



UNIVERSIDAD
DON VASCO, A.C.

UNIVERSIDAD DON VASCO A.C.

Incorporación No. 8727 – 15
A la Universidad Nacional Autónoma de México.

Escuela de Ingeniería Civil

DISEÑO ESTRUCTURAL EN ACERO PARA UN EDIFICIO SISMO-RESISTENTE DE 7 NIVELES CON DISIPADORES VISCOSOS EN LA CIUDAD DE URUAPAN, MICHOACÁN.

Tesis
para obtener el título de
Ingeniero Civil
Presenta:

Fernando Salgado Valencia.

Asesor: M.I. Luis Arturo Muñoz Galindo.

Uruapan, Michoacán, 12 de febrero de 2019.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por encaminarme en cada una de las situaciones de mi vida a lo que será mi vocación, en virtud de servicio y apoyo a la sociedad.

A mis padres, que con todo su esfuerzo me educaron y enseñaron el valor de la sabiduría, la responsabilidad, el esfuerzo y el trabajo, que este proyecto sea reflejo de los valores que cultivaron en mí a lo largo de mi vida.

A todos mis profesores y maestros desde el inicio de mi vida educativa, sin su guía y la pasión que me transmitieron por saber y descubrir el mundo no podría lograr esta meta tan importante.

A toda persona que me ha motivado a superarme, a ser mejor cada día y a buscar los límites de mi potencial con el único objetivo de hacerlos cada vez más y más grandes. El ejemplo que me ha demostrado, su apoyo y el cariño que me compartieron siempre ha sido parte importante de cada paso y meta lograda para llegar a donde estoy y aún mejor, ver el futuro con la esperanza de los sueños que estoy seguro lograré con su compañerismo.

Gracias.

ÍNDICE.

Introducción.

Antecedentes.	1
Planteamiento del problema.	3
Objetivo.	4
Pregunta de investigación.	5
Justificación.	6
Marco de referencia.	6
Capítulo 1.- Diseño estructural.	8
1.1. Definición de diseño estructural.	8
1.2. Breve historia de las edificaciones.	9
1.3. Tipología de edificios.	11
1.4. Importancia de la ingeniería estructural.. . . .	12
1.5. Análisis estructural.	13
1.5.1. Cargas muertas.	15
1.5.2. Cargas vivas.	15
1.5.3. Cargas accidentales.	16
1.6. Elementos mecánicos.	17
1.7. Sistemas estructurales.	19

1.7.1. Elementos lineales.	20
1.7.2. Elementos placa.	22
1.7.3. Elementos con geometría curva.	23
1.8. Estado límite de falla.	24
1.9. Estado límite de servicio.	26
1.10. Métodos de análisis.	28
1.11. Criterios de diseño.	32
Capítulo 2.- Estructuras de acero.	34
2.1 Concepto de estructuras de acero.	34
2.2 Acero estructural.	35
2.3 Acero como material estructural.	36
2.4 Propiedades del acero estructural.	39
2.5. Comportamiento de acero en estructuras	41
2.6. Tipos de fallas en estructuras de acero.	42
2.7. Método de factores de carga y resistencia para acero estructural	44
2.8. Clasificación de perfiles	47
2.9. Elementos sometidos a carga axial.	49
2.9.1. Elementos a tensión.	49
2.9.2. Elementos a compresión.	51
2.10. Elementos a flexión.	55

2.11. Elementos a flexo-compresión.	59
2.12. Juntas de elementos estructurales.	60
2.12.1. Juntas con soldadura.	62
Capítulo 3. Dinámica estructural y disipadores sísmicos.	65
3.1. Definición de dinámica estructural.	65
3.2. Principios de dinámica estructural.	66
3.3. Vibración armónica.	69
3.3.1. Sistemas no amortiguados.	69
3.3.2. Sistemas amortiguados.	71
3.4. Tipos de sistemas de resistencia sísmica.	73
3.5. Disipadores de energía.	75
3.5.1. Energía disipada por el amortiguamiento viscoso.	79
3.6. Factores para el análisis sísmico.	84
3.6.1. Factor de comportamiento sísmico.	84
3.6.2. Distorsión angular en estructuras.	85
Capítulo 4. Macro y micro localización	87
4.1. Generalidades.	87
4.1.1. Objetivo.	87
4.1.2. Alcance del proyecto.	88

4.2. Resumen ejecutivo del proyecto.	89
4.3. Entorno geográfico.	90
4.3.1. Macro y microlocalización.	90
4.3.2. Geología regional y de la zona de estudio.	95
4.3.3. Análisis de zona sísmica regional y de la zona de estudio.	96
4.4. Informe fotográfico.	97
4.4.1. Regularidad del suelo.	99
4.4.2. Estado físico actual.. . . .	99
4.5. Alternativas de la solución.	100
4.5.1. Planteamiento de alternativas.	101
4.6. Proceso de análisis.	102
Capítulo 5.- Metodología	103
5.1 Método empleado	103
5.1.1 Método matemático	105
5.2 Enfoque de investigación	106
5.2.1 Alcance de la investigación	107
5.3 Diseño de la investigación	108
5.4. Instrumentos de recopilación de datos	108

5.5 Descripción del proceso de investigación	110
Capítulo 6.- Cálculo, análisis, e interpretación de resultados.	112
6.1. Aspectos generales de proyecto.	112
6.1.1. Descripción arquitectónica.	113
6.2. Análisis de cargas.	113
6.3. Diseño de perfiles estructurales.	117
6.4. Diseño de disipadores sísmicos.	144
6.5. Diseño de modelo con disipadores.	148
6.6. Comparación de modelos.	151
6.6.1. Perfiles estructurales.	152
6.6.2. Desplazamientos máximos.	154
6.6.3. Distorsiones.	155
6.6.4. Peso total.	157
6.7. Conexiones de elementos.	159
6.7.1. Conexiones de vigas.	159
6.7.2. Conexiones de columnas.	162
Conclusiones.	166
Bibliografía.. . . .	170

Otras fuentes de información. 174

Anexos.

INTRODUCCIÓN

Antecedentes.

En la presente investigación, se muestra el proceso de diseño estructural de un edificio, el concepto de estructura lo concibe el autor Meli (2002) como “el subsistema de una edificación, el cual tiene como función absorber las solicitaciones que se derivan del funcionamiento de la construcción” (p. 56). Las estructuras son muy variadas, respecto a su naturaleza y función hay varios diseños o principios que deben de cumplir. Se entiende por edificio a una construcción dedicada a albergar una actividad humana, ya sea usado como vivienda, teatro, escuela, hospital u alguna otra en particular.

La inventiva imaginación humana ha permitido crecer y mejorar los modelos antiguos en cuestiones arquitectónicas y de ingeniería, logrando así utilizar nuevos materiales para su realización. Desde el siglo pasado, los nuevos métodos e investigaciones han permitido que el acero funcione como elemento principal en la estructura, definido las características y propiedades que presentan las aleaciones utilizadas, así como su costo económico, el cual muchas veces delimita el propio proyecto a desarrollar, todas estas características las expone Brockenbrough (2010). Finalmente, las cualidades de las aleaciones de los elementos utilizados como aceros estructurales las revisa la American Society for Testing and Materials (ASTM).

Se llevó a cabo una investigación en la biblioteca de la Universidad Don Vasco A.C. en la cual se descubrieron una gran cantidad de tesis relacionadas al tema de diseño estructural y otras más de proyectos con acero estructural como material

principal en su estructura. De las varias tesis estudiadas, se destacan tres en particular para el inicio de esta investigación; la primera, de Raúl Vargas Jurado, quien presentó en 2012 el tema de “Diseño estructural de un teatro en la colonia La Mora de la Ciudad de Uruapan, Michoacán” teniendo como objetivo principal de la investigación “diseñar la estructura óptima de un teatro en la ciudad de Uruapan, Mich., con la finalidad de construir una estructura segura, económica y estética.”, Vargas al finalizar su investigación llegó a la conclusión de haber demostrado el correcto cálculo y dimensionamiento de elementos estructurales de su proyecto, así como que demostró la importancia de la ingeniería estructural en todo proyecto de obra civil. Otra de las tesis estudiadas fue la de Luna Esquivel Diego Juvenal con el título de “Análisis y diseño estructural en acero para una nave industrial en un empaque de aguacate en Uruapan, Mich.” En el año de 2014, bajo el objetivo general de analizar y diseñar una nave industrial en acero para un empaque de aguacate en la ciudad de Uruapan, Michoacán, la conclusión presentada de dicha investigación arroja un análisis en la relación de la teoría estructural con la práctica, cumpliendo su objetivo al comprobar con el cálculo estructural que la estructura planteada para el proyecto es segura y eficiente.

Finalmente, la tercera tesis en la que se descubrió un tema similar fue la de Arquitecto Romero López, llamada “Análisis y diseño estructural de superestructura para edificio de concreto de cinco niveles en Uruapan, Michoacán” realizada en 2017, con el objetivo general de analizar y diseñar estructuralmente, la superestructura para un edificio de concreto en cinco niveles, que cumpla con todas las condiciones necesarias para tener un grado de seguridad razonable, de forma que su

comportamiento sea adecuado en las diferentes etapas de su vida útil, además de brindar la función para la cual fue asignada, en su conclusión declara que su objetivo se logró al comprobar también los objetivos particulares, desarrollados a lo largo de la investigación y de los cálculos de diseño. Dentro de las tesis hechas en la Universidad Don Vasco, no existe ninguna que haya tocado alguna vez el tema de los disipadores sísmicos.

Desde el comienzo de la historia, cuando el instinto dominaba más que la razón en el cerebro humano, ya existía la conciencia de protegerse contra todos los posibles peligros que podían presentarse en la salvaje naturaleza. La necesidad de sobrevivir y resguardarse, acompañada de la creatividad del cerebro primitivo, dio lugar a las primeras construcciones que el hombre antiguo pudo hacer.

Con el paso del tiempo, la simple necesidad de seguridad y bienestar, ya no eran las únicas variables importantes para el diseño, sino también la función y servicio de los lugares donde se vivía; es de esta manera como nacen los primeros esfuerzos para diseñar nuevas estructuras con fines teológicos, políticos o sociales, especiales para cada una de sus funciones.

Planteamiento del problema.

En el desarrollo y crecimiento de una sociedad, hablar de edificaciones es algo tan común como pensar en el crecimiento de la misma población. El avance y la demanda de sociedades cada vez más exigentes con la eficiencia y velocidad de los resultados, obliga a los ingenieros a tener respuestas no sólo más prontas, sino a la vez más seguras y eficientes.

Acompañado con estos aspectos se plantea una pregunta de investigación: ¿Cuál sería una estructura eficaz para el funcionamiento de un edificio de estas características reforzada con disipadores sísmicos? Ante la incertidumbre de las acciones naturales, y la importancia de salvaguardar vidas. El diseño estructural juega un papel muy importante en el progreso de las naciones. Un mal diseño estructural, una falta de planeación, o un descuido respecto a los materiales utilizados, podrían causar una catástrofe en la zona afectada, el no dar la importancia merecida a esta rama de la ingeniería puede provocar problemas graves a nivel socio-económicos graves.

Objetivo.

Objetivo general:

Diseñar la estructura en acero para un edificio sismo resistente de siete niveles con disipadores viscosos en la ciudad de Uruapan, Michoacán, de manera eficiente, cumpliendo con los parámetros que la ingeniería estructural demanda.

Objetivos particulares:

- 1) Definir de manera clara los conceptos de análisis y diseño estructural necesario para un edificio.
- 2) Investigar los criterios de diseño estructural acompañado de sus principios y fundamentos.
- 3) Proponer una estructura segura y funcional para el edificio del proyecto.
- 4) Explicar los principios para el diseño de en acero para estructuras.
- 5) Entender los principios de análisis dinámico en las estructuras.

- 6) Analizar y diseñar la estructura de acero acompañada con los disipadores sísmicos viscoelásticos ubicados en el lugar adecuado en la estructura.

Pregunta de Investigación.

Ciertamente, se puede afirmar que, en la sociedad, el campo de acción del ingeniero civil no es de dominio público, son pocas personas que conocen sobre la labor de dicha profesión. Sin embargo, este aspecto de inconciencia no se roba importancia en lo absoluto a dicha profesión, la seguridad humana es un tema que no se lleva a la ligera, siendo esta la principal cualidad que debe cubrir una estructura de obra civil de cualquier naturaleza.

Con lo antes mencionado, se concluye que la pregunta de investigación es la siguiente:

¿Cuál sería el diseño estructural en acero para un edificio de siete niveles con disipadores sísmicos en la ciudad de Uruapan, Michoacán?

Acompañado a esto, en cuestiones de diseño existen muchas otras preguntas ¿Cuáles serán las dimensiones adecuadas de los elementos? ¿Cuál sería la capacidad de carga de la estructura completa? Y ¿Cómo será su respuesta una vez aplicadas todas las solicitaciones? En la presente investigación, no solo la pregunta de investigación, sino estas preguntas secundarias se buscarán resolver siguiendo los principios físicos, los métodos necesarios para llegar a los resultados finales, ya que se forma una imagen específica de lo que se busca ante el análisis y la investigación en general.

Justificación.

Es muy importante el desarrollo de esta investigación, debido a que en su correcto análisis, diseño y ejecución es donde se podrá comprobar la calidad del proyecto, así como el fundamento de que la estructura es capaz de cumplir el objetivo para la cual fue diseñada. Inclusive más allá de cuidar la inversión económica de los beneficiarios, no se debe olvidar nunca que, del correcto análisis y diseño de un proyecto, dependen vidas humanas, las cuales son el bien máspreciado para la sociedad.

El desarrollo de este proyecto proporcionará beneficios a una buena cantidad de personas, comenzando por el propietario que desarrollará el proyecto, puesto que implica un beneficio no sólo económico en la inversión, sino también un crecimiento en satisfacción personal, los siguientes beneficiados serán las personas que lleguen a vivir al edificio, por el hecho de poder cubrir su necesidad básica de vivienda y seguridad, así como las personas que viven cerca de la infraestructura próxima a construir, puesto que el efecto de una obra de ese tamaño favorece a la plusvalía de la colonia y zonas a su alrededor.

Marco de referencia.

El actual proyecto se encuentra situado en la ciudad de Uruapan, cabecera del municipio de Uruapan, Michoacán, es la segunda ciudad más grande del estado respecto a población. Cuenta con un clima templado predominante, con lluvias en verano. La principal actividad económica de la ciudad es todo negocio respecto al aguacate, al ser una importante ciudad, en lo que a la producción del fruto se refiere,

los recursos económicos más grandes e importantes de la sociedad transitan por ese tema.

El proyecto se tiene considerado plantar en la colonia Granjas de Bellavista, espacio que tiene poco tiempo en haberse urbanizado considerando la historia y trascendencia del municipio, ubicado a faldas e inicios del cerro de “La Cruz”, el cual es un pulmón muy importante para dicha ciudad y además delimita de manera natural la franja divisoria de la mancha urbana con la natural, en esta colonia sobre la calle Natación, es donde tiene considerado plasmar el proyecto, a doscientos ochenta y seis metros aproximadamente de la carretera Uruapan – Pátzcuaro. Si se transita sobre dicha calle de este a oeste a mano derecha justo antes de la Central de Autobuses de la ciudad, la calle comienza con un desnivel muy pronunciado de catorce porcientos de pendiente. No obstante, este inconveniente en la llegada al predio es una de las razones por las cuales el cliente desea ejecutar el proyecto, la vista a la ciudad podrá considerarse como privilegiada por la belleza y control visual que se tendrá.

CAPÍTULO 1

DISEÑO ESTRUCTURAL

En el presente capítulo se habla de los principios teóricos del comportamiento de las estructuras, así como de los factores que influyen en ellas, tanto para su diseño como su comportamiento. Se presentarán, además, diversos aspectos de su propia naturaleza, haciendo mención de los fundamentos matemáticos y físicos que determinan la respuesta de las estructuras en su pleno funcionamiento, agregando a estos algunas normas y reglamentos vigentes para la mejor elección y diseño de elementos estructurales, para el trabajo local y en conjunto de todo el sistema que se plantea para el proyecto.

1.1. Definición de diseño estructural.

El objetivo de un diseño estructural es “proporcionar soluciones que, por medio del aprovechamiento óptimo de los materiales, de las técnicas constructivas disponibles, y cumpliendo con las restricciones impuestas por los otros aspectos del proyecto, den lugar a un buen comportamiento de la estructura en condiciones normales de funcionamiento de la construcción y a una seguridad adecuada contra la ocurrencia de algún tipo de falla”, (Melli; 2002:15), siendo el subsistema que da seguridad al proyecto completo.

Otra descripción del diseño estructural es la que emite el Reglamento de Construcción de la Ciudad de México (2017) señala que una estructura es aquella que permite una transmisión correcta de fuerzas que se generan por los agentes internos

y externos de la estructura, para que dichas acciones transiten de manera continua y eficiente hasta su punto de descarga en el suelo. Incluso el buen diseño de cimentación debe considerarse al momento de calcular una obra.

Algunos otros aspectos que deben cuidarse cuando se hace un cálculo estructural son: después de garantizar un grado de seguridad razonable, un costo económico dentro de los márgenes establecidos por el cliente, al no haber un único diseño correcto, sino una amplia gama de posibles soluciones, este aspecto juega un papel de filtro para la elección de diseño estructural y la elección del proyecto definitivo. Finalmente es importante una revisión de eficiencia, en la cual el diseño no afecte con las funciones arquitectónicas de la edificación y tenga un grado estético considerable.

1.2. Breve historia de las edificaciones.

Siguiendo la recopilación de Dander (2012), acerca de la historia y cambios de las construcciones, se entiende que los inicios de las edificaciones fueron más allá de un gusto o eficiencia, la principal función de los edificios fue la de proporcionar seguridad a las personas que los habitaban, así como sus pertenencias y sus actividades cotidianas. Los primeros materiales utilizados fueron naturales, tales como arcillas, madera y ladrillos hechos de algunas mezclas como el adobe. Con el desarrollo intelectual del hombre primitivo, se dio la oportunidad de diseñar estructuras más complejas y monumentales, principalmente con fines religiosos y políticos, estos hechos se dieron alrededor de 10,000 a.C.

Con el incremento de la población, se fueron desarrollando nuevas técnicas para satisfacer las mismas necesidades, fue entonces que se volvió indispensable pasar de las técnicas empíricas y materializarlas con fundamentos que garantizaran su eficiencia. Las grandes culturas de la antigüedad comenzaron a desarrollar estructuras a base de elementos de mampostería y megalitos (piedras de grandes dimensiones) como elementos principales. Con estos cambios, la construcción se fue convirtiendo en un aspecto tan importante, que los políticos comenzaron a pelearse por presentar más grandes y mejores edificios contra otros reinos, con esto nacen los principios de la ingeniería civil. El análisis más metódico y delicado para las estructuras fue la herramienta principal para cumplir este capricho monárquico, volviendo también el gremio constructivo más restringido y de respeto, los más sabios de la sociedad se dedicaban puramente a esta actividad, este aspecto influyó para que hubiera una explosión en el avance arquitectónico mucho más importante que en cualquier otro.

El mismo Dander (2012), continúa describiendo cómo se va plasmando la historia de la sociedad por medio de sus construcciones, llegando al desarrollo del arte de la construcción (la arquitectura) en unión de la ingeniería, dándose el hombre el lujo de construir no sólo por necesidad, sino también como muestra de arte; este comportamiento fue durante la edad media en occidente. Fijados los principios de la física por Sir Isaac Newton y con la llegada de nuevos movimientos sociales, y el libre desarrollo de la actividad, muchos nuevos ingenieros comenzaron a aportar teoremas y fundamentos para la construcción más especializada, acompañada de materiales más complejos y fabricados por el hombre. La revolución industrial marcó la pauta para

incrementar el desarrollo de edificaciones, y ya a inicios del siglo XX las principales edificaciones se construirían con base en el concreto y el acero de alta resistencia.

En la actualidad, nuevos materiales de toda naturaleza nacen día con día para seguir los mismos principios de la antigüedad, acompañados de nuevos parámetros estéticos y funcionales, que se acoplen a las funciones de la estructura en cuestión, así como el desarrollo de nueva normativa que garantice que el proyectista cumple con la principal función de toda estructura: la seguridad de toda vida humana que haga uso de éste.

1.3. Tipología de edificios.

Por su propia naturaleza, cada edificio cumple una razón en particular, su razón de servicio viene propiamente de las necesidades de los proyectos arquitectónicos que deben de cumplir. Más allá de su función de servicio, las edificaciones también se clasifican con base en su importancia o grado de seguridad que él mismo demanda, por el bien del propietario, de los usuarios y de la sociedad en general. El Reglamento de Construcción de la Ciudad de México (2017) clasifica a las construcciones en dos grupos generales de acuerdo con su función:

- **Grupo A:** Toda aquella edificación que será clave en su uso ante una emergencia social, como hospitales, escuelas, centrales de transporte etc., así como las que almacenen información o bienes importantes, al igual que sustancias tóxicas o peligrosas, capaces de almacenar más de 200 personas.

- **Grupo B:** construcciones destinadas a funciones comunes, como locales comerciales, oficinas o viviendas, industrias y construcciones comerciales entran en este campo, así como toda construcción que albergue 200 personas. Este campo se divide a su vez en dos categorías, llamando a B1 a todas aquellas estructuras de más de 30 metros de altura o de 6000 metros cuadrados de construcción, haciendo mención importante en la cantidad de personas que pueden habitar en él; las estructuras que no cumplan con las características antes mencionadas en el campo anterior y no alberguen más de 200 personas, entrarán en el llamado campo B2.

1.4. Importancia de la ingeniería estructural.

La ingeniería estructural es la rama de la ingeniería civil que se dedica al estudio del comportamiento y resistencia de sistemas completos sometidos a ciertas cargas, así como su respuesta ante éstas, teniendo sus fundamentos en la mecánica de materiales. Para entender primero dicha rama es necesario saber la diferencia entre ambas.

La mecánica de materiales la define Salazar (2007) como la rama de la mecánica clásica que estudia el equilibrio estático de un medio continuo, así como sus propiedades físicas para soportar los esfuerzos a los que está sometido. En general la ingeniería estructural garantiza el comportamiento de todo el sistema en base a los principios de los materiales con los que está construida. Para ello es importante definir los siguientes conceptos, los cuales estudia la mecánica de materiales:

- **Resistencia:** propiedad de los materiales para oponerse a la rotura o falla ante un esfuerzo o carga.
- **Rigidez:** propiedad de los materiales de oponerse a la deformación ante un agente externo que actúa en ella.
- **Ductilidad:** propiedad de los elementos para deformarse ante una carga antes de fallar.

Dichas características varían por la propia naturaleza de los materiales, y es determinada en laboratorio tras una serie de pruebas. Conociendo dichas propiedades de los elementos utilizados en una estructura, se pueden obtener los resultados finales de ésta. La ingeniería estructural se fundamenta en los resultados de la mecánica de materiales.

La estética, la función o el simple beneficio a particulares pierden todo su valor cuando no se puede garantizar la seguridad en una estructura, la importancia del diseño estructural por mucho más importante que cualquier otra cualidad o servicio de cualquier construcción, fundamentado por el principio de seguridad.

1.5. Análisis estructural.

Habiendo definido los principios de mecánica de materiales, es importante entender ahora cómo se garantiza dicho comportamiento. El cálculo estructural se divide básicamente en dos etapas, el análisis y el diseño. El primero se refiere a determinar las cargas y fuerzas externas que actúan sobre un elemento o material. “El análisis estructural consiste en calcular las fuerzas internas y las deflexiones en un

punto cualquiera de una estructura” (Camba; 1982; 4), de esta manera cita tres principios fundamentales en los que éste se basa:

- Garantizar un equilibrio entre las fuerzas internas y externas en todos los elementos que forman la estructura.
- Mostrar una compatibilidad en las deformaciones en todos los elementos de la estructura, resultado de la respuesta ante las diversas cargas.
- Mostrar la relación de fuerzas-desplazamientos.

El equilibrio estático se logra cuando la sumatoria de todas las fuerzas actuantes en los sentidos “x” y “y” equivale a cero, así como el momento flexionante. Basándose en la Primera Ley de Newton publicada en 1687: “Un cuerpo sobre el que no actúa una fuerza neta se mueve con velocidad constante (que puede ser cero) y aceleración cero.” (Zemancky; 2009; 111). Dicha ley es en la que se basa el análisis final de una estructura, el comportamiento de éste ante la presencia de las solicitaciones del servicio de la estructura y de la propia naturaleza en la que está localizada geográficamente dicha estructura.

Merritt (2010), menciona que las cargas se pueden clasificar de diferentes maneras, desde su forma de actuar, hasta su origen. Por ejemplo, una clasificación es si la carga es permanente y constante se le dice carga estática, si es temporal y variable se le llama dinámica; por su forma de acción puede ser concentrada si actúa en una zona en particular o distribuida si está aplicada sobre una superficie de soporte, este tipo de clasificación aplica en modelos matemáticos en el diseño de distribución de cargas. Otra clasificación, la cual es la más habitual para el análisis general de

cargas, es la que clasifica todas en base a su naturaleza bajo en nombre de cargas muertas, cargas vivas y cargas accidentales.

1.5.1. Cargas muertas.

Reciben este nombre las cargas que son ejercidas por el peso de la misma estructura, el cual está en función del propio peso volumétrico de los materiales utilizados para la estructura y detalle arquitectónico, así como los materiales necesarios para el buen funcionamiento de las instalaciones, hidráulicas, sanitarias, eléctricas y especiales. Son cargas de naturaleza estáticas, cargas inherentes de los propios materiales utilizados; muchas veces, el propio diseño o materiales de la estructura determinan si en verdad vale la pena desarrollar el proyecto, ya que es evidente una relación directa con el peso de la propia estructura con el monto económico del desarrollo del proyecto

1.5.2. Cargas vivas.

Las cargas vivas se refieren a todas las cargas dinámicas (que cambian en función de tiempo o uso), que son aplicadas o que debe soportar una estructura por el propio diseño y servicio para los cuales fue diseñada la estructura. Por la propia naturaleza tan volátil, los valores que aparecen en la tabla de cargas tiene una naturaleza estadística. El peso a considerar de las estructuras para carga viva fue tomado en base a investigaciones previas, las cuales aparecen en el Reglamento de

Construcción de la Ciudad de México (2017) para cada uno de los tipos y usos de estructuras.

1.5.3. Cargas accidentales.

Las cargas accidentales se conforman por el conjunto de acciones de la propia naturaleza que afectan a la estructura. Los análisis de estas cargas suelen determinar el diseño final de la estructura, puesto que sus magnitudes pueden ser mayores que incluso el propio peso de la estructura o las cargas que sostiene. Algunas de estas cargas son las siguientes:

- **Sismo:** sin duda una de las más importantes y catastróficas cargas a las que se someten las estructuras, son causadas por los movimientos telúricos ocasionados por los movimientos de las placas tectónicas al liberar energía del centro de la tierra, la aceleración que provoca dicho fenómeno “golpea” a la propia estructura generando esfuerzos internos en ella. Para un correcto análisis de sismos se recurre al Manual de Obras Civiles de CFE (2008), el cual registra y señala una zonificación sísmica para toda la República Mexicana.
- **Viento:** se refiere a las fuerzas ejercidas por el movimiento de la masa del aire que impacta a cierta velocidad en la superficie del edificio. Esta acción aumenta con respecto a la altura de la estructura.
- **Lluvia, nieve y granizo:** son las cargas que debe soportar la estructura por cuestiones meteorológicas, esto se revisa por una avenida máxima en un periodo de tiempo.

- **Otras cargas:** el Reglamento de Construcción de la Ciudad de México (2017) refiere a otro tipo de cargas, particulares para cada construcción dependiendo de su funcionamiento, como el uso de ciertas máquinas que trabajarán en ella, esfuerzos de empuje geo-estáticos, entre otros.

1.6. Elementos mecánicos.

Se le llaman elementos mecánicos a los esfuerzos internos que existen en un medio continuo al soportar una carga exterior. La relación directa de estos esfuerzos nace de la propia fórmula de esfuerzo que es directamente proporcional a la carga que actúa e inversamente proporcional a la superficie en la que ocurre la reacción. “Cuando un material está sometido a fuerzas externas, desarrollará uno o más de los siguientes tipos de deformación: elástica lineal, elástica no lineal, viscoelástica, plástica e inelástica” (Merritt; 2010: 207). Esto se fundamenta en que, a pesar de que todos los materiales son sólidos, éstos tienden a tener una deformación, la cual se busca que sea mínima para mantener el mismo comportamiento con el que fue diseñado, esta deformación se identifica con el módulo de Young (E), propiedad cualitativa de cada tipo de material, entre mayor sea este factor, se puede decir que es mayor la resistencia de dicho material.

Existen distintas fuerzas sobre un elemento, respecto a la dirección o sección sobre la que se produce la carga. Del mismo modo, la resistencia del elemento o material analizado, también varía con respecto al tipo de carga.

- **Fuerza axial:** el mismo Merritt (2010) señala que las cargas axiales son las que se aplican sobre el centroide del elemento referente a un

plano en particular y es ortogonal a otro plano principal. Este tipo de cargas pueden ser de compresión, o tensión. Las primeras ocurren cuando las cargas tienen a acortar la longitud del elemento, mientras que las segundas tienden a alargarlo. El comportamiento de cada material es muy variado respecto a estas cargas, por lo que se debe tener en cuenta su propia naturaleza. Un ejemplo muy claro es que el concreto es muy bueno en su capacidad de carga a la compresión, mientras que su resistencia a la tensión es prácticamente nula, siendo el caso contrario el acero, el cual trabaja muy bien a la tensión, podría decirse que su resistencia puede llegar a los máximos niveles de esfuerzo y no causa ningún inconveniente, pero cuando el mismo acero es sometido a compresión el problema con éste es que existe una posibilidad de pandeo claro en su sección y provocar una falla.

- **Esfuerzo cortante:** el esfuerzo cortante tiende a provocar que el elemento se divida en distintas partes y se deslicen entre ellas. Prácticamente, como su nombre lo indica, este esfuerzo transversal tiende a separar diversas fracciones de la pieza completa. La resistencia a este elemento mecánico también depende del propio elemento.
- **Momento flexionante:** Como resultado de aplicación de cargas en un elemento sólido, se genera un movimiento rotatorio en el sentido en el que se aplica la carga. Hibbeler (2010) expresa que el momento aplicado sobre un cuerpo rígido es igual a la fuerza actuante multiplicada por el brazo de palanca, entendiéndose como la distancia del punto de análisis hasta la sección donde aplica dicha fuerza. Por lo tanto, se entiende que entre mayor sea el brazo de palanca, mayor

será el momento de giro, así como la componente perpendicular de la propia fuerza, para que una fuerza actuante sea 100% efectiva.

- Momento torsionante: así como se analiza el momento flexionante en el sentido longitudinal, existe la posibilidad de que la partícula analizada presente un momento en el sentido transversal, dicho fenómeno es al que se le llama momento torsionante. El principio de este elemento mecánico es el mismo que el del momento en sentido longitudinal, cuando existe una carga desfasada del centroide de la pieza, ésta provoca un giro en la pieza. Normalmente no existe una gran distancia en el sentido transversal de los elementos en los que se puede presentar la torsión, así que no es muy común que se presente este fenómeno de forma crítica para el correcto funcionamiento de la estructura.

1.7 Sistemas estructurales.

Los elementos que conforman un sistema estructural completo pueden ser clasificados por su geometría, misma que permite el campo de trabajo de cada elemento. La resistencia de un material no solo está ligada a su capacidad de oponerse a la deformación, o su ductilidad, sino que tanto el área como la inercia del elemento juegan un papel sumamente importante en el momento de acción de las cargas. De hecho, los fundamentos de la estática estructural demuestran que la simple diferencia de inercia de una sección puede reducir el costo de los materiales, y por ende del proyecto. A continuación, se describirán los principales tipos de elementos que se presentan en una estructura, clasificados con respecto a su geometría.

1.7.1 Elementos lineales.

“Los elementos más sencillos que pueden identificarse en una estructura son aquellos que se moldean como líneas, o sea que una de sus dimensiones es mucho mayor que las otras dos” (Meli; 2010; 281). En las principales funciones de estos elementos se puede decir que en la mayoría de los casos son diseñados para resistir cargas axiales, fuerzas que van en el mismo sentido que su lado longitudinal, transmitiendo la carga de un punto a otro.

En los puentes y armaduras metálicas es muy común encontrar este tipo de elementos. Cuando un elemento barra está sujeto a tensión su deber es soportar cierto esfuerzo en ambos extremos, Meli (2010) menciona que es de suma importancia la conexión correcta de estos elementos a donde quieren transmitir la carga; inclusive, el mismo material de la junta constructiva puede llegar a ser más caro que los mismos elementos que se intentan unir, en el caso de tensores, suelen utilizarse anclas que entran en contacto con concreto o acero y por fuerzas de fricción o adherencia quedan unidos ambos materiales, la mampostería no resiste ningún esfuerzo a tensión. No obstante, en la tensión de elementos barra es importante recordar que en la presencia de cargas dinámicas (fuerzas que pueden cambiar de dirección o sentido), una cuerda diseñada para tensión puede no trabajar más de la misma manera que la que se había proyectado anteriormente, puesto que en ocasiones no cuentan con la rigidez necesaria para dicho comportamiento en los otros sentidos.

Cuando un elemento barra está sujeto a compresión se le llama poste, naturalmente se entiende que soporta una carga para restringir el movimiento en dicho sentido. Es común entender el término columna para estos elementos, pero se les

llama columna a los elementos que están sujetos a más de un tipo de carga, es muy común que tanto por el comportamiento de la estructura o por el mismo proceso constructivo, se genera una pequeña excentricidad de la carga sobre el centroide del elemento analizado, es por eso que las columnas deben trabajar bajo un esfuerzo combinado de flexo-compresión, dicho fenómeno es bastante común, Meli (2010) expresa que elementos sometidos a este tipo de cargas presentan un pandeo longitudinal. Los arcos formados con mampostería y concreto han demostrado un buen comportamiento, debido a la alta capacidad de ambos materiales de soportar compresión, siendo estos esfuerzos distribuidos a todo lo largo del elemento.

La viga es otro elemento lineal muy importante, el cual trabaja transmitiendo cargas ortogonales a su sentido longitudinal a los apoyos sobre los que esté sujeta, este elemento no recibe cargas axiales, pero en su deformación tiene que aguantar este tipo de fenómenos. En una viga, al intentar flexionarse, la parte inferior de la sección estará sometida a tensión, puesto que tiende a estirarse, mientras que en la parte superior los esfuerzos serán a compresión; el esfuerzo máximo generado será en la fibra más alejada del centro de la pieza actuando por el brazo de palanca, una viga rectangular no estará trabajando de forma eficiente, puesto que mientras la mitad de la sección debe soportar un gran esfuerzo, la otra mitad no se acerca a dicha cantidad. En acero los perfiles IPR son los más convenientes para estos casos, ya se hablará de ellos en el capítulo dos. Además de la flexión, la viga debe soportar otros esfuerzos a lo largo de su sección, como el esfuerzo cortante, el pandeo lateral y pandeo local, así como la torsión del alma y de los patines.

1.7.2 Elementos placa.

Otro de los elementos más comunes que existen en las estructuras son los llamados elementos de placa, aunque su nombre cambia con respecto a las acciones que éste aporta a la estructura. La característica principal de estos elementos es que poseen dos de sus dimensiones mucho mayor que la tercera, haciendo su trabajo efectivo en una superficie en particular, esta cara más amplia suele ser lisa y recibir cargas normales en dicho sentido, esta es la principal función de losas y techos. Para describir el trabajo de dichos elementos se analizan en base a su geometría, que será lo que define cómo se comportará la distribución de cargas dentro del sistema. Cuando una losa posee una de estas dimensiones aún el doble de largo que la otra, se dice que trabaja en un sentido, puesto que el lado corto es donde se presenta la deflexión por la misma Teoría de Poisson, (Meli, 2010), cuando la placa tiende a ser cuadrada se dice que trabaja en ambos sentidos.

El comportamiento de dichos elementos es muy variado, puesto que se debe revisar también cuando son simplemente apoyados sobre vigas, o si cuentan con un perímetro reforzado, o incluso cuando solo se encuentran sobre columnas. En general es esfuerzo crítico de una losa es la flexión, generada por las cargas normales que se presentan, al ser elementos altamente hiperestáticos, las losas no suelen sufrir por cuestiones de cortante, ya que este cumple muy bien con el esfuerzo permisible. Existen muchas maneras de diseñar losas, inclusive llegando a un concepto de losas tipo "sándwich", la cual con un material en el centro diferente al de las tapas con el fin de aumentar su inercia, y por ende su rigidez.

Por otra parte, los muros o tableros son elementos de placa sujetas normalmente a compresión, naturalmente mucho menor a la que resiste una columna. Aunque suelen ser utilizados a menudo para resistir cargas, no se debe de olvidar que la gran relación de esbeltez provoca la considerable reducción de su capacidad de carga ante pequeñas excentricidades o momentos flexionantes. Los beneficios que puede aportar un muro varían dependiendo de la necesidad de la estructura, existen muros diafragmas encargados de adsorber esfuerzos de cortante, puesto que la distribución de las cargas a lo largo de su superficie de apoyo provocan movimientos internos en sus partículas; otra función que presentan es la de rigidizar la estructura en un sentido, por lo general en una casa habitación la relación de muros que existen en una superficie contra otra suele ser muy importante a la hora de determinar la resistencia de la estructura ante un sismo, Finalmente se pueden agregar a la lista muros tapón, que si bien no son elementos estructurales, cuentan con las características básicas de elementos de tipo placa.

1.7.3 Elementos con geometría curva.

Existen elementos que, al tener presentar una discontinuidad en uno de los ejes lineales principales, poseen la capacidad de disipar esfuerzos de una forma más eficiente, dividiendo las cargas en dos componentes principales respecto al ángulo de curvatura que presenta el elemento en dicha sección. Meli (2010) describe distintos elementos que se pueden presentar con estas características: llama como membrana a todos los elementos que tienen un espesor muy pequeño, en el que las propiedades de los materiales se aprecia cierta maleabilidad en la que la falta de rigidez favorece

este aspecto, de hecho, el aplicar esfuerzos de tensión sobre el mismo elemento favorece la correcta distribución de las cargas aplicadas, en ocasiones, algunos proyectistas diseñan dos direcciones de curva, puesto que esto ayuda a incrementar la tensión sobre el mismo elemento. Otro diseño de elementos con superficie curva, es el cascarón, lo que podría llamarse lo contrario a una membrana o un cable, en estos casos se hace uso de la curva en dirección contraria a la dirección en la que se aplica la carga, se esta forma, se logra que el esfuerzo actuante se distribuye en el sentido para el que fue diseñado, el gran aumento de inercia por la forma de este elemento permite una muy buena rigidez, lográndose pequeños espesores de cascarones.

De estos elementos se puede concluir que, a pesar de trabajar con excelentes resultados y de poder ahorrarse importantes montos de dinero, aunque el proceso constructivo requiere un muy riguroso cuidado en su ejecución, puesto que incluso pequeñas deformaciones pueden provocar un comportamiento muy distinto o incluso desfavorable para la estructura.

1.8 Estado límite de falla.

En el diseño de las estructuras, los métodos de diseño, así como sus reglamentos, hacen una mención muy particular en los estados en los que una estructura puede seguir trabajando o no. La razón de definir claramente las características mínimas o necesarias para el uso de los edificios radica principalmente en la seguridad de los usuarios o de toda persona que pueda resultar afectada si en algún momento la construcción ya no es tan segura como debiera.

Para determinar lineamientos mínimos en la capacidad de carga de un elemento estructural ya construido y que fue afectado, haya sido por una carga accidental, un efecto de sobre-estrés o un proceso constructivo inadecuado, el Reglamento de Construcción de la Ciudad de México (2017), declara el estado límite de falla, definiéndolo como cualquier suceso que agote o sobrepase la capacidad de carga del sistema estructural, o en su defecto, de uno de sus elementos. A su vez, menciona que los efectos de los sismos en las estructuras reducen su vida útil en un 10% de los años que se tenía considerada. En estructuras de concreto se puede considerar que el edificio puede llegar entre 50 a 80 años de vida útil antes de que comience a bajar su capacidad de carga.

