

“EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO SISMICO DE UN EDIFICIO DE ACERO, UBICADO EN LA CIUDAD DE MANAGUA, 2023”

Trabajo Monográfico para optar al título de
Ingeniero civil

Elaborado por:

Br. Chrystel Violeta
Aleman López
Carnet: 2016-0111U

Br. Chelsea Blandón
Escobar
Carnet: 2016-0029UU

Tutor:

MSC. Ing. Marco
Antonio Cerrato
Palma

08 de julio de 2024
Managua, Nicaragua

INDICE

I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	3
2.1. Objetivo general:	3
2.2. Objetivos específicos:	3
III. MARCO TEORICO: DEFINICIONES	4
3.1. Sismología	4
3.2. Peligrosidad y riesgo sísmico en Managua	4
3.3. Fallas sísmicas en Managua.....	7
3.4. Métodos de análisis	8
3.4.1. Análisis lineal	9
3.4.2. Análisis no lineal.....	10
3.5. NORMA SISMORRESISTENTE PARA LA CIUDAD DE MANAGUA (NSCM-2022)	11
3.5.1. Método de la fuerza lateral equivalente (FLE)	12
3.5.2. Método dinámico modal espectral	21
IV. DISEÑO METODOLÓGICO	27
4.1. Diseño de la investigación.....	27
4.2. Limitantes de trabajo.....	27
4.3. Procedimiento de la investigación	28
4.3.1. Fase conceptual	28
4.3.2. Fase numérica.....	28
4.3.3. Fase de evaluación	29
4.4. Técnica de recolección de datos	29
V. DESARROLLO DEL DISEÑO METODOLÓGICO	30
5.1. Método de la fuerza lateral equivalente.....	30
5.1.1. Características del edificio.....	30
5.1.2. Secciones geométricas	31
5.2. Definiciones básicas para el análisis sísmico	34
5.2.1. Determinación del espectro de diseño.....	34
5.3. Espectro de respuesta elástico	59
5.4. Configuraciones iniciales para modelado en Etabs	66
5.4.1. Se procede a correr el programa y se extrae:.....	102
VI. CONCLUSIONES.....	123

VII.	RECOMENDACIONES	125
VIII.	REFERENCIAS	126

Tabla 1. Factores de amplificación vertical por tipo de suelo Fas	15
Tabla 2. Actualización de cargas variables unitarias mínimas.	19
Tabla 3. Características del edificio.	30
Tabla 4. Secciones geométricas.	31
Tabla 5. Clasificación de la estructura por grupo de importancia.	34
Tabla 6. Sismo de diseño según categoría de riesgo.	35
Tabla 7. Factor de importancia (I).	36
Tabla 8. Rigideces de piso en dirección X.	42
Tabla 9. Rigideces de piso en dirección Y.	43
Tabla 10. Centro de masas y Rigidez.	44
Tabla 11. Cortante de piso en dirección X.	46
Tabla 12. Cortante de piso en dirección Y.	47
Tabla 13. Categoría de diseño sísmico a_0	49
Tabla 14. Coeficientes y factores de diseño para sistemas resistentes a fuerzas sísmicas.	50
Tabla 15. Coeficientes y factores de diseño para sistemas resistentes a fuerzas sísmicas.	53
Tabla 16. Tabla de sitios con sus respectivas coordenadas y V_{s30}	55
Tabla 17. Clasificación por tipo de suelo.	56
Tabla 18. Factores de amplificación vertical por tipo de suelo.	57
Tabla 19. Tabla que reúne datos de Clasificación del sitio, Tipo de suelo y Factor por amplificación por tipo de suelo.	57
Tabla 20. Factor de ajuste espectral FS para T_b y T_c	58
Tabla 21. Tabla con valores a utilizar para el cálculo de Aceleración espectral y Espectro de diseño elástico.	62
Tabla 22. Tabla con valores de Aceleración espectral y Espectro de diseño elástico, en periodos de 0.00 seg – 10.00 seg	63
Tabla 23. Tabla de secciones geométricas.	71
Tabla 24. Tabla de Masas por nivel.	102
Tabla 25. Tabla de los Modos de vibrar y Porcentaje de participación de masas.	106
Tabla 26. Tabla de Cortante de piso y Fuerza sísmica.	107
Tabla 27. Tabla de Reacciones en la base.	107
Tabla 28. Coeficientes para el cálculo del periodo aproximado.	108
Tabla 29. Tabla de Coeficiente para el límite superior del periodo máximo calculado.	109
Tabla 30. Tabla de Masas por nivel.	112
Tabla 31. Tabla de Masas por nivel.	114
Tabla 32. Reacciones en la base con el factor de escalamiento.	117
Tabla 33. Tabla de desplazamientos en dirección X.	118
Tabla 34. Tabla de desplazamientos en dirección Y.	119
Tabla 35. Tabla de Desplazamientos máximos en dirección X e Y.	119
Tabla 36. Tabla de Derivas de piso.	120
Tabla 37. Tabla para el cálculo de distorsiones máximas permitidas en dirección X e Y.	120
Tabla 38. Tabla para el cálculo de Efecto de segundo orden $P - \Delta$	122

Figura 1. Alineamiento de volcanes a lo largo del pacifico de Nicaragua.	5
Figura 2. Alineamiento de volcanes activos y no activos del pacifico de Nicaragua	6
Figura 3. Sismos registrados en Managua y alrededores.	6
Figura 4. Mapa de fallas sísmicas de Managua.	8
Figura 5. Parámetros de ajuste de la respuesta de la estructura.	10
Figura 6. Nuevo mapa de zonificación sísmica para Nicaragua	16
Figura 7. Mapa de aceleraciones para Nicaragua (a0).....	16
Figura 8. Modos de vibración para análisis DME.	23
Figura 9. Isométrico del edificio de acero.	31
Figura 10. Isométrico del edificio de acero.	32
Figura 11. Vista en planta del edificio de acero.....	33
Figura 12. Vista en elevación del edificio de acero.	33
Figura 13. Irregularidad en planta Tipo 1 Irregularidad torsional.	37
Figura 14. Irregularidad en planta Tipo 2 Retroceso excesivos en las esquinas.....	40
Figura 15. Irregularidad en planta Tipo 3 Discontinuidad en los sistemas de piso.	40
Figura 16. Irregularidad en planta Tipo 4 Ejes estructurales no paralelos.....	41
Figura 17. Irregularidad en elevación Tipo 1 Piso flexible.	42
Figura 18. Irregularidad en elevación Tipo 2 Distribución de masa.....	44
Figura 19. Irregularidad en elevación Tipo 3 Irregularidad geométrica.	45
Figura 20. Vista en elevación del edificio de acero.	45
Figura 21. Irregularidad en elevación Tipo 4 Irregularidad geométrica.	46
Figura 22. Zonificación Sísmica para Nicaragua.....	52
Figura 23. Espectro de diseño elástico normalizado para distintas zonas sísmicas.....	60
Figura 24. Grafica de Aceleración Espectral y Espectro de diseño.	65
Figura 25. Cuadro de iniciación del modelo en el programa ETABS.	67
Figura 26. Cuadro para la edición de plantillas en la geometría del modelo en el programa ETABS.....	68
Figura 27. Cuadro de configuración de unidades del modelo en el programa ETABS....	69
Figura 28. Cuadro de Definición de Materiales.....	71
Figura 29. Cuadro de Propiedades de secciones para el modelo.	72
Figura 30. Asignación de columnas al modelo en el programa ETABS.	73
Figura 31. Asignación de vigas principales al modelo en el programa ETABS.....	74
Figura 32. Asignación de vigas principales al modelo en el programa ETABS.....	75
Figura 33. Cuadro de asignación de propiedades de la losa para el modelo.	76
Figura 34. Modelo con losas de entrepisos asignada en los niveles de 1, 2 y 3 (azotea). 77	
Figura 35. Cuadro de Funciones para cargar Espectro de diseño en dirección X, Y, y Componente vertical del sismo Ev.	79
Figura 36. Espectro de diseño cargado al programa Etabs, dirección X.	80
Figura 37. Espectro de diseño cargado al programa Etabs, dirección Y.	81
Figura 38. Componente vertical del sismo (Ev) cargado al programa Etabs.....	82
Figura 39. Agregando casos de cargas Sx, Sy, Ev.....	83
Figura 40. Caso de carga para sismo en X, Sx.....	84
Figura 41. Caso de carga para sismo en Y, Sy.....	85
Figura 42. Caso de carga para componente vertical del sismo, Ev.....	86
Figura 43. Casos de cargas ya ingresadas en el modelo Sx, Sy, Ev.	87

Figura 44. Combinaciones de carga introducidas en el modelo.	89
Figura 45. Selección del cuadro de dialogo para definir masa de la estructura.	90
Figura 46. Cuadro de distribución de cargas para el cálculo de la masa del edificio.	91
Figura 47. Cuadro para agregar paquetería de cargas.	92
Figura 48. Set de cargas asignada a la azotea.	94
Figura 49. Set de cargas asignada a los pisos 1 y 2.	95
Figura 50. Agregando diafragmas rígidos en cada losa de piso.	97
Figura 51. Diafragmas rigidos creados para cada losa de piso.	98
Figura 52. Diafragmas rígidos asignados a cada losa de piso N1, N2 y Azotea.	99
Figura 53. Asignando tipo de restricción en el apoyo.	100
Figura 54. Apoyo de empotre asignado a la base de la estructura.	101
Figura 55. Edificio de acero con deformaciones debido a cargas asignadas en el modelo.	102
Figura 56. Definiendo el número de modos de vibración de la estructura.	104
Figura 57. Selección del caso Modal.	105
Figura 58. Asignación del número máximo y mínimo de modos de vibración a calcular.	105
Figura 59. Ingreso del factor de escalamiento.	115

I. INTRODUCCIÓN

El fenómeno sísmico representa una de las manifestaciones más impactantes de la naturaleza. Las pérdidas de vidas humanas y la destrucción de las infraestructuras creadas por el hombre demuestran el potencial devastador de este fenómeno. Así pues, la investigación del comportamiento de las estructuras frente a la acción sísmica representa un objetivo permanente de la ingeniería sísmica (Dumova, 2000).

La ingeniería estructural tiene como desafío afrontar los sismos ocupándose del diseño y cálculo de elementos y sistemas estructurales, su finalidad es la de conseguir estructuras seguras, resistentes y funcionales. En nuestro país Nicaragua, es amenazado constantemente por movimientos sísmicos, desde medianas magnitudes hasta magnitudes altas. Uno de estos movimientos sobresale entre todos, el terremoto del 23 de diciembre de 1972; evento que tuvo como consecuencia cuantiosas pérdidas tanto humanas como materiales.

Managua es la ciudad de Nicaragua con mayor riesgo sísmico, esto debido a que en la cadena volcánica entre Granada y Managua existen dos grandes bloques de rocas que se friccionan de manera interminable, lo que provoca los movimientos sísmicos diarios en nuestra ciudad. Debido a los estragos causados por el terremoto del 72, el cual fue un sismo de 6.2 en la escala de Richter, se creó en 1973 la primera norma para el análisis sísmico, con actualizaciones en 1983, 2007 y la Norma sismorresistente para la ciudad de Managua 2022, todas estas normativas se basan en códigos internacionales como el ASCE 7 y, su principal objetivo es garantizar la respuesta dúctil de los elementos resistentes de la estructura (Chávez, Hansen, & Quesada, 1973).

He aquí donde entra el papel fundamental de las normativas para la evaluación, construcción y revisión de edificios en la ciudad de Managua la cual la más reciente actualización fue publicada en el 2022 la **Norma Sismorresistente para**

la ciudad de Managua (NSM-2022), siendo el documento preliminar a la publicación de un nuevo Reglamento Nacional de la Construcción que pueda ser usado en cualquier parte del país, en donde actualiza múltiples parámetros y la aplicación de los métodos de análisis lineales y ahora los no lineales, las peculiaridades dentro de esta nueva normativa es el cambio de varios parámetros a considerar con respecto a las distorsiones permitidas, tomando a ASCE 7-16, como nueva referencia y no las NTC, como estaban anteriormente las del RNC-07 .

Dentro del presente documento se aplicará el método de la fuerza lateral equivalente y el método dinámico modal espectral a un edificio cuya estructura es de acero haciendo uso de la nueva Norma Sismorresistente de la ciudad de Managua a través del software ETABS para evaluar el comportamiento sísmico del edificio en cuestión.

II. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general:

Evaluar el comportamiento sismorresistente de una edificación ubicada en la ciudad de Managua, 2023.

2.2. Objetivos específicos:

Aplicar el método de la fuerza lateral equivalente haciendo uso de la Norma sismorresistente para la Ciudad de Managua (2022) a través del software ETABS.

Utilizar el método dinámico modal espectral (MDE) utilizando la Norma sismorresistente para la Ciudad de Managua (2022) a través del software ETBS.

Evaluar el comportamiento sísmico de la edificación aplicando la Norma sismorresistente para la Ciudad de Managua (2022) en base a los resultados obtenidos.

III. MARCO TEORICO: DEFINICIONES

3.1. Sismología

Los sismos, terremotos o temblores de tierra, son vibraciones de la corteza terrestre, generadas por distintos fenómenos, como la actividad volcánica, la caída de techos de cavernas subterráneas y hasta por explosiones, Sin embargo, los sismos más severos y los más importantes desde el punto de vista de la ingeniería, son los de origen tectónico, que se deben a desplazamientos bruscos de las grandes capas en que está subdivida dicha corteza. Las presiones que se generan en la corteza por los flujos de magma desde el interior de la tierra llegan a vencer la fricción que mantiene en contacto los bordes de las placas y producen caídas de esfuerzos y liberación de enormes cantidades de energía almacenada en la roca. La energía se libera principalmente en forma de ondas vibratorias que se propagan a grandes distancias a través de la roca de la corteza.

Es esta vibración de la corteza terrestre la que pone en peligro las edificaciones que sobre ella se desplantan, al ser estas solicitadas por el movimiento de su base. Por los movimientos vibratorios de las masas de los edificios, se generan fuerzas de inercia que inducen esfuerzos importantes en los elementos de la estructura u que pueden conducirla a la falla. (Bazán & Meli, 2002)

3.2. Peligrosidad y riesgo sísmico en Managua

La sismicidad es el conjunto de parámetros que definen totalmente el fenómeno sísmico en el foco y se representa generalmente mediante distribuciones temporales, espaciales, de tamaño, de energía, etc. El estudio de la distribución espacial de terremotos ha sido uno de los factores más importantes a la hora de establecer la teoría de la tectónica de placas, según la cual la superficie de la litosfera está dividida en placas cuyos bordes coinciden con las zonas sísmicamente activas. (Instituto Geográfico Nacional, 2014)

Dentro de la historia reciente de Managua se registran una serie de terremotos que han ocasionado situaciones de desastre para la ciudad y para el país en general. Se destacan principalmente los sismos de 1931 y 1972; siendo este último el de mayor impacto sobre la infraestructura física y sobre los habitantes de la ciudad. (CAPRA). Al referirse a peligrosidad sísmica en un lugar en particular, se toma en cuenta la probabilidad de ocurrencia de un evento sísmico que pueda alterar el movimiento en el suelo.

Nicaragua se encuentra en una zona altamente sísmica, esto se debe a sus características geológicas; En dependencia de la ubicación de cada región se determina la peligrosidad sísmica, a lo cual se espera que en unas zonas sea más vulnerable a susceptibilidad de un sismo, que en otras zonas donde podrían ser imperceptibles o parcialmente nulos. A lo largo del pacífico de toda América, hay una zona de subducción, que concentra una de las regiones más sísmicas y volcánicas del mundo, a esta zona se le conoce como cinturón de fuego, en Nicaragua está presente con la cadena volcánica del pacífico, a como se puede observar en la figura 1, los volcanes se encuentran ubicados sobre una gran falla generada por la tectónica de placas, en la parte de Nicaragua se encuentra la placa Cocos, la cual subduce con la placa caribe, generando así este relieve o falla en donde se encuentran actualmente los volcanes.

Figura 1. Alineamiento de volcanes a lo largo del pacifico de Nicaragua.



Fuente: (Jardim de Carvalho Jr & Salmerón Muñoz, 2016)

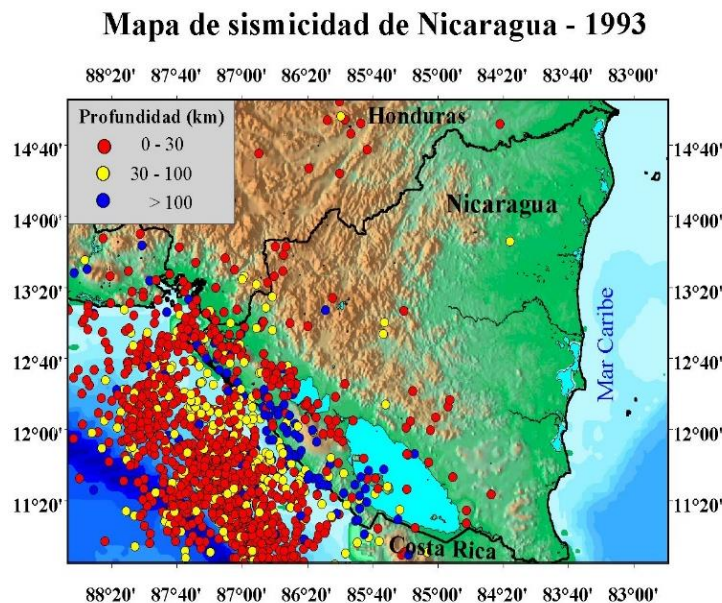
Figura 2. Alineamiento de volcanes activos y no activos del pacifico de Nicaragua



Fuente: INETER

Los volcanes San Cristóbal, Telica, Cerro Negro, Momotombo, Masaya, y Concepción son activos. Cosigüina, El Hoyo, Apoyeque, Laguna de Apoyo, Mombacho y Maderas son volcanes inactivos, y el volcán Isla Zapatera está extinto. Estas montañas tienen muchas formas diferentes. Algunas son muy altas y otras han destruido su cráter y ahora tienen la forma de un lago. (Mckee, 2017)

Figura 3. Sismos registrados en Managua y alrededores.



Fuente: INETER, Dirección General de Geofísica

En la figura 3 se puede apreciar la frecuencia de los eventos sísmicos según la zona donde se encuentren, los puntos rojos son los sismos más superficiales, entre 0 y 30 km de profundidad, los puntos amarillos representan los sismos que están entre 30 km y 100 km de profundidad, mientras que los puntos azules son los sismos cuyo epicentro se encuentra entre 100 km a más kilómetros de profundidad.

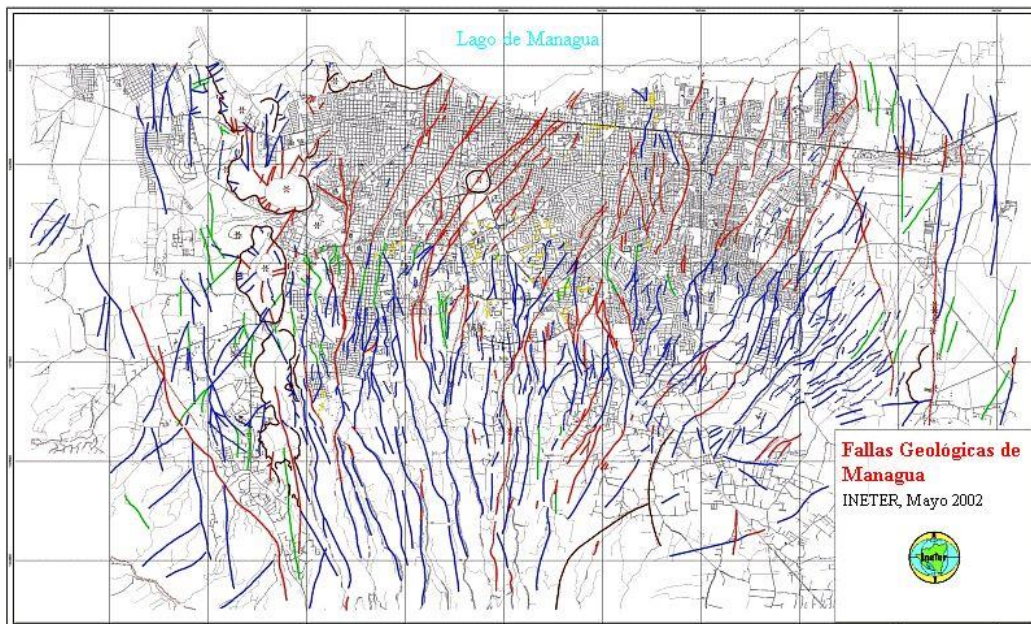
3.3. Fallas sísmicas en Managua

Managua no solamente está dentro de la región del pacífico de Nicaragua, sino que está dentro de la zona de graben, el cual contiene la cadena de volcanes, los grandes cuerpos de agua que son los lagos Cocibolca y Xolotlán, junto con todas las lagunas cratéricas.

La ubicación de las fallas geológicas en Managua fue determinada por estudios geológicos y geofísicos que se ejecutaron en las últimas décadas en Managua. En 2001-2002, INETER trabajó en un proyecto que recopiló toda la información existente y que definió más exactamente la trayectoria de las fallas. Un resultado del proyecto fue un Sistema de Información Geográfica (SIG) que presenta las fallas junto con otra información en forma digital.

Debido a las características geográficas y geológicas de Nicaragua, se tiene un territorio bastante accidentado y con un sinnúmero de fallas distribuidas a lo largo de la región del pacifico, pero aún más concentradas en la ciudad de Managua, esto es el resultado del movimiento de subducción de las placas Cocos con la Caribe.

Figura 4. Mapa de fallas sísmicas de Managua.



Fuente: (Strauch, Dévoli, & Donado, Actualización del mapa de Fallas geológicas de Managua, 2002)

3.4. Métodos de análisis

Se debe seleccionar el método de análisis adecuado para determinar la respuesta sísmica de la estructura en términos de: desplazamientos, deformaciones, fuerzas y solicitaciones sobre los elementos estructurales que se utilizarán para su diseño.

Ciertas estructuraciones, materiales o tecnologías requieren de análisis de distintos grados de complejidad. Típicamente, los análisis se pueden dividir principalmente en lineales elásticos o no lineales. En el caso de análisis lineales elásticos, se estudia la respuesta de la estructura ante demandas estáticas y/o dinámicas considerando solo las propiedades elásticas de los materiales y teoría de pequeñas deformaciones y desplazamientos. Por otro lado, en análisis no-lineales se estudia la respuesta de las estructuras ante demandas estáticas y/o dinámicas considerando el comportamiento debido a efectos de fluencia, fisuración, rotura y fatiga entre otros, así como consideraciones de grandes desplazamientos y/o grandes deformaciones, no-linealidad geométrica, lo cual

normalmente requiere algoritmos iterativos y de funciones que representen las leyes constitutivas complejas de los materiales.

3.4.1. Análisis lineal

En este tipo de análisis se consideran modelos con propiedades lineal elásticas para las secciones y materiales de las componentes de la estructura en otras palabras estos métodos de análisis lineales elásticos consideran una respuesta elástica del edificio lo cual se deben de ajustar a los valores de modificación de la respuesta R , las cuales deben ser definidas en base a un conjunto de suposiciones razonables y que sean congruentes a través del análisis.

Adicionalmente, en los análisis elásticos y lineales se utiliza un factor de reducción R , el cual se aplica a los esfuerzos obtenidos de estos es decir es el cociente de las fuerzas cortantes elásticas entre las de diseño, para incorporar los efectos de disipación de energía y no-linealidad que experimentará la estructura durante un evento sísmico.

Lo que nos define un método de análisis lineal es el crecimiento de forma paralela de una magnitud con respecto a otra, particularmente se definen con las magnitudes de las cargas y las respuestas que estas tengan, sin salir del grafico de la linealidad, por eso la complejidad de estos métodos.

Estos deben cumplir con un par de características para obtener resultados precisos, desde las consideraciones de la elasticidad del material, hasta las magnitudes de carga que se le puedan aplicar.

Para determinar la linealidad de un método, debe cumplir con un par de principios:

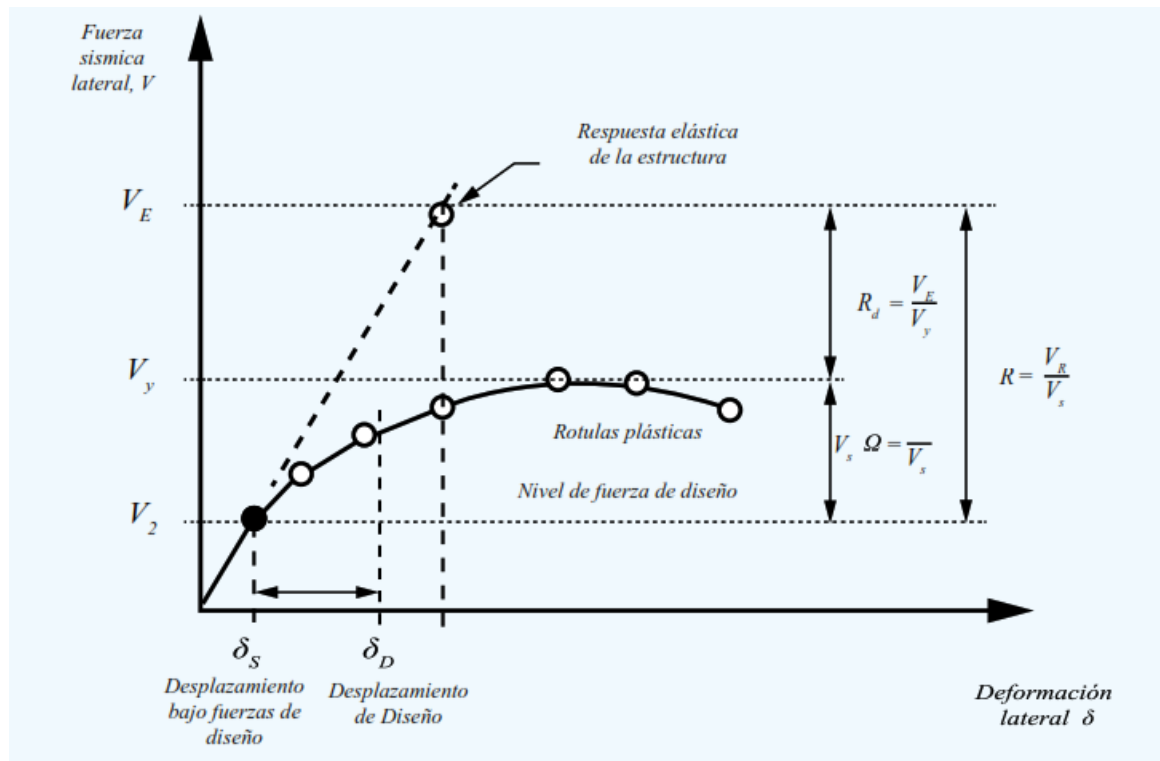
La forma ideal de introducir el comportamiento de los métodos lineales de análisis sea el de cargas estáticas o el de cargas dinámicas, es comprendiendo

el principio de la ley de Hooke (1678), el cual hace la observación de que el alargamiento (no excesivo) es proporcional a la fuerza que se le aplica.

Según (Serway & Jewett, 2015), la ley consiste en que la fuerza que se requiere para estirar o comprimir un resorte es proporcional a la cantidad de estiramiento o compresión x .

En la imagen se aprecia el concepto de cada uno de los parámetros de ajustes de la respuesta de la estructura.

Figura 5. Parámetros de ajuste de la respuesta de la estructura.



Fuente: Norma Sismorresistente para la ciudad de Managua 2022.

3.4.2. Análisis no lineal

Otra forma de análisis es el no lineal, el cual incursiona por fuera de los alcances que tiene el análisis lineal, es decir, cuando las secciones salen del rango elástico y entran en el rango plástico. El análisis no lineal puede realizarse para métodos estáticos y dinámicos.

