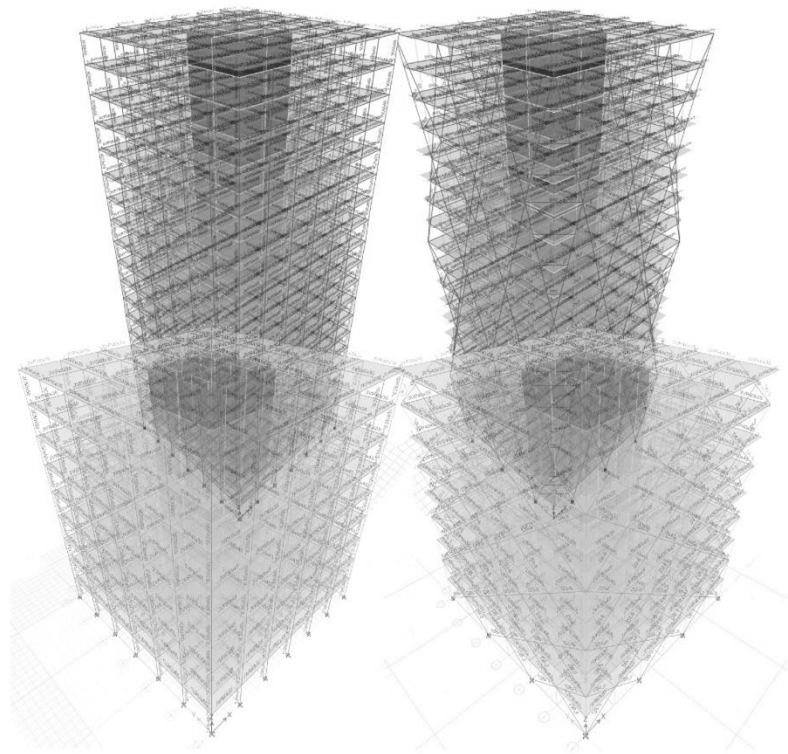
correlacional bajo el esquema por fuente principal de información una investigación de tipo experimental. Asimismo, se establece el modelo de análisis y la estructura de esta. Además, se expondrán los resultados obtenidos de los modelos de análisis y las variables introducidas en la investigación.

Capítulo V

Finalmente, en el último capítulo se integran las conclusiones obtenidas durante la investigación con los resultados de los modelos antisísmicos, así como la respuesta urbana y social del proyecto de investigación abordado.

CAPÍTULO 1

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA



1.1 Planteamiento del problema

La investigación es un proceso que, mediante la aplicación del método científico, procura obtener información relevante y fidedigna, para entender, verificar, corregir o aplicar el conocimiento.

“Toda problemática nace de una dificultad; esto surge de una necesidad en la que aparecen conflictos no resueltos” (Tamayo, 2009, p.124). De ahí la necesidad de hacer un planteamiento adecuado del problema a fin de no confundir efectos secundarios del problema a investigar con la realidad del problema que se investiga. “Toda investigación que adopte una postura crítica, parte de una problematización de la realidad que permita localizar claramente el propósito central de la investigación” (Pacheco y Cruz, 2006, p.36). “Plantear el problema no es más que afinar y estructurar formalmente la idea de investigación” (Hernández, Fernández y Baptista, 2006, p.42).

La expansión horizontal del suelo urbano en las grandes urbes actualmente supera la viabilidad de ellas, el mantenimiento de la actual y la creación de nuevas infraestructuras se ha vuelto insostenible. Sin embargo, el aumento de la población supondrá un riesgo a futuro para ciudades que aún no llegan al estado límite. “En 2050, la población urbana se duplicará, y 7 de cada 10 personas en el mundo vivirán en ciudades” (Banco Mundial, 2020). Lo que supondrá un problema para la movilidad urbana, la vivienda y los servicios básicos. La respuesta actual en el ámbito del urbanismo sostiene la creación de centros urbanos bajo un esquema vertical, asimismo la expansión dentro de esta categoría limitará la carga futura.

Sin embargo, es necesario recalcar que nuestro país se encuentra dentro de una de las regiones sísmicas más activas del mundo.

“La República Mexicana se localiza en el área conocida como el Cinturón Circumpacífico, y la alta sismicidad del país se debe principalmente a las interacciones entre las Placas de Norteamérica, la Placa de Cocos, la Placa del Pacífico, la Placa de Rivera y las del

Caribe, así como fallas locales, que se extienden por varios estados, lo que implica estructuras sismorresistentes” (Servicio Geológico Mexicano [SGM], 2017).

No obstante, la expansión vertical presume del diseño de edificios de gran altura lo que incrementa factores tales como la carga lateral tanto sísmica como del viento, así como la carga por gravedad.

Actualmente existen diversos sistemas de estructuración, sin embargo, en la última década el sistema Diagrid ha tomado importancia para el diseño de la nueva arquitectura vertical sobre los métodos tradicionales por marcos, debido a su eficiencia estructural sismorresistente y su diseño estético-arquitectónico.

1.2 Objetivos

1.2.1 General

Comparar la factibilidad antisísmica del sistema estructural Diagrid sobre el sistema tradicional de marcos, bajo las normativas de diseño de México, tomando como caso de estudio la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

1.2.2 Específicos

- Modelar diversas estructuras bajo el sistema Diagrid y el sistema tradicional de marcos.
- Estudiar los resultados de las distorsiones de entrepiso con base en la normativa, así como los periodos para comprender ambos sistemas.
- Examinar mediante el software ETABS el análisis modal de las estructuras propuestas.

1.3 Hipótesis

El sistema estructural Diagrid provee una mejor respuesta antisísmica que los métodos estructurales por marcos tradicionales.

Sin embargo, Hernández et al. (2010) menciona que, “durante el proceso de investigación, el investigador crea hipótesis de trabajo, las cuales se refinan progresivamente a

medida que se recopilan más datos o las hipótesis son uno de los resultados del estudio” (p. 370).

1.4 Justificación

Toda investigación debe de ser justificada exponiendo las razones por el cual se realiza el estudio como lo mencionan los siguientes autores.

Justificar el estudio mediante la exposición de sus razones, deberán ser lo suficientemente significativo para que se justifique su realización, tiene que explicar porque es conveniente llevar a cabo la investigación y cuáles son sus beneficios que se derivaran de ella, así como el valor de la misma. Para realizar la justificación es posible establecer una serie de criterios para evaluar la utilidad del estudio “conveniencia, relevancia, implicaciones prácticas, valor teórico y utilidad metodológica” (Hernández, Fernández y Baptista, 2006, p.50). Además de los objetivos y las preguntas de investigación, es necesario justificar el estudio exponiendo sus razones, puesto que se tiene que explicar por qué es conveniente llevar a cabo la investigación y cuáles son los beneficios que se derivarán de ella.

El propósito de esta investigación es evaluar y comparar la factibilidad antisísmica de los sistemas tradicionales de estructura por marcos con el sistema Diagrid, bajo la premisa del empleo de las normativas de diseño sísmico de nuestro país y aplicando un caso de estudio en una zona altamente sísmica, la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, que por sus características del subsuelo es idóneo para la presente investigación.

Hay que recalcar que parte de la investigación supone una respuesta hacia la problemática actual urbanística a la que se encuentra hoy en día la humanidad, la sobrepoblación y el deterioro de los suelos bajo una expansión horizontal que hoy en día se ha vuelto insostenible, provocando una pobre calidad en la movilidad urbana, los servicios básicos, así como la vivienda digna. Por lo tanto, demostrar la seguridad estructural de los centros urbanos verticales en zonas de alta sismicidad son de vital importancia para el futuro de las nuevas grandes urbes y su diseño urbanístico.

1.5 Alcances y límites

El que se diseñe con precisión una investigación, no significa que no puedan presentarse circunstancias o situaciones que afecten negativamente su desarrollo normal e inclusive la invaliden.

Se debe tener en cuenta la disponibilidad de recursos financieros, humanos y materiales para realizar la investigación que, en última instancia, determina el alcance de la investigación. También es importante que tengamos acceso al lugar o entorno en el que se lleva a cabo la investigación.¹

Toda investigación está limitada por diversos factores de tipo social, político, económico. Las limitantes del presente estudio son los relacionados con el tiempo, el espacio, recursos materiales, recursos humanos y recursos financieros.

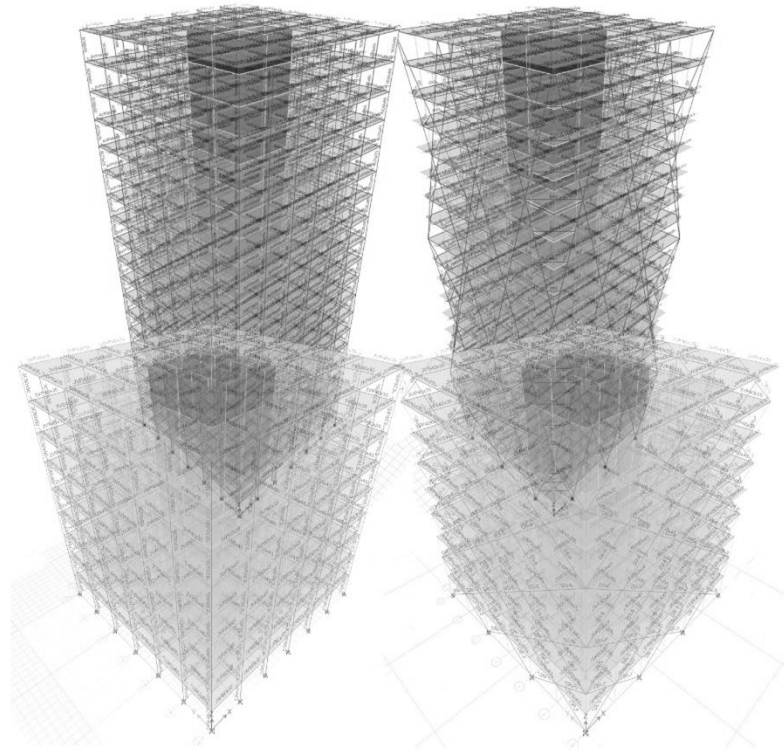
Uno de los factores determinantes para una investigación es el factor tiempo, debido a que únicamente se cuenta con menos de un año para la elaboración de la tesis de maestría y con base a este tiempo hay que ajustarse para la realización del trabajo de investigación documental, asimismo, como la realización del trabajo de campo.

Otro aspecto importante es en cuanto recursos materiales como pueden ser la bibliografía necesaria para realizar una buena investigación, puesto que no se cuenta con un amplio acervo bibliográfico debido que el tema de sistemas de estructuras Diagrid es de nueva aplicación en México, no así en otros países del norte de nuestro continente, Asia y Europa. Por lo tanto, el costo de esta investigación será significativo debido a que es necesario adquirir libros o textos internacionales donde si existe una gran fuente de información actualizada.

¹ Hernández Sampieri, Fernández Collado, Metodología de la Investigación, Editorial Mc Graw Hill, México D.F., 2010 p 41

CAPÍTULO 2

ANTECEDENTES



2.1 Antecedentes generales

En la actualidad existen distintos tipos de clasificación para las edificaciones, la más usada por los edificios de gran altura, se describe por los metros verticales que posee el elemento; el edificio más alto no necesariamente es aquel que tenga más pisos. Sin embargo, para procesos más prácticos de dicha investigación, se definirán por número de plantas. Por lo tanto, se entenderá que una estructura:

- Menor a 8 niveles se denominará como “Edificio de baja altura”
- Mayor a 8 y menor a 20 niveles como “Edificio de altura media”
- Mayor a 20 niveles como “Edificios de gran altura o rascacielos”

Actualmente existen múltiples estructuras de gran altura, edificadas con diversos sistemas y materiales. Sin embargo, el primero de ellos se localizó en Chicago, II, Estado Unidos. Construido en 1885 con 10 pisos y 42.1 metros de altura, fue catalogado como el primer edificio habitable de uso civil más alto del mundo, puesto que las estructuras que con anterioridad ostentaban el título de mayor altura eran las catedrales o centros destinados a las religiones.

Figura 1

Edificio “Home Insurance”



Nota. Reproducida de Architectuul, de Architectuul., 2022

(<https://architectuul.com/architecture/home-insurance-building>)

Es así que con la llegada de este primer edificio dio pauta a la actual carrera hacia la construcción de elementos más altos y esbeltos. Así como al desarrollo de nuevos sistemas que toman las dificultades de los diseños estructurales que se necesitan solventar, tales como las cargas laterales.

Por lo tanto, es destacable el esfuerzo de la ingeniería civil alrededor de los últimos 140 años en el progreso de los nuevos diseños que permiten edificar rascacielos de casi un kilómetro de altura. Tales como el “Burj Khalifa” en Dubái, Emiratos Árabes que cuenta con 163 niveles y 828 metros de alto, o “Merdeka 118” en Kuala Lumpur, Malasia con 118 pisos y altura de 678.9 metros. Ambas estructuras cuentan con un sistema mixto de concreto armado y acero que permite alcanzar alturas mayores que con la aplicación de un solo sistema. Actualmente el edificio “Trump International Hotel and Tower” es el único rascacielos edificado con concreto armado que ha alcanzado más de 400 metros de alto, hazaña lograda mediante un núcleo reforzado y otra estructura de concreto en los pisos superiores asegurado al núcleo, dotando así de la seguridad estructural del edificio; el cual, a pesar de sus casi 15 años, sigue ostentando el más alto en su categoría.

Figura 2

Edificio “Trump International Hotel and Tower”



Nota. Reproducida de Architectuul, de Architectuul., 2022

(<https://architectuul.com/architecture/trump-international-hotel-and-tower>)

Asimismo, el primer antecedente de la aplicación del sistema estructural Diagrid en una edificación de gran altura data de mediados del siglo pasado. Construido en 1969 y localizado en Chicago, IL, EUA. “John Hancock Center” cuenta con 100 niveles y alrededor de 344 metros de alto; además de que se encuentra dotado con el sistema Diagrid de núcleo diagonalizado que permite mayor espacio de uso en el interior del edificio sin perder la capacidad estructural del elemento.

Figura 3

Edificio “John Hancock Center”



Nota. Reproducida de Urbipedia, de Urbipedia Archivo de Arquitectura., 2022 (https://www.urbipedia.org/hoja/John_Hancock_Center)

Sin embargo, no es el primero en su tipo con estructura de concreto armado en su sistema, el cual le pertenece a los rascacielos “Poly Real Estate Headquarters Tower 1 & 2”, localizados en Guangzhou, China y edificados entre 2004-2007. Estos edificios de oficinas poseen 34 pisos con una altura de 160.6 metros cada uno. El diseño arquitectónico/estructural permite a las fachadas orientadas al sur soporte estructural y mitiga la entrada de la incidencia solar directa en un 50%, logrando así un ahorro energético futuro de emisiones. No obstante, la aplicación del sistema Diagrid permitió un ahorro en costos de construcción de alrededor de 20% debido a que su construcción requiere menos acero que las estructuras de marco tradicional.

Figura 4*Edificio "Poly Real Estate Headquarters Tower 1 & 2"*

Nota. Reproducida de Skyscrapercenter, de Council of Tall Buildings and Urban Habitat., 2022 (<https://www.skyscrapercenter.com/building/poly-real-estate-headquarters-tower-1/3070>)

Cabe destacar que tanto los edificios de marco tradicional y por sistema Diagrid en su diseño estructural poseen como en casi todos los rascacielos, un núcleo interior de concreto armado. Por lo que se puede entender que la presente investigación para objeto de diseño se aplicara las mismas condicionantes en los modelos de media y gran altura.

2.2 Antecedentes en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas

Tuxtla Gutiérrez hoy en día se puede clasificar como una urbanización de edificios de baja/media altura debido a que aún está en el proceso final de la sub-urbanización y en el comienzo de la des-urbanización. Es decir, la expansión horizontal está llegando a su fin por la falta de espacios habitables dentro de la urbe dando opciones más alejadas en las ciudades satélites. Asimismo, la carta urbana aun restringe en parte la construcción masiva de edificios de gran altura en razón a la falta de infraestructura necesaria para sostener la cantidad de habitantes por metro cuadrado. Sin embargo, la ciudad actualmente ha presentado cambios en los últimos años y con ello antecedentes para la construcción de edificaciones mayores a 20 niveles.

La primera en su tipo, localizada al oriente de la capital y terminada de edificar en 2010, la “Torre Chiapas” cuenta con 22 pisos y 104 metros de alto, lo que la convierte en el primer rascacielos del Estado. Su diseño estructural está basado en marcos de concreto armado en su totalidad con un diseño arquitectónico establecido en muros pantalla que permiten ahorro energético al elemento.

Figura 5

Edificio “Torre Chiapas”



Nota. Reproducida de GIA, de GIA., 2022 (<https://gia.mx/es/torre-chiapas-22>)

De igual forma en 2014 con 23 niveles y una altura aproximada de más de 100 metros. Las “Torres Kaan Luxury Towers” han sido los primeros dos complejos verticales habitacionales de gran altura en Tuxtla Gutiérrez.

Figura 6

Edificio “Torres Kaan Luxury Towers”

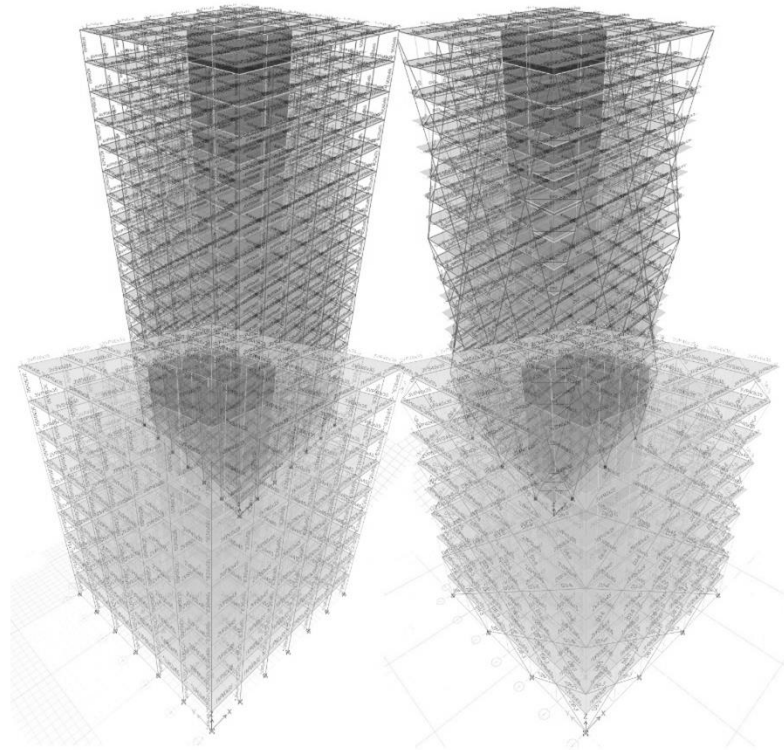


Nota. Reproducida de K Luxury Towers, de Torres Kann., 2022 (<https://www.torreskaan.com/>)

Estos dos antecedentes preceden al nuevo diseño urbano esperado en las próximas décadas que permitirán la reurbanización de la capital con el nuevo crecimiento vertical. Asimismo, son elementos claves para la aceptación de la seguridad sísmica en los rascacielos con la población actual.

CAPÍTULO 3

MARCO TEÓRICO



3 Marco teórico

Para comprender enteramente el proceso de la investigación, primero es necesario entender los aspectos teóricos, siendo estas las pautas para analizar todo el contexto que conforma el tema del estudio de dicha tesis.

Para la lo cual, de acuerdo al tema en cuestión en el análisis comparativo sobre el comportamiento del sistema estructural Diagrid y estructuras de concreto armado de marco tradicional habrá que desglosar cada aspecto principal de la temática, así como las raíces secundarias de estas para mayor comprensión a lo largo la investigación.

3.1 Del antiguo al nuevo urbanismo

Para entender los problemas actuales de la sociedad en relación a la movilidad, infraestructura de servicios básicos y calidad de vida es necesario comprender el significado del urbanismo, el cual se entiende como el estudio de la relación de la población de las áreas urbanas en interacción con el entorno construido. Asimismo, es necesario determinar que el urbanismo es un estudio multidisciplinario, puesto que tiene una estrecha relación con los aspectos sociales, culturales, geográficos y arquitectónicos de las poblaciones y los espacios urbanos.

En la actualidad y desde el inicio del hombre moderno, se han diseñado y creado ciudades, no escapando del estudio del urbanismo. De igual manera cada ciudad creada en el mundo cuenta su historia con base a su diseño. Por ejemplo, la actual estructura urbana del centro de la ciudad de París corresponde con un diseño militar trazado por Haussmann y empleado para detener los movimientos rebeldes y las epidemias reinantes del siglo XIX, y, como menciona López (2003) para “corregir las características del progreso de la ciudad del capitalismo libre de iniciativa, sin el Estado interventor” (p. 46). Es decir, una respuesta urbana a conflictos sociales, económicos y de salubridad.

Por otra parte, de acuerdo a Fash, López y Bey (2009) sostienen que:

“Las metrópolis y el urbanismo mesoamericano son parte de una incorporación de los contextos ecológicos y las posibilidades medioambientales de los centros urbanos a lo largo de Mesoamérica que permiten responder a la pregunta de cómo las antiguas ciudades mesoamericanas se definían a sí mismas y reflejaban su ubicación física y metafísica a través de su medio construido.” (p. 1)

Cabe destacar que el nuevo urbanismo reacciona a la inherente realidad de un avance industrial que lejos de provenir de la Gran Bretaña del siglo XVIII, se desarrolla durante el primer cuarto del siglo XX y ha comenzado a consolidarse a principios del siglo XXI. Ciudades como Detroit en Estados Unidos, Brasilia en Brasil y la aun en desarrollo KAEK en Arabia Saudita son muestras claras del urbanismo moderno.

3.1.1 Estructura del espacio urbano y el rol del hábitat humano

Tanto como en el pasado como en el presente, la sociedad o población crea a sí misma el espacio urbano, si las condiciones cambian, de igual manera la estructura espacial del entorno lo hará. Por lo tanto, el rol del hábitat humano está basado en las necesidades sociales, el medio físico natural, la densidad de población, las actividades que se desarrollen dentro de la urbe, así como la comunicación de las ciudades circulares.