En el diseño de estructuras, para evitar que se llegue a este punto de estrés se diseñará en base a la combinación de cargas más desfavorable que se estima que se puede presentar a lo largo de la vida de la estructura, de esta forma se tiene un margen de seguridad importante, para que la resistencia del sistema es más fuerte que las solicitaciones que se le apliquen.

Otros efectos que pueden suceder en la estructura se presentan en la cimentación, cuando el efecto de flotamiento por el nivel de agua freática genera un empuje hacia la estructura, desestabilizando la estructura. En la misma cimentación se puede presentar una falla o fractura de sus elementos, en estos casos se puede considerar un grave estado límite de falla, puesto que la distribución de cargas al suelo por parte de la estructura de comportará de una manera crítica, generando una falla también en el suelo en el que se desplanta la estructura. De la revisión exacta de este concepto dependen las vidas y bienes que se albergarán en la estructura, en un buen

diseño estructural, se deben revisar incluso los comportamientos de los materiales utilizados antes de llegar a este nivel de falla, permitiendo así que los usuarios puedan desalojar las instalaciones de forma segura en el tiempo de evacuación estipulado por las autoridades antes de que se pudiera presentar la falla total o parcial de la estructura.

Es muy común que, a lo largo de la vida útil de la estructura, ésta cambie de objetivos o funciones para las cuales fue diseñada originalmente, provocando que el comportamiento de la estructura cambie. En muchas ocasiones, bajo el motivo de estos cambios, elementos estructurales importantes se ven en la necesidad de ser removidos, puesto que afectarán en las nuevas actividades para las que se destinará el edificio. Dentro de estos cambios existe la posibilidad de que provoquen ya sea un incremento de carga o una disminución de la misma, es tarea de las autoridades correspondientes y de los dueños de los edificios hacer una revisión estructural que garantice que el estado límite de falla no se verá excedido por este tipo de cambios.

1.9. Estado límite de servicio.

Otro criterio fundamental que el proyectista no debe de olvidar es el estado límite de servicio, señalado por el mismo Reglamento de Construcción de la Ciudad de México (2017), bajo este concepto se entiende a todos los efectos producidos por las cargas, ya sean desplazamientos, deformaciones, agrietamientos, vibraciones o algún efecto que altere el correcto funcionamiento del edificio, pero, que no afectará la capacidad de carga del mismo. Expresado de otra manera, el estado límite de servicio

provocará que la estructura no pueda trabajar con el objetivo para el que fue diseñada, pero aún tiene la resistencia suficiente para soportar las cargas que se le aplicarán.

Se puede expresar este tipo de falla, por ejemplo, a un espacio en el que se coloca un muro de cristal, y al momento de aplicar las cargas que se presentan sobre la trabe o lo que, ubicada encima de dicho muro, puedan transmitir esfuerzos al cristal por la propia deformación; el mismo reglamento aporta criterios de diseño para cada tipo de material evitando así, que ocurran este tipo de problemas.

Las fallas que se producen durante el estado límite de servicio, pueden llegar a provocar una sensación de angustia e incertidumbre en los usuarios de la estructura. Es importante recordar que la seguridad también es una sensación que se debe transmitir a las personas que harán uso de la estructura, en este sentido, si se presenta un estado límite como un agrietamiento o deformación, las personas llegan a optar no hacer uso del mismo lugar porque el estado límite de servicio ya se excedió, ya sea por el simple hecho de que la estructura deja de transmitir el sentido de seguridad que se desea (incluso cuando estas grietas se presentan solo en los recubrimientos o aplanados de los elementos). Existen cálculos y diseños que no dependen de la capacidad de carga de los elementos, sino de las deformaciones que éstas puedan provocar en las estructuras, una vez dimensionada la pieza y garantiza su resistencia, no se debe de olvidar la revisión de su rigidez o ductilidad al momento de ser cargado el elemento.

Finalmente, las vibraciones que se presentan en una estructura podrán transmitirse como cargas dinámicas al suelo, y en su proceso de disipación lleguen a las estructuras, provocando que el equilibrio estático de la estructura se pierda por un

periodo corto de diseño, si dichas vibraciones afectan en las actividades que se realizan dentro del edificio se ven afectadas, el mismo estado límite de servicio se verá afectado, bajando así la calidad del funcionamiento de la estructura.

1.10 Métodos de análisis.

En el cálculo estructural, el estudio de cargas se deberá llevar a cabo de forma cuidadosa y bien definida, delimitando el campo de acción de cada una de las fuerzas que actuarán sobre la estructura. Para esto el número de variables debe estar bien definido antes de comenzar a determinar los esfuerzos actuantes en cada una de las piezas que forman el sistema. Dentro de los principios de la estática estructural, se mencionan el grado de libertad o de movimiento que presenta el sistema completo, teniendo por entendido que la cantidad de variables es dependiente del método de análisis y la cantidad de fuerzas que se aplican sobre ésta.

Para entender las principales diferencias en los métodos de análisis, se entiende que existen dos formas de clasificar los elementos que trabajan dentro del sistema. “Una estructura estable internamente se considera que es estáticamente determinada o isostática si todas las reacciones de sus apoyos se pueden establecer resolviendo las ecuaciones de equilibrio” (Kasimalli; 2015; 58). Para fines de análisis, los elementos lineales o planos pueden ser interpretados como cuerpos rígidos de tres dimensiones, determinando el plano principal en el que se aplican las cargas en sus determinados ejes axiales.

En resumen, al existir sólo tres ecuaciones de equilibrio, los elementos isostáticos son los que tienen tres reacciones actuando sobre ellos; si en un sistema la cantidad de reacciones es menor a tres, se dice que el elemento es estáticamente inestable, puesto que esto se refiere a que puede existir un desplazamiento que no pueda corregirse o se pierda el equilibrio de fuerzas de todo el sistema. En ocasiones, si no se tiene el cuidado debido en este aspecto, el colapso del diseño puede llegar a suceder.

Por el contrario, si la suma de reacciones en un elemento es mayor a tres, la estructura recibe el nombre de hiperestática, y todas las reacciones adicionales serán llamadas, redundantes, siendo la cantidad de redundantes la que determinan el grado de indeterminación externa. A pesar de requerir métodos de análisis mucho más complejos que para estructuras isostáticas, este tipo de sistemas presentan ventajas muy importantes que favorecen un mejor comportamiento en el momento de la carga.

- Los esfuerzos aplicados en los distintos elementos son mucho menores que en las estructuras libres, los apoyos de empotramiento favorecen la distribución y absorción de esfuerzos que llegan a dicho punto, generando que el estrés de carga aplicado en los elementos sea menor.
- La rigidez aumento, esto significa que las deformaciones son mucho menores en estos elementos, de hecho, una trabe empotrada en ambos sentidos se deforma cinco veces menos que una que está simplemente apoyada, lo cual favorece a la revisión de estado límite de servicio.
- Las redundantes funcionan como un espacio de seguridad en la estructura, si en dado caso, la capacidad de carga de la estructura se ve

sobrepasada, cosa que puede ocurrir por el propio servicio, la acción de un sismo o cualquier otra carga accidental, las redundantes permiten que, en caso de fallar un punto en particular, el esfuerzo que recibía el elemento que falló, se distribuya a ésta, ayudando a que no se venza por completo el servicio que puede dar todo el sistema.

En términos generales, las armaduras planas para naves industriales, u otras edificaciones, son diseñadas de manera que trabajen como estructuras isostáticas. Los edificios, por lo general, y por su comportamiento en tres dimensiones es diseñado como estructura hiperestática.

Con el paso del tiempo, y las exigencias del mundo moderno, los métodos de análisis para las estructuras, han demandado a los ingenieros a buscar no solo métodos más exactos en sus resultados, sino también en menor tiempo, el mercado y las demandas de proyectos cada vez más desafiantes han provocado una evolución importante en el cálculo estructural. A continuación, se hace solamente mención de algunos métodos de análisis que se utilizan hoy en día.

- **Método de rigideces:** las incógnitas en este método se basan en el análisis por los desplazamientos de los nudos, los cuales son los apoyos, extremos libres en voladizos o en los puntos donde se conectan dos o más miembros (Camba, 1982), las incógnitas se resuelven en base a ecuaciones de estática estructural determinando de antemano que los esfuerzos que llegan a dicho nodo son igual a cero en todos los sentidos. Determinando esta variable como una constante, se puede llegar a la conclusión de que el sistema no tendrá afectación de este tipo, obteniendo el esfuerzo que la pieza debe superar para que no vaya a fallar.

- **Método de Cross:** este método no es del grupo de los de aproximaciones, sino que se resumen en una serie de aproximaciones de momentos de manera cíclica, que llega al resultado de variable por valores hipotéticos y de esta manera llegar a una precisión deseada. Éste método puede utilizarse en la aplicación de elementos de sección constante o variable, así como en secciones de eje longitudinal recto o curvo.
- **Modelado en software BIM:** Se puede decir que hoy en día en la mayoría de las oficinas de cálculo estructural, es éste el método predominante sobre los mencionados anteriormente, puesto que la exactitud infinitesimal de la computadora y la velocidad con lo que son realizados los análisis. “El modelado de información de edificios es un proceso integrado cimentado en la información coordinada y confiable de un proyecto, desde su diseño hasta su construcción y funcionamiento” (www.civilgeeks.com, 2018). Los softwares BIM nacieron como una ayuda a los arquitectos en la creación de los proyectos de forma didáctica, pero en los últimos años han avanzado en su campo en programas dedicados al análisis y diseño de distintos elementos proyectos de construcción. Algunos de los programas dedicados a estas funciones son de la empresa CSI SAP2000 y el programa ETabs en todas sus versiones, así como la gama de AUTODESK con el programa de Revit y Robot, los cuales arrojan información integral del proyecto en desarrollo de forma óptima. En la presente investigación el método de análisis se realizará en base a este método de software BIM.

1.11 Criterios de diseño.

Una vez realizado el estudio de cargas sobre la estructura y de realizar el análisis estructural en la estructura, se procede a la elección de método de criterio por el juicio del calculista y basándose al mejor comportamiento que pudiera presentar la estructura en cuestión de la normativa respectiva a la región. Los métodos de diseño pueden ser en particular a un elemento estructural, a un tipo de carga, o por reglamentos que distintas autoridades emiten para garantizar la seguridad necesaria de las estructuras.

Existen varios métodos de diseño emitidos por las autoridades mexicanas, a diferencia de las recomendaciones, éstos suelen tener carácter legal y obligatorio para la acreditación y el permiso de una construcción; otra razón importante de la existencia de estos métodos es que, en caso de la falla parcial o total de una estructura, las autoridades harán un análisis cuidadoso del edificio para encontrar el verdadero responsable de dicha falla.

Dentro de los principales criterios de diseño de una estructura, se pueden citar los dos siguientes:

- **Criterio de esfuerzos admisibles:** todos los materiales en general presentan dos estados al ser sometidos a esfuerzos, comienzan con un comportamiento elástico, en los que las deformaciones son temporales y no hay daño alguno en el material, y existe el estado plástico, en el que el material llega a un punto donde no puede recuperarse de dicha carga o simplemente falla. El método de esfuerzos permisibles garantiza que

los materiales siempre permanezcan en su estado elástico, permitiendo un margen de seguridad para que nunca se llegue a su estado de fluencia máxima. En varios de los casos, los límites de carga de los distintos materiales se han determinado por medio de pruebas experimentales, generando un rango de valores y un promedio de resistencias. Los ingenieros describen este método con alta seguridad y muy conservador, si bien seguro hace que las estructuras se eleven en su costo, puesto que se necesita más volumen para soportar las cargas.

- **Criterio de factores de carga y resistencia:** Este criterio de diseño es llamado por otros autores por estados límite o resistencia última, tiene como principio una vez determinadas las cargas a las que se someterá la estructura en sus secciones críticas, afectarlas por un factor de servicio mayor a la unidad. De esta manera, y dependiendo del elemento mecánico con el que se trabajará, se reduce también la resistencia del elemento en un pequeño porcentaje, así es como en este método existe un campo de seguridad de menor tamaño que el método de esfuerzos permisibles.

CAPÍTULO 2

ESTRUCTURAS DE ACERO

En el presente capítulo se abordan las principales características del acero estructural utilizado en edificaciones hoy en día. Con los avances tecnológicos y científicos, el hombre ha sido capaz de crear y trabajar con nuevos tipos de materiales en las construcciones, permitiendo que las mismas tengan un comportamiento más asertivo respecto al concepto que se quiere trabajar en el proyecto, así como en un mejor comportamiento de toda la estructura que trabaja bajo ciertos parámetros o esfuerzos en particular.

2.1. Concepto de estructuras de acero.

Como se mencionó previamente en el capítulo anterior, se entiende por estructura al conjunto de elementos que trabajan para resolver una función en particular, como resistir una carga o salvar un claro. Ahora bien, al referirse a estructuras de acero se refiere en el Reglamento de Construcción de la Ciudad de México (2017) a los puentes, tanques, torres de antenas, estructuras industriales no convencionales, edificios urbanos y fabriles, y otras estructuras especiales formadas en su superestructura por acero en su mayoría.

El tipo de acero utilizado en dichas estructuras está delimitado en el apartado de Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras Metálicas, en donde se enlistan los tipos de aceros permitidos legalmente para la

construcción de cualquier proyecto en base a la Norma Oficial Mexicana NOM-B-282 en la que se especifican los requisitos necesarios para que un tipo de aleación sea considerada estructural.

2.2. Acero estructural.

En el mercado existen muchos tipos de aceros capaces de resistir las diversas cargas que se requieren para todo tipo de proyectos estructurales. Para fines de identificación, en base a la nomenclatura de la Norma Oficial Mexicana es como se llaman los tipos de aceros estructurales que existen. A continuación, se presentan los distintos tipos de aceros comerciales con el nombre denominado por la NOM-B-282, así con su nombre equivalente de la American Society for Testing and Materials, dedicada al estudio de parámetros estándar y calidad de todos los materiales que salen al mercado en los Estados Unidos.

Nomenclatura		Fy	Fu	
NOM	ASTM	(kg/cm ²)	(kg/cm ²)	
B-254	A36	2530	4080	
B-99	A529	2950	4220	
B-282	A242	2950	4430	
		3235	4710	
		3515	4920	
B-284	A572	2950	4220	
		3515	4570	
		4220	5270	
		4570	5620	
		A992	3515	4570
B-177	A53	2460	4220	
B-199	A500	3235	4360	
B-200	A501	2530	4080	
		A588	3515	4920
		A913	3515	4570

Tabla 2.1: Tabla de relación de capacidad de carga de distintos tipos de aceros.

Fuente: Reglamento de construcción del Distrito Federal, 2010.

Existe la posibilidad de utilizar otro tipo de aceros aceptados bajo el criterio del proyectista y de la administración correspondiente, ya que existen elementos que bajo cierto tipo de demanda o propiedad en particular son requeridos, como la anisotropía, su ductilidad, la resistencia a la corrosión, la facilidad de formado en frío o tenacidad.

El tipo de acero utilizado en remaches y tornillos serán mencionados más adelante.

2.3. Acero como material estructural.

Dentro de las cualidades y características de los materiales para la construcción, el acero posee muchas propiedades que lo convierten en un material muy favorable para la construcción y desarrollo de diversas estructuras. Brockenbrough (2009), cita algunas de las principales propiedades que explican el buen comportamiento del acero en su trabajo en las estructuras, al poseer un alto módulo de elasticidad se entiende que su deformación es mínima aplicando grandes cargas sobre el perfil, además de tener un comportamiento lineal, lo que permite estimar con exactitud la deformación que el elemento presentará por medio de la teoría elástica. En el mercado existen distintos perfiles para los diversos elementos estructurales que pueden requerirse en un sistema estructural, por medio de las tablas de propiedades desarrolladas por los proveedores, el ingeniero proyectista tiene la capacidad de diseñar un modelo de forma más rápida y eficiente, disminuyendo el tiempo requerido para el análisis y comparación de costo beneficio.

Sin duda alguna, otra de las propiedades del acero que lo convierten en un material mucho más para la construcción en relación al concreto, es que es un material industrial, lo que significa que tuvo que pasar por un proceso cuidadoso donde la seguridad en las variables que influyen en su producción son revisadas y protegidas bajo estándares de calidad, niveles que no se pueden alcanzar en un campo de construcción. Agregado a todo esto se tiene que, al tener un módulo de elasticidad mucho más alto que el concreto, el esfuerzo que puede soportar es a su vez, mucho mayor que el del concreto, lo que significa que se pueden tener el mismo rendimiento que el concreto, pero con perfiles más esbeltos o con menor área de sección, lo que se traduce como elementos menos costosos y sobre todo estructuras menos pesadas, tal vez esto último no sea muy apreciable en obras pequeñas como una casa habitación, pero al tratarse de edificios de varios niveles es muy importante la carga que se está transmitiendo al suelo.

Brockenbrough (2009) agrega también que a pesar de su gran capacidad de carga, el acero es un material dúctil, lo que significa que incluso al aplicarse cargas muy grandes a los elementos de acero, éste tiene la capacidad de soportar sus deformaciones gracias a su propiedad inherente a la ductilidad, lo que le permitirá deformarse en un amplio rango elástico si llegar a la falla, de hecho, el acero antes de fallar súbitamente, llega a un límite de fluencia, lo que significa que llegará al final de su rango elástico y se deformará, no podrá volver a su estado original, pero habrá llegado a un grado de endurecimiento que le permitirá continuar con su capacidad de carga hasta un segundo límite, mayor que el primero. Algunos aceros reciben este proceso a propósito para llegar a ese nivel de resistencia desde el principio.

Finalmente, el acero es utilizado para recibir todos los esfuerzos de tensión que se vayan a presentar en una estructura, puesto que, a diferencia del concreto (al cual se le considera una capacidad de esfuerzo a tensión nula), el acero trabaja a eficiencia completa a tensión, lo que lo vuelve el material más utilizado para soportar este tipo de carga, desplazando por completo al concreto en toda estructura sometida a tensión.

No obstante, existen ciertas desventajas en el uso de acero para una estructura, comenzando por la corrosión, en su mayoría, los aceros sufren cierto impacto por la corrosión al estar expuestos a al aire y la humedad, debido a la interacción con el oxígeno, por lo que es necesario aplicar cierto recubrimiento a la superficie que está expuesta a la intemperie. Otro problema que se presenta en el acero es que, al ser usado en perfiles de huecos o muy esbeltos, éstos deben revisarse de que no sean afectados por un pandeo o flexión, en estructuras es común utilizar columnas de acero, puesto que, aun estando huecas pueden soportar la carga que está siendo aplicada, no obstante, es muy común que se necesite rigidizar la columna con algún otro elemento debido a este factor.

La fatiga es otro factor que se presenta en el acero, el cual es un tipo de falla que se presenta por la carga y descarga sobre el mismo elemento, esto puede agotar su capacidad de carga. Como último podría mencionarse que la última desventaja de la construcción en acero es que requiere de mano de obra especializada para su trabajo y construcción, en México se solicita que, al llevarse a cabo la construcción de una obra en acero, el personal contratado para su labor cuente con una licencia vigente que garantice la eficiencia del trabajo que realiza.

Se puede concluir en estas comparativas que el acero es un muy buen material para la construcción debido a su velocidad de instalación, además de ser un material industrial, con la propia garantía de tener las propiedades consideradas en diseño, y que el trabajo requiere para su correcto funcionamiento. A pesar de los elevados costos de material, el acero sigue siendo una opción muy acertada en el momento de elegir el tipo de material con el que se trabajará, en especial cuando el proyecto es de grandes dimensiones y el costo es de suma importancia para su ejecución.

2.4. Propiedades del acero estructural.

Dentro de las propiedades mecánicas del acero existen muchos valores que definen su comportamiento ante el esfuerzo, uno de ellos es el esfuerzo unitario de la aleación, o el límite de fluencia, es el punto en el cual el material se termina el comportamiento elástico del acero y comienza su estado plástico, está dado por su gráfica de esfuerzo-deformación unitaria por medio de una prueba a tensión, que es en donde alcanza este valor máximo. El Reglamento de Construcción de la Ciudad de México (2017) señala otro valor importante del acero en el análisis de mecánica de materiales, siendo el módulo de elasticidad, definido por la pendiente de la misma gráfica de esfuerzo-deformación unitaria, para todos los aceros estructurales se toma comúnmente de 2´040,000 kg/cm².

El acero es un material dúctil, lo que se interpreta por su capacidad a deformarse sin presentar fractura, esto se mide en porcentaje de elongación de una probeta de muestra de una longitud predeterminada (de 2 a 8 pulgadas). A esto, se le puede agregar la soldabilidad, ya que existen metales que al entrar en este proceso pierden algunas de sus propiedades mecánicas, este no es el caso del acero estructural; sin embargo, los métodos y materiales utilizados durante este proceso deben ser aprobados para cada tipo de acero, en general una aleación tiene más soldabilidad cuando disminuye la presencia del carbono y manganeso.

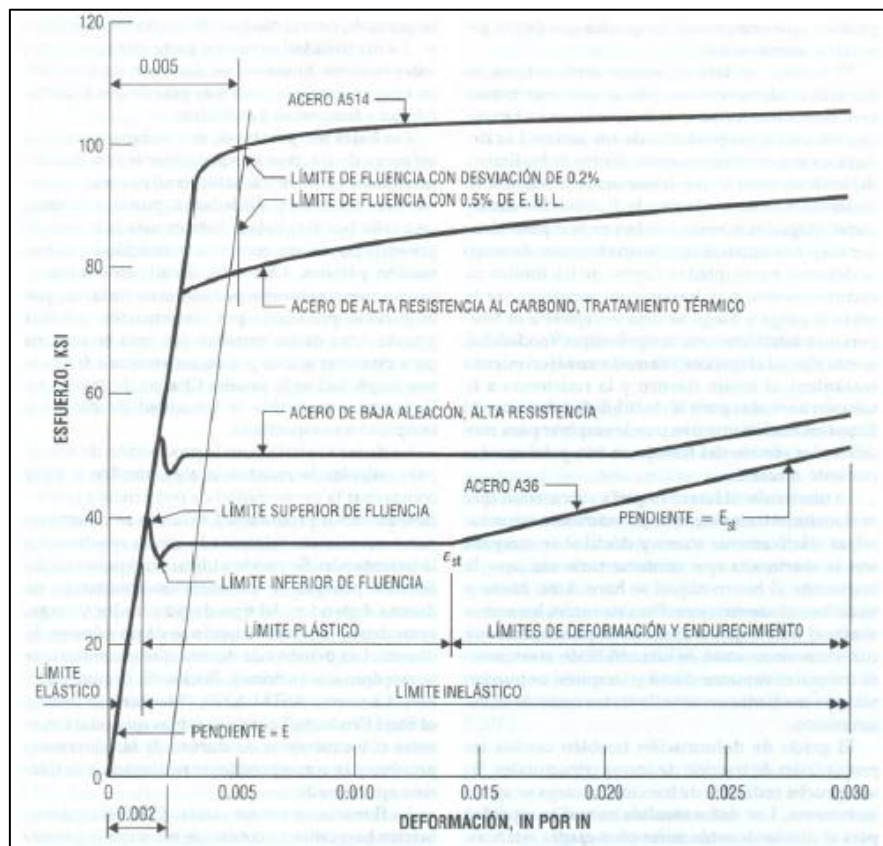


Gráfico 2.1: Gráficas de esfuerzo-deformación en distintos tipos de acero. Fuente: *Brockenbrough; 2009: 5.37.*

Al haber una gran variedad de aleaciones, existen también ciertas propiedades que cambian por el tipo de acero estructural al que se refiere. Para México existe la

NMX-B-253, la cual es equivalente a la ASTM A36, que es la norma americana encargada de revisar las especificaciones estándar para barras, planchas, perfiles y elemento laminados de acero estructural. En los aceros clasificados como estructurales se han clasificado en base a una deformación y características en proporción a las demandas del proyecto. El comportamiento y propiedades de las aleaciones se obtienen gracias a los enlaces químicos de los elementos, las estructuras metalúrgicas, las cuales se manifiestan en el en la respuesta del material al momento de trabajar.

2.5. Comportamiento de estructuras en acero.

El proyectista debe ser capaz de prevenir e interpretar las acciones consecuentes que se manifestarán en las estructuras de acero con base en el comportamiento mecánico que el tipo de acero escogido tiene por naturaleza. En la mecánica estructural aparecen nuevos parámetros que en la de materiales, puesto que el comportamiento distante de elementos en un sistema tenderá a abrirse y trabajar distinto que un cuerpo sólido con las mismas propiedades, por el simple hecho del espacio que rodea dicho elemento, las deformaciones que presente o tenga libertad de manifestar son completamente diferentes a las que un conjunto de elementos separados.

El tipo de acero determinará a su vez el desarrollo y libertad que tengan los elementos para deformarse o seguir en un estado de equilibrio. La ductilidad es inversamente proporcional a la capacidad de carga de los aceros estructurales, lo que quiere decir que el perfil puede tener la capacidad de deformarse en un rango

considerable si presentar falla alguna, pero su resistencia máxima al esfuerzo será menor a la de un acero más rígido.

El principio de comportamiento del acero es que se trata de un material elástico, el cual, puede deformarse considerablemente antes de fallar, como se había mencionado anteriormente. Se sabe que los sismos son una manifestación de liberación de energía proveniente del centro de la tierra, la cual se libera en un comportamiento cinético, generando vibraciones en todos los cuerpos que están en su radio de acción, la capacidad del acero a absorber este tipo de movimientos, le permite permanecer constante y sin con esfuerzos excesivamente grandes por cuestión de rigidez, que los propios elementos tengan un trabajo interno extra al momento de recibir la carga de energía; en el acero, el choque energético se disipa en cortos periodos de oscilación, volviendo de esta manera la equilibrio estático. Pero al momento de diseñar con un tipo de acero más resistente y menos dúctil, esta restricción al movimiento también debe considerarse, puesto que dichos esfuerzos internos incrementarán y pueden afectar considerablemente la capacidad de carga del propio elemento.

2.6. Tipos de fallas en estructuras de acero.

Dentro del comportamiento de las estructuras de acero es también importante entender el tipo de fallas que se pueden presentar en proyectos construidos en acero, de hecho, McCormac (2013), menciona que las estructuras de acero no suelen presentar fallas por defectos de los propios elementos, sino que esas consecuencias remiten en un mal uso de las piezas estructurales, al haber sido hechas bajo procedimientos industriales y revisión de normativa y estándares de diseño, estos

defectos se reducen en casi nula la posibilidad de que la falla sea ocasionada por una baja calidad en el material.

Existen situaciones en las que los calculistas restan importancia a los puntos de juntas, o a los elementos de conexión, dejando que los encargados de dibujo armen el elemento sin considerar los verdaderos esfuerzos que se generan en dicha sección. Al no existir un buen criterio o un análisis mecánico de la estructura, existe la falla en ésta.

En lo que se refiere a cimentación, la mayoría de los esfuerzos excesivos que se presentan en una estructura de acero son provocados propiamente por asentamientos diferenciales en la estructura, lo que provoca que los elementos tengan una deformación excesiva con respecto a la que fue prevista, el mismo autor señala que este tipo de fallas es la más común que aparece en las estructuras de acero.

En lo que respecta al acero propiamente, no se deben de olvidar las medidas necesarias para atacar o contrarrestar un incendio que se pudiera presentar en el edificio, ya que las altas temperaturas dentro de las instalaciones afectarían notablemente su resistencia ante las sollicitaciones; el acero presenta el problema de requerir más inversión que el concreto en el momento de tomar las medidas necesarias para su protección. Durante la operación de la estructura, no se debe dejar de lado los requisitos mínimos que el acero requiere de su cuidado ante la corrosión, ya que este fenómeno químico provoca el desgaste de la sección de los elementos, generando que la pieza ceda ante las cargas que debe resistir.

Finalmente, es importante recordar fenómenos que se presentan en el acero que son más comunes que en otros materiales, el agotamiento de carga, la fatiga, las vibraciones, los fenómenos de pandeo local y la reducción de capacidad de carga por

los efectos de la compresión así como la falta de arriostramiento de los elementos estructurales deben de ser tomados muy en cuenta al momento de selección de piezas estructurales, tanto el momento de servicio del proyecto, como en el tiempo en que se está construyendo la estructura, ya que existen los proyectos que han fallado en este lapso de tiempo, porque no se consideraron las cargas o circunstancias que se presentarían en el momento de armado y anclaje.

2.7. Método de factores de carga y resistencia para acero estructural.

Dentro del diseño estructural, existen distintos métodos para el diseño óptimo y adecuado de los sistemas planteados, El AISC (American Institute Steel Construction), el cual es una asociación dedicada al estudio y diseño de estructuras en acero, con la tarea de diseñar y emitir normas y procedimientos de diseño en acero, muestra dos métodos de diseño para ingeniería, éstos son el Diseño con factores de carga y resistencia (LRFD: Load and Resistance Factor Design) y el Diseño por esfuerzos permisibles (ASD: Allowable Strength Design), expresados por McCormac (2014). Por mucho tiempo, los ingenieros estructuristas han trabajado con la incertidumbre de la precisión de la magnitud de las cargas que los edificios deben de resistir, la variedad de cargas tanto vivas como accidentales arroja cierto grado de incertidumbre que no puede cuantificarse con precisión, y, así como existen rangos de variación con las cargas, existen también cambios con la resistencia que en verdad presentan los materiales.

Existen dos diferencias principales de los métodos mencionados anteriormente, la primera se refiere a la manera de definir las cargas de diseño, en cuanto a las

combinaciones que existen y los factores de carga por los que se ven afectados, La segunda diferencia es en cuanto a los factores de resistencia por los que son afectados los elementos al momento de calcular, en el sistema LRFD, se les llama factores de resistencia, y en el ASD son los factores de seguridad, en ambos sistemas se refiere a una cifra menor a la unidad, la cual reduce dependiendo del elemento diseñado en cuestión qué tanto se bajará con este factor.

En ambos métodos existe el concepto de resistencia nominal, el cual se entiende por la completa capacidad de carga del elemento en relación a las propiedades de los materiales. En el método de LRFD, la resistencia se ve afectada por un factor menor a la unidad, trabajando solo con un porcentaje parcial de la capacidad de carga. En el ASD, el factor divide la capacidad de carga del elemento, el cual es mayor a la unidad considerando variaciones con la calidad del material, la mano de obra o algún proceso constructivo erróneo.

Es importante agregar que el método de criterio que escoja el proyectista es completamente independiente del método de análisis, ya que es muy evidente que las cargas o reacciones que se presentan en la estructura son autónomas del comportamiento que vaya a presentar la estructura.

En la presente investigación se trabajará sólo con el método del LRFD, puesto que es el mismo diseño con el que se trabaja en el Reglamento de Construcción de la Ciudad de México (2017), de esta manera, se garantiza que la normativa aplicada en el proyecto metodológico es vigente en toda la república.

Así mismo, para poder definir la capacidad de carga del elemento, el LRFD muestra una serie de combinaciones que se deben presentar para poder garantizar un buen comportamiento ante la presencia de todas las solicitaciones presentadas en la

estructura, haciendo mención de las cargas vivas, muertas y accidentales. El Reglamento de Construcción de la Ciudad de México, (2017) presenta las distintas combinaciones que se deben considerar para el diseño de estructuras:

- $C = CM + CV$.
- $C = FC (CM + CV)$.
- $C = FC (CM + CVa + Sx + 0.3Sy)$.
- $C = FC (CM + CVa + 0.3Sx + Sy)$.
- $C = FC (CM + CV + Vx + 0.3Vy)$.
- $C = FC (CM + CV + 0.3Vx + Vy)$.

Donde:

C =carga de diseño.

CM=carga muerta.

CV=carga viva debida a la ocupación.

CVa=carga viva considerada en un sismo.

Sx =valor de carga de sismo en el eje X.

Sy =valor de carga de sismo en el eje Y.

Vx =valor de carga de sismo en el eje X.

Vy =valor de carga de sismo en el eje Y.

Una vez analizadas todas las combinaciones de cargas, la reacción final será la que presente la combinación más desfavorable que se pueda ocurrir en el sistema. El análisis y acomodo de las distintas cargas asegura que el edificio será suficientemente resistente para trabajar de forma adecuada su vida útil.

2.8. Clasificación de perfiles.

El Reglamento de Construcción de la Ciudad de México (2017), propone una clasificación de elementos en relación a su esbeltez y la posibilidad de pandeo local. Estos fenómenos generados por efectos de la compresión flexo-compresión, desestabilizan la pieza al grado de provocar una falla en ella. La clasificación de estos elementos depende por el tipo de perfil del que se trate.

En la revisión de los perfiles, su comportamiento fue dado por pruebas experimentales de los perfiles en relación a la naturaleza de carga sobre los perfiles, su relación de esbeltez y el acero del que está hecho dicho perfil.

A continuación, se presente la clasificación a flexo-compresión de los perfiles en acero comunes:

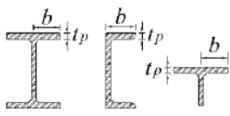
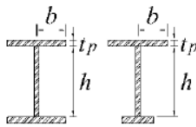
	Descripción del elemento	λ	λ_{pl} Sección tipo 1	λ_p Sección tipo 2	λ_r Sección tipo 3	Ejemplos
Elementos no atisados ^(c)	Patines de secciones laminadas I, H, canales y tés	b / t_p	$0.30 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.00 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	Patines de secciones I o H formadas por placas soldadas, con dos o un eje de simetría	b / t_p		$0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$0.95 \sqrt{\frac{k_r E}{F_L}}$ ^{(a) (b)}	

Tabla 2.2. Valores máximo admisibles por la relación de ancho/grueso; Fuente Reglamento de construcción de la Ciudad de México 2017; 146.

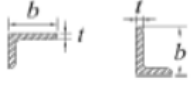
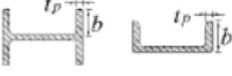

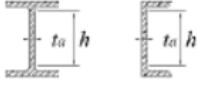


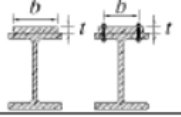

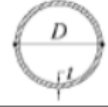
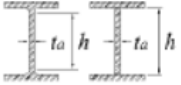
Alas de ángulos sencillos	b / t		$0.54 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$0.91 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
Patines de todas las secciones I, H y canal flexionadas alrededor del eje de menor inercia	b / t_p		$0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.00 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
Almas de secciones T	d / t_a	$0.30 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.03 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
Almas de secciones I y H con dos ejes de simetría y de canales	h / t_a	$2.45 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$3.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$5.70 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
Almas de secciones I y H con un solo eje de simetría	h_u / t_a		$\frac{\frac{h_u}{h_y} \sqrt{\frac{E}{F_y}}}{\left(0.54 \frac{M_p}{M_y} - 0.09\right)^2} \leq \lambda$	$5.70 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
Patines de secciones HSS y en cajón de paredes de grueso uniforme, ambas rectangulares	b / t	$1.12 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.12 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
Cubreplacas en los patines y diafragmas entre líneas de sujetadores o soldaduras	b / t	$1.12 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.12 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
Almas de secciones en cajón y HSS rectangulares	h / t		$2.42 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$5.70 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
HSS de sección circular	D / t	$0.038 \frac{E}{F_y}$	$0.07 \frac{E}{F_y}$	$0.31 \frac{E}{F_y}$	
Almas flexocomprimidas	h / t_a	$2.45 \sqrt{\frac{E}{F_y} \left(1 - 0.4 \frac{P}{F_y P_y}\right)}$	$3.75 \sqrt{\frac{E}{F_y} \left(1 - 0.6 \frac{P}{F_y P_y}\right)}$	$5.6 \sqrt{\frac{E}{F_y} \left(1 - 0.74 \frac{P}{F_y P_y}\right)}$	

Tabla 2.3. Valores máximo admisibles por la relación de ancho/grueso; Fuente Reglamento de construcción de la Ciudad de México 2017; 148.

Para fines prácticos y de diseño se recomienda el abstenerse del uso de secciones esbeltas de tipo 4, puesto que éstas suelen generar problemas al en comportamiento de cargas adicionales o de torsión, así como una muy baja resistencia

en relación a su área de acero o peso propio, lo que incrementa considerablemente los costos.

2.9. Elementos sometidos a carga axial.

Una de las cargas más comunes que se presentan en los edificios es la carga axial, la cual se define como una fuerza que se presenta de manera longitudinal sobre el plano del centroide del elemento, las transmisiones de cargas de este modo hacen que toda el área del elemento trabaje de manera completa. El sistema de armaduras trabaja de esta forma, en donde todos los elementos que conforman el sistema distribuyen las cargas hasta llegar a las reacciones.

Existen dos tipos de cargas axiales, cuando la fuerza tiende a alargar el elemento, provocando un pequeño incremento en su longitud, haciendo hacia afuera el elemento, este es efecto de la tensión. Y existen fuerzas en dirección el elemento estructural, que tiende a comprimir el elemento, esta carga se llama compresión, la cual requiere más cuidado que la anterior, puesto que gracias a la compresión se presenta el fenómeno del padeo, lo que provoca cierta flexión o inestabilidad en el sistema.

2.9.1. Elementos a tensión.

“Es común encontrar miembros sujetos a tensión en armaduras de puentes y techos, torres, sistemas de arriostamiento y en situaciones donde se usan como tirantes. La selección de un perfil para usarse como miembro a tensión es uno de los

problemas más sencillos que se encuentran en el diseño de estructuras. Como no hay peligro de que el miembro se pandee, el proyectista sólo necesita determinar la carga que va a sustentarse” (McCormac; 2014; 62).

Dentro del acero, las pruebas de resistencia se hacen en base a una carga a tensión, en la que se somete una probeta a un esfuerzo sobre la prensa hidráulica, siendo esta forma en la que el hacer muestra su más alto nivel de resistencia. Como se mencionó anteriormente el acero posee dos límites de carga en los que sobrepasa su comportamiento, el límite de fluencia, dado por el F_y del acero es con el que se debe de diseñar la resistencia del elemento ante las cargas que va a soportar. No obstante, existe el segundo máximo del acero representado por el F_u , en el que se demuestra el esfuerzo unitario que puede presentar el acero antes fallar súbitamente, en relación a esto los valores de área efectiva y área neta juegan un papel importante en la relación de cada momento de carga. La capacidad de carga del acero ante una carga a tensión está dada por la ecuación.

$$P_n = F_R * F_y * A_n \quad (2.1)$$

Donde:

P_n es la carga resistente del elemento (kg).

F_R es el factor de resistencia de LRDF, que en el caso de tensión es 0.90.

F_y depende del tipo de acero con el que se trabaje (kg/cm^2).

A_g es el área general de la sección.

Para elementos que trabajen a tensión y presenten un doblez o que se encuentre barrenado por efecto de una condición atornillada o de remaches, se trabajará entonces con el esfuerzo máximo del acero.

$$P_n = F_R * F_u * A_e \quad (2.2)$$

Donde:

P_n es la carga ante la falla súbita del elemento (kg).

F_R es un factor de 0.75.

F_u es el esfuerzo máximo al que falla por completo la pieza

A_e es el área neta de la pieza, la cual se calcula restando el área reducida por un doblez de la pieza o el vacío del agujero en el que se ensambla el tornillo.

Cuando la carga a tensión es muy alta, se presenta en la estructura el fenómeno de vibraciones, esto ocurre en torres o puentes afectados por el viento o por sismos, en los que el periodo de oscilación hace que la pieza comience a moverse provocando deformaciones y desplazamientos en la estructura, el ingeniero debe tener mucho cuidado de analizar este fenómeno cuando pueda ocurrir.

2.9.2. Elementos a compresión.

Dentro de las estructuras existen elementos que deben soportar cargas, los más comunes son las columnas, postes de soporte o la cuerda superior de armaduras. Como se mencionó la compresión es una carga axial que se presenta en el centro de gravedad del elemento estudiado, pero esto requiere que esta condición realmente ocurra, cosa que en la práctica es imposible; intervienen muchas variables en el momento en el que se ejecuta el proyecto por lo que no se puede garantizar esta condición, dando paso al fenómeno del pandeo.