3.5. NORMA SISMORRESISTENTE PARA LA CIUDAD DE MANAGUA (NSCM-2022)

El Reglamento de la Construcción que rige al territorio nacional data desde el 18 de mayo de 1983, tiempo después fue actualizado el 05 de marzo del año 2007 denominándolo Reglamento Nacional de la Construcción (RNC-07). Dado al avance de la Ingeniería Sismorresistente y de los nuevos métodos de diseño estructural obteniendo nueva información geofísica y geotécnica se hace necesaria actualizar el Reglamento vigente hace 14 años. El Ministerio de Transporte e Infraestructura, a través de la Dirección General de Normas de Construcción y Desarrollo Urbano mediante un proceso de retroalimentación ha realizado una actualización unificando todo el material obtenido que incluía talleres de consultas a profesionales de la ingeniería de las diferentes entidades públicas y privadas se creó la “Norma Sismorresistente para la ciudad de Managua”, que contiene todas las actualizaciones realizadas al reglamento anterior (RNC-07) y queda en plena vigencia su uso para el resto de los departamento del país.

La NORMA SISMORRESISTENTE PARA LA CIUDAD DE MANAGUA, es el producto de un profundo y amplio proceso de estudios de campo en 18 sitios de la ciudad, para calcular la aceleración del suelo y obtener un espectro de diseño seguro en la capital.

Quedan vigentes del RNC-07, hasta sus próximas actualizaciones, los títulos que incluyen: IV-NORMAS MÍNIMAS PARA DETERMINAR CARGAS DEBIDAS A VIENTO, VI-NORMAS MÍNIMAS GENERALES PARA MADERA y el ANEXO C REFRENTE A ISOTACAS DE VIENTO.

Se debe seleccionar el método de análisis adecuado para determinar la respuesta sísmica de la estructura en términos de: desplazamientos, deformaciones, fuerzas y sollicitaciones sobre los elementos estructurales que se utilizarán para su diseño.

3.5.1. Método de la fuerza lateral equivalente (FLE)

Método Estático Lineal (Método estático equivalente)

El método estático equivalente es una simplificación para el análisis de la fuerza sísmica que afecta la estructura al presentarse un sismo es decir que el método estático equivalente tiene como objeto la determinación de fuerzas laterales aplicadas en cada nivel del edificio; consistiendo en una fuerza lateral que se distribuye uniformemente en la altura de cada eje principal de las estructuras al ser diseñadas. El cortante basal es la fuerza total sísmica que se encuentra en la base de la estructura, el cual depende principalmente del coeficiente sísmico.

Las solicitaciones sísmicas se representan por medio de fuerzas horizontales actuando en cada piso, cuya amplitud se calcula con fórmulas que se ajustan a algunos parámetros de la estructura, tales como corte basal, momento basal, principal modo de vibración de la estructura, etc.

Este método se permite para el análisis de estructuras regulares, de baja altura y con limitaciones de importancia de la estructura. Se requiere la consideración de los efectos de torsión para la excentricidad accidental. Dependiendo de la clasificación estructural definida en la sección 5 de la NSCM 20222 (Clasificación de las estructuras y de la amenaza sísmica), varios factores pueden afectar la demanda sísmica, amplificando o reduciéndola por importancia, uso, regularidad y cualquier otro factor relevante.

Para la aplicación de este método, se tomará como base de la estructura el nivel a partir del cual sus desplazamientos con respecto al terreno circundante comienzan a hacer significativos.

a) *Limitación de uso*

El apartado 8.2.1.1 de la NSCM 2022 dice “Puede utilizarse el método estático FLE para el análisis de estructuras regulares, según se define en la sección 5, de altura no mayor a 12 m, y estructuras irregulares de no más de 6 m de altura. Para edificios ubicados en la Zona uno (Z1), los límites anteriores se amplían a 24 m y

12 m, respectivamente. El método estático de análisis no podrá usarse para estructuras clasificadas como tipo III y IV, o que tengan irregularidad extrema de acuerdo con la sección 5. Tampoco podrá usarse para establecer aceleraciones de piso en estructuras cuyos sistemas de piso no cumplan las condiciones de diafragma rígido. Además, no se podrá utilizar cuando el suelo es clasificado como tipo E.” (MTI, 2022)

El presente método tiene limitación con respecto a alturas porque en estructuras altas tiende a tener modos altos, subestimando el valor del cortante basal, teniendo problemas con la distribución de la fuerza sísmica. El método FLE puede ser utilizado para todas las zonas sísmicas del país y para estructuras clasificadas como tipo I y II con las limitaciones mencionadas.

b) Fuerza de corte basal

El cortante basal en una edificación es la acumulación progresiva de las fuerzas cortantes de cada piso, el cual se refleja en la base de este. Estos cortantes en cada piso no son más que la aplicación de la fuerza sísmica en un nivel determinado y que se va acumulando a medida que nos vamos acercando a la base.

El cálculo del cortante basal, permite determinar la fuerza lateral total como consecuencia de las fuerzas inercia que se induce a un sistema de n-grados de libertad, distribuyéndolo posteriormente a lo largo de las diferentes alturas de la estructura.

La ecuación para obtener el cortante basal está dada por:

$$V_b = C_s * W \quad (\text{Ec. 1})$$

En donde:

V_b = Fuerza cortante actuando a nivel de la base

C_s = Coeficiente sísmico, cuyo valor se calcula según la sección 8.2.1.3 de NSM

W = Peso sísmico efectivo, cuyo valor se calcula según la sección 9.6 de NSM

c) Coeficiente sísmico

Según la NORMA SISMORRESISTENTE PARA LA CIUDAD DE MANAGUA, se puede obtener el valor de C_s con las siguientes ecuaciones según el periodo fundamental de vibración:

$$C_s = \frac{\beta A_0}{R_o} \quad 0 \leq T \leq FS_{TC} * T_c \quad (Ec. 2)$$

$$C_s = \frac{\beta * A_0}{R_o} * \left(\frac{F_s * T_c}{T} \right)^p \quad FS_{TC} * T_c \leq T \leq T_d \quad (Ec. 3)$$

$$C_s = \frac{\beta * A_0}{R_o} * \left(\frac{FS_{TC} * T_c}{T} \right)^p * \left(\frac{T_d}{T} \right)^q \quad T_d \leq T \quad (Ec. 4)$$

Donde:

$$A_0 = a_0 F_{as} I \quad (Ec. 5)$$

$$\beta = 2$$

$$T_b = 0.05 \text{ seg}$$

$$p = 0.8$$

$$T_c = 0.3 \text{ seg}$$

$$q = 2$$

$$T_d = 2 \text{ seg}$$

A_0 = Valor de la aceleración del terreno con la influencia del suelo y la importancia de la estructura

a_0 = Aceleración de terreno en roca para periodo 0

F_{as} = Factor de amplificación vertical por el tipo de suelo

I = Índice de importancia

β = Coeficiente de aceleración a (Meseta)/ a_0

R_o = Factor de comportamiento sísmico del sistema estructural

F_s = Factor de ajuste espectral para T_b y T_c (FS_{Tb} , FS_{Tc} ajustan la meseta del espectro)

T = Periodo fundamental de la estructura

T_b = Período de inicio de la meseta, aceleración constante

T_c = Período inicial del espectro en la rama de velocidad constante

T_d = Período inicial del espectro en la rama de desplazamiento constante

p = Constante exponencial de ajuste espectral

q = Constante exponencial de ajuste espectral

Tabla 1. Factores de amplificación vertical por tipo de suelo F_{as}

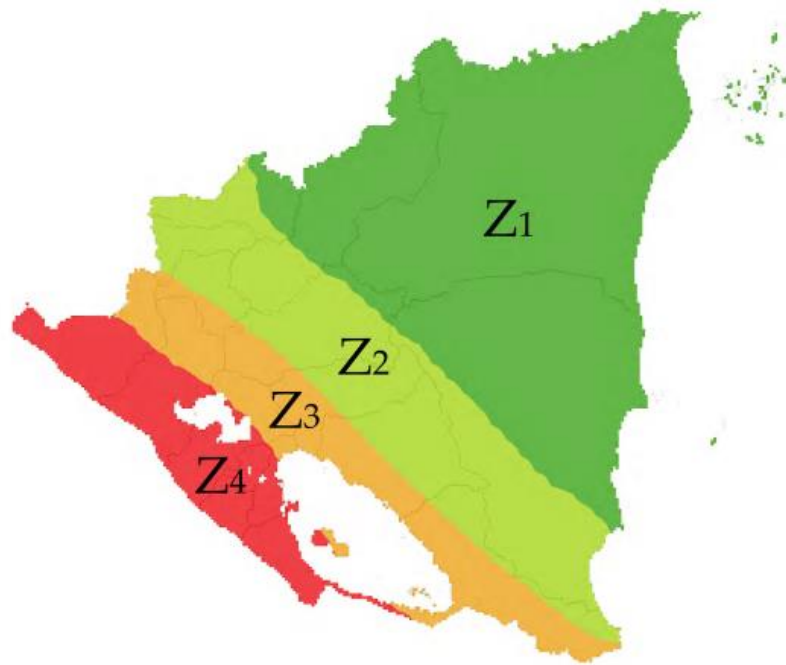
Zona Sísmica	Tipo de Suelo				
	A	B	C	D	E
Z_1	0.8	1	1.4	1.7	2.2
Z_2	0.8	1	1.4	1.6	2.0
Z_3	0.8	1	1.4	1.5	ver nota
Z_4	0.8	1	1.3	1.4	ver nota

Fuente: Norma Sismorresistente para la ciudad de Managua 2022.

Nota: clasificación de tipo de suelo E, deberá de realizarse un estudio de respuesta sísmica de sitio ver sección 13.5, para estimar la amplificación del suelo, determinando la función de transferencia. Para las Z_1 y Z_2 podrá usarse dichos valores, pero queda a disposición del ingeniero geotécnico y estructural. Esta norma considera obligatorio realizar el estudio mencionado siempre que sea necesario. Fuente: (MTI, 2022)

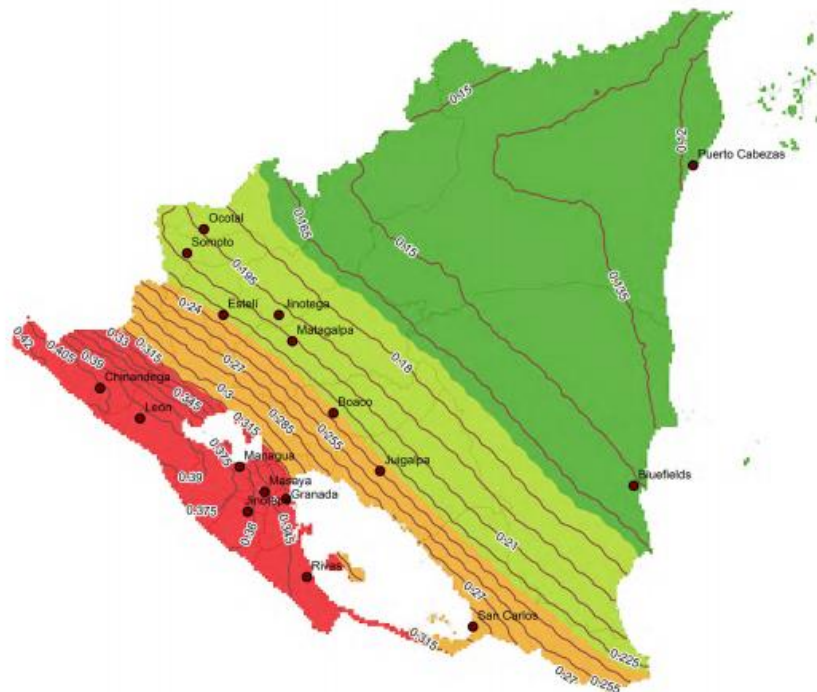
La zona sísmica se divide en 4, a como se puede apreciar en la figura 6, este mapa conserva similitudes con el anterior reglamento; la Zona 1 con la zona A son las mismas, la variación se presenta con las zonas B y C, que tienen menor área tras la inclusión de la zona 3 en el nuevo mapa de zonificación sísmica.

Figura 6. Nuevo mapa de zonificación sísmica para Nicaragua



Fuente: Norma Sismorresistente para la ciudad de Managua 2022.

Figura 7. Mapa de aceleraciones para Nicaragua (a0).



Fuente: Norma Sismorresistente para la ciudad de Managua 2022.

La ecuación del coeficiente sísmico mínimo está dada por:

$$C_{S_min} = FS_{T_c} * \beta * \frac{A_o}{R_o} \quad (\text{Ec. 6})$$

Lo antes mencionado con respecto al cálculo del coeficiente sísmico mínimo dice lo siguiente: “El valor de coeficiente mínimo de esta norma está basado en la ecuación 12.8-6 de la norma ASCE7-16, el cual aplica para sitios con fallas sísmicas cercanas, donde el efecto de tipo pulso generado por el fallamiento, puede incrementar la demanda en periodos largos. Para esto se propuso el periodo $T = 2s$. En esta propuesta se consultó la publicación del paper Adjustment of minimum seismic shear coefficient considering site effects for long-period structures. (insheng Guan, Hongbiao Du, Jie Cui, Qingli Zeng and Haibo Jiang).” (MTI, 2022)

d) Cargas variables unitarias mínimas

Las normativas de referencia para la asignación de las cargas variables unitarias mínimas son mencionadas en el capítulo 4 de la NSCM-2022, son:

Comité ISO TC98 / SC3, Cargas, fuerzas y otras acciones.

- **ISO 3010-17**, Bases para el diseño de estructuras – Acción sísmica en estructuras.
- **ISO 23469-05**, Bases para el diseño de estructuras – Acción sísmica para el diseño de obras geotécnicas.
- **ISO 2103-86**, Cargas por uso y ocupación en edificios residenciales y públicos.

Se considerarán cargas variables las fuerzas que se producen por el uso y ocupación de las edificaciones y que no tienen carácter permanente. Deberán ser consideradas en el diseño las cargas variables más altas que probablemente ocurran, pero en ningún caso menores que las cargas variables uniformemente distribuidas listadas en la Tabla 7.1.1 de la NSCM-2022. En el caso de las cargas variables que no estén contempladas en esta tabla será responsabilidad del

ingeniero diseñador fijar un valor y documentarlo correctamente en la memoria de cálculo.

En el capítulo 7 de la NSCM-2022, donde se hace mención de las cargas y sus respectivas combinaciones, se especifican más parámetros que en el anterior reglamento solo quedan mencionados, sin embargo, la tabla de cargas variables unitarias mínimas, conserva los mismos valores para cada tipo de ocupación, a excepción de Bodegas pesadas, pasa de tener 650 kgf/m^2 a tener una carga de 1000 kgf/m^2 y las marquesinas que pasaron de tener como carga mínima 400 kgf/m^2 en el RNC-07 a 500 kgf/m^2 en la norma vigente.

Las cargas especificadas no incluyen el peso de muros divisorios de ningún tipo como mampostería o de otros materiales, ni el de muebles, equipos u objetos de peso fuera de lo común, como cajas fuertes de gran tamaño, archivos importantes, libreros pesados o cortinajes en salas de espectáculos. Cuando se prevean tales cargas deberán cuantificarse y tomarse en cuenta en el diseño en forma independiente de la carga variable especificada considerándola cargas permanentes adicionales. Los valores adoptados deberán justificarse en la memoria de cálculo e indicarse en los planos estructurales.

Tabla 2. Actualización de cargas variables unitarias mínimas.

Tabla 7.1.1 Cargas Variables Unitarias Mínimas kg/m²

DESTINO	MÁXIMO (CV)	NOTAS
Residencial (casas, apartamentos, cuartos de hoteles, internados de escuelas, cuarteles, cárceles, correccionales)	200	(1)
Salones de clase: Escuelas primarias, Preescolares	250	
Secundaria y universidad	250	
Hospitales (salas y cuartos), Asilos, Centros de Salud y Clínicas	200	
Salas de Operación	400	
Oficinas: Despachos	250	(2)
Salas de Archivo	500	
Bibliotecas: Salones de Lectura	300	
Salón de Libros	600	
Lugares de Reunión: Salones de Baile, gimnasios, restaurantes, museos y Salas de juegos	400	
Auditorios, Cines, Templos: Sillas Fijas	350	
Sillas móviles	500	
Teatros: Vestíbulos	200	
Piso del escenario	700	
Graderías y tribunas	500	
Lugares de Comunicación para peatones (Pasillos, escaleras, rampas de parqueo y pasajes de acceso libre al público);	500	(1)
Estadios y lugares para espectáculo provisto de gradas (desprovisto de bancas o butacas)	500	
Laboratorios	250	
Comercio: Ligero	350	(2)
Semipesado	450	(2)
Pesado	550	(2)
Fábrica y Talleres: Ligero	400	(2)
Semipesado	500	(2)
Pesado	700	(2)
Bodegas: Ligero	450	(2)
Semipesado	650	(2)
Pesado	1,000	(2)
Techos de losas con pendiente no mayor de 5%	100	(3)
Techos de losas con pendiente mayor de 5%	50	(3)
Garajes y estacionamientos (para automóviles exclusivamente, altura controlada a 2.40 m)	250	(4)
Andamios temporales para la construcción	150	(5)
Marquesinas, balcones y similares	500	

Fuente: Norma Sismorresistente para la ciudad de Managua (2022).

e) Reducción de carga viva

La característica presente en NSCM-2022, con respecto a la obtención del peso sísmico, se refleja en el cambio de lo que anteriormente estaba en un valor de “CVR” ya asignado, ahora debe ser calculado manualmente según la reducción que se le deba asignar.

En los comentarios se encuentran los nuevos parámetros de revisión para la aplicación adecuada de la carga viva reducida para tributación en columnas y vigas.

f) Peso sísmico

El peso sísmico efectivo de la estructura (W) será el que resulte de la superposición de las cargas permanentes más una fracción de las cargas variables que contribuyan a la respuesta sísmica de la estructura. (MTI, 2022)

En el apartado 9.6. de la nueva norma dice lo siguiente:

Independientemente del método de análisis que se use, el peso sísmico efectivo a utilizarse será:

- Caso general:

$$W = CM + 0.15 * CV \quad (\text{Ec.7})$$

- Casos especiales: Bodegas, parqueos y almacenaje

$$W = CM + 0.3 * CV \quad (\text{Ec.8})$$

Donde:

CM : Carga muerta total de la estructura, incluye su peso propio de los elementos estructurales y no estructurales, así como los equipos que estén fijos o bien adheridos a la estructura de tal manera que influyan en su respuesta sísmica.

CV : Carga variable según la Tabla 7.1.1 de la NSCM-2022 que está en función del uso y destino de la edificación.

3.5.2. Método dinámico modal espectral

Con el paso del tiempo, ha existido la necesidad de construir edificios cada vez más altos y esbeltos. Los proyectos arquitectónicos han aumentado las irregularidades estructurales, por tal motivo los métodos simplificado y estático no representan con suficiente aproximación el comportamiento real de las estructuras sujeta a la acción de los sismos. El análisis dinámico da una mejor aproximación del comportamiento real de las estructuras, pues incorpora información ignorada o indirectamente considerada en el análisis estático. La diferencia entre el método estático y el dinámico consiste en la manera de considerar el posible comportamiento inelástico y la forma en que se define la excitación sísmica de diseño.

El método modal espectral toma en cuenta las propiedades dinámicas de la estructura, tales como su forma de vibrar y la contribución de cada modo en la respuesta. Esto con la finalidad de reproducir con mayor aproximación el comportamiento estructural real ante acciones sísmicas. Este análisis sísmico se utiliza cuando la importancia de la estructura lo amerita o si no se cumplen las condiciones de los métodos simplificado y estático.

Este método usualmente utilizado para fines sismorresistentes, el cual consiste en determinar todas las posibles respuestas que pueda tener una estructura a partir de sus deformadas y sus respectivas frecuencias. Las respuestas modales pico son calculadas usando las ordenadas de la curva del espectro de respuesta apropiado que correspondan a los periodos modales.

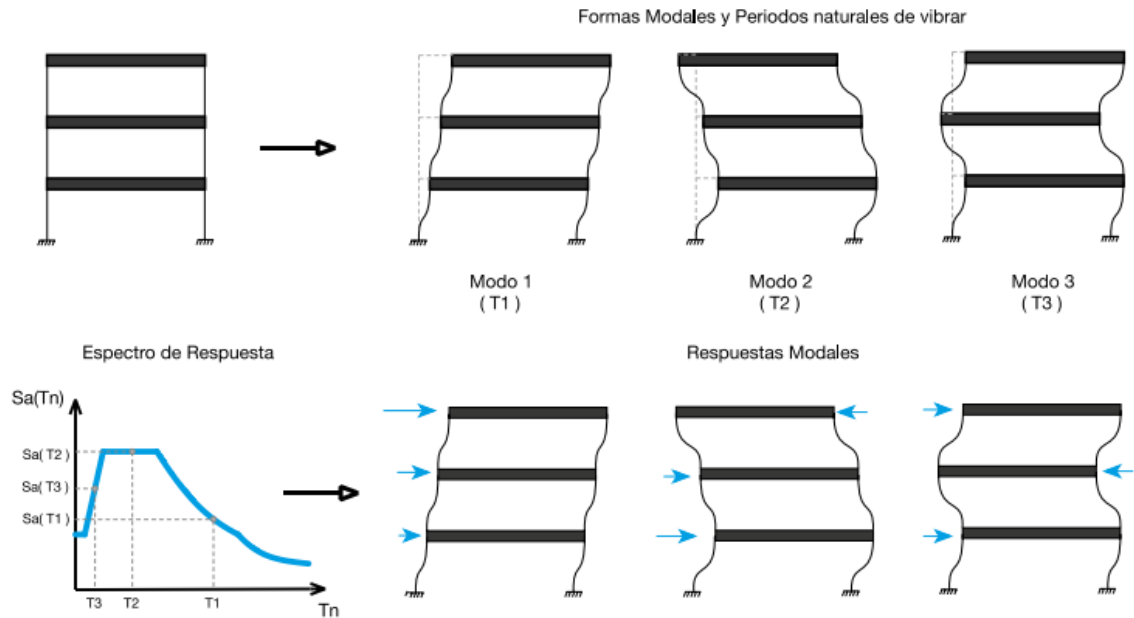
Luego, la respuesta final será el producto de la combinación de todas las respuestas (combinación modal) a través de una especie de promedio ponderado (cada modo posee un factor de participación que dependerá de las masas y dirección del sismo). Para determinar las fuerzas definitivas de diseño, se calculan las fuerzas para cada modo y se realiza una combinación modal para obtener las máximas probables.

El método modal espectral, en síntesis, toma en cuenta las propiedades dinámicas de la estructura, tales como su forma de vibrar y la contribución de cada modo en la respuesta, esto con la finalidad de reproducir con mayor aproximación el comportamiento estructural real ante acciones sísmicas. Con dicho método se obtiene la respuesta máxima por separado para cada modo al modelar cada uno de ellos como un sistema de simple grado de libertad. Debido a que los valores máximos no pueden ocurrir simultáneamente, estos valores son combinados estadísticamente para obtener la respuesta total. El análisis modal puede ser enfocado mediante métodos matriciales, numéricos o métodos iterativos.

En este análisis la respuesta dinámica de una estructura de n grados de libertad acoplados ante cargas sísmicas, es representada por la respuesta de n osciladores de un grado de libertad, caracterizados cada uno de estos por una forma modal y un periodo de vibrar.

Para cada uno de estos osciladores se determinan las máximas respuestas modales ante la carga sísmica de acuerdo con un espectro de respuesta, los que posteriormente se combinan para determinar la respuesta dinámica de la estructura. Estas metodologías de combinación generan la pérdida de los signos en los esfuerzos y desplazamientos, por lo que cualquier operación matemática entre éstos (por ejemplo, restar los desplazamientos de entrepiso para obtener la deriva) debe ser realizada modal y posteriormente combinado con CQC u otro método, no sobre los valores ya combinados.

Figura 8. Modos de vibración para análisis DME.



Fuente: Norma Sismorresistente para la ciudad de Managua (2022).

Es un análisis que utiliza la respuesta dinámica de los picos de todos los modos que aporten una contribución significativa a la respuesta estructural del edificio. Las respuestas modales se calculan usando las ordenadas del espectro de respuesta correspondiente a los periodos modales.

El análisis modal espectral (o método de la respuesta espectral) es un método ventajoso para estimar los desplazamientos y fuerzas en los elementos de un sistema estructural. El método implica el cálculo solamente de los valores máximos de los desplazamientos - y las aceleraciones - en cada modo usando un espectro de diseño, el mismo que representa el promedio o la envolvente de espectros de respuesta para diversos sismos, con algunas consideraciones adicionales expuestas en los códigos de diseño. Luego se combinan estos valores máximos, por ejemplo, mediante un promedio ponderado entre la media y la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de tales valores máximos; otro método es el de la combinación cuadrática completa (método CQC), que considera además

una correlación entre los valores modales máximos. De este modo, se obtienen los valores más probables de desplazamientos y fuerzas. (CISMID; FIC; UNI, s.a.)

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = f \quad (\text{Ec. 9})$$

Donde:

u = Es el vector respuesta d desplazamiento de la estructura. Se denomina como simplificación de $u(t)$

m = Es la matriz de masas de la estructura

k = Es la matriz de rigidez de la estructura

f = Es el vector de las fuerzas actuantes. Se denota como F por simplificación de $-m\ddot{u}_g(t)$

c = Es la matriz de Amortiguamiento de la estructura

La fuerza sísmica $-M\ddot{u}_g(t)$ está definida por $s = m\iota$ y ι es el vector de arrastre. Esta distribución de fuerzas puede expandirse como la sumatoria de las distribuciones de fuerzas inercial modal s_n

$$m\iota = \sum_1^N s_n = \sum_1^N \Gamma_n m \phi_n \quad (\text{Ec. 10})$$

Los desplazamientos u de un sistema con N grados de libertad pueden expresarse como superposición de las contribuciones modales.

$$u(t) = \sum_{n=1}^N \phi_n q_n(t) \quad (\text{Ec. 11})$$

Donde:

ϕ_n = vector n – esimo modo de vibración normalizado

$q_n(t)$ = expansión modal del modo n de vibrar

Para la determinación de los modos de vibración Φ , es mediante la resolución de los autos vectores y auto valores al imponer la siguiente condición:

$$|k - \omega^2 \cdot m| = 0 \quad (\text{Ec.12})$$

Luego se realiza un cambio de base a los modos de vibración, consiste en sustituir desplazamiento u , velocidad $\dot{u}$ y aceleración $\ddot{u}$

$$u = \Phi q_n; \dot{u} = \Phi \dot{q}_n; \ddot{u} = \Phi \ddot{q}_n \quad (\text{Ec.13})$$

Sustituyendo en la ecuación de equilibrio dinámico que rige las estructuras, incluyendo el coeficiente Γ_n queda

$$\ddot{q}_n + 2\zeta_n \omega_n \dot{q}_n + \omega_n^2 q_n = -\Gamma_n \ddot{u}_g \quad (\text{Ec.14})$$

En donde

$$\zeta_n = \frac{c}{2m\omega_n} = \text{Amortiguamiento en el } n \text{ modo de vibrar}$$

$$\omega_n^2 = \frac{k}{m} = \text{Frecuencia angular del sistema del } n \text{ modo de vibrar}$$

El coeficiente o factor de participación modal Γ_n se define por:

$$\Gamma_n = \frac{\phi_n^T m u}{\phi_n^T m \phi_n} \quad (\text{Ec.15})$$

Para resolver la ecuación diferencial se obtiene a partir de los espectros de respuestas reducidos, obteniéndose de esta manera una aproximación a la respuesta máxima $x_{m\acute{a}x}$ en cada modo, para ellos se calcula el periodo natural de cada modo de vibración $T_n = \frac{2\pi}{\omega_n}$, así se puede determinar la aceleración para cada periodo $A_n(T_n)$. La cual se divide por la frecuencia propia al cuadrado ω_n^2 para obtener el desplazamiento espectral $D_n(T_n)$ y luego tener las contribuciones del n-ésimo modo de los desplazamientos modales $u_n = \Gamma_n \phi_n D_n$. En el análisis sísmico se recomienda que el cálculo de las fuerzas sea por un procedimiento estático. (Chopra A. K., 2014)

Las fuerzas estáticas equivalentes asociadas con la respuesta del n-ésimo modo son:

$$f_n = k u_n \quad (\text{Ec.16})$$

Que se puede reescribir de forma matricial como indica Chopra (2014)

$$f_n = s_n A_n \quad (\text{Ec.17})$$

Idénticamente a como lo expresa el Arto 33 del RNC-07 de forma lineal

$$S_m = \frac{A_m}{g} \bar{\alpha}_m \sum_1^n W_i \quad (\text{Ec.18})$$

Siendo

$$\bar{\alpha}_m = \frac{(\sum_1^n W_i \phi_{im})^2}{\sum_1^n W_i \phi_{im}^2} * \frac{1}{\sum_1^n W_i} \quad (\text{Ec.19})$$

Donde

$\bar{\alpha}_m$ = Factor de participación modal en el modo m

ϕ_{im} = Amplitud normalizada en el piso i en el modo m

W_i = Peso del piso i , considerando (Carga Muerta + Carga viva reducida)

A_m = Aceleración espectral reducida correspondiente al modo de vibración m

Según el RNC-07, las respuestas modales se calculan a través del método SRSS

$$Y_T = \sqrt{\sum Y_i^2} \quad (\text{Ec.20})$$

En donde Y_T puede ser fuerza cortante, desplazamiento lateral, momento de volteo, u otras. Siempre y cuando los periodos de los modos naturales en cuestión difieran al menos diez por ciento entre sí.