Determinar la estructura del espacio urbano es posible en base modelos que correlacionan el espacio social con el medio físico natural; el análisis empleado en la presente investigación se refiere al modelo Tetraedro de József Tóth (1977) donde:

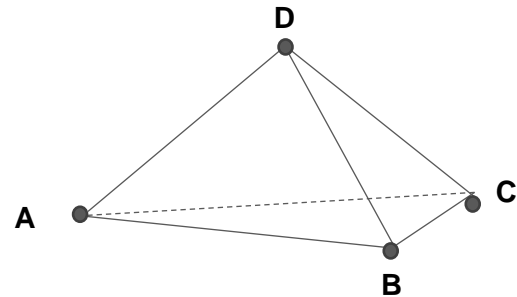
Espacio:

-Natural (ABD)

-Social Social (ABC)

Económico (BCD)

Infraestructura (ACD)



La relación de cada vértice sostiene que el cambio en una de ellas trae consigo la alteración completa del sistema. En consecuencia, la importancia del análisis de las estructuras urbanas para la realización de los espacios habitables y por lo tanto del diseño estructural, es vital para el crecimiento correcto de las ciudades.

3.1.1.1 Tendencias sociales en el espacio urbano

De acuerdo a Toynbee (1973) sugiere que “el desarrollo de la población en las urbes se definiría como “Megalópolis”, entendido como el crecimiento acelerado de zonas urbanas” (p.236), las cuales al inicio no se interconectaban de manera cercana y física, provocando que las conurbaciones se entrelacen formando una sola mancha urbana. Un ejemplo de ellas son Ciudad de México, Sao Pulo, Tokio, Shanghái y Mumbai.

Sin embargo, tomado en cuenta las afirmaciones de Györd Enyed (1982), determina que el desarrollo urbano es cíclico, dividido en cuatro etapas que definen el pasado, presente y futuro de las ciudades. Sostiene que el primer periodo de una urbe es la explosión urbana, donde la población se centra y crece desarrollando infraestructura necesaria para el crecimiento futuro, se determinan los reglamentos de construcción y la carta urbana, así como otros lineamientos necesarios para una organización correcta del centro urbano. El segundo periodo a su vez, establece el proceso de sub-urbanización, la cual es el crecimiento rápido de los suburbios ocasionando una relativa desconcentración poblacional en el foco central de la urbe, dicha etapa se termina cuando comienza la des-urbanización, donde el proceso inicial termina y la población migra a centros poblacionales, llamados satélites, el centro urbano delega sus responsabilidades a estos nuevo centros provocando un mayor gasto en infraestructura para soportar este nuevo periodo, creando así zonas parcialmente deshabitadas aun útiles para la urbe. Finalmente, el cuarto periodo establece la reurbanización del eje central de una ciudad, dicho proceso solo puede darse cuando esta se vuelve atractiva para la población, tales como micro centros urbanos, zonas que permitan tener a la mano todas las necesidades, infraestructura urbana, de vivienda, de ocio, educación y salud.

Actualmente Tuxtla Gutiérrez transita por el tercer periodo, el centro urbano ha pasado a ser una zona comercial con horarios específicos de afluencia, fuera de ello permanece desprovista de vida y ha provocado un incremento del índice de criminalidad. La solución depende la formulación de estos micro centros urbanos que provean las necesidades de la urbe.

3.2 Sismicidad

Para entender el termino de sismicidad es necesario comprender que se define como el producto de las fallas geológicas de la Tierra, la intensidad y su frecuencia de las mismas. Por lo tanto, estas fallas son “rupturas en las rocas de la corteza terrestre causadas por la acumulación de tensiones generadas por las fuerzas tectónicas originadas por el constante movimiento de las placas continentales y oceánicas” (Tuxtla Gutiérrez Atlas de riesgos, 2015, p.54); la respuesta de esta se le conoce como plano de falla, una dislocación bien definida generada en la zona afectada y puede presentarse en sentido vertical, horizontal o en combinación de las anteriores. Además de que dichas fallas se catalogan por su complejidad, definidas como normales, transversales o inversas.

Asimismo, hay que recordar que los sismos, tal como mencionan Pérez, Aguirre y Ramírez (2018) “se concentran en franjas que coinciden con los límites de las placas tectónicas. Esto se debe a que el mecanismo de generación de los sismos tiene que ver con la acumulación de energía elástica en los bordes de una falla” (p.42). Además, dentro de estos límites o bordes es posible clasificarlos de acuerdo a la respuesta del movimiento entre dos placas, es decir, el límite de divergencia se relaciona cuando las placas se separan y se forma una nueva corteza en la “superficie”. De igual modo, el límite de convergencia corresponde a la subducción de placas, cuando una se introduce por debajo de otra. Por otro lado, el límite de transformación o transcurrente es aquella donde el movimiento de ambas placas no genera subducción o formación de corteza.

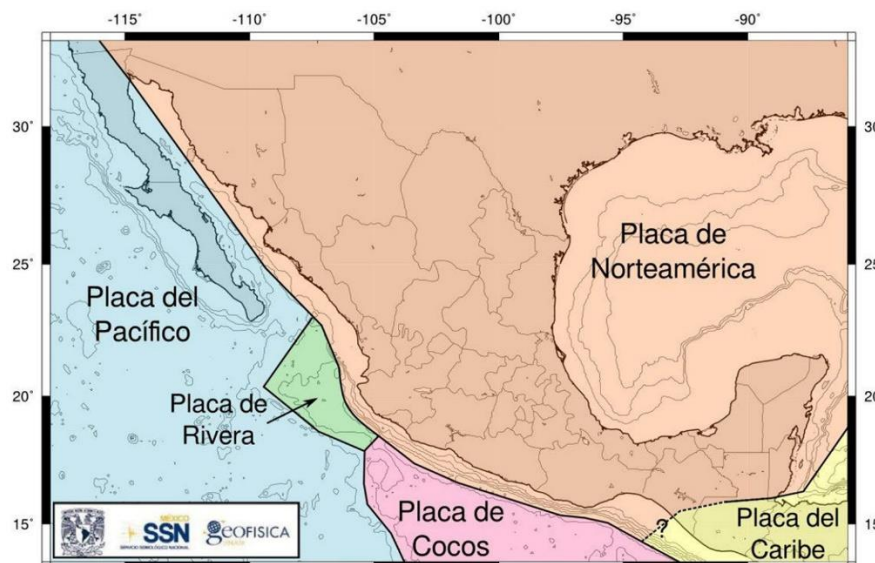
Por ello, el termino sismicidad y México tienen una relación intrínseca desde la construcción de las primeras ciudades del antiguo esplendor mesoamericano hasta el México moderno. La obligación misma para con la seguridad de las poblaciones ha obligado al país a una relativa actualización periódica de sus normativas, claro está, muchas de estas actualizaciones solo se han elaborado a causa de la Tierra misma, cuando los modelos y las ecuaciones para los cálculos estructurales son rebasados por acciones sísmicas no predichas.

3.2.1 Sismicidad en México

México como territorio se distingue por su alta actividad sísmica, puesto que se localiza sobre la placa de Norteamérica de norte a sur en casi su totalidad de extensión; la placa del Pacífico y de Rivera en el borde oeste; así como las placas de Cocos y del Caribe en el extremo sur, tal como se muestra en la Figura 1 y que de acuerdo con Protección Civil de CDMX (2022), “en el contexto de la Tectónica de Placas, México está ubicado en el llamado Cinturón de Fuego, donde se registra gran parte de los movimientos telúricos a nivel mundial”(párr.1).

Figura 7

Mapa de Localización de Placas Tectónicas en México



Nota. Reproducida de Placas tectónicas que interactúan en territorio mexicano, de Servicio Sismológico Nacional, Instituto de Geofísica. Universidad Nacional Autónoma de México, 2021 (<http://www.ssn.unam.mx>)

Por esta razón, el suroeste de México y Centroamérica se catalogan como zonas altamente sísmicas debido al límite de convergencia entre la placa de Cocos y la placa de Norteamérica y del Caribe. Además de que estas últimas se encuentran dentro del límite de transformación. En consecuencia, de acuerdo al Servicio Sismológico Nacional (SSN) es sobre estas placas donde se concentran los sismos más importantes registrados históricamente.

3.2.1.1 Regiones sísmicas

Debido a las características del territorio y como parte de las necesidades que suponen los diseños estructurales sismorresistentes, México se divide en cuatro regiones sísmicas que de acuerdo a SGM (2017) y Electricidad (CFE) en su Manual de Obras Civiles de 1993, dentro del capítulo “Diseño por Sismo”. delimitan en:

“Zona A es una zona donde no se tienen registros históricos de sismos, no se han reportado sismos en los últimos 80 años y no se esperan aceleraciones del suelo mayores a un 10% de la aceleración de la gravedad a causa de temblores.

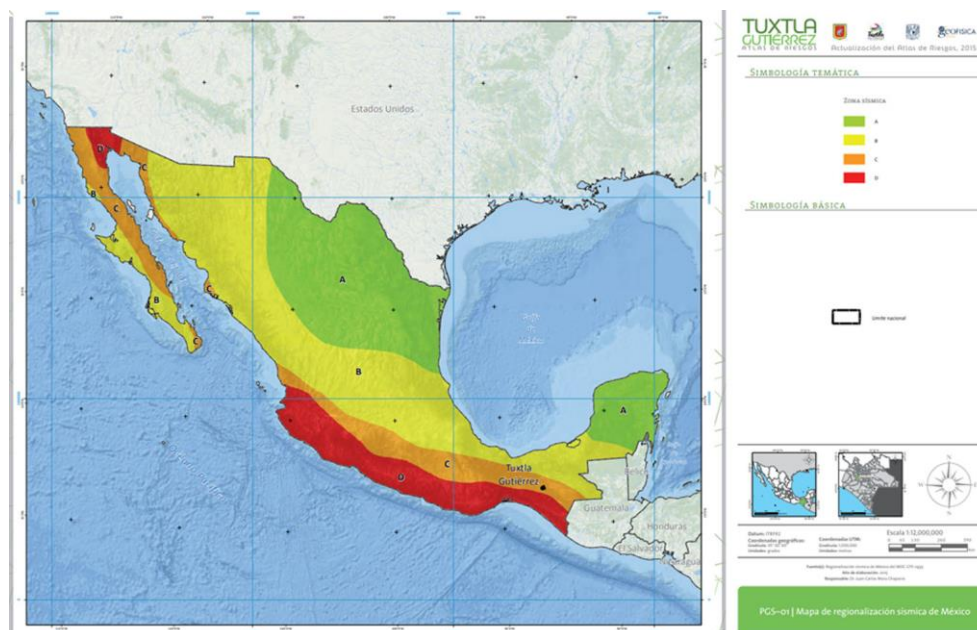
Zonas B y C son zonas intermedias, donde se registran sismos no tan frecuentemente o son zonas afectadas por altas aceleraciones pero que no sobrepasan el 70% de la aceleración del suelo.

Zona D es una zona donde se han reportado grandes sismos históricos, donde la ocurrencia de sismos es muy frecuente y las aceleraciones del suelo pueden sobrepasar el 70% de la aceleración de la gravedad.” (párr.8-11)

En la Figura 8 se especifica a detalle las zonas sísmicas de riesgo alto, tales como Chiapas, Oaxaca, Michoacán, etc. Las de riesgo medio o penesísmicas que comprenden Sonora, Nayarit, Tlaxcala, entre otros. Así como las zonas de riesgo bajo o asísmicas localizadas sobre todo en el noreste de México.

Figura 8

Mapa de Regionalización Sísmica de México



Nota. Reproducida de Mapa de regionalización sísmica de México, de Gobierno Municipal de Tuxtla Gutiérrez, 2015 (<https://www.tuxtla.gob.mx/atlas-de-riesgos-actualizacion-2015>)

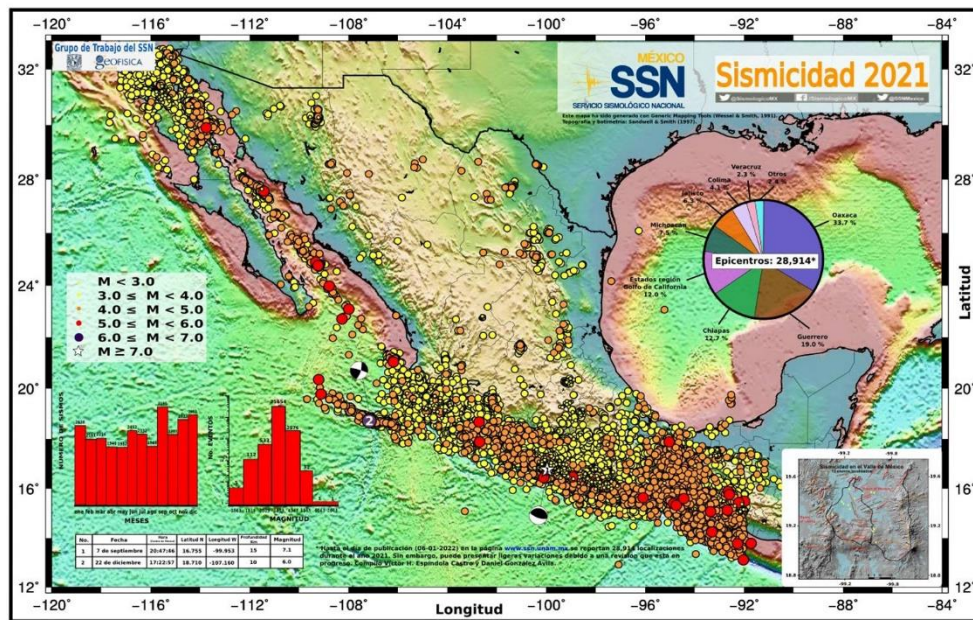
3.2.1.2 Antecedentes de sismos en México

Hay que recordar que México tiene una importante actividad sísmica, debido a que se registran alrededor de una centena de movimientos telúricos superiores a los 4 grados Richter cada año. Lo cual significa que de acuerdo a Protección Civil de CDMX (2022), “equivale a un 60% de todos los movimientos que se registran en el mundo” (párr.3).

Por otra parte, según a SGM (2017), “dentro del territorio ocurren en promedio cada 10 años sismos de magnitud superior a 7.5 grados en la escala de Richter, así como 5 movimientos superiores a 6.5 grados Richter cada 4 años” y como se menciona anteriormente, alrededor de 100 temblores superiores a los 4 grados Richter cada año y de acuerdo a SSN (2021) “señala (figura 9) que durante 2021 se reportaron más de 28,000 movimientos con un rango de magnitud de 3 y 4 grados en la escala de Richter”. Entonces la importancia de la seguridad sismorresistente es una necesidad de primer nivel para el diseño estructural en nuestro país.

Figura 9

Mapa de Sismos Registrados en 2021



Nota. Reproducida de Mapa de sismicidad anual 2021, de Servicio Sismológico Nacional, Instituto de Geofísica. Universidad Nacional Autónoma de México, 2021 (<http://www.ssn.unam.mx>)

Además, no hay que olvidar que los sismos más grandes registrados en México alcanzaron la magnitud de 8.2 en la escala de Richter con poco más de 80 años de diferencia, el primero ocurrido el 3 de junio de 1932 en las costas de Jalisco y el más reciente el 7 de septiembre de 2017 en las costas del Golfo de Tehuantepec. Sin embargo, los movimientos telúricos de 19 y 20 de septiembre de 1985 y 19 de septiembre de 2017 en la Ciudad de México son registrados como los más destructivos de la historia en nuestro territorio.

Por lo tanto, tomado en cuenta la (figura 7 y 9), estas determinan que en la costa oeste se encuentran las áreas de mayor riesgo telúrico, llamado también como Trincheras, conformada por las zonas que presentan los epicentros y las brechas sísmicas, que de acuerdo con SGM (2017) establece que:

“La expresión de “brecha sísmica” refiere a la zona geográfica donde no se han producido sismos de 7 o más grados en la escala de Richter por un largo periodo de tiempo de 50 años o más. Para determinar la Brecha de Guerrero (cerca de 100 años de acumulación de energía elástica), la Brecha de Jalisco (aproximadamente 70 años) y la Brecha de Chiapas (con más de 300 años) como las áreas de mayor riesgo en el país”.

3.2.2 Sismicidad en Chiapas

Chiapas es uno de los estados del país que pertenece a una de las zonas de mayor índice sísmico, debido a que la placa de Cocos y de Norteamérica se encuentran en contacto por límite convergente. Además de que, al sur del estado, esta entra en contacto con la placa del Caribe y de Cocos. Por lo tanto, el movimiento entre placas genera una respuesta de subducción y otra de transformante. Estas características dentro de los límites tectónicos son donde ocurren la mayoría de los movimientos telúricos que afectan a Chiapas y al resto del territorio nacional. Además, según SSN (2021), refiere en los antecedentes de los sismos de mayor escala registrados en la entidad que superaran magnitudes superiores a 7 grados en la escala de Richter el del 19 de abril de 1902 y 23 de septiembre de 1902 con 7.5 y 7.7 en la escala de Richter respectivamente. Así como el ocurrido el 14 de enero de 1903 con una magnitud de 7.6. También los ocurridos en la segunda mitad del siglo XX de 7.3 en 1970 y 7.2 en 1993. Además de los últimos registrados en los últimos 20 años; el ocurrido el 7 de noviembre de 2012 con magnitud de 7.3 y el del 7 de septiembre de 2017, siendo el primero en la entidad en superar los 8 grados en la escala de Richter y el que causo más daños al estado.

3.2.2.1 Provincias tectónicas y fuentes sismogénicas

Guzmán y Meneses (2000) dividen al “Estado de Chiapas en cuatro provincias tectónicas: la provincia de las Fallas Inversas, la provincia de las Fallas Laterales, el Batolito de Chiapas y las Fallas de Motagua-Polochic”.

Es en la Sierra Madre de Chiapas que la provincia de las Fallas Laterales radica y dentro de esta se encuentran nueve sub fallas extras. Las más importantes por su longitud son las de Tecpatán-Ocosingo-Malpasso y San Cristóbal-Telestaquín. Además, en la zona oriente de la sierra también se localiza la provincia de las Fallas Inversas, convergiendo hasta el norte de Guatemala. La falla que cruza desde Guatemala hasta el Istmo de Tehuantepec es también

conocido como el Batolito de Chiapas y finalmente, las Fallas Motagua-Polochic se localiza en la placa del Caribe y cruza desde Guatemala hasta Chiapas.

Además de las provincias tectónicas que se localizan dentro del estado, Mora et al. (2012) mencionan que existen cinco fuentes sismogénicas, en donde:

“La primera es la resultante del proceso de subducción de la placa de Cocos bajo la de Norteamérica, misma que da origen a sismos de gran magnitud ($M > 7.0$). La segunda fuente sismogénica está constituida por la deformación interna de la placa subducida, lo cual produce sismos profundos o de mediana profundidad (desde 80 hasta 300 km) ...la profundidad de subducción de la placa de Cocos en la costa del Estado de Chiapas es mayor que en las costas de Oaxaca, Guerrero y Michoacán. La tercera fuente sismogénica corresponde a la deformación cortical asociada a sistemas de fallas superficiales, al menos 15 fallas importantes presentes en el estado, que originan temblores de pequeña profundidad (menores a 40 km). Una cuarta fuente sismogénica está constituida por la presencia de los volcanes activos en el Estado de Chiapas, el Complejo Volcánico Tacaná y el volcán El Chichonal. La última fuente sísmica está relacionada con el contacto tectónico entre las placas de Norteamérica y del Caribe que es una falla lateral izquierda. Ésta ha producido sismos muy importantes como el del 18 de abril de 1902”. (p. 12)

3.2.3 Suelo y sismicidad en Tuxtla Gutiérrez

Como se ha mencionado anteriormente, Chiapas pertenece a una activa región sísmica debido a sus interacciones en la corteza con la placa de Norteamérica, del Caribe y de Cocos. Asimismo, tal como se menciona en Tuxtla Gutiérrez Atlas de riesgos (2015) “a consecuencia del contacto y de los movimientos entre estas placas se tienen dos límites: uno de subducción entre la placa de Cocos y la placa Norteamérica, y el otro transformante entre la placa del Caribe y la placa de Norteamérica” (p.69). Por lo tanto, en consecuencia, dentro de esta región se desarrollaron las provincias tectónicas, descritas en el subcapítulo anterior.

Además, en cuanto a sus antecedentes, en Tuxtla Gutiérrez se han tenido registros de dos eventos de gran importancia. El primero ocurrido el 23 de septiembre de 1902 con una magnitud de 7.7 grados en la escala de Richter; los datos obtenidos determinan que fue producto de un fenómeno de subducción a una profundidad de 25 km. Así como el ocurrido el 21 de octubre de 1995 con una magnitud de 7.1 grados Richter a una profundidad de 165 km, ambos con epicentros cercanos a la localidad y con daños considerables en las edificaciones de la urbe. Sin embargo, el promedio de sismos con epicentros cercanos o dentro del municipio se encuentran entre 4.5 y 5.5 grados en la escala de Richter. No obstante, al ser de poca profundidad estos presentan daños considerables a moderados a pesar de la magnitud del evento sísmico.

3.2.3.1 Microzonificación sísmica y zonificación sísmica por suelo

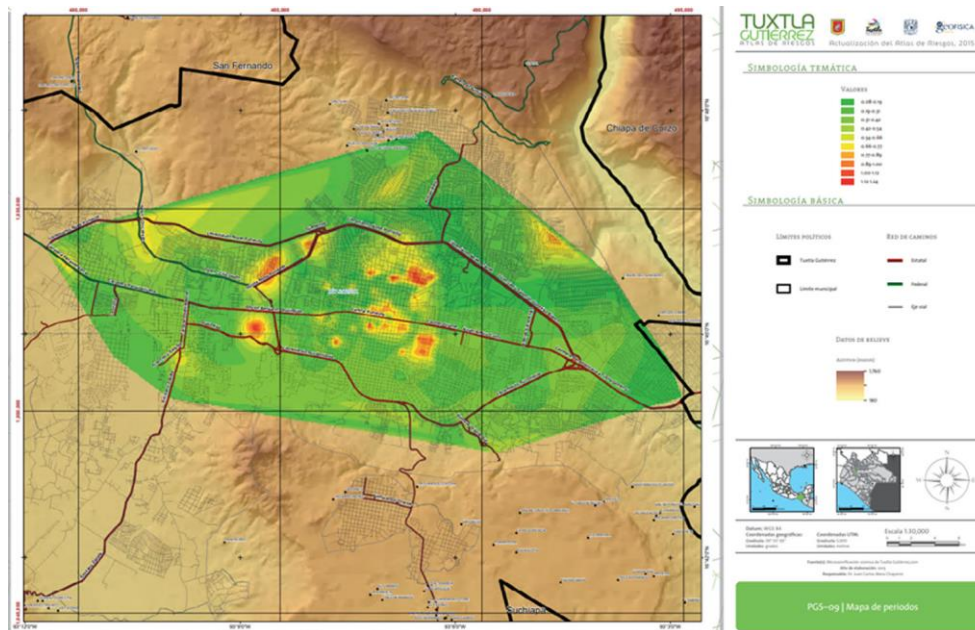
De acuerdo a Tuxtla Gutiérrez Atlas de riesgos (2015) determina que “los estudios de microzonificación sísmica consisten en la identificación y caracterización de unidades de suelos y litológicas subyacentes, en general la respuesta dinámica de los suelos frente a terremotos es muy variable” (p.54). Como respuesta al estudio en la actualización realizada en 2015 y con base a los datos obtenidos anteriormente en el documento de “Microzonificación sísmica de Tuxtla Gutiérrez” en 2011; en el Atlas de riesgos de la ciudad capital se presentan los siguientes mapas

de periodos y frecuencias que permiten entender la respuesta del suelo a los movimientos telúricos.