McCormac (2014), hace referencia a 3 tipos de pandeo distintos ocasionados por la compresión: el pandeo flexionante (o de Euler) en el que la pieza se vuelve inestable y trata de doblarse; el pandeo local, que por la relación de largo-espesor del

elemento puede existir una deformación en las piezas y el pandeo torsionante presentador por esfuerzos de torsión en la pieza.

La investigación y estudio de los esfuerzos presentes en elementos a compresión, han permitido crear modelos matemáticos en los que se puede describir el comportamiento de la pieza revisando la capacidad de cara de todo el elemento. Euler desarrolló una fórmula en la que se puede entender el esfuerzo de una columna siempre y cuando se encuentre en su rango elástico.

$$\frac{P}{A} = \frac{\pi E^2}{\left(\frac{L}{r}\right)^2} = F_e \quad (2.3)$$

Donde:

P=carga aplicada en la columna (kgf).

A=área de la sección (cm²).

E= módulo de elasticidad del acero (2040000 kg/cm²).

L=longitud (cm).

r= el menor radio de giro del elemento.

De igual manera, la estabilidad de la columna depende de los apoyos en los que está sujeta, ya que éstos serán los que permitan o restrinjan el desplazamiento o equilibrio del elemento, el tipo de unión varía por la estructura o como se diseñe el elemento, de igual forma esto se representa con un factor “K” de longitud efectiva, dando origen al concepto de relación de esbeltez “λ”.

En base a la relación de esbeltez de la pieza, se analiza el esfuerzo permisible debido a comportamiento que ésta presentará, esto se refiere a que en apoyos empotrados la longitud deformable del elemento se disminuirá considerablemente tomando en cuenta las condiciones del nodo, en cambio en apoyos articulados al no existir restricciones a la rotación, la longitud efectiva se mantiene normal. En la siguiente tabla se presentan los valores relacionados por el tipo de apoyo. El lector debe entender que lo más conveniente es usar los valores dentro de la parte práctica, ya que no existen realmente apoyos como lo que se utilizan en las idealizaciones de los proyectos matemáticos.

Tabla 5.1 Valores aproximados del factor de longitud efectiva, K .						
Las líneas punteadas muestran la forma pandeada de la columna	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
Valor K teórico	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
Valores recomendados de diseño cuando las condiciones reales son aproximadas	0.65	0.80	1.2	1.0	2.10	2.0
Símbolos para las condiciones de extremo	<ul style="list-style-type: none"> Rotación y traslación impedidas Rotación libre y traslación impedida Rotación impedida y traslación libre Rotación y traslación libres 					

Gráfico 2.2: Factores para columnas por su tipo de apoyos.
Fuente: McCormac; 2014: 143.

El Reglamento de Construcción de la Ciudad de México (2017), menciona que, para secciones tipo H, I, en cajón o que se presente demuestren que se clasifiquen en el grupo 1, 2 o 3, Información dentro de las Normas Técnicas Complementarias en su tabla 2.1, la capacidad de carga por compresión estará dado por la fórmula:

$$R_c = F_R * X * F_y * A \quad (2.4)$$

Donde:

R_c = Resistencia a la compresión (kg).

X = Factor de reducción por esbeltez.

Para obtener el factor de esbeltez se sigue la fórmula 2.5, la cual se expresa a continuación:

$$X = \left[1 + \left(\frac{F_y}{F_e} \right)^n \right]^{-\frac{1}{n}} \quad (2.5)$$

Donde:

λ_c = Parámetro de esbeltez.

$$\lambda = \sqrt{\frac{F_y}{F_e}} \quad (2.6)$$

F_e = esfuerzo crítico de Euler.

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{(KL/r)^2} \quad (2.7)$$

n = factor especificado en el Reglamento de construcción en las normas técnicas complementarias para estructuras metálicas en 3.2.2.1.

F_R = Factor de seguridad de 0.9.

De esta manera se revisan los elementos que están sometidos a compresión pura bajo la restricción de pandeo flexionante. Sin embargo, es muy raro que exista

un elemento que sólo esté sometido ante compresión, las columnas son elementos que se ven sujetos a flexo-compresión, esto se mostrará más adelante.

2.10. Elementos a flexión.

La flexión ocurre cuando una carga se aplica de manera transversal al elemento en estudio, tienen como objetivo el transmitir dichas cargas a ciertos puntos en específico o de apoyo. McCormac (2013), expresa que algunos elementos comunes sometidos a este tipo de esfuerzo son las viguetas, utilizadas para soportar entresijos, los dinteles que refuerzan marcos de ventanas, los largueros que corren en el sentido longitudinal de un puente y las viguetas de piso que se conectan a los largueros en sentido transversal.

Los elementos mecánicos actuantes en estos elementos son el cortante y el momento flexionante. A pesar de ser importante el diseño de cortante, la flexión el esfuerzo más importante que ocurre en estos elementos, puesto que requiere de más cuidado la pieza, ya que tanto las deformaciones ocasionadas por este fenómeno, como el estrés al que se somete la pieza pueden ser los causantes de una falla súbita para el elemento. La definición del esfuerzo presente por la flexión se expresa de la siguiente manera.

$$fb = \frac{Mc}{I} \quad (2.8)$$

Donde:

M= momento actuante en la sección (kg*cm).

c/l = brazo de palanca de la sección sobre la inercia. También conocido como módulo de sección (S en cm^3).

Este comportamiento se basa en la teoría plástica del elemento, en el que es capaz de soportar dicho esfuerzo en relación a su estado de fluencia por el tipo de acero. Los perfiles más comunes para el uso estas cargas son perfiles “W”, aunque en ocasiones también se utilizan perfiles tubulares rectangulares o perfiles en “C” laminados en frío. Para la revisión de estos elementos es importante entender que, al estar el perfil sometido a esfuerzo de tensión y compresión, el patín sometido a compresión se comportará de forma más desfavorable. Para este fenómeno se colocan conectores de cortante a lo largo del patín superior ahogados en la estructura que soportará en la parte superior, o ahogar la parte superior de la pieza dentro de un elemento de concreto. Cuando esto no sea posible se diseña debe revisar la distancia en la que se presentará esta articulación plástica, y si proteger la distancia efectiva de la viga por medio de métodos de arriostramiento o rigidizando dicho punto con otro elemento estructural.

Para revisar esta distancia y los parámetros necesarios para clasificar el elemento se acero por medio de las Normas Técnicas Complementarias en el apartado de Estructuras de Acero del de la Ciudad de México (2017), fórmulas que se presentan a continuación para secciones “W”.

$$Ca = \frac{I_y * (d - T_f)^2}{4} \quad (2.9)$$

$$Xu = 3.22 \left(\frac{4}{3} c * \frac{Z * F_y}{GJ} * \sqrt{\frac{Ca}{I_y}} \right) \quad (2.10)$$

$$Lu = \frac{\sqrt{2}\pi}{Xu} * \sqrt{\frac{E*Ca}{GJ}} * \sqrt{1 + \sqrt{1 + Xu^2}} \quad (2.11)$$

Donde:

I_y = inercia en el eje y-y de la sección.

d = peralte total de la pieza.

T_f = espesor de alma.

$C = 0.60 + 0.40M_1/M_2$ para tramos que se flexionan en curva simple o

$0.60 - 0.40M_1/M_2$, pero no menor a 0.40 para tramos que se flexionan en curva doble. (M_1 y M_2 son el momento menor y mayor respectivamente).

Z = es el módulo de sección plástico (cm^3).

F_y = esfuerzo permisible respectivo por el tipo de acero (kg/cm^2).

G = módulo de cortante respectivo por el tipo de acero (kg/cm^2).

J = constante de torsión de la sección (cm^4).

C_a = constante de torsión por alabeo (cm^6).

X_u = coeficiente para determinar L_u .

L_u = longitud máxima permisible antes de llegar al comportamiento plástico (cm).

Para secciones tipo 1 o 2 con dos ejes de simetría se tienen las siguientes consideraciones:

$$\text{Si } M_U > \frac{2}{3} M_p$$

$$M_R = 1.15F_R M_p \left(1 - \frac{0.28M_p}{M_e}\right) \leq F_R M_p \quad (2.12)$$

Si $M_U \leq \frac{2}{3} M_p$

$$M_R = F_R M_e \quad (2.13)$$

Donde:

$$M_e = \frac{\pi}{CL} \sqrt{EI_y GJ + \left(\frac{\pi E}{L}\right)^2 I_y C a} * \frac{\pi E}{CL} \sqrt{I_y \left(\frac{J}{2.6} * \left(\frac{\pi}{L}\right)^2 C a\right)} \quad (2.14)$$

Expresado en kg*cm.

El reglamento también menciona las fórmulas para vigas en rectangulares macizas o huecas. Éstas no se incluyen en el presente trabajo.

Cuando los elementos a flexión tienen una longitud menor a su L_u , es decir, se tomaron las medidas mencionadas anteriormente, o su longitud de conexión es menor que la longitud crítica, es posible calcular el momento resistente de la pieza.

Para elementos en los que se cuenta con refuerzo en el patín a compresión, se encuentra reforzado en toda su longitud o ésta es menor a L_u , se presentan las siguientes fórmulas:

- Para secciones tipo 1 o 2:

$$M_R = F_R * Z * F_y = F_R * M_p \leq F_R * (1.5M_y) \quad (2.15)$$

- Para secciones tipo 3 o 4:

$$M_R = F_R * S * F_y = F_R * M_y \quad (2.16)$$

Donde:

M_R =Momento resistente de la viga (kg*cm).

F_R =Factor de seguridad (adimensional, 0.9 en la mayoría de los casos).

Z = es el módulo de sección plástico (cm³).

S = es el módulo de sección elástico (cm³).

2.11. Elementos a flexo-compresión.

En los elementos sometidos a compresión, es muy común encontrar excentricidad en sus cargas, es decir, no es aplicada en el centroide del eje longitudinal del elemento, lo que se traduce a la presencia de un momento flexionante que provoque un giro en la pieza completa, transmitido por los elementos a los que está conectado. De esta manera el elemento sufre un mayor grado de estrés, por lo que sería un error considerar que la capacidad de carga del componente soporta únicamente un elemento mecánico, refiriéndose a la carga axial o al momento por separados.

Para encontrar la verdadera capacidad de carga de la sección, en el Reglamento de Construcción de la Ciudad de México (2017), como el momento que se presente en una estructura puede presentarse en ambos sentidos, es necesario hacer dicha revisión siempre y cuando esta situación sea considerable, es decir, en caso de que se presenten momentos que puedan sobre-estresar el módulo de sección en dicho sentido, debe revisarse que la sección propuesta sea suficiente para los efectos de ambos sentidos.

En la revisión a flexocompresión, el parámetro necesario es un porcentaje de capacidad de carga de la sección, para que éste sea el óptimo, dicho valor debe estar en un rango de 0.9 a 1.1, considerando que menor a la unidad es una sección un poco faltante y mayor es sobrada. No obstante, dicho rango es aceptado para cuestiones prácticas.

$$\frac{P_u}{F_R P_y} + \frac{0.85 M_{uox}}{F_R M_{px}} + \frac{0.85 M_{uoy}}{F_R M_{py}} \leq 1.0 \quad (2.17)$$

Donde:

M_{uox}/M_{uoy} = Momento de diseño aplicado en cada sentido respectivamente del elemento.

El momento resistente en el sentido ortogonal a la menor resistencia se calcula conforme a las ecuaciones 2.15 o 2.16, según sea el caso.

Para columnas de perfiles HSS, es decir, cuadrados con todos sus lados atezados, las fórmulas que se usarán para revisar su resistencia recae únicamente en la revisión tanto de su capacidad a la compresión como se expresó en el subtema 2.9.2, así como su resistencia al momento con las fórmulas 2.15 y 2.16 respectivamente al perfil que se esté analizando. La capacidad de carga total del perfil se revisará con la ecuación 2.17.

2.12. Juntas de elementos estructurales.

En las estructuras de acero, las uniones de los perfiles o elementos estructurales son básicas para la construcción del sistema estructural general, ya que

es la manera en la que las solicitaciones y los esfuerzos internos de un elemento se transmiten a los demás hasta llegar al suelo. Por su naturaleza y cargas que requieren transmitir, se clasifican entre conexiones simples, las cuales se dedican a la transmisión de cortante, y las conexiones rígidas, las cuales además de llevar cortante deben garantizar una correcta transmisión de momento. Los sistemas de conexión pueden desarrollarse de distintas maneras, de las cuales los métodos dominantes son los de la soldadura y juntas atornilladas.

Las juntas atornilladas, como su nombre lo dice, se trata de la unión de dos perfiles distintos por medio de tornillos de alta resistencia, lo que ayuda a que se puedan transmitir las cargas de forma segura. McCormac (2013), menciona algunas ventajas, como son las de más baratas en cuestión de mano de obra, así como el tiempo de instalación es más corto, además de que pueden describirse hasta incluso más seguras por la herramienta tan sencilla que se requiere.

Las juntas con soldadura son las conexiones en las cuales se agrega un material adicional llamado soldadura, el cual al elevar su temperatura ya sea por transmisión de calor directamente o por un arco eléctrico, provoca que se funda y pueda penetrar en la capa de ambos perfiles. El proceso de soldadura requiere personal mucho más especializado que el de juntas atornilladas, ya que su calidad depende de un equipo bien calibrado, un cordón de soldadura sano y una habilidad práctica notablemente adecuada. En la presente investigación, se hablará únicamente de juntas soldadas.

2.12.1 Juntas con soldadura

En la revisión y diseño de estas juntas se requiere hacer el cálculo que garantice que tanto el acero del elemento principal como los secundarios, así como los de soldadura. Para esto, el Reglamento de Construcción de la Ciudad de México (2017), tiene una manera de revisar las cualidades dependiendo a la manera y cordón que se utilice en la junta. Los tipos de colocación de soldadura dependen de cómo se decide diseñar la conexión, en general la soldadura de filete es la más común por ser muy práctica para hacerla en campo. No obstante, existen ocasiones en las que los otros tipos son realmente necesarios, como lo es la soldadura por penetración, que es cuando se hacen uniones de un mismo elemento para aumentar su longitud.

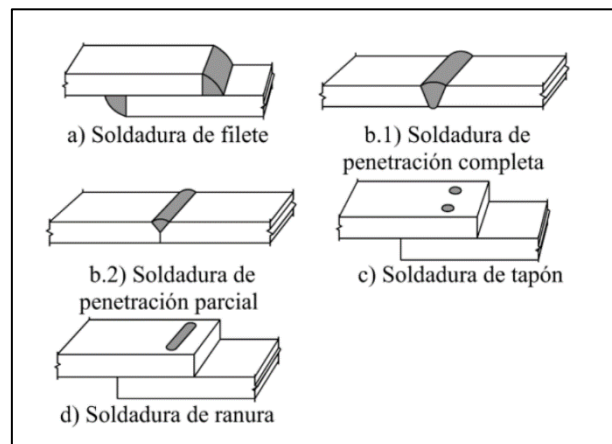


Imagen 2.1. Tipos de soldadura.

Fuente: Reglamento de Construcción de la Ciudad de México; 2017; p. 219.

La fórmula para la resistencia de la soldadura está dada por:

$$F_R F_{MB} A_{MB} \text{ y } F_R F_S A_S \quad (2.18)$$

Donde:

A_{MB} : Área de la sección transversal del metal base.

A_S : Área efectiva de la soldadura.

A_{MB} : Resistencia nominal del metal base.

F_S : Resistencia nominal del metal del electrodo.

F_R : Factor de resistencia.

Dentro del mismo reglamento, en el capítulo de construcción en acero la tabla 10.2.5 proporciona los valores correspondiente para F_R , F_{MB} y F_S , o bien, se pueden tomar los siguientes valores.

$$F_S = 0.60F_{EXX}(1 + 0.5 \sin^{1.5} \theta) \quad 2.19$$

Donde:

F_R : 0.75.

F_{EXX} : Resistencia de electrodo.

θ : ángulo entre la línea de acción de la carga y el eje longitudinal de soldadura en grados.

En estas conexiones, el acero base referente a elementos adicionales a los principales deben de revisarse por el cortante respectivo a:

$$R_n \leq 0.60A_T F_y \quad o \quad 0.60A_{nc} F_u \quad (2.20)$$

Variables definidas en 2.9.1.

Para el diseño de conexiones rígidas de vigas con columnas es importante considerar que, si la placa es más gruesa de $\frac{1}{4}$ " , la placa debe de ser más ancha que el patín en el que está colocada, dentro de la tabla mencionada anteriormente, se dice

que no es necesario revisar los efectos de la soldadura a tensión y compresión en la junta. El grosor de la placa estará dado por la revisión de esfuerzos que se provoquen por la flexión de la viga por el ancho del patín de la misma viga.

CAPÍTULO 3

DINÁMICA ESTRUCTURAL Y DISIPADORES SÍSMICOS

Este capítulo habla únicamente del análisis dinámico y de los principios para el diseño de los disipadores sísmicos, información que es necesaria y complementaria de lo estudiado previamente para que el lector entienda los fundamentos del tema y a su vez, encuentre las referencias bibliografía para ampliar la información obtenida por las aportaciones de este trabajo.

3.1. Definición de dinámica estructural

Se entiende por dinámica estructural al estudio de las fuerzas que actúan sobre un sistema estructural, ya sea un edificio, un puente, una armadura, así como la variación de su magnitud en un periodo de tiempo y las causas que las provocan. Por los conceptos previamente definidos en los capítulos anteriores, se puede interpretar que las acciones que se presentarán en este tipo de análisis consiste en conceptos más específicos y necesario para poder determinar el comportamiento real de la estructura en base en sus cargas recibidas.

El estudio de cargas en una estructura se divide en comportamientos estáticos, ocasionados por las cargas muertas, que son el peso de la estructura entre los objetos que permanecerán ahí permanentemente, y las cargas vivas, que a pesar de ser personas e inmobiliario que cambiará de posición a lo largo de toda la vida útil del

edificio son considerados como una carga constante sobre los tableros de entepiso y azotea de todo edificio.

Para poder entender el comportamiento de las estructuras en su estado dinámico, es necesario recordar que todas las fuerzas que se aplican sobre ella juegan un papel importante. El peso propio de la estructura y su rigidez darán la información requerida para poder determinar los cálculos, recordando que los mismos deben de presentarse en el mismo sistema de unidades. Acompañado a estos dos, en el análisis dinámico existe un nuevo concepto que es el **amortiguamiento**, definido por Chopra (2014) como un proceso por el cual las vibraciones en los elementos estructurales reducen de manera constante. La energía cinética y de vibración de los elementos se transmite a las fibras más pequeñas de la materia, la cual se disipa con el paso del tiempo ya sea en movimiento o en fricción, cuando las estructuras no cuentan con elementos flexibles, éstos suelen recibir una carga de energía sin liberar, lo que provoca su colapso. Para que los elementos principales no sufran daños permanentes debido a estas acciones se hace uso de disipadores sísmicos o de energía, los cuales se encargan de recibir dichas deformaciones y cargas de energía, teniendo las cualidades necesarias para trabajar ante estas demandas, el sistema principal permanece intacto con los daños menores.

3.2. Principios de dinámica.

El análisis de cargas accidentales, como son viento, y sismos requieren de un análisis dinámico, puesto que son acciones variables que no pueden ser medidas con

exactitud, ni un nodo en particular o un momento determinado en que será actuante sobre la estructura. Para esto se hace uso de la 2da Ley de Newton, expresa que las fueras aplicadas sobre un sistema dependen tanto de su masa, como de la aceleración que presente. A su vez, en la dinámica, la distancia de desplazamiento muestra la cantidad ejercida en el sistema.

$$f_s = k * u \quad (3.1)$$

Donde:

f_s = Fuerza lateral (kg).

k = rigidez del sistema (kg/m).

u = desplazamiento del sistema (m).

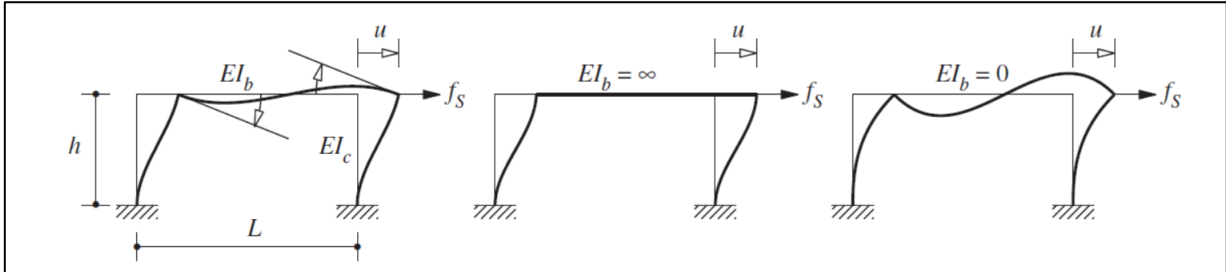


Imagen 3.1. Casos de deformaciones con respecto a la rigidez.

Fuente: Dinámica de estructuras; Chopra; 2014; 9.

Como se parecía en la figura, la rigidez de un elemento es proporcional a su módulo de elasticidad con su inercia, por lo tanto, es importante tener en cuenta dichos valores para el análisis. Los resultados de rigideces para cada tipo de sistema se pueden determinar por métodos matriciales en los cuales participan las variables para determinar su comportamiento.

Una vez determinada la rigidez de un elemento, se procede a ver el comportamiento de amortiguamiento que tendrá. Para simplificar los cálculos de este tipo, se idealizan las estructuras con un comportamiento de sistemas de 1 grado de libertad (1GDL), con un amortiguamiento viscoso.

$$f_D = c * \dot{u} \quad (3.2)$$

Donde:

f_D = Fuerza de amortiguamiento.

c = Coeficiente de amortiguamiento (kg * t / m)

\dot{u} = velocidad (m / seg).

Al entender este principio de fuerzas de reacciones dentro de un sistema, se puede introducir finalmente la ecuación de reacción de un sistema estructural con la aplicación de todas sus fuerzas sobre un eje en base a la 2da Ley de Newton.

$$p - f_s - f_D = m * \ddot{u} \rightarrow m\ddot{u} + f_s + f_D = p(t) \quad (3.3)$$

$$p(t) = m\ddot{u} + c\dot{u} + ku \quad (3.4)$$

Donde:

$P(t)$ = carga aplicada en función del tiempo (kg).

\ddot{u} = aceleración del sistema (m/seg²).

3.3. Vibración armónica.

En el diseño de estructuras, el periodo de vibración muy importante, ya que estas fuerzas aplicadas dentro del sistema pueden ocasionar daños en la resistencia a largo plazo de la estructura.

3.3.1. Sistemas no amortiguados.

Chopra (2014) describe que, en un sistema de un grado de libertad, una fuerza armónica dada por la función:

$$p(t) = p_o \text{sen}(wt) \text{ o } p_o \text{ cos}(wt) \quad (3.5)$$

Donde p_o es la amplitud o valor máximo de la fuerza y su frecuencia de excitación o frecuencia de frotamiento es $T = 2\pi/\omega$. De esta manera, obtenida la frecuencia de un sistema, y del cual se conoce su rigidez, se puede obtener la deformación máxima que puede tener. Interpretando la información que se puede obtener de un sistema afectado por cargas dinámicas, el comportamiento de la estructura sufrirá deformaciones conforme pase el tiempo.

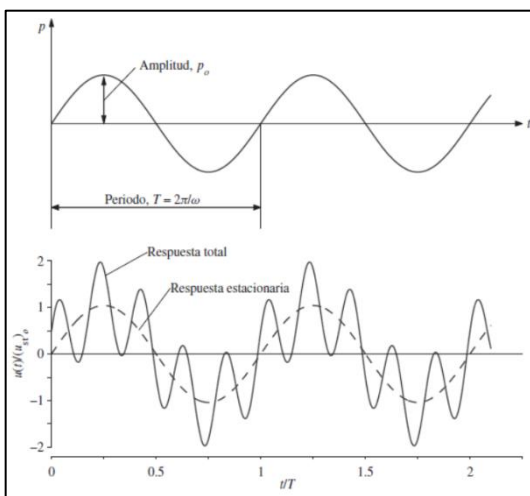


Imagen 3.2. Gráficas de comportamiento de carga con respecto al tiempo.

Fuente: Dinámica de estructuras; Chopra; 2014; 67.

En la imagen 3.2, se expresa el comportamiento de una estructura en relación carga/periodo, en la primera gráfica se trata de una fuerza armónica, lo que significa que su amplitud es constante en el tiempo que es aplicada la carga, aunque este solo es un comportamiento ideal, puesto que a medida que pasa el tiempo, la energía se va liberando, lo que se interpreta como que las deformaciones van bajando conforme pasan los periodos, es por eso que recibe el nombre de respuesta transitoria. La deformación máxima se puede obtener dividiendo la carga máxima entre la rigidez del sistema; de igual manera, en la gráfica se observa que cuando el tiempo vale cero, la deformación, la carga y la velocidad del sistema son igual a cero.

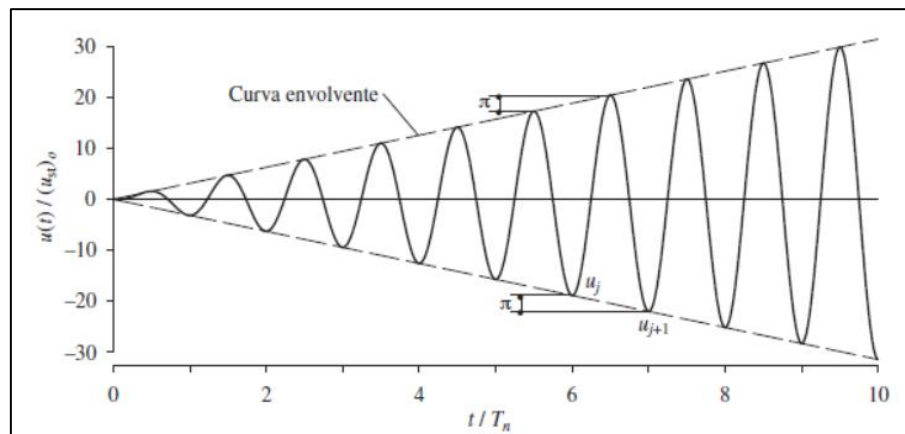


Imagen 3.3. Comportamiento de un sistema no amortiguado.

Fuente: Dinámica de estructuras; Chopra; 2014; 71.

En un sismo, la carga p suministrada al sistema aumentará debido a las aceleraciones transmitidas por el suelo, por lo que en realidad las deformaciones con respecto al tiempo también irán aumentando, la frecuencia del movimiento dependerá a las condiciones sinusoidales del sismo.

Chopra (2014) describe métodos de ecuaciones diferenciales que al compararlas con las ecuaciones mencionadas de comportamientos dinámicos se

obtienen los valores necesarios de las variables y constantes para determinar el verdadero comportamiento de la estructura. Los objetivos de la presente investigación no abarcan la explicación de dichos métodos matemáticos.

En las estructuras el periodo, representado por T y dado en segundos, es el tiempo que tarda la estructura en un ciclo de movimiento sísmico. De esta manera, y por el comportamiento del desplazamiento de la estructura, se obtiene la frecuencia del movimiento, $\omega = \frac{2\pi}{T}$, dada en Hertz.

En una estructura la rigidez y el coeficiente de amortiguamiento están dados por las siguientes ecuaciones:

$$k = \omega^2 m \quad (3.6).$$

$$c = 2\zeta \omega m \quad (3.7).$$

Donde:

ω =Frecuencia de movimiento.

m = Masa total de la estructura.

ζ =Factor de amortiguamiento de la estructura (Alrededor del 5%).

3.3.2. Sistemas amortiguados.

Al hacer uso de amortiguamientos en el sistema, es importante considerar las variables de aceleración en el sistema, puesto que el trabajo general que harán los disipadores serán en función de desaceleración, absorbiendo la energía que entra en

el sistema, comparando con el comportamiento de sistemas no amortiguados, el comportamiento de estos sistemas se expresa de la siguiente manera:

$$p(t) = m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = p_o \text{sen}(wt) \text{ o } p_o \text{cos}(wt) \quad (3.6)$$

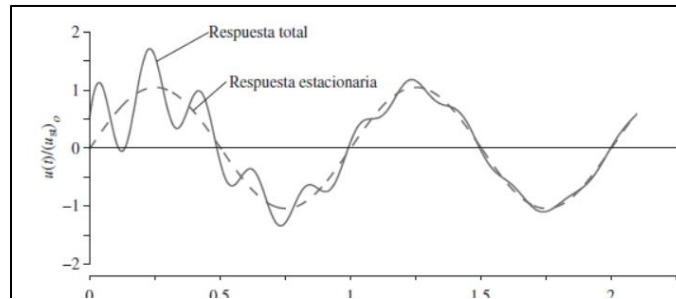


Imagen 3.4. Relación de comportamientos de un sistema amortiguado.

Fuente: Dinámica de estructuras; Chopra; 2014; 73.

Ante los resultados obtenidos por métodos matemáticos citados por Chopra (2014), se puede observar que a medida que pasa el tiempo, el comportamiento de la estructura comienza a adaptarse a las cargas a las que está sometida el sistema. Como se puede ver en la imagen 3.4, la estructura tendrá su deformación máxima al inicio del fenómeno, justo antes de que el sistema comience a trabajar de manera óptima, pasado el primer periodo. El sistema de amortiguadores trabajará con la estructura de tal manera que juntos logren que el comportamiento estacionario sea a su vez el comportamiento total, lo que significa que no había picos considerables en las deformaciones.

Para poder determinar los verdaderos factores y ecuaciones correspondientes en cada sistema, es muy importante conocer la relación de w/w_n , (2π entre el periodo en segundos, entre la raíz cuadrada de la rigidez entre la masa del sistema), por lo que se deben consultar en fuentes relacionadas con el tema las ecuaciones correspondientes para cada tema.

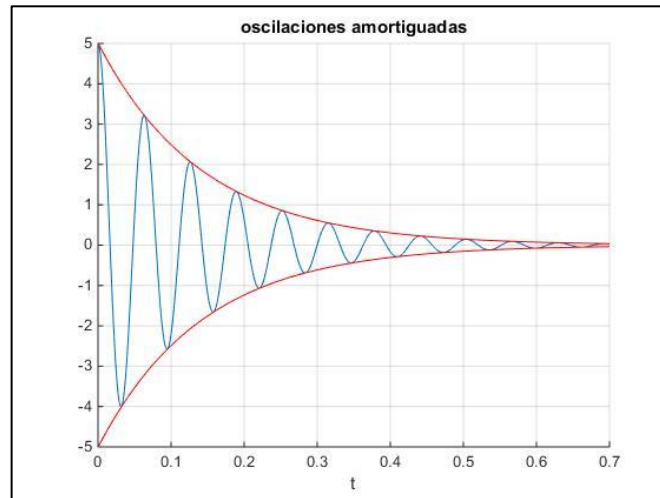


Imagen 3.5. Comportamiento de un sistema amortiguado con respecto al tiempo.

Fuente: www.sc.ehu.es, 2017

3.4. Tipos de sistemas de resistencia sísmica.

Entre los varios tipos de disipadores sísmicos, con el paso del tiempo se han diseñado elementos especiales para las necesidades de la estructura o del tipo del suelo en el que se encuentra el proyecto. El análisis y modelo depende de los principios físicos con los que fueron diseñados.

La principal clasificación de estos elementos es por su forma de actuar, en sistemas pasivos y sistemas activos. Los **sistemas pasivos** los describe Genatos (2016) como los encargados de disipar la energía que entra al sistema estructural, ya sea como aisladores, los cuales no permiten que la energía sísmica entre a la

estructura, o los disipadores, diseñados para aumentar el coeficiente de amortiguamiento de la estructura, estos últimos pueden ser de fricción o viscosos elásticos. Este tipo de sistemas comenzaron a utilizarse en el siglo XX y con el tiempo se han vuelto más comunes, tanto los aisladores como los disipadores sísmicos son los sistemas más utilizados, ya que su diseño es mucho más sencillo que los sistemas activos, además de que también son más baratos.

Los **sistema activos** consisten en conjuntos más complejos y más costosos que requieren de un constante suministro de energía para garantizar su constante funcionamiento, algunos de ellos consisten en el uso de sensores especiales que detecten las fuerzas sísmicas y se activen para generar fuerzas que ayuden a mejorar el comportamiento sísmico del edificio, como el sistema Hibrid Mass Damper, el cual consiste en desplazar un volumen de masa en distintas direcciones para que el sistema busque el equilibrio.

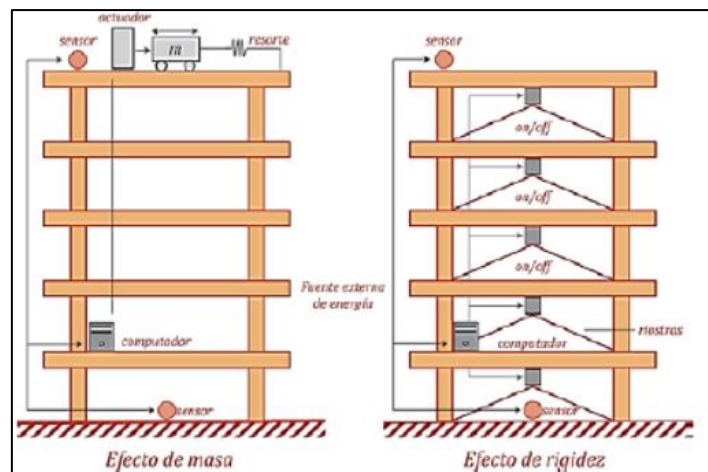


Imagen 3.6. Sistemas activos para contrarrestar fuerzas sísmicas.

Fuente: Uso de aisladores y disipadores estructurales; Genatos; 2016.

En la presente investigación se le dará enfoque únicamente a los sistemas pasivos existentes para las edificaciones.

3.5. Disipadores de energía.

Una vez definidas las cargas que se presentan en un sistema, es fácil entender que los elementos estructurales caerán en un sobre-esfuerzo al momento de resistir un sismo, mismo que se verá reflejado en los desplazamientos que presente la estructura. Si la estructura es muy rígida, que no sea capaz de disipar dicha energía por las reacciones de las piezas, lo más probable es que la energía que entra al sistema haga que este mismo colapse, puesto que la energía de amortiguamiento no es suficiente para sismos de alta intensidad. Considerando este principio, es que los edificios son equipados con elementos especiales, llamados disipadores de energía.

Los disipadores de energía son utilizados comúnmente en forma de contravientos, los cuales son inclinados para recibir fuerzas en dos componentes y de esta manera distribuir las en ambos sentidos, lo que da paso a una mejor composición de las cargas por toda la estructura.



Imagen 3.7. Disipadores de energía.

Fuente: [www. Youtube.com](http://www.Youtube.com); canal de Taylor disipadores de energía.

El trabajo principal de los disipadores de amortiguamiento viscoso, es recibir toda la carga cinética que entra al sistema, al tener la capacidad de deformarse, éstos reciben cierta carga, pero por dentro del cuerpo del cilindro y el pistón, existe un líquido que trata de entrar a una segunda cámara, como en medio de ambas cámaras existe un espacio tan pequeño para que, entre el líquido, éste requiere de una gran magnitud de fuerza para poder llegar deformarse. De esta manera, la energía que entra al sistema se convierte en energía cinética para que el líquido pueda moverse y de esta manera el marco lograr su desplazamiento, claramente mucho más pequeño que si no tuviera los disipadores que absorbieron la mayor parte de la energía.

Así mismo, se comienzan a hacer los modelos matemáticos para explicar el comportamiento de cada elemento dependiendo de las características de la estructura, para ello se hacen una relación de cargas en base a los principios de análisis dinámico que se explicaron anteriormente.

El fundamento de las acciones de los disipadores de energía se basa en el principio de amortiguamiento en base a los principios de rigidez y amortiguamiento de los materiales. Algunos ejemplos son los siguientes.

- **Sistemas ADAS y TADAS:** los cuales se basan en el límite de cedencia que presentan al momento de flexionarse las vigas. Estos elementos son utilizados principalmente en estructuras de acero por su homogeneidad.

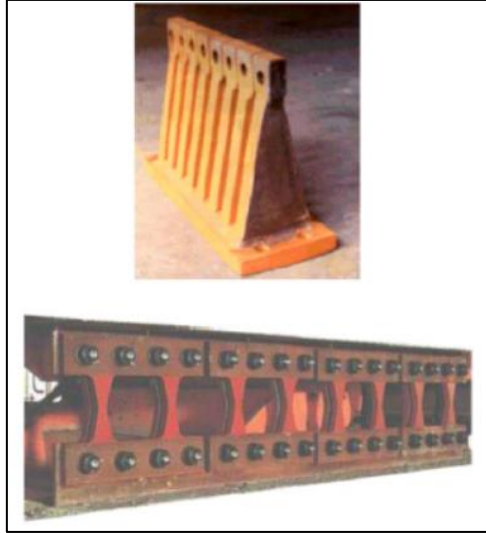


Imagen 3.8. Disipadores de ADAS y TADAS en base a placas friccionantes.

Fuente: Uso de aisladores y disipadores sísmicos, Genatos; 2016.

- **Riostras metálicas:** Estos elementos consisten en barras de acero embebidas en concreto, usados por primera vez por Kimura en 1976, que, al someter la pieza a esfuerzos de flexión, cortante y torsión presentan un comportamiento estable, de modo que la deformación absorbe energía, evitando que la estructura primaria se vea afectada.
- **Aisladores sísmicos:** Existen varios tipos de este tipo de elementos, pero se pueden considerar en dos grupos en general, los aisladores elastoméricos, los cuales en el centro cuentan con capas de goma muy elástica alternados con placas de metal, este tipo es capaz de soportar grandes deformaciones laterales, recibiendo la fuerza de amortiguamiento grandes núcleos de plomo. El otro tipo de aisladores son con un balín en el centro, el cual al recibir cargas sísmicas tiene una cámara en la cual puede desplazarse debido a la fuerza pendular, el

amortiguamiento funciona por medio de las fuerzas friccionantes que existen en dicha cámara.



Imagen 3.9. Aislador sísmico con capas de goma y acero con núcleo de caucho.

Fuente: Introducción al uso de aisladores y disipadores en estructuras; Genatios;; 2016; 56.

- **Disipadores viscoelásticos DSSD (Direct Shear Seismic Damper):** formados generalmente por polímeros que, al ser deformados por cortante, presentan la capacidad de disipar una gran cantidad de energía.
- **Disipadores fluidos viscosos:** se basan en el comportamiento de fluidos altamente viscosos, que, al ser deformados, un pistón de metal desplaza el fluido que debe atravesar ciertos orificios de manera controlada, por la resistencia al movimiento que presenta el mismo líquido, el pistón se vuelve un gran sumidero de energía.

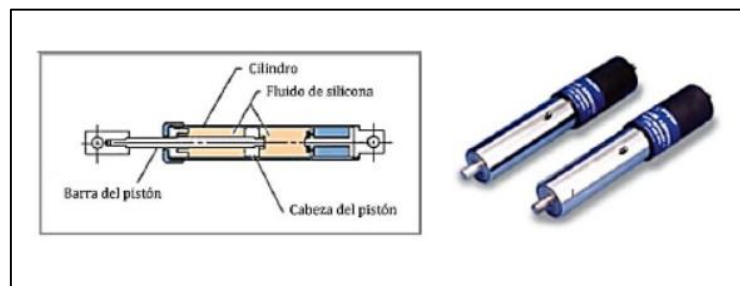


Imagen 3.10. Disipadores viscosos.

Fuente: Oviedo; 2016.

En resumen, se pueden ver grandes ventajas en los sistemas pasivos, ya que no solo se han comprobado sus resultados, sino que también se tiene la certeza de que comienzan a trabajar en cuanto se presenta el fenómeno telúrico o de viento, puesto que su funcionamiento está dado por fuerzas físicas y no por sensores electrónicos o alarmas manuales.

3.5.1. Energía disipada por el amortiguamiento viscoso.

En las estructuras, los sismos proporcionan una gran cantidad de energía al sistema, la cual es proporcional a las deformaciones que se presentan y al periodo de vibración de los elementos, dicha energía se obtiene por principios de física y reacciones de fuerzas de unas sobre otras.