IV. DISEÑO METODOLÓGICO

4.1. Diseño de la investigación

Según Arias (2006), el diseño de investigación es la estrategia general que se adopta para responder al problema planteado en atención al diseño, la investigación se puede clasificar en documental, de campo y experimental.

El diseño documental se basa en la búsqueda, recolección, análisis, crítica e interpretación de datos secundarios, es decir, los obtenidos y registrados por otros investigadores en fuentes documentales impresas, audiovisuales o electrónicas.

El propósito de este diseño es el aporte de nuevos conocimientos. (Arias, 2006) Por tanto, el diseño de investigación empleado en la presente tesis es documental de tipo bibliográfica y audiovisual, porque se hará uso de la lectura y consulta de libros, tesis, manuales, normativas, así como la revisión de clases magistrales grabadas en video y material audiovisual, para recolectar información la que posteriormente será analizada.

4.2. Limitantes de trabajo

- Se asumirá el tipo de suelo y no se tomará en cuenta la interacción suelo-estructura (ISE).
- Al ser un modelo idealizado, no se presentan planos arquitectónicos, por lo cual las cargas estructurales se aplicarán sobre todo el entrepiso, sin considerar huecos para ascensores y/o escaleras.

4.3. Procedimiento de la investigación

Para el desarrollo del presente trabajo monográfico se plantean los procedimientos a ejecutarse divididos en 3 principales etapas: Fase conceptual, Fase numérica y Fase de evaluación.

4.3.1. Fase conceptual

Para realizar un análisis evaluativo, cuyos factores y ecuaciones tienen variaciones entre sí, es necesario conocer la conceptualización de cada uno de ellos, sus funciones, su comportamiento y evidentemente su respectivo análisis de resultados, para esto, se necesita tomar varias fuentes bibliográficas sobre ingeniería sismorresistente y algún otro reglamento externo al nuestro, para ver las diferentes metodologías de aplicación para métodos lineales.

La parte conceptual es la base de esta tesis, todo lo que involucra a cálculos y análisis es meramente teórico, por lo que es preciso que se fundamente bien todo lo relacionado a ingeniería sismorresistente.

El edificio propuesto será ubicado en la ciudad de Managua. Las restricciones de la aplicabilidad de los métodos se deben tomar en cuenta los cambios que compete la nueva norma NSCM 2022, desde la zonificación, valores de aceleración de suelo, nuevos factores aceleraciones verticales, consideraciones para el cálculo de espectro de diseño, obtención de factores según la ductilidad de los sistemas que se plantean, ecuaciones, entre otros.

4.3.2. Fase numérica

La fase numérica inicia por el modelado en ETABS de las estructuras, con el fin de observar los diferentes resultados que pueden tener el edificio en base a los parámetros de respuesta estructural que plantea la normativa NSCM 2022.

Para obtener estos parámetros de respuesta, se realiza lo siguiente:

1. Proponer las ocupaciones y cargas de accesorios del modelo (Revisar tablas de NSCM-2022).
2. Calcular el coeficiente sísmico y el método de fuerza lateral equivalente (NSCM-2022).

3. Aplicar el método dinámico modal espectral a los modelos según NSCM2022.
4. Se utilizará el Software ETABS, en la versión más actual para modelación y análisis de la edificación.

4.3.3. Fase de evaluación

Habiendo terminado los modelos, se procede a realizar la evaluación de los resultados obtenidos.

La idealización del modelo permite determinar los parámetros de respuesta, estos considerando fuerza sísmica, cortante lateral, cortante basal, desplazamientos, derivas y distorsiones.

Finalmente se sacan conclusiones sobre los resultados obtenidos basados en los parámetros planteados como aceptables según NSCM 2022.

4.4. Técnica de recolección de datos

Se plantea como técnica de recolección de datos el análisis documental y el análisis de contenido.

Debido a la naturaleza de este tipo de investigación a emplearse y la técnica a utilizar el instrumento de recolección de datos.

La fuente principal de obtención de datos es la Nueva Norma de diseño sismorresistente para la ciudad de Managua, aprobada en junio del 2022, en este reglamento se encuentra todo el procedimiento necesario para realizar los análisis lineales propuestos.

V. DESARROLLO DEL DISEÑO METODOLÓGICO

5.1. Método de la fuerza lateral equivalente

En el presente estudio para determinar los parámetros respuesta sísmica teniendo en cuenta que es un edificio de 3 plantas que presenta las siguientes características:

5.1.1. Características del edificio.

La edificación es de sistema estructural de pórticos especiales resistentes a momento (SMF), en ambas direcciones contando 21 m en dirección X y 17.60 m en dirección Y, teniendo un área de 369.60 m² por cada planta con una altura máxima de piso de 4 m a los cuales se les pretende dar uso de oficinas, el edificio está ubicado en Managua centro por lo cual se considera un tipo de suelo tipo C, utilizando acero estructural A992 de $F_y=50$ KSI y columnas y vigas de perfilera W.

Tabla 3. Características del edificio.

Sistema estructural	Pórticos especiales resistentes a momentos (SMF)
Dirección X	21 m
Dirección Y	17.60 m
Área	369.60m ²
Altura primer nivel	4.00 m
Altura segundo nivel	7.65 m
Altura tercer nivel	11.30 m
Oficinas Managua	Suelo tipo C
Acero estructural A992	$F_y=50$ KSI

Fuente: Elaboración propia

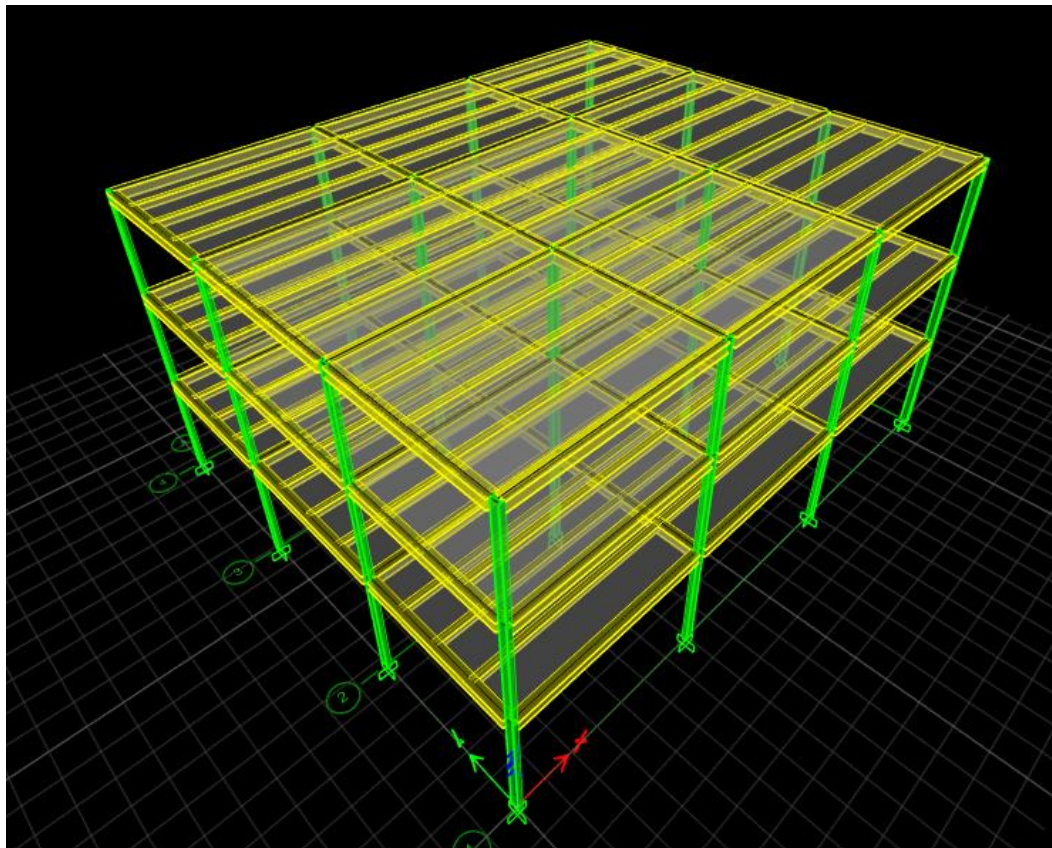
5.1.2. Secciones geométricas

Tabla 4. Secciones geométricas.

Descripción	Sección	Acero estructural
Columnas	W14X132	ASTM A992
Vigas principales	W21X50	ASTM A992
Vigas secundarias	W8X31	ASTM A992

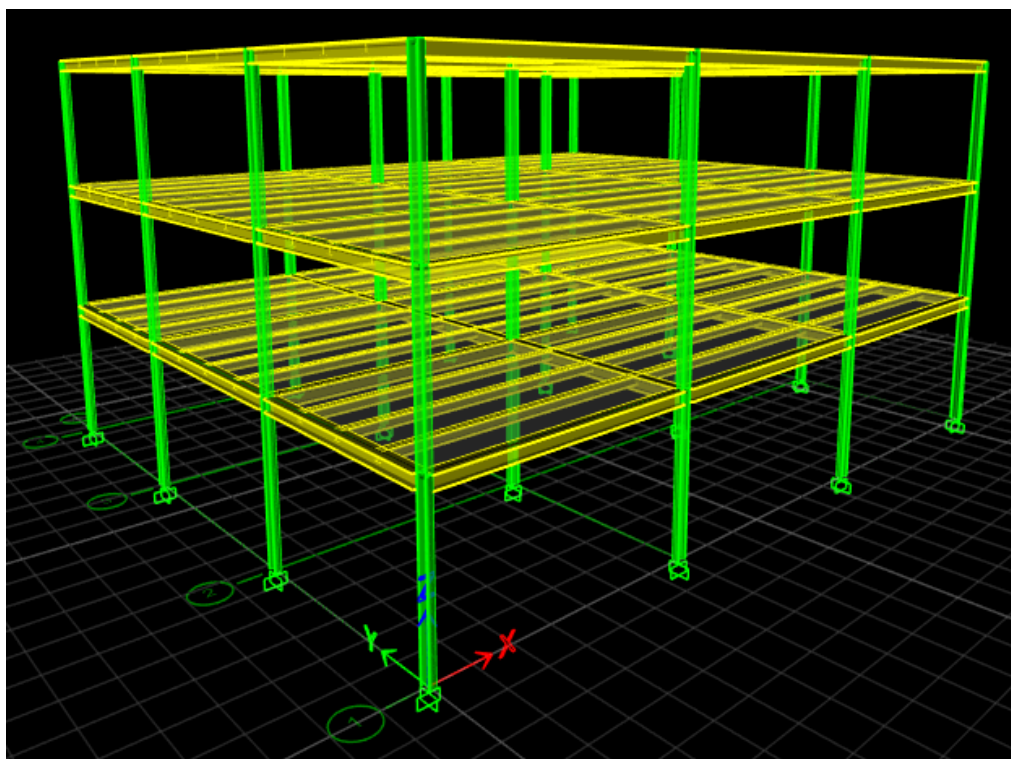
Fuente: Elaboración propia

Figura 9. Isométrico del edificio de acero.



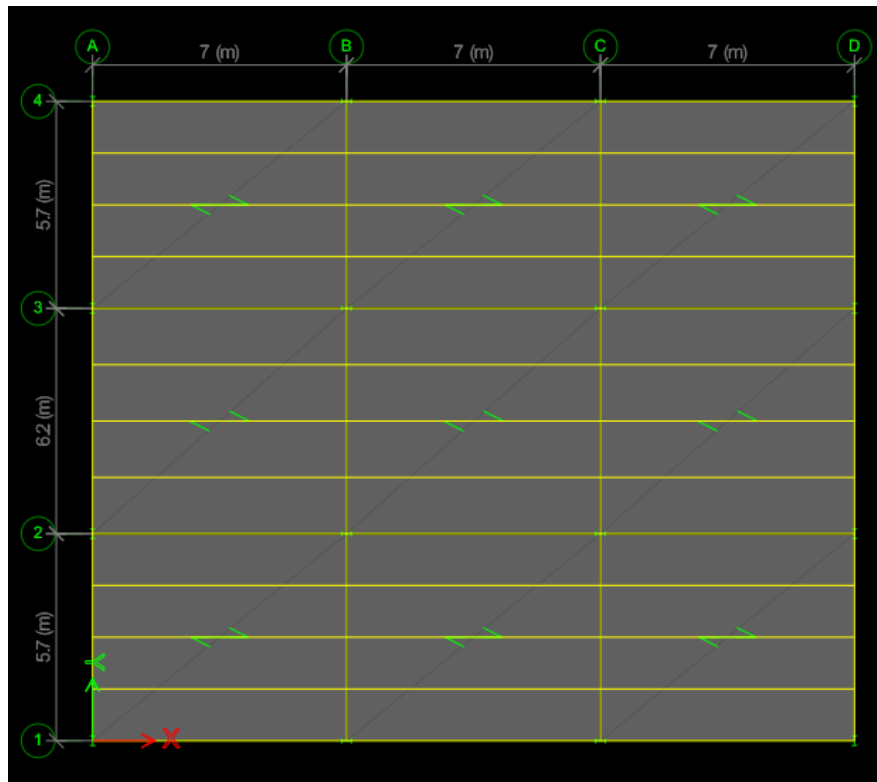
Fuente: Extraída del programa ETABS.

Figura 10. Isométrico del edificio de acero.



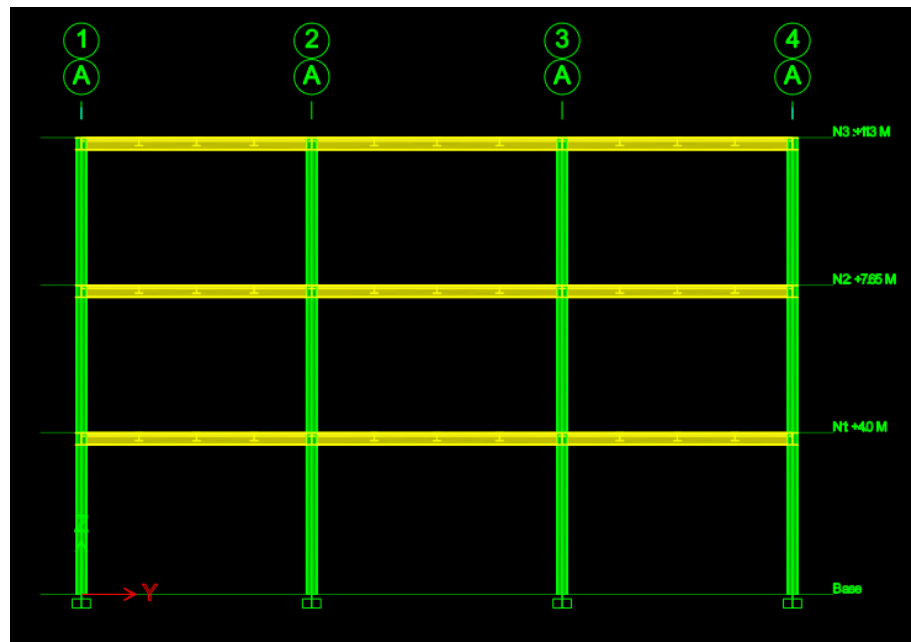
Fuente: Extraída del programa ETABS.

Figura 11. Vista en planta del edificio de acero.



Fuente: Extraída del programa ETABS.

Figura 12. Vista en elevación del edificio de acero.



Fuente: Extraída del programa ETABS.

5.2. Definiciones básicas para el análisis sísmico

Para el análisis de la estructura se utilizan diversos parámetros definiendo a continuación:

5.2.1. Determinación del espectro de diseño

Haciendo uso de la NSCM-2022, identificamos todos los elementos necesarios para la determinación del espectro de diseño.

a) *Clasificación por grupo de importancia*

El uso que se le dará a la estructura en estudio es para oficinas. Lo cual nos indica la NSCM-2022 en la Tabla 5.2.2.- Categoría de riesgo de las estructuras según su grupo de importancia, que pertenece a la categoría *II* y es una Estructura de ocupación normal, debido a que la estructura no albergara más de quinientas personas y no tiene un área de construcción mayor de diez mil metros cuadrados.

Tabla 5. Clasificación de la estructura por grupo de importancia.

Grupo de Importancia	Categoría de Riesgo	Ejemplos
Estructuras de ocupación normal	II	Estructuras comunes de ocupación normal. Estructuras de la categoría III que no cumplan con la condición de albergar más de 500 personas, más de 10 pisos, con área de construcción mayor a 10,000 m², proyectos con un número mayor de 10 edificios y/o más de 50 unidades de vivienda unifamiliar o bifamiliar. En general por defecto, cualquier estructura que no pertenezca a las categorías III, y IV o estructura de la categoría I que pueda poner en peligro a estructuras de este grupo.

Fuente: Norma Sismorresistente para la ciudad de Managua 2022.

Tabla 6. Sismo de diseño según categoría de riesgo.

Tabla 5.1.1 - Sismo de diseño según categoría de riesgo

Grupo de Importancia	Categoría de Riesgo	Sismo de diseño
Estructuras no destinadas a habitación	I	Sismo de servicio.
Estructuras de ocupación normal	II	Sismo de diseño
Estructuras de ocupación especial	III	Sismo extremo I.
Estructuras esenciales	IV	Sismo extremo II.

Fuente: Norma Sismorresistente para la ciudad de Managua 2022.

La estructura se clasificó en el grupo de importancia que se estableció en la tabla anterior número cinco, con una Categoría de Riesgo *II*, la cual se encuentra directamente relacionada al Sismo de diseño que se extrae de la Tabla 5.1.1 de la NSCM-2022.

Grupo de Importancia:	Estructuras de ocupación normal
Categoría de Riesgo:	II
Sismo de diseño:	Sismo de diseño

b) Factor de importancia

Se asignará un Factor de Importancia de acuerdo con la categoría de riesgo. Su valor será el indicado en la Tabla 5.2.1 de la NSCM-2022. El propósito del factor de importancia *I* es ajustar la demanda sísmica de diseño a la probabilidad de no excedencia del grupo de importancia asignado a dicha estructura.

La intención de la aplicación de un factor de importancia diferente de la unidad es la de especificar movimientos sísmicos asociados a una probabilidad de excedencia que se corresponda con un riesgo apropiado al grupo de importancia en cuestión.

Tabla 7. Factor de importancia (I).

Categoría de riesgo	I
I	0.75
II	1.0
III	1.3
IV	1.65

Fuente: Norma Sismorresistente para la ciudad de Managua 2022.

Factor de importancia:

$$I = 1.0$$

c) Clasificación por irregularidad

La irregularidad estructural puede alterar significativamente el desempeño de una estructura durante un sismo debido a que la incursión inelástica de la estructura no se distribuye de manera completa si no concentrada en ciertos puntos de esta, además algunas irregularidades pueden introducir demandas no anticipadas que pueden no ser consideradas adecuadamente por el diseñador estructural.

Las estructuras deberán clasificarse como regulares o irregulares en cada una de sus direcciones de análisis, basados en criterios de su configuración estructural.

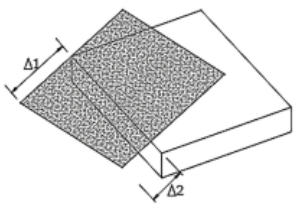
El factor de regularidad tanto en planta como en elevación, incrementan el valor del cortante de diseño, con la intención de proveer de mayor resistencia a la estructura, pero no evita el posible comportamiento sísmico deficiente de la edificación. Por tanto, es recomendable evitar al máximo la presencia de las irregulares.

Construcción regular: Se considera cuando no se presenta ninguna de las irregularidades descritas en las secciones 5.4.1 y 5.4.2 de la NSCM 2022, en cuyo caso los coeficientes de regularidad toman el valor de la unidad. $\phi_P = \phi_E = 1.$, de tal manera que pueda utilizarse el mínimo valor para la obtención de la regularidad en la estructura.

Análisis de irregularidad del edificio en estudio de acuerdo con Sección: 5.4.1-Factores de irregularidades en planta.

Tipo 1: Irregularidad torsional

Figura 13. Irregularidad en planta Tipo 1 Irregularidad torsional.

Tipo 1 – Irregularidad torsional $\phi_{Pi} = 0.9$ $\Delta > 1.2 * \left(\frac{\Delta_1 + \Delta_2}{2}\right)$ Existe irregularidad por torsión, cuando la máxima deriva de piso de un extremo de la estructura calculada incluyendo la torsión accidental y medida perpendicularmente a un eje determinado, es mayor que 1,2 veces la deriva promedio de los extremos de la estructura con respecto al mismo eje de referencia. La torsión accidental se define en la sección 9.6 de la presente norma.	
--	--

Fuente: Norma Sismorresistente para la ciudad de Managua 2022.

$$\Delta > 1.2 * \left(\frac{\Delta_1 + \Delta_2}{2}\right) \quad (Ec. 21)$$

IRREGULARIDAD TORSIONAL EN X

NIVEL 1

Δ : 1.702 mm MÁX. DERIVA

$\Delta 1$: 1.702 mm

$\Delta 2$: 1.702 mm

$$\Delta > 1.2 * \left(\frac{\Delta_1 + \Delta_2}{2} \right)$$

$$1.702 \text{ mm} < 1.2 * \left(\frac{1.702 \text{ mm} + 1.702 \text{ mm}}{2} \right)$$

1.702 < 2.0424 OK

NIVEL 2

Δ : 3.44 mm

$\Delta 1$: 3.4 mm

$\Delta 2$: 3.4 mm

$$\Delta > 1.2 * \left(\frac{\Delta_1 + \Delta_2}{2} \right)$$

$$3.44 \text{ mm} < 1.2 * \left(\frac{3.4 \text{ mm} + 3.4 \text{ mm}}{2} \right)$$

3.44 < 4.08 OK

NIVEL 3

Δ : 4.386 mm

$\Delta 1$: 4.386 mm

$\Delta 2$: 4.386 mm

$$\Delta > 1.2 * \left(\frac{\Delta_1 + \Delta_2}{2} \right)$$

$$4.386 \text{ mm} < 1.2 * \left(\frac{4.386 \text{ mm} + 4.386 \text{ mm}}{2} \right)$$

4.386 < 5.2632 OK

No hay irregularidad Torsional en DIRECCIÓN X

IRREGULARIDAD TORSIONAL EN Y

NIVEL 1

Δ : 5.69E-09 mm

Δ_1 : 2.88E-09 mm

Δ_2 : 5.69E-09 mm

$$\Delta > 1.2 * \left(\frac{\Delta_1 + \Delta_2}{2} \right)$$

$$0.00000000569 \text{ mm} > 1.2 * \left(\frac{0.00000000288 \text{ mm} + 0.00000000569 \text{ mm}}{2} \right)$$

0.00000000569 > 0.00000000514 **IRREGULARIDAD**

NIVEL 2

Δ : 0.00000000667 mm

Δ_1 : 0.000000002712 mm

Δ_2 : 0.000000006674 mm

$$\Delta > 1.2 * \left(\frac{\Delta_1 + \Delta_2}{2} \right)$$

$$0.00000000667 \text{ mm} > 1.2 * \left(\frac{0.000000002712 \text{ mm} + 0.000000006674 \text{ mm}}{2} \right)$$

0.00000000667 < 0.00000000563 **IRREGULARIDAD**

NIVEL 3

Δ : 4.30E-09 mm

Δ_1 : 1.39E-09 mm

Δ_2 : 4.30E-09 mm

$$\Delta > 1.2 * \left(\frac{\Delta_1 + \Delta_2}{2} \right)$$

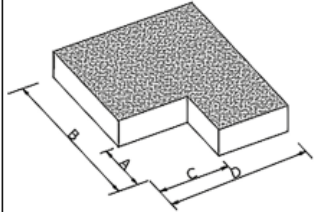
$$0.00000000430 \text{ mm} > 1.2 * \left(\frac{0.00000000139 \text{ mm} + 0.00000000430 \text{ mm}}{2} \right)$$

0.00000000430 > 0.00000000341 **IRREGULARIDAD**

Hay irregularidad Torsional en DIRECCIÓN Y

Tipo 2: Retroceso excesivos en las esquinas.

Figura 14. Irregularidad en plata Tipo 2 Retroceso excesivos en las esquinas.

Tipo 2 - Retroceso excesivos en las esquinas $\phi_{Pi} = 0.9$ $A > 0.15B$ y $C > 0.15D$ La configuración de una estructura se considera irregular cuando presenta entrantes excesivos en sus esquinas. Un entrante en una esquina se considera excesivo cuando las proyecciones de la estructura, a ambos lados del entrante, son mayores que el 15% de la dimensión de la planta de la estructura en la dirección del entrante.	
---	---

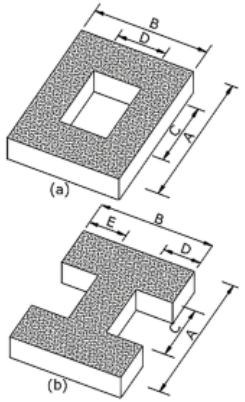
Fuente: Norma Sismorresistente para la ciudad de Managua 2022.

$$A > 0.15B \text{ y } C > 0.15D \text{ (Ec. 22)}$$

Cumple. La estructura no presenta ni entrantes, ni salientes

Tipo 3: Discontinuidad en los sistemas de piso

Figura 15. Irregularidad en plata Tipo 3 Discontinuidad en los sistemas de piso.

Tipo 3 – Discontinuidad en los sistemas de piso $\phi_{Pi} = 0.9$ a) $C \times D > 0.5A \times B$ b) $[C \times D + C \times E] > 0.5A \times B$ La configuración de la estructura se considera irregular cuando el sistema de piso tiene discontinuidades apreciables o variaciones significativas en su rigidez, incluyendo las causadas por aberturas, entrantes o huecos, con áreas mayores al 50% del área total del piso o con cambios en la rigidez en el plano del sistema de piso de más del 50% entre niveles consecutivos.	
--	---

Fuente: Norma Sismorresistente para la ciudad de Managua 2022.

$$a) C \times D > 0.5A \times B \text{ (Ec. 23)}$$

$$b) [C \times D + C \times E] > 0.5A \times B \text{ (Ec. 24)}$$

A=	21	m
B=	17.6	m
C=	0	m
D=	0	m

Caso (a)

Área total de piso= 21 m * 17.6 m = 369.6 m²

Área de abertura de escalera= C*D 0 m²

$$a) C \times D > 0.5A \times B \quad (Ec. 23)$$

$$a) 0 \text{ m}^2 > (0.5)(21 \text{ m}) \times (17.6 \text{ m})$$

$$a) 0 \text{ m}^2 < 184.80 \text{ m}^2$$

OK

Cumple. Todos los entresijos presentan la misma rigidez
No hay irregularidad por Discontinuidad en los sistemas de piso

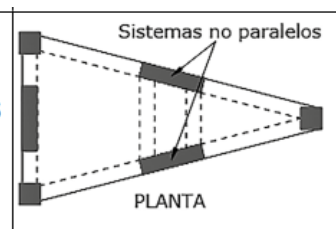
Tipo 4: Ejes estructurales no paralelos

Figura 16. Irregularidad en planta Tipo 4 Ejes estructurales no paralelos.

Tipo 4 – Ejes estructurales no paralelos

$$\phi_{pi} = 0.8$$

La estructura se considera irregular cuando los ejes estructurales no son paralelos o simétricos con respecto a los ejes ortogonales principales de la estructura.