Dentro del mapa de periodos en las zonas marcadas de color verde oscuro a amarillo claro determina que existen periodos desde 0.08 seg hasta 0.54 seg. Mientras que las zonas en amarillo oscuro, naranja y rojo, localizadas en el centro y al sureste de la urbe poseen periodos >0.54 seg a 1.24 seg. Por lo consiguiente, estas últimas regiones son las que presentan mayor riesgo sísmico y donde se debe prestar especial atención a las edificaciones existentes debido a que por su método constructivo acorde a los antiguos reglamentos y manuales, pueden presentar daños estructurales, puesto que estas últimas son actualizadas de acuerdo a los siniestros más grandes presentados, recordando así que las nuevas actualizaciones responden a los eventos ocurridos en 2017.

Figura 10

Mapa de Periodos en Tuxtla Gutiérrez

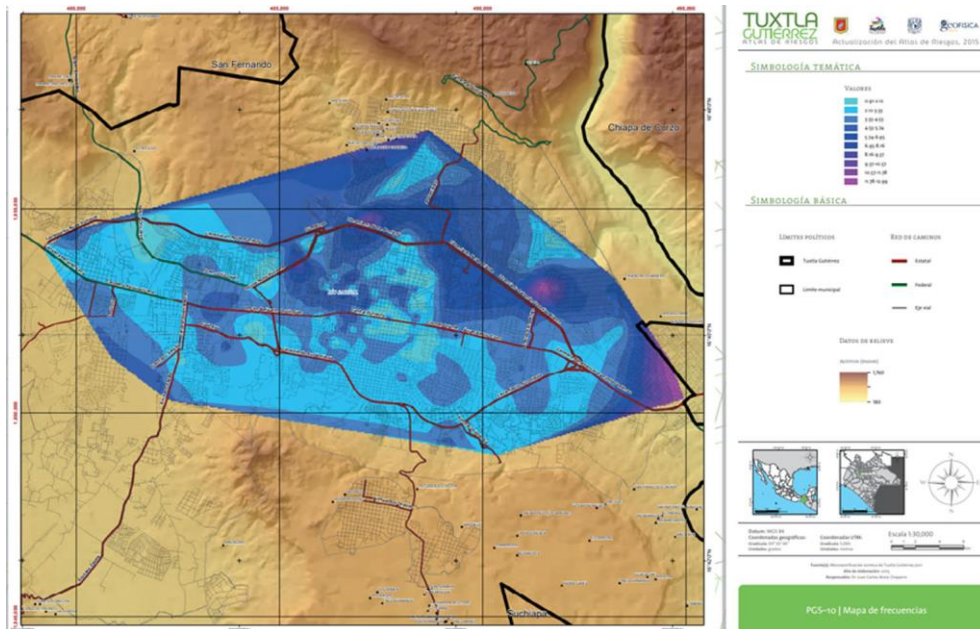


Nota. Reproducida de Mapa de periodos, de Gobierno Municipal de Tuxtla Gutiérrez, 2015 (<https://www.tuxtla.gob.mx/atlas-de-riesgos-actualizacion-2015>)

De acuerdo al mapa de frecuencias en las zonas de color azul claro a magenta se aprecian frecuencias de 0.91 a 12.99, estas se encuentran predominantemente en el norte de la ciudad. Sin embargo, frecuencias de 0.91 a 4.54 de color azul claro en el mapa, predominan en el sur de la urbe, desde el este al oeste.

Figura 11

Mapa de Frecuencias en Tuxtla Gutiérrez



Nota. Reproducida de Mapa de frecuencias, de Gobierno Municipal de Tuxtla Gutiérrez, 2015 (<https://www.tuxtla.gob.mx/atlas-de-riesgos-actualizacion-2015>)

Estos resultados han logrado establecer, así como los diversos estudios geotécnicos la zonificación sísmica de los suelos del municipio. En la actualización realizada en 2007 dentro del Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población de Tuxtla Gutiérrez menciona que existen cuatro regiones, el primero localizado en el centro siguiendo la ruta del río Sabinal donde se encuentran suelos de arcilla expansiva inestables y de gran profundidad (vertisol). De acuerdo al documento, menciona la problemática constructiva en las construcciones con hundimientos e infraestructura deficiente por las características del suelo.

La segunda región citada se localiza en la parte baja de la zona norte que a diferencia de la zona centro, presenta suelos de piedra caliza o redinzina; suelen ser más estables las edificaciones. Sin embargo, tiene la particularidad de que el suelo llega a erosionarse y con ello el riesgo de colapso.

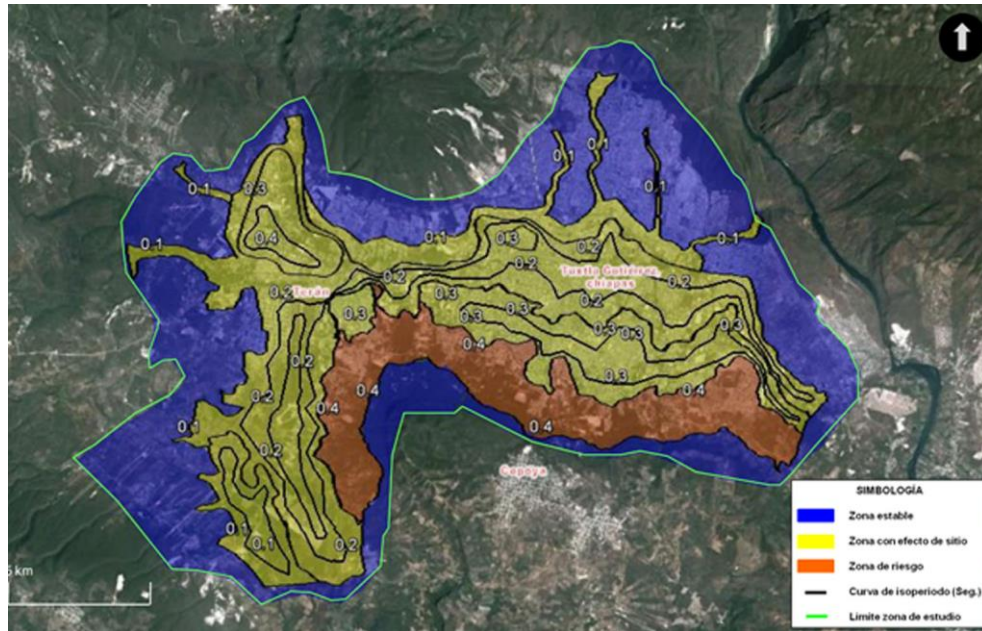
La tercera región por su parte presenta suelos arenosos de tipo granulares sueltos (regosol), que al localizarse sobre material no consolidado son propensos a deslaves. Esta región corresponde a las laderas del sur de la ciudad y es ampliamente reconocida como la zona de mayor conflicto constructivo y de mayor peligro sísmico del municipio. Por otra parte, la última región pertenece a las zonas altas de la urbe, las cuales poseen suelos litosoles con una delgada capa de materia vegetal y roca madre expuesta. La dificultad constructiva radica en que por las condiciones gravitacionales existe riesgo de derrumbe de las edificaciones.

Asimismo, Ordoñez en 2010 clasifica por primera vez en 3 zonas geotécnicas a Tuxtla Gutiérrez, Sin embargo, Ordoñez (2013) analizó con motivos del desarrollo de nuevos modelos de diseño sísmico para la ciudad capital estas regiones. En su mapa menciona que:

“De color azul se presenta la zona estable que abarca parte del Norte Ote. Y Norte Pte., de la ciudad. De color amarillo se presenta la zona con efecto de sitio que abarca la parte Centro Pte., Centro Ote., Sur Ote., Sur Pte., y parte del Norte Pte. de la ciudad; esta región presenta periodos de 0.1, 0.2, y 0.3s. De color naranja se presenta la zona de riesgo. Esta zona forma parte de las lomas de Tuxtla Gutiérrez, esta zona abarca la parte Sur Ote. Y Sur Pte. de la ciudad; esta región presenta periodosde 0.4 y 0.5 s.” (p.58)

Figura 12

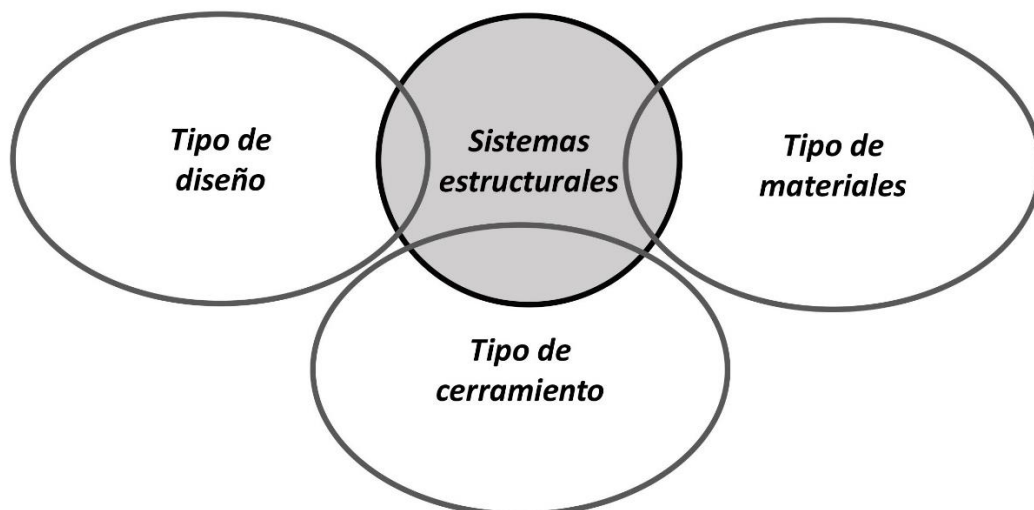
Mapa de Regionalización Geotécnica de Tuxtla Gutiérrez



Nota. Reproducida de Mapa de regionalización geotécnica de Tuxtla Gutiérrez, de Ordoñez Alfaro, J. A., Zonificación sísmica de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. 2013

3.3 Sistemas estructurales

Para la presente investigación es necesario abordar las clasificaciones o tipologías de los sistemas estructurales como determinante de las capacidades de resistir las presiones ejercidas por los elementos físicos y su importancia para el diseño de edificaciones. De acuerdo a Košir (2019) “ningún otro fenómeno físico es tan importante y universal para la forma en que se diseñan los edificios como la gravedad y las cargas laterales (es decir, sísmica, viento, presión de la tierra, etc.)” (p. 8). En este apartado se exhiben algunos de los conceptos primordiales de los sistemas estructurales para edificios. Se ahonda asimismo en algunos sistemas descritos como compuestos, específicos, de materiales o diseño. Siempre recordando que el sistema estructural y los demás sistemas constructivos: arquitectónico, eléctrico, mecánico y de transporte vertical tienen la función principal de soportar de manera segura y eficiente el espacio físico. Por lo tanto, el sistema estructural debe proporcionar niveles admisibles de rendimiento asociados con las vibraciones y el movimiento de balanceo inducido por el viento o sismos, así como otros factores.



3.3.1 Sistemas estructurales por tipo de materiales

Meli (2002) describe que “una estructura está formada generalmente por un arreglo de elementos básicos y este arreglo debe aprovechar las características peculiares de cada elemento y lograr la forma eficiente del sistema estructural global” (p. 299).

Se puede entender entonces a nivel general la existencia a grandes rasgos de tres tipos de estructuración aplicados en edificaciones de gran altura.

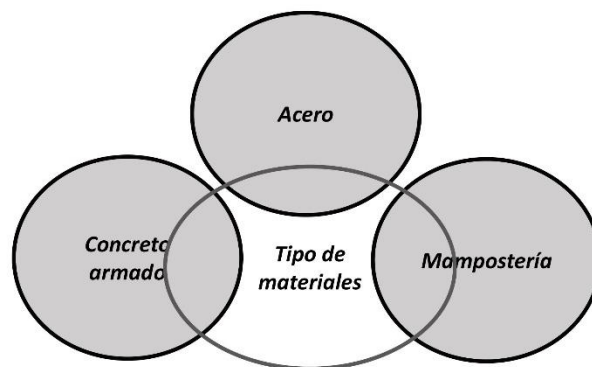
Edificios de acero

Edificios de concreto armado

Edificios de mampostería

De acuerdo a Aydenlou (2020) en un análisis de clasificación de la estructura lateral sísmica por los materiales en la edificación, establece que los elementos de mampostería presentan sistemas estructurales en los muros y marcos. Asimismo, define que la relación de los diseñados por concreto armado presenta muros de carga, marcos de momento, sistemas híbridos, así como otros sistemas afines con el uso del material. Finalmente, especifica que el uso del acero en la estructura proporciona resultados similares con el uso del concreto armado en relación a marcos resistentes a momentos y sistemas híbridos.

Por lo tanto, cabe destacar que un diseño por medio de la tipología de materiales acorta en un sentido más práctico el proceso de selección de los cálculos necesarios para el desarrollo de la edificación.



3.3.2 Sistemas estructurales por tipo de diseño

La clasificación por tipo de diseño es referida a la tipología de las características de tensión y forma conjuntamente. Dicha clasificación se encuentra en un punto medio entre la estética de la arquitectura y la seguridad estructural de la ingeniería.

De acuerdo a Place (2007), cataloga a los sistemas por elementos axiales, armazones, estructuras de compresión o tracción, así como por vigas. Sin embargo, Hurol (2015) clasifica los sistemas estructurales en tres grandes rubros que abarcan los puntos de Place, así como un análisis más enfocado en una arquitectura más neo contemporánea. Estas son:

Estructuras tensadas que suelen tener formas curvas negativas.

Estructuras de compresión que suelen tener formas curvas positivas.

Estructuras a flexión que suelen ser composiciones de líneas rectas.

Estructuras tensadas

Dentro de este grupo se encuentran las estructuras de suspensión, armaduras de cables, membranas, estructuras neumáticas y láminas de curvatura negativa.

Estructuras de compresión

A diferencia del grupo de tensión, las estructuras a compresión se clasifican por arcos, bóvedas, cúpulas y láminas de curvatura positiva.

Estructuras a flexión

En cuanto a las estructuras a flexión se puede sub-agrupar en vigas, la cual comprende pórticos, muros de cortante, estructuras tubulares y placas plegadas. También en el sub-grupo de marcos y muros de corte. Así como las estructuras tubulares. Estas estructuras están estrechamente relacionadas con los sistemas estructurales de edificios de gran altura.

3.3.3 Sistemas estructurales por tipo de cerramiento

Los sistemas clasificados por cerramiento son aquellos donde su diseño moldea la estructura, es decir, la superficie, el volumen y los elementos lineales. Dicha clasificación específica Košir (2019) en tres grandes grupos y un subgrupo secundario.

Sólido (Elementos de superficie)

Filigrana (Elementos lineales)

Estabilizado neumáticamente (Elementos volumétricos)

Híbrido (Combinación de dos o tres tipologías distintas)

Estructuras sólidas

A grandes rasgos se entiende como un sistema sólido de volumen cerrado con discontinuidades. Usualmente los elementos de carga tienen la función de dar separación ambiental. Dando así una integración entre diseño y estructura.

Estructuras de filigrana

A diferencia del grupo anterior, las estructuras de filigrana proporcionan un marco abierto dejando los elementos de carga al mínimo nivel, es decir, lo explícitamente necesario. Es por eso que se denominan también como lineales, puesto que los espacios expuestos deben ser ocupados para crear una barrera física.

Estructuras estabilizadas neumáticamente

Parecido a las estructuras sólidas, las estabilizadas neumáticamente poseen la particularidad de manejar discontinuidades bajo elementos de presión positiva y negativa.

En la actualidad los sistemas estructurales sólidos y de filigrana por costo y facilidad de edificación son los más aplicados, tanto individualmente como combinados. Además de que, a diferencia de las estructuras estabilizadas neumáticamente, estas no representan un mayor reto en su construcción física.

Finalmente, los sistemas estructurales, ya sean por tipología de materiales, diseño o cerramiento, definen a grandes rasgos la diversidad estructural con la que se puede esbozar el diseño de una edificación. La relación intrínseca entre la ingeniería y la arquitectura ha abierto un parteaguas para el desarrollo de diversos métodos en la creación de proyectos más ambiciosos y vanguardistas en el último siglo.

Es importante mencionar que el sistema estructural Diagrid, el cual se clasifica en estructuras de filigrana, dentro del marco de concreto armado y acero estructural. Este nuevo sistema desarrollado en el último siglo ha comenzado a tener una relevancia importante en la nueva arquitectura-ingeniería moderna sobre los sistemas tradicionales, ya que además de tener un diseño estético-arquitectónico, posee una alta capacidad estructural sismorresistente.

3.4 Sistema estructural Diagrid

La primera aparición de la aplicación del sistema Diagrid data de mediados del siglo pasado. No obstante, es durante los últimos 20 años donde ha sido la respuesta neutral entre la arquitectura e ingeniería ya que la adaptación a sus formas y seguridad estructural provee elementos más angulares y con curvas, lo que se traduce en edificios contemporáneos a este siglo. A grandes rasgos, el desarrollar estructuras que se adapten a las nuevas necesidades son parte de la innovación estructural en la ingeniería. Este sistema al poseer un modelo triangular provee elementos más rígidos efectivos para la resistencia de cargas laterales. Y tal como señala Moon (2008) “los dos requisitos de diseño más importantes para el diseño estructural de cualquier edificio son la resistencia y la rigidez, y para edificios muy altos con una gran relación de aspecto, la restricción de rigidez generalmente gobierna el diseño” (p. 897). Por lo tanto, estas estructuras por su forma incluso pueden permitir prescindir de columnas verticales puesto que al ser capaces de soportar las cargas por gravedad y suministrar estabilidad lateral aseguran con menos elementos la seguridad estructural necesaria de un edificio.

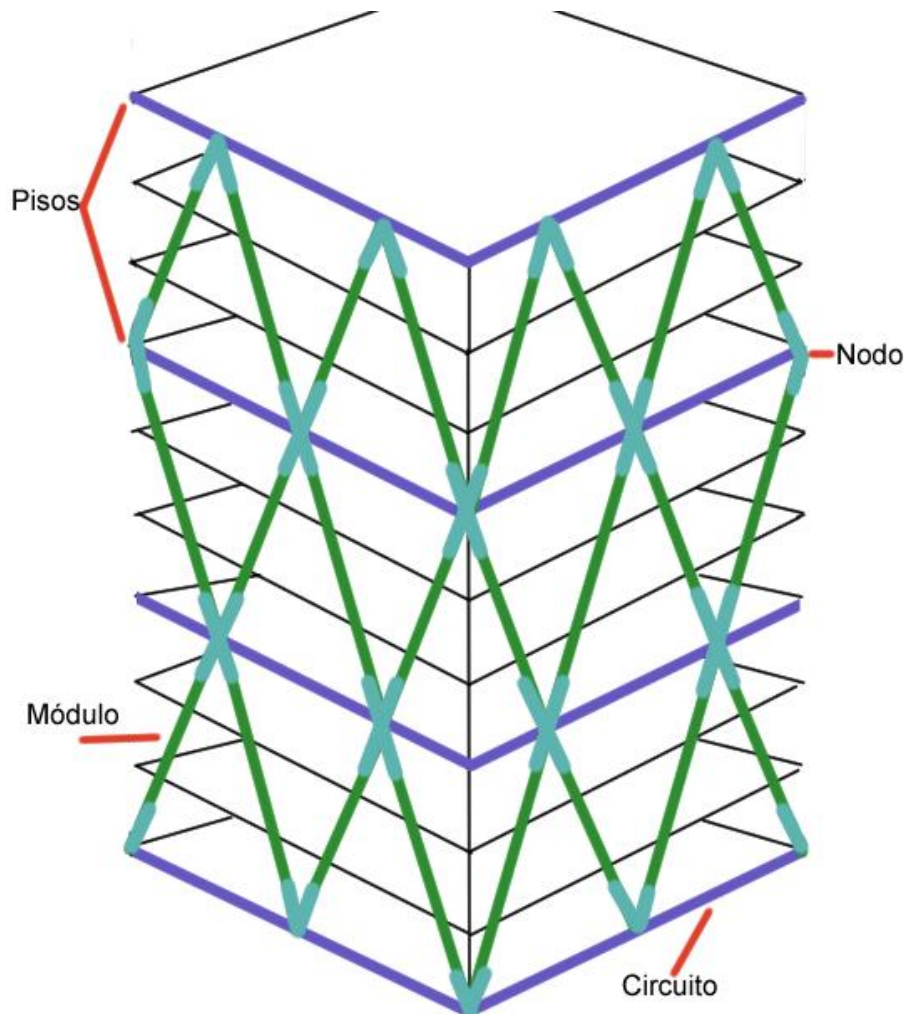
En términos generales puede describirse a este sistema que a diferencia de las estructuras tridimensionales tales como armaduras o geodésicas como una estructura diagonal de una sola triangulación. De acuerdo a Mirniazmandan et al. (2018) esta “consiste en la rejilla perimetral formada por una serie del sistema de vigas trianguladas” (p. 2). Para Moon (2011) la describe como “una viga vertical en voladizo sobre el suelo y se subdivide longitudinalmente en módulos de acuerdo con el patrón repetitivo de Diagrid. Cada módulo está definido por un solo nivel de Diagrids que se extienden sobre múltiples pisos” (p. 1344). No obstante, hay que destacar que las estructuras de marco reforzado exterior y las estructuras Diagrid no son lo mismo, puesto que las primeras no soportan las cargas por gravedad, a diferencia del sistema Diagrid el cual está diseñado tanto para soportarlas como para disminuir el número necesario de elementos verticales en la edificación debido a que los módulos se extienden sobre varios

niveles. Además, que la metodología del diseño de sus ángulos está estrechamente relacionada con la altura del edificio.