De esta manera, en el sistema existe la interacción de la energía ingresada (E_1), y la energía disipada (E_D), ambas en función del tiempo y dadas por el comportamiento de la fuerza

La energía que entra al sistema, explica Chopra (2014), varía linealmente con la amplitud del desplazamiento, sin embargo, la energía disipada varía cuadráticamente con la amplitud del desplazamiento. De esta manera, al combinar las acciones de ambas energías llega un punto en que la energía de entrada es mayor que la que se puede disipar. Así para el siguiente ciclo, la energía de desplazamiento será mayor que la de amortiguamiento. Con el tiempo ambas energías coincidirán.

$$\pi p_o u_o = \pi c \omega_n u_o^2 \quad (3.8)$$

Al reorganizar esta ecuación se tiene una nueva expresión llamada “lazo de histéresis”, lo que se refiere al comportamiento de un sistema, al ser cargado o modificado tiende a regresar a su posición actual, el área dentro de la ecuación es la energía disipada en el ciclo del sistema.

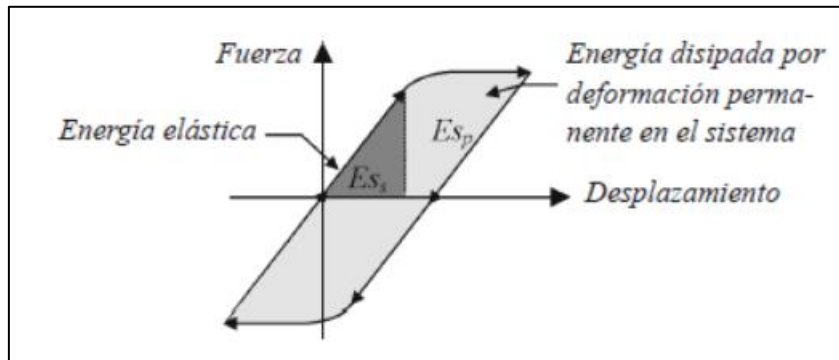


Imagen 3.11. Gráfica de comportamiento de histéresis de sistemas elásticos e inelásticos.

Fuente: www.scielo.org.co, 2014.

Oviedo et.al (2006), mencionan en este campo que al inicio el área debajo de la curva es de la energía elástica del sistema, cuando la pendiente de la recta es igual a la rigidez de la estructura. Cuando este comportamiento deja de ser lineal, el área debajo de la curva es la energía disipada por la deformación del sistema, cuando pasa su estado límite de carga. Al hacer uso de disipadores sísmicos, se trata de que ésta energía sea absorbida por el elemento nuevo, evitando un estrés en las piezas de la estructura, entre más grande sea el área debajo de la curva de la gráfica, mayor será la energía disipada dentro del sistema.

La fuerza que es capaz de proporcionar al sistema un disipador viscoso está evaluada por la ecuación creada por la compañía productora de disipadores viscosos:

$$F = C \cdot V^\alpha \quad (3.9)$$

Donde:

F = Fuerza que ejerce el disipador.

C = Constante de amortiguamiento del elemento.

V = Velocidad de acción del amortiguador.

α = Constante de amortiguadores viscosos (0.5).

No obstante, en un sistema amortiguado

En el comportamiento de los disipadores sísmicos, las fuerzas que ejercen en el sistema son debido a su rigidez y a su factor de amortiguamiento, ambos dependen de las propiedades del mismo elemento. El amortiguamiento comúnmente utilizado en las estructuras convencionales es de 5%, que es lo que los elementos comúnmente pueden aportar al sistema, el uso de estos dispositivos ayuda a que aumente este coeficiente.

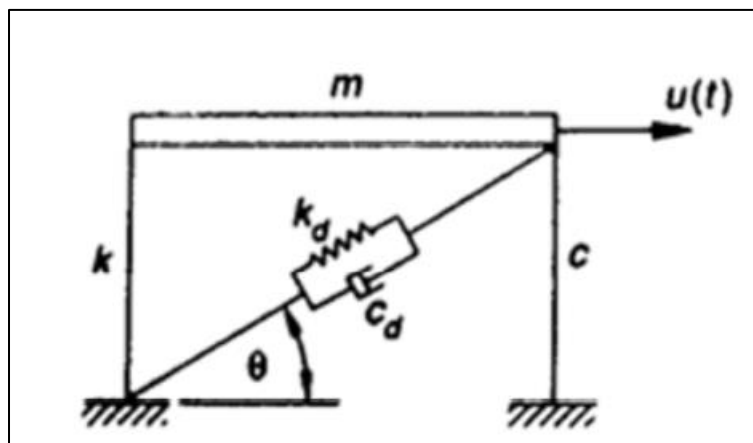


Imagen 3.12. Sistema de 1GDL con disipador sísmico.

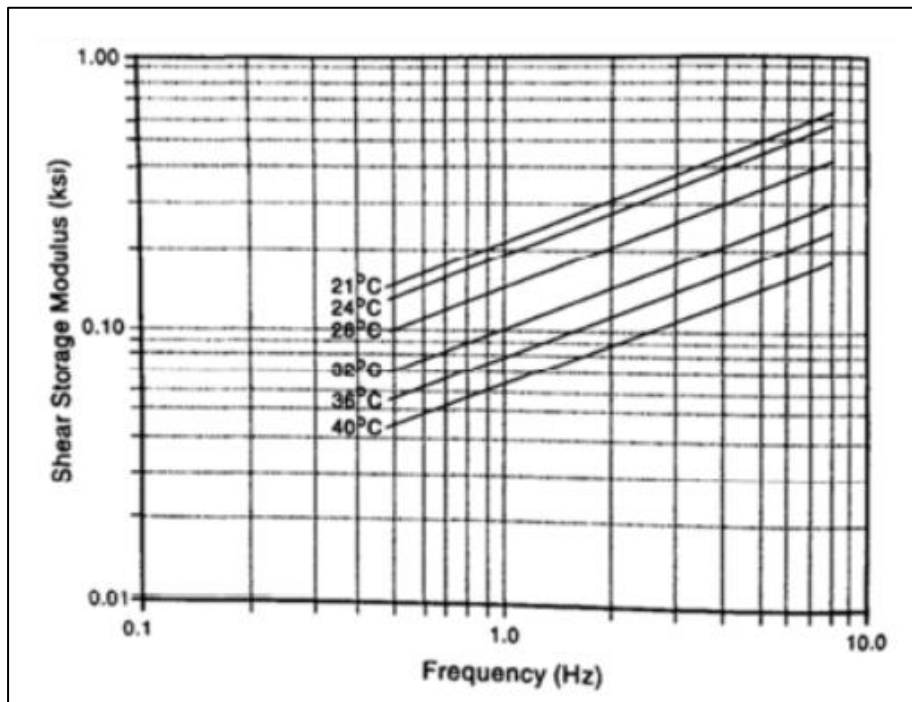
Fuente: Villaverde, 2009.

De esta manera, la ecuación general de movimiento 3.4 cambia:

$$m\ddot{u}(t) + c\dot{u}(t) + ku(t) + [F_k(t) + F_d(t)] \cos \theta = -m\ddot{u}_g(t) \quad 3.10$$

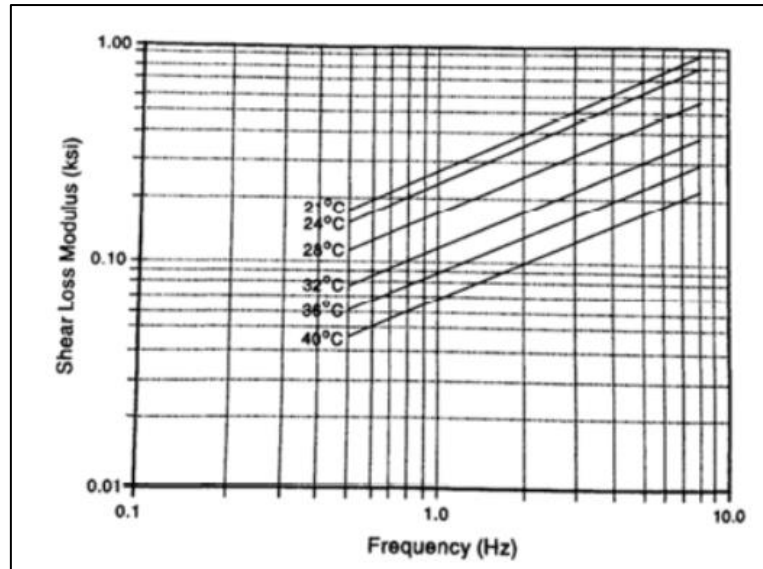
Donde F_k y F_d son las fuerzas de rigidez y disipación que proporciona el amortiguador.

Para obtener los valores relativos del disipador se hace una relación entre las propiedades llamadas Módulo de almacenamiento de cortante (G') y Módulo de pérdida de cortante (G''), graficados en una escala logarítmica por Soong y Dargush (1997), los cuales dependen de la frecuencia de la estructura y la temperatura del ambiente.



Gráfica 3.1. Relación de almacenamiento de Cortante con la frecuencia.

Fuente: Soong y Dargush (1997).



Gráfica 3.2. Relación de pérdida de Cortante con la frecuencia.

Fuente: Soong y Dargush (1997).

La relación de estos dos módulos se representa de la siguiente manera.

$$\eta = \frac{G''(\omega)}{G'(\omega)} \quad 3.11$$

$$k' = \frac{2\zeta}{\eta - 2\zeta} \quad 3.12$$

Donde ζ será ahora el amortiguamiento deseado en la estructura. Con eso es posible considerar el área del disipador y el factor de amortiguamiento. En los disipadores el valor h se refiere al espesor de las capas, en los disipadores viscoelásticos cada capa suele tener un espesor de 2 cm, al tener do $h=4$ cm.

$$A = \frac{k'h}{G'} \quad 3.13$$

$$c' = \frac{G''A}{\omega h} \quad 3.14$$

Una vez obtenidas las fuerzas del disipador, éstos son afectados por el ángulo de inclinación en el cual son colocados estos disipadores:

$$k'_{eje} = k' \cos^2 \theta \quad 3.15$$

$$c'_{eje} = c' \cos^2 \theta \quad 3.16$$

3.6. Factores para análisis sísmico.

Dentro de los factores que se estudian en un sistema afectado por cargas sísmicas, existen distintos valores a considerar para su correcto funcionamiento. El Reglamento de Construcción de la Ciudad de México presenta información correspondiente en el apartado de sismo.

3.6.1. Factor de comportamiento sísmico.

De acuerdo con el Reglamento de Construcción de la Ciudad de México (2017), para la clasificación de los edificios y su comportamiento es necesario definir un parámetro “Q”, el cual determina de manera general el comportamiento que podrá tener el edificio ante cargas sísmicas. La forma de selección de este parámetro es diseñando el sistema completo a manera que cumpla con las características mencionadas para cada factor, los cuales se expresan en la siguiente tabla.

Estructuración	Ductilidad	Condición	Q	γ_{max}
Marcos	Alta	-----	4.0	0.030
	Media	-----	3.0	0.020
	Baja	-----	2.0	0.015
	Media	Vigas de alma abierta (armaduras) de ductilidad alta	3.0	0.020
	Baja	Vigas de alma abierta (armaduras) de ductilidad baja	2.0	0.015
	Baja	Conexiones semirrígidas	2.0	0.015
Sistema dual ^(a) formado por marcos de acero y contravientos de acero ⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾	Alta	Contravientos excéntricos	4.0	0.020
	Alta	Contravientos restringidos al pandeo	4.0	0.020
	Media	Contravientos concéntricos de ductilidad alta	3.0	0.015
	Baja	Contravientos concéntricos de ductilidad baja	2.0	0.010
	Baja	Contravientos concéntricos que trabajan solo en tensión	1.5	0.005
Sistema dual ^(a) formado por marcos de acero y muros ⁽²⁾⁽⁴⁾	Alta	Muros de ductilidad alta de placa de acero	4.0	0.020
	Alta	Muros de ductilidad alta de concreto	4.0	0.020
	Media	Muros de ductilidad media de placa de acero	3.0	0.015
	Baja	Muros de ductilidad baja de concreto	2.0	0.010
Marcos compuestos	Alta	-----	4.0	0.030
	Media	-----	3.0	0.020
	Media	Vigas de alma abierta (armaduras) de ductilidad alta	3.0	0.020
	Media	Conexiones semirrígidas	3.0	0.020
	Baja	Vigas de alma abierta (armaduras) de ductilidad baja	2.0	0.015
	Baja	Marcos de ductilidad baja	2.0	0.015
Sistema dual ^(a) formado por marcos compuestos y contravientos de acero ⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾	Alta	Contravientos excéntricos	4.0	0.020
	Alta	Contravientos restringidos al pandeo	4.0	0.020
	Media	Contravientos concéntricos de ductilidad alta	3.0	0.015
	Baja	Contravientos concéntricos de ductilidad baja	2.0	0.010
Columnas de acero compactas en voladizo, sin o con relleno de concreto	Media	Columnas de ductilidad media	1.5	0.012
	Baja	Columnas de ductilidad baja	1.0	0.009
Sistema suspendido soportado por un núcleo de acero formado por muros o marcos	Media	Con marcos o muros de ductilidad alta de placa de acero	3.0	0.015
	Baja	Con marcos o muros de ductilidad media de placa de acero	2.0	0.010
Marcos exteriores y columnas interiores interconectados por diafragmas horizontales rígidos ⁽⁵⁾	Media	Marcos exteriores de ductilidad media	3.0	0.020
	Baja	Marcos exteriores de ductilidad baja	2.0	0.015

Tabla 3.1. Valores de Q y distorsiones permitidas por tipo de edificio.

Fuente: Reglamento de construcción de la Ciudad de México (2017).

3.6.2. Distorsión angular en estructuras.

Una de las revisiones más importantes dentro de la ingeniería estructural es la distorsión angular que presenta un edificio. Este concepto también es llamado deriva o drift (en inglés). La cual se expresa como el margen de deformación permisible en los edificios por el entrepiso. De esta manera se garantiza que los estados límites de falla y de servicio estén en un rango de seguridad correspondiente a la propia estructura. La manera de calcularlo es con la expresión siguiente:

$$\gamma = \frac{\text{Def planta alta} - \text{Def planta baja}}{h} \quad (3.17)$$

Donde:

Def p. baja= mayor deformación en nivel revisado del edificio (cm).

Def p. alta= mayor deformación en nivel superior estudiado del edificio (cm).

h= altura de entrepiso en (cm).

Acompañado a esto, el Reglamento de construcción de la Ciudad de México, expresa las combinaciones que se deben de utilizar para revisar esta propiedad del edificio, los cuales aparecen en la tabla 3.1.

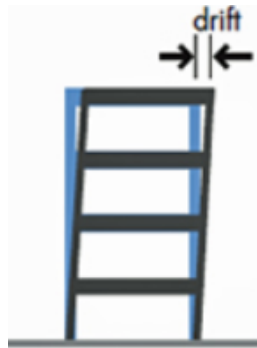


Imagen 3.13. Representación de distorsión angular. Fuente: www.wbdg.org

Dentro del comportamiento dinámico de una estructura, los trabajos y esfuerzos que se generan por el movimiento no son constantes, es importante hacer una revisión en cada uno de los aspectos mencionados con este capítulo para garantizar un buen comportamiento de la estructura en su tiempo de vida útil.

CAPÍTULO 4

RESUMEN DE MACRO Y MICROLOCALIZACIÓN

En el presente capítulo se presenta la información acerca de los parámetros que van a dirigir las variables externas que afectarán el caso de estudio de este proyecto, los cuales corresponden a las características geográficas tanto técnicas como sociales que influyen en la toma de decisión de la metodología y proceso de estudio., así como también se hará mención de los alcances que se planean considerar durante esta investigación.

4.1. Generalidades.

Para definir la dirección de la investigación y definir su contexto, se especifica un objetivo general que centraliza el proceso de investigación y da a conocer la información necesaria para poder presentar una investigación completa.

4.1.1. Objetivo.

Se definió como objetivo el diseñar la estructura en acero para un edificio de departamentos con disipadores sísmicos en la ciudad de Uruapan, Michoacán, de manera eficiente, cumpliendo con los parámetros que la ingeniería estructural demanda, considerando todos los aspectos que influirán tanto como en un comportamiento adecuado de la estructura, así las leyes naturales que afectarán la vida útil y servicio de la misma.

4.1.2. Alcance de proyecto.

Este proyecto fue desarrollado bajo las Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcción de la Ciudad de México (2017), haciendo mención de algunos de los cambios aplicados en la actualización de las Normas en el diciembre de 2017.

Se siguió el proceso de un proyecto real, una vez terminado el proyecto arquitectónico, el cual define espacios, servicios y necesidades, ubicación y espacios, claros y materiales, se procede a aplicar los conocimientos técnicos para proponer la estructura adecuada para el diseño arquitectónico del proyecto, en base a los principios básicos de mecánica de materiales y las normas establecidas en las Normas Técnicas Complementarias de estructuras de acero del Reglamento de Construcción de la Ciudad de México (2017), así como usando de apoyo los mismos principios publicados por el Instituto Americano de Construcción en Acero publicado en 2010.

El proceso de cálculo estructural consistió en el principio de estudio de cargas presentes a las que se someterá el proyecto, es en este apartado donde radica la importancia de tener la información completa de su entorno físico, puesto que, a pesar de diseñarse el edificio para una función en particular, también será sometido para las cargas accidentales que actuarán sobre él, las cuales se resumen en viento, sismo, lluvia, empujes del suelo y laterales, entre otras. Se procede a hacer el análisis de todos los elementos en base a los cuales todo el edificio fue diseñado, el cual consiste en un conjunto de trabes principales y secundarias, las cuales trabajan en conjunto con un sistema de losa acero, las cargas completas serán transmitidas al suelo por medio de sistemas de columnas.

El presente proyecto se basó únicamente en el diseño de la superestructura, por lo tanto, no se dio importancia a los estudios de impacto ambiental, características hidrológicas de la cuenca en la que se encuentra ubicado, así como los estudios geotécnicos para el correcto diseño de la Interacción Estructura-Suelo, así como tampoco se hizo revisión de una propuesta de cimentación. Con respecto a las características dinámicas del edificio, dicho análisis se hizo directamente con los valores dados por el software de análisis.

4.2. Resumen ejecutivo del proyecto.

Para el presente proyecto, el diseño de la estructura, parte de un proyecto arquitectónico, el cual se encarga de satisfacer las necesidades del usuario de manera efectiva. Al ser un proyecto para el futuro, el único avance que se tiene de éste es la planimetría arquitectónica.

El método de cálculo se hará por medio de softwares especializados para el diseño estructural tanto estático y dinámico, y la representación gráfica de los resultados, dichos programas son los de ETABS para el completo análisis de los elementos, de la compañía CSI, Excel de Office para el seguimiento práctico de los cálculos para el diseño de cada elemento en orden de las normas mencionadas anteriormente, y el programa de Revit de Autodesk, para la representación gráfica y planimetría de los cálculos.

El proyecto consiste en un edificio de siete niveles para departamentos, en el primer nivel se destinará el espacio para estacionamiento y en las áreas exteriores

existe una piscina y un espacio compartido para los usuarios, los pisos del segundo al sexto estarán todos los departamentos. La ubicación del edificio dará una bella vista de la ciudad, por su ubicación en lo alto del municipio, además de que éstos pueden ser rentados por estudiantes que asistan a las universidades cercanas.

4.3. Entorno geográfico.

En este apartado se hace habla de todos los factores que son importantes tener para que el proyecto se encuentre completo de información necesaria para dar los criterios necesarios para su diseño adecuado. De igual forma, el lector del presente documento se podrá dar una idea y entrar en contexto de las variables que influyeron para este documento y pueda el mismo aplicar las correspondientes en cualquier ubicación en particular.

4.3.1. Macro y microlocalización.

El proyecto se encuentra en el país de México, ubicado en el continente americano dentro del Meridiano Norte. Su nombre completo es Estados Unidos Mexicanos, y del cual su capital es la ciudad de México. La mayoría de su colindante territorial es con los océanos Pacífico del lado oeste, y el océano Atlántico de su lado este, donde se forma el Golfo de México. Es colindante al norte de Estados Unidos de América y al sureste de Guatemala, Belice y el Mar Caribe.

La administración de este país, es en base a un sistema republicano, el cual además de ser democrático, divide sus poderes administrativos en tres, el ejecutivo,

legislativo y judicial, sistema con el cual se da una organización más eficiente a los recursos naturales y sociales de la nación. Para su buen control, se divide a su vez en 32 entidades federativas que se rigen bajo una misma constitución nacional. En total, el territorio mexicano cuenta con 7,068,416 de km² en terreno y de mar (INEGI).



Imagen 3.1. México en América.

Fuente: www.wikimedia.com.

La población del país oscila alrededor de 100 millones de habitantes, los cuales la mayoría se encuentran concentrados en la zona centro del país por su importancia económica, productiva y política.

El presente trabajo se encuentra ubicado en el Estado de Michoacán, número 16 en tamaño geográfico con 58,599 km² y número 13 en apoyo al Producto Interno Bruto nacional. Michoacán cuenta con 4,351,037 habitantes y su principal actividad económica es la agricultura, pero el sector servicios produce más dinero.



Imagen 3.2. Ubicación del Estado de Michoacán.

Fuente: www.lapagina.com.mx

Michoacán es colindante de los estados de Colima y Jalisco del lado oeste, Guanajuato y Querétaro hacia el norte, Estado de México por el este y Guerrero del lado este, teniendo como limítrofe el océano Pacífico por el lado sur, con una litoral de 228 km.

El estado cuenta con 113 municipios, su capital es la ciudad colonial de Morelia. Existen climas muy variados en Michoacán debido al sistema montañoso que corre por su mayoría, debido a esto, y a que parte del cinturón de fuego atraviesa su territorio, existen en el estado una gran variedad de climas, suelos y ecosistemas, por lo que se puede asegurar que cada ubicación es tan particular que no es posible dar por iguales condiciones de proyecto en sus distintos municipios. Finalmente se encuentra cerca de la unión de dos placas tectónicas importantes, la placa de

Norteamérica y la Placa de Cocos, por lo que, acompañado de sus estratos de suelos, hay distintos comportamientos sísmicos en el estado.

La sede de la investigación es el municipio de Uruapan del Progreso, el cual tiene una extensión de 954.35 km², altitud de 620 metros sobre el nivel del mar y según datos de INEGI con aproximadamente 334,7498 habitantes. Es colindante de los municipios de Los Reyes, Carapan, Paracho, Peribán, Nahuatzen, Tingambato, Ziracuaretiro, Taretan, Nuevo Urecho, Gabriel Zamora, Tancitaro y Nuevo Parangaricutiro.

Algunas de las tenencias que abarca el municipio son Toreo el Bajo, San Lorenzo, Angahuan, Capacuaro, Santa Ana Zirosto, Santa Rosa, Cutzato, Jucutacato, entre otros.

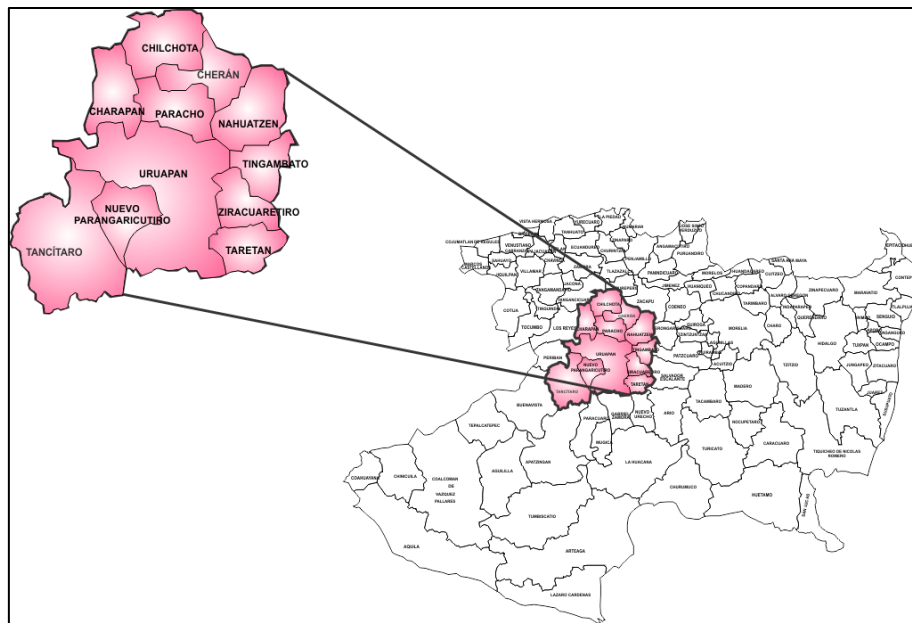


Imagen 3.3. Municipios colindantes de Uruapan del progreso.

Fuente: www.foros.michoacan.gob.mx

La principal actividad económica del municipio es la agricultura, siendo el aguacate el principal y más importante producto producido en la región para el país y para el mercado internacional, puesto que toda la infraestructura necesaria para su producción transporte, proceso, embalaje y envío es una gran derrama económica y que da muchos empleos al municipio.

Su clima es variado, pero en general es templado, con lluvias en verano, su temperatura fluctúa entre 12 y 26 °C en la zona urbana. Cuenta bosques de coníferas en las zonas altas, al igual que con poca vegetación en dirección al sur del municipio.

En su zona urbana, cabecera del municipio se encuentran dos ríos, el Río Cupatitzio y el Río Santa Bárbara, ambos pertenecientes a la Región Administrativa de la cuenca Lerma-Santiago.

La ubicación específica del proyecto está al norte de la zona urbana de la ciudad de Uruapan, a faldas del cerro de La Cruz, en la colonia Granjas de Bellavista en la calle Natación entre las calles Frontón y Atletismo.

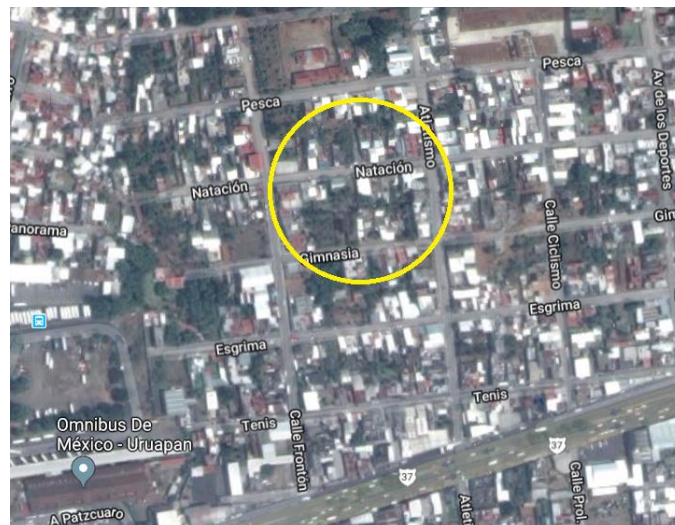


Imagen 3.4. Ubicación del predio.

Fuente: www.google.com/maps

La ubicación de coordenadas Geográficas del lugar son en el cuadrante 13 Q, 810879.10 m E, 2151006.53 m N en sistema UTM, con una elevación de 1684 msnm. Las características del lugar dan a entender que es una colonia relativamente nueva, con mucho suelo transportado, producto del deslizamiento del mismo material proveniente del cerro con el paso de la lluvia y erosión, formado en su mayoría por limo y pocas arenas. No obstante, el terreno muestra ya alteraciones naturales, puesto que cuenta con un muro de contención en su cara sur, lo que indica que su nivel natural fue modificado previamente por el dueño.

4.3.2. Geología regional y de la zona de estudio.

Al ubicarse Uruapan dentro del Eje Volcánico Transversal, el municipio está rodeado de decenas de volcanes inactivos, de hecho, a 40 km de la ciudad se encuentra ubicado el volcán Parícutín, el cual es el volcán más joven del mundo. Durante el proceso de maduración de la corteza terrestre y con el paso del tiempo toda la zona se cubrió de roca ígnea extrusiva, en las regiones naturales dentro de la ciudad se encuentran construcciones con estas presas, junto con piroplastos de grandes tamaños trabajados para dar un efecto estético y regional. Tal es el caso del Parque Nacional Barranca de Cupatitzio y la Presa de Santa Catalina, dentro de la misma ciudad.

Por su diversidad de clima y la abundante presencia de agua y lluvias, la erosión y los efectos físicos y biológicos de los ecosistemas han degradado dichas rocas para producir un tipo de suelo muy rico en nutrientes para su explotación agrícola.

4.3.3. Análisis de zona sísmica regional y de la zona de estudio.

En el Reglamento para diseño de edificios en base a cargas sísmicas publicado en 2008, expresa una zonificación de la República Mexicana que fue diseñado en base a estudios de registros sísmicos por más de 100 años, que considera varios coeficientes de variación de efectos sísmicos con respecto a la recurrencia sísmica y la ubicación del lugar en la paca tectónica.

Por su ubicación cerca a la interacción de las placas tectónicas de Norteamérica y la de Cocos, el estado de Michoacán tiene una diversidad muy amplia de respuestas sísmicas, debido tanto a su distancia hacia la costa como la presencia de las cordilleras montañosas.

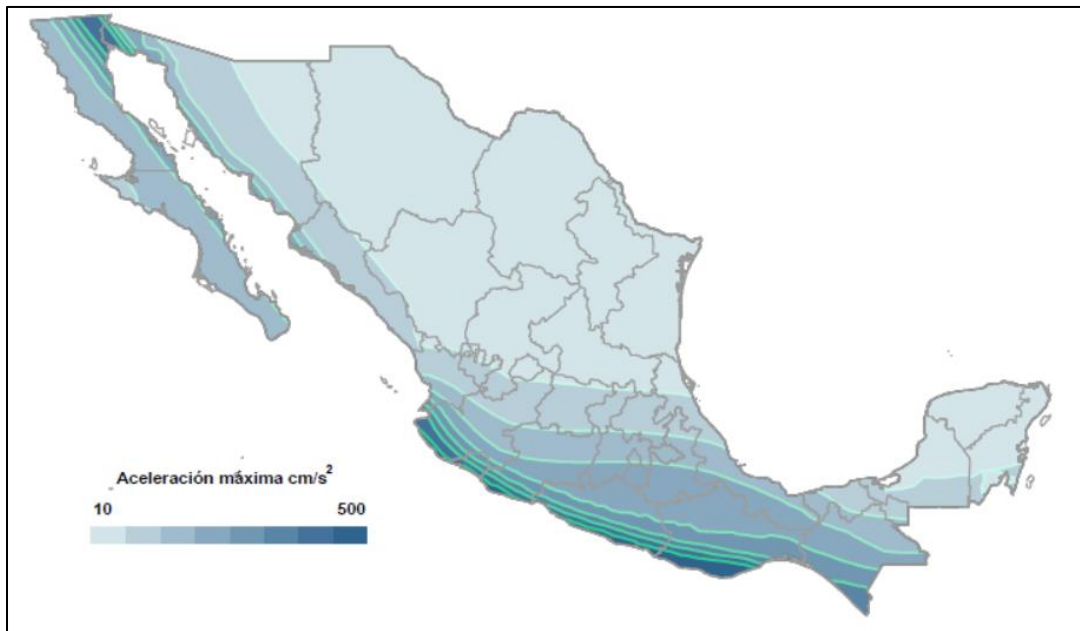


Imagen 3.5. representación de aceleración del suelo por movimientos telúricos en la República Mexicana.

Fuente: Manual de diseño de obras civiles. Diseño por sismo (2008).

4.4. Informe fotográfico.

A continuación, se presentan algunas fotografías tomadas dentro del predio para una referencia visual del lugar definido. Se trata de un lugar relativamente descubierto, existe un taller de acero dentro del lugar, acompañado de algunos árboles en la planicie.



Fotografía 3.1. Interior de predio

Fuente: Propia.

Se observa que el predio está en uso, de manera que tiene cierto mantenimiento, y que no está contaminado por desechos urbano o de algún otro tipo. También se aprecia que existe ya un cierto tipo de inversión en él, no obstante, no parece representar un monto importante considerando los beneficios que podría traer el proyecto.



Fotografía 3.2. Explanada en lado sur.

Fuente: Propia.



Fotografía 3.3. Existe construcción dentro del predio que será demolida.

Fuente: Propia.

4.4.1 Regularidad del suelo.

En las imágenes se puede apreciar que el suelo presenta un nivel uniforme en general. Sin embargo, por datos proporcionados por el mismo dueño del predio, y por la existencia de los muros de contención se sabe que no es ni la topografía de suelo natural, ni la tipología, por lo que se trata de un suelo transportado producto para relleno y estabilidad del terreno.

Las características físicas del suelo muestran que se trata de una mezcla de limos con materia orgánica, lo que se considera como de mala calidad para desplantar estructuras sobre este suelo. Además, por estudios hidrológicos y por pruebas en los alrededores se sabe que, a pesar de tener un nivel más alto, en el predio existe un nivel de aguas freáticas muy cercano a la superficie, puesto que, al estar a las faldas de un cerro tan importante, es agua que cae en la punta del mismo, escurre por debajo de la superficie ocasionando que el agua salga por distintos puntos en niveles más abajo.

4.4.2 Estado físico actual.

El predio se encuentra en una zona urbana, que a pesar de tratarse de una colonia joven de la ciudad y estar cerca de una de sus periferias, ya no es necesario que se haga un manifiesto de impacto ambiental, ya que el uso de suelo del predio es ya de calidad urbana.

Se observa que existen ya los servicios comunes de electricidad, agua potable y alcantarillado, por lo que no mostrará problema alguno para el proyectista de instalaciones pueda diseñar sistemas de calidad.

4.5. Alternativas de solución.

En ingeniería es muy común que los problemas planteados tengan más de una solución, ya que cada proyectista en base a su experiencia y criterios de evaluación pueden analizar cada proyecto de una perspectiva diferente, desde los materiales para construir hasta los mismos elementos que formarán el sistema en conjunto.

En este proyecto, una gran alternativa que existió desde el principio fue el material para la construcción del mismo, la tradición en la cultura mexicana y en la región se han caracterizado por el uso muy marcado de concreto en por todas partes, es de este modo que puede creerse que este es un proyecto que va en contra de la percepción social. Sin embargo, los últimos años han demostrado en la ciudad que el acero se está volviendo un material bastante aceptado por los constructores, ya que ofrece un muy buen proceso constructivo, fácil de instalar y permite un trabajo más limpio, sin mencionar que en estructuras de más niveles es sin lugar a duda una gran ventaja sobre el concreto, ya que las construcciones terminan mucho más ligeras, y, acompañado de la velocidad de trabajo, permite que la inversión necesaria no sea tan grande. Se tiene la seguridad que si se diseñara el mismo proyecto en base a concreto los costos de construcción serían más elevados.

Finalmente, acerca de la ubicación, se decidió este lugar por la gran vista que los usuarios podrán tener, ya que el edificio está en un nivel mucho más elevado que el resto de la ciudad, un paisaje a la ciudad que podrán apreciar en cualquier momento, ayudando también que la luz solar no golpeará directamente el interior de los departamentos y su ubicación es muy buena, puesto que está en una zona muy cercana a escuelas de todos los niveles sociales, además del centro comercial más importante de la ciudad.

4.5.1. Planteamiento de alternativas.

Entre las alternativas más importantes para el proyecto puede existir una nueva distribución arquitectónica, ya que el no contar con muchos muros en la parte inferior del edificio afectará su comportamiento de manera notable. Otra opción en los cambios es el cambio de la ubicación del edificio, porque si bien aportaría una gran vista, es también importante recordar que el suelo que se encuentra en el predio no es el óptimo para soportar las cargas a las que será diseñado, por lo que la cimentación lo más seguro es que tendrá que ser muy reforzada, y por siguiente, elevará el costo de inversión.

De igual manera, en la ciudad existen edificios aún más altos que el del presente proyecto sin disipadores sísmicos, lo que sugiere que no sean los disipadores realmente indispensables para la construcción del mismo edificio.

4.6. Proceso del análisis.

Se procedió a una revisión general del proyecto arquitectónico, una vez entendidos cada uno de los espacios que se presentarán, se seleccionó el sistema estructural más adecuado, siguiendo por un pre-dimensionamiento de cada elemento para poder obtener la carga total del edificio. Es importante recordar que en estos procedimientos se hace un estudio de carga de las cargas vivas, muertas y accidentales, en base a las combinaciones acordes a sus magnitudes en base a los reglamentos. El proceso de diseño se hace desde el último nivel del edificio y se comienza el análisis hacia abajo, para así tener la sumatoria de cargas a las que se enfrentarán las columnas de lo más bajo del edificio. Una vez obtenidos los valores del análisis estructural por medio del software ETabs, se hace la revisión cíclica de los niveles, siempre cambiando a los resultados reales que quedarán para cada elemento. Este proceso se repite las veces necesarias hasta que los últimos elementos de la primera planta queden diseñados de manera adecuada.

Para terminar, se plasman los resultados obtenidos en los planos constructivos de manera clara y correcta para que el contratista pueda ejecutar la obra sin problema alguno.

CAPÍTULO 5

METODOLOGÍA

A continuación, se presenta el proceso que se siguió para el desarrollo de esta investigación, el cual se basa en fundamentos metódicos con un proceso definido para llegar a los resultados verídicos y reales, de manera que se pueda tener garantía de los valores y respaldo de las conclusiones que se obtengan al finalizar la misma. Se presentará el tipo de investigación que se decidió para este proyecto y el alcance al que se encaminó el trabajo, así como los programas y equipos utilizados para recopilación de datos y una descripción general del proceso general.

5.1. Método empleado.

“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” (Tamayo y Tamayo; 2003; 37). Por lo anterior, se puede entender que para poder presentar una investigación con un buen sustento de resultados es necesario que se haga bajo ciertos pasos y lineamientos preestablecidos, de manera que lo que se presente cumpla con un orden para que cualquier lector quede con una idea clara de lo que el trabajo se refiere. La investigación no es solamente la búsqueda de la verdad, sino que también es la presentación adecuada de resultados obtenidos y nuevos conocimientos encontrados, por lo que es muy importante el desarrollo adecuado de cada uno de los procesos que se utilizaron.

En este trabajo se siguió la guía del método científico, por lo que se entiende que es únicamente experimental, sino que también cuenta con la importante parte de investigar sobre el área especializada; dentro de la recaudación de datos, en cada área científica existen distintos métodos para obtener los resultados, no obstante, es imperativo que al tratarse de una investigación formal se trabaje con el procedimiento definido por este método.

El método científico, explican Tamayo y Tamayo (2003), explica en general los pasos utilizados en este método:

- Planteamiento del problema o la observación del fenómeno.
- Recaudación de información acerca del tema y la recolección de objetos necesarios para la experimentación, de no existir éstos últimos deben de diseñarse y construirse.
- Seguir el procedimiento en particular de la ciencia o tema de investigación.
- Presentación ordenada de los resultados obtenidos.

Es importante señalar que una investigación de carácter científico debe ser objetiva, lo que se refiere a que los sentimientos, creencias o preferencias del investigador no deben intervenir en ningún momento para el desarrollo del trabajo en cuestión, formando un juicio adecuado para la presentación final de los resultados.

Después de haber mencionado las principales características del método científico se confirma que este trabajo se siguió de forma adecuada, desde el inicio y planteamiento del proceso a investigar, hasta el proceso de obtención de resultados y para la presentación de resultados.

5.1.1. Método matemático.

De acuerdo con la página electrónica www.investigacionoperaciones541.blogspot.mx (2018), el método matemático consiste en la búsqueda e interpretación de la realidad por medio de modelos y variables matemáticas en las que, al definir una expresión lógica, se llega a un resultado. Se menciona que el método matemático consiste en tres partes importantes:

- Variables de decisión y parámetros, que son los valores que se están buscando obtener o que son desconocidos al principio de la investigación.
- Restricciones o constantes, que se refiere a las cantidades limitadas para la investigación, la que se definen de forma previa para encasillar el campo de investigación a un solo fenómeno controlable.
- Función objetivo, la cual se entiende como el modelo creado que define el comportamiento de las variables en relación a las constantes que se presentan y los fenómenos que ocurren.

En esta investigación se siguieron los lineamientos de este método, ya que los valores y resultados que se buscan son valores numéricos, obtenidos gracias a una serie de pasos lógicos y axiomas universales, basados en la ciencia y fenómenos comprobables por medio de expresiones matemáticas.