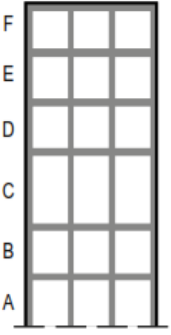
Fuente: Norma Sismorresistente para la ciudad de Managua 2022.

Cumple. La estructura cuenta con ejes paralelos en ambas direcciones.
No aplica este caso de irregularidad para la estructura

Análisis de irregularidad del edificio en estudio de acuerdo con Sección: 5.4.2-Factores de irregularidades verticales.

Tipo 1: Piso flexible

Figura 17. Irregularidad en elevación Tipo 1 Piso flexible.

Tipo 1 – Piso flexible $\phi_{Ei} = 0.8$ $Rigidez K_C < 0.70 Rigidez K_D$ $Rigidez K_C < 0.80 \cdot \frac{(K_D + K_E + K_F)}{3}$ La estructura se considera irregular o de piso flexible cuando la rigidez lateral de un piso es menor que el 70% de la rigidez lateral del piso superior o menor que el 80 % del promedio de la rigidez lateral de los tres pisos superiores.	
---	---

Fuente: Norma Sismorresistente para la ciudad de Managua 2022.

$$Rigidez K_C < 0.70 * Rigidez K_D \quad (Ec. 25)$$

$$Rigidez K_C < 0.80 * \frac{(K_D + K_E + K_F)}{3} \quad (Ec. 26)$$

Tabla 8. Rigideces de piso en dirección X.

Tabla: Story Stiffness X					
Story	Output Case	Elevation	Location	X-Dir	Y-Dir
		mm		tonf/mm	tonf/mm
N3: +11.3 M	Sx	11300	Top	8.45215	0
N2: +7.65 M	Sx	7650	Top	9.83738	0
N1: +4.0 M	Sx	4000	Top	12.64829	0
Base	Sx	0	Top	0	0

Fuente: Extraída del programa ETABS.

X-Dir (tonf/mm)	$0.70 * Rigidez K_D$		ϕ	$0.80 * \frac{(K_D + K_E + K_F)}{3}$		ϕ
8.45215						
9.83738 >	$0.70 * 8.45215 = 5.92$	OK	1			
12.64829 >	$0.70 * 9.83738 = 6.89$	OK	1	$0.80 * \frac{(9.83738 + 8.45215)}{3} = 4.88$	OK	1

Tabla 9. Rigideces de piso en dirección Y.

Tabla: Story Stiffness Y					
Story	Output Case	Elevation	Location	X-Dir	Y-Dir
		mm		tonf/mm	tonf/mm
N3: +11.3 M	Sy	11300	Top	0	8.71618
N2: +7.65 M	Sy	7650	Top	0	10.12988
N1: +4.0 M	Sy	4000	Top	0	12.88959
Base	Sy	0	Top	0	0

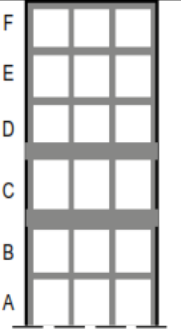
Fuente: Extraída del programa ETABS.

Y-Dir (tonf/mm)	$0.70 * Rigidez K_D$		ϕ	$0.80 * \frac{(K_D + K_E + K_F)}{3}$		ϕ
8.71618						
10.12988 >	$0.70 * 8.71618 = 6.10$	OK	1			
12.88959 >	$0.70 * 10.12988 = 7.09$	OK	1	$0.80 * \frac{(10.12988 + 8.71618)}{3} = 5.03$	OK	1

Cumple. La rigidez lateral en piso inferior es mayor al 70% de la rigidez del piso superior.

Tipo 2: Distribución de masa

Figura 18. Irregularidad en elevación Tipo 2 Distribución de masa.

Tipo 2 – Distribución de masa $\phi_{Ei} = 0.9$ $m_D > 1.50m_E$ o $m_D > 1.50m_C$ La estructura se considera irregular cuando la masa de cualquier piso es mayor que 1,5 veces la masa de uno de los pisos adyacentes, con excepción del piso de cubierta que sea más liviano que el piso inferior.	
--	---

Fuente: Norma Sismorresistente para la ciudad de Managua 2022.

$$m_D > 1.50 * m_E \text{ (Ec. 27)}$$

$$m_D > 1.50 * m_C \text{ (Ec. 28)}$$

Tabla 10. Centro de masas y Rigidez.

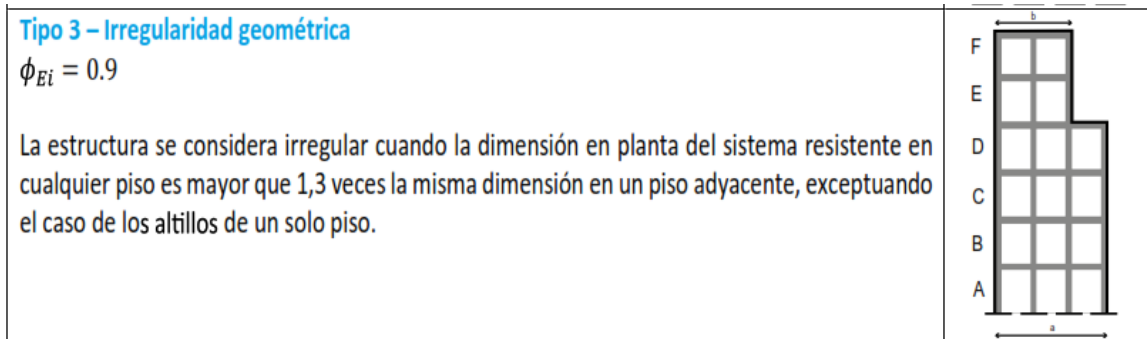
TABLE: Centers Of Mass and Rigidity			
Story	Diaphragm	Mass X	Mass Y
		tonf-s ² /m	tonf-s ² /m
N1: +4.0 M	D1	35.9682	35.9682
N2: +7.65 M	D2	35.9121	35.9121
N3: +11.3 M	D3	24.91556	24.91556

Mass Y tonf-s ² /m		1.5ME		ϕ		1.5MC		ϕ
35.9682	<	1.50*35.9121=53.86815	OK	1				
35.9121	<	1.50*24.91556=37.37334	OK	1	<	1.50*35.9682=53.9523	OK	1
24.91556					<	1.50*35.9121=53.86815	OK	1

Cumple. No existen variaciones en masa entre un piso y otro que excedan el 1.5 veces.

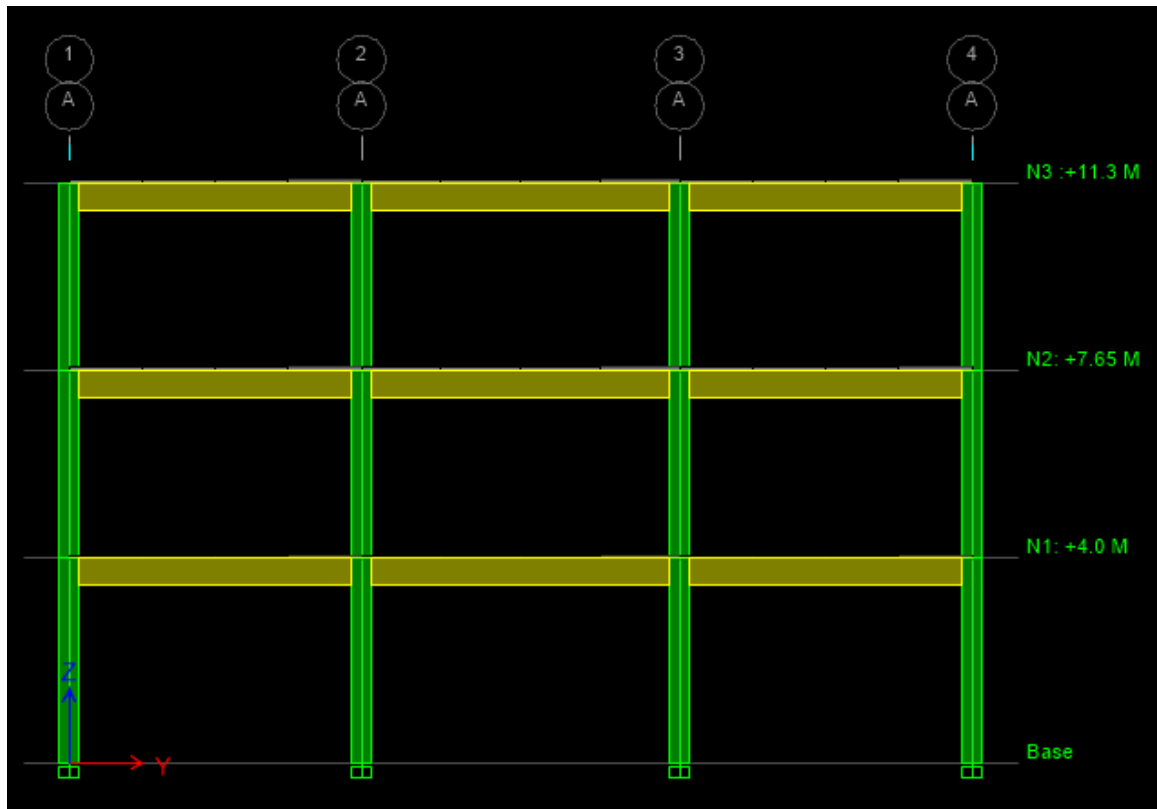
Tipo 3: Irregularidad geométrica.

Figura 19. Irregularidad en elevación Tipo 3 Irregularidad geométrica.



Fuente: Norma Sismorresistente para la ciudad de Managua 2022.

Figura 20. Vista en elevación del edificio de acero.

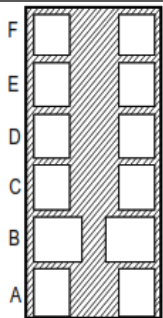


Fuente: Extraída del programa ETABS.

Cumple. No existe variación en áreas entre pisos adyacentes

Tipo 4: Piso débil.

Figura 21. Irregularidad en elevación Tipo 4 Irregularidad geométrica.

Tipo 4 – Piso débil $\phi_{Ei} = 0.8$ Fuerza de piso $F_{PB} < 0.7 F_{PC}$ Fuerza de piso $F_{PB} < 0.80 \cdot \frac{(F_C + F_D + F_E)}{3}$ La estructura se considera irregular o de piso débil, cuando la resistencia lateral de un piso es menor que el 70% de la resistencia del piso inmediatamente superior o menor que el 80 % del promedio de la resistencia lateral de los tres pisos superiores. Entendiéndose por resistencia del piso la suma de las resistencias de todos los elementos que comparten el cortante del piso para la dirección considerada.	
---	---

Fuente: Norma Sismorresistente para la ciudad de Managua 2022.

$$\text{Fuerza de piso } F_{PB} < 0.70 * F_{PC} \quad (\text{Ec. 29})$$

$$\text{Fuerza de piso } F_{PB} < 0.80 * \frac{(F_C + F_D + F_E)}{3} \quad (\text{Ec. 30})$$

Tabla 11. Cortante de piso en dirección X.

TABLE: Story Forces X							
Story	Output Case	Case Type	Step Type	Location	P	VX	VY
					tonf	tonf	tonf
N3: +11.3 M	Sx	LinRespSpec	Max	Bottom	0.0001	67	4.347E-06
N2: +7.65 M	Sx	LinRespSpec	Max	Bottom	0.0002	127.821	5.146E-06
N1: +4.0 M	Sx	LinRespSpec	Max	Bottom	0.0002	162.922	3.176E-06

Fuente: Extraída del programa ETABS.

VX tonf	$0.70 * F_{PC}$		$0.80 * \frac{(F_C + F_D + F_E)}{3}$			
67.000			ϕ			ϕ
127.821 >	0.7*67=46.900	OK	1			
162.922 >	0.7*127.821=89.475	OK	1	$0.80 * \frac{(127.821 + 67)}{3} = 51.952$	OK	1

Tabla 12. Cortante de piso en dirección Y.

TABLE: Story Forces Y							
Story	Output Case	Case Type	Step Type	Location	P	VX	VY
					tonf	tonf	tonf
N3: +11.3 M	Sy	LinRespSpec	Max	Bottom	0.0001	0.000001593	66.240
N2: +7.65 M	Sy	LinRespSpec	Max	Bottom	0.0002	0.000002416	127.621
N1: +4.0 M	Sy	LinRespSpec	Max	Bottom	0.0002	0.000001253	162.969

Fuente: Extraída del programa ETABS.

VY tonf	$0.70 * F_{PC}$		$0.80 * \frac{(F_C + F_D + F_E)}{3}$			
66.240			ϕ			ϕ
127.621 >	0.7*66.240=46.368	OK	1			
162.969 >	0.7*127.621=89.335	OK	1	$0.80 * \frac{(127.621 + 66.240)}{3} = 51.696$	OK	1

Cumple. No existe variación en áreas entre pisos adyacentes, de la resistencia al corte de los elementos estructurales.

Por consiguiente, se obtienen los factores de irregularidad tanto en planta como en elevación. El factor de irregularidad en planta se determina según la NSCM-2022, identificando la falta de cumplimiento en la irregularidad torsional tipo 1. Respecto al factor de irregularidad en elevación, se verifica en los cálculos de acuerdo con lo establecido en la norma que no existe ninguna irregularidad presente.

Factor de irregularidad en planta:

$$\Phi_P = 0.90$$

Factor de irregularidad en elevación:

$$\Phi_E = 1$$

d) Clasificación por categoría de diseño sísmico

Esta clasificación basada en el nivel de amenazas sísmica en la cual están ubicadas y en la categoría de riesgo asociada a su grupo de importancia. Estas categorías se definen a continuación y su asignación se hará de acuerdo con lo establecido en la Tabla 5.3.1 de la NSCM-2022.

CDS = D: Esta categoría de diseño proporciona a la estructura una elevada capacidad para incursionar de manera estable en el rango inelástico, disipando energía sin pérdida de su capacidad portante. Se diseñará la estructura con un nivel de resistencia y exigencia máxima en el detallado cumpliendo lo establecido para esta categoría en las normas aplicables según los materiales que componen la estructura.

Tabla 13. Categoría de diseño sísmico a_0

Tabla 5.3.1 - Categoría de diseño sísmico basado en el parámetro de aceleración del terreno en roca para período cero a_0 PGA. Con un periodo de retomo de 475 años

PGA	Categoría de riesgo	
Valores de a_0 en g	I, II	III, IV
$a_0 \leq 0.10$	A	B
$0.10 < a_0 < 0.15$	B	C
$0.15 \leq a_0 < 0.30$	C	D
$0.30 \leq a_0$	D	D

Fuente: Norma Sismorresistente para la ciudad de Managua 2022.

Categoría de diseño sísmico:

D

Aceleración espectral:

$a_0 = 0.3667$

e) Clasificación por material y sistema estructural

Esta clasificación refleja las características de absorción y disipación de energía de los distintos sistemas estructurales empleados, así como la experiencia sobre el comportamiento sísmico de los diferentes sistemas.

Para cada dirección de análisis el sistema sismorresistente deberá ser clasificado en uno o más de los sistemas mostrados en la Tabla 5.5.1 de la NSCM-2022.

Para ambas direcciones X, Y.

Sistemas de marcos resistentes a momento (SMF): Es un sistema estructural en la cual la viga-columna proporciona diferentes niveles de rigidez en su conexión para así proveer resistencia lateral al marco, estos se clasifican como marcos ordinarios, intermedios o especiales. En las categorías de diseño sísmico C y D, el movimiento del suelo genera en la estructura grandes desplazamientos de tal forma que incursionan a la estructura en un comportamiento inelástico, por lo que se requieren marcos resistentes a momentos intermedios y especiales diseñados y detallados para que cumplan con una respuesta dúctil en la estructura.

Tabla 14. Coeficientes y factores de diseño para sistemas resistentes a fuerzas sísmicas.

Sistema estructural: C. SISTEMAS DE MARCOS RESISTENTES A MOMENTOS	1. Marcos de momento especiales de acero
Coeficiente de modificación de respuesta	$R^a = 8$
Factor de sobrerresistencia	$\Omega_0^b = 3$
Coeficiente de deflexión	$C_d = 5^{1/2}$
Distorsión máxima de piso	$\gamma_{max} = 0.025$
Incluyendo límite de altura (m): Categoría de diseño sísmico	$CDS = D / SL$

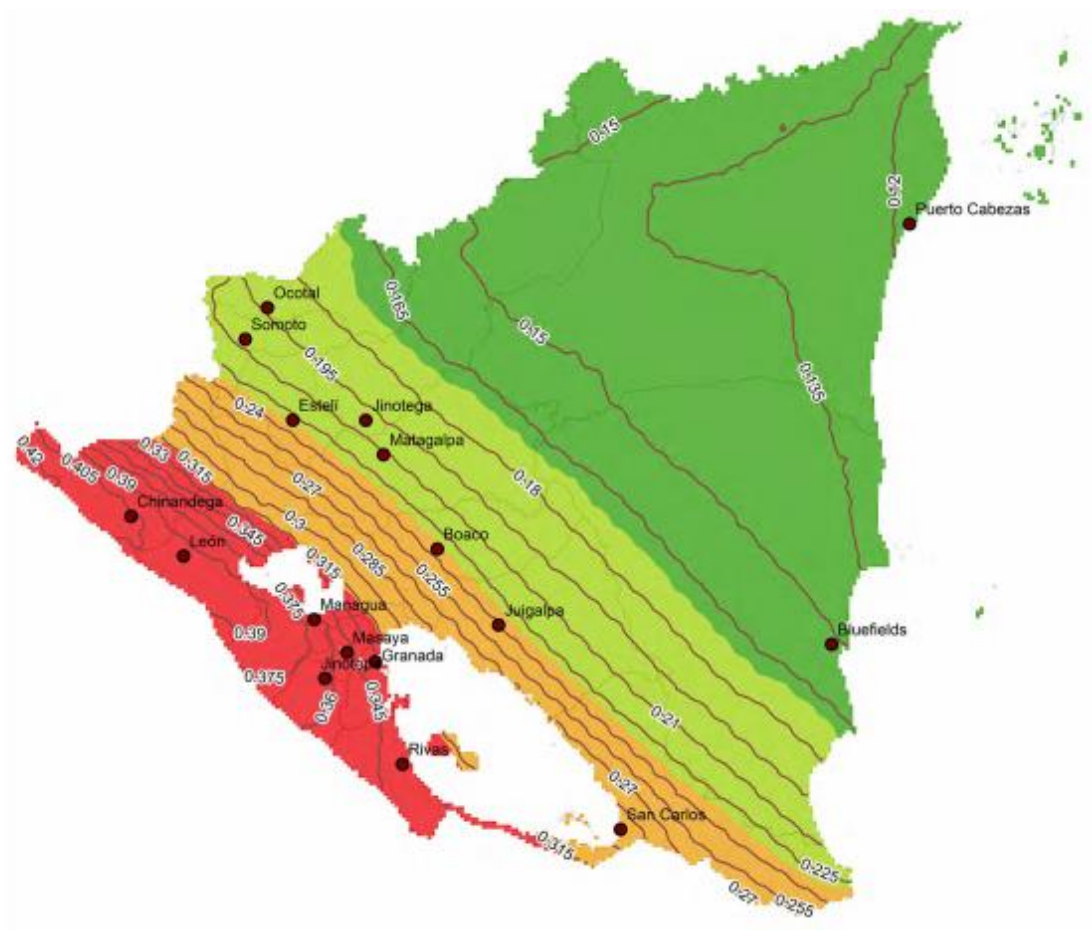
Fuente: Norma Sismorresistente para la ciudad de Managua 2022.

Sistemas de marcos resistentes a momento: Es un sistema estructural en la cual la viga-columna proporciona diferentes niveles de rigidez en su conexión para así proveer resistencia lateral al marco, estos se clasifican como marcos ordinarios, intermedios o especiales. En las categorías de diseño sísmico C y D, el movimiento del suelo genera en la estructura grandes desplazamientos de tal forma que incursionan a la estructura en un comportamiento inelástico, por lo que se requieren marcos resistentes a momentos intermedios y especiales diseñados y detallados para que cumplan con una respuesta dúctil en la estructura.

f) Factor por amplificación por tipo de suelo (Fas)

Zona sísmica: Z4, Departamento de Managua

Figura 22. Zonificación Sísmica para Nicaragua.



Con ayuda del mapa isoaceleraciones se ubica al departamento Managua en la zona Z4 que es donde se ubica la estructura y en la Tabla 14.2 de la NSCM-2022 determinamos la aceleración del terreno en roca para período cero (aceleración espectral a_0)

Tabla 15. Coeficientes y factores de diseño para sistemas resistentes a fuerzas sísmicas.

14.2 Tabla de valores de a_0 PGA 475 años

Departamento	Longitud (Oeste)	Latitud (Norte)	Aceleración	Zona
CHINANDEGA	12.62937	-87.13105	0.407450	
EL VIEJO	12.66348	-87.16663	0.406850	
EL REALEJO	12.54307	-87.16466	0.406553	
CORINTO	12.48250	-87.17304	0.402359	
CHICHIGALPA	12.56670	-87.03330	0.396122	
POSOLTEGA	12.54310	-86.97890	0.395105	
QUEZALGUAQUE	12.50610	-86.90330	0.394123	
LA PAZ CENTRO	12.34000	-86.67530	0.392197	
TONALÁ	12.76842	-87.13107	0.391709	
NAGAROTE	12.26750	-86.56530	0.391216	
VILLA EL CARMEN	11.97879	-86.50723	0.386383	
MATEARE	12.23460	-86.43138	0.380808	
EL CRUCERO	11.98330	-86.31670	0.378408	
CIUDAD SANDINO	12.15890	-86.34420	0.378162	
SAN RAFAEL DEL SUR	11.84854	-86.43839	0.374813	
MANAGUA	12.13282	-86.25040	0.366670	
DIRIAMBA	11.85812	-86.23922	0.365774	
SAN MARCOS	11.91670	-86.20000	0.363454	
SANTA TERESA	11.73330	-86.21670	0.360877	
EL ROSARIO	11.83330	-86.16670	0.360298	
LA CONQUISTA	11.73330	-86.20000	0.360043	
MASATEPE	11.91445	-86.14458	0.358639	

Fuente: Norma Sismorresistente para la ciudad de Managua (2022).

Aceleración espectral para
departamento de Managua:

$$a_0 = 0.366670$$

El cálculo de la peligrosidad sísmica se ha realizado a partir de los datos actualizados existentes en el catálogo sísmico disponible por el Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales INETER para determinar la aceleración horizontal característica. Para los fines de esta norma, las autoridades nacionales subdividirán sus territorios nacionales en zonas sísmicas en función de la peligrosidad local.

La aceleración de cálculo del terreno, seleccionada para cada zona sísmica por las autoridades nacionales, corresponde a un período de retorno de 475 años. A este período de retorno se le asigna un factor de importancia (I) igual a 1.0.

Las zonas sísmicas con una aceleración de cálculo del terreno a_0 no mayor a $0.1g$ son zonas de baja sismicidad, para las cuales y para ciertos tipos o categorías de estructuras pueden utilizarse métodos de cálculo sismorresistente reducidos o simplificados.

La zonificación sísmica o peligrosidad sísmica del territorio nacional se define por medio del mapa de peligrosidad sísmica. Dicho mapa suministra a_0 , expresada con relación al valor de la gravedad, g , la aceleración sísmica básica, a_0 — un valor característico de la aceleración horizontal de la superficie del terreno y el coeficiente de contribución F_{as} , que tiene en cuenta la influencia de los distintos tipos suelos

En la tabla 14.4 de la NSCM-2022 extraemos el valor de la onda de corte u onda secundaria a 30km de profundidad que llega perpendicular al edificio.

Tabla 16. Tabla de sitios con sus respectivas coordenadas y Vs30.

14.4 Tabla de sitios con sus respectivas coordenadas y Vs30

NOMBRE DEL SITIO	Coordenadas UTM		Vs30(m/s)	Color en Mapa
	Este	Norte		
Compañía Cervecera De Nicaragua	586866.2522	1344473.103	560	
LAURELES SUR	588119.1593	1340753.302	538	
Pista Cardenal Miguel Obando	579513.0018	1340143.889	529	
NIMAC	586335	1342717	516	
Pista Jean Paul Gennie	580573.6653	1338036.719	502	
Parque Luis Alfonso	579182	1343520	502	
Cementerio Villa Libertad	586502.9907	1341438.907	498	
UNI	579507.8	1341271	487	
Planta De La PARMALAT	583309.5039	1343776.24	476	
VillLib	587864	1339217	473	
Tipitapa	596849.6	1344502	473	
Parque Manuel Fernandez	587304	1339926	469	
Hotel Balmoral (SWM2)	579505	1343401	464	
UNI - RUPAP	583445.9257	1341817.823	459	
Parque Villa Dignidad	588806.84	1341456.82	454	
Anexo Villa Libertad	584936.7895	1341331.363	445	
Cofradia 2.1 km NW	593855.3	1341353	444	
Catedral Vieja	579382	1343726	440	
UNAN - RUCFA	580357.6646	1342707.3	437	
Hogar Zacarias Guerra	584369.4293	1339412.314	436	

Fuente: Norma Sismorresistente para la ciudad de Managua (2022).

Onda de corte $Vs30 = 502 \text{ m/s}$

g) Clasificación de sitio para definir el tipo de perfil de suelo para el diseño sísmico con ayuda de la velocidad de onda de corte.

Onda de corte

$$V_{s30} = 502 \text{ m/s}$$

Suelo tipo C, D, E. La existencia de suelos tipo C, D y E se clasificará mediante los siguientes métodos: Velocidades de ondas de corte V_s y/o el número de golpes del ensayo de penetración estándar $\bar{N}$ o usando la resistencia al corte sin drenar, S_u . Esta norma sugiere el estudio de geofísica para la clasificación del tipo de suelo.

Tabla 17. Clasificación por tipo de suelo.

Clasificación del sitio	Descripción	Definición		
		Velocidad de onda de corte V_s (m/s)	Resistencia de penetración estándar $\bar{N}$	Resistencia al corte del suelo sin drenar S_u (kg/cm ²).
A	Roca rígida	$V_s > 1500$	N/A	N/A
B	Roca	$760 < V_s \leq 1500$	N/A	N/A
C	Suelo muy Denso y Roca Blanda	$360 < V_s \leq 760$	$\bar{N} > 50$	$S_u \geq 1.0$
D	Suelo Rígido	$180 < V_s \leq 360$	$15 \leq \bar{N} \leq 50$	$0.5 \leq S_u \leq 1.0$
E	Suelo Blando	$V_s < 180$	$\bar{N} < 15$	$S_u < 0.5$
E	-	Además, se considerará un suelo tipo E, cualquier capa de suelo con más de 3m que tenga las siguientes características. - Índice de Plasticidad $PI > 20$ - Contenido de humedad $w \geq 40\%$ - Resistencia al cortante sin drenar $S_u < 0.2 \text{ kg/cm}^2$		

Fuente: Norma Sismorresistente para la ciudad de Managua (2022).

Tabla 18. Factores de amplificación vertical por tipo de suelo.

Zona Sísmica	Tipo de Suelo				
	A	B	C	D	E
Z_1	0.8	1	1.4	1.7	2.2
Z_2	0.8	1	1.4	1.6	2.0
Z_3	0.8	1	1.4	1.5	ver nota
Z_4	0.8	1	1.3	1.4	ver nota

Fuente: Norma Sismorresistente para la ciudad de Managua (2022).

Tabla 19. Tabla que reúne datos de Clasificación del sitio, Tipo de suelo y Factor por amplificación por tipo de suelo.

Clasificación del sitio	Tipo de suelo	Factor por amplificación por tipo de suelo
C	Suelo muy Denso y Roca Blanda	$F_{as} = 1.3$

Fuente: Elaboración propia.

h) Factor de ajuste espectral por comportamiento de los suelos, sección: 6.5 de la NSCM 2022.

Este factor ajusta los valores del periodo que definen la meseta del espectro de diseño, en el cual toma en cuenta el incremento en la abscisa del espectro de respuesta debido a la pérdida de rigidez del suelo.

Tabla 20. Factor de ajuste espectral FS para T_b y T_c .