En la Figura 13 se presenta un diagrama de la configuración del sistema, basada en un *módulo* diagonal extendido sobre varios niveles con un punto donde se cruzan unos con otros llamados *nodos* los cuales a su vez crean un *circuito* que rigidiza y estabiliza la estructura. Por lo tanto, esta modulación permite la falta de columnas verticales en las esquinas de la edificación.

Figura 13

Estructura del Sistema Diagrid



Asimismo, esta configuración también tiene la particularidad de redistribuir su carga en caso de que algún miembro falle sin pérdida de seguridad estructural. Además, de manera

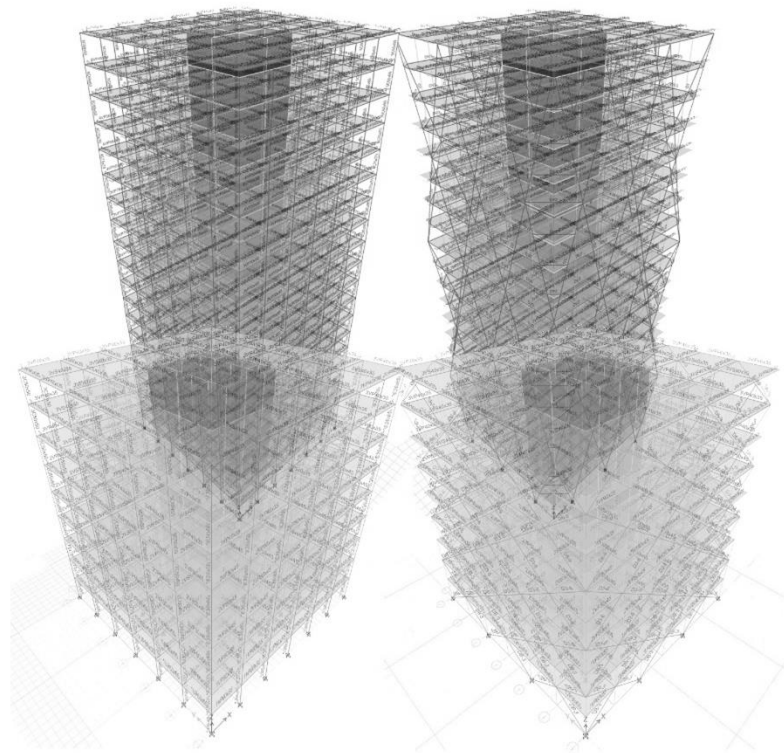
puntual el sistema estructural presenta como se ha mencionado anteriormente una serie de ventajas que de acuerdo a Fu (2018) y Boake (2014) pueden resumirse en:

- La combinación de gravedad y sistema de estabilidad lateral proporciona eficiencia en el diseño, por lo tanto, reduce el uso de acero.
- La configuración triangulada mejora la estabilidad, a través de la máxima resistencia contra la torsión. Por lo tanto, reduce el tamaño del núcleo.
- Reduce el peso de la estructura, ahorrando así costos en la cimentación.
- Las estructuras son más robustas debido a la redundancia de los miembros diagonales, ya que pueden transferir fácilmente la carga desde la parte fallada a otras partes de la estructura.
- La reducción en el requerimiento de diseño de espacio para el cliente.
- Uso reducido de material estructural que se traduce en ahorros ambientales
- Capacidad de proporcionar soporte estructural para un sinnúmero de formas

Por lo tanto, la aplicación de este sistema estructural en un comparativo antisísmico para la presente investigación podría permitir dar pauta a la reurbanización de los centros urbanos bajo el nuevo esquema de edificios contemporáneos del nuevo siglo, dotando así elementos arquitectónicamente visuales y estructuralmente seguros.

CAPÍTULO 4

ANÁLISIS DE MODELOS ESTRUCTURALES



4 Análisis de modelos estructurales

En la presente investigación se analizará el comportamiento antisísmico de 4 modelos, elaborados con el software de ETABS bajo los diseños estructurales de concreto armado de marcos ortogonales de tipo tradicional y Diagrid, comparadas en pares de 9 y 20 niveles de altura con las condicionantes de sitio desarrolladas en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. Por lo tanto, la macro localización sísmica del emplazamiento corresponde de acuerdo a MDS-CFE-15 a la zona C, con tipología de terreno II, T_a de 0.2, T_b de 1.4, T_c de 2.0, k de 1.0 y r de 2/3. Asimismo, la micro localización sísmica determinada por Ordoñez (2013) clasifica el emplazamiento como zona con efecto de sitio la cual, presenta periodos de 0.1, 0.2, y 0.3s.

De igual manera, en las consideraciones generales de todos los modelos, los métodos de análisis tomarán en cuenta el agrietamiento de la sección de vigas y columnas con lo estipulado en la NTC-CDMX-17.

Tabla 1

Momentos de inercia

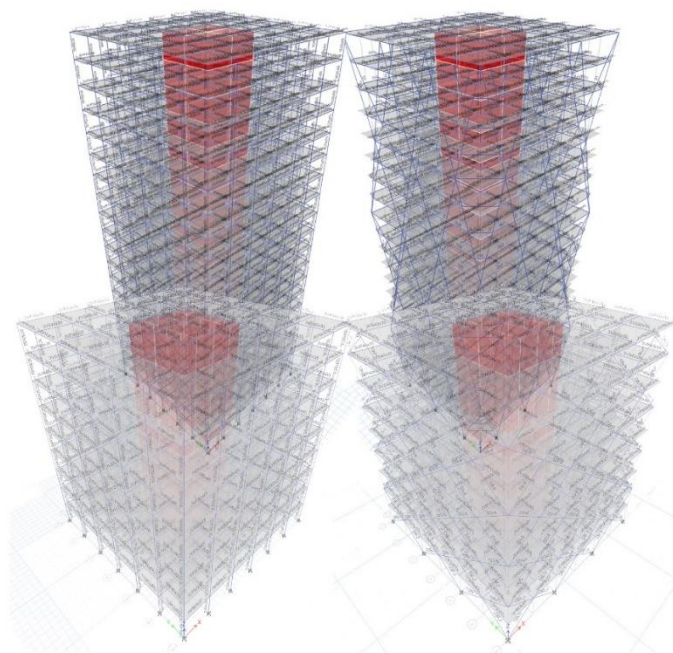
Elemento	Momento de Inercia
Vigas y muros agrietados	0.50 I_g
Columnas agrietadas	0.70 I_g
Columnas y muro no agrietados	I_g

Así como el porcentaje de factor de zona rígida en los nodos de 0.7 en elementos de concreto armado y de 0.5 en acero estructural.

4.1 Modelos EV-A01/EV-A02 y EV-B01/EV-B02

4.1.1 Clasificación y uso de la estructura

Estructuras esqueléticas porticas de concreto armado y acero estructural (aplicable solo en EV-A02 y EV-B02) de 9 pisos o planta baja más 8 niveles con un núcleo central de muro de concreto armado de 35 cm de espesor para los modelos EV-A01/EV-A02; asimismo para los modelos EV-B01/EV-B02, siguiendo el mismo diseño estructural, presentaran en diferencia edificaciones de 20 niveles con un núcleo central de concreto armado de 45 cm de espesor. Los modelos EV-A01/EV-B01 presentan el uso de estructuras de marco tradicional, es decir, ortogonales monolíticas, a diferencia de los modelos EV-A02/EV-B02 los cuales exhiben en sus marcos perimetrales la estructura Diagrid con acero estructural. Ambos grupos de modelos poseen el tipo de uso habitacional y acorde a MDS-CFE-15 punto 3.1.2.2 la clasificación de las estructuras son tipo B1, estructuras con altura mayor que $H > 13\text{m}$ o área total construida mayor que $A_c > 400\text{m}^2$.



4.1.2 Análisis de cargas permanentes o muertas

De acuerdo a las Normas técnicas complementarias del reglamento de construcción de CDMX-2017, destaca en el apartado 5.1 cargas muertas o permanentes como la siguiente definición y evaluación:

“Se considerarán como cargas muertas o permanentes los pesos de todos los elementos constructivos, de los acabados y de todos los elementos que ocupan una posición permanente y tienen un peso que no cambia sustancialmente con el tiempo.

Para la evaluación de las cargas muertas o permanentes se emplearán las dimensiones especificadas de los elementos constructivos y los pesos unitarios de los materiales. Para estos últimos se utilizarán valores mínimos probables cuando sea más desfavorable para la estabilidad de la estructura considerar una carga muerta menor, como en el caso de volteo, flotación, lastre y succión producida por viento. En otros casos se emplearán valores máximos probables” (NTC-CDMX-17).

Tabla 2

Análisis de carga "Losa de entrepiso"

Losa de entrepiso				
1	Loseta Cerámica		18.00	Kg/m ²
2	Pegazulejo	(0.02 m x 1,500 Kg/m ³)	22.50	Kg/m ²
3	Losa	(0.15 m x 2,400 Kg/m ³)	360.00	kg/m ²
4	Aplanado	(0.015 m x 2,100 kg/m ³)	31.50	Kg/m ²
5	Carga Adic. Art. 197		40.00	Kg/m ²
6	Muros interiores		300.00	Kg/m ²
		Total, carga permanente o muerta	412.00	Kg/m²

Nota: El peso de la losa se considera como peso propio por el software de análisis

Tabla 3*Análisis de carga "Losa de azotea"*

Losa de azotea				
1	Impermeabilizante		35.00	Kg/m ²
2	Sobrepiso de 5cm de espesor		110.00	Kg/m ²
3	Mortero	(0.02 m x 1,500 Kg/m ³)	42.00	Kg/m ²
4	Losa	(0.15 m x 2,400 Kg/m ³)	360.00	kg/m ²
5	Aplanado	(0.015 m x 2,100 kg/m ³)	31.50	Kg/m ²
6	Carga Adic. Art. 197		40.00	Kg/m ²
7	Instalaciones		20.00	Kg/m ²
		Total, carga permanente o muerta	278.50	Kg/m²

Nota: El peso de la losa se considera como peso propio por el software de análisis

4.1.3 Cargas vivas unitarias y cargas de servicio

Asimismo, la NTC-CDMX-2017, determina en el cuadro 6.1.1 las cargas vivas unitarias de acuerdo al destino de piso o cubierta. Para dicha investigación se ha aplicado el inciso a y h.

Tabla 4

Cargas vivas unitarias

Cargas vivas unitarias, kN/m ² (Kg/m ²)				
Destino de piso o cubierta		W	Wa	Wm
a	Habitación	0.8 (80)	1.0 (100)	1.9 (190)
h	Azotea pendiente no mayor a 5%	0.15 (15)	0.7 (70)	1.0 (100)

Además, para la aplicación de las cargas vivas unitarias se deberá tomar en consideración las siguientes disposiciones:

- 1) La carga viva máxima W_m se deberá emplear para diseño estructural por fuerzas gravitacionales y para calcular asentamientos inmediatos en suelos, así como para el diseño estructural de los cimientos ante cargas gravitacionales.
- 2) La carga instantánea W_a se deberá usar para diseño sísmico y por viento y cuando se revisen distribuciones de carga más desfavorables que la uniformemente repartida sobre toda el área.
- 3) La carga media W se deberá emplear en el cálculo de asentamientos diferidos y para el cálculo de flechas diferidas.

Por lo tanto, las cargas de servicio de ambos modelos se determinan con la suma de las cargas permanentes, sumadas por el factor de carga correspondiente, acumuladas desde el extremo superior del edificio hasta el entrepiso considerado.

Tabla 5*Carga de servicio de entresijos*

Carga de servicio de entresijos			
W	Cargas vivas unitarias	Carga permanente	Total
Wga	190	412.00 Kg/m ²	602.00 Kg/m²
Wsa	100	412.00 Kg/m ²	512.00 Kg/m²
Ws	80	412.00 Kg/m ²	492.00 Kg/m²

Tabla 6*Carga de servicio de azotea*

Carga de servicio de azotea			
W	Cargas vivas unitarias	Carga permanente	Total
Wga	100	278.50 Kg/m ²	378.50 Kg/m²
Wsa	70	278.50 Kg/m ²	348.50 Kg/m²
Ws	15	278.50 Kg/m ²	293.50 Kg/m²

4.1.4 Factores de carga y combinaciones de carga

Conforme a la NTC-CDMX-2017, en el apartado 3.4 define un factor de 1.3 para cargas permanentes y 1.5 para cargas variables, de igual manera en relación a las cargas vivas por sismo y viento se les aplicara un factor de 1.1 y/o factor unitario.

El siguiente cuadro muestran los casos de cargas y las combinaciones de carga de acuerdo a la clasificación de las estructuras en tipo B, donde:

Tabla 7

Casos de carga

Casos de carga			
Nombre	Tipo de caso	Nombre de carga	Tipo de carga
PP	Linear Static	Peso propio	Dead
CM	Linear Static	Carga muerta	Super dead
CVM	Linear Static	Carga viva máxima	live
CVA	Linear Static	Carga viva accidental	Reducible live
SX	Espectro de respuesta (SD)	U1	Aceleración
SY	Espectro de respuesta (SD)	U2	Aceleración
DX	Espectro de respuesta (SS)	U1	Aceleración
DY	Espectro de respuesta (SS)	U2	Aceleración

Nota: (SS) sismo de servicio, (SD) sismo de diseño

Tabla 8*Combinaciones de carga*

Combinaciones de carga	
1	1.3 CM
2	1.3PP + 1.3 CM + 1.5 CVM
3	1.1 PP + 1.1 CM + 1.1 CVa + 1.1 SX + 0.33 SY
4	1.1 PP + 1.1 CM + 1.1 CVa - 1.1 SX - 0.33 SY
5	1.1 PP + 1.1 CM + 1.1 CVa + 1.1 SX - 0.33 SY
6	1.1 PP + 1.1 CM + 1.1 CVa - 1.1 SX + 0.33 SY
7	1.1 PP + 1.1 CM + 1.1 CVa + 0.33 SX + 1.1 SY
8	1.1 PP + 1.1 CM + 1.1 CVa - 0.33 SX - 1.1 SY
9	1.1 PP + 1.1 CM + 1.1 CVa + 0.33 SX - 1.1 SY
10	1.1 PP + 1.1 CM + 1.1 CVa - 0.33 SX + 1.1 SY
11	1 PP + 1 CM + 1 CVa (+-) 1 SX (+-) 0.3 SY
12	1 PP + 1 CM + 1 CVa (+-) 0.3 SX (+-) 1 SY

4.1.5 Espectro de diseño por sismo y factor de comportamiento sísmico

Para el análisis sísmico se ha aplicado el método de análisis dinámico modal que de acuerdo al Reglamento de Construcción para el Municipio de Tuxtla Gutiérrez (2017) y MDS-CFE-15, la edificación se encuentra en zona C con terreno Tipo II. Por lo tanto, considerando la alta sismicidad del emplazamiento conforme a la NTC-Sismo 2020, se aplica de igual manera en ambos grupos de modelos comportamientos de ductilidad alta, tomando en cuenta el uso aplicable estrictamente a dicha investigación y no a modelos ejecutados en sitio. Asimismo, con base a la tabla 4.2.1 todos los elementos pertenecen a un sistema dual con $Q=4$ y $\gamma_{max}=0.020$.

Los espectros de respuesta y diseño se desarrollaron bajo las normativas y parámetros sísmicos de NTC-CDMX-17, NTC-Sismo-20, MDS-CFE-15 y el programa PRODISIS.

Tabla 9

Parámetros sísmicos para espectro de diseño y respuesta

Parámetros sísmicos		Normativa
Zona	C	MDOC-CFE-15 Tabla 1.12
Tipo de terreno	II	
Periodo característico T_a (s)	0.20	
Periodo característico T_b (s)	1.40	
Periodo característico T_c (s)	2.00	
k	1.00	
r	2/3	

Tabla 10

Coefficientes de capacidad de disipación de energía para EV-A01 y EV-A02

Coeficientes de capacidad de disipación de energía		
		Normativa
Amortiguamiento ξ	0.05	MDOC-CFE-15 Tabla 3.1
Factor comportamiento sísmico $Q=4$	4.00	NTC-CDMX-17 Tabla 4.2.1
Corrección por irregularidad α	1	MDOC-CFE-15 Tabla 3.2
Factor reductor por sobrerresistencia R_o	2	MDOC-CFE-15 3.3.1.3
Factor de redundancia ρ	1	MDOC-CFE-15 3.3.1.4

Gráfica 1

Espectros de diseño y respuesta E-9

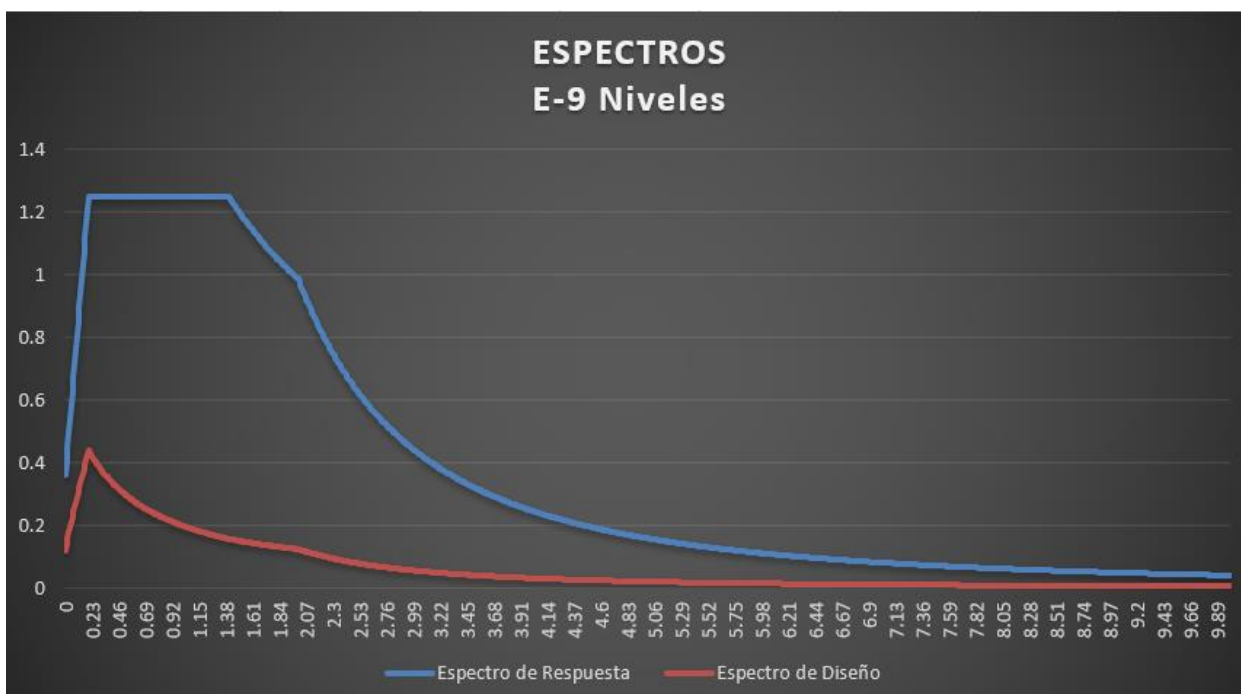


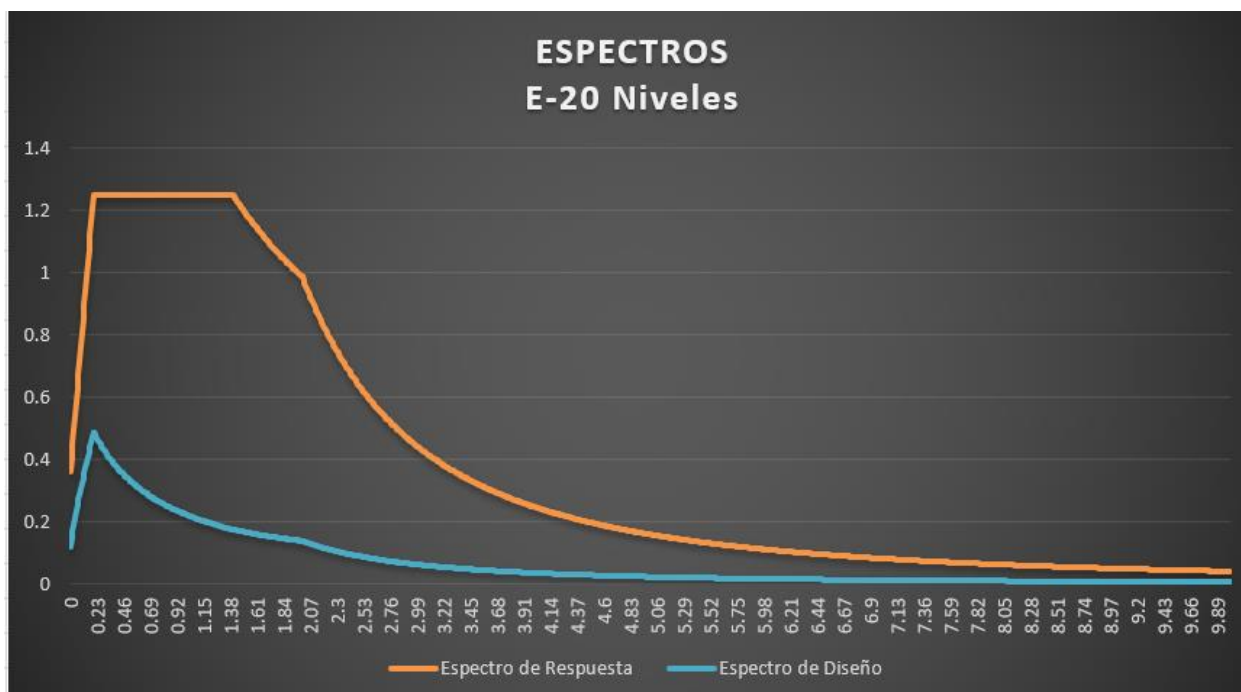
Tabla 11

Coefficientes de capacidad de disipación de energía para EV-B01 y EV-B02

Coeficientes de capacidad de disipación de energía		
		Normativa
Amortiguamiento ξ	0.05	MDOC-CFE-15 Tabla 3.1
Factor comportamiento sísmico $Q=4$	4.00	NTC-CDMX-17 Tabla 4.2.1
Corrección por irregularidad α	0.9	MDOC-CFE-15 Tabla 3.2
Factor reductor por sobrerresistencia R_o	2	MDOC-CFE-15 3.3.1.3
Factor de redundancia ρ	1	MDOC-CFE-15 3.3.1.4

Gráfica 4

Espectros de diseño y respuesta E-20



4.1.6 Modelos estructurales

4.1.6.1 EV-A01/EV-A02

Especificaciones de los materiales

- Concreto clase 1, $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$ (25 MPa) que cumple con la norma NMX-C-155, columnas, vigas, zapatas, contra trabes, losas de concreto.
- Acero corrugado de alta resistencia $F_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ o 412 MPa
- Acero A992 grado 50 en perfiles estructurales $F_y = 3515 \text{ kg/cm}^2$, $F_u = 4570$ y densidad de 7850 kg/m^3

Configuración general de los edificios

Tabla 12

Datos generales de los modelos

Dimensión de la planta base (Total) m	30*30
Dimensión de la planta base (Parcial) m	5*5
Altura total m	36
Altura por piso	4
Numero de niveles	9
Dimensiones del núcleo m	10

Configuración de los elementos

Ambos modelos presentan el mismo diseño de elementos para mantener la correlación de los resultados obtenidos. Los modelos se denominarán **EV-A01** a la estructura de marco tradicional y de igual manera como **EV-A02** al aplicado con el sistema Diagrid.