5.2. Enfoque de la investigación.

En esta investigación se utilizó un enfoque **cuantitativo**, el cual, “Utiliza la recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico, con el fin establecer pautas de comportamiento y probar teorías” (Hernández y colaboradores; 2014 ;4). El proceso de un enfoque de este tipo cuenta con las siguientes fases:

- Idea.
- Planteamiento del problema.
- Revisión de la literatura y desarrollo del marco teórico.
- Visualización de alcance del estudio.
- Elaboración de hipótesis y definición de variables.
- Desarrollo de diseño de investigación.
- Definición y selección de la muestra.
- Recolección de los datos.
- Análisis de datos.
- Elaboración de reporte de resultados.

Los resultados que se obtendrán al finalizar el proyecto y que se plasman tanto en la memoria de cálculo como en los planos que se entregan al contratista tendrán más que información técnica de construcción, valores numéricos y de cuantificación, resultado de la proyección y muestra de funciones matemáticas realizadas, es por este motivo que los lineamientos en función del trabajo realizado, son de naturaleza numérica y de cuantificaciones que darán como resultado la correcta ejecución del

proyecto, garantizando su seguridad y que será funcional para el servicio para el cual fue diseñado.

Es importante que el investigador no olvide el impacto que puede tener el que no se haga una revisión lógica o adecuada de los resultados obtenidos en el proceso del desarrollo del trabajo, puesto que es en este paso en el que se pueden llegar a detectar diversos errores o confusiones de resultados que comúnmente ocurren. De no darle la relevancia correcta a este paso, es posible que gran parte de los resultados o conocimientos obtenidos puedan no coincidir con la realidad del modelo matemático y en la función adecuada el proyecto.

5.2.1. Alcance de la investigación

Continuando con la descripción de Hernández y colaboradores (2014), este trabajo se clasifica en como una investigación **descriptiva**, entendiéndose una investigación de este tipo de alcance como una en la que el objetivo es recaudar la información necesaria para arrojar los resultados del comportamiento real del fenómeno, en lo que se refiere a lo que ya existe y los factores que alteran estos resultados, mas no se busca en ningún momento la explicación de las causas de los fenómenos ni de cómo actúan éstos en el comportamiento del proyecto completo.

Es así como se expresará este trabajo con un alcance descriptivo, que arrojará resultados únicamente del comportamiento real del sistema, sin entrar al detalle del comportamiento por el cambio de variables o la explicación general de éstas dentro del sistema en el que se trabajará, únicamente se desarrollará en la recolección de resultados medibles que den información calificativa respecto al proyecto completo.

5.3. Diseño de la investigación.

En el proceso de diseño se trabajará con un proceso **no experimental**, definido por Hernández y colaboradores (2014) como: “Estudios que se realizan sin la manipulación deliberada de variables y en los que sólo se observan los fenómenos en su ambiente natural para analizarlos”. Por lo tanto, se expresa que no se alterarán o trabajarán las diversas constantes que se presentan en el proyecto y que pueden afectar directamente el comportamiento y resultados finales de la investigación, únicamente se trabaja con los resultados de un modelo o momento de la investigación. En este diseño de investigación no se trabaja con una “realidad construida” por el estudioso, sino que se va a resultados de la realidad, tomando en cuenta las situaciones que se presentan sin alterar algo de la naturaleza.

De lo anterior, se hace mención que este trabajo es de un diseño **transversal**, explicando que un diseño de este tipo solamente recauda datos en un momento en específico en la línea de tiempo del modelado; dicho de otra manera, los resultados que se buscan obtener serán por medio de un único diseño o modelado. Citando a Liu (2008) y Tucker (2004) por Hernández y colaboradores (2014) se trata de “tomar una fotografía de un suceso”.

5.4. Instrumentos de recopilación de datos.

Para el proceso de modelado, análisis de sistema y obtención de resultados, se trabajará con diversos softwares de apoyo en relación de la tarea en particular que deba realizarse. A lo largo de la investigación habrá un diverso número de actividades que deba tomarse en cuenta que en cierto momento darán resultado diversos cada

una. El apoyo de softwares de ingeniería favorece el avance rápido y mucho más exacto para los diversos pasos en cuestión. Hoy en día, para el desarrollo y sustentabilidad de una empresa de la construcción, depende fielmente en el tiempo que tarde en presentar resultados de forma rápida y eficiente; debido a esto ya no se puede afirmar que una oficina puede subsistir, o por lo menos ser tan eficiente como el mercado demanda si no se adapta al cambio e implementación de estas herramientas.

A continuación, se presentan un listado de los programas y herramientas de apoyo para la recolección y análisis de resultados obtenidos:

- **AutoCAD de Autodesk:** software dedicado al dibujo y diseño de proyectos geométricos y la representación de datos de manera gráfica para todo proyecto de ingeniería o construcción, así como la representación topográfica y análisis de cambios de relieve.
- **Revit de Autodesk:** programa de género BIM, para la representación en tres dimensiones de proyectos de construcción y arquitectónicos, destinado para la interacción más fluida de anteproyectos, con la capacidad de mostrar resultados más cercanos a la realidad del proyecto final.
- **SAP2000 de CSI:** software con la capacidad de hacer análisis y diseño de elementos y sistemas estructurales de todo tipo de naturaleza, desde el comportamiento de esfuerzos en edificios, casas habitación. Naves industriales entre otros.
- **Excel de Office de Microsoft:** programa de tipo hoja de cálculo, en el que se puede realizar el análisis secuencial de fórmulas matemáticas para el desarrollo

y comportamiento de axiomas y leyes para el diseño de elementos estructurales, operaciones matemáticas varias y programación de funciones para obtener resultados de variables.

- **Google Earth de Google:** servidor online en el que se puede navegar en un simulador geográfico para la obtención de coordenadas y características reales para la geolocalización de lugares o construcciones en cualquier parte del mundo.

5.5. Descripción del proceso de investigación.

Para la realización de este proyecto de investigación se partió de la inquietud de conocer el verdadero diseño de una superestructura de un edificio de acero, para lo cual se decidió una altura de siete niveles como una medida adecuada para la magnitud de la investigación. Una vez definidos el tema y objetivos de investigación, se comenzó con la tarea de recaudación de datos para el proyecto. Se llevaron a cabo investigaciones de estudios previos y recaudación de datos sobre en dónde se ubicaría el proyecto a desarrollar. Una vez delimitadas las variables externas que afectarán el comportamiento de la estructura se procedió a la investigación de marco teórico necesario para el entendimiento y buen desarrollo del proyecto.

La información recaudada se dirigió por medio de los objetivos particulares, en donde se definieron los temas importantes para el correcto modelado del proyecto y contribuyera para el proyecto. En el proceso de investigación se fueron agregando temas importantes para la explicación de margen teórica para el correcto

entendimiento del proceso de cálculo. Se prosiguió en la recaudación de datos del entorno natural que pudieran afectar en el servicio adecuado del edificio debido a su ubicación geográfica, con estos resultados el siguiente paso fue el diseño de la metodología de investigación.

Al trabajar en un modelo de investigación adecuado se definieron el enfoque y alcance de investigación, delimitando el trabajo a solamente una descripción de fenómenos de una manera transversal, para ocuparse sólo de un momento de la investigación únicamente, es decir, únicamente en un momento de la vida del proyecto. Una vez obtenido el diseño arquitectónico del edificio de siete niveles, se comenzó con el modelado y propuesta de sistema estructural del edificio, para lo cual fueron necesarios los principios de comprendidos dentro del margen teórico de los dos primeros capítulos. Al obtener los esfuerzos y solicitaciones por medio del programa Robot, se procedió al diseño de elementos estructurales bajo los principios y fórmulas presentadas en el capítulo dos.

Cuando se obtuvo un modelado satisfactorio y acorde a la realidad, se presumió que los resultados fueron correctos, para los que la siguiente fase consiste en la representación formal, clara y gráfica de los resultados obtenidos del cálculo estructural, finalizando en un resumen de resultados y el diseño de los planos estructurales para la correcta construcción del proyecto.

CAPÍTULO 6

CÁLCULO, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

A continuación, se presentan las características generales del proyecto arquitectónico, el estudio de cargas y los pasos para el análisis estructural, así como los cálculos para el diseño de todos los elementos del edificio respectivamente.

6.1 Aspectos generales de proyecto

Los valores que se toman para hacer el diseño de este edificio corresponden a los que presentan tanto en el Reglamento de Construcción de la Ciudad de México (2017), y los que demandarán las cargas de diseño y las condiciones naturales para el cálculo.

Por tener mayor ductilidad que los elementos de acero de alta resistencia, todos los elementos serán diseñados con acero A-572, por lo que todos los elementos deben de comprobarse que cumplen con esta característica, la lámina se propone de sección 4 calibre 24, y en base a los diseños de las fichas técnicas, un concreto de $f'c=200$ kg/cm² es aceptable para el colado de las losas, sin embargo, el contratista deberá de asegurarse que el concreto en verdad cumpla con dicha resistencia. La soldadura debe ser de grado 70-18, y los tornillos en caso de requerirse deben de ser de la resistencia señalada. En el anexo 1 se ve un levantamiento topográfico del predio.

6.1.1. Descripción arquitectónica.

En el presente apartado se hará una descripción general del proyecto arquitectónico, considerando todas sus demandas y necesidades, de manera que el lector pueda entender el diseño y comportamiento de la estructura de manera objetiva y clara. En sus características generales el edificio es para uso habitacional con departamentos, cuenta con la primera planta de estacionamiento y un espacio para servicios, Al fondo tiene un espacio para terraza con comedor para espacios compartidos, éste es el camino por donde se puede llegar a una piscina con jardín para todos los inquilinos.

El edificio cuenta con ascensor para las demás plantas, cada planta cuenta con 4 departamentos de doble altura (con escaleras internas) lo que da un total de 12 departamentos en todo el edificio. El Anexo 2 es una recopilación de varias imágenes de distintos ángulos del proyecto, en el Anexo 3 se presenta cómo será la distribución en la planta baja de los departamentos, así como en el Anexo 4 se ve la fachada que presentará el edificio.

6.2. Análisis de cargas.

Para comenzar con el cálculo estructural se procede primero a determinar las cargas y elementos mecánicos a los que estarán sometidos cada uno de los elementos, para esto se debe realizar un estudio cuidadoso de cargas aplicadas principalmente sobre los tableros de entrepiso, los cuales recibirán la mayor cantidad de cargas, los cuales a su vez transmitirán sus cargas a las vigas de manera

simultánea para ir a las columnas y terminar en la cimentación, la cual no abarca el estudio del presente proyecto.

Comenzando por las cargas se definen dos tableros principales que son para las cargas, los cuales se refieren a la azotea y el entrepiso, la primera planta al ser estacionamiento debería ser de naturaleza diferente, pero al estar apoyada en el firme sus cargas ya son transmitidas al suelo.

Para entender las cargas aplicadas en los tableros, se definen primero las distintas combinaciones a las que se someterá el edificio, puesto que al ser diseñado por el método de coeficientes (carga última), una de sus principales características es la selección del análisis más desfavorable del elemento en cuestión. Las combinaciones consistirán en las siguientes.

- Carga Viva + Carga Muerta.
- Carga Viva + Carga Muerta, multiplicadas por el factor de carga (1.4 al tratarse de una estructura tipo B).
- Carga Viva + Carga Muerta + Sismo en eje X + 30% de Sismo en Y (las cargas viva y muerta son afectadas por un factor de 1.1 y se considera el calor de carga viva instantánea).
- Carga Viva + Carga Muerta + 30% de Sismo en eje X + Sismo en Y (las cargas viva y muerta son afectadas por un factor de 1.1 y se considera el calor de carga viva instantánea).

Al tratarse de un edificio menor a 30 m de altura, de acuerdo al reglamento de Comisión Federal de Electricidad, el diseño por viento puede ser despreciable.

Cargas en losa de azotea	
Losacero sección 4 cal 24 con 5 cm de espesor	200 kg/m ²
Nivelación para pendiente con 10 cm promedio de espesor	210 kg/m ²
Falso plafond de tablaroca	40 kg/m ²
Instalaciones	20 kg/m ²
Sobrecarga por reglamento	40 kg/m ²
Carga muerta	510 kg/m ²
Carga viva máxima	100 kg/m ²
Carga viva instantánea	70 kg/m ²
CM + CV sin cargas accidentales	610 kg/m²
CM + CV mas cargas accidentales	580 kg/m²
*Los tinacos y demás tanques serán considerados como sobre cargas directos sobre las trabes	

Tabla 6.1. Estudio de cargas para azotea.

Fuente: Propia.

Cargas en losa de entrepiso	
Losacero sección 4 cal 24 con 5 cm de espesor	200 kg/m ²
Vitropiso	40 kg/m ²
Falso plafond de tablaroca	40 kg/m ²
Instalaciones	20 kg/m ²
Falso plafond de tablaroca	40 kg/m ²
Carga muerta	340 kg/m ²
Carga viva máxima	170 kg/m ²
Carga viva instantánea	100 kg/m ²
CM + CV sin cargas accidentales	510 kg/m²
CM + CV mas cargas accidentales	440 kg/m²

Tabla 6.2. Estudio de cargas para entrepisos.

Fuente: Propia.

Cargas de muros por metro cuadrado								
Elemento	Piezas	Largo (m)	Ancho (m)	Alto (m)	Peso volmétrico	Total		
Block	12.5				13.6	170	kg/m ²	
Mortero	1	10	0.05	0.02	2200	22	kg/m ²	
Aplanado	1	1	0.05	1	2200	110	kg/m ²	
Texturizado	1	1	0.015	1	833.33	12.5	kg/m ²	
Total de carga de muros							314.5	kg/m²

Tabla 6.3. Estudio de cargas de muro de block.

Fuente: Propia.

La sumatoria de cargas muertas y las cargas vivas no han sido afectadas por el factor de sobrecarga, éste factor se agregará al modelo tridimensional en combos de cargas dentro del software. De igual forma a carga por sismo se ve agregada de la misma manera, para definir el espectro sísmico es necesario declarar los valores de otras variables, las cuales consisten en:

- **Zona sísmica:** debido a su ubicación geográfica corresponde a una zona tipo C.
- **Tipo de estructura:** por su función la estructura es tipo B.
- **Tipo de suelo:** se considera un suelo relativamente estable, blando, con buena capacidad de carga y sin presencia de mucha agua, es un suelo tipo B.
- **Factor sísmico:** el edificio fue diseñado para cumplir con requisitos de un factor Q de 3.
- **Factor de irregularidad:** de acuerdo con las Normas Técnicas Complementarias en el apartado de diseño por sismo, el edificio cumple con un factor de regularidad de 1.

6.3. Diseño de elementos estructurales.

Una vez definidos las cargas, se procede al dibujo del sistema con un pre-dimensionamiento de elementos para poder obtener las cargas totales junto con el peso propio de la estructura. Para esta etapa se proponen un perfil para losas, dos perfiles distintos para vigas, principal y secundaria, y para el diseño completo se optó por tres perfiles diferentes para las columnas.

Para el análisis estructural se hace uso del software para modelado 3D de ETABS, en el cual se hace una representación de la estructura lo más acercado posible a la realidad. Por lo que se comienza definiendo los ejes de los elementos, para poder trabajar en un espacio referenciado a coordenadas X,Y.

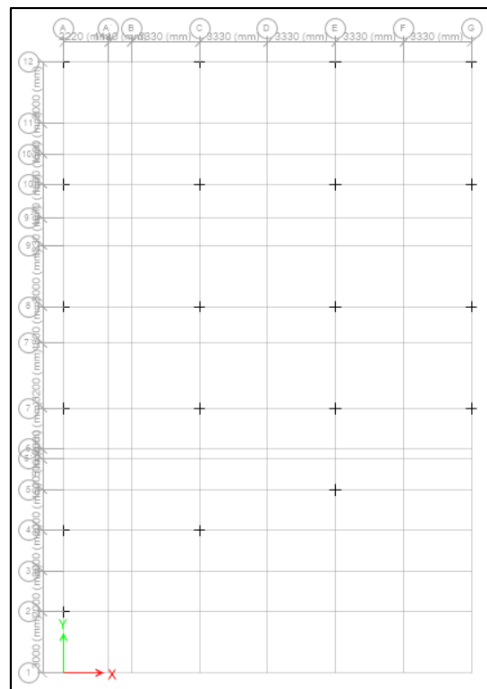


Imagen 6.1. Representación de sistema de ejes.

Fuente: Propia.

Para definir el comportamiento de los elementos se comienza por cargar las características específicas de cada material utilizado, esto se hace en el menú de Define > Material Properties.

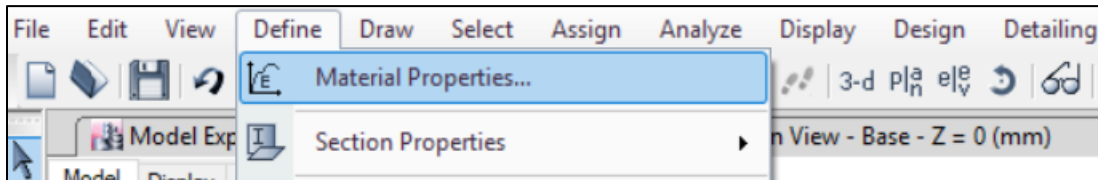


Imagen 6.2. Camino para definir materiales.

Fuente: Propia.

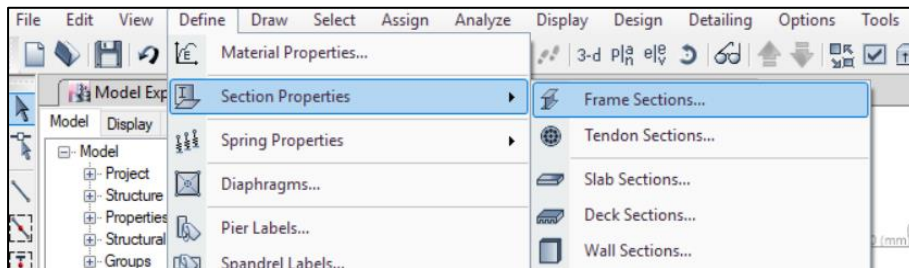


Imagen 6.3. Método para definir secciones de elementos.

Fuente: Propia.

Al tener los materiales definidos se hace el proceso de cargar los perfiles estructurales que se van a utilizar. Para este punto se recomienda cargar un perfil por cada sección diferente que se haya decidido en el pre dimensionamiento, así se logra una manera más sencilla de cargar las diferencias al momento de obtener el perfil adecuado.

Para definir los elementos lineales, se hace el camino de Define > Seccion Properties > Frame Seccions. En este apartado se desplegará una ventana en la que se escoge el material que formará el perfil y una lista de tipos de perfiles. Para el caso de las vigas, se proponen vigas IPR.

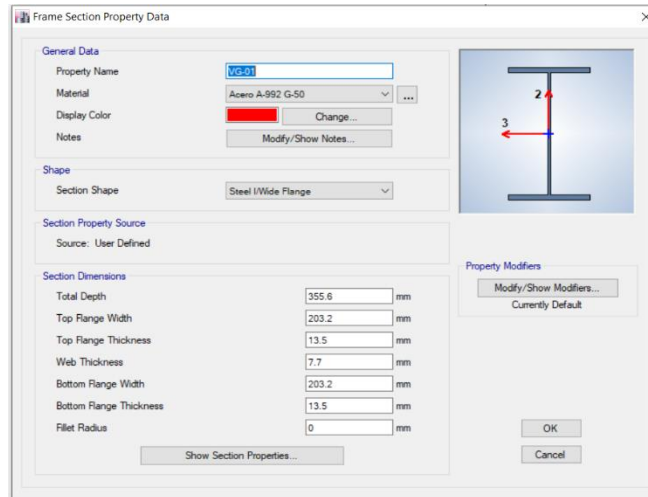


Imagen 6.4. Definición de propiedades de V-01.

Fuente: Propia.

Se repite un proceso parecido, Define > Seccion Properties > Deck Seccions para poder dar las características verdaderas de un elemento placa con la forma de una losacero. Se decidió colocar dar como peso de 0 kilogramos porque más adelante se aplicará el peso del concreto y lámina como carga muerta.

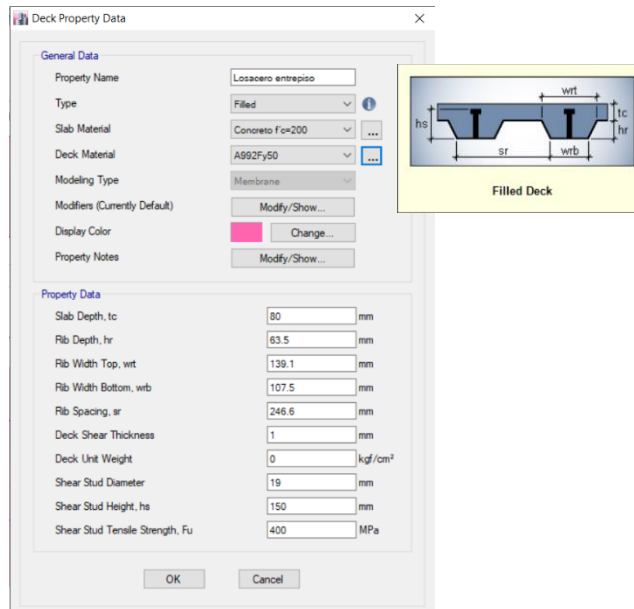


Imagen 6.5. Características de losacero.

Fuente: Propia.

Para terminar con el modelo se comienza con los dibujos de cada uno de los elementos estructurales.

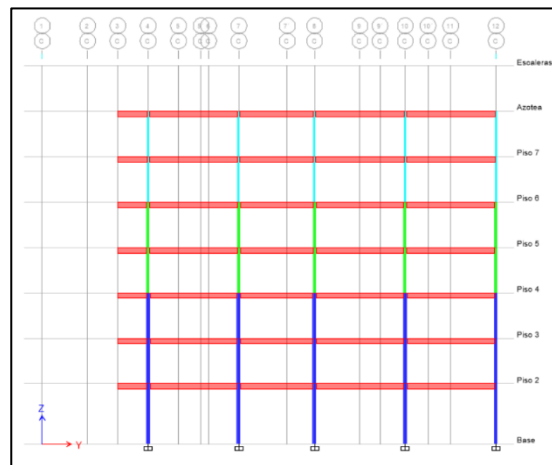


Imagen 6.6. Vista en eje C de modelado.

Fuente: Propia.

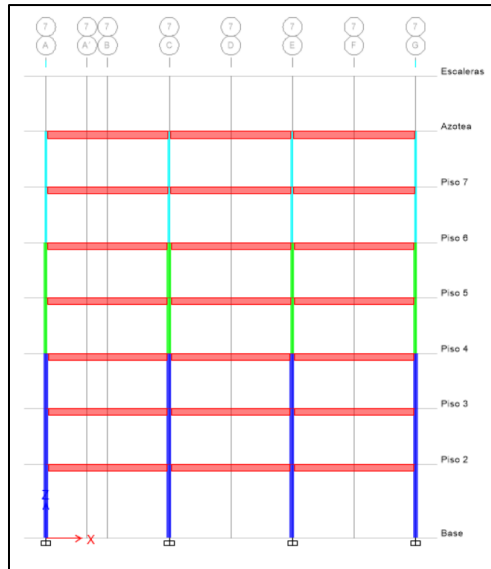


Imagen 6.6. Vista de eje 7 en modelo.

Fuente Propia.

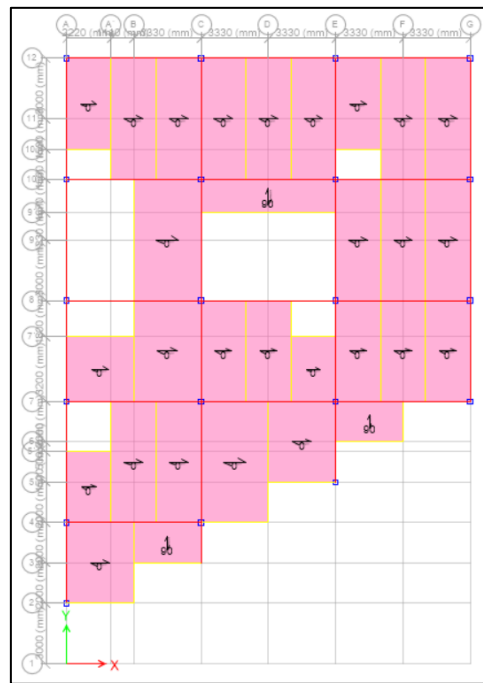


Imagen 6.7. Vista de planta en tercer piso.

Fuente: Propia.

En el dibujo de los tableros, es importante revisar la dirección hacia donde serán distribuidas las cargas para las vigas principales. La losa de acero debe instalarse de forma perpendicular a las vigas secundarias o a las que van a recibir su carga. Otra forma de decirlo es que las direcciones de los canales de las láminas deben siempre ir en el eje del claro corto. Para corregir esto en el programa se usa el camino de Assign > Deck Sections > Local Axes, y corrigiendo por 90° los tableros.

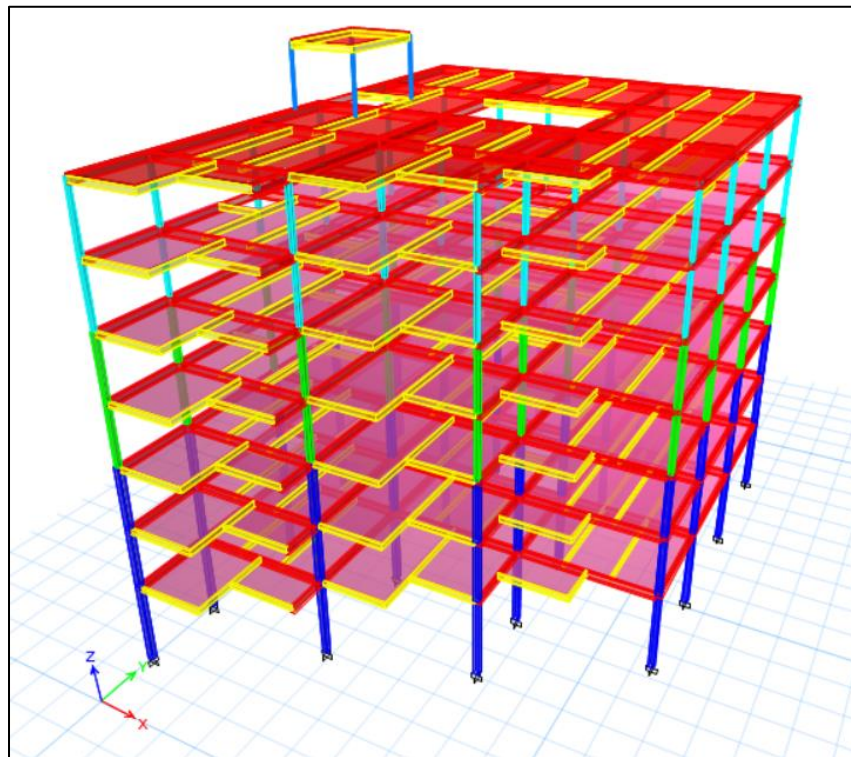


Imagen 6.8. Modelo de análisis terminado.

Fuente: Propia.

El proceso de bajar cargas, es importante comenzar con el descenso de las cargas, por lo que primero se diseñan los tableros de entre piso. Para este proceso se hace uso de las tablas de fabricante, las cuales muestran valores predeterminados por

los vendedores de las propiedades de las secciones que ellos mismos proponen para el uso de sus láminas en particular. Por conveniencia estructural y mayor beneficio de los elementos, se trabajará con una losa con conectores de cortante, dichos elementos van soldados al patín de compresión de la viga, lo que provoca que no vaya sufrir pandeo local, y se pueda hacer uso de su máxima resistencia ante momentos flexionantes. Una vez definido el uso de los conectores se revisa en las tablas del fabricante qué sección es capaz de soportar las cargas que le serán aplicadas. El tipo de sección depende de la forma de las láminas para trabajar. En este proyecto se hizo uso de las tablas técnicas de la marca IMSA, para losacero de sección 4.

Losacero Sección 4 Sobrecargas Admisibles (kg/m ²)													
Cal.	espesor de conc. (cm)	Separación entre apoyos (m)											
		1.8	2	2.2	2.4	2.6	2.8	3	3.2	3.4	3.6	3.8	4
24	5	1840	1462	1182	969	804	672	566	479	407	347	296	252
	6	2000	1649	1334	1094	907	759	640	542	461	393	335	286
	8	2000	2000	1638	1344	1115	933	787	667	586	485	414	354
	10	2000	2000	1941	1593	1323	1108	934	793	675	576	493	422
	12	2000	2000	2000	1843	1530	1282	1052	918	782	668	572	490
22	5	2000	1895	1465	1207	1006	846	717	612	525	452	390	337
	6	2000	2000	1656	1356	1138	958	812	693	595	512	442	383
	8	2000	2000	2000	1681	1402	1181	1002	856	735	634	548	474
	10	2000	2000	2000	2000	1666	1404	1192	1019	875	755	653	566
	12	2000	2000	2000	2000	2000	1627	1382	1182	1016	876	759	658
20	5	2000	2000	1772	1464	1225	1035	882	756	652	565	492	429
	6	2000	2000	2000	1660	1389	1174	1001	859	741	643	559	488
	8	2000	2000	2000	2000	1717	1452	1238	1064	919	797	694	607
	10	2000	2000	2000	2000	2000	1730	1476	1269	1096	952	830	725
	12	2000	2000	2000	2000	2000	2000	1714	1473	1274	1107	965	844
18	5	2000	2000	2000	1908	1603	1361	1165	1005	873	762	667	587
	6	2000	2000	2000	2000	1826	1551	1328	1146	996	869	763	671
	8	2000	2000	2000	2000	2000	1930	1655	1429	1242	1085	953	840
	10	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	1711	1488	1301	1143
	12	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	1735	1517	1334	1177

Tabla 6.4. Tabla de resistencia de cargas para losacero sección 4 con uso de conectores de cortante.

Fuente: IMSA, Manual de losacero sección 4 y 36/15.

Por la tabla y el estudio de cargas, se tomará el tablero de lámina losacero sección 4, calibre 24 con una capa de compresión de 8 cm de concreto $f'c = 200 \text{ kg/cm}^2$, de igual manera se usará para la azotea, una lámina losacero sección 4, calibre 24 con una capa de compresión de 10 cm de concreto $f'c = 200 \text{ kg/cm}^2$. Para los

conectores de cortante serán simplemente propuestos de 3/8" @ 15 cm sobre todas las vigas. Este estudio no se enfocará en el diseño de los mismos.

Una vez definidas las secciones de la losa, se hace el cambio en el modelo 3D para correr el verdadero análisis de las trabes en base al peso de la estructura. El proyecto arquitectónico propone los muros divisorios de los departamentos con block, al ser muros únicamente divisorios, sin función estructural, se aplicará su carga directamente sobre las trabes en las que se apoya, en relación a su peso volumétrico, el cual es considerado conforme al estudio de cargas previamente presentado, multiplicado por tres al tener tres metros de altura los muros en los que se considerarán.

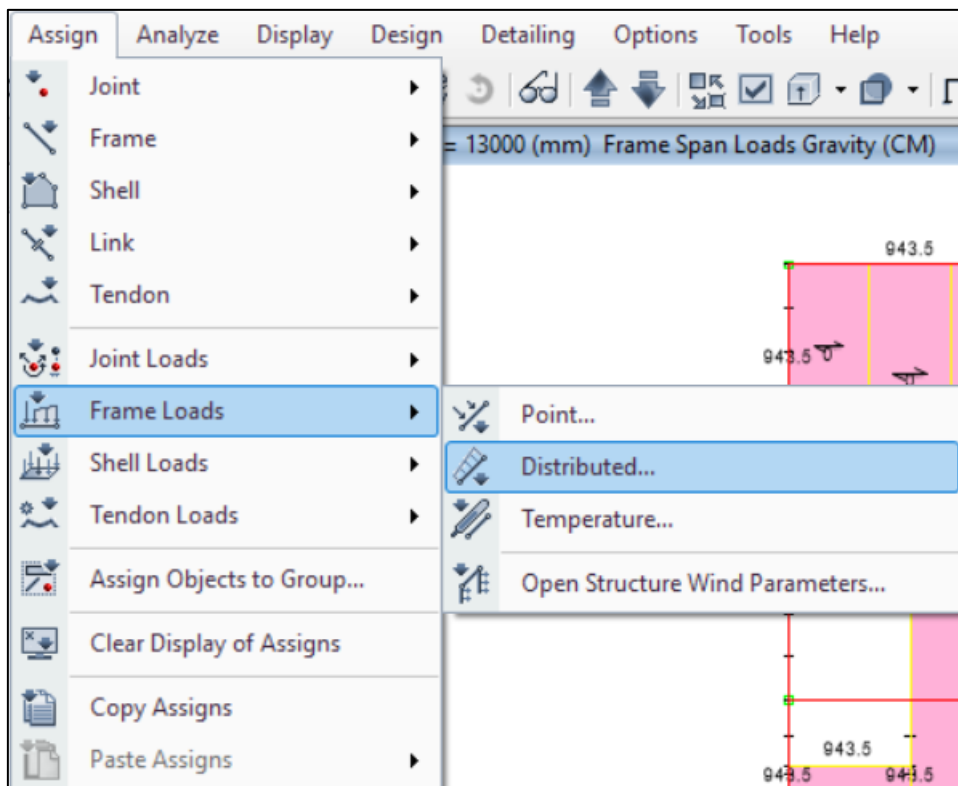


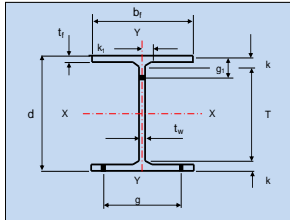
Imagen 6.9. Método para aplicar cargas distribuidas.

Fuente: Propia.

Datos de proyecto: Edificio de departamentos en la Ciudad de Uruapan Michoacán.	Viga secundaria VG-02
---	---------------------------------

Análisis estructural		Prop. de acero
Cargas y esfuerzos obtenidos por medio de modelado digital en el sistema BIM Etabs.	Carga: Flexión	Acero A-575-50
	V_u = 13.6 ton	F_y = 3515 kg/cm²
	M_u = 24.23 ton·m	F_u = 4570 kg/cm²
Estructura tipo: B		E = 2.04E+06 kg/cm²
		G = 784000 kg/cm²

Propiedades de la sección

Perfil: IR - IPR	12 x 40 in x lb/ft	
Peso = 79 kg/m	Área = 76.1 cm²	
d = 303 mm	S_{x-x} = 850 cm³	
t_a = 7.5 mm		
b_f = 203 mm		
t_f = 13.1 mm		

Revisión por NTC-M

Clasificación de la sección de patín		Clasificación de la sección de alma	
$0.32 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 7.71$	Relación de grosor de piezas	$2.45 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 59.02$	Relación de grosor de piezas
$0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 9.15$	$\frac{b_f/2}{t_f} = 7.75$	$3.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 90.58$	$\frac{d - 2t_f}{t_a} = 299.51$
$0.58 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 13.97$	Se clasifica como Tipo 2	$7.5 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 180.68$	Se clasifica como Tipo 3

El perfil es Tipo 3

DISEÑO POR CORTANTE			
h/t _a > 260, por lo tanto, se requieren atiesadores			
Dist. (a)=	400 mm	k _v =	7
h=	276.8 mm	C _v =	0.0718
j=	0.50	V _n =	314184.88 kg
b=	276.8 mm	V _R =	283 ton
I _{at} =	116775 mm ⁴		

DISEÑO POR FLEXIÓN	
Suejta lateralmente, por lo tanto:	
Mr = 0.9 * S_{x-x} * F_y	
M_R =	26.89 ton·m.

90%	Perfil IPR 12 x 40 in x lb/ft con atiesadores de placa de 1/4 in @ 40 de patín a patín con soldadura 70-18 con cordón de 1/4 in.
El perfil está en su máxima eficiencia.	

De igual manera, se hacen los cambios de perfiles para la viga secundaria y se siguen los mismos pasos para las vigas principales V-01. En este caso se trata de la viga

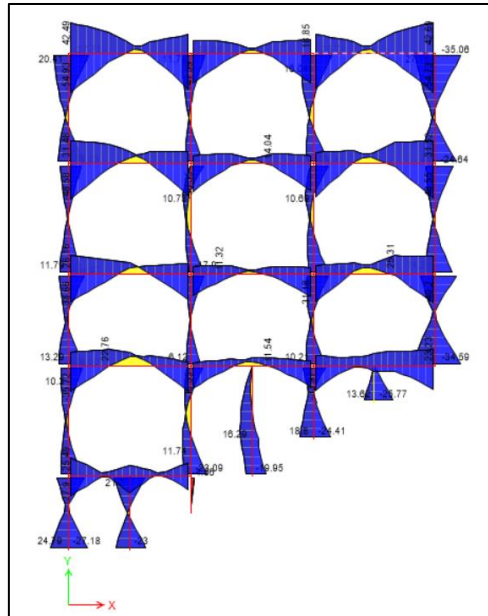


Imagen 6.12. Diagramas de travesaños principales.

Fuente: Propia.

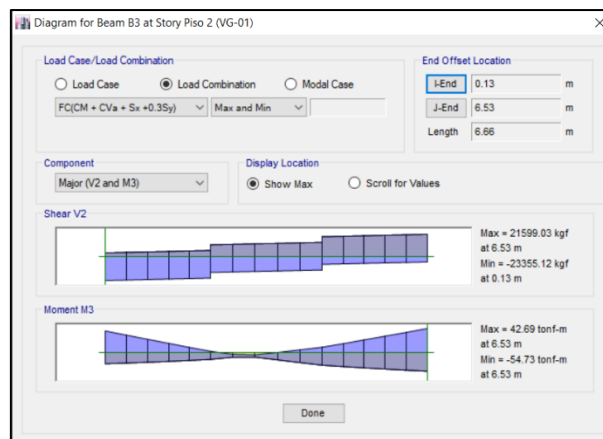


Imagen 6.13. Diagramas de corte y momento de viga más desfavorable.

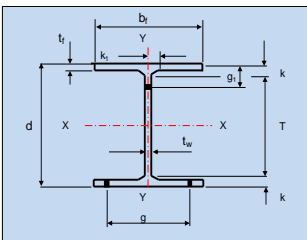
Fuente: Propia.

Datos de proyecto: Edificio de departamentos en la Ciudad de Uruapan Michoacán.	Viga principal VG-01
---	--------------------------------

Análisis estructural		Prop. de acero
<i>Cargas y esfuerzos obtenidos por medio de modelado digital en el sistema BIM Etabs.</i>	Carga: Flexión	Acero A-575-50
	V_u = 23.35 ton	F _y = 3515 kg/cm ²
	M_u = 54.73 ton·m	F _u = 4570 kg/cm ²
	Estructura tipo: B	E = 2.04E+06 kg/cm ²
		G = 784000 kg/cm ²

Propiedades de la sección

Perfil: IR - IPR	18 X 60 in x lb/ft
Peso = 105.3 kg/m	Área = 113.6 cm ²
d = 463 mm	S_{x-x} = 1770 cm ³
t_a = 10.5 mm	
b_f = 192 mm	
t_f = 17.7 mm	



Revisión por NTC-M

Clasificación de la sección de patín		Clasificación de la sección de alma	
$0.32 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 7.71$	Relación de grosor de piezas	$2.45 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 59.02$	Relación de grosor de piezas
$0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 9.15$	$\frac{b_f/2}{t_f} = 5.42$	$3.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 90.58$	$\frac{d - 2t_f}{t_a} = 459.63$
$0.58 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 13.97$	Se clasifica como Tipo 1	$7.5 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 180.68$	Se clasifica como Tipo 3

El perfil es Tipo 3

DISEÑO POR CORTANTE			
h/t _a < 260, por lo tanto, se requieren atiesadores			
Dist. (a)=	350 mm	k _v =	12
h=	427.6 mm	C _v =	0.0514
j=	1.36	V _n =	486301.67 kg
b=	350 mm	V _R =	438 ton
I _{at} =	1100696 mm ⁴		

DISEÑO POR FLEXIÓN	
Suejta lateralmente, por lo tanto:	
Mr = 0.9 * S_{x-x} * F_y	
M _R =	55.99 ton·m.