Clasificación del sitio	FS_{T_b}	FS_{T_c}
A	1	5/6
B	1	1
C	1	4/3
D	2	5/3

Fuente: Norma Sismorresistente para la ciudad de Managua (2022).

$$FS_{T_b} = 1$$

$$FS_{T_c} = 4/3$$

FS : Factor de ajuste espectral para T_b y T_c (FS_{T_b} , FS_{T_c}) ajustan la meseta del espectro)

i) Factor de comportamiento sísmico del sistema estructural (R_0), sección: 6.6 de la NSCM-2022.

El coeficiente de modificación de respuesta R para los distintos sistemas estructurales mostrados en la Tabla 5.5.1 de la NSCM-2022, dependen de la ductilidad, sobrerresistencia, redundancia y amortiguamiento en función de cada sistema estructural, además de los elementos y materiales que lo componen.

En ningún caso R_0 deberá de ser menor que la unidad.

$$R_0 = R * \Phi_P * \Phi_E \text{ (Ec. 31)}$$

5.3. Espectro de respuesta elástico

La norma NSCM-2022 en la sección 6.7, establece un espectro normalizado de respuesta elástica de aceleraciones $A_{(T)}$ en la superficie libre del terreno (Figura 6.7 1 de la NSCM-2022), para aceleraciones horizontales expresada como fracción de la gravedad, correspondiente a un oscilador lineal simple con un amortiguamiento de referencia del 5% respecto al crítico, definido por los siguientes valores (ecuación 6.7-1., de la NSCM-2022):

$$A_{(T)} = A_0 * \left[1 + \frac{T}{FS_{Tb} * T_b} * (\beta - 1) \right] \quad 0 \leq T \leq FS_{Tb} * T_b \quad (\text{Ec. 32})$$

$$A_{(T)} = \beta * A_0 \quad FS_{Tb} * T_b \leq T \leq FS_{Tc} * T_c \quad (\text{Ec. 33})$$

$$A_{(T)} = \beta * A_0 * \left(\frac{FS_{Tc} * T_c}{T} \right)^p \quad FS_{Tc} * T_c \leq T \leq T_d \quad (\text{Ec. 34})$$

$$A_{(T)} = \beta * A_0 * \left(\frac{FS_{Tc} * T_c}{T} \right)^p * \left(\frac{T_d}{T} \right)^q \quad T_d \leq T \quad (\text{Ec. 35})$$

Donde:

$$A_0 = a_0 * F_{as} * I \quad (\text{Ec. 5})$$

$$\begin{aligned} \beta &= 2 & T_b &= 0.05 \text{ seg} \\ p &= 0.8 & T_c &= 0.3 \text{ seg} \\ q &= 2 & T_d &= 2 \text{ seg} \end{aligned}$$

A_0 : Valor de la aceleración del terreno con la influencia del suelo y la importancia de la estructura

a_0 : Aceleración de terreno en roca para periodo 0

F_{as} : Factor de amplificación vertical por el tipo de suelo

I : Factor de importancia

β : Coeficiente de aceleración a (Meseta)/ a_0

R_o : Factor de comportamiento sísmico del sistema estructural

F_s : Factor de ajuste espectral para T_b y T_c (FS_{T_b} , FS_{T_c}) ajustan la meseta del espectro)

T : Período fundamental de la estructura

T_b : Período de inicio de la meseta, aceleración constante

T_c : Período inicial del espectro en la rama de velocidad constante

T_d : Período inicial del espectro en la rama de desplazamiento constante

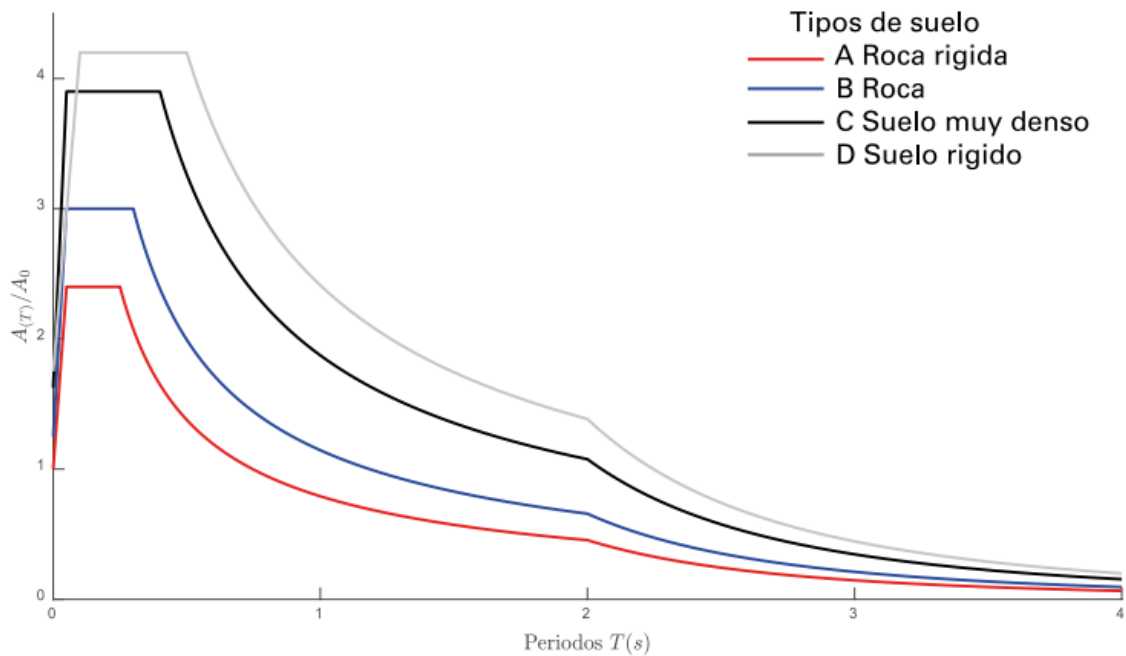
p : Constante exponencial de ajuste espectral

q : Constante exponencial de ajuste espectral

p, q : son los exponentes que definen la forma del espectro para un período de vibración mayor de T_c, T_d respectivamente

T_a, T_d, T_c : Periodos característicos del espectro de respuesta

Figura 23. Espectro de diseño elástico normalizado para distintas zonas sísmicas.



Fuente: Norma Sismorresistente para la ciudad de Managua 2022.

Espectro de diseño reducido, sección: 6.9 de la NSCM-2022.

El espectro reducido para diseño es el que resulta al dividir las ecuaciones del espectro de diseño elástico por el factor de comportamiento sísmico. $\frac{A_0}{R_0}$ Excepto para la primera rama ascendente, cuyo valor sería ecuación 6.9-1 (NSCM-2022):

$$A_{(T)} = \left[\frac{A_0 * T}{FS_{Tb} * T_b} * \left(\frac{\beta}{R_0} - 1 \right) \right] + A_0 \quad (Ec. 36)$$

*Válido para periodos comprendidos $0 \leq T \leq FS_{Tb} * T_b$*

Una vez determinados los elementos, procedimos a tabular los valores de la A(t), haciendo uso la ecuación 6.7.1.

Aceleración del suelo (A_0)

$$A_0 = a_0 * F_{as} * I \quad (Ec. 5)$$

$$a_0 = 0.366670$$

$$F_{as} = 1.3$$

$$I = 1.3$$

$$A_0 = 0.6196723$$

Coeficiente de aceleración a (Meseta)/ a_0

$$\beta = 2$$

Exponentes que definen la forma del espectro para un período de vibración mayor de T_c, T_d respectivamente.

$$p = 0.8$$

$$q = 2$$

Periodos característicos del espectro de respuesta

$$T_b = 0.05 \text{ seg}$$

$$T_c = 0.3 \text{ seg}$$

$$T_d = 2 \text{ seg}$$

Zona sísmica

Z4, Departamento de Managua

Factor de ajuste espectral por tipo de suelo

$$FS_{Tb} = 1$$

$$FS_{Tc} = 1.333 \text{ (4/3)}$$

Tabla 21. Tabla con valores a utilizar para el cálculo de Aceleración espectral y Espectro de diseño elástico.

$FS_{Tb} * T_b =$	0.05
$FS_{Tc} * T_c =$	0.40
$R = 8$	8
$\Omega_0 =$	3
$C_d =$	$5^{1/2}$
$\gamma_{max} =$	0.025
$\Phi_P =$	0.90
$\Phi_E =$	1
$R_0 =$	$R * \Phi_P * \Phi_E$
$R_0 =$	7.20

Fuente: Elaboración propia

Tabla 22. Tabla con valores de Aceleración espectral y Espectro de diseño elástico, en periodos de 0.00 seg – 10.00 seg

Periodo (seg)	Aceleración Espectral	Espectro de diseño
0.00	0.4767	0.4767
0.01	0.6102	0.4131
0.02	0.7437	0.3496
0.03	0.8771	0.2860
0.04	1.0106	0.2225
0.05	1.1441	0.1589
0.06	1.1441	0.1589
0.07	1.1441	0.1589
0.08	1.1441	0.1589
0.09	1.1441	0.1589
0.10	1.1441	0.1589
0.11	1.1441	0.1589
0.12	1.1441	0.1589
0.13	1.1441	0.1589
0.14	1.1441	0.1589
0.15	1.1441	0.1589
0.16	1.1441	0.1589
0.17	1.1441	0.1589
0.18	1.1441	0.1589
0.19	1.1441	0.1589
0.20	1.1441	0.1589
0.21	1.1441	0.1589
0.22	1.1441	0.1589
0.23	1.1441	0.1589

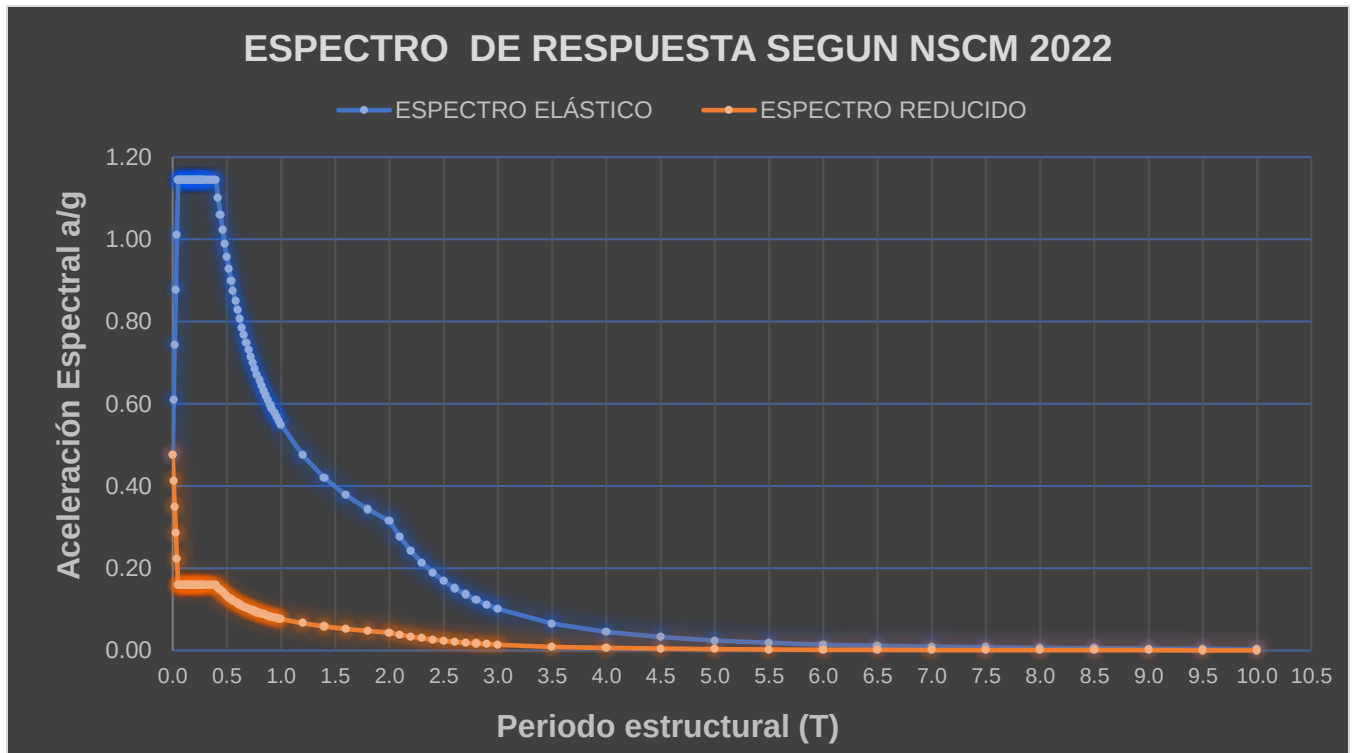
Periodo (seg)	Aceleración Espectral	Espectro de diseño
0.24	1.1441	0.1589
0.25	1.1441	0.1589
0.26	1.1441	0.1589
0.27	1.1441	0.1589
0.28	1.1441	0.1589
0.29	1.1441	0.1589
0.30	1.1441	0.1589
0.32	1.1441	0.1589
0.34	1.1441	0.1589
0.36	1.1441	0.1589
0.38	1.1441	0.1589
0.40	1.1441	0.1589
0.42	1.1003	0.1528
0.44	1.0601	0.1472
0.46	1.0231	0.1421
0.48	0.9888	0.1373
0.50	0.9571	0.1329
0.52	0.9275	0.1288
0.54	0.8999	0.1250
0.56	0.8741	0.1214
0.58	0.8499	0.1180
0.60	0.8272	0.1149
0.62	0.8057	0.1119
0.64	0.7855	0.1091

Periodo (seg)	Aceleración Espectral	Espectro de diseño
0.66	0.7664	0.1065
0.68	0.7484	0.1039
0.70	0.7312	0.1016
0.72	0.7149	0.0993
0.74	0.6994	0.0971
0.76	0.6846	0.0951
0.78	0.6706	0.0931
0.80	0.6571	0.0913
0.82	0.6443	0.0895
0.84	0.6320	0.0878
0.86	0.6202	0.0861
0.88	0.6089	0.0846
0.90	0.5980	0.0831
0.92	0.5876	0.0816
0.94	0.5776	0.0802
0.96	0.5679	0.0789
0.98	0.5586	0.0776
1.00	0.5497	0.0763
1.20	0.4751	0.0660
1.40	0.4200	0.0583
1.60	0.3774	0.0524
1.80	0.3435	0.0477
2.00	0.3157	0.0438
2.10	0.2754	0.0382
2.20	0.2418	0.0336
2.30	0.2135	0.0296

Periodo (seg)	Aceleración Espectral	Espectro de diseño
2.40	0.1895	0.0263
2.50	0.1690	0.0235
2.60	0.1514	0.0210
2.70	0.1363	0.0189
2.80	0.1231	0.0171
2.90	0.1115	0.0155
3.00	0.1014	0.0141
3.50	0.0659	0.0092
4.00	0.0453	0.0063
4.50	0.0326	0.0045
5.00	0.0243	0.0034
5.50	0.0186	0.0026
6.00	0.0146	0.0020
6.50	0.0116	0.0016
7.00	0.0095	0.0013
7.50	0.0078	0.0011
8.00	0.0065	0.0009
8.50	0.0055	0.0008
9.00	0.0047	0.0007
9.50	0.0040	0.0006
10.00	0.0035	0.0005

Fuente: Elaboración propia

Figura 24. Grafica de Aceleración Espectral y Espectro de diseño.



Fuente: Elaboración propia

Una vez obtenido el espectro de respuesta y el espectro elástico se cargan al software ETABS y con su ayuda se procedió al análisis de desplazamientos y respuesta de la estructura.

5.4. Configuraciones iniciales para modelado en Etabs

a) *Presentación del Software*

ETABS es un programa de análisis y diseño estructural basado en el método de los elementos finitos, con especiales características para el análisis y diseño estructural de edificaciones. Los métodos numéricos usados en el programa, los procedimientos de diseño y los códigos internacionales de diseño le permitirán ser versátil y productivo, tanto si se está diseñando un pórtico bidimensional o realizando un análisis dinámico de un edificio de gran altura con aisladores de base.

Extend Three Dimensional Analysis of Building System o Análisis Tridimensional extendido de Edificaciones, según Computers & Structures, INC. (CSI) es un software innovador y revolucionario para análisis estructural y dimensionamiento de edificios. Resultado de 40 años de investigación y desarrollo continuo, ofrece herramientas inigualables de modelado y visualización de objetos 3D, alta capacidad de poder analítico lineal y no lineal, opciones de dimensionamiento sofisticadas y que abarcan una amplia gama de materiales, esclarecedores gráficos, informes y diseños esquemáticos que facilitan la comprensión del análisis y de los respectivos resultados.

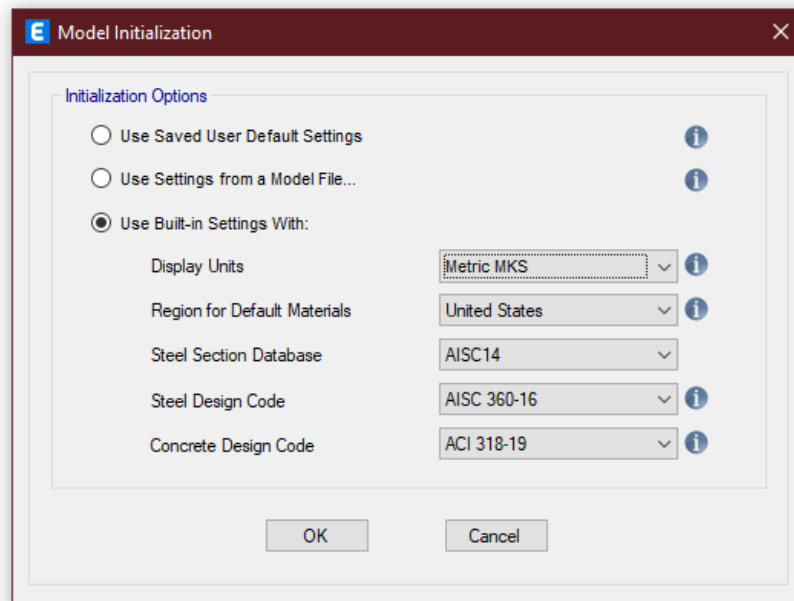
b) *Iniciando el programa*

Una vez se abra el programa procedemos a empezar un nuevo modelo y configuramos el Model Inicializacion, seleccionando Use Built-in Settings With (Construir una nueva configuración), al seleccionar una de las configuraciones es necesario definir las siguientes normativas para el análisis y diseño:

- ✓ Sistema de unidades (Display Units): Metric MKS, es un sistema de unidades algebraicas expresa las medidas utilizando como unidades fundamentales metro, kilogramo y segundo. El sistema sentó las bases para el Sistema Internacional de Unidades, que ahora sirve como estándar internacional.

- ✓ Normativa de diseño de acero (Steel Design Code): AISC 360-16 (American Institute of Steel Construction), es una normativa cuyo objetivo se fundamenta en proporcionar fundamentos teóricos y prácticos necesarios para el diseño estructural, sismorresistente y construcción de edificaciones de acero estructural mediante la aplicación de sus especificaciones.
- ✓ Base de datos de los perfiles de acero (Steel Section Database): AISC-14
- ✓ Normativa de diseño en concreto armado (Concrete Design Code): ACI 318-19 (American Concrete Institute / Instituto Americano de Concreto), presenta los requisitos para el diseño y la construcción de hormigón estructural que son necesarios para garantizar la salud y la seguridad pública.

Figura 25. Cuadro de iniciación del modelo en el programa ETABS.

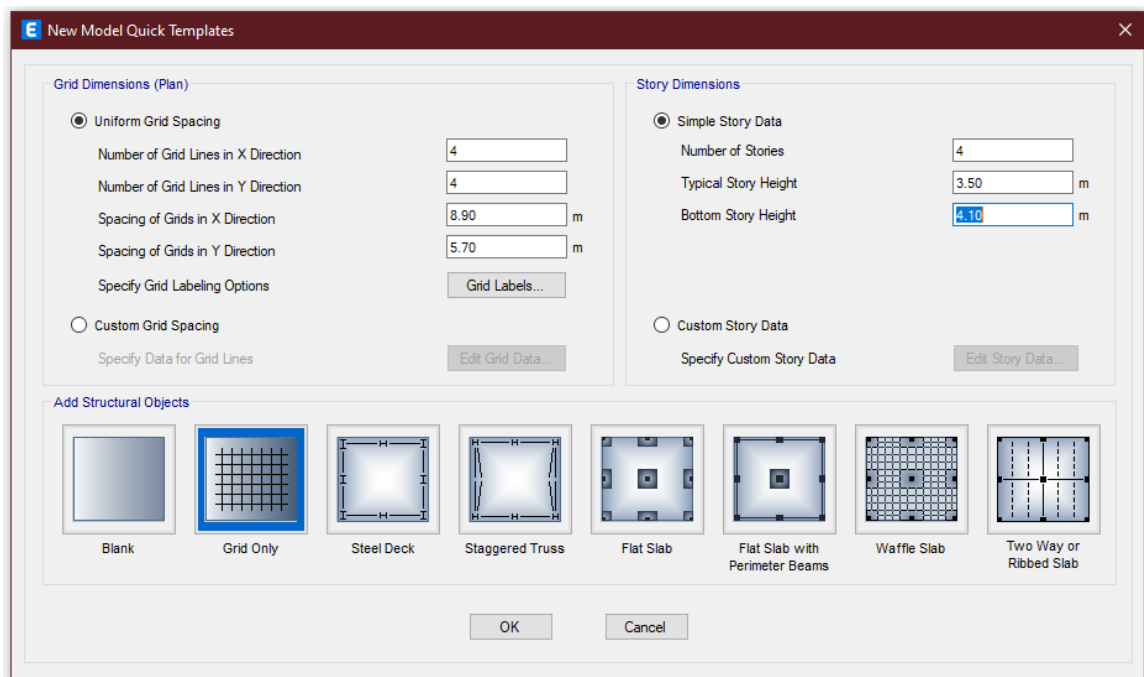


Fuente: Extraída del programa ETABS.

c) Plantillas de modelado rápido

Etabs ofrece plantillas de modelado para la configuración de la geometría en planta como se conoce el tipo de sistema estructural a modelar y todos los parámetros de este, se define la Malla o Grid, que sirve de referencia para la realización de los modelos estructurales.

Figura 26. Cuadro para la edición de plantillas en la geometría del modelo en el programa ETABS.

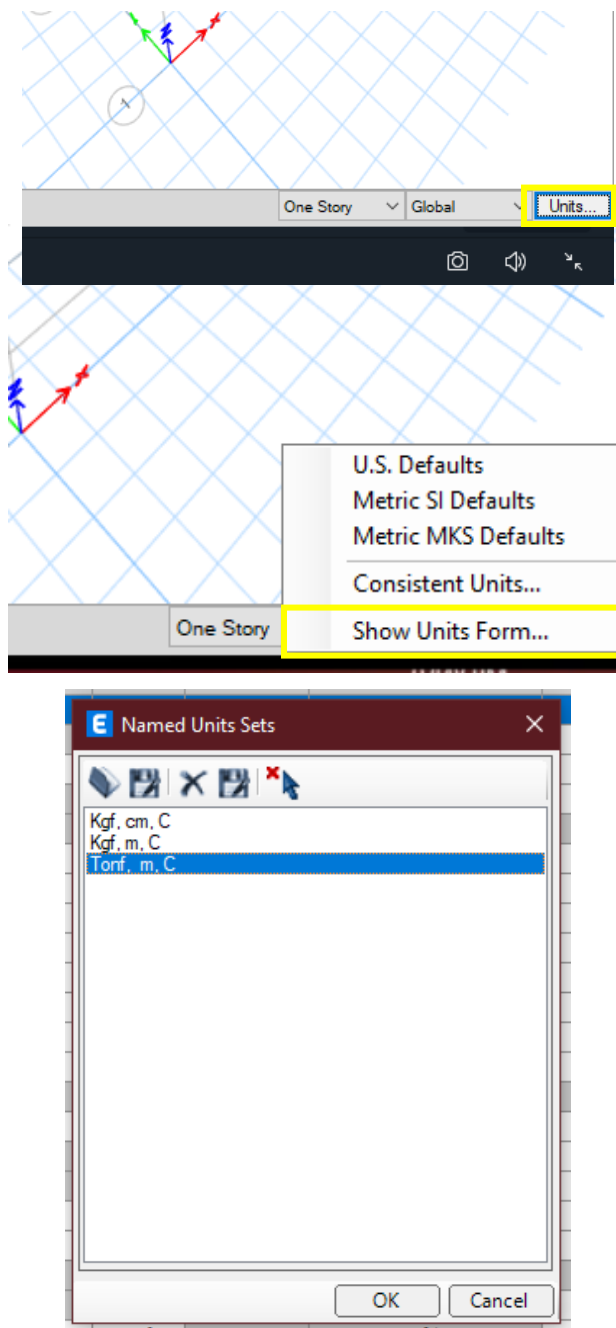


Fuente: Extraída del programa ETABS.

d) Uso de unidades en el programa

Para ayudar con el manejo de las unidades en el modelo, se personaliza una paquetería de unidades. Se selecciona la pestaña Units., ubicada en la esquina inferior derecha de la pantalla del programa.

Figura 27. Cuadro de configuración de unidades del modelo en el programa ETABS.



Fuente: Extraída del programa ETABS.

e) Se define el tipo de acero con el cual se estará trabajando

El tipo de acero es el A992, Limite elástico: $F_y=50$ PSI, ya se encuentra cargado en el programa.

A992:

El acero ASTM A992 es una aleación de acero estructural y es un material muy utilizado para la construcción de estructuras mecánicas que requieran importante resistencia mecánica y soldabilidad.

Composición Química: ASTM A992/A572 GRADO 50.

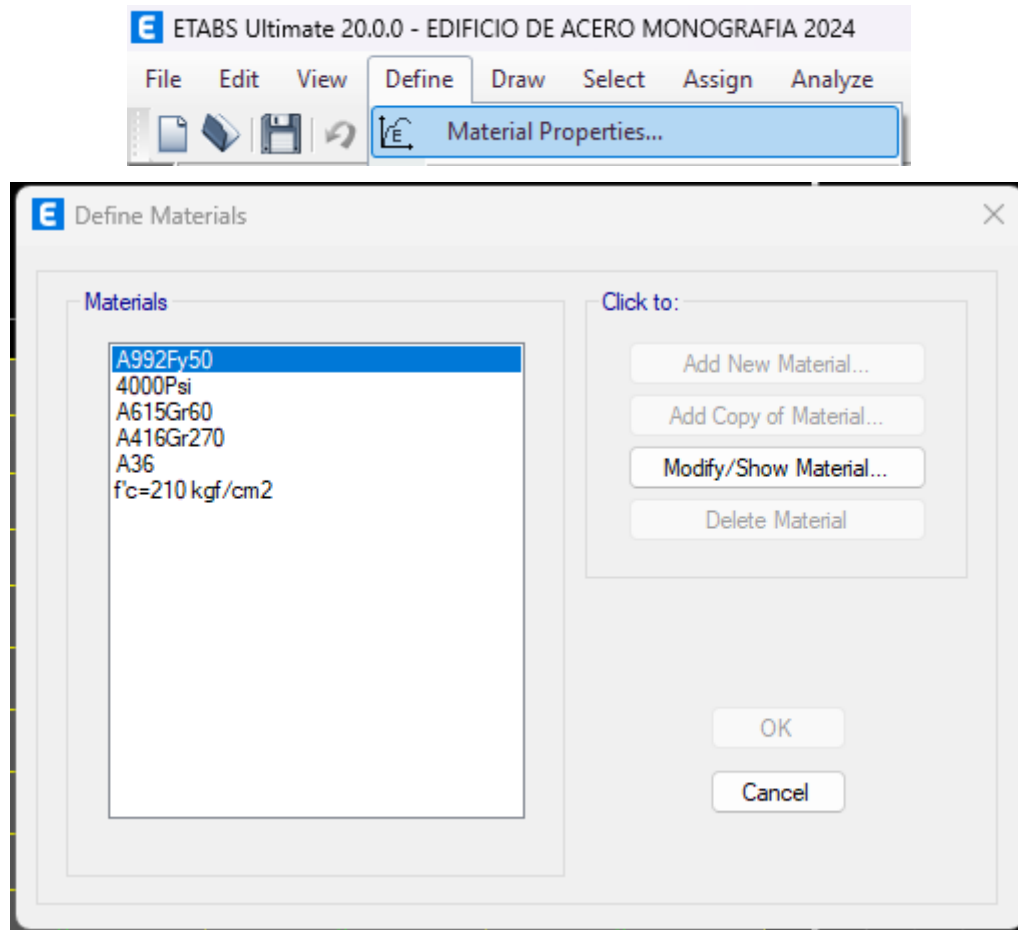
Normas Involucradas: ASTM A992/A992M.