Tabla 13

Datos específicos del modelo EV-A01

	Columna				Viga			Losa nervada 2 dir	Núcleo
Material	Concreto								
Tipo	f'c= 250 kg/cm2								
Nomenclatura	C1	C2	C3	C4	V1	V2	V3	LN	MC
Dimensiones cm	70*70	60*60	50*50	90*90	60*55	50*45	40*35	21	35
Nivel	2-3	4-6	7-9	1	1-3	4-6	7-9	1-9	1-9

Tabla 14

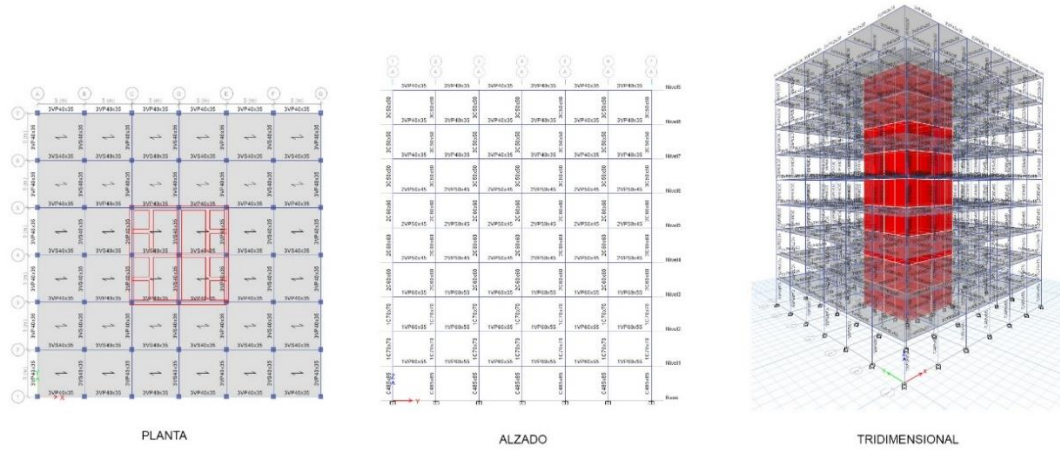
Datos específicos del modelo EV-A02

	Columna				Viga			Losa nervada 2 dir	Núcleo
Material	Concreto								
Tipo	f'c= 250 kg/cm2								
Nombre	C1	C2	C3	C4	V1	V2	V3	LN	MC
Dimensiones cm	70*70	60*60	50*50	90*90	60*55	50*45	40*35	21	35
Nivel	2-3	4-6	7-9	1	1-3	4-6	7-9	1-9	1-9
Material	Acero estructural (Perfil W)								
Tipo	A992Fy50								
Nombre	D								
Dimensiones in x lb/ft	14*398								
Nivel	1-9								

Modelo EV-A01

Figura 15

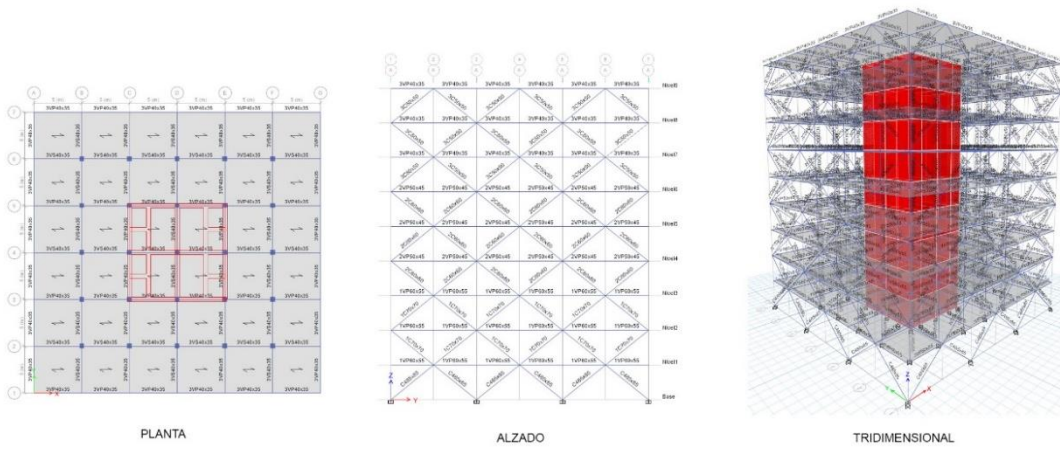
Modelo de marco tradicional



Modelo EV-A02

Figura 18

Modelo Diagrid



4.1.6.2 EV-B01/EV-B02

Especificaciones de los materiales

- Concreto clase 1, $f'c= 250 \text{ kg/cm}^2$ (25 MPa) que cumple con la norma NMX-C-155, columnas, vigas, zapatas, contra trabes, losas de concreto.
- Concreto clase 1, $f'c= 500 \text{ kg/cm}^2$ (25 MPa) que cumple con la norma NMX-C-155, columnas, vigas, zapatas, contra trabes, losas de concreto.
- Acero corrugado de alta resistencia $Fy= 4200 \text{ kg/cm}^2$ o 412 MPa
- Acero A992 grado 50 en perfiles estructurales $Fy=3515 \text{ kg/cm}^2$, $Fu= 4570$ y densidad de 7850 kg/m^2

Configuración general de los edificios

Tabla 15

Datos generales de los modelos

Dimensión de la planta base (Total) m	30*30
Dimensión de la planta base (Parcial) m	5*5
Altura total m	80
Altura por piso	4
Numero de niveles	20
Dimensiones del núcleo m	10*10

Los modelos actuales de 20 niveles por falta de tiempo en el proyecto de investigación solo contarán con los datos de sismo en los análisis, por lo que para actualizaciones futuras en la investigación se aplicará debidamente los estudios sobre viento.

Configuración de los elementos

Los modelos **EV-B01** de Marco Tradicional y **EV-B02** de sistema Diagrid mantienen casi en su totalidad la misma estructura con la diferencia de los elementos perimetrales Diagrid del modelo **EV-B02**. Y con la diferencia de los modelos A al ser edificios de 20 niveles.

Tabla 16

Datos específicos del modelo EV-B01

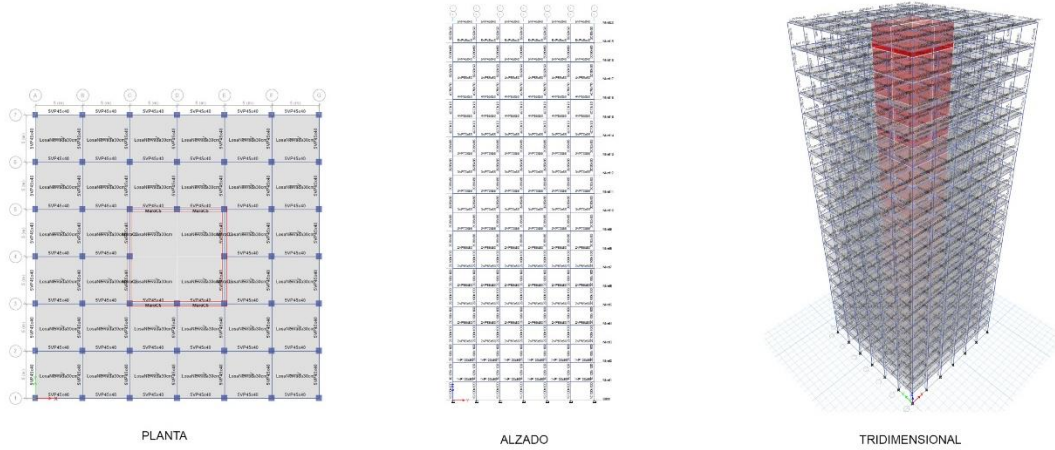
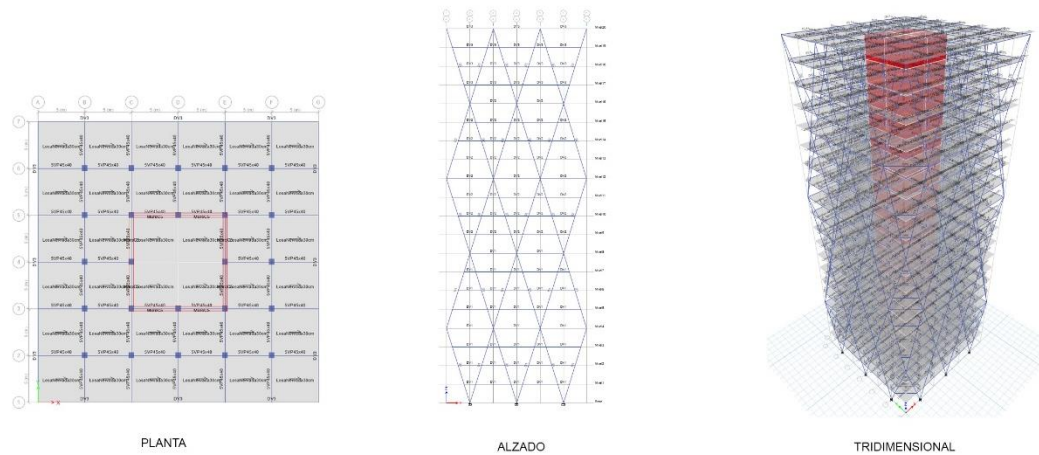
	Columna					Viga					Losa nervada 2 dir	Núcleo
Material	Concreto											
Tipo	f'c= 250 kg/cm ²											
Nombre	C1	C2	C3	C4	C5	V1	V2	V3	V4	V5	LN	-
Dimensiones cm	120 * 1.20	100 * 100	85 * 85	70 * 70	60 * 60	100 * 90	85 * 80	70 * 65	55 * 50	45 * 40	30	-
Nivel	1 - 2	3 - 8	9 - 14	15 - 17	18 - 20	1 - 2	3 - 8	9 - 14	15 - 17	18 - 20	1-20	-
Material	Concreto											
Tipo	f'c= 500 kg/cm ²											
Nombre	C1 esp	C2 esp	C3 esp	C4 esp	C5 esp	-	-	-	-	-	-	MC
Dimensiones cm	135 * 135	135 * 135	100 * 100	70 * 70	60 * 60	-	-	-	-	-	-	45
Nivel	1 - 2	3 - 8	9 - 14	15 - 17	18 - 20	-	-	-	-	-	-	1-20

Tabla 17

Datos específicos del modelo EV-B02

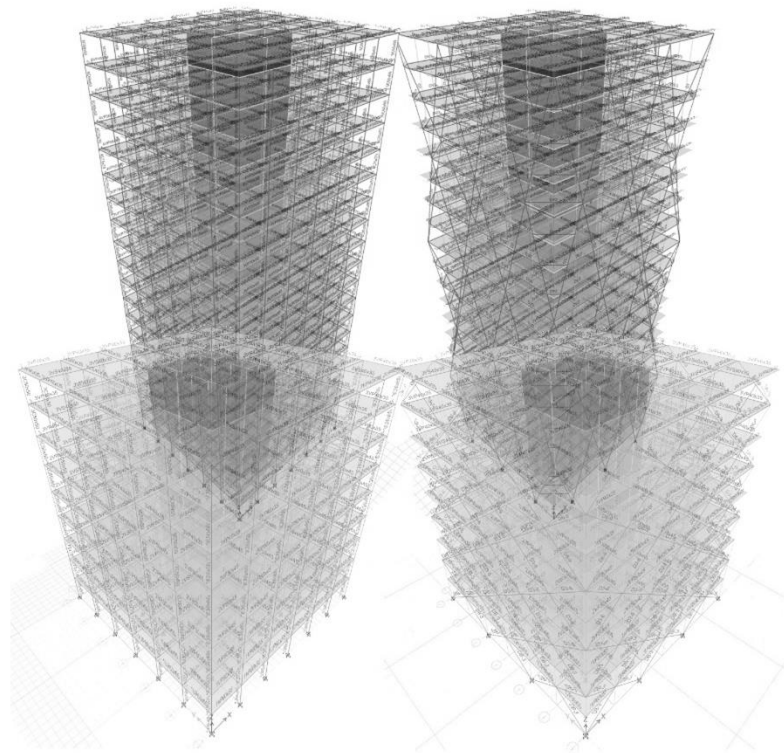
	Columna					Viga					Losa nervada 2 dir	Núcleo
Material	Concreto											
Tipo	f'c= 250 kg/cm ²											
Nombre	C1	C2	C3	C4	C5	V1	V2	V3	V4	V5	LN	-
Dimensiones cm	120	100	85	70	60	100	85	70	55	45	30	-
	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*		
	1.20	100	85	70	60	90	80	65	50	40		
Nivel	1	3	9	15	18	1	3	9	15	18	1-20	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	2	8	14	17	20	2	8	14	17	20		
Material	Concreto											
Tipo	f'c= 500 kg/cm ²											
Nombre	C1	C2	C3	C4	C5	-	-	-	-	-	-	MC
	esp	esp	esp	esp	esp							
Dimensiones cm	135	135	100	70	60	-	-	-	-	-	-	45
	*	*	*	*	*							
	135	135	100	70	60							
Nivel	1	3	9	15	18	-	-	-	-	-	-	1-20
	-	-	-	-	-							
	2	8	14	17	20							
Material	Acero estructural (Perfil W)											
Tipo	A992Fy50											
Nombre	D1	D2	D3	-	-	DV1	DV2	DV3	-	-	-	-
Dimensiones in x lb/ft	14	14	14	-	-	14	14	14	-	-	-	-
	*	*	*			*	*	*				
	730	342	132			283	159	132				
Nivel	1	9	17	-	-	1	9	17	-	-	-	-
	-	-	-			-	-	-				
	8	16	20			8	16	20				

Tanto para el núcleo de concreto armado como para las columnas perimetrales a este se ha usado concreto f'c 500 kg/cm² en ambos modelos y acero estructural para el diseño del Diagrid en EV-B02.

Modelo EV-B01**Figura 21***Modelo de marco tradicional***Modelo EV-B02****Figura 24***Modelo Diagrid*

CAPÍTULO 5

RESULTADOS Y CONCLUSIONES



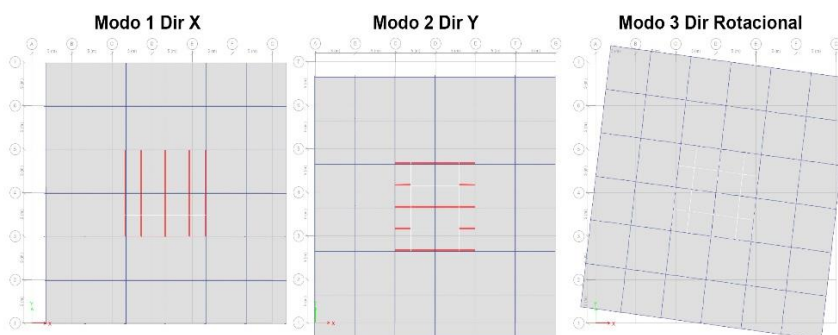
5 Resultados y conclusiones

Los resultados obtenidos para los presentes modelos de la investigación determinan los datos comparativos de análisis sísmicos con base a las normativas establecidas en capítulos anteriores. Dichos resultados comprenden periodos modales, distorsiones de entrepiso y resultados de revisión límite de prevención de colapso y de estado límite de limitación de daños. Asimismo, cabe destacar que los casos de carga ejecutados se efectúan bajo las especificaciones de revisión de estados límites de servicio, siendo estos factores unitarios aplicados a las combinaciones. Para los efectos de las distorsiones de entrepisos se utilizaron las combinaciones de carga número 11 y 12 (Véase *Tabla 8*), con sus variables aplicadas en dirección Y y X respectivamente.

5.1 Periodos modales

Figura 26

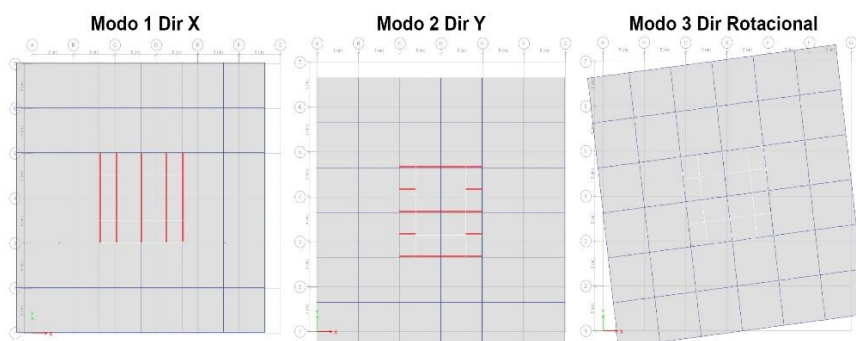
Periodos modales "Marco Tradicional EV-A01" obtenidos del modelo ETABS



Periodos modales		
Marco tradicional (EV-A01)		
Modal 1	Modal 2	Modal 3
Dir X	Dir Y	Dir Rotacional
0.477	0.470	0.458

Figura 27

Periodos modales "Diagrid EV-A02" obtenidos del modelo ETABS



Periodos modales		
Sistema Diagrid (EV-A02)		
Modal 1	Modal 2	Modal 3
Dir X	Dir Y	Dir Rotacional
0.369	0.363	0.185

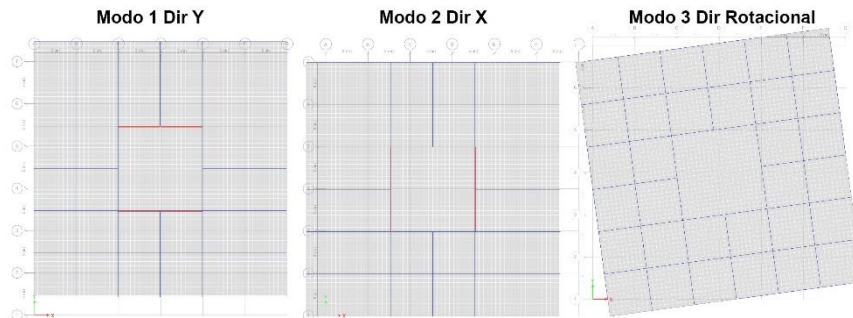
Tabla 18

Comparativo de periodos modales (EV-A01 y EV-A02)

Comparativo de periodos modales				
Modelos EV-A01 y EV-A02				
		Marco tradicional EV-A01	Sistema Diagrid EV-A02	Comparativo
		Seg	Seg	Seg
Modo 1	Dir X	0.477	0.369	0.108
Modo 2	Dir Y	0.470	0.363	0.107
Modo 3	Dir Rotacional	0.458	0.185	0.273

Figura 28

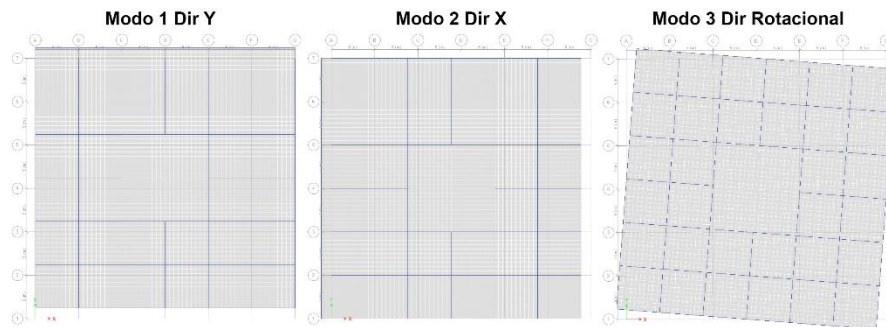
Periodos modales "Marco Tradicional EV-B01" obtenidos del modelo ETABS



Periodos modales		
Marco tradicional (EV-B01)		
Modal 1	Modal 2	Modal 3
Dir Y	Dir X	Dir Rotacional
1.263	1.263	0.827

Figura 29

Periodos modales "Diagrid EV-B02" obtenidos del modelo ETABS



Periodos modales		
Sistema Diagrid (EV-B02)		
Modal 1	Modal 2	Modal 3
Dir Y	Dir X	Dir Rotacional
1.066	1.066	0.576