98%	Perfil IPR 18 X 60 in x lb/ft con atiesadores de placa de 1/2 in @ 35 cm de patín a patín con soldadura 70-18 con cordón de 1/4 in.
El perfil está en su máxima eficiencia.	

Las conexiones que se considerarán para la unión de las vigas entre sí mismas será entre Vigas principales y secundarias conexiones soldadas con soldadura 70-18 por todo el borde de las mismas con un grosor de 1/4 de pulgada. Los detalles de conexión vienen en los anexos de la presente investigación.

Para el cálculo de las columnas se optó por hacer un grupo general de perfiles para simplificar los cálculos y tener una estructura más regular. Además, el Reglamento de Construcción de la Ciudad de México (2017), señala que para poder hacer una correcta revisión de las columnas y los efectos que tienen los sismos sobre ellas, es importante revisar el criterio de falla de servicio, ya que aun cuando los perfiles no estén sobre estresados o fallen, las deformaciones serán las que rijan el verdadero comportamiento de la estructura en el momento de un sismo.

Una vez considera lo anterior se presentan las nuevas dos combinaciones que regirán el cálculo y diseño de las columnas:

- $F_c(CM + CVa + 2 \cdot S_x)$
- $F_c(CM + CVa + 2 \cdot S_y)$

Los valores de cargas vivas y muertas ya fueron establecidos anteriormente. Las componentes de los sismos se regirán respecto al espectro de diseño que se definió previamente. Para los fines de esta investigación se hizo revisión del valor de la **distorsión angular (drift)**, término utilizado para referirse al desplazamiento que existe en la distancia de entrepiso. Considerando lo anterior se comenzó a realizar el diseño de las columnas del conjunto y con base en los resultados de cada elemento se revisó que las deformaciones presentadas en el conjunto no deben de ser mayor a

0.015 en relación, valor establecido en el Reglamento de Construcción de la Ciudad de México (2017) en el apartado de sismos, tabla 4.2.1. Una vez definido este parámetro se comienza con el diseño de columnas y la revisión de las distorsiones que presente el sistema.

Se propusieron 5 perfiles de columnas distintas, con el fin de economizar el costo total de la estructura, claro siempre cuidando sobre todo la seguridad de la misma. El proceso de diseño procedió bajo el mismo criterio de vigas, se revisó el perfil más desfavorable y con él se diseñaron los demás.

La primera revisión será de la columna de C-04, perteneciente a al nivel de la azotea las columnas que únicamente cubrirán el orificio de las escaleras. Enseguida se procede su revisión y cálculo.

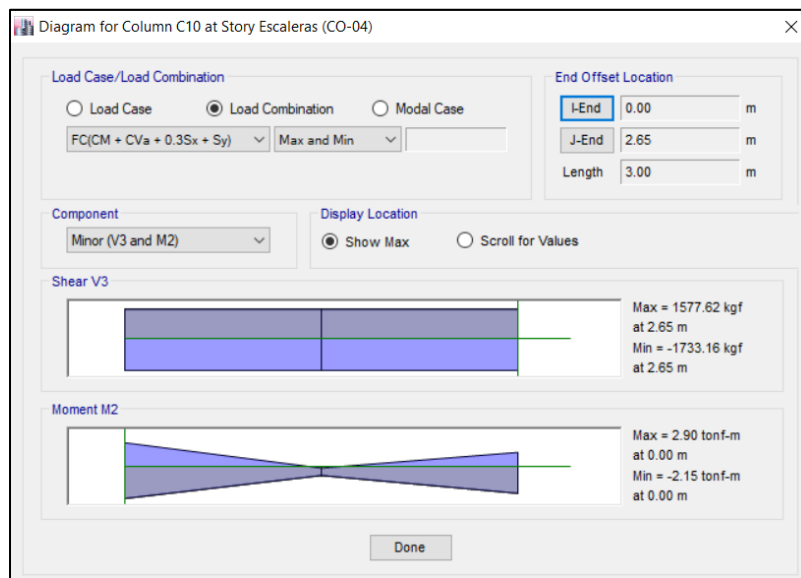


Imagen 6.14. Diagramas de análisis de columna tipo C-04.

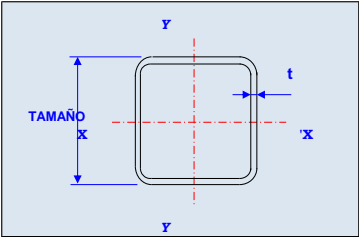
Fuente: Propia.

Datos de proyecto: Edificio de departamentos en la Ciudad de Uruapan Michoacán.	Columnas en azotea C-04
---	-----------------------------------

Análisis estructural		Prop. de acero
<i>Cargas y esfuerzos obtenidos por medio de modelado digital en el sistema BIM Etabs.</i>	Carga: Compresión	Acero A-575-50
	Pu= 9.69 ton	Fy = 3515 kg/cm ²
	Mux= 5.47 ton·m	Fu = 4570 kg/cm ²
	Muy= 1.75 ton·m	E = 2.04E+06 kg/cm ²
Estructura tipo: B		G = 784000 kg/cm ²

Propiedades de la sección

Perfil:	HSS	6 x 1/4 in x in
L=	300 cm	Z _{x-x / y-y} = 203.3 cm ³
Peso =	28.3 kg/m	S _{x-x / y-y} = 165.51 cm ³
b =	6 in	kx / ky= 0.5
t =	0.25 in	r _{x / r_y} = 5.92 cm
Área =	36.1 cm ²	λ= 25.34



Revisión por NTC-M-6.7-2017

Clasificación de la sección	
$1.12 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 26.98$	Relación de grosor de piezas
$1.40 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 33.73$	$\frac{b - 2t}{t} = 22.00$
Se clasifica como Tipo 1-2	

Revisión de Momento _{x-x / y-y}	
Al ser sección Tipo 1-2:	
M _p =	7.15 ton·m
M _n =	7.15 ton·m

Carga axial	
Factores de diseño	
λ _c =	0.0415
F _e =	31361 kg/cm ²
n=	1.4
X=	0.9679
F _n =	3402 kg/cm ²
Capacidad de carga	
R _t =	114 ton.
R _c =	111 ton.
Rc= 111 toneladas	

Resistencia a la flexo-compresión
98.58%
El perfil está en su máxima eficiencia.

Una vez revisadas dichas cargas, el peso del edificio cambia, por lo se continúa con la revisión de la siguiente columna C-03 de los niveles 6 y 7. La columna con más carga se encuentra en el nivel 6

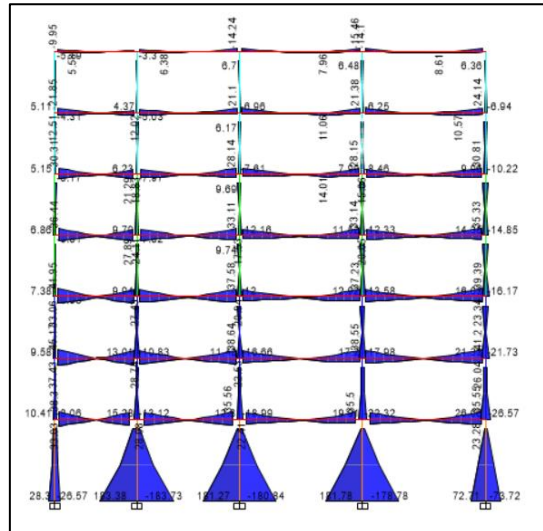


Imagen 6.15. Diagramas de momentos en Eje E. Fuente:

Propia.

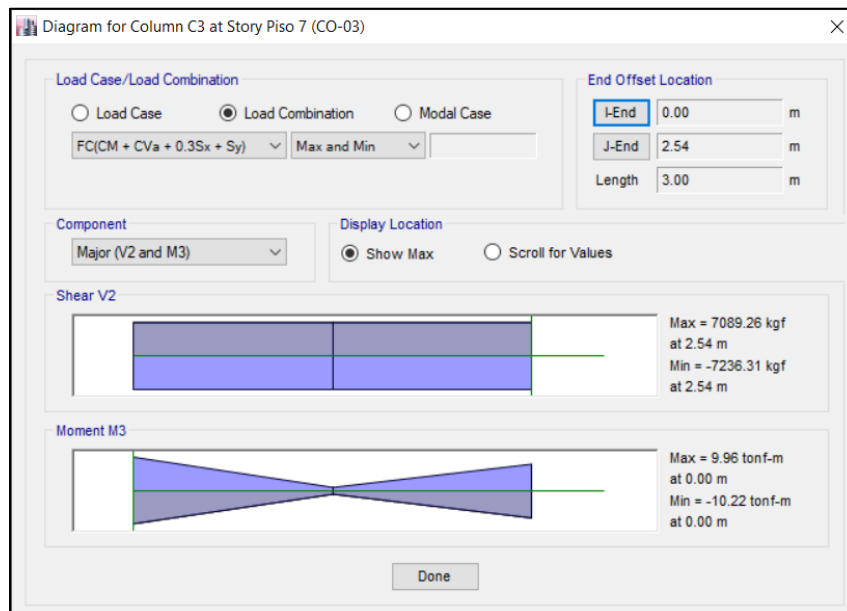


Imagen 6.16. Diagramas de análisis de columna C-03 más desfavorable.

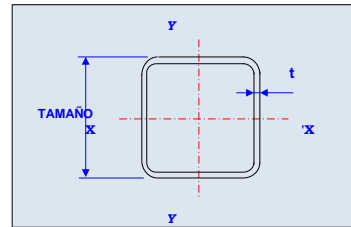
Fuente: Propia.

Datos de proyecto: Edificio de departamentos en la Ciudad de Uruapan Michoacán.	Columnas en pisos 6 y 7 C-03
---	--

Análisis estructural		Prop. de acero
<i>Cargas y esfuerzos obtenidos por medio de modelado digital en el sistema BIM Etabs.</i>	Carga: Compresión	Acero A-575-50
	Pu= 55.82 ton	Fy = 3515 kg/cm²
	Mux= 15.34 ton·m	Fu = 4570 kg/cm²
	Muy= 12.68 ton·m	E = 2.04E+06 kg/cm²
Estructura tipo: B		G = 784000 kg/cm²

Propiedades de la sección

Perfil:	HSS	8 x 5/8	in x in
L=	300	cm	Z_{x-x / y-y}= 837.6 cm ³
Peso =	88.28	kg/m	S_{x-x / y-y}= 627.62 cm ³
b =	8	in	kx / ky= 0.5
t =	0.625	in	r_x / r_y= 7.52 cm
Área =	112.28	cm ²	λ= 19.95



Revisión por NTC-M-6.7-2017

Clasificación de la sección		
1.12	$\frac{E}{Fy} = 26.98$	Relación de grosor de piezas
1.40	$\frac{E}{Fy} = 33.73$	
		$\frac{b - 2t}{t} = 10.80$
Se clasifica como Tipo 1-2		

Revisión de Momento _{x-x / y-y}	
Al ser sección Tipo 1-2:	
M_p=	29.44 ton·m
M_n=	29.44 ton·m

Carga axial	
Factores de diseño	
λ_c=	0.0415
F_e=	50604 kg/cm ²
n=	1.4
χ=	0.9833
Fn=	3456 kg/cm ²
Capacidad de carga	
R_t=	355 ton.
R_c=	349 ton.
Rc= 349 toneladas	

% Pu=	15.98%
% Mux=	46.31%
% Muy=	38.28%

Resistencia a la flexo-compresión
100.58%
Se acepta por perfil comercial.

Continuando con el análisis y bajar cargas, con la columna C-02, se encontró que la columna en el eje E del piso 3 es la que tiene más carga. A continuación, se presentan sus diagramas, ubicación y cálculo.

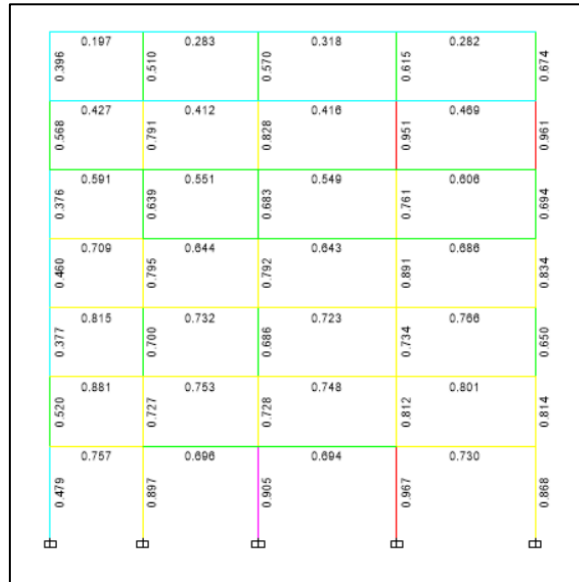


Imagen 6.17. Representación de esfuerzos en columnas de eje E.

Fuente: Propia.

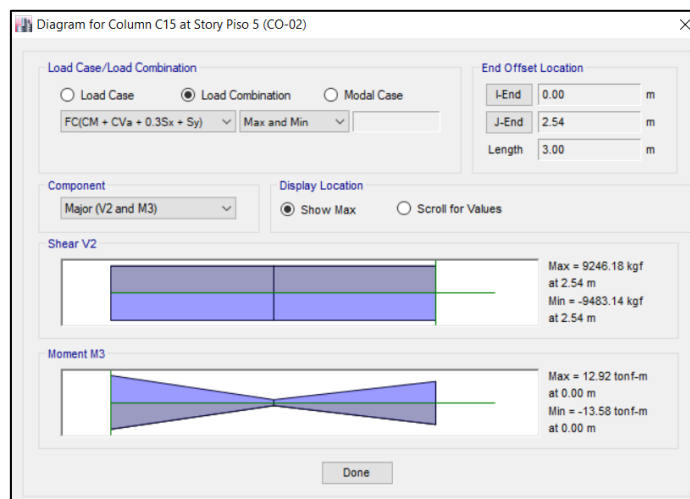


Imagen 6.18. Diagramas de análisis de columna C-02 más desfavorable.

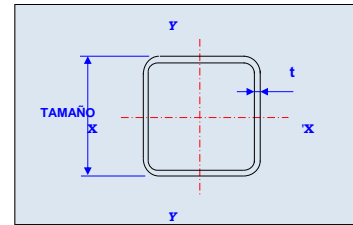
Fuente: Propia.

Datos de proyecto: Edificio de departamentos en la Ciudad de Uruapan Michoacán.	Columnas en pisos 3 y 4 C-02
---	--

Análisis estructural		Prop. de acero
<i>Cargas y esfuerzos obtenidos por medio de modelado digital en el sistema BIM Etabs.</i>	Carga: Compresión	Acero A-575-50
	Pu= 174.04 ton	Fy = 3515 kg/cm²
	Mux= 28.76 ton·m	Fu = 4570 kg/cm²
	Muy= 16.54 ton·m	E = 2.04E+06 kg/cm²
Estructura tipo: B		G = 784000 kg/cm²

Propiedades de la sección

Perfil:	HSS	14 x 1/2	in x in
L=	300	cm	Z_{x-x / y-y}= 2240.93 cm ³
Peso =	133.46	kg/m	S_{x-x / y-y}= 1851.74 cm ³
b =	14	in	kx / ky= 0.5
t =	0.5	in	r_x / r_y= 13.92 cm
Área =	170.32	cm ²	λ= 10.78



Revisión por NTC-M-6.7-2017

Clasificación de la sección	
$1.12 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 26.98$	Relación de grosor de piezas
$1.40 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 33.73$	$\frac{b - 2t}{t} = 26.00$
Se clasifica como Tipo 1-2	

Revisión de Momento _{x-x' / y-y'}	
Al ser sección Tipo 1-2:	
M_p=	78.77 ton·m
M_n=	78.77 ton·m

Carga axial	
Factores de diseño	
λ_c=	0.0415
F_e=	173391 kg/cm ²
n=	1.4
χ=	0.9970
F_n=	3504 kg/cm ²
Capacidad de carga	
R_t=	539 ton.
R_c=	537 ton.
Rc= 537 toneladas	

% Pu=	32.40%
% Mux=	32.46%
% Muy=	18.67%

Resistencia a la flexo-compresión
83.52%
Se acepta por perfil comercial.

Después de hacer la revisión del edificio hasta este nivel, se hace el cálculo de las columnas de los pisos 2 y 3 son de la columna C-01, con lo que se hará su revisión. La columna crítica es en el Eje E en el nivel 2.

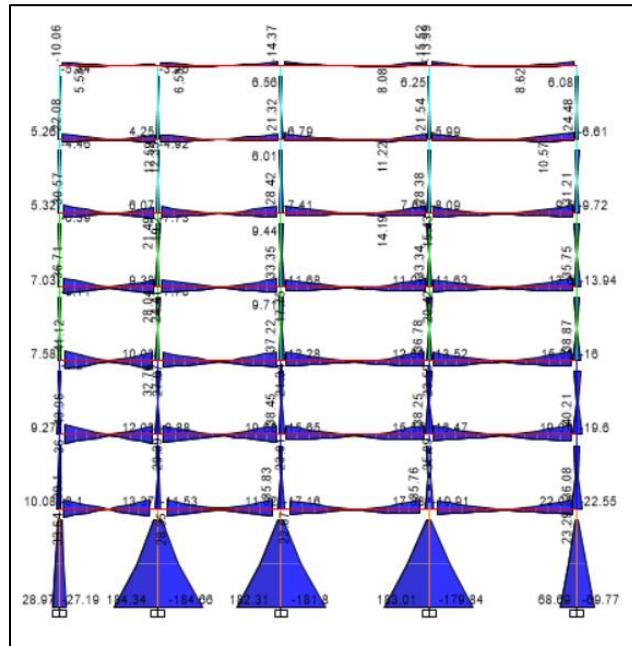


Imagen 6.19. Diagramas de momentos en Eje E.

Fuente: Propia.

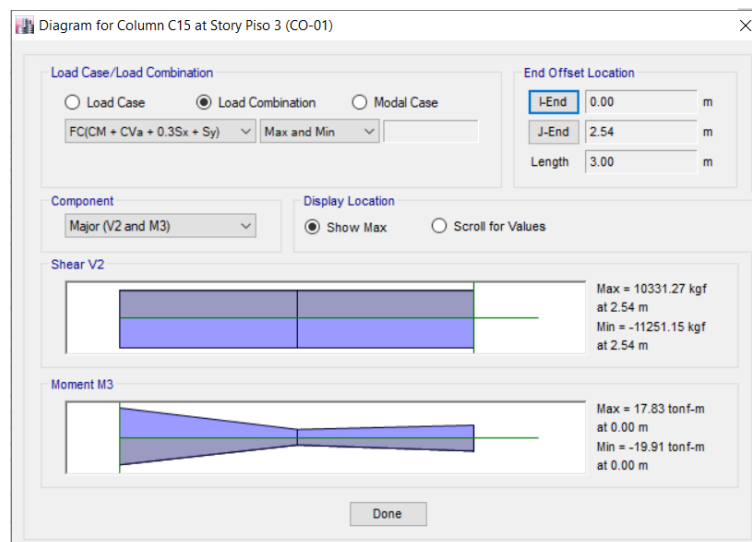


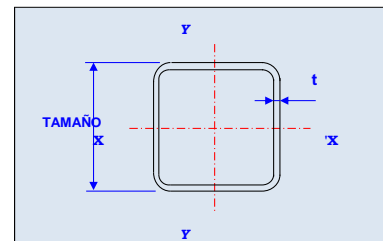
Imagen 6.20. Diagramas de análisis de columna C-01 más desfavorable. Fuente: Propia.

Datos de proyecto: Edificio de departamentos en la Ciudad de Uruapan Michoacán.	Columnas en pisos 2 y 3 C-01
---	--

Análisis estructural		Prop. de acero
<i>Cargas y esfuerzos obtenidos por medio de modelado digital en el sistema BIM Etabs.</i>	Carga: Compresión	Acero A-575-50
	Pu= 255.85 ton	Fy = 3515 kg/cm²
	Mux= 42.85 ton·m	Fu = 4570 kg/cm²
	Muy= 18.69 ton·m	E = 2.04E+06 kg/cm²
Estructura tipo: B		G = 784000 kg/cm²

Propiedades de la sección

Perfil:	HSS	16 x 1/2 in x in
L=	300 cm	Z_{x-x / y-y}= 2953.77 cm ³
Peso =	153.73 kg/m	S_{x-x / y-y}= 2458 cm ³
b =	16 in	kx / ky= 0.5
t =	0.5 in	r_x / r_y= 15.98 cm
Área =	196.13 cm ²	λ= 9.39



Revisión por NTC-M-6.7-2017

Clasificación de la sección	
1.12 $\sqrt{\frac{E}{F_y}} = 26.98$	Relación de grosor de piezas
1.40 $\sqrt{\frac{E}{F_y}} = 33.73$	$\frac{b - 2t}{t} = 30.00$
Se clasifica como Tipo 3	

Revisión de Momento _{x-x / y-y}	
Al ser sección Tipo 3	
M_p=	103.83 ton·m
M_n=	103.83 ton·m

Carga axial	
Factores de diseño	
λ_c=	0.0415
F_e=	228508 kg/cm ²
n=	1.4
X=	0.9979
F_n=	3508 kg/cm ²
Capacidad de carga	
R_t=	620 ton.
R_c=	619 ton.
Rc= 619 toneladas	

% Pu=	41.32%
% Mux=	36.69%
% Muy=	16.00%

Resistencia a la flexo-compresión
94.01%
El perfil está en su máxima eficiencia.

Finalmente, para el primer nivel, donde los esfuerzos son mayores tanto por carga axial y momento, se optó por usar perfiles IPR en las columnas de este nivel al poder resistir mucho más momento en un eje en específico. De igual forma no todas las columnas reciben la misma magnitud de momento en el mismo sentido, por lo que es necesario cambiar su dirección en algunos casos. A continuación, se presenten el acomodo propuesto para las columnas, sus diagramas de análisis y su cálculo.

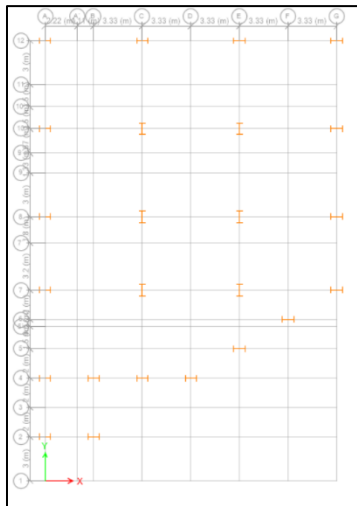


Imagen 6.21. Acomodo de direcciones de columnas principales.

Fuente: Propia.

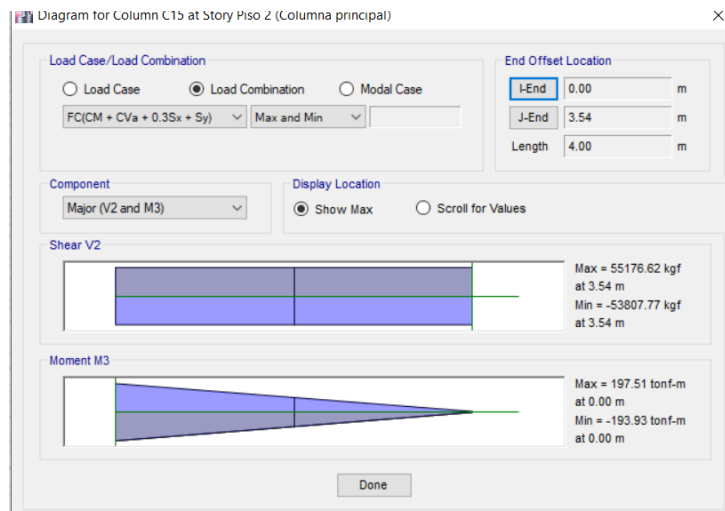


Imagen 6.22. Diagramas de análisis de columna C-01 más desfavorable.

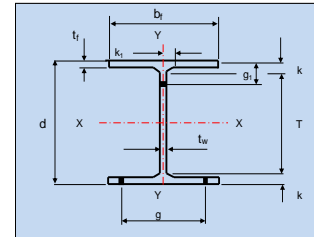
Fuente: Propia.

Datos de proyecto: Edificio de departamentos en la Ciudad de Uruapan Michoacán.	Columnas en 1ra planta C-04
---	---------------------------------------

Análisis estructural		Propiedades de acero
<i>Cargas y esfuerzos obtenidos por medio de modelado digital en el sistema BIM</i>	Diseño: Flexo-compresión	Acero A-575-50
	P _u = 299.68 ton	F _y = 3515 kg/cm ²
	M _{ux} = 197.51 ton·m	F _u = 4570 kg/cm ²
	M _{uy} = 5.38 ton·m	E = 2.04E+06 kg/cm ²
		G = 784000 kg/cm ²

Propiedades de la sección

Perfil:	IPR 30 X 191 in x lb/ft		
L=	400 cm	r _x =	32.5 cm
Peso =	284.1 kg/m	r _y =	8.8 cm
d=	779 mm	S _{x-x} =	9800 cm ³
t _w =	18 mm	Z _{x-x} =	11028 cm ³
b _f =	382 mm	C _b =	0.7675
t _f =	30.1 mm	S _{y-y} =	1467 cm ³
Área =	362 cm ²	Z _{y-y} =	2261 cm ³
k _x / k _y =	0.5		



Revisión por NTC-M

Clasificación de la sección de patín		Clasificación de la sección de alma	
-	Relación de grosor de piezas	$2.45 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 59.02$	Relación de grosor de piezas
$0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 9.15$	$\frac{b_f/2}{t_f} = 6.35$	$3.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 90.58$	$\frac{d - 2t_f}{t_w} = 775.66$
$100 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 13.97$	Se clasifica como Tipo 1	$5.70 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 137.32$	Se clasifica como Tipo 3

El perfil es Tipo 3

Diseño por carga axial		Sujeción lateral L<Lu		Revisión por flexión x-x	
Factores de diseño		Ca=	872.20 cm ⁶	M _e =	373.56 ton·m.
λ _c =	0.0415	X _u =	0.06	M _y =	344.47 ton·m.
F _e =	38979	Lu=	292.33 cm	M_n=	293.86 ton·m.
n=	1.4	Pandeo local crítico.		Revisión por flexión y-y	
X=	0.9761			M _n =	79.47 ton·m.
Fn=	3431 kg/cm²				
Capacidad de carga		% Pu=	26.81%	Resistencia a la flexo-compresión	
R _t =	1145 ton.	% M _{ux} =	67.21%		
R _c =	1118 ton.	% M _{uy} =	6.77%		
Rc= 1117.818 toneladas				100.79%	
				El perfil está en su máxima eficiencia.	

Una vez revisados todos los elementos estructurales se hizo como anexo un estudio de cargas especiales del peso propio de la estructura, como una revisión general de la importancia que pudiera representar cada elemento.

Resumen de Peso		
Perfil	Peso	
	(Ton)	%
T-02	68.27	23.39%
T-01	131.41	45.02%
C-04	0.34	0.12%
C-03	13.38	4.59%
C-02	19.22	6.58%
C-01	32.01	10.97%
CP	27.27	9.34%
Suma	291.90	100.00%
Conexiones	29.19	10.00%
Total	321.09	ton

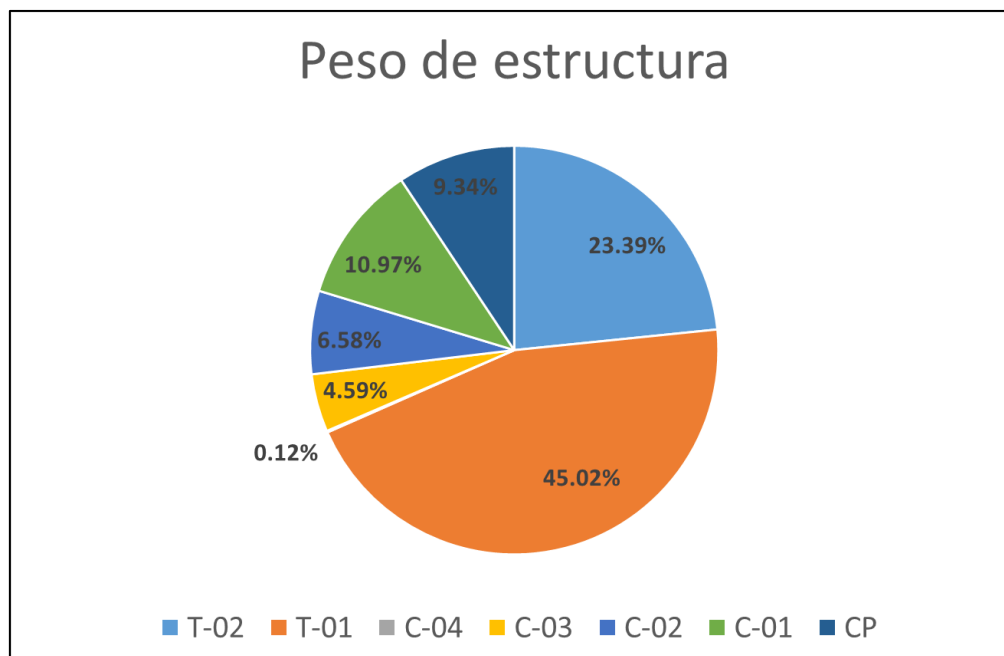


Imagen 6.23. Representación total del peso de la estructura.

Fuente: Propia.

Para hacer la última revisión por falla de servicio se procede a hacer el análisis del desplazamiento de cada uno de los nodos de los marcos de todo el edificio con las combinaciones de cargas mencionadas anteriormente y en ambos sentidos.

DISTORSIONES EN MARCOS EN EL EJE X					
EJE 2		EJE 4		EJE 5	
Nivel	Df	Nivel	Df	Nivel	Df
Piso 2	0.0005	Piso 2	0.0006	Piso 2	0.0010
Piso 3	0.0019	Piso 3	0.0019	Piso 3	0.0019
Piso 4	0.0024	Piso 4	0.0024	Piso 4	0.0025
Piso 5	0.0043	Piso 5	0.0025	Piso 5	0.0026
Piso 6	0.0022	Piso 6	0.0023	Piso 6	0.0022
Piso 7	0.0013	Piso 7	0.0014	Piso 7	0.0024
Azotea	-	Azotea	-	Azotea	0.0015
Caseta final	-	Caseta final	-	Caseta final	-
EJE 6		EJE 7		EJE 8	
Nivel	Df	Nivel	Df	Nivel	Df
Piso 2	0.0008	Piso 2	0.0009	Piso 2	0.0011
Piso 3	0.0020	Piso 3	0.0023	Piso 3	0.0027
Piso 4	0.0026	Piso 4	0.0027	Piso 4	0.0033
Piso 5	0.0027	Piso 5	0.0029	Piso 5	0.0001
Piso 6	0.0024	Piso 6	0.8300	Piso 6	0.0041
Piso 7	0.0025	Piso 7	0.0017	Piso 7	0.0019
Azotea	0.0016	Azotea	-	Azotea	-
Caseta final	-	Caseta final	-	Caseta final	-
EJE 10		EJE 12			
Nivel	Df	Nivel	Df		
Piso 2	0.0014	Piso 2	0.0018		
Piso 3	0.0098	Piso 3	0.0043		
Piso 4	0.0041	Piso 4	0.0049		
Piso 5	0.0042	Piso 5	0.0043		
Piso 6	0.0040	Piso 6	0.0049		
Piso 7	0.0024	Piso 7	0.0029		
Azotea	-	Azotea	-		
Caseta final	-	Caseta final	-		

Imagen 6.24. Derivadas en eje X

Fuente: Propia.

DISTORSIONES EN MARCOS EN EL EJE Y					
EJE A		EJE B		EJE C	
Nivel	Df	Nivel	Df	Nivel	Df
Piso 2	0.0041	Piso 2	0.0001	Piso 2	0.0038
Piso 3	0.0062	Piso 3	0.0007	Piso 3	0.0066
Piso 4	0.0066	Piso 4	0.0008	Piso 4	0.0068
Piso 5	0.0067	Piso 5	0.0007	Piso 5	0.0068
Piso 6	0.0058	Piso 6	0.0009	Piso 6	0.0059
Piso 7	0.0065	Piso 7	0.0003	Piso 7	0.0066
Azotea	0.0042	Azotea	-	Azotea	0.0041
Caseta final	-	Caseta final	-	Caseta final	-
EJE D		EJE E		EJE G	
Nivel	Df	Nivel	Df	Nivel	Df
Piso 2	0.0038	Piso 2	0.0038	Piso 2	0.0039
Piso 3	0.0067	Piso 3	0.0068	Piso 3	0.0067
Piso 4	0.0070	Piso 4	0.0070	Piso 4	0.0071
Piso 5	0.0069	Piso 5	0.0069	Piso 5	0.0071
Piso 6	0.0066	Piso 6	0.0066	Piso 6	0.0068
Piso 7	0.0042	Piso 7	0.0042	Piso 7	0.0042
Azotea	-	Azotea	-	Azotea	-
Caseta final	-	Caseta final	-	Caseta final	-

Imagen 6.25. Derivadas en eje Y

Fuente: Propia.

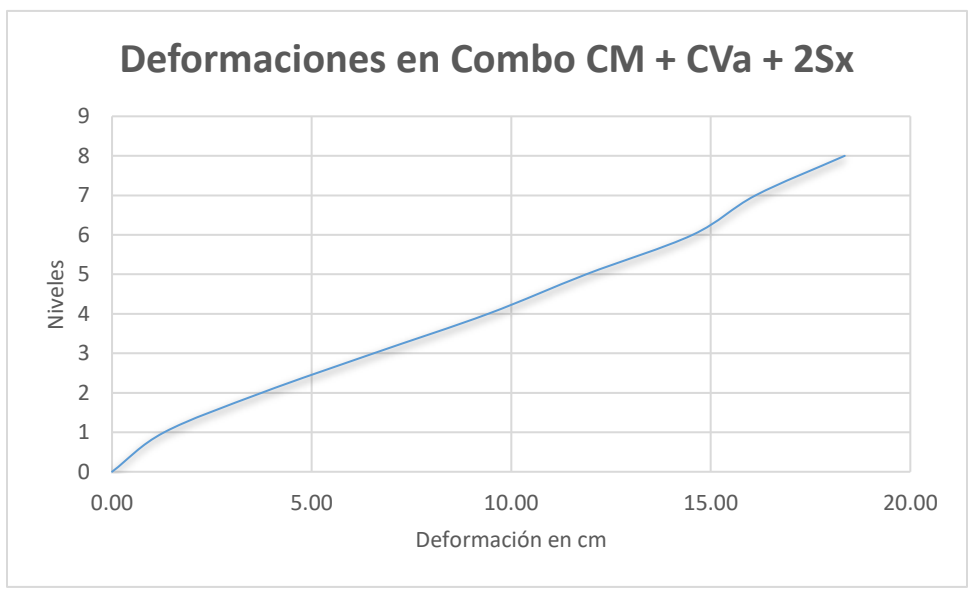


Imagen 6.26. Deformaciones en edificio.

Fuente: Propia.

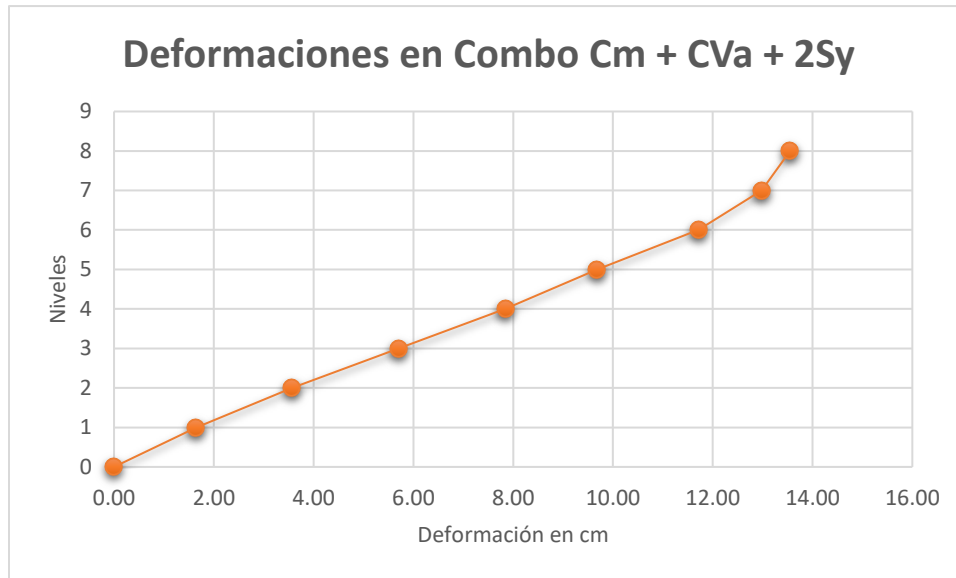


Imagen 6.25. Deformaciones en edificio.

Fuente: Propia.

6.4. Diseño de disipadores sísmicos.

Una vez revisados los valores obtenidos por el diseño estático, se procede a hacer el cálculo de los disipadores en base a los valores dados por el software. El programa en el primer análisis Modal, el periodo del edificio es de 1.65 seg, por lo tanto:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{1.65} = 3.81 \text{ Hz.}$$

El peso total de la estructura es de 3359 ton, al dividirla entre la gravedad se obtiene la masa, lo que da un valor de 342.4 ton * seg²/m. El factor de amortiguamiento general considerado es de 2%, por lo tanto, se obtienen los valores de rigidez y amortiguamiento.

$$k = \omega^2 m = \left(3.81^2 / \text{seg}^2\right) * \left(342.4 \text{ ton} * \text{seg}^2 / \text{m}\right) = 4965.16 \text{ ton/m}$$

$$c = 2\zeta\omega m = 2 * (0.02)(3.81/\text{seg}) \left(342.4 \text{ ton} * \text{seg}^2 / \text{m}\right) = 52.16 \text{ ton} * \text{seg/m}$$

Revisando en las gráficas 3.1 y 3.2 se obtienen los módulos de cortante. Se consideró una temperatura promedio en la ciudad de Uruapan de 21°C.

$$G' = 0.25 \text{ ksi} = 175.77 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2} \quad ; \quad G'' = 0.34 \text{ ksi} = 239.04 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2}$$

$$\eta = \frac{G''(\omega)}{G'(\omega)} = \frac{0.34}{0.25} = 1.34$$

Para el sistema se tomará que se desea un amortiguamiento de 20% en total de todo el sistema, con los valores obtenidos previamente es posible calcular las fuerzas de rigidez, área y amortiguamiento.

$$k' = \frac{2\zeta}{\eta - 2\zeta} * k = \frac{2(0.20)}{1.34 - 2(0.20)} * \frac{4965.16 \text{ ton}}{\text{m}} = \frac{2068.81 \text{ ton}}{\text{m}}$$

$$A = \frac{k'h}{G'} = \frac{2068.81 \frac{\text{ton}}{\text{m}} * 0.04 \text{ m}}{175.55 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2}} = 0.471 \text{ m}^2 = 4710 \text{ cm}^2$$

$$c' = \frac{G''A}{\omega h} = \frac{239.04 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2} * 0.471 \text{ m}^2}{3.81 / \text{seg} * 0.04 \text{ m}} = 738.86 \text{ ton} * \frac{\text{seg}}{\text{m}}$$

En el modelo y en el edificio real, los disipadores serán colocados de manera diagonal, por lo que su fuerza actuante depende del ángulo en inclinación en el cual es colocado. Acompañado a esto, al ser una fuerza oscilante la componente se

multiplica por el cuadrado, El ángulo será la tangente inversa de 3/6.66, por lo que $\theta=25.25^\circ$.

$$k'_{eje} = k' \cos^2 \theta = 2068.81 \cos^2 25.25 = 1962.37 \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

$$c'_{eje} = c' \cos^2 \theta = 738.86 \cos^2 25.25 = 604.42 \text{ ton} * \frac{\text{seg}}{\text{m}}$$

Estos son los valores que se definirán en el programa para el diseño de los disipadores. Se procede a hacer el diseño de los disipadores con el siguiente orden en el programa:

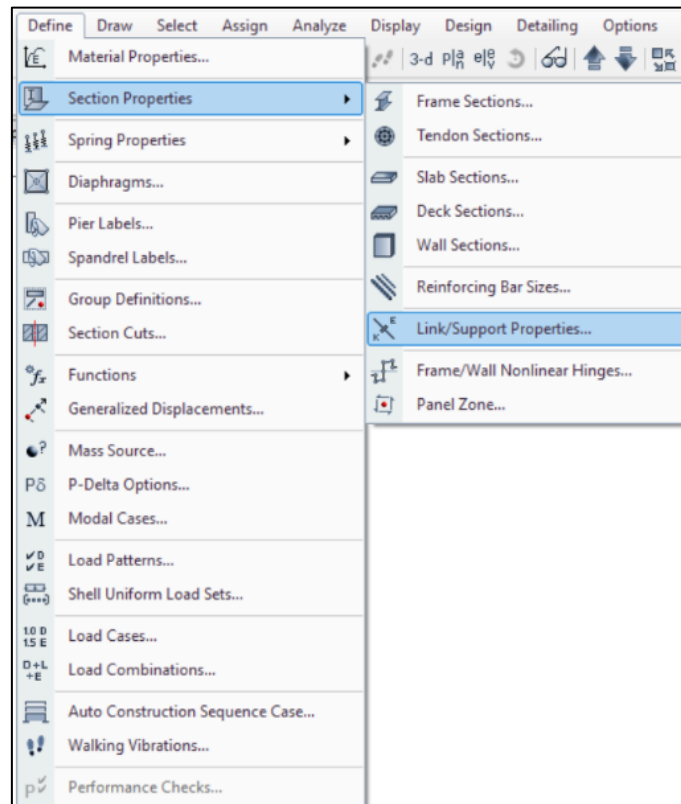


Imagen 6.26. Proceso para disipadores.