Propiedades Mecánicas: Esfuerzo a la tensión: 65 000 PSI.

$F_y= 50$ PSI, Limite de fluencia o elástico, es la tensión a partir de la cual el material pasa a sufrir deformaciones permanentes, es decir, hasta este valor de tensión, si interrumpimos el traccionamiento de la muestra, ella volverá a su tamaño inicial, sin presentar ningún tipo de deformación permanente, esta se llama deformación elástica. Pasado este punto, la estructura esta fragilizada y comprometida.

En el programa seleccionamos la pestaña Define, se despliega el menú de opciones y seleccionamos Material Properties, se abre cuadro de dialogo de los materiales cargados.

Figura 28. Cuadro de Definición de Materiales.



Fuente: Extraída del programa ETABS.

f) *Asignando secciones*

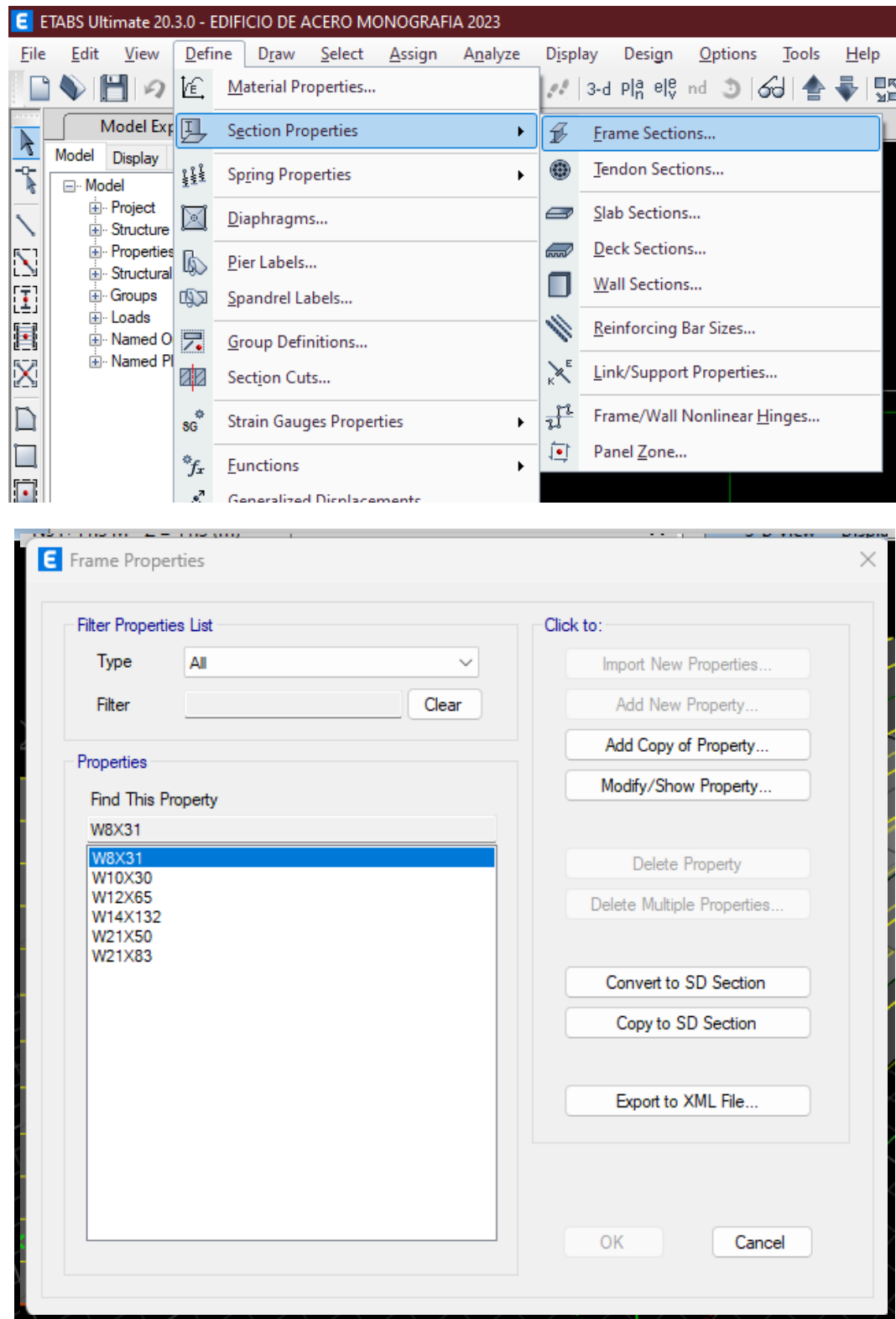
Se asignarán en el programa las secciones de acero con las cuales se estará trabajando.

Tabla 23. Tabla de secciones geométricas.

Descripción	Sección	Acero estructural
Columnas	W14X132	ASTM A992Fy50
Vigas principales	W21X50	ASTM A992Fy50
Vigas secundarias	W8X31	ASTM A992Fy50

Fuente: Elaboración propia

Figura 29. Cuadro de Propiedades de secciones para el modelo.

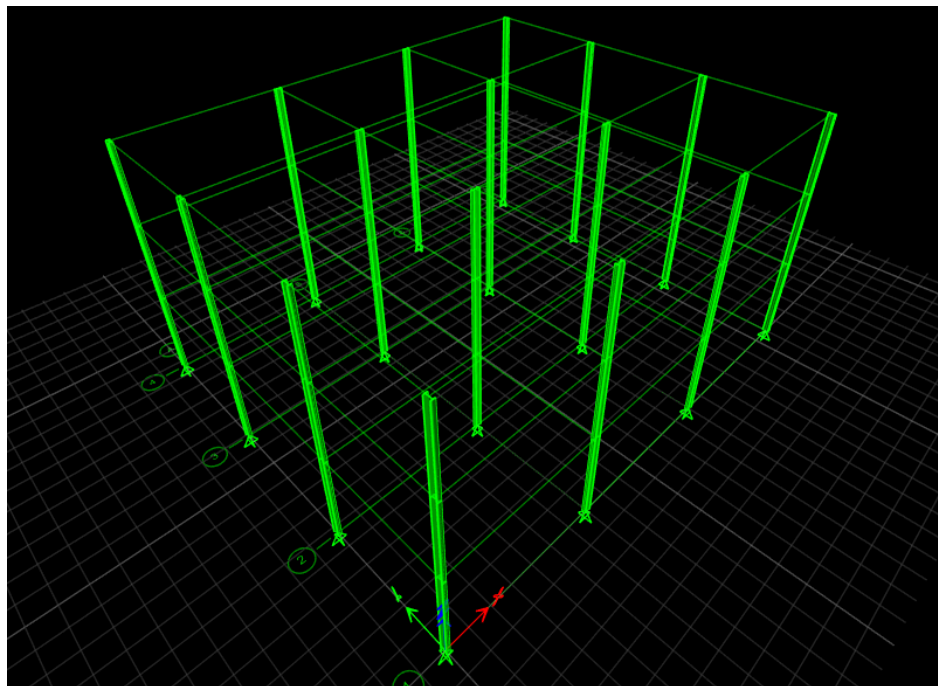
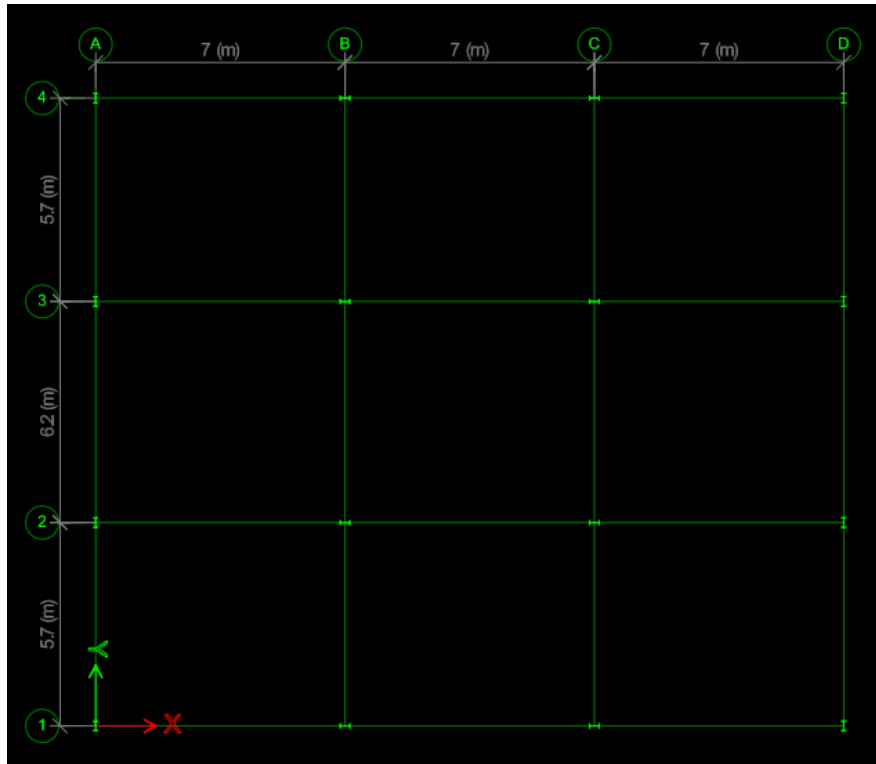


Fuente: Extraída del programa ETABS.

Se procede asignar los elementos estructurales al modelo.

Columnas: W14X132

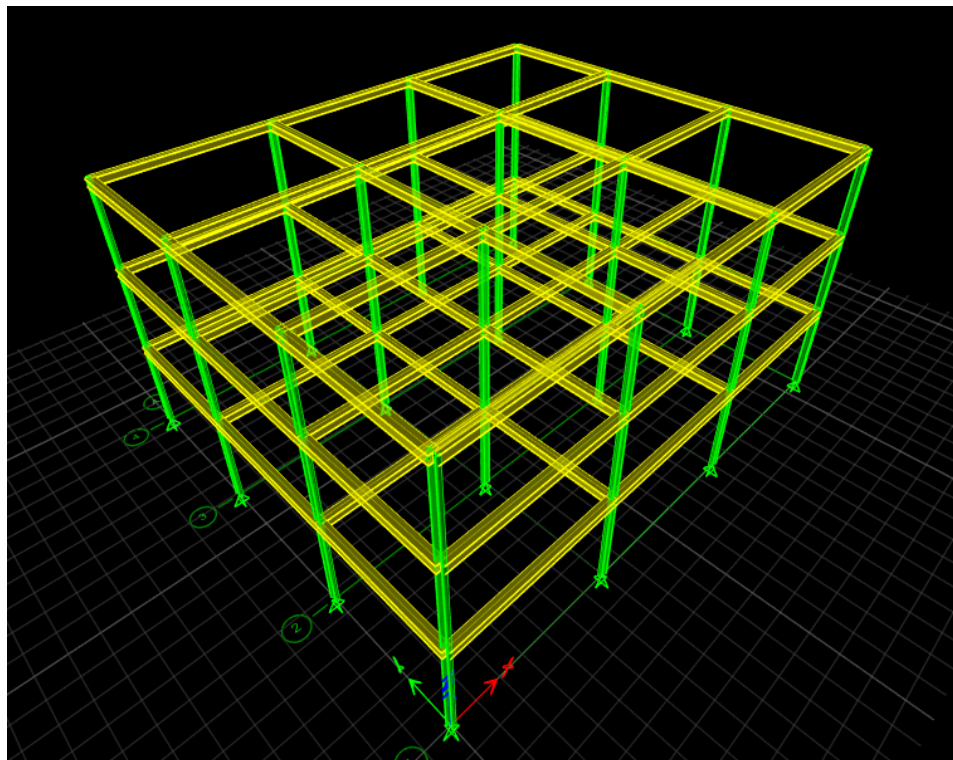
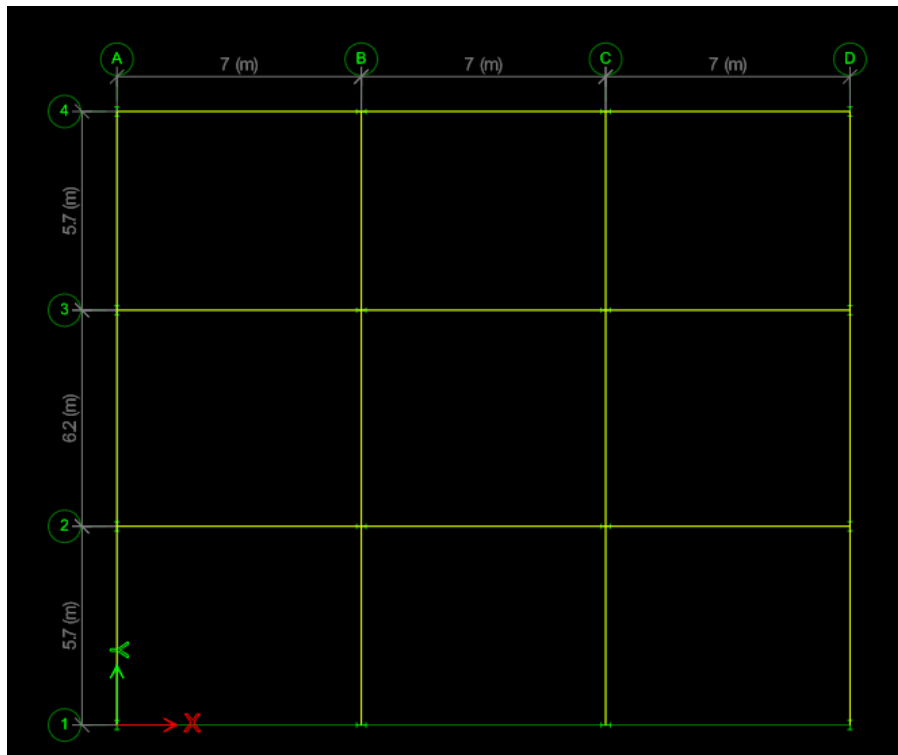
Figura 30. Asignación de columnas al modelo en el programa ETABS.



Fuente: Extraída del programa ETABS.

Vigas principales: W21X50

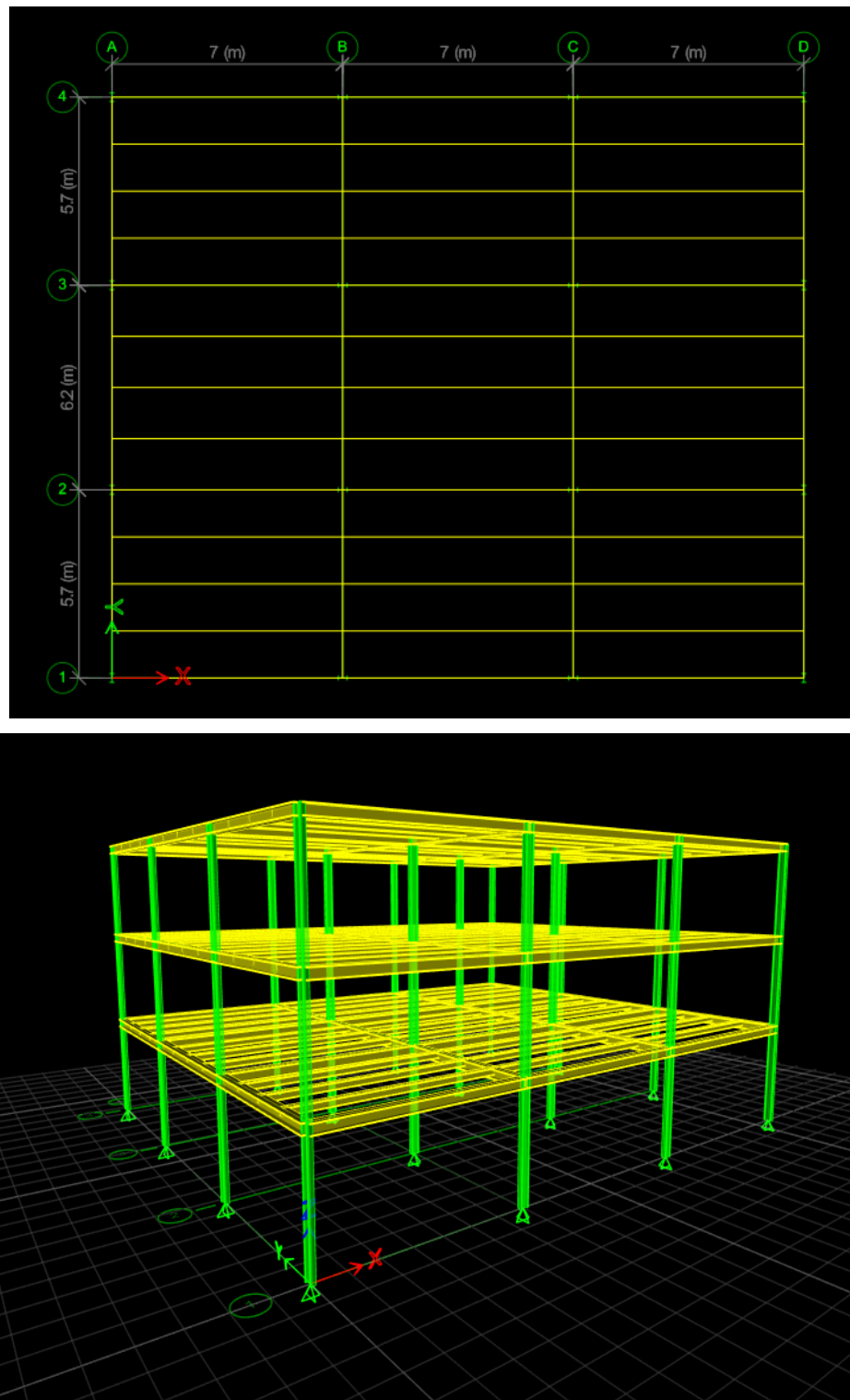
Figura 31. Asignación de vigas principales al modelo en el programa ETABS.



Fuente: Extraída del programa ETABS.

Vigas secundarias: W8X31

Figura 32. Asignación de vigas principales al modelo en el programa ETABS.

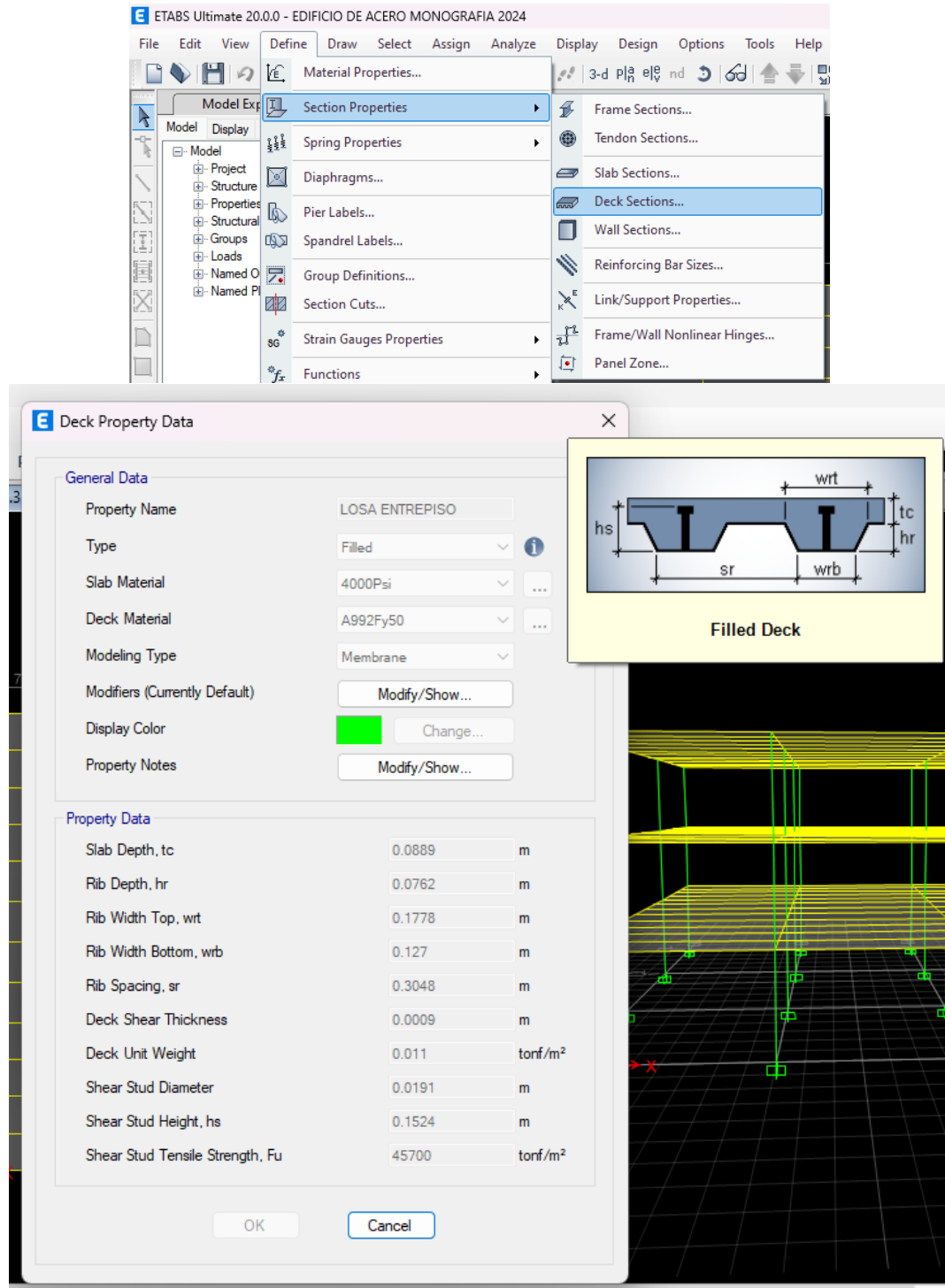


Fuente: Extraída del programa ETABS.

g) Asignando losa

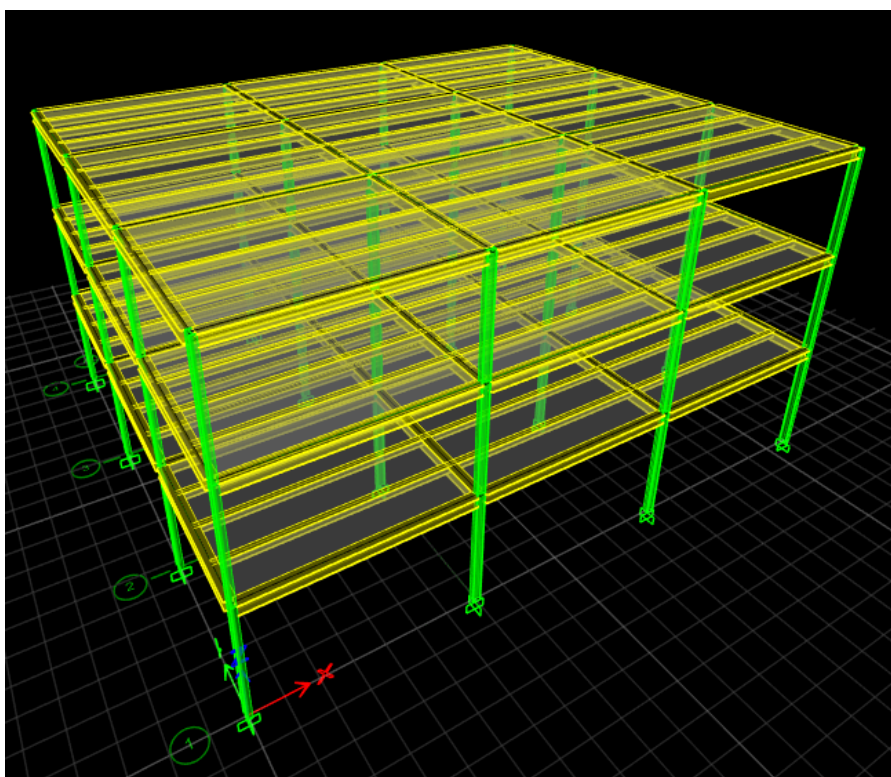
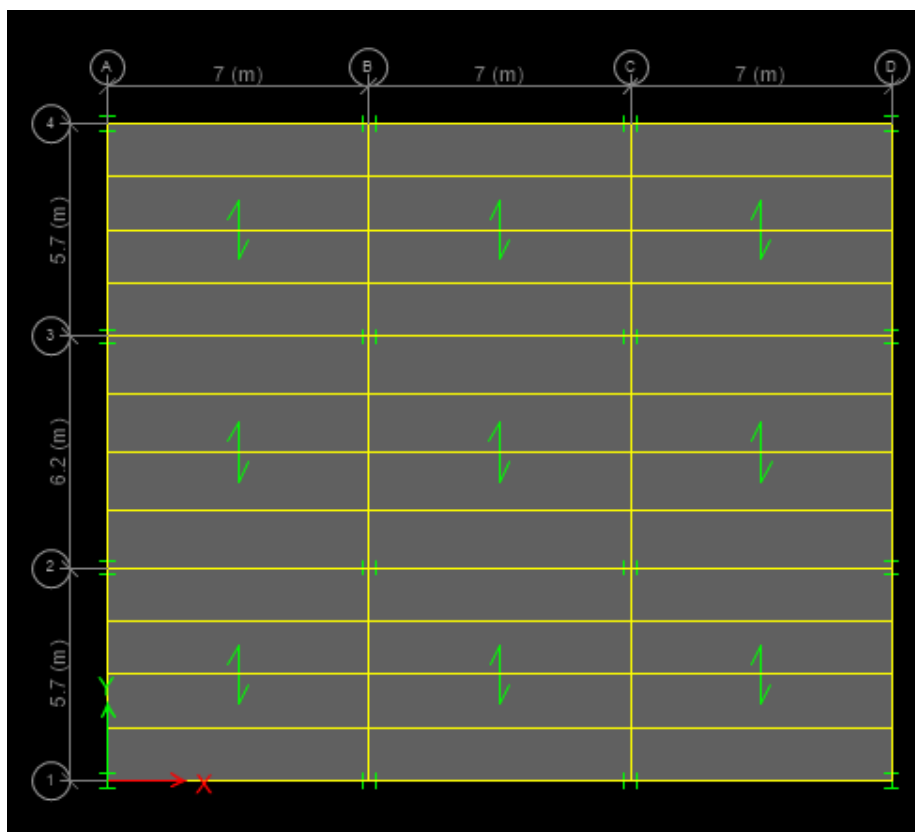
Losa de entre piso: se asigna en cada nivel excepto la base del edificio.