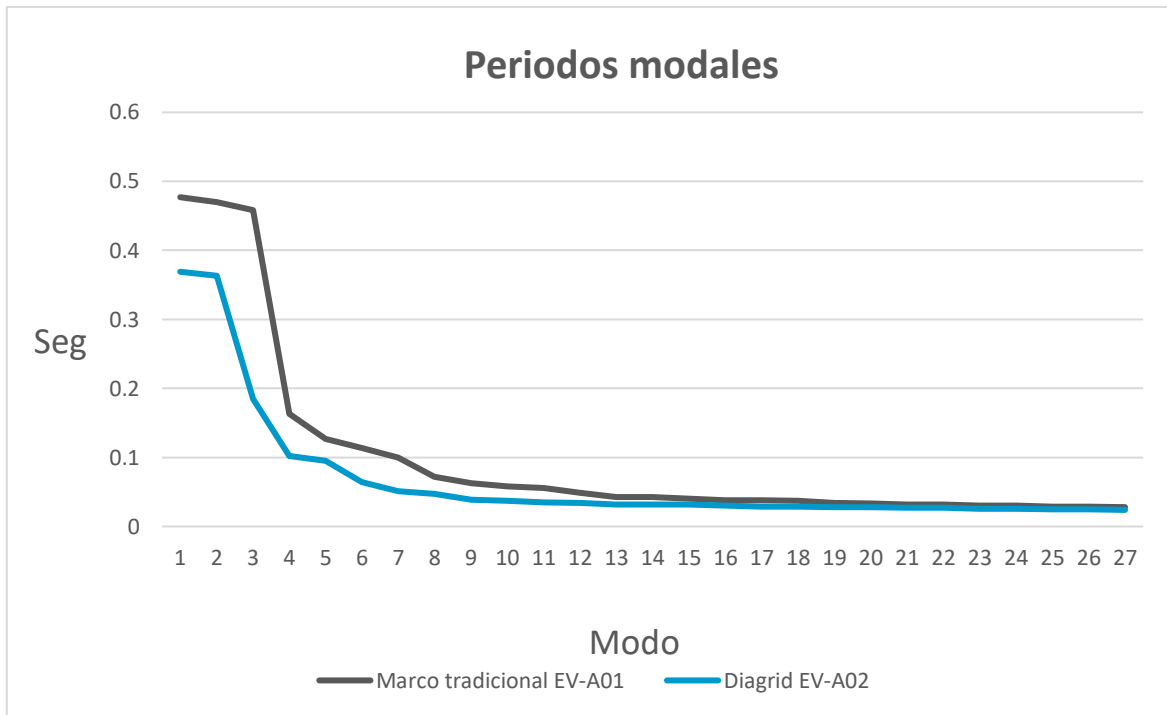
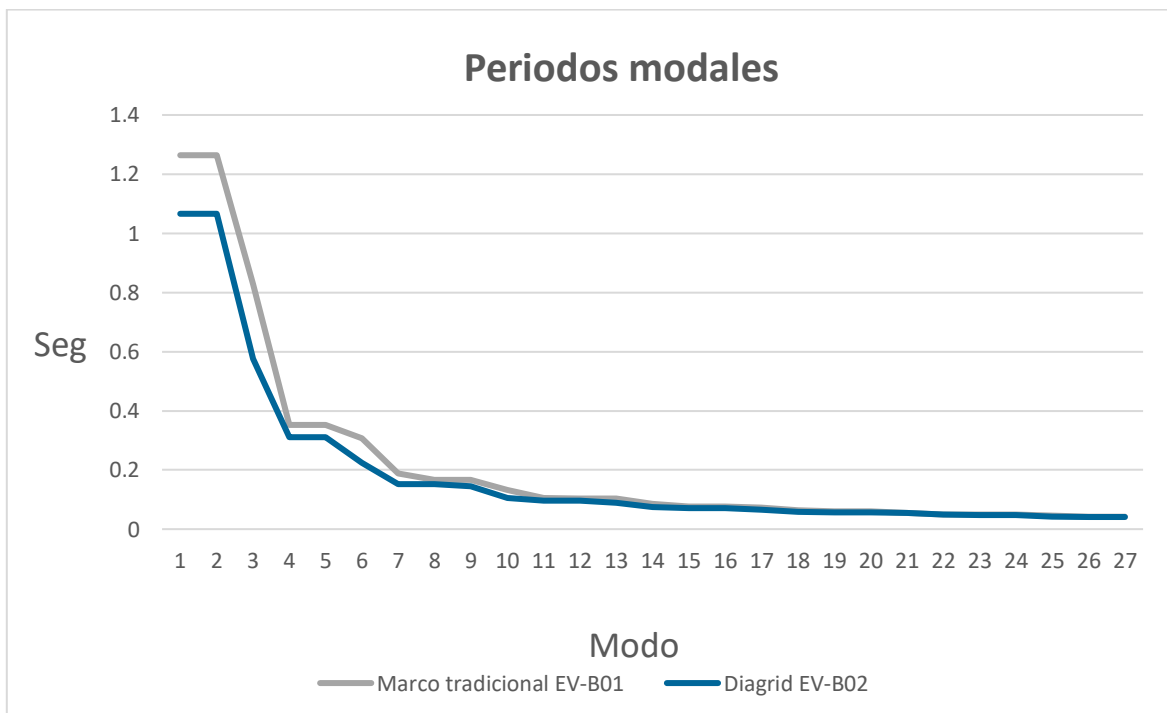
Tabla 19

Comparativo de periodos modales (EV-B01 y EV-B02)

Comparativo de periodos modales				
Modelos EV-B01 y EV-B02				
		Marco tradicional EV-B01	Sistema Diagrid EV-B02	Comparativo
		Seg	Seg	Seg
Modo 1	Dir Y	1.263	1.066	0.198
Modo 2	Dir X	1.263	1.066	0.198
Modo 3	Dir Rotacional	0.827	0.576	0.252

Sin embargo, es importante señalar que ambos sistemas estructurales si presentan variabilidad sobre todo en el modo 3 (*Véase Tabla 18 y 19*), esto se debe a la configuración del sistema Diagrid actuando como una malla que limita la torsión de la estructural en el sentido rotacional.

Asimismo, las siguientes graficas definen los datos compactos de la comparativa de todos los modos de vibrar de los modelos, presentando por una diferencia de alrededor del 22% y 59% en los primeros periodos modales a favor del modelo EV-A02 en el grupo A y para el modelo EV-B02 del grupo B comprende una diferencia del 16% y 30%. Siendo el sistema Diagrid que demuestra mayor eficacia en cuanto a comportamiento antisísmico.

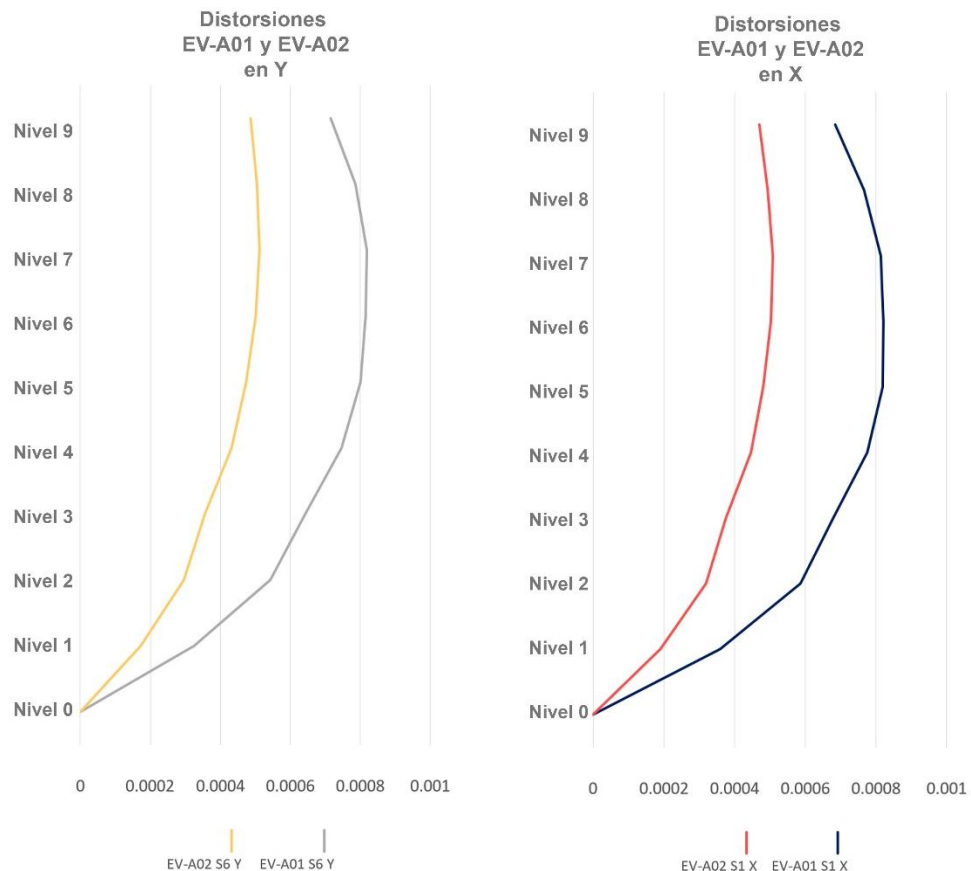
Gráfica 6*Periodos modales EV-A01/EV-A02***Gráfica 7***Periodos modales EV-B01/EV-B02*

5.2 Distorsiones de entropiso

Las distorsiones o también denominadas derivas comprenden a grandes rasgos a la relación del desplazamiento lateral entre dos niveles consecutivos por la altura del espacio analizado. Normalmente la distorsión alrededor de los pisos intermedios es más crítica que en la parte superior, como se puede apreciar en la gráfica 3 en la que por normativa se aplicaron combinaciones de carga de acuerdo al inciso d del apartado 3.4 de la NTC-CDMX-17. En ambos grupos se aprecia simple vista que las derivas presentadas en los modelos EV-A01 y EV-B01 tanto en X como en Y sobrepasan en gran medida los resultados obtenidos de los modelos EV-A02 y EV-B02, demostrando que, por su sistema estructural, Diagrid mitiga los desplazamientos estableciendo una mejor respuesta antisísmica.

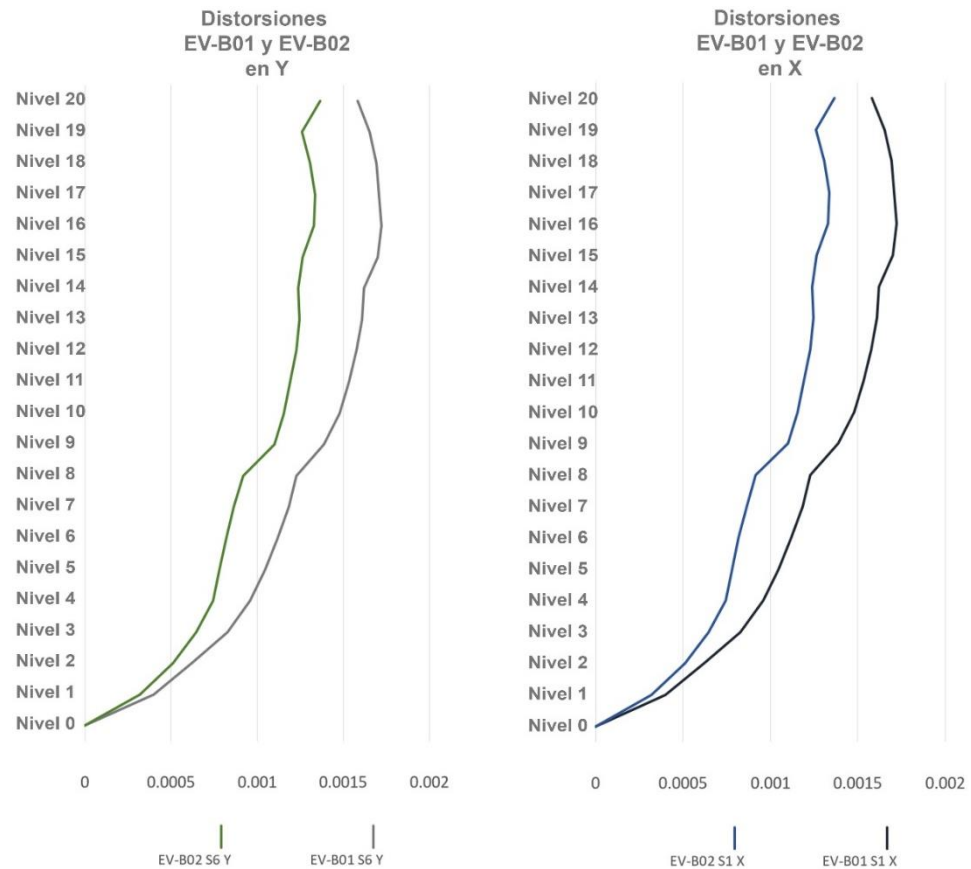
Gráfica 8

Distorsiones de entropiso (SY y SX) entre EV-A01 y EV-A02



Gráfica 9

Distorsiones de entrepiso (SY y SX) entre EV-B01 y EV-B02



De igual manera, la NTC-Sismo-20 en el apartado 1.8 estipula que es necesario revisar los desplazamientos y distorsiones bajo las condiciones de diseño de estado límite de prevención de colapso y estado límite de limitación de daños; donde para la primera condición determina que:

“Las distorsiones obtenidas con el espectro de diseño definido en el Capítulo 3, multiplicadas por QR, no excedan los valores especificados para la distorsión límite (γ_{max}) en las tablas 4.2.1, 4.2.2 y 4.2.3, según el sistema estructural que se haya adoptado”. (NTC-Sismo-20)

Así como en la revisión de limitación de daños establece que:

“Las distorsiones de entrepiso determinadas como se indica en el inciso 3.1.1, no excedan 0.002, salvo que todos los elementos no estructurales sean capaces de soportar deformaciones apreciables o estén separados de la estructura principal de manera que no sufran daños por sus deformaciones. En tal caso, el límite en cuestión será 0.004.” (NTC-Sismo-20)

Por lo tanto, para las revisiones es necesario calcular en primer lugar tanto el periodo fundamental de la estructura como el factor de sobre-resistencia para obtener los datos necesarios en el análisis.

5.2.1 Cálculo del periodo de la estructura

T se tomará igual a:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\sum W_i X_i^2}{g \sum F_i X_i}}$$

Donde:

T, periodo de vibración natural de la estructura

X_i , Desplazamiento del nivel i , relativo a la base de la estructura, en dirección a la fuerza

W_i , peso de la masa

F_i , fuerza actuante horizontal en el nivel

G , aceleración de la gravedad

Tabla 20

Periodo fundamental EV-A01 en X

EV-A01							
X							
Nivel	h	Wi	Wi*h	Xi	Fi	Wi*Xi	Fi*Xi
9	36	114.43559	4119.68124	0.000685	1205.6161	2.821981649	0.825847029
8	32	120.48141	3855.40512	0.000766	2381.0137	2.953240322	1.823856494
7	28	119.85716	3356.00048	0.000813	3556.4112	2.72842839	2.891362306
6	24	129.89607	3117.50568	0.000821	4856.1289	2.559472163	3.986881827
5	20	132.53428	2650.6856	0.000819	6155.8466	2.170911506	5.041638365
4	16	132.53428	2120.54848	0.000775	7455.5643	1.643425072	5.778062333
3	12	144.47132	1733.65584	0.00068	8902.9206	1.178885971	6.053986008
2	8	147.5892	1180.7136	0.000587	10350.2769	0.693078883	6.07561254
1	4	153.9072	615.6288	0.00036	11934.8555	0.221626368	4.29654798
						16.97105033	36.77379488

T=0.136 s

Tabla 21

Periodo fundamental EV-A01 en Y

EV-A01							
Y							
Nivel	h	Wi	Wi*h	Xi	Fi	Wi*Xi	Fi*Xi
9	36	114.43559	4119.68124	0.000716	1205.6161	2.949691768	0.863221128
8	32	120.48141	3855.40512	0.000786	2381.0137	3.030348424	1.871476768
7	28	119.85716	3356.00048	0.00082	3556.4112	2.751920394	2.916257184
6	24	129.89607	3117.50568	0.000816	4856.1289	2.543884635	3.962601182
5	20	132.53428	2650.6856	0.000802	6155.8466	2.125849851	4.936988973
4	16	132.53428	2120.54848	0.000746	7455.5643	1.581929166	5.561850968
3	12	144.47132	1733.65584	0.000643	8902.9206	1.114740705	5.724577946
2	8	147.5892	1180.7136	0.000543	10350.2769	0.641127485	5.620200357
1	4	153.9072	615.6288	0.000326	11934.8555	0.200694989	3.890762893
						16.94018742	35.3479374

T=0.139 s

Tabla 22

Periodo fundamental EV-A02 en X

EV-A02							
X							
Nivel	h	Wi	Wi*h	Xi	Fi	Wi*Xi	Fi*Xi
9	36	116.72593	4202.13348	0.000471	1244.8251	1.979204869	0.586312622
8	32	124.47961	3983.34752	0.000494	2459.4315	1.967773675	1.214959161
7	28	123.85536	3467.95008	0.000508	3674.038	1.761718641	1.866411304
6	24	133.14294	3195.43056	0.000503	4992.9246	1.607301572	2.511441074
5	20	134.48896	2689.7792	0.000481	6311.8113	1.293783795	3.035981235
4	16	134.48896	2151.82336	0.000446	7630.6979	0.959713219	3.403291263
3	12	145.69768	1748.37216	0.000376	9075.1047	0.657387932	3.412239367
2	8	147.28844	1178.30752	0.00032	10519.5115	0.377058406	3.36624368
1	4	150.39654	601.58616	0.000191	12032.7983	0.114902957	2.298264475
						10.71884507	21.69514418

T=0.141 s

Tabla 23

Periodo fundamental EV-A02 en Y

EV-A02							
Y							
Nivel	h	Wi	Wi*h	Xi	Fi	Wi*Xi	Fi*Xi
9	36	116.72593	4202.13348	0.000487	1244.8251	2.046439005	0.606229824
8	32	124.47961	3983.34752	0.000505	2459.4315	2.011590498	1.242012908
7	28	123.85536	3467.95008	0.000512	3674.038	1.775590441	1.881107456
6	24	133.14294	3195.43056	0.000502	4992.9246	1.604106141	2.506448149
5	20	134.48896	2689.7792	0.000474	6311.8113	1.274955341	2.991798556
4	16	134.48896	2151.82336	0.000432	7630.6979	0.929587692	3.296461493
3	12	145.69768	1748.37216	0.000356	9075.1047	0.622420489	3.230737273
2	8	147.28844	1178.30752	0.000296	10519.5115	0.348779026	3.113775404
1	4	150.39654	601.58616	0.000172	12032.7983	0.10347282	2.069641308
						10.71694145	20.93821237

T=0.144 s

Tabla 24

Periodo fundamental EV-B01 en X

EV-B01							
X							
Nivel	h	Wi	Wi*h	Xi	Fi	Wi*Xi	Fi*Xi
20	80	99.0302	7922.4120	0.001582	1140.498	12.53325578	1.804267836
19	76	122.2746	9292.8681	0.001652	2339.602	15.35181807	3.865022504
18	72	122.2746	8803.7698	0.001694	3538.706	14.91358597	5.994567964
17	68	132.9743	9042.2497	0.001706	4872.69	15.42607795	8.31280914
16	64	136.0285	8705.8246	0.001723	6206.674	15.00013585	10.6940993
15	60	136.0285	8161.7106	0.0017	7540.658	13.87490802	12.8191186
14	56	156.1613	8745.0306	0.001621	9136.4537	14.17569454	14.81019145
13	52	162.7103	8460.9346	0.001608	10732.2494	13.60518277	17.25745704
12	48	162.7103	7810.0934	0.001575	12328.0451	12.30089717	19.41667103
11	44	162.7103	7159.2523	0.001532	13923.8408	10.96797455	21.33132411
10	40	162.7103	6508.4112	0.001479	15519.6365	9.625940165	22.95354238
9	36	162.7103	5857.5701	0.001389	17115.4322	8.136164841	23.77333533
8	32	187.0669	5986.1392	0.001229	19036.101	7.356965077	23.39536813
7	28	195.7206	5480.1760	0.001183	20956.7698	6.483048161	24.79185867
6	24	195.7206	4697.2937	0.001119	22877.4386	5.256271628	25.59985379
5	20	195.7206	3914.4114	0.001045	24798.1074	4.090559913	25.91402223
4	16	195.7206	3131.5291	0.000958	26718.7762	3.000004897	25.5965876
3	12	195.7206	2348.6468	0.000828	28639.445	1.944679584	23.71346046
2	8	218.3930	1747.1442	0.000621	30867.357	1.084976573	19.1686287
1	4	227.0076	908.0304	0.000399	33095.269	0.362304114	13.20501233
						185.4904456	344.4171986

T=0.147 s

Tabla 25

Periodo fundamental EV-B01 en Y

EV-B01							
Y							
Nivel	h	Wi	Wi*h	Xi	Fi	Wi*Xi	Fi*Xi
20	80	99.0302	7922.4120	0.001582	1140.498	12.53325578	1.804267836
19	76	122.2746	9292.8681	0.001652	2339.602	15.35181807	3.865022504
18	72	122.2746	8803.7698	0.001694	3538.706	14.91358597	5.994567964
17	68	132.9743	9042.2497	0.001706	4872.69	15.42607795	8.31280914
16	64	136.0285	8705.8246	0.001723	6206.674	15.00013585	10.6940993
15	60	136.0285	8161.7106	0.0017	7540.658	13.87490802	12.8191186
14	56	156.1613	8745.0306	0.001621	9136.4537	14.17569454	14.81019145
13	52	162.7103	8460.9346	0.001608	10732.2494	13.60518277	17.25745704
12	48	162.7103	7810.0934	0.001575	12328.0451	12.30089717	19.41667103
11	44	162.7103	7159.2523	0.001532	13923.8408	10.96797455	21.33132411
10	40	162.7103	6508.4112	0.001479	15519.6365	9.625940165	22.95354238
9	36	162.7103	5857.5701	0.001389	17115.4322	8.136164841	23.77333533
8	32	187.0669	5986.1392	0.001229	19036.101	7.356965077	23.39536813
7	28	195.7206	5480.1760	0.001183	20956.7698	6.483048161	24.79185867
6	24	195.7206	4697.2937	0.001119	22877.4386	5.256271628	25.59985379
5	20	195.7206	3914.4114	0.001045	24798.1074	4.090559913	25.91402223
4	16	195.7206	3131.5291	0.000958	26718.7762	3.000004897	25.5965876
3	12	195.7206	2348.6468	0.000828	28639.445	1.944679584	23.71346046
2	8	218.3930	1747.1442	0.000621	30867.357	1.084976573	19.1686287
1	4	227.0076	908.0304	0.000399	33095.269	0.362304114	13.20501233
						185.4904456	344.4171986