Fuente: Propia.

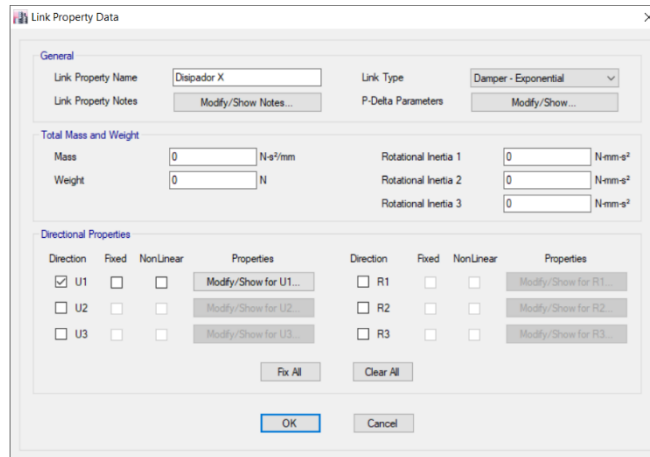


Imagen 6.27. Proceso para disipadores.

Fuente: Propia.

En las propiedades se usa U1 para los disipadores que trabajarán en el sentido X y U2 para los disipadores en Y, en las propiedades de la dirección se colocan los valores calculados:

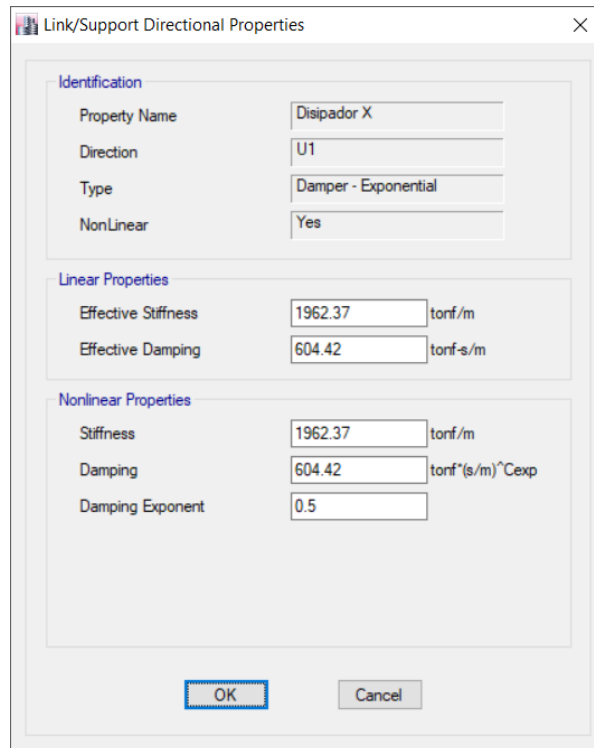


Imagen 6.28. Parámetros de disipadores.

Fuente: Propia.

6.5. Diseño de modelo con disipadores.

Una vez cargados los disipadores en el modelo digital, se hicieron varios modelos revisando la ubicación adecuada para ellos en el proyecto, así como decidir hasta qué niveles deberían colocarse. Al realizar estos diversos modelos, se observó que únicamente los disipadores ubicados en las primeras tres plantas reflejaban un diagrama de histéresis representativo, por lo que los de más arriba no impactaban de manera sustancial dentro del proyecto.

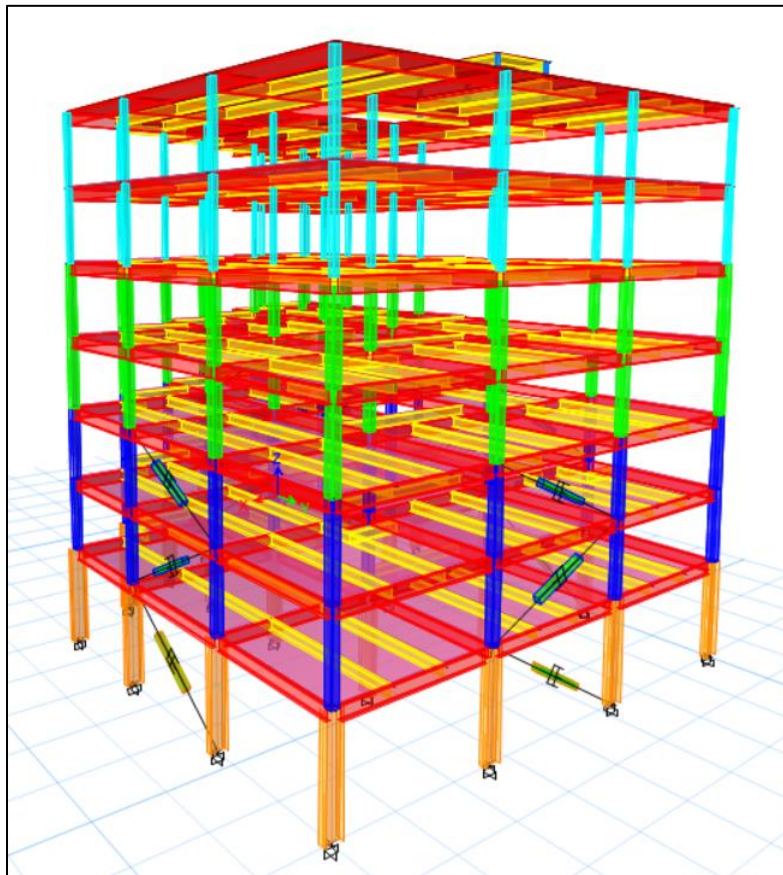


Imagen 6.29. Modelo digital con disipadores cargados.

Fuente: Propia.

Una vez dibujados los nuevos elementos se procedió con la revisión de los nuevos elementos mecánicos en cada uno de los perfiles estructurales con el mismo método previamente explicado comenzando por lo que se siguió la misma secuencia de cálculo de vigas secundarias, seguidas de las vigas principales y después de ellas los perfiles de columnas comenzando por la azotea hasta el primer nivel. Los perfiles resultantes se encuentran a continuación.

Perfiles de modelo con disipadores	
Trabe V-02	IPR 14 in x 34 lb/ft
Trabe V-01	IPR 18 in x 40 lb/ft
Col C-04	HSS 6 x 6 x 1/4 in
Col C-03	HSS 8 x 8 x 1/4 in
Col C-02	HSS 12 x 12 x 3/8 in
Col C-01	HSS 12 x 12 x 1/2 in
Col Columna P	IPR 24 in x 131 lb/ft

Imagen 6.30. Resumen de perfiles de modelo con disipadores.

Fuente: Propia.

Al revisar los diagramas de histéresis de los disipadores, se descubrió que, entre los disipadores, existen dos que tienen más carga en ellos que el resto.

Disipador	Eje x (x10³)	Eje y (x10³)	Resultante
12-P1	41.2	2.7	41200 kgf 91 kpi
12-P2	54.8	2.3	54800 kgf 121 kpi
12-P3	40.6	2.5	40600 kgf 90 kpi
7-P1	23.6	2.1	23600 kgf 52 kpi
7-P2	35	2.1	35000 kgf 77 kpi
7-P3	34.3	1.4	34300 kgf 76 kpi
A-P1	13.1	50	50000 kgf 110 kpi
A-P2	12	37.9	37900 kgf 84 kpi
A-P3	10.7	38.6	38600 kgf 85 kpi
G-P3	14.1	41.7	41700 kgf 92 kpi
G-P2	11.5	40.3	40300 kgf 89 kpi
G-P1	0	0	0 kgf 0 kpi

Imagen 6.31. Resumen de cargas en disipadores.

Fuente: Propia.

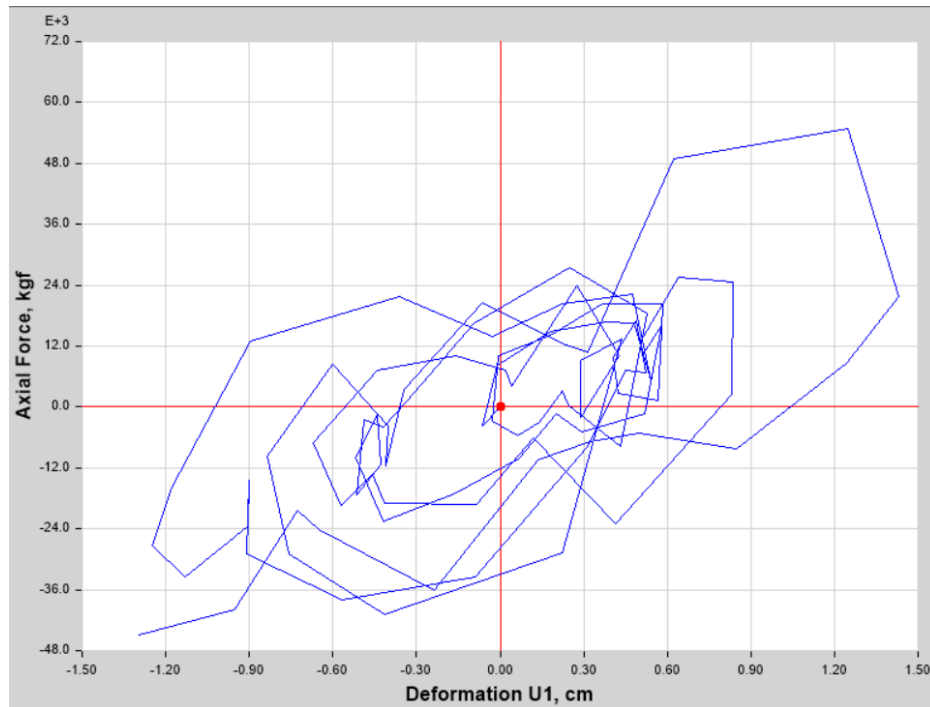


Imagen 6.32. Diagrama histérico de disipador en eje 12 en segunda planta, en carga en X.

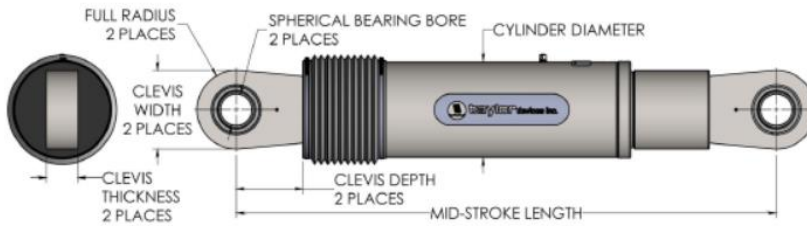
Fuente: Propia.

Se presenta el diagrama de histéresis del disipador a manera de ejemplo, los demás diagramas se pueden revisar en el Anexo 5.

Para la selección de los disipadores se hizo uso de la tabla de productos creada por la compañía Taylor devices Inc, la cual expresa una tabla en la que se pueden ver los valores y medidas correspondientes para sus clientes así cataloga cada elemento en la posible carga que puede resistir.



**FLUID VISCOUS DAMPERS & LOCK-UP DEVICES
CLEVIS – CLEVIS CONFIGURATION**



NOTE:
VARIOUS STROKES ARE AVAILABLE, FROM ±2 TO ±36 IN.
FORCE CAPACITY MAY BE REDUCED FOR STROKE
LONGER THAN STROKE LISTED IN THE TABLE. ANY
STROKE CHANGE FROM THE STANDARD STROKE
VERSION DEPICTED CHANGES THE MIDSTROKE
LENGTH BY 5 IN. PER ±1 IN. OF STROKE.

EXAMPLE: 220 KIP±4 IN STROKE, MID-STROKE LG IS 48.75
220 KIP ±6 INCHES STROKE, 6-4+2, 2*5=10
48.75+10 = 58.75 INCHES MID-STROKE LENGTH

BELLOWS MAY BE REPLACED WITH A STEEL SLEEVE AS
DESIRED STROKE LENGTHS INCREASE. CONSULT
TAYLOR DEVICES FOR STROKE OVER ±12 INCHES
AND/OR FOR FORCE CAPACITIES FOR STROKE LONGER
THAN LISTED IN TABLE.

FORCE (KIP)	TAYLOR DEVICES MODEL NUMBER	SPHERICAL BEARING BORE DIAMETER (IN)	MID-STROKE LENGTH (IN)	STROKE (IN)	CLEVIS THICKNESS (IN)	BEARING THICKNESS (IN)	MAXIMUM CLEVIS WIDTH (IN)	CLEVIS DEPTH (IN)	MAXIMUM CYLINDER DIAMETER (IN)	WEIGHT (LB)
55	17120	1.50	34.13	±3	1.67	1.31	4	3.25	4%	90
110	17130	2.00	42.00	±4	2.16	1.75	5	4.00	5%	180
165	17140	2.25	47.00	±4	2.31	1.97	6	5.10	7%	300
220	17150	2.75	48.75	±4	2.78	2.40	7%	5.88	8%	425
330	17160	3.00	51.75	±4	3.03	2.62	8	6.38	9%	550
440	17170	3.50	62.00	±5	3.56	3.06	9%	7.50	11%	900
715	17180	4.00	62.00	±5	5.56/4.60*	3.50	11 1/4/12 1/4*	8.25	13%	1550
900	17190	5.00	74.00	±5	5.56	4.38	12%	8.25	16%	2650
1450	17200	6.00	84.00	±5	6.06	4.75	13%	12.00	20%	4100
1800	17210	7.00	88.25	±5	7.00	5.25	16%	12.50	22%	5500

* DENOTES MODEL WITH DIFFERENT CLEVIS SIZES ON EACH END.
MADE IN USA

Imagen 6.33. Lista de disipadores en compañía Taylor.

Fuente: <http://taylordevices.com/dampers-seismic-protection.html>

Finalmente se decide instalar disipadores de segundo tipo para todos los ejes, salvo en los disipadores señalados en la tabla 6.31, los cuales deben de ser quipos para 165 ksi, de lo contrario, no podrían trabajar de la forma que deberán hacerlo.

6.6. Comparación de modelos.

Para sabe de forma más concreta los beneficios del uso de disipadores se procedió con el análisis comparativo de los resultados de ambos modelos, de tal manera que se pudiera percibir de una forma más directa los efectos que estos equipos proporcionan a un sistema estructural. En los puntos más importantes que se hizo el

análisis están los apartados de perfiles estructurales finales, los desplazamientos máximos presentes en la estructura, las distorsiones que se presentan y el peso total, el cual es el que rige directamente el costo total del proyecto.

6.6.1. Perfiles estructurales.

Como ya se mencionaron anteriormente la lista de perfiles, es importante señalar que la diferencia reside por los momentos que tenían las columnas. A continuación, se hace una presentación gráfica a escala en comparativa de cada uno de los perfiles, los perfiles rojos se refieren a la estructura sin disipadores, mientras que los azules hablan de los perfiles en la estructura ya con disipadores

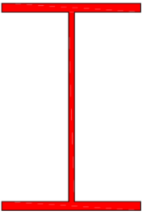
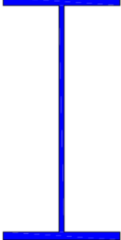

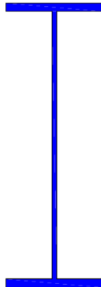
Perfiles de Columnas en ambos modelos			
			
IPR 12 x 40 lb/ft	IPR 14 in x 34 lb/ft	IPR 18 x 60 lb/ft	IPR 18 in x 40 lb/ft
Viga V-02		Viga V-01	

Imagen 6.34. Comparativa de perfiles de vigas en tamaño de modelo normal contra modelo con disipadores.

Fuente: Propia.

En la imagen se puede apreciar que a pesar de que la viga V-02 en el modelo con disipadores es más alta, es más esbelta, lo que significa más ligera y por lo tanto más económica. En el caso de la viga principal V-01, es fácil de notar la diferencia de altura.


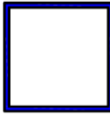
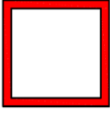
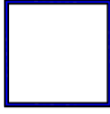


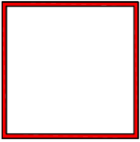


Perfiles de Columnas en ambos modelos					
Sin disipadores	Con disipadores	Sin disipadores	Con disipadores	Sin disipadores	Con disipadores
					
HSS 6 x 6 X 1/4 in	HSS 6 x 6 X 1/4 in	HSS 8 x 8 x 5/8 in	HSS 8 x 8 x 1/4 in	HSS 14 x 14 x 1/2 in	HSS 12 x 12 x 1/2 in
Columna C-04		Columna C-03		Columna C-02	
Sin disipadores		Con disipadores		Sin disipadores	
					
HSS 16 x 16 x 1/2 in		HSS 12 x 12 x 1/2 in		IPR 30 in x 191 lb/ft	
Columna C-01		Columna Columna Principal			

Imagen 6.35. Comparativa de perfiles de columnas en tamaño de modelo normal contra modelo con disipadores.

Fuente: Propia.

En las columnas, se puede ver que el perfil C-04 es exactamente el mismo. En la columna C-03 se ve que son del mismo tamaño, pero su grosor cambia, siendo más esbelto el que tiene disipadores. Las columnas C-02 y C-01 son más pequeñas en el segundo modelo que en el primero y por último la diferencia de tamaño de las Columnas Principales en el segundo modelo son claramente más pequeñas.

6.6.2. Desplazamientos máximos.

Con respecto a los desplazamientos, el modelo con disipadores fue sometido a las mismas cargas y combinaciones que el primero para poder tener un punto de vista exacto entre ambos modelos. Los valores arrojados en el modelo son los siguientes.

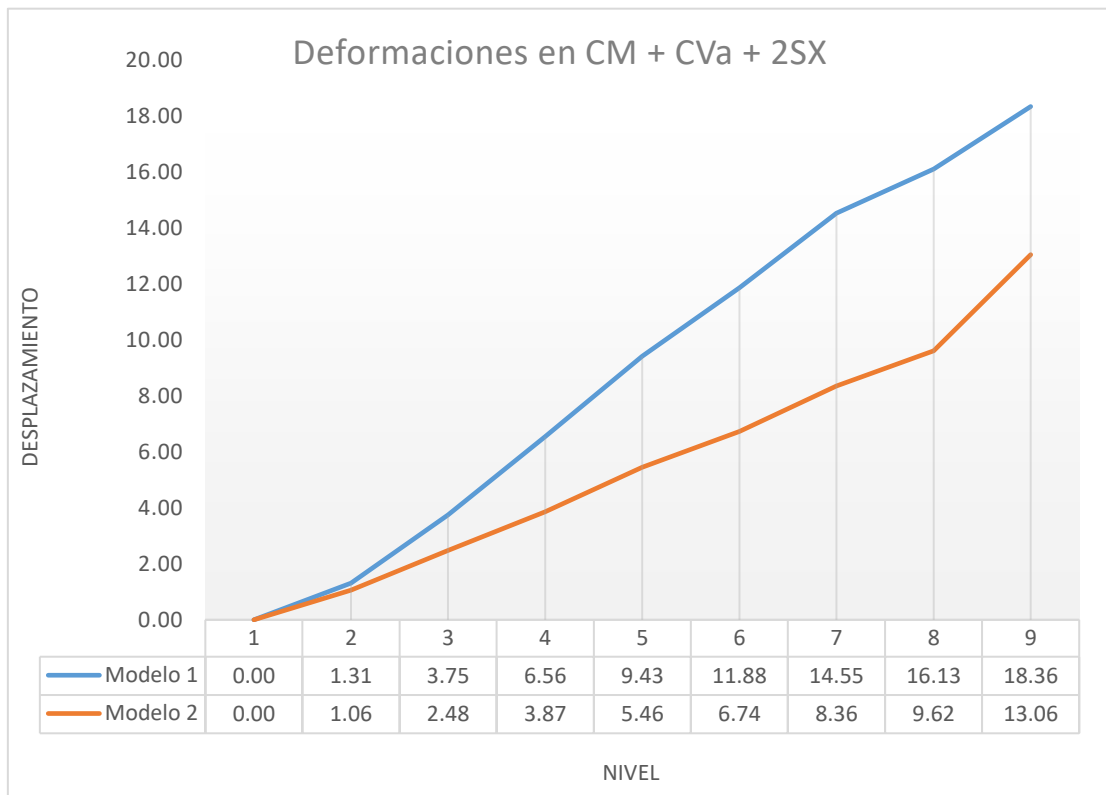


Imagen 6.36. Gráfica comparativa de deformaciones.

Fuente: Propia.

En la gráfica se ve la diferencia de deformaciones que tiene el edificio, siendo de manera importante el 43% de diferencia que adquiere en el nivel 5 con respecto al modelo original, a pesar de tener una diferencia de 40% en el nivel 7, por la poca rigidez de la última planta la diferencia sólo alcanza un 28%, eso es importante al momento de decidir los elementos que formarán ese pequeño cuarto.

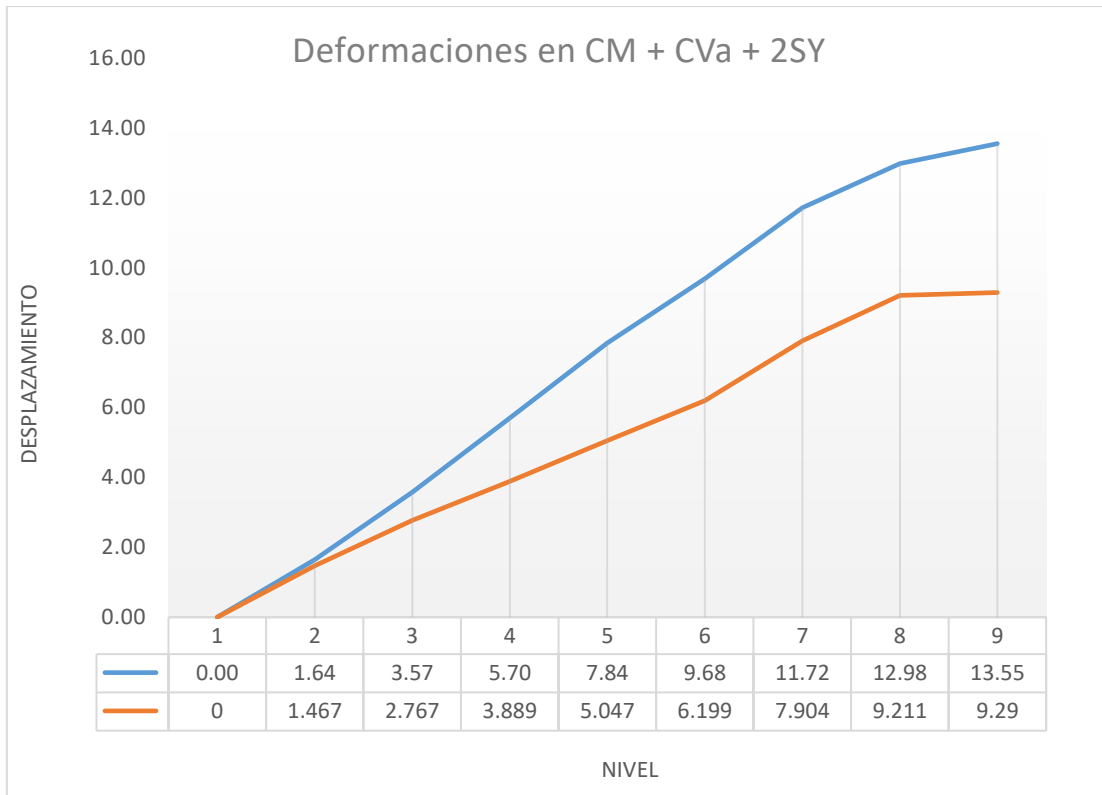


Imagen 6.37. Gráfica comparativa de deformaciones.

Fuente: Propia.

En el sentido y aplicando la combinación de carga respectiva se descubre que se alcanza en el nivel 5 una significativa diferencia de 36% en las deformaciones de la estructura, además de terminar en el último nivel con un 31% menor que el del modelo sin disipadores.

6.6.3. Distorsiones angulares.

Como revisión de falla de servicio y haciendo cumplimiento del reglamento de construcción, de debe revisar que el nuevo modelo aún cumpla con una distorsión

máxima de 0.015, y a su vez que ésta sea menor que la presentada en el sistema sin disipares, los resultados se presentan a continuación.

Distorsiones en sentido X			
Nivel	Modelo 1	Modelo 2	%
1	0	0	-
2	0.0033	0.0026	21.21%
3	0.0081	0.0049	39.51%
4	0.0093	0.0047	49.46%
5	0.0093	0.0057	38.71%
6	0.0085	0.0052	38.82%
7	0.011	0.0074	32.73%
8	0.0068	0.0052	23.53%
9	0.032	0.027	15.63%

Imagen 6.37. Valores de distorsiones en X.

Fuente: Propia.

Como se puede apreciar, no solo se cumple con el reglamento, sino que, en todos los niveles, la distorsión es aún menor que en el modelo original, por lo que ayuda a la estabilidad y servicio de la estructura, salvo en el último nivel de la estructura, el cual tiene valores excedidos en el permitido por el reglamento.

Distorsiones en sentido Y			
Nivel	Modelo 1	Modelo 2	%
1	0	0	-
2	0.0044	0.0037	15.91%
3	0.0071	0.0045	36.62%
4	0.0071	0.0042	40.85%
5	0.0076	0.0051	32.89%
6	0.007	0.005	28.57%
7	0.0085	0.0069	18.82%
8	0.0055	0.005	9.09%
9	0.009	0.0054	40.00%

Imagen 6.37. Valores de distorsiones en Y.

Fuente: Propia.

De igual manera, se tiene una buena respuesta en el análisis de distorsiones en el eje y, puesto que en todos los niveles se encuentra por debajo de la distorsión del diseño inicial.

6.6.4. Peso total.

Como comparativa final, se tiene el peso total de ambas estructuras, el cual podría determinar la factibilidad total del proyecto, puesto que el peso del propio edificio es un valor ligado directamente con el costo de construcción del mismo. Cuantificando los metros necesarios de cada perfil en todo el proyecto se es posible considerar el verdadero peso de la propia estructura. Para esta revisión no se toma en cuenta el peso de la losa acero, ya que ésta sería contante en ambos casos.

Una vez cuantificados los perfiles estructurales se hace una comparativa del peso total de la estructura con y sin disipadores; en estos análisis existe un término denominado densidad, el cual consiste en dividir el peso de la estructura entre el área a construir, considerando por metro cuadrado cada una de las superficies consideradas en el proyecto. El área construida total del proyecto es de 2675.41 m².

En estructuras de acero se considera un factor de 10% del peso extra por elementos de conexiones.

En el modelo inicial, se tiene un peso total de 291 toneladas, lo que da una densidad de 108 kg/m². En el modelo con disipadores y perfiles más pequeños se tiene un peso total de 206 toneladas, con una densidad de 77 kg/m². La diferencia es bastante clara, más de 80 toneladas desaparecieron por los disipadores.

Resumen de Peso			
Perfil	Modelo 1	Modelo 2	% de diferencia
	(Ton)	(Ton)	
T-02	51.67	43.72	15.39%
T-01	131.4102	85.41038	35.00%
C-04	0.3396	0.3396	0.00%
C-03	12.71232	10.4688	17.65%
C-02	19.21824	12.44592	35.24%
C-01	22.13712	16.3008	26.36%
CP	27.2736	18.624	31.71%
Suma	281.3565	211.855	24.70%
Conexiones	28.13565	21.1855	-
Total	309.492	233.04	24.70%

Imagen 6.38. Relación de peso en ambas estructuras.

Fuente: Propia.

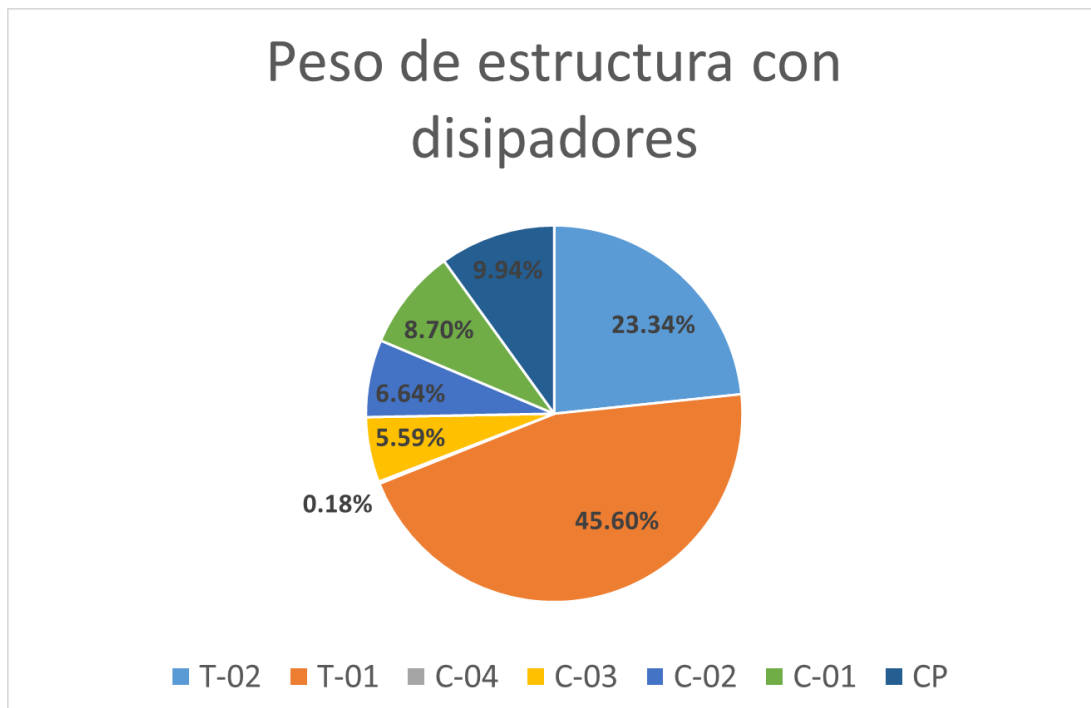


Imagen 6.39. Relación de peso de perfiles en las estructuras.

Fuente: Propia.

6.7. Conexiones de elementos.

Además del diseño de los elementos principales, es de suma importancia la revisión de todos los nodos y conexiones que existen en la estructura para de esta manera garantizar una verdadera transmisión de esfuerzos de un elemento a otro, ya que de existir uniones que no aporten la resistencia necesaria a la estructura, es de esperarse una falla muy significativa dentro del sistema.

Se optó por hacer las conexiones soldadas, ya que en el predio de trabajo se cuenta con la facilidad de la energía necesaria para hacer trabajos de este tipo, además de que dentro de la región existe un mercado de contratistas especialistas que se dedican a la construcción de estos edificios, acompañado además de que las conexiones de pernos de alta resistencia suelen ser por material mucho más caro de lo que representa el aumento del costo de conexiones soldadas por cuestiones de mano de obra.

6.7.1. Conexiones de vigas.

Para simplificar los trabajos de taller y proceso constructivo se decidió trabajar únicamente con un tipo de conexión de viga V-02 a V-01, además de también un único tipo de conexión viga V-01 a todas las columnas. Finalmente se trató un tipo de conexión por transición de columna más pequeña a columnas más grandes.

En la conexión de viga V-02 a V-01 se obtuvieron los siguientes resultados.

Datos de proyecto: Edificio de departamentos en la ciudad de Uruapan Michoacán.	Conexión de elementos Viga V-02 - Viga V-01
---	---

Análisis estructural		Prop. de materiales	
<i>Cargas y esfuerzos obtenidos por medio de modelado digital en el sistema BIM Etabs.</i>	Carga: Cortante y Momento	Acero A-575-50	
	Vu= 14.5 ton.	Fy =	3515 kg/cm ²
		Fu =	4570 kg/cm ²
		Electrodo E-70	
		F _{EXX} =	4900 kg/cm ²
		Tipo:	Filete

REVISIÓN POR CORTANTE

Propiedades de secciones de acero base

Perfil:	Ángulo 3 X 1/2
t =	1/2 in
Long=	15.00 cm
Revisión de ángulo	
Rn=	40 ton
Se acepta	

Perfil:	IPR 14 x 34
d=	355 mm
t_w=	7.2 mm
Revisión de viga	
Rn=	54 ton
Se acepta	

Revisión de cordón de soldadura

Espesor de cordón	3/16 in
	5.00 mm
Long=	15.00 cm
Rn=	16.54 ton
Se acepta	

Se colocará un ángulo de 3 X 1/2 in de 15 cm de longitud con soldadura en todo su perímetro de 5 mm de espesor. Los dos perfiles base deberán estar separados entre 1.5 a 2 cm.

En la segunda junta de vigas con columnas, se consideraron de igual manera las cargas más grandes del modelo, por lo que este diseño de junta es aplicable en toda la estructura. El diseño consistió en lo siguiente.

Datos de proyecto: Edificio de departamentos en la ciudad de Uruapan Michoacán.	Conexión de elementos Viga V-01 - Columna
---	---

Análisis estructural		Prop. de materiales	
<i>Cargas y esfuerzos obtenidos por medio de modelado digital en el sistema BIM Etabs.</i>	Carga: Tensión	Acero A-575-50	
	Vu= 13.6 ton.	Fy =	3515 kg/cm ²
	Mu= 32.81 ton*m	Fu =	4570 kg/cm ²
		Electrodo E-70	
		F _{EXX} =	4900 kg/cm ²
		Tipo:	Filete

REVISIÓN POR CORTANTE

Propiedades de secciones de acero base

Perfil:	Ángulo 3 X 1/2
t =	1/2 in
Long=	15.00 cm
Revisión de ángulo	
Rn=	40 ton
Se acepta	

Perfil:	IPR 18 x 60
d=	463 mm
t _w =	10.5 mm
Revisión de viga	
Rn=	103 ton
Se acepta	

Revisión de cordón de soldadura

Espesor de cordón	3/16 in
	5.00 mm
Long=	15.00 cm
Rn=	16.54 ton
Se acepta	

Se colocará un ángulo en ambos lados de 3 X 1/2 in de 15 cm de longitud con soldadura en todo su perímetro de 0.1875 in de espesor. Los dos perfiles base deberán estar separados entre 1.5 a 2 cm.

REVISIÓN POR MOMENTO

Dimensiones de placas		Cordón de soldadura		Al colocarse soldadura en ambos lados, la longitud de la placa se divide entre dos	
b _{f viga} =	192 mm	Tensión=	73.7 ton		
t _{f viga} =	17.7 mm	Espesor de cordón	5/16 in		
b _{placa} =	20 cm		8.00 mm		
t _{placa} =	1/2 in	Long=	45.00 cm	Long _{placa} =	25 cm
		Rn=	79.38 ton		
Se acepta					

Se colocarán placas arriba y debajo de los patines de la viga, de 0.5 in de 20 x 25 cm, unidos con soldadura de 8 mm de espesor.

6.7.2. Conexiones de columnas

Para la revisión de las conexiones de las columnas se requirió un procedimiento especial dentro del programa de análisis, puesto que, al ser las piezas tan pequeñas, resulta muy complicado encontrar los verdaderos resultados a nivel de proyecto. Se procedió entonces, a crear un modelo especial de la junta, en la que se representara únicamente la parte que se deseaba analizar, con el procedimiento de elementos finitos. Dicho procedimiento consta de en la fragmentación de un objeto completo en muchas partes más pequeñas del mismo, que, por medio del análisis de ecuaciones diferenciales, el análisis de los esfuerzos internos resulta más real y preciso.

La única sección revisada fue la de transición de columna C-03, que es un perfil HSS de 8 in x 8 in x 1/2" a C-02, que es un HSS de 12 in x 12 in x 3/8", análisis requerido puesto que la placa de asiento podría sufrir un cortante tal que el edificio simplemente embonaría dentro de las columnas más grandes, provocando una falla catastrófica.

Dentro del mismo programa de diseño, se dibujó la sección simulando una parte de las columnas con la viga y la carga de diseño uniformemente distribuida, obteniendo así un análisis de esfuerzos. El esfuerzo al que se somete una pieza está directamente relacionado por su resistencia y también su geometría, por lo que este método resulta sencillo para encontrar el espesor real y necesario de la placa.