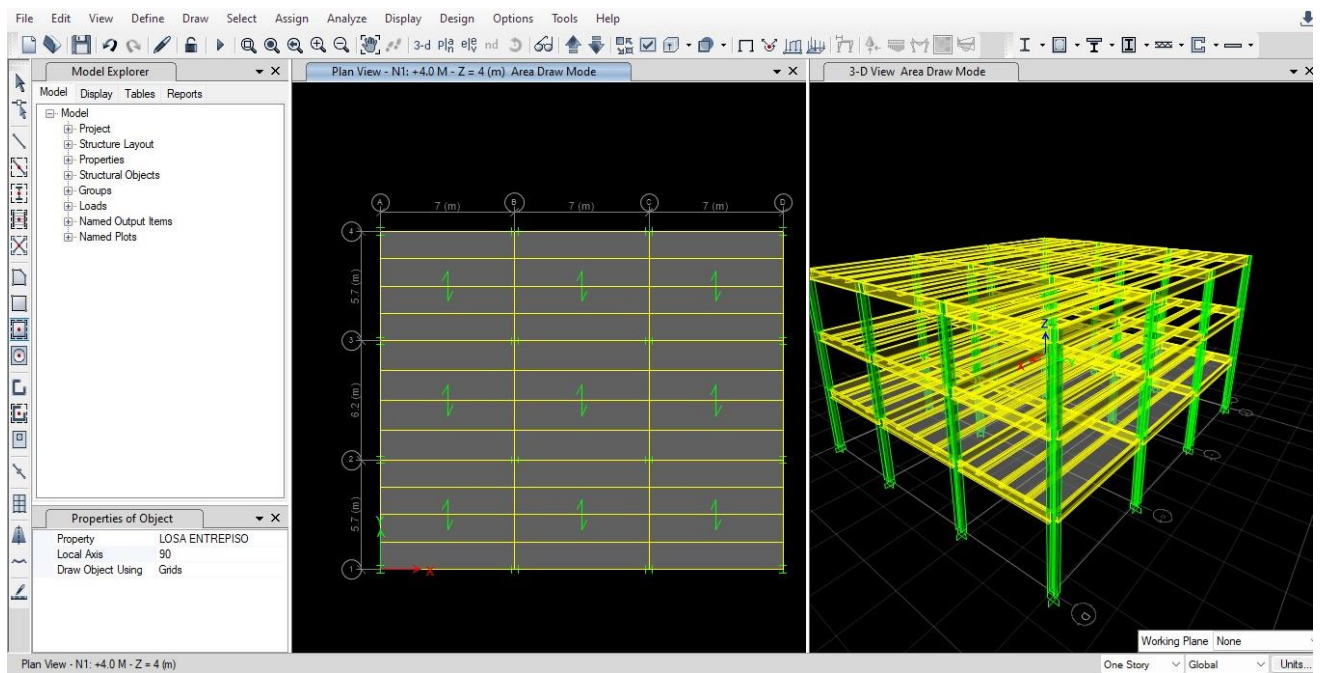
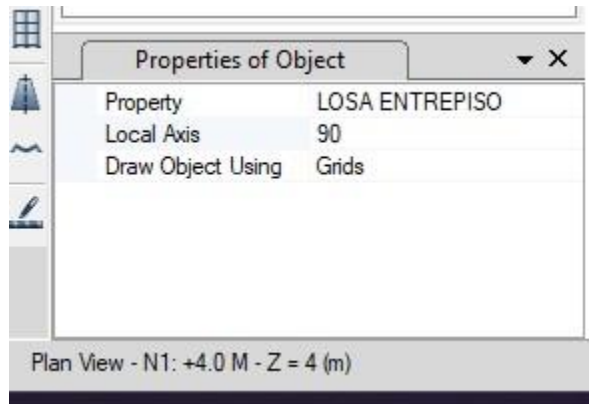
Figura 33. Cuadro de asignación de propiedades de la losa para el modelo.



Fuente: Extraída del programa ETABS.

Figura 34. Modelo con losas de entresijos asignada en los niveles de 1, 2 y 3 (azotea).



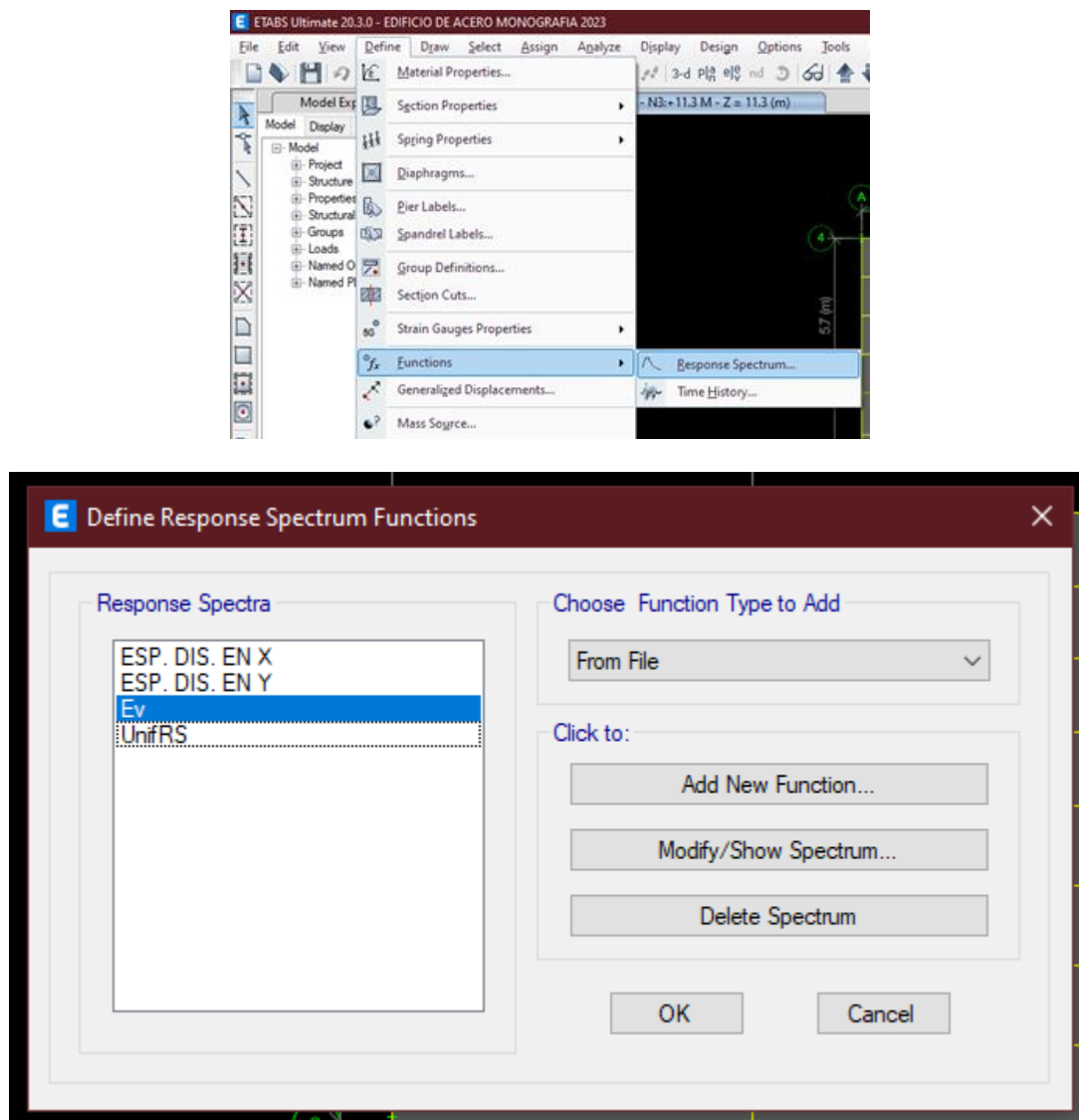


Fuente: Extraída del programa ETABS.

h) Cargando espectro reducido al software

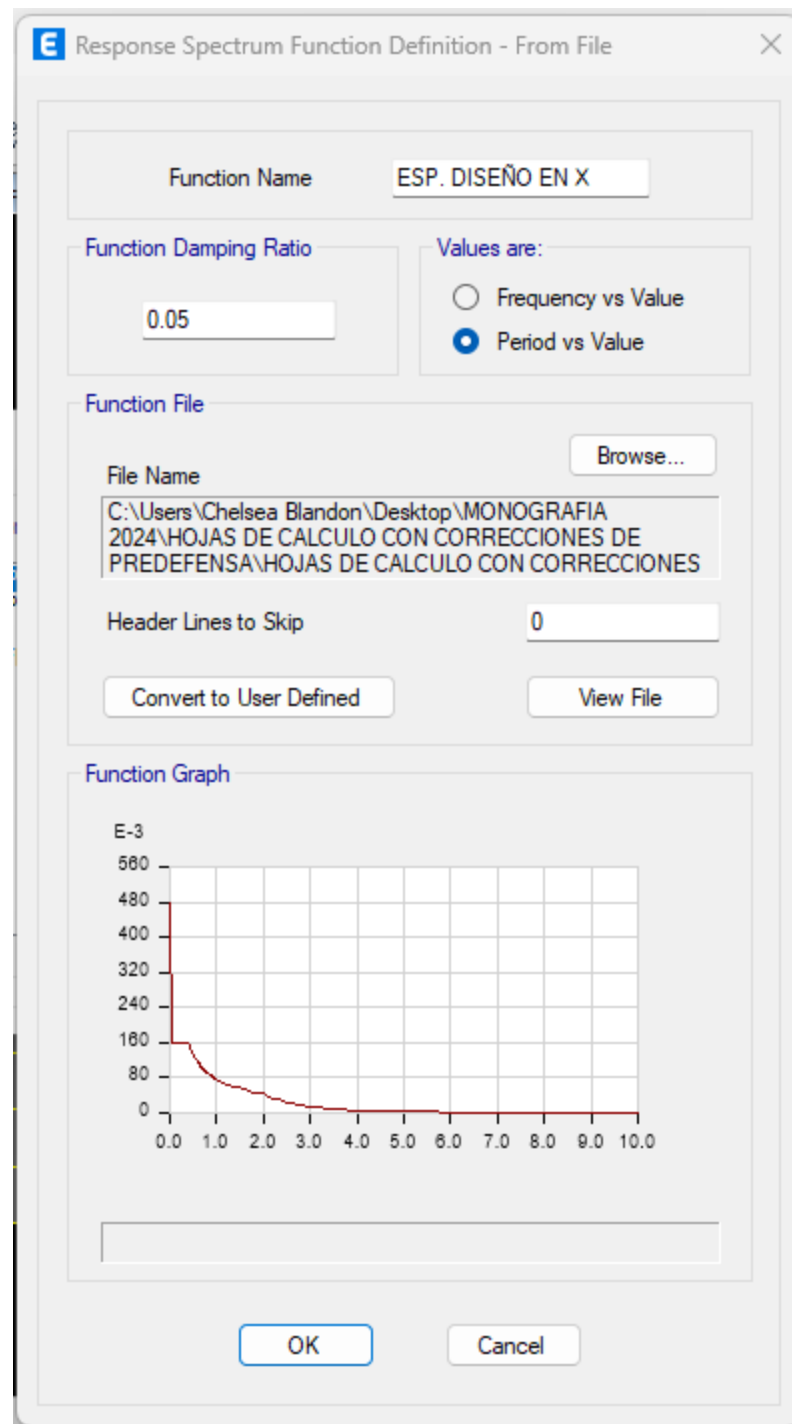
Con el espectro de diseño elástico calculado anteriormente para ambas direcciones (Tabla 22), se pasan los datos se pasan a un archivo de documento de texto y se proceden a cargar en el programa, creamos un espectro de diseño por cada dirección pero que son iguales ya que tenemos el mismo sistema estructural (SMF) en X, Y. Al igual también se procede hacer los mismo con la componente vertical del sismo (Ev), que representa el 70% del espectro de diseño.

Figura 35. Cuadro de Funciones para cargar Espectro de diseño en dirección X, Y, y Componente vertical del sismo Ev.



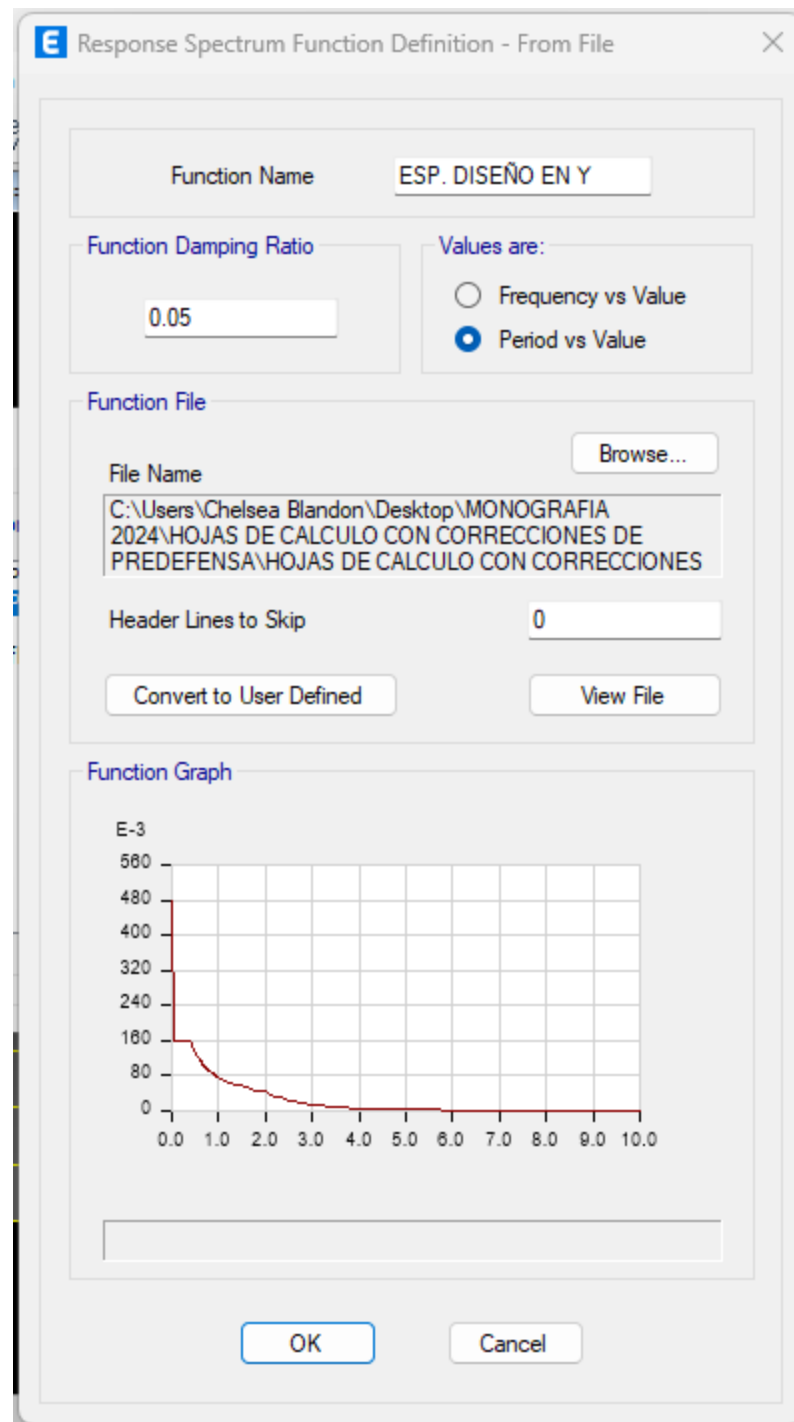
Fuente: Extraída del programa ETABS.

Figura 36. Espectro de diseño cargado al programa Etabs, dirección X.



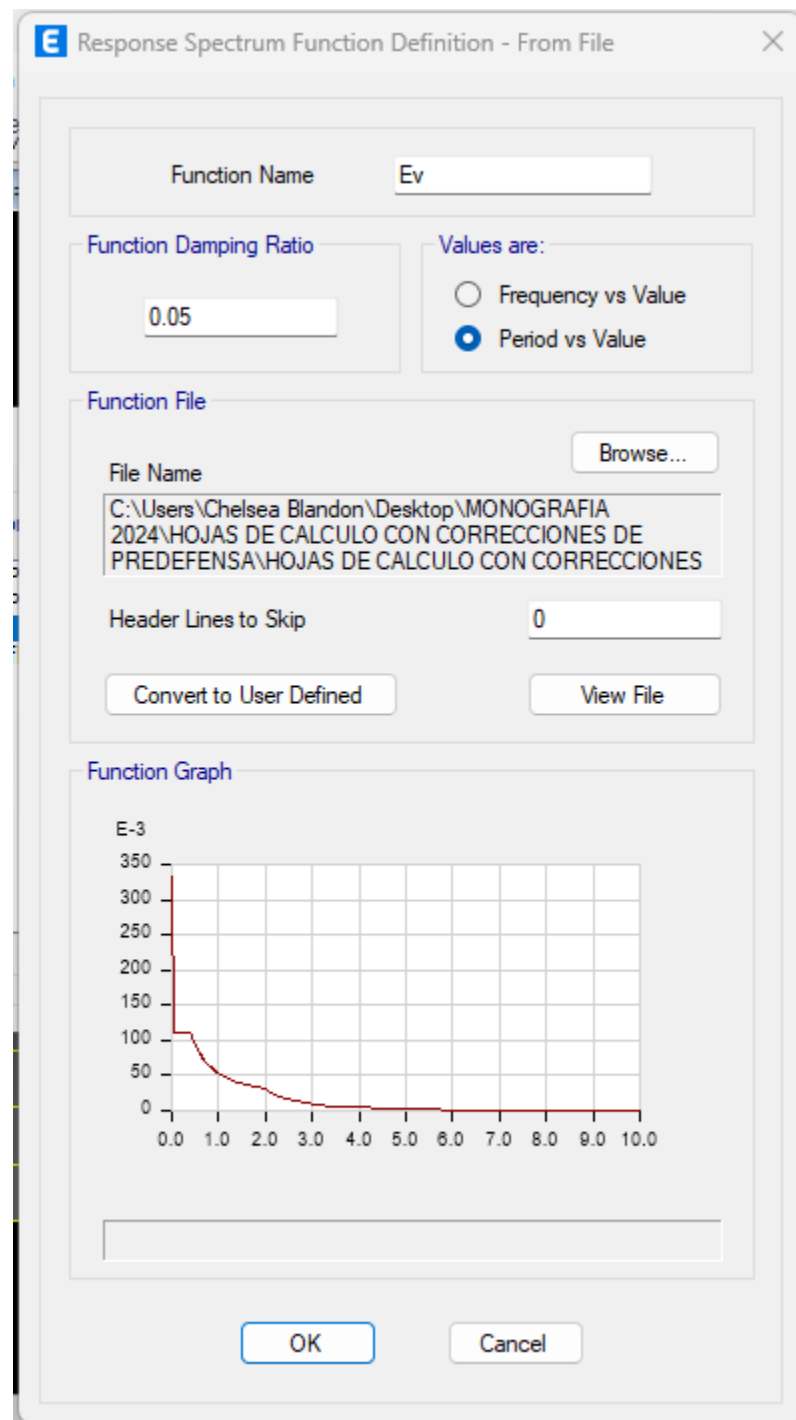
Fuente: Extraída del programa ETABS.

Figura 37. Espectro de diseño cargado al programa Etabs, dirección Y.



Fuente: Extraída del programa ETABS.

Figura 38. Componente vertical del sismo (Ev) cargado al programa Etabs.



Fuente: Extraída del programa ETABS.

i) Casos de cargas

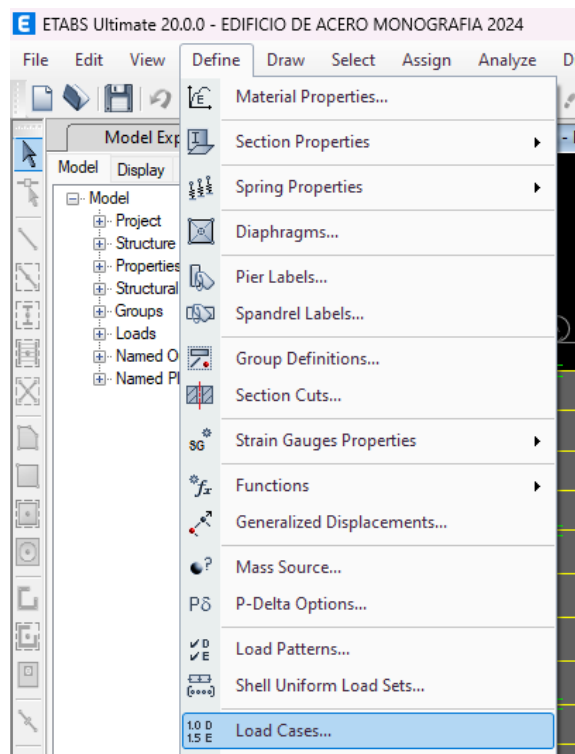
Se agregan casos de cargas para los sismos en X, Y. En función de eso se agregan los espectros de diseños para sus respectivas direcciones para cada uno. Al igual con la carga sísmica de la componente vertical del sismo (Ev).

Aunque el centro de masa coincida con el centro geométrico se considera una excentricidad accidental del 5% como se estipula en el capítulo 9.8 de la normativa.

En esta parte también se determina que, para el análisis modal espectral, la estructura se analizará bajo los efectos horizontales del movimiento del terreno simultáneos con una combinación por el método de la raíz cuadrada de la suma de cuadrados (SRSS). Sección: 8.2.2.4- Efectos bidireccionales de la NSCM-2022.

En el programa seleccionamos la pestaña Define, se despliega el menú de opciones y seleccionamos Load Cases, se abre cuadro de dialogo para agregar los casos de cargas.

Figura 39. Agregando casos de cargas Sx, Sy, Ev.



Fuente: Extraída del programa ETABS.

Figura 40. Caso de carga para sismo en X, Sx.

Load Case Data

General

Load Case Name: Sx

Load Case Type: Response Spectrum

Mass Source: Previous (MsSrc1)

Analysis Model: Default

Loads Applied

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U1	ESP. DIS. EN X	9.8067

Other Parameters

Modal Load Case: Modal

Modal Combination Method: CQC

☐ Include Rigid Response

Rigid Frequency, f1:

Rigid Frequency, f2:

Periodic + Rigid Type:

Earthquake Duration, td:

Directional Combination Type: SRSS

Absolute Directional Combination Scale Factor:

Modal Damping: Constant at 0.05

Diaphragm Eccentricity: 0.05 for All Diaphragms

OK Cancel

Fuente: Extraída del programa ETABS.

Figura 41. Caso de carga para sismo en Y, S_y

Load Case Data

General

Load Case Name: Sy

Load Case Type: Response Spectrum

Mass Source: Previous (MsSrc1)

Analysis Model: Default

Loads Applied

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U2	ESP. DIS. EN Y	9.8067

Other Parameters

Modal Load Case: Modal

Modal Combination Method: CQC

☐ Include Rigid Response

Rigid Frequency, f1:

Rigid Frequency, f2:

Periodic + Rigid Type:

Earthquake Duration, td:

Directional Combination Type: SRSS

Absolute Directional Combination Scale Factor:

Modal Damping: Constant at 0.05

Diaphragm Eccentricity: 0.05 for All Diaphragms

Buttons: Design..., Notes..., Add, Delete, Advanced, Modify/Show..., OK, Cancel

Fuente: Extraída del programa ETABS.

Figura 42. Caso de carga para componente vertical del sismo, Ev.

Load Case Data

General

Load Case Name: Ev

Load Case Type: Response Spectrum

Mass Source: Previous (MsSrc1)

Analysis Model: Default

Design... Notes...

Loads Applied

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U3	Ev	9.8067

Add Delete Advanced

Other Parameters

Modal Load Case: Modal

Modal Combination Method: CQC

☐ Include Rigid Response

Rigid Frequency, f1:

Rigid Frequency, f2:

Periodic + Rigid Type:

Earthquake Duration, td:

Directional Combination Type: SRSS

Absolute Directional Combination Scale Factor:

Modal Damping: Constant at 0.05

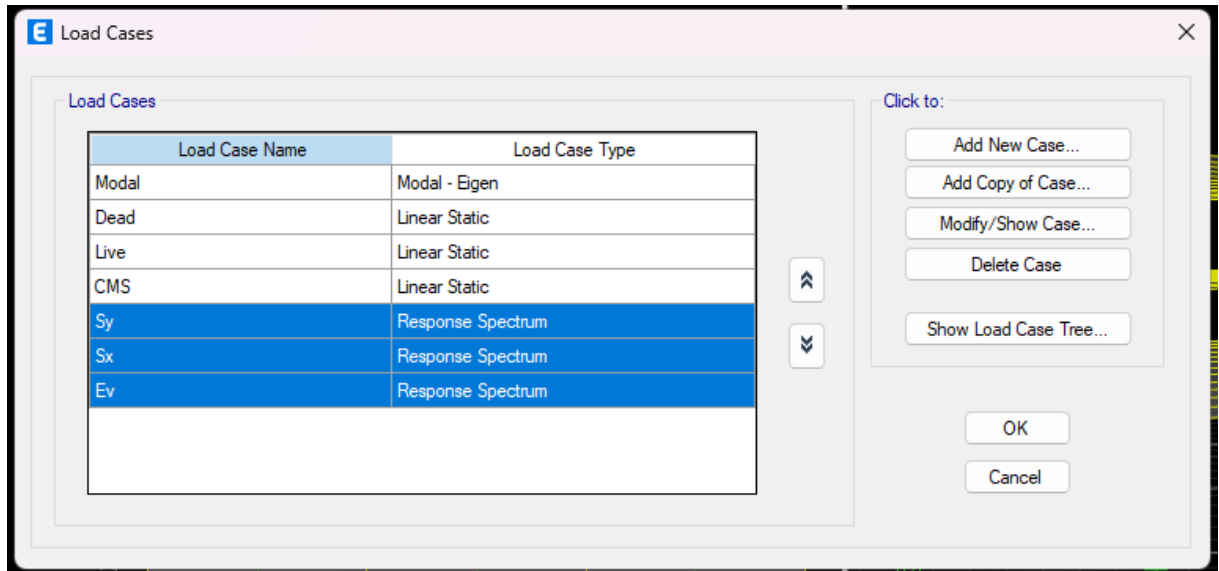
Diaphragm Eccentricity: 0 for All Diaphragms

Modify/Show... Modify/Show...

OK Cancel

Fuente: Extraída del programa ETABS.

Figura 43. Casos de cargas ya ingresadas en el modelo Sx, Sy, Ev.



Fuente: Extraída del programa ETABS.

j) Cargas y combinaciones de cargas

Las estructuras, componentes y cimientos deben diseñarse de manera que su resistencia de diseño iguale o exceda los efectos de las cargas factorizadas en las siguientes combinaciones. No es necesario considerar que las cargas de viento y sísmicas actúan simultáneamente. Sección 7.5.1 – Combinaciones básicas LRFD de la NSCM-2022.

$$1. \quad 1.4CM + H \quad (Ec. 37)$$

$$2. \quad 1.2CM + 1.6CV + 0.5C_{VT} + C_{CV} + H \quad (Ec. 38)$$

$$3. \quad 1.2CM + 1.6(C_{VT} \text{ o } C_{CV}) + (CV \text{ o } 0.5V) + H \quad (Ec. 39)$$

$$4. \quad 1.2CM + V + CV + 0.5(C_{VT} \text{ o } C_{CV}) + H \quad (Ec. 40)$$

$$5. \quad 0.9CM + V + H \quad (Ec. 41)$$

A continuación, la nomenclatura de las cargas para combinaciones de la norma. CM = Carga permanente, peso propio de estructura y carga adicional a la estructura que es fija o tenga carácter permanente (equipos, acabados, fachadas, etc.).

CV = Carga variable definida en sección 7.1

C_{VT} = Carga variable de techo

C_{CV} = Carga por Ceniza Volcánica (ver mapas de riesgo de INETER)

H = Empuje del suelo, presión lateral del agua o presión de material almacenado.