T=0.147 s

Tabla 26

Periodo fundamental EV-B02 en X

EV-B02							
X							
Nivel	h	Wi	Wi*h	Xi	Fi	Wi*Xi	Fi*Xi
20	80	96.7892	7743.1344	0.001366	868.6746	10.57712159	1.186609504
19	76	111.7532	8493.2409	0.001259	1723.6315	10.69299032	2.170052059
18	72	111.6950	8042.0414	0.001307	2571.0373	10.51094816	3.360345751
17	68	118.7226	8073.1368	0.001336	3485.3944	10.78571076	4.656486918
16	64	135.0644	8644.1222	0.00133	4435.4359	11.49668258	5.899129747
15	60	120.7103	7242.6204	0.001263	5349.6112	9.147429565	6.756558946
14	56	134.5123	7532.6877	0.00124	6394.3486	9.340532723	7.928992264
13	52	138.4004	7196.8192	0.001245	7463.5846	8.960039954	9.292162827
12	48	159.3327	7647.9682	0.001226	8637.6453	9.376408964	10.58975314
11	44	138.4004	6089.6163	0.001191	9710.698	7.252732989	11.56544132
10	40	138.3301	5533.2040	0.001155	10767.1732	6.39085062	12.43608505
9	36	138.2598	4977.3535	0.0011	11830.0575	5.475088872	13.01306325
8	32	189.9068	6077.0189	0.000917	13133.5499	5.572626313	12.04346526
7	28	162.6751	4554.9028	0.000864	14367.0174	3.935436019	12.41310303
6	24	162.8005	3907.2115	0.000819	15606.1739	3.200006235	12.78145642
5	20	162.9259	3258.5172	0.000781	16880.0989	2.544901933	13.18335724
4	16	207.6912	3323.0598	0.000746	18280.8828	2.479002641	13.63753857
3	12	162.9259	1955.1103	0.000645	19577.9159	1.261046156	12.62775576
2	8	177.1716	1417.3730	0.000513	21027.7925	0.72711237	10.78725755
1	4	180.4921	721.9683	0.00032	22495.2538	0.231029862	7.198481216
						129.9576986	183.5270958

T=0.168 s

Tabla 27

Periodo fundamental EV-B02 en Y

EV-B02							
Y							
Nivel	h	Wi	Wi*h	Xi	Fi	Wi*Xi	Fi*Xi
20	80	96.7892	7743.1344	0.001366	868.6746	10.57712159	1.186609504
19	76	111.7532	8493.2409	0.001259	1723.6315	10.69299032	2.170052059
18	72	111.6950	8042.0414	0.001307	2571.0373	10.51094816	3.360345751
17	68	118.7226	8073.1368	0.001336	3485.3944	10.78571076	4.656486918
16	64	135.0644	8644.1222	0.00133	4435.4359	11.49668258	5.899129747
15	60	120.7103	7242.6204	0.001263	5349.6112	9.147429565	6.756558946
14	56	134.5123	7532.6877	0.00124	6394.3486	9.340532723	7.928992264
13	52	138.4004	7196.8192	0.001245	7463.5846	8.960039954	9.292162827
12	48	159.3327	7647.9682	0.001226	8637.6453	9.376408964	10.58975314
11	44	138.4004	6089.6163	0.001191	9710.698	7.252732989	11.56544132
10	40	138.3301	5533.2040	0.001155	10767.1732	6.39085062	12.43608505
9	36	138.2598	4977.3535	0.0011	11830.0575	5.475088872	13.01306325
8	32	189.9068	6077.0189	0.000917	13133.5499	5.572626313	12.04346526
7	28	162.6751	4554.9028	0.000864	14367.0174	3.935436019	12.41310303
6	24	162.8005	3907.2115	0.000819	15606.1739	3.200006235	12.78145642
5	20	162.9259	3258.5172	0.000781	16880.0989	2.544901933	13.18335724
4	16	207.6912	3323.0598	0.000746	18280.8828	2.479002641	13.63753857
3	12	162.9259	1955.1103	0.000645	19577.9159	1.261046156	12.62775576
2	8	177.1716	1417.3730	0.000513	21027.7925	0.72711237	10.78725755
1	4	180.4921	721.9683	0.00032	22495.2538	0.231029862	7.198481216
						129.9576986	183.5270958

T=0.168 s

5.2.2 Factor de sobre-resistencia y revisión de estados límite

De acuerdo a NTC-Sismo-20, R se determina con la siguiente ecuación

$$R = k_1 R_0 + k_2$$

Donde, acorde a los datos aplicados para el análisis

$$R_0 = 2$$

$$k_1 = 1.25$$

k_2 = Se obtiene con la siguiente ecuación

$$k_2 = 0.5 \left[1 - \left(\frac{T}{T_a} \right)^{1/2} \right] > 0$$

Por lo tanto, en lo estipulado en MDOC-CFE-15, T_a es igual a 0.20.

Para **EV-A01**

$$k_{2x} = 0.08768$$

$$k_{2y} = 0.08316$$

$$R_x = 1.25 (2.00) + 0.08768 = 2.58768 \text{ y } R_y = 1.25 (2.00) + 0.08316 = 2.58316$$

$$QR_x = 4 * 2.58768 = 10.35072 \text{ y } QR_y = 4 * 2.58316 = 10.33264$$

Tabla 28

Revisión de estado límite de prevención de colapso EV-A01

Marco tradicional EV-A01							
Nivel	Elevación	X			Y		
		Distorsiones ΔX	Revisión ΔQR_x	Nota $\gamma_{max}=0.02$	Distorsiones ΔY	Revisión ΔQR_y	Nota $\gamma_{max}=0.02$
9	36	0.000685	0.007	Pasa	0.000716	0.007	Pasa
8	32	0.000766	0.008	Pasa	0.000786	0.008	Pasa
7	28	0.000813	0.008	Pasa	0.00082	0.008	Pasa
6	24	0.000821	0.008	Pasa	0.000816	0.008	Pasa
5	20	0.000819	0.008	Pasa	0.000802	0.008	Pasa
4	16	0.000775	0.008	Pasa	0.000746	0.008	Pasa
3	12	0.00068	0.007	Pasa	0.000643	0.007	Pasa
2	8	0.000587	0.006	Pasa	0.000543	0.006	Pasa
1	4	0.00036	0.004	Pasa	0.000326	0.003	Pasa

Para **EV-A02**

$$k_{2x} = 0.08017$$

$$k_{2y} = 0.07573$$

$$R_x = 1.25 (2.00) + 0.08017 = 2.58017 \text{ y } R_y = 1.25 (2.00) + 0.07573 = 2.57573$$

$$QR_x = 4 * 2.58017 = 10.32068 \text{ y } QR_y = 4 * 2.57573 = 10.30292$$

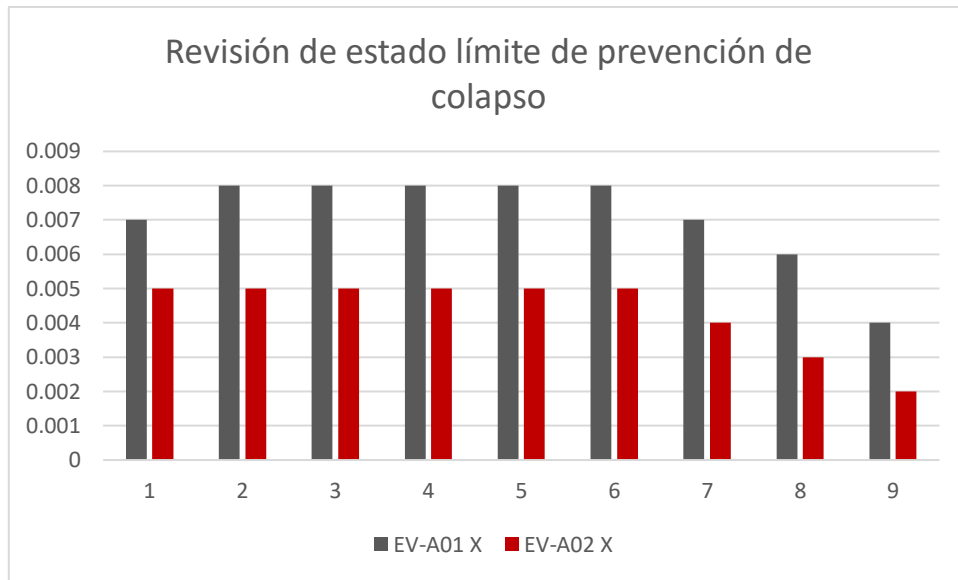
Tabla 29

Revisión de estado límite de prevención de colapso EV-A02

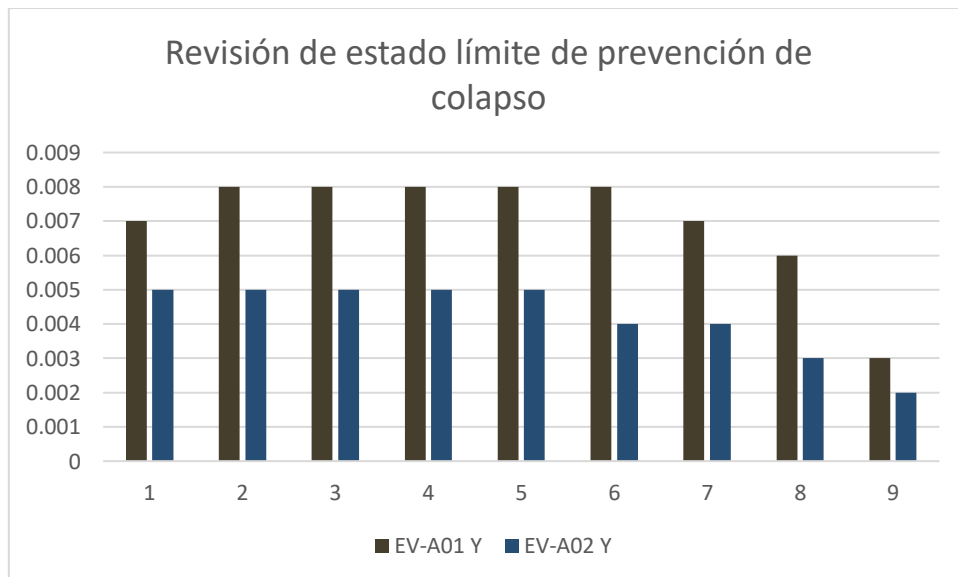
Diagrid EV-A02							
Nivel	Elevación	X			Y		
		Distorsiones ΔX	Revisión ΔQR_x	Nota $\gamma_{max}=0.02$	Distorsiones ΔY	Revisión ΔQR_y	Nota $\gamma_{max}=0.02$
9	36	0.000471	0.005	Pasa	0.000487	0.005	Pasa
8	32	0.000494	0.005	Pasa	0.000505	0.005	Pasa
7	28	0.000508	0.005	Pasa	0.000512	0.005	Pasa
6	24	0.000503	0.005	Pasa	0.000502	0.005	Pasa
5	20	0.000481	0.005	Pasa	0.000474	0.005	Pasa
4	16	0.000446	0.005	Pasa	0.000432	0.004	Pasa
3	12	0.000376	0.004	Pasa	0.000356	0.004	Pasa
2	8	0.00032	0.003	Pasa	0.000296	0.003	Pasa
1	4	0.000191	0.002	Pasa	0.000172	0.002	Pasa

Gráfica 10

Revisión de estado límite de prevención de colapso EV-A01 y EV-A02 en X

**Gráfica 11**

Revisión de estado límite de prevención de colapso EV-A01 y EV-A02 en Y



Para **EV-B01**

$$k_{2x} = 0.0713$$

$$k_{2y} = 0.0713$$

$$R_x = 1.25 (2.00) + 0.0713 = 2.5713 \text{ y } R_y = 1.25 (2.00) + 0.0713 = 2.5713$$

$$QR_x = 4 * 2.5713 = 10.2852 \text{ y } QR_y = 4 * 2.5713 = 10.2852$$

Tabla 30

Revisión de estado límite de prevención de colapso EV-B01

Marco tradicional EV-B01							
		X			Y		
Nivel	Elevación	Distorsiones ΔX	Revisión ΔQR_x	Nota $\gamma_{max}=0.02$	Distorsiones Δ Y	Revisión ΔQR_y	Nota $\gamma_{max}=0.02$
20	80	0.001582	0.016	Pasa	0.001582	0.016	Pasa
19	76	0.001652	0.017	Pasa	0.001652	0.017	Pasa
18	72	0.001694	0.017	Pasa	0.001694	0.017	Pasa
17	68	0.001706	0.018	Pasa	0.001706	0.018	Pasa
16	64	0.001723	0.018	Pasa	0.001723	0.018	Pasa
15	60	0.0017	0.017	Pasa	0.0017	0.017	Pasa
14	56	0.001621	0.017	Pasa	0.001621	0.017	Pasa
13	52	0.001608	0.017	Pasa	0.001608	0.017	Pasa
12	48	0.001575	0.016	Pasa	0.001575	0.016	Pasa
11	44	0.001532	0.016	Pasa	0.001532	0.016	Pasa
10	40	0.001479	0.015	Pasa	0.001479	0.015	Pasa
9	36	0.001389	0.014	Pasa	0.001389	0.014	Pasa
8	32	0.001229	0.013	Pasa	0.001229	0.013	Pasa
7	28	0.001183	0.012	Pasa	0.001183	0.012	Pasa
6	24	0.001119	0.012	Pasa	0.001119	0.012	Pasa
5	20	0.001045	0.011	Pasa	0.001045	0.011	Pasa
4	16	0.000958	0.010	Pasa	0.000958	0.010	Pasa
3	12	0.000828	0.009	Pasa	0.000828	0.009	Pasa
2	8	0.000621	0.006	Pasa	0.000621	0.006	Pasa
1	4	0.000399	0.004	Pasa	0.000399	0.004	Pasa

Para **EV-B02**

$$k_{2x} = 0.0417$$

$$k_{2y} = 0.0417$$

$$R_x = 1.25 (2.00) + 0.0417 = 2.5417 \text{ y } R_y = 1.25 (2.00) + 0.0417 = 2.5417$$

$$QR_x = 4 * 2.5417 = 10.1668 \text{ y } QR_y = 4 * 2.5417 = 10.1668$$

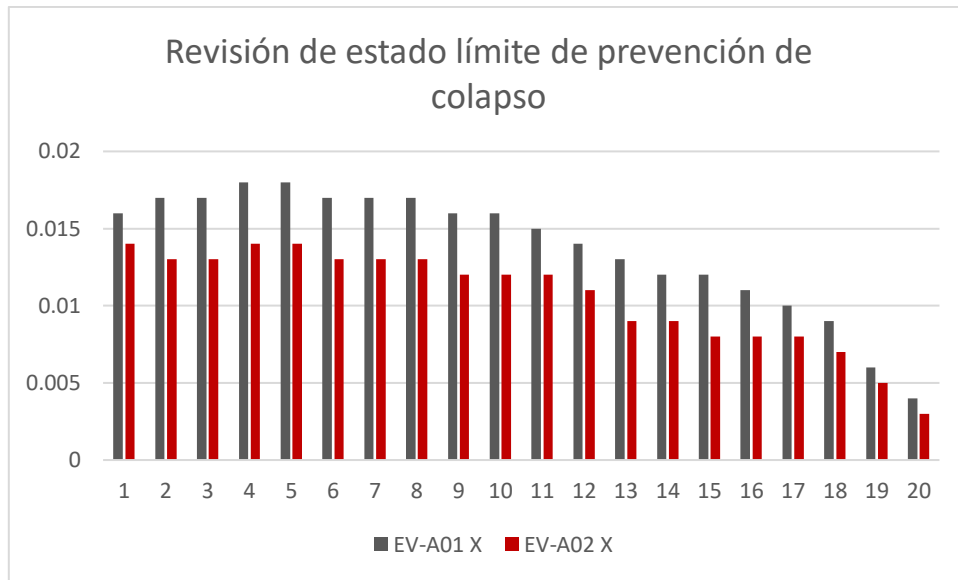
Tabla 31

Revisión de estado límite de prevención de colapso EV-B02

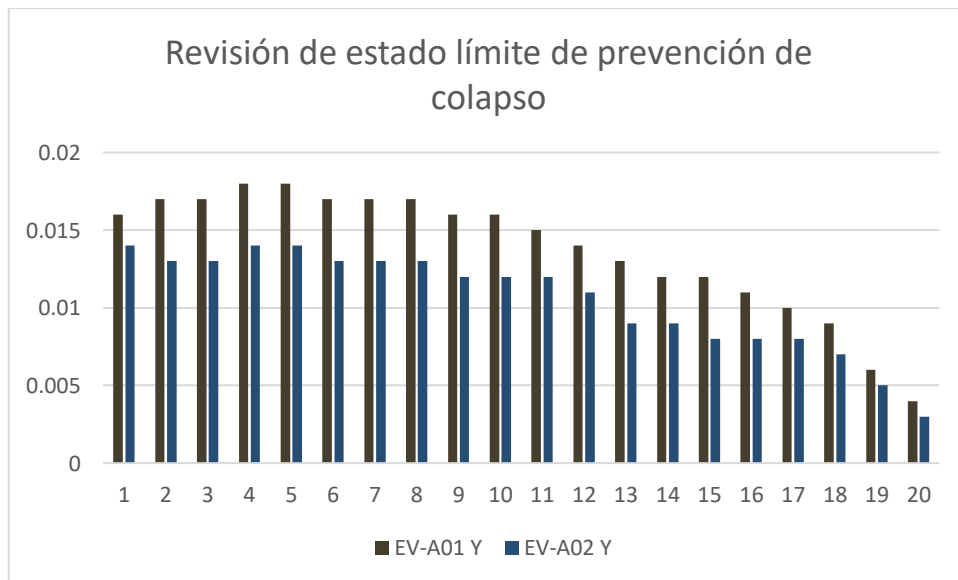
DIAGRID EV-B02							
Nivel	Elevación	X			Y		
		Distorsiones ΔX	Revisión ΔQR_x	Nota $\gamma_{max}=0.02$	Distorsiones Δ Y	Revisión ΔQR_y	Nota $\gamma_{max}=0.02$
20	80	0.001366	0.014	Pasa	0.001366	0.014	Pasa
19	76	0.001259	0.013	Pasa	0.001259	0.013	Pasa
18	72	0.001307	0.013	Pasa	0.001307	0.013	Pasa
17	68	0.001336	0.014	Pasa	0.001336	0.014	Pasa
16	64	0.00133	0.014	Pasa	0.00133	0.014	Pasa
15	60	0.001263	0.013	Pasa	0.001263	0.013	Pasa
14	56	0.00124	0.013	Pasa	0.00124	0.013	Pasa
13	52	0.001245	0.013	Pasa	0.001245	0.013	Pasa
12	48	0.001226	0.012	Pasa	0.001226	0.012	Pasa
11	44	0.001191	0.012	Pasa	0.001191	0.012	Pasa
10	40	0.001155	0.012	Pasa	0.001155	0.012	Pasa
9	36	0.0011	0.011	Pasa	0.0011	0.011	Pasa
8	32	0.000917	0.009	Pasa	0.000917	0.009	Pasa
7	28	0.000864	0.009	Pasa	0.000864	0.009	Pasa
6	24	0.000819	0.008	Pasa	0.000819	0.008	Pasa
5	20	0.000781	0.008	Pasa	0.000781	0.008	Pasa
4	16	0.000746	0.008	Pasa	0.000746	0.008	Pasa
3	12	0.000645	0.007	Pasa	0.000645	0.007	Pasa
2	8	0.000513	0.005	Pasa	0.000513	0.005	Pasa
1	4	0.00032	0.003	Pasa	0.00032	0.003	Pasa

Gráfica 12

Revisión de estado límite de prevención de colapso EV-B01 y EV-B02 en X

**Gráfica 13**

Revisión de estado límite de prevención de colapso EV-B01 y EV-B02 en Y



Para la revisión del estado límite de limitación daños de acuerdo a NTC-Sismo-20, se aplicarán los siguientes parámetros.