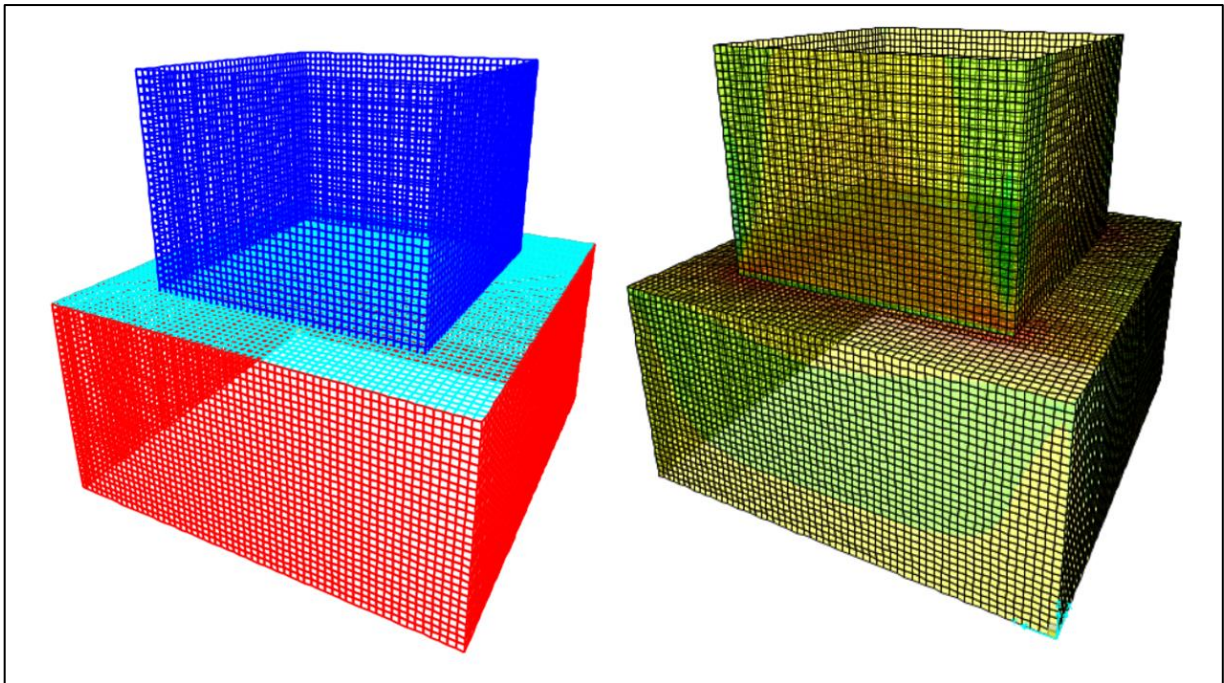


Imagen 6.40. Modelo de placa para columnas C-03 – C-02

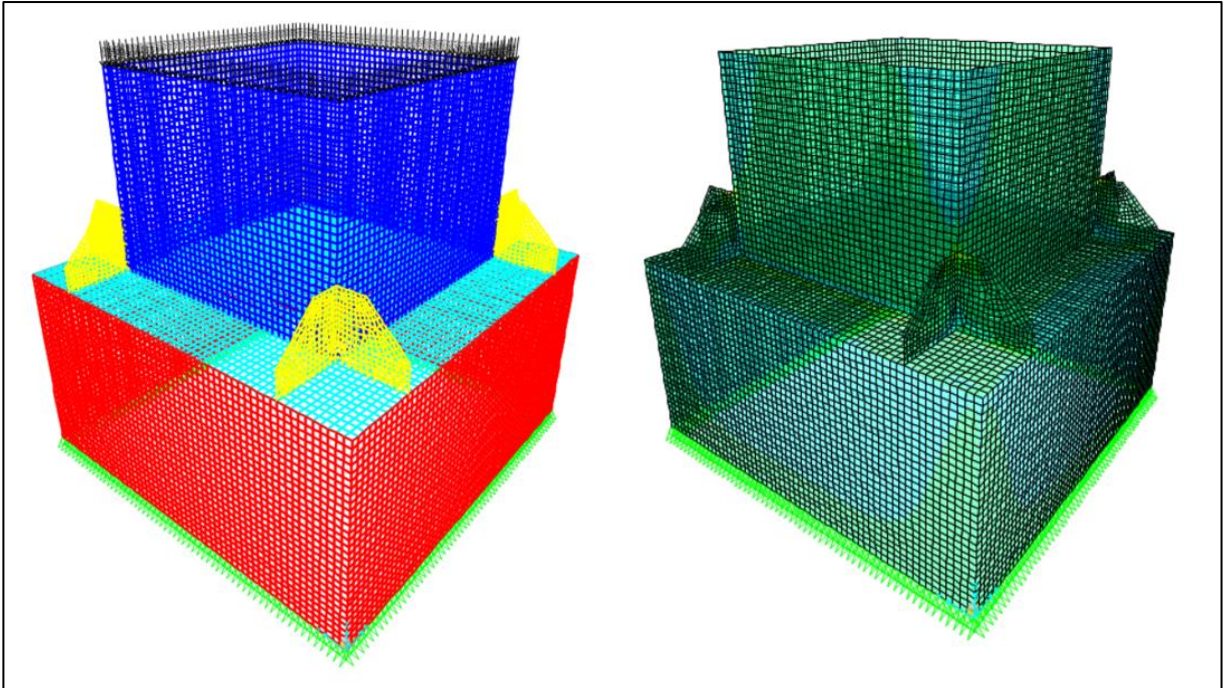
Fuente: Propia.

En este modelo se aprecian los diagramas de esfuerzos de toda la sección, representando de color rojo las zonas más críticas, de esta manera, para que la placa se permaneciera en un estado elástico dentro de su resistencia, el espesor requerido debía de ser de 1 1/2", medida que sale de lo convencional.

Para terminar con el diseño de la sección se procedió a probar la diferencia con un refuerzo de cartabones de placa en las esquinas de la columna, a manera de que distribuyeran de manera adecuada la carga en la columna inferior.

Imagen 6.41. Modelo de placa para columnas C-03 – C-02 con cartabones.

Fuente: Propia.



El estrés en la pieza redujo bastante con el mismo espesor, incluso, se bajó hasta un espesor aceptable de 3/4 de pulgada y aún estaba dentro de los márgenes de la resistencia del acero. Claramente estos refuerzos valen la pena puesto que por su inercia y rigidez ayudan bastante en la distribución de cargas. En el anexo 5, se encuentran capturas de ambas placas donde se aprecia la distribución de esfuerzos.

En la sección de anexos, se puede ver en el anexo 6 la distribución de columnas con los detalles de conexiones en todas las plantas, en el anexo 7 se presentan las distribuciones de vigas en cada nivel y en el anexo 8 la colocación de las láminas para la losa acero.

Una vez realizados todos los cálculos y diseños del edificio, y seleccionados los perfiles tanto de acero como los disipadores necesarios gracias a fundamentos matemáticos y de principios de ingeniería, se puede afirmar que la información obtenida en esta investigación es de carácter real y aceptable, consiguiendo así los

principios buscados al principio de la investigación que consisten tanto en la seguridad como en la resistencia sísmica del edificio.

CONCLUSIONES

Al finalizar esta investigación, considerando los procedimientos y valores numéricos obtenidos se hizo una revisión tanto de la pregunta de investigación, la cual fue guía a lo largo de este proceso, y de los objetivos que marcaban las pautas importantes y necesarias para dirigir los pasos a lo largo de la misma.

Como pregunta de investigación se planteó la interrogante de cuál sería el diseño estructural en acero para un edificio de siete niveles con disipadores sísmicos en la ciudad de Uruapan, Michoacán; esta respuesta se obtuvo al desarrollar todos los cálculos en el capítulo 6, en el cual se describen los pasos y procedimientos necesarios para llegar a los perfiles que requerimos para la construcción del mismo.

Como objetivo general, se señaló al principio “diseñar la estructura en acero para un edificio sismo resistente de siete niveles con disipadores viscosos en la ciudad de Uruapan, Michoacán, de manera eficiente, cumpliendo con los parámetros que la ingeniería estructural demanda”. Al término de esta investigación se puede afirmar que el objetivo principal se cumplió, ya que para obtener el diseño completo de la estructura se hizo uso de todas las normativas y leyes tanto físicas como matemáticas para su fundamento, considerando cada elemento para su selección y trabajo dentro de este proyecto. Los pasos requeridos para el procedimiento fueron en orden, explicados y revisados en el aspecto de coherencia y fundamento matemático.

Con lo que respecta a cada uno de los objetivos particulares que señalarían cada paso siguiente se presentan a continuación acompañados con sus correspondientes respuestas.

El primer objetivo fue señalado como “definir de manera clara los conceptos de análisis y diseño estructural necesario para un edificio”, el cual se cumplió en el capítulo 1 al hacer mención de las propiedades principales de mecánica de materiales como lo son la resistencia, que es la capacidad de responder ante una fuerza exterior, rigidez, que es la capacidad de oponerse a la deformación ante una carga, el concepto de ductilidad que es la deformación de un material antes de fallar, entre otros conceptos aplicados tanto como materiales como dentro de un edificio, así como la definición de falla de carga que es cuando un elemento está sobre estresado y falla de servicio, la cual es que a pesar de deformarse o presentar problemas aún puede resistir las solicitaciones a las cuales es sometido.

El siguiente objetivo fue “investigar los criterios de diseño estructural acompañado de sus principios y fundamentos”, objetivo logrado tras definir los criterios de esfuerzos permisibles y carga última en el capítulo 1, donde se explicó tanto sus fundamentos, como sus principios generales.

El tercer objetivo consistió en “proponer una estructura segura y funcional para el edificio del proyecto”, el cual se vio reflejado al presentar los cálculos y resumen de perfiles obtenidos para la construcción del edificio en el capítulo 5.

El cuarto objetivo era acerca de “explicar los principios para el diseño de en acero para estructuras”, éste se cumplió en el capítulo 2 cuando se expusieron todas las fórmulas de diseño de elementos estructurales en acero conforme al reglamento de construcción de la Ciudad de México tanto para tensión, compresión, flexión y flexo-compresión.

En el quinto objetivo se buscó “entender los principios de análisis dinámico en las estructuras”, en el cual se trabajó a lo largo del capítulo 3 el principio del comportamiento dinámico en los objetos, es importante aclarar que a medida que el capítulo avanzaba se iba obteniendo más y más conceptos acerca de este tema. Se obtuvo la ecuación general de movimiento dinámico, en la cual influyen tanto la velocidad, aceleración y desplazamiento de la estructura, así como su rigidez y capacidad de amortiguamiento, de esta ecuación es de donde parten todos los criterios para poder definir y real comportamiento dinámico en la estructura y poder diseñar los elementos de disipación de energía.

Como último objetivo se buscó “analizar y diseñar la estructura de acero acompañada con los disipadores sísmicos viscoelásticos ubicados en el lugar adecuado en la estructura”. Dentro de los cálculos del capítulo 5 están los pasos y procedimiento para poder definir los disipadores reales que requiere la estructura, corriendo el análisis dinámico dentro del software y obteniendo los datos necesarios, así como revisando rigidez y amortiguamiento que debe presentar el elemento,

Dentro de los datos más importantes que se pueden rescatar en esta investigación, se pueden mencionar los siguientes: el proyecto arquitectónico a ligado por completo de la estructura, ya que en este caso se ve con la necesidad de cambiar la fachada para poder colocar de una mejor manera los disipadores en ese eje en particular; de igual manera, el entender y conocer los principios del Reglamento de Construcción de la Ciudad de México es de suma importancia, puesto que facilita bastante cuando se comienza a ver los resultados y dar el comportamiento deseado a la estructura.

Se puede afirmar que ningún edificio será igual que otro en ningún sentido, aun cuando la arquitectura sea similar, puesto que la estructura será afectada de diferente manera en medida de su ubicación geográfica, ya sea por sismo, el tipo de suelo en el cual se desplanta, el viento, entre otras cosas., además, para poder desarrollar un estudio dinámico de la estructura, el calculista debe poseer un registro de acelerograma real lo más cercano a la realidad de su proyecto, o en su defecto utilizar un software especializado para poder crear un llamado “sismo sintético” que se acerca aún más a las posibles cargas que tendrá el edificio”. Para que un proyecto de este tipo sea mucho más ligero, se recomienda hacer un seccionamiento más detallado de tipos de vigas, ya que si se manejan muy pocos puede que muchas vigas trabajen a muy poco esfuerzo. Excederse en esto tampoco es bueno, ya que complica el proceso constructivo y en la rigidez del sistema. Agregando sobre los sistemas dinámicos, es importante realizar varias pruebas de acomodo y colocación de disipadores dentro de una estructura, puesto que el comportamiento del primer modelo no siempre suele ser la más adecuada; y finalmente, el uso de muchos disipadores, no necesariamente favorece a la estructura, es en este caso que no fueron requeridos en los niveles altos de la estructura.

En conclusión, tanto edificios convencionales, como los que son reforzados con disipadores se deben revisar bajo el mismo lineamiento de carga comportamiento de todo un sistema tanto en el sentido de trabajo extraordinario, como en el sentido de que se garantice que cumpla con todos los principios requeridos para su funcionamiento y sobre todo su seguridad.

BIBLIOGRAFÍA.

Brockenbrough, R. L. (2010)

Manual del Ingeniero civil Tomo I

Ed. McGrawHill, México.

Camba C, José Luis, et. al. (1982)

Análisis Estructural I

Ed. Universidad Autónoma de México. México.

Chopra, Anil K. (2014)

Dinámica de Estructuras

Ed. Pearson. México.

Comisión Federal de Electricidad (2008)

Manual de obras civiles diseño por sismo

Ed. Departamento de difusión. México

Gaceta oficial de la ciudad de México. (2017)

Reglamento de Construcción de la Ciudad de México.

Ed. Gobierno de la Ciudad de México. México.

Genatios, Carlos. (2016)

Introducción al uso de aisladores y disipadores en estructuras

Ed. Banco de Desarrollo de América Latina. Venezuela.

Hernández Sampieri Roberto y colaboradores (2014)

Metodología de la Investigación

Ed. McGraw Hill, México.

Hibbeler, Russell. C. (2010)

Ingeniería Mecánica Estática

Ed. Prentice Hall. México.

Kasimalli, Aslam. (2015)

Análisis Estructural

Ed. Cengage Learning. México.

McCormac, Jack J. (2013)

Diseño de Estructuras de Acero

Ed. Alfaomega, México.

Meli Piralla, Roberto. (2004)

Diseño Estructural

Ed. Limusa. México.

Merrit, Frederick. S. (2010)

Manual del Ingeniero civil Tomo I

Ed. McGrawHill, México.

Salazar Trujillo, Jorge Eduardo. (2007)

Resistencia de Materiales Básica para Estudiantes de Ingeniería

Ed. Universidad Autónoma de Colombia, Colombia.

T. T. Soong & G. F. Dargush, (1997)

Passive Energy Systems in Structural Engineering

Ed. Jon Willey & Sons, USA.

Tamayo y Tamayo, Mario. (2003)

El proceso de la investigación Científica

Ed. Limusa, México.

Zemanski et.al (2009)

Física Universitaria Volumen 1

Ed. Addison-Wesley

OTRAS FUENTES DE INFORMACIÓN.

Altos Hornos de México (2018)

Manual de diseño de construcción en acero

Recuperado de:

[http://www.sinfra.oaxaca.gob.mx/wp-](http://www.sinfra.oaxaca.gob.mx/wp-content/uploads/2016/02/Manual_de_diseno_para_la_construccion_en_acero-AISC-ahmsa.pdf)

[content/uploads/2016/02/Manual_de_diseno_para_la_construccion_en_acero-AISC-ahmsa.pdf](http://www.sinfra.oaxaca.gob.mx/wp-content/uploads/2016/02/Manual_de_diseno_para_la_construccion_en_acero-AISC-ahmsa.pdf)

Dander Sánchez, Oscar Adrián (2012)

Historia de la Arquitectura I

Recuperado de:

http://www.aliat.org.mx/BibliotecasDigitales/construccion/Historia_de_la_arquitectura_I/Historia_de_la_arquitectura_I-Parte1.pdf

EADIC, Escuela Técnica (2018)

BIM y el ingeniero civil

Recuperado de:

<https://civilgeeks.com/2017/02/10/bim-ingeniero-civil/>

SCIELO (2018)

Sistemas de control de respuesta sísmica en edificaciones

Recuperado de:

http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-12372006000200010

Taylor Devices Inc. (2018)

Sesimic Isolation Products

Recuperado de:

<http://taylordevices.com/dampers-seismic-protection.html>

<http://foros.michoacan.gob.mx/region-6/>

<https://www.inegi.org.mx/>

<http://mr.travelbymexico.com/701-estado-de-michoacan/>

http://recursosbiblio.url.edu.gt/publicjlg/biblio_sin_paredes/fac_arqui/dis_simpli_estruc/02.pdf

<https://es.wikipedia.org/wiki/M%C3%A9xico>

Investigación de operaciones

Recuperado de:

<http://investigacionoperaciones541.blogspot.mx/2011/04/metodo-matematico.html>

Whole Building Design Guide

Hazard-Specific Building-Resilience Considerations

Recuperado de:

<https://www.wbdg.org/resources/hazard-specific-building-resilience-considerations>

ANEXO 1

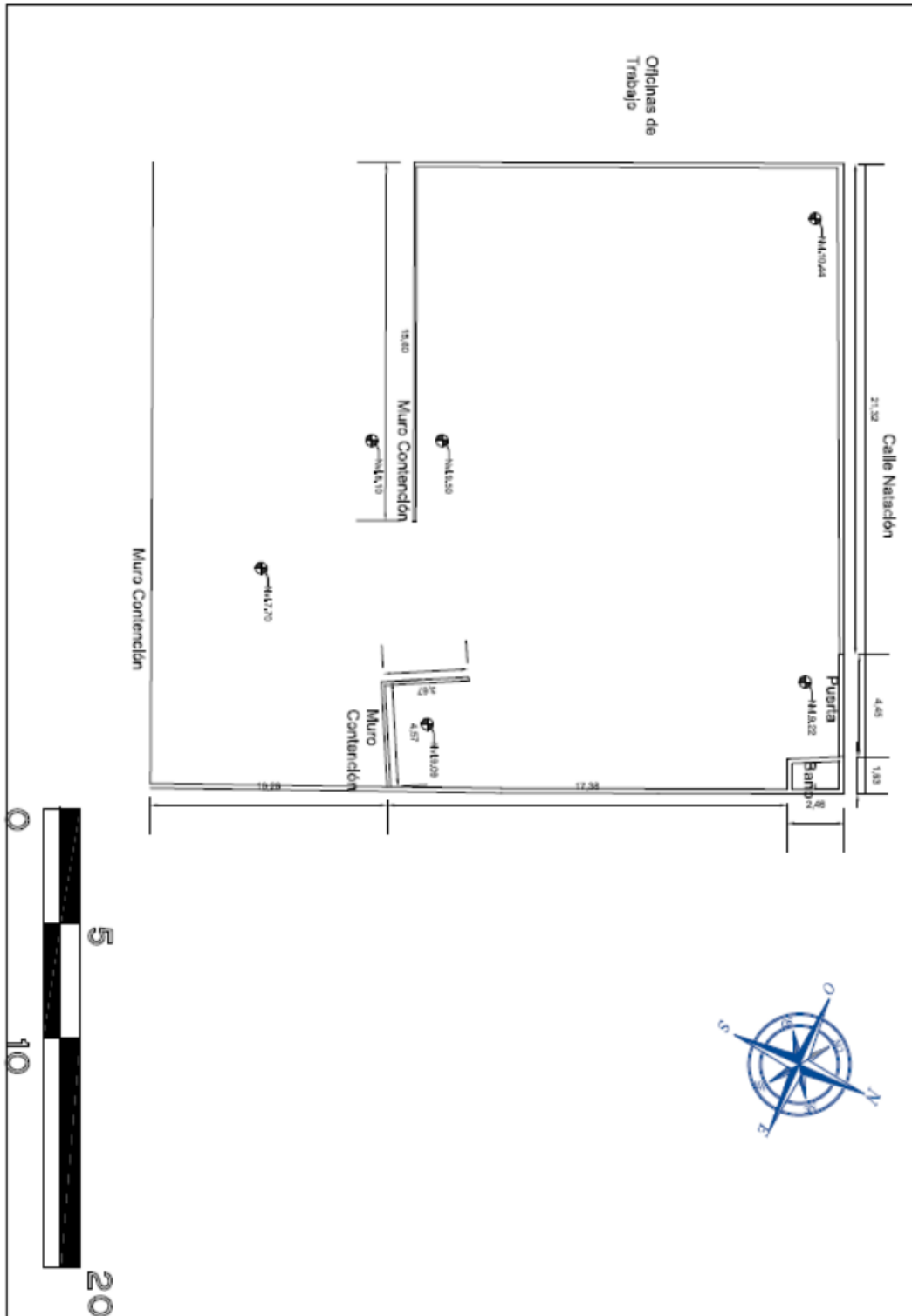


Imagen 1. Levantamiento topográfico de terreno.

Fuente: Propia.

ANEXO 2

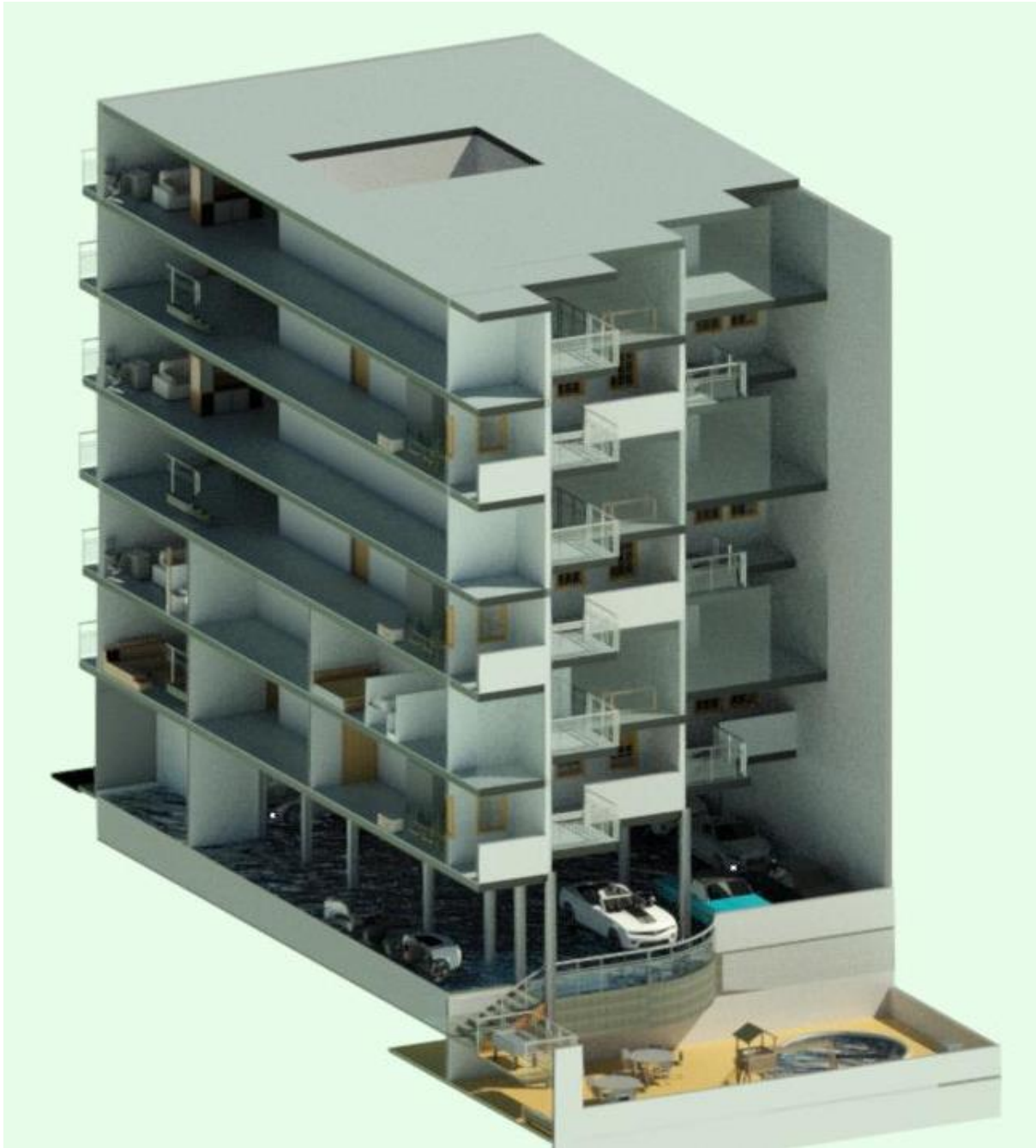


Imagen 2. Corte longitudinal de proyecto arquitectónico.

Fuente: Propia.

ANEXO 3

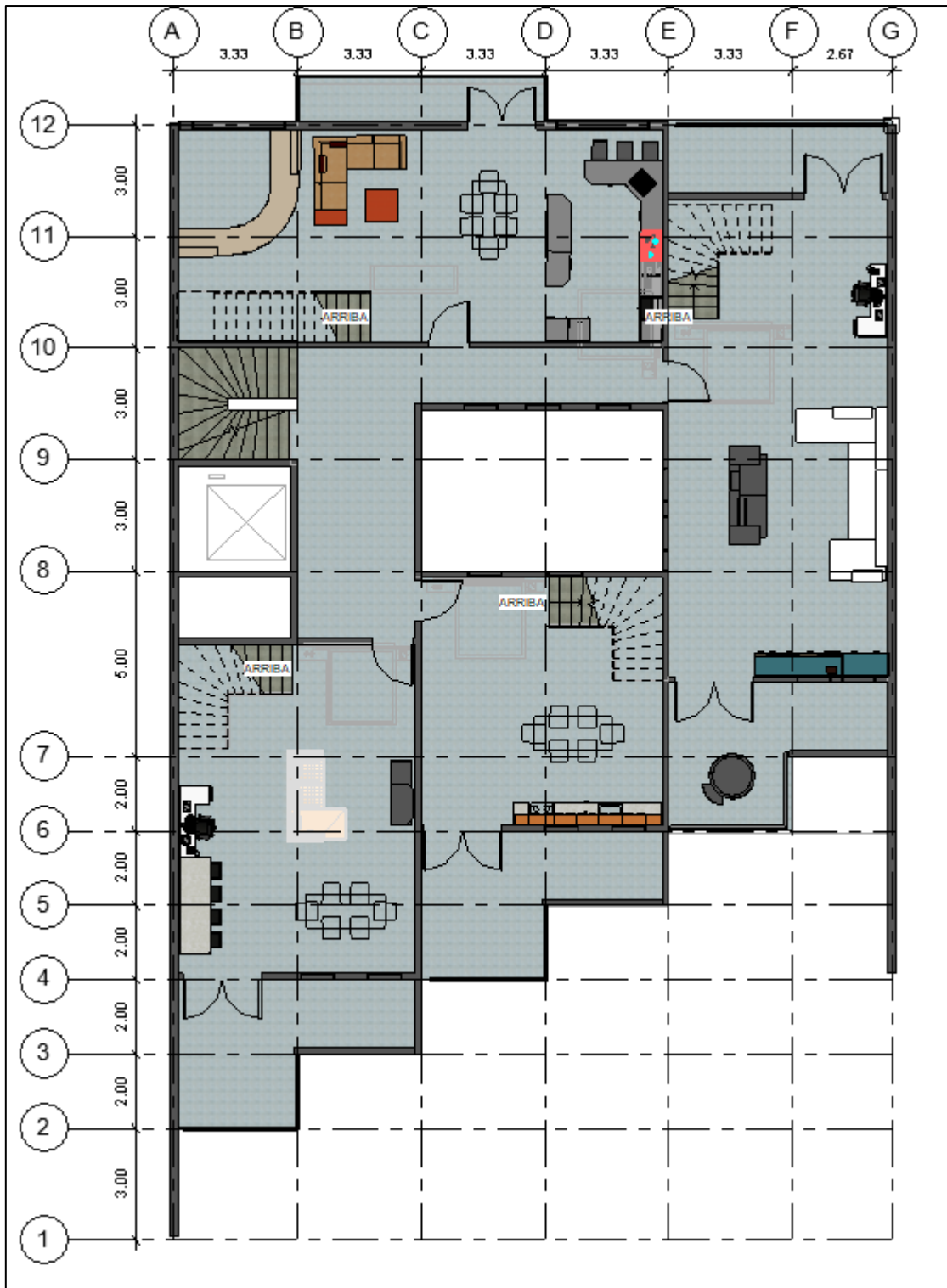


Imagen 3. Vista de planta de planta baja de departamentos.

Fuente: Propia.

ANEXO 4



Imagen 4. Fachada frontal de proyecto.

Fuente: Propia.

ANEXO 5

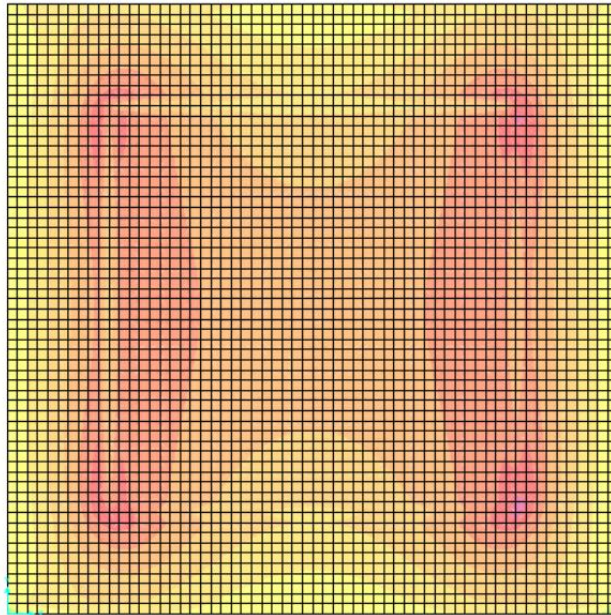


Imagen 5. Distribución de esfuerzos en placa de asiento sin cartabones.

Fuente: Propia.

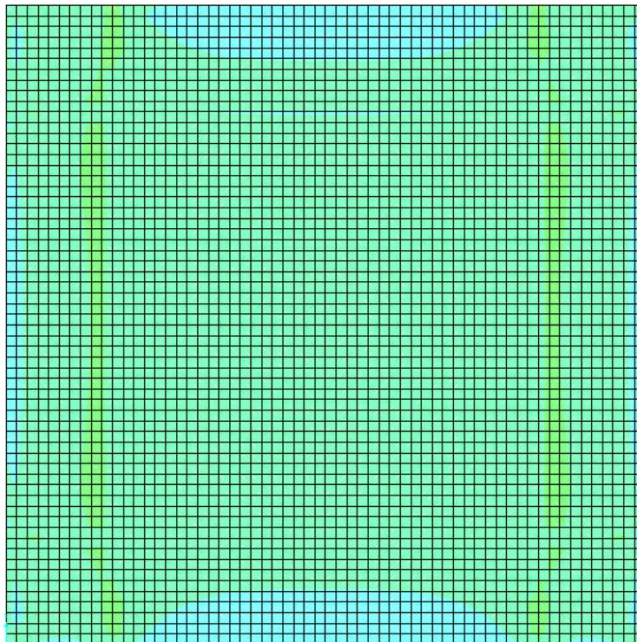
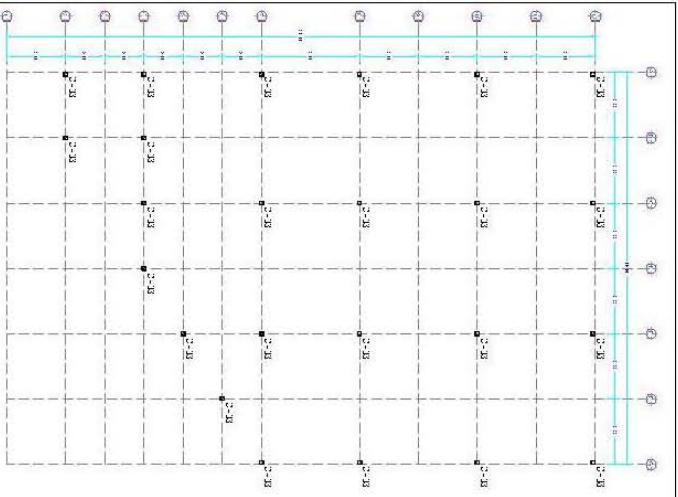


Imagen 6. Distribución de esfuerzos en placa de asiento con cartabones.

Fuente: Propia.

ANEXO 6

ANEXO 7

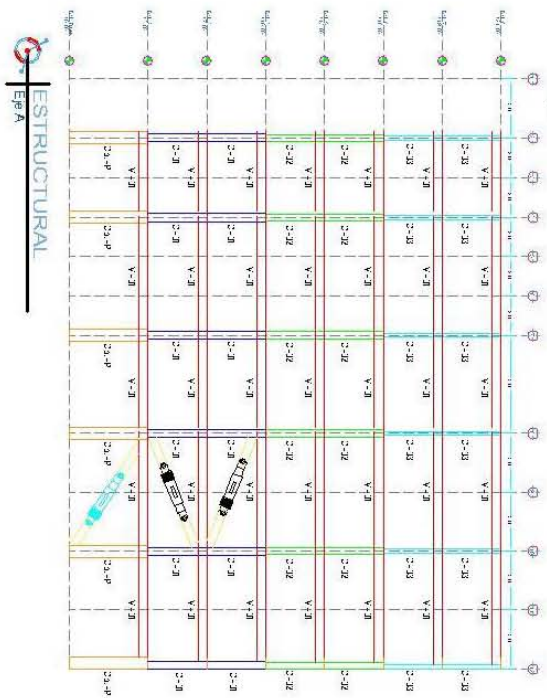


ESTRUCTURAL
Planta - N1.6/7

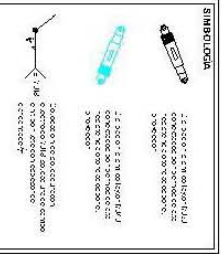
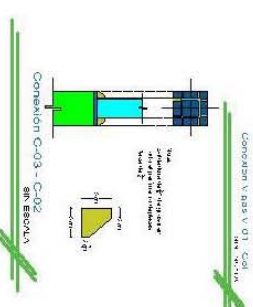
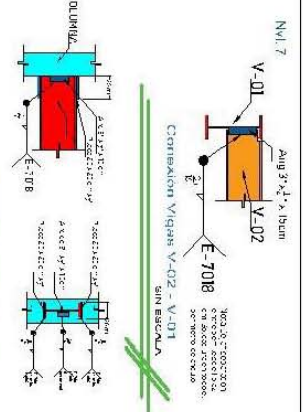
SECCION	DESIGNACION	d (mm)	l (mm)	TIPO DE ACERO
C-01	Ø16/100	100	95	/S27.50/328K
C-02	Ø16/100	100	127	/S27.50/328K
C-03	Ø16/100	100	127	/S27.50/328K
C-04	Ø16/100	100	127	/S27.50/328K
C-05	Ø16/100	100	127	/S27.50/328K
C-06	Ø16/100	100	127	/S27.50/328K



ESTRUCTURAL
Eje 7



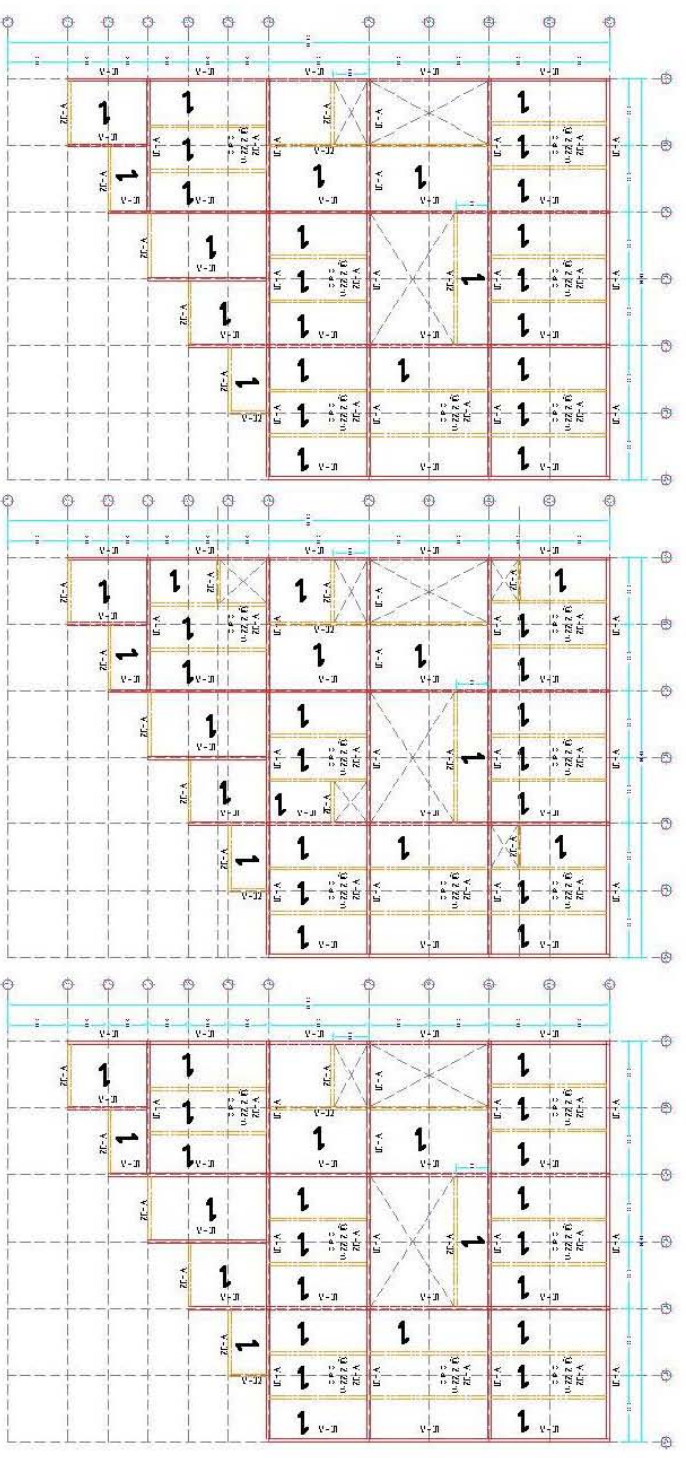
ESTRUCTURAL
Eje 8



NOTAS:
1. Verificar el estado de conservación de la estructura.
2. Verificar el estado de conservación de la estructura.
3. Verificar el estado de conservación de la estructura.
4. Verificar el estado de conservación de la estructura.
5. Verificar el estado de conservación de la estructura.
6. Verificar el estado de conservación de la estructura.
7. Verificar el estado de conservación de la estructura.
8. Verificar el estado de conservación de la estructura.
9. Verificar el estado de conservación de la estructura.
10. Verificar el estado de conservación de la estructura.

	<p>ESTRUCTURAL</p> <p>213</p>
<p>ESTRUCTURAL</p> <p>213</p>	<p>ESTRUCTURAL</p> <p>213</p>

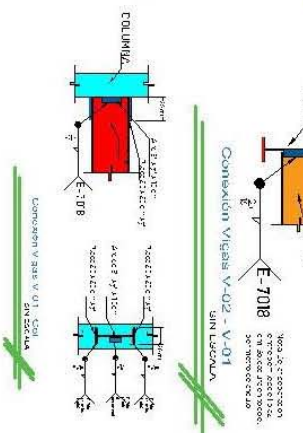
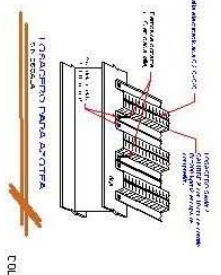
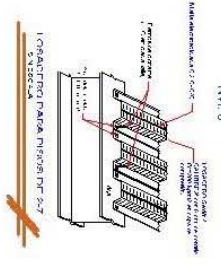
ANEXO 8



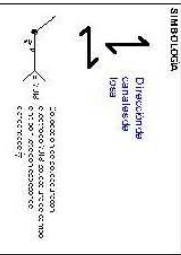
ESTRUCTURAL
PLANTA - ARMADO DE PISO
 Nvl 4
 Nvl 5
 Nvl 6

ESTRUCTURAL
PLANTA - ARMADO DE PISO
 Nvl 7
 Nvl 8
 Nvl 9

ESTRUCTURAL
PLANTA - ARMADO DE PISO
 Ver 001a1



SECCION	DESCRIPCION	D	L	TIPO DE ACERO
Co-P	160x160x5	625	95	(A572 50) : 2.38
C-01	488 x 488 x 48	4004	127	(A572 50) : 2.38
C-02	488 x 488 x 48	3980	127	(A572 50) : 2.38
C-03	488 x 488 x 48	2032	1627	(A572 50) : 2.38
V-01	160x160x5	480	104	(A572 50) : 2.38
V-02	160x160x5	300	75	(A572 50) : 2.38



NOTAS:

1. Verificar que el acero de refuerzo sea del tipo A572 50.
2. Verificar que el concreto sea del tipo C30.
3. Verificar que el espesor de la losa sea de 120 mm.
4. Verificar que el espesor de la columna sea de 488 mm.
5. Verificar que el espesor de la viga sea de 160 mm.
6. Verificar que el espesor de la losa sea de 120 mm.
7. Verificar que el espesor de la columna sea de 488 mm.
8. Verificar que el espesor de la viga sea de 160 mm.
9. Verificar que el espesor de la losa sea de 120 mm.
10. Verificar que el espesor de la columna sea de 488 mm.
11. Verificar que el espesor de la viga sea de 160 mm.
12. Verificar que el espesor de la losa sea de 120 mm.
13. Verificar que el espesor de la columna sea de 488 mm.
14. Verificar que el espesor de la viga sea de 160 mm.
15. Verificar que el espesor de la losa sea de 120 mm.
16. Verificar que el espesor de la columna sea de 488 mm.
17. Verificar que el espesor de la viga sea de 160 mm.
18. Verificar que el espesor de la losa sea de 120 mm.
19. Verificar que el espesor de la columna sea de 488 mm.
20. Verificar que el espesor de la viga sea de 160 mm.
21. Verificar que el espesor de la losa sea de 120 mm.
22. Verificar que el espesor de la columna sea de 488 mm.
23. Verificar que el espesor de la viga sea de 160 mm.
24. Verificar que el espesor de la losa sea de 120 mm.
25. Verificar que el espesor de la columna sea de 488 mm.
26. Verificar que el espesor de la viga sea de 160 mm.
27. Verificar que el espesor de la losa sea de 120 mm.
28. Verificar que el espesor de la columna sea de 488 mm.
29. Verificar que el espesor de la viga sea de 160 mm.
30. Verificar que el espesor de la losa sea de 120 mm.