EV-A01

Parámetro	Dir X	Dir Y
T	0.136	0.139
ξ	0.05	0.05
λ	0.4	0.4
B (si $T \leq T_a$)	1	1
k	1	1
Q' (si $T \leq T_a$)	3.47	3.5
R	2.58768	2.58316
k_s (si $T_s < 0.5s$)	0.1666	0.1666

Tabla 32

Revisión de estado límite de limitación de daños EV-A01

Marco tradicional EV-A01							
Nivel	Elevación	X			Y		
		Distorsiones X Δ	Revisión $\Delta Q'RKs$	Nota 0.004	Distorsiones Y Δ	Revisión $\Delta Q'RKs$	Nota 0.004
9	36	0.000685	0.0010	Pasa	0.000716	0.0011	Pasa
8	32	0.000766	0.0011	Pasa	0.000786	0.0012	Pasa
7	28	0.000813	0.0012	Pasa	0.00082	0.0012	Pasa
6	24	0.000821	0.0012	Pasa	0.000816	0.0012	Pasa
5	20	0.000819	0.0012	Pasa	0.000802	0.0012	Pasa
4	16	0.000775	0.0012	Pasa	0.000746	0.0011	Pasa
3	12	0.00068	0.0010	Pasa	0.000643	0.0010	Pasa
2	8	0.000587	0.0009	Pasa	0.000543	0.0008	Pasa
1	4	0.00036	0.0005	Pasa	0.000326	0.0005	Pasa

EV-A02

Parámetro	Dir X	Dir Y
T	0.141	0.144
ξ	0.05	0.05
λ	0.4	0.4
B (si $T \leq T_a$)	1	1
k	1	1
Q' (si $T \leq T_a$)	3.51	3.54
R	2.58017	2.57573
k_s (si $T_s < 0.5s$)	0.1666	0.1666

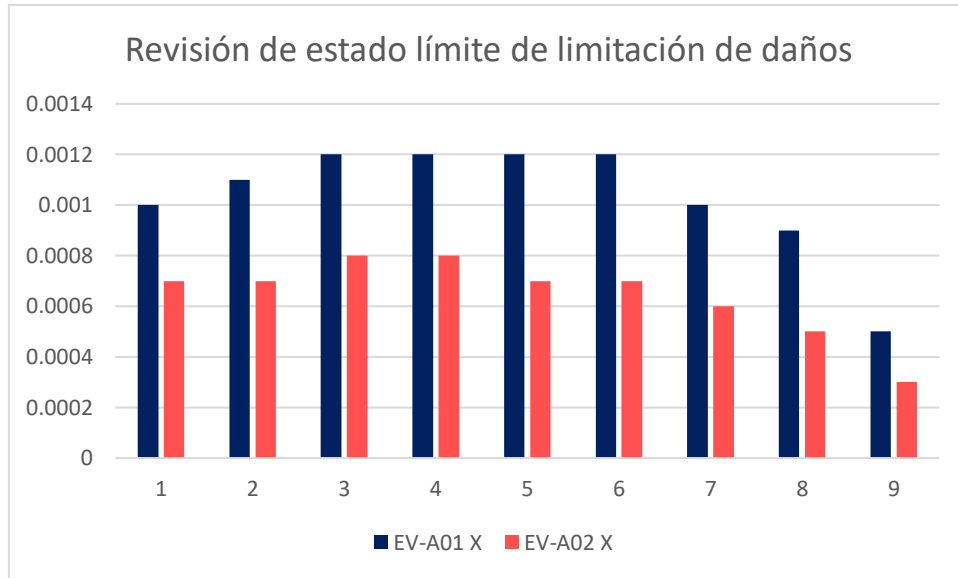
Tabla 33

Revisión de estado límite de limitación de daños EV-A02

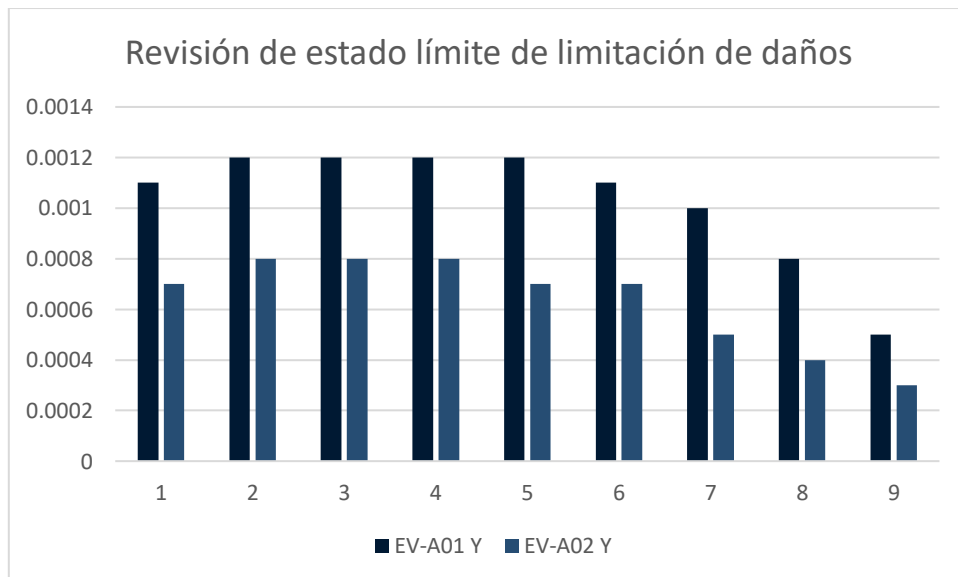
Diagrid EV-A02							
Nivel	Elevación	X			Y		
		Distorsiones X Δ	Revisión $\Delta Q'RKs$	Nota 0.002	Distorsiones Y Δ	Revisión $\Delta Q'RKs$	Nota 0.002
9	36	0.000471	0.0007	Pasa	0.000487	0.0007	Pasa
8	32	0.000494	0.0007	Pasa	0.000505	0.0008	Pasa
7	28	0.000508	0.0008	Pasa	0.000512	0.0008	Pasa
6	24	0.000503	0.0008	Pasa	0.000502	0.0008	Pasa
5	20	0.000481	0.0007	Pasa	0.000474	0.0007	Pasa
4	16	0.000446	0.0007	Pasa	0.000432	0.0007	Pasa
3	12	0.000376	0.0006	Pasa	0.000356	0.0005	Pasa
2	8	0.00032	0.0005	Pasa	0.000296	0.0004	Pasa
1	4	0.000191	0.0003	Pasa	0.000172	0.0003	Pasa

Gráfica 14

Revisión de estado límite de limitación de daños EV-A01 y EV-A02 en X

**Gráfica 15**

Revisión de estado límite de limitación de daños EV-A01 y EV-A02 en Y



EV-B01

Parámetro	Dir X	Dir Y
T	0.147	0.147
ξ	0.05	0.05
λ	0.4	0.4
B (si $T \leq T_a$)	1	1
k	1	1
Q' (si $T \leq T_a$)	3.57	3.57
R	2.5713	2.5713
k_s (si $T_s < 0.5s$)	0.1666	0.1666

Tabla 34

Revisión de estado límite de limitación de daños EV-B01

Marco tradicional EV-B01							
Nivel	Elevación	X			Y		
		Distorsiones X Δ	Revisión $\Delta Q' RKs$	Nota 0.004	Distorsiones Y Δ	Revisión $\Delta Q' RKs$	Nota 0.004
20	80	0.001582	0.0024	Pasa	0.001582	0.0024	Pasa
19	76	0.001652	0.0025	Pasa	0.001652	0.0025	Pasa
18	72	0.001694	0.0026	Pasa	0.001694	0.0026	Pasa
17	68	0.001706	0.0026	Pasa	0.001706	0.0026	Pasa
16	64	0.001723	0.0026	Pasa	0.001723	0.0026	Pasa
15	60	0.0017	0.0026	Pasa	0.0017	0.0026	Pasa
14	56	0.001621	0.0025	Pasa	0.001621	0.0025	Pasa
13	52	0.001608	0.0025	Pasa	0.001608	0.0025	Pasa
12	48	0.001575	0.0024	Pasa	0.001575	0.0024	Pasa
11	44	0.001532	0.0023	Pasa	0.001532	0.0023	Pasa
10	40	0.001479	0.0023	Pasa	0.001479	0.0023	Pasa
9	36	0.001389	0.0021	Pasa	0.001389	0.0021	Pasa
8	32	0.001229	0.0019	Pasa	0.001229	0.0019	Pasa
7	28	0.001183	0.0018	Pasa	0.001183	0.0018	Pasa
6	24	0.001119	0.0017	Pasa	0.001119	0.0017	Pasa
5	20	0.001045	0.0016	Pasa	0.001045	0.0016	Pasa
4	16	0.000958	0.0015	Pasa	0.000958	0.0015	Pasa
3	12	0.000828	0.0013	Pasa	0.000828	0.0013	Pasa
2	8	0.000621	0.0010	Pasa	0.000621	0.0010	Pasa
1	4	0.000399	0.0006	Pasa	0.000399	0.0006	Pasa

EV-B02

Parámetro	Dir X	Dir Y
T	0.168	0.168
ξ	0.05	0.05
λ	0.4	0.4
B (si $T \leq T_a$)	1	1
k	1	1
Q' (si $T \leq T_a$)	3.74	3.74
R	2.5417	2.5417
k_s (si $T_s < 0.5s$)	0.1666	0.1666

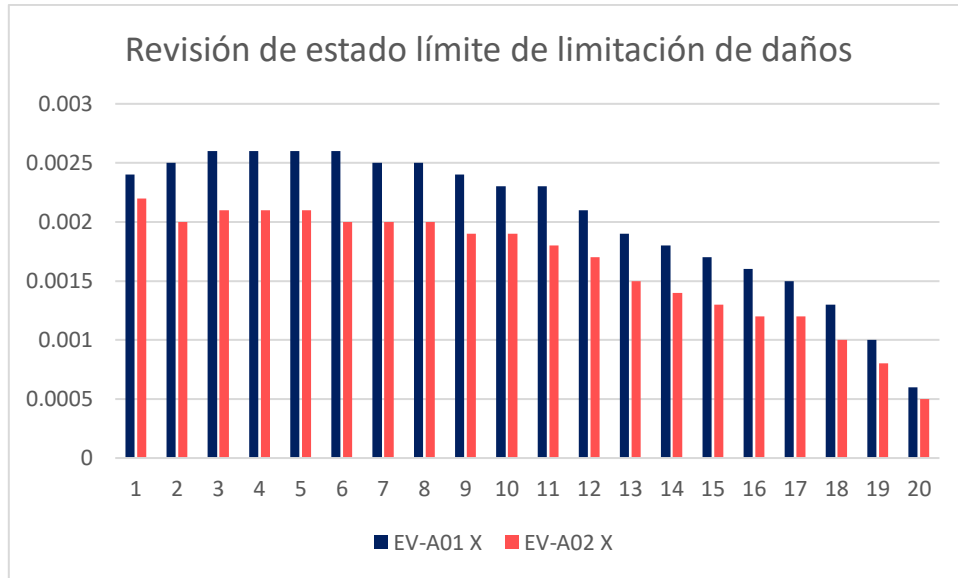
Tabla 35

Revisión de estado límite de limitación de daños EV-B02

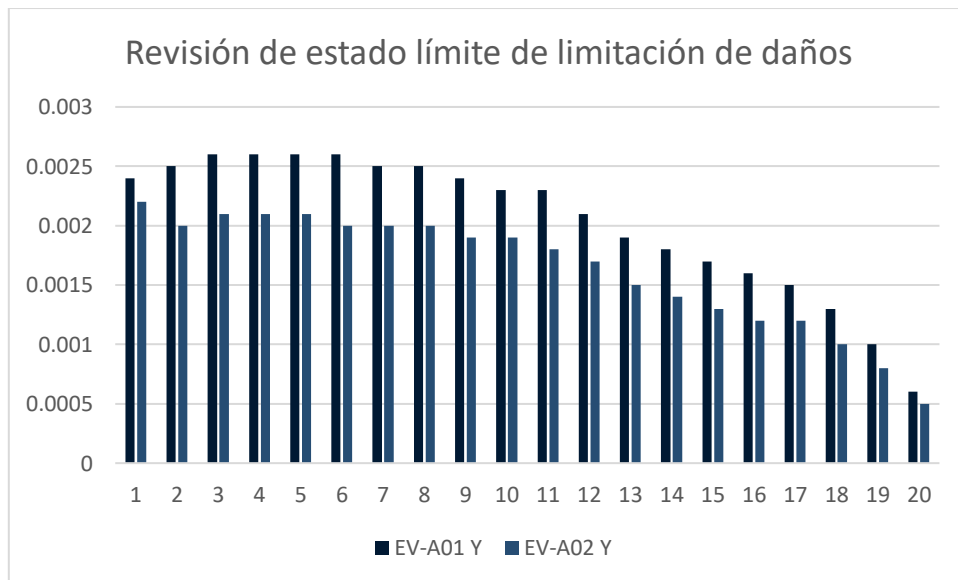
DIAGRID EV-B02							
		X			Y		
Nivel	Elevación	Distorsiones X Δ	Revisión $\Delta Q' RKs$	Nota 0.004	Distorsiones Y Δ	Revisión $\Delta Q' RKs$	Nota 0.004
20	80	0.001366	0.0022	Pasa	0.001366	0.0022	Pasa
19	76	0.001259	0.0020	Pasa	0.001259	0.0020	Pasa
18	72	0.001307	0.0021	Pasa	0.001307	0.0021	Pasa
17	68	0.001336	0.0021	Pasa	0.001336	0.0021	Pasa
16	64	0.00133	0.0021	Pasa	0.00133	0.0021	Pasa
15	60	0.001263	0.0020	Pasa	0.001263	0.0020	Pasa
14	56	0.00124	0.0020	Pasa	0.00124	0.0020	Pasa
13	52	0.001245	0.0020	Pasa	0.001245	0.0020	Pasa
12	48	0.001226	0.0019	Pasa	0.001226	0.0019	Pasa
11	44	0.001191	0.0019	Pasa	0.001191	0.0019	Pasa
10	40	0.001155	0.0018	Pasa	0.001155	0.0018	Pasa
9	36	0.0011	0.0017	Pasa	0.0011	0.0017	Pasa
8	32	0.000917	0.0015	Pasa	0.000917	0.0015	Pasa
7	28	0.000864	0.0014	Pasa	0.000864	0.0014	Pasa
6	24	0.000819	0.0013	Pasa	0.000819	0.0013	Pasa
5	20	0.000781	0.0012	Pasa	0.000781	0.0012	Pasa
4	16	0.000746	0.0012	Pasa	0.000746	0.0012	Pasa
3	12	0.000645	0.0010	Pasa	0.000645	0.0010	Pasa
2	8	0.000513	0.0008	Pasa	0.000513	0.0008	Pasa
1	4	0.00032	0.0005	Pasa	0.00032	0.0005	Pasa

Gráfica 16

Revisión de estado límite de limitación de daños EV-B01 y EV-B02 en X

**Gráfica 17**

Revisión de estado límite de limitación de daños EV-B01 y EV-B02 en Y



5.3 Conclusiones finales

En los resultados finales, ambos modelos pasan las revisiones correspondientes, tanto en no exceder los valores de $\gamma_{max}=0.02$ para estado límite de prevención de colapso como en mantenerse debajo de 0.004 para el estado límite de limitación de daños. No obstante, la comparativa de los resultados demuestra que el sistema de marco tradicional, si bien no excede los valores para ambas revisiones, se encuentra por encima de los resultados del sistema Diagrid, la cual, por sus características, presenta valores menores que reditúa en una mayor seguridad estructural frente el sistema tradicional.

Por lo tanto, se pueden extraer las siguientes conclusiones finales a nivel estructural, arquitectónico y urbano:

- 1) En los periodos modales, el sistema Diagrid presenta una reducción en los primeros dos modos en dirección X y Y de alrededor del 22% para los grupos EV-A y 16% para EV-B respectivamente sobre el sistema de marco tradicional. De igual forma, por la cualidad de su capacidad de acción sobre la torsión de la estructura en el modo 3 o rotacional, el sistema Diagrid puede reducir sus periodos entre el 59% y 30% con relación a modelos ortogonales. Por lo que la resistencia a las cargas laterales funciona de forma más eficaz con la aplicación del sistema Diagrid.
- 2) Las distorsiones de entrepiso son menores en el sistema Diagrid en comparativa al sistema de marco tradicional, mitigando una media los desplazamientos alrededor del 40% para el grupo EV-A y 22% para EV-B, lo cual proporciona una mejor respuesta sismorresistente.
- 3) A nivel arquitectónico, el sistema Diagrid cumple con las necesidades de solución estética y funcional en cuanto al uso mejor planificado de los espacios interiores y exteriores, proporcionando una simbiosis entre lo arquitectónico y estructural.
- 4) Tuxtla Gutiérrez al ser un municipio de alta sismicidad, la solución a la incertidumbre de estructuras sismorresistentes mediante sistemas más eficaces tales como el

sistema Diagrid reditúa en su capacidad para hacer frente a los retos futuros del desarrollo urbano de las próximas décadas.

Finalmente se puede concluir que para los edificios de media y gran altura donde las cargas laterales definen el diseño, por los resultados obtenidos en dicha investigación, el sistema Diagrid presenta una mejor respuesta estructural y arquitectónica que las diseñadas por un sistema de marco tradicional, por lo que después de hacer la comparación de los sistemas se recomienda su aplicación en zonas de alta sismicidad para la construcción de edificaciones verticales.

BIBLIOGRAFÍA

- Al-Kodmany¹, K., & M. Ali, M. (2016). An Overview of Structural and Aesthetic Developments in Tall Buildings Using Exterior Bracing and Diagrid Systems. *International Journal of High-Rise Buildings*, 271-291.
- Asadi, E., & Adeli, H. (2018). Seismic performance factors for low- to mid-rise steel diagrid structural systems. *WILEY*, 1-18.
- Aydenlou, R. M. (2020). *Seismic Rehabilitation Methods for Existing Buildings*. Oxford: Butterworth-Heinemann.
- Bajaj, A. (2016). *A Study on Diagrid Structural Systems for High Rise Steel Buildings*. National Institute of Technology.
- Banco Mundial*. (28 de Septiembre de 2020). Obtenido de <https://www.bancomundial.org/es/topic/urbandevelopment/overview>
- Boake, T. (2014). *Diagrid Structures: Systems, Connections, Details*. Walter de Gruyter.
- Ching, F., & Eckler, J. (2013). *Introduction to Architecture*. New Jersey: John Wiley & Sons.
- De Cserna, Z. (1988). *Estructura geológica, gravimetría, sismicidad y relaciones neotectónicas regionales de la Cuenca de México*. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología.
- Enyed, G. (1982). *El ciclo de urbanización y la transformación de la red de asentamientos húngaros*. Budapest: Akadémiai Kiadó.
- Fash, W. L., López Luján, L., & Bey, G. J. (2009). *The Art of Urbanism: How Mesoamerican Kingdoms Represented Themselves in Architecture and Imagery*. Massachusetts: Harvard University Press.
- Feng, F. (2018). *Design and Analysis of Tall and Complex Structures*. Butterworth-Heinemann.
- Gerasimidis, S., Pantidis, P., Knickle, B., & Moon, K. (2016). Diagrid Structural System for High-Rise Buildings: Applications of a Simple Stiffness-based Optimized Design. *International Journal of High-Rise Buildings*, 319-326.

- Gobierno Municipal de Tuxtla Gutiérrez. (2007). *Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas*. Tuxtla Gutiérrez.
- Gobierno Municipal de Tuxtla Gutiérrez. (2015). *Tuxtla Gutiérrez Atlas de Riesgos: Actualización de Atlas de peligros y/o riesgos*. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México.
- Grant, J. (2006). *Planning the Good Community: New Urbanism in Theory and Practice*. Taylor & Francis.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2010). *Metodología de la investigación*. Chile: McGraw Hill.
- Hurol, Y. (2015). *The Tectonics of Structural Systems: An Architectural Approach*. Abingdon: Routledge.
- Iverson, N. (1984). *Urbanism and Urbanization: Views, Aspects, and Dimensions*. BRILL.
- Košir, M. (2019). *Climate Adaptability of Buildings: Bioclimatic Design in the Light of Climate Change*. Ljubljana: Springer.
- López Villa, M. A. (2003). *Arquitectura e Historia: Curso de Historia de la Arquitectura, Volumen 1*. CDCH UCV.
- MDS-CFE, C. F. (2015). *Manual de Diseño por Sismo de la Comisión Federal de Electricidad*. México: CFE.
- Medina Martínez, F. (2003). *Sismicidad y volcanismo en México*. Secretaría de Educación Pública, Fondo de Cultura Económica.
- Meli, R. (2002). *Diseño Estructural*. Limusa.
- Merritt, F. (2012). *Building Engineering and Systems Design*. New York: Springer Science & Business Media.
- Mirniazmandan, S., Alaghmandan, M., Barazande, F., & Rahimianzarif, E. (2018). Mutual Effect of Geometric Modifications and Diagrid Structure on Structural Optimization of Tall Buildings. *Architectural Science Review*, 1-13.

- Moon, K. (2008). Sustainable Structural Engineering Strategies for Tall Buildings. *Wiley Interscience*, 895-914.
- Moon, K. (2011). Diagrid Structures for Complex-Shaped Tall Buildings. *The Twelfth East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction* (págs. 1343-1350). Elsevier.
- Mora, J., González, R., Aguirre, J., Piña, J., García-Moreno, L., Lovera, S., . . . Mijares, H. (2012). *Microzonificación sísmica de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas*. Tuxtla Gutiérrez.
- Murayama, Y. (2013). *Japanese Urban System*. Springer Science & Business Media.
- NTCCADE, G. d. (2017). *Normas Técnicas Complementarias sobre Criterios y Acciones para el Diseño Estructural de las Edificaciones*. México: Gob. CDMX.
- NTCDCC, G. d. (2017). *Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Construcción de Cimentaciones*. México: Gob. CDMX.
- NTCDCEA, G. d. (2017). *Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Contrucción de Estructuras en Acero*. México: Gob. CDMX.
- NTCDCEC, G. d. (2017). *Norma Técnica Complementaria para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto*. México: Gob. CDMX.
- NTCDS, G. d. (2020). *Normas Técnicas Complementarias para el Diseño por Sismo*. México: Gob. CDMX.
- NTCDV, G. d. (2017). *Normas Técnicas Complementarias para el Diseño por Viento*. México: Gob.CDMX.
- Ordoñez Alfaro, J. A. (2013). *Zonificación sísmica de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas*. Tesis de maestría. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Pacheco Espejel, A., & Cruz Estrada, M. C. (2006). *Metodología Crítica de la Investigación*. CECSA.

- Pérez, J. J., Aguirre, J., & Ramírez, L. (2018). Sismicidad y seguridad estructural en las construcciones: lecciones aprendidas en México. *Salud Pública de México*, 60, 41-51. doi:<https://doi.org/10.21149/9300>
- Pérez-Gavilán, J. J., Aguirre, J., & Ramírez, L. (2018). Sismicidad y seguridad estructural en las construcciones: lecciones aprendidas en México. *Salud pública*.
- Place, J. (2007). *Architectural Structures*. New York: John Wiley and Sons.
- Protección Civil CDMX. (2022). *Protección Civil CDMX*. Obtenido de Protección Civil CDMX: <http://data.proteccioncivil.cdmx.gob.mx/simulacros/CDMX/Situacion-sismica.html#:~:text=M%C3%A9xico%20es%20uno%20de%20los,se%20registran%20en%20el%20mundo>.
- Servicio Geológico Mexicano. (22 de Marzo de 2017). SGM. Obtenido de Servicio Geológico Mexicano: <https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Riesgos-geologicos/Sismologia-de-Mexico>
- Shah, M., Mevada, S., & Patel, V. (2016). Comparative Study of Diagrid Structures with Conventional Frame Structures. *Journal of Engineering Research and Applications*, 22-29.
- Smith, S. (23 de Marzo de 2015). La increíble ciudad que está construyendo Arabia Saudita en el desierto. Arabia Saudita. Obtenido de https://www.bbc.com/mundo/noticias/2015/03/150321_arabia_saudita_ciudades_amv
- SSN. (2021). *Servicio Sismológico Nacional, Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México*. Obtenido de SSN: <http://www.ssn.unam.mx/sismicidad/mapas-de-sismicidad-anual/>
- SSN. (2021). *Servicio Sismológico Nacional, Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México*. Obtenido de SSN: <http://www.ssn.unam.mx>
- Tamayo y Tamayo, M. (2009). *El proceso de la investigación científica*. México: Limusa.

- Tiderenczl, G. (2020). Introduction to urban sociology. *[Diapositivas de PowerPoint] Facultad de ingeniería y formación tecnológica. Universidad de Pécs.*
- Tóth, J. (1977). *Aspectos poblacionales y geográficos de la urbanización en la Gran Llanura del Sur: El papel de los centros en la reestratificación ocupacional de la población.* Budapest: Akadémiai Kiadó.
- Toynbee, A. J. (1973). *Ciudades en marcha.* Alianza Editorial.
- Varsani, H., Pokar, N., & Gandhi, D. (2015). Comparative Analysis of Diagrid Structural System and Conventional Structural System for High Rise Steel Building. *International Journal of Advance Research in Engineering, Science & Technology*, 2394-2444.