V = Carga por Viento

En la sección 8.2.1.9- Efectos bidireccionales de la NSCM 2022 nos dice: La estructura se analizará bajo los efectos horizontales del movimiento del terreno simultáneos con una combinación absoluta del 100% de los efectos del componente que obran en esa dirección y el 30% de los efectos del que obra perpendicularmente a ella. Con los signos que resulten más desfavorables para cada concepto. Ecuaciones 8.2-11 y 8.2-12 de la NSCM-2022.

$$E_h = E_x \pm 0.3E_y \quad (\text{Ec. 42})$$

$$E_h = 0.3E_x \pm E_y \quad (\text{Ec. 43})$$

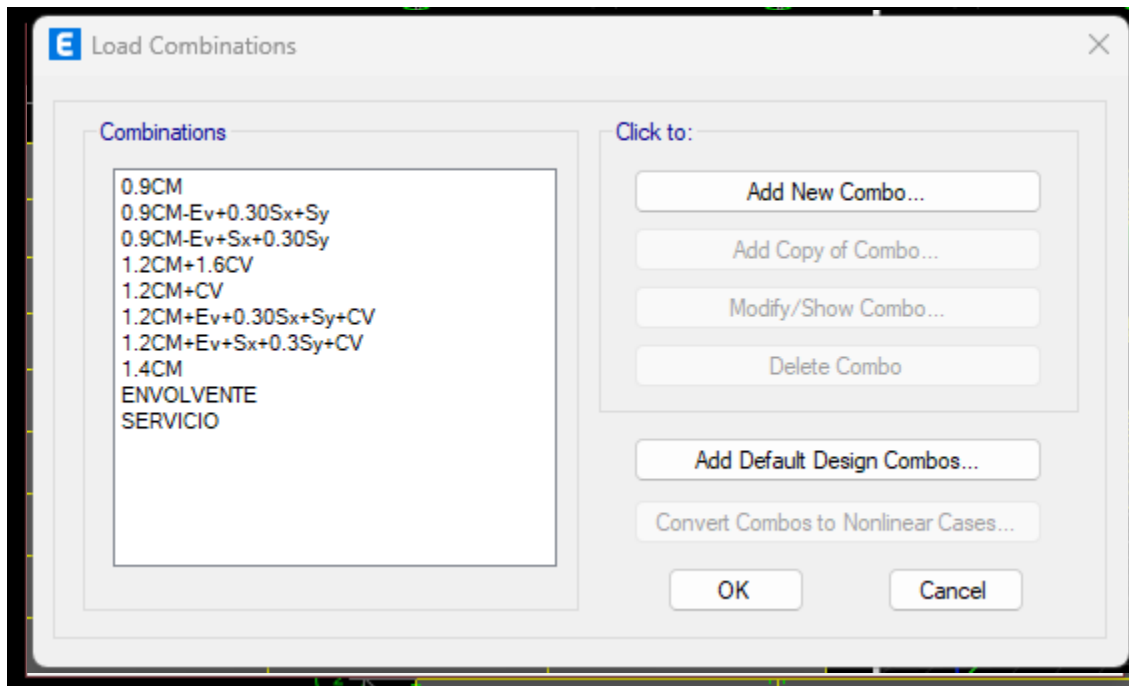
$$6. \quad 1.2CM + Ev + 0.30Sx + Sy + CV \quad (\text{Ec. 44})$$

$$7. \quad 1.2CM + Ev + Sx + 0.30Sy + CV \quad (\text{Ec. 45})$$

$$8. \quad 0.9CM - Ev + 0.30Sx + Sy \quad (\text{Ec. 46})$$

$$9 \quad 0.9CM - Ev + Sx + 0.30Sy \quad (\text{Ec. 47})$$

Figura 44. Combinaciones de carga introducidas en el modelo.



Fuente: Extraída del programa ETABS.

k) Peso sísmico efectivo.

El peso sísmico efectivo de la estructura (W) será el que resulte de la superposición de las cargas permanentes más una fracción de las cargas variables que contribuyan a la respuesta sísmica de la estructura.

Es necesario definir el cálculo de la masa de la estructura en el programa para obtener el peso, independientemente del método de análisis que se use, el peso sísmico efectivo a utilizarse será:

Caso general:

$$W = CM + 0.15 * CV$$

Donde:

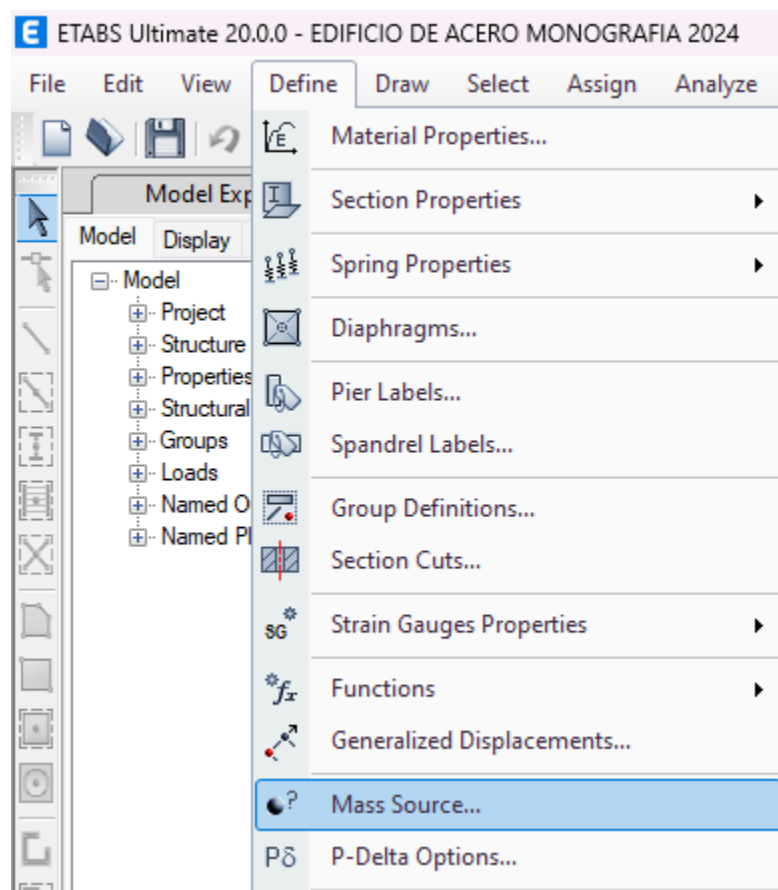
W = Peso de la estructura.

CM = Carga permanente, peso propio de estructura y carga adicional a la estructura que es fija o tenga carácter permanente (equipos, acabados, fachadas, etc.).

CV = Carga viva variable que está en función del uso y destino de la edificación de acuerdo con la tabla 7.1.1 de la NSCM 2022.

Se indica en el programa que debe de calcular la masa por medio del peso propio de cada elemento es decir la carga muerta (Dead) más los patrones de carga muerta sobrepuesta (CMS) y carga viva (0.15 Live), luego obteniendo el valor de la masa se multiplica por la gravedad obteniendo el peso de la estructura.

Figura 45. Selección del cuadro de dialogo para definir masa de la estructura.



Fuente: Extraída del programa ETABS.

Figura 46. Cuadro de distribución de cargas para el cálculo de la masa del edificio.

The 'Mass Source Data' dialog box is shown with the following configuration:

- Mass Source Name:** MsSrc1
- Mass Source:**
 - ☒ Element Self Mass
 - ☐ Additional Mass
 - ☒ Specified Load Patterns
 - ☒ Adjust Diaphragm Lateral Mass to Move Mass Centroid by:
 - This Ratio of Diaphragm Width in X Direction: 0
 - This Ratio of Diaphragm Width in Y Direction: 0
- Mass Multipliers for Load Patterns:**

Load Pattern	Multiplier
CMS	1
Live	0.15

Buttons: Add, Modify, Delete
- Mass Options:**
 - ☒ Include Lateral Mass
 - ☒ Include Vertical Mass
 - ☒ Lump Lateral Mass at Story Levels

Buttons: OK, Cancel

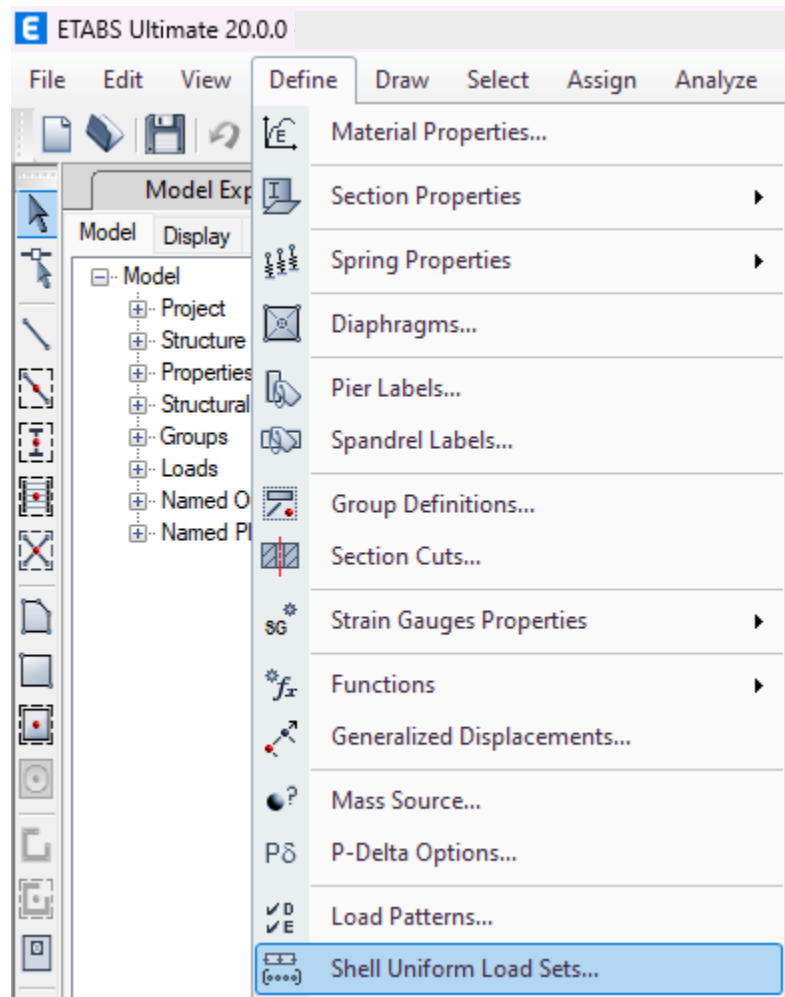
Fuente: Extraída del programa ETABS.

l) Asignando paquetería

Se asigna una paquetería de cargas para azotea y el resto de los pisos.

En el software Etabs seleccionamos la pestaña Define, se despliega el menú de opciones y seleccionamos Shell Uniform Load Sets, se abre cuadro de dialogo para agregar paquetería de cargas.

Figura 47. Cuadro para agregar paquetería de cargas.



Fuente: Extraída del programa ETABS.

CMS: metrado de cargas incluyendo cerámica, arenillado, cielo, lámparas, cables, etc.

CV: tabla 7.1.1 de la NSCM-2022 de acuerdo con el uso, se propuso 350 kgf/m^2

Tabla 2. Actualización de cargas variables unitarias mínimas.

Tabla 7.1.1 Cargas Variables Unitarias Mínimas kg/m²

DESTINO	MÁXIMO (CV)	NOTAS
Residencial (casas, apartamentos, cuartos de hoteles, internados de escuelas, cuarteles, cárceles, correccionales)	200	(1)
Salones de clase: Escuelas primarias, Preescolares	250	
Secundaria y universidad	250	
Hospitales (salas y cuartos), Asilos, Centros de Salud y Clínicas	200	
Salas de Operación	400	
Oficinas: Despachos	250	(2)
Salas de Archivo	500	
Bibliotecas: Salones de Lectura	300	
Salón de Libros	600	
Lugares de Reunión: Salones de Baile, gimnasios, restaurantes, museos y Salas de juegos	400	
Auditorios, Cines, Templos: Sillas Fijas	350	
Sillas móviles	500	
Teatros: Vestibulos	200	
Piso del escenario	700	
Graderías y tribunas	500	
Lugares de Comunicación para peatones (Pasillos, escaleras, rampas de parqueo y pasajes de acceso libre al público);	500	(1)
Estadios y lugares para espectáculo provisto de gradas (desprovisto de bancas o butacas)	500	
Laboratorios	250	
Comercio: Ligero	350	(2)
Semipesado	450	(2)
Pesado	550	(2)
Fábrica y Talleres: Ligero	400	(2)
Semipesado	500	(2)
Pesado	700	(2)
Bodegas: Ligero	450	(2)
Semipesado	650	(2)
Pesado	1,000	(2)
Techos de losas con pendiente no mayor de 5%	100	(3)
Techos de losas con pendiente mayor de 5%	50	(3)
Garajes y estacionamientos (para automóviles exclusivamente, altura controlada a 2.40 m)	250	(4)
Andamios temporales para la construcción	150	(5)
Marquesinas, balcones y similares	500	

Fuente: Norma Sismorresistente para la ciudad de Managua 2022.

Figura 48. Set de cargas asignada a la azotea.

Shell Uniform Load Set Data

Uniform Load Set Name: SET DE CARGAS AZOTEA

Load Set Loads

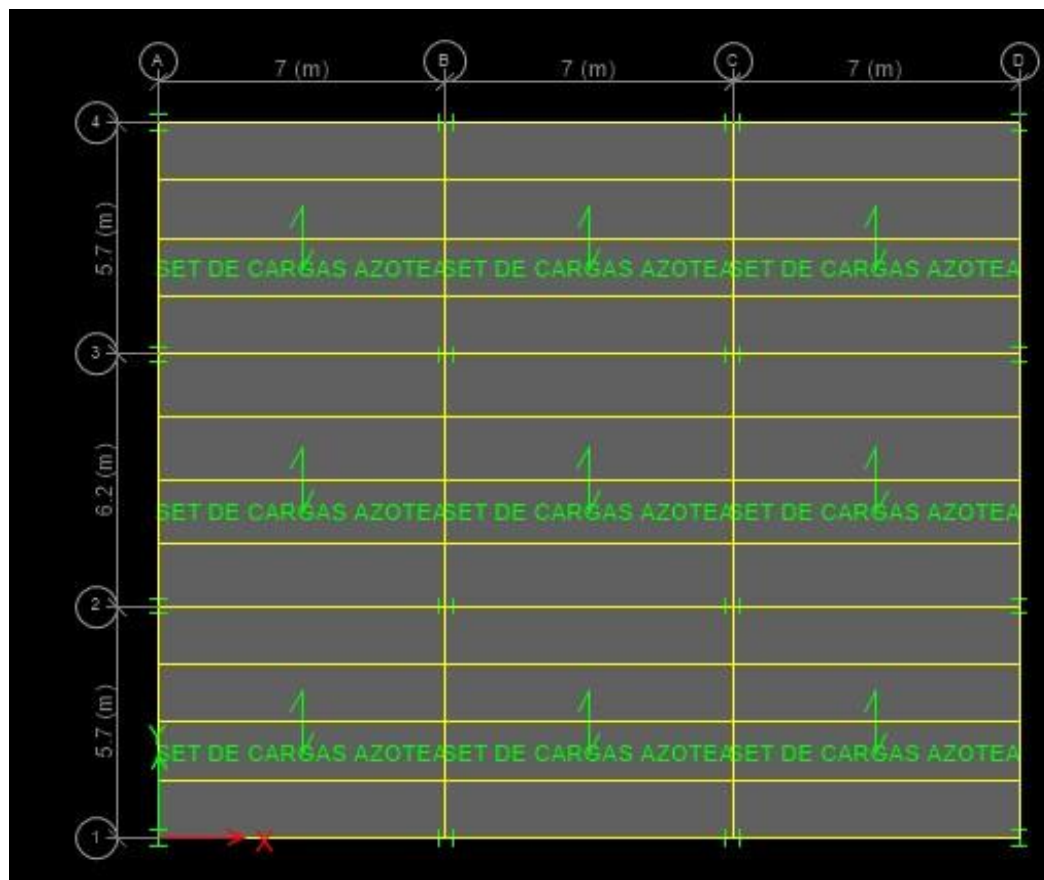
Load Pattern	Load Value (kgf/m²)
CMS	250
Live	175

Add

Delete

Note: Loads are in the gravity direction.

OK Cancel



Fuente: Extraída del programa ETABS.

Figura 49. Set de cargas asignada a los pisos 1 y 2.

E Shell Uniform Load Set Data

Uniform Load Set Name: SET DE CARGAS PISOS

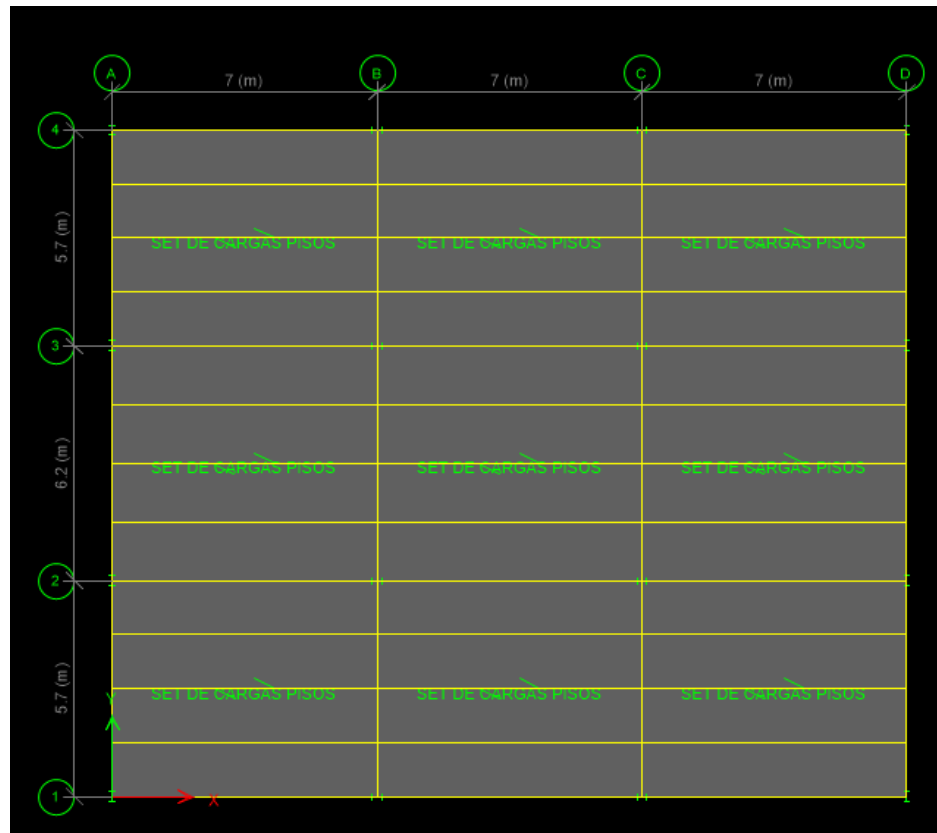
Load Set Loads

Load Pattern	Load Value (kgf/m ²)
CMS	500
Live	350

Add
Delete

Note: Loads are in the gravity direction.

OK Cancel



Fuente: Extraída del programa ETABS.

m) Diafragma de la estructura

Se entiende por diafragma cualquier sistema de techo o entrepiso generalmente horizontal, con suficiente rigidez en su plano para que sea capaz de transmitir fuerzas laterales ya sea de sismo o viento a los elementos verticales que forman el sistema resistente a dichas cargas.

El diafragma y los elementos que lo conectan al sistema resistente a carga lateral deben estar en capacidad de transmitir las fuerzas horizontales en las dos direcciones ortogonales más la torsión en dicho nivel, provenientes de la aplicación de los métodos de análisis.

Diafragma flexible: Es aquel diafragma que solo tiene la capacidad de transmitir las fuerzas de corte directo tangenciales al plano del diafragma. Como ejemplo de diafragma flexible se puede considerar: los sistemas de pisos de madera y techos con forro inferior de madera que estén debidamente unidos en toda su longitud a los elementos verticales resistentes a las cargas verticales.

Los diafragmas flexibles deberán ser modelados con un número suficiente de grados de libertad en su plano que describa apropiadamente los movimientos relativos entre sus partes, las distorsiones en su plano y la transmisión de fuerzas inerciales al sistema resistente a cargas laterales.

Diafragma rígido: Es un diafragma que tiene suficiente rigidez para poder transmitir de manera uniforme los desplazamientos en todos los puntos que la componen. Se deberá modelar para que en su plano describa dos grados de libertad traslacionales y ortogonales y un grado de libertad alrededor de un eje normal de dicho plano que describa su rotación.

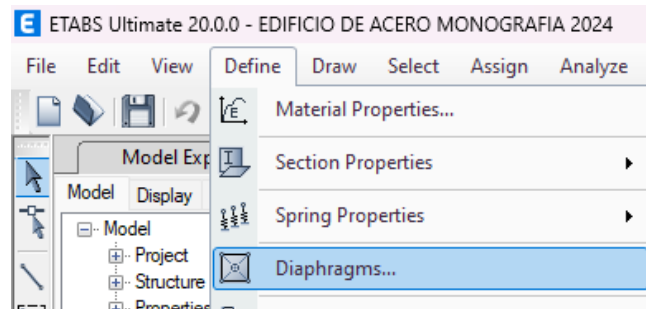
Como ejemplos de diafragmas rígidos tenemos: losas de concreto reforzado con espesores no menores a 5 cm, losas compuestas metal deck llenas de concreto,

losas aligeradas, losas nervadas etc. Además, que tengan una relación largo ancho menor o igual que 3 y que no tengan ningún tipo de irregularidad en planta.

En este caso el diafragma de nuestra estructura es rígido ya que las columnas se integran con la losa y todas comparten el mismo grado de libertad, lo que significa que la losa unifica a todos los elementos tiene un espesor de 0.1651 m.

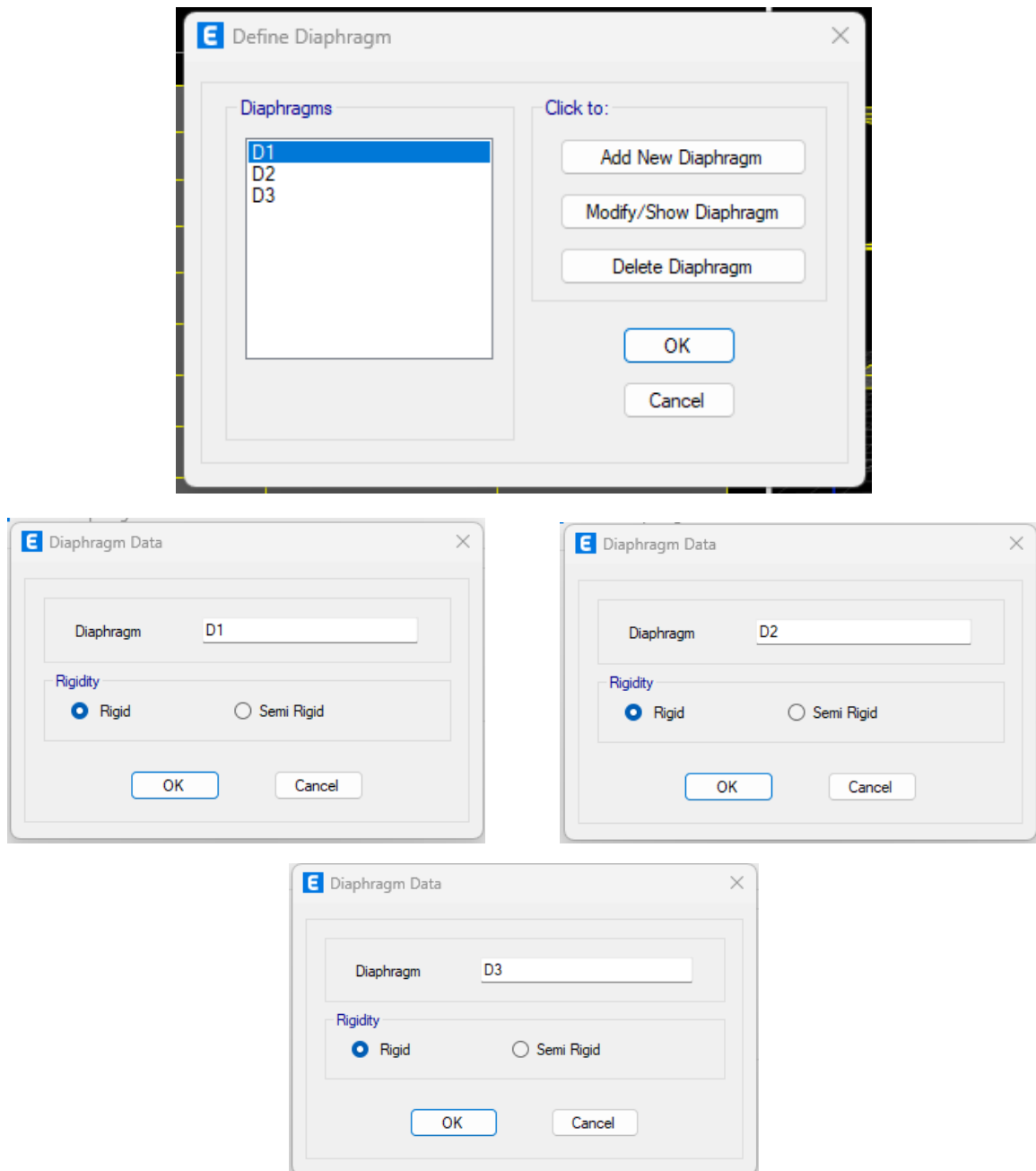
En el programa seleccionamos la pestaña Define, se despliega el menú de opciones y seleccionamos Diaphragms, se abre cuadro de dialogo para agregar diafragma rígido en cada nivel.

Figura 50. Agregando diafragmas rígidos en cada losa de piso.



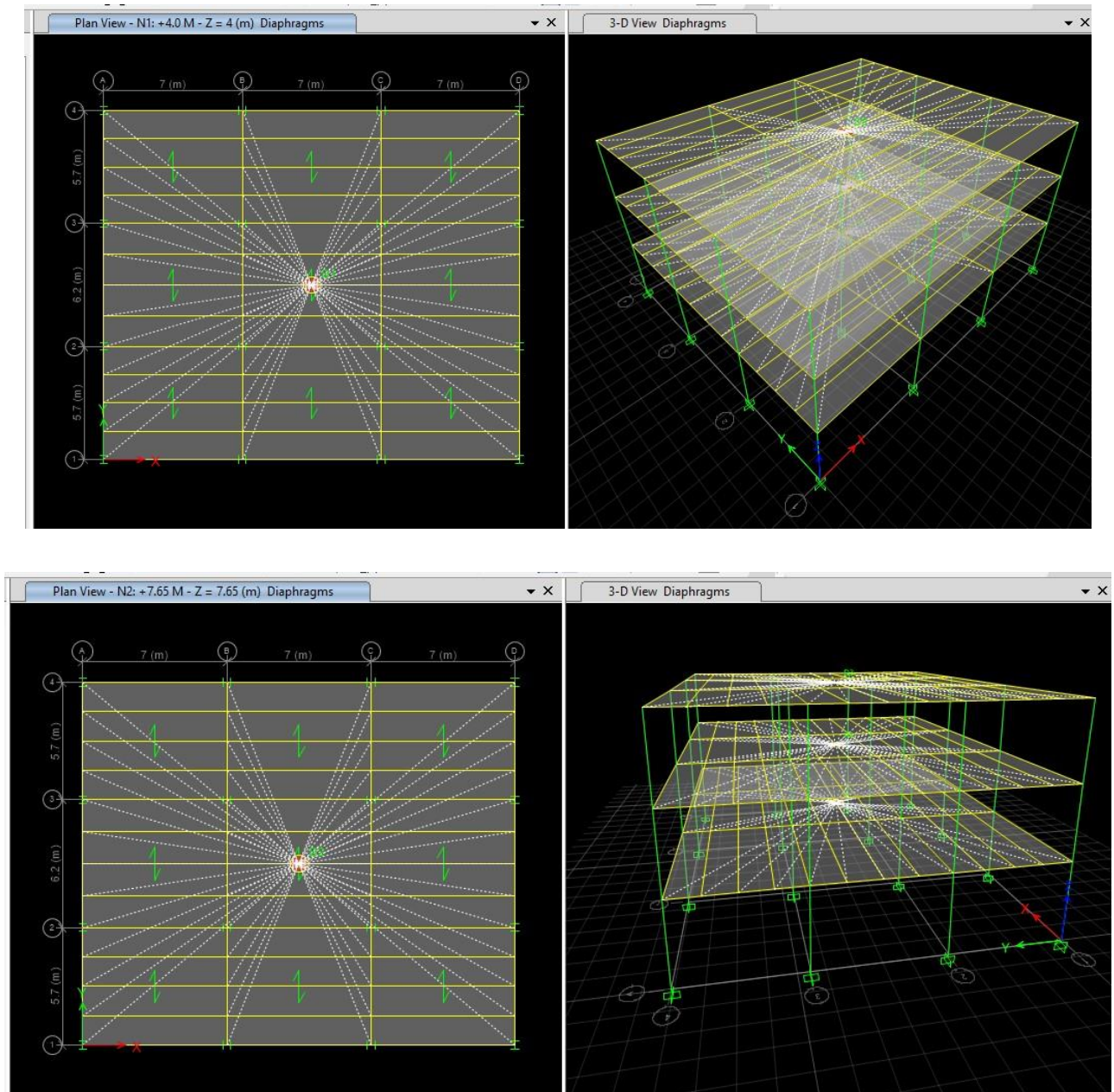
Fuente: Extraída del programa ETABS.

Figura 51. Diafragmas rígidos creados para cada losa de piso.



Fuente: Extraída del programa ETABS.

Figura 52. Diafragmas rígidos asignados a cada losa de piso N1, N2 y Azotea.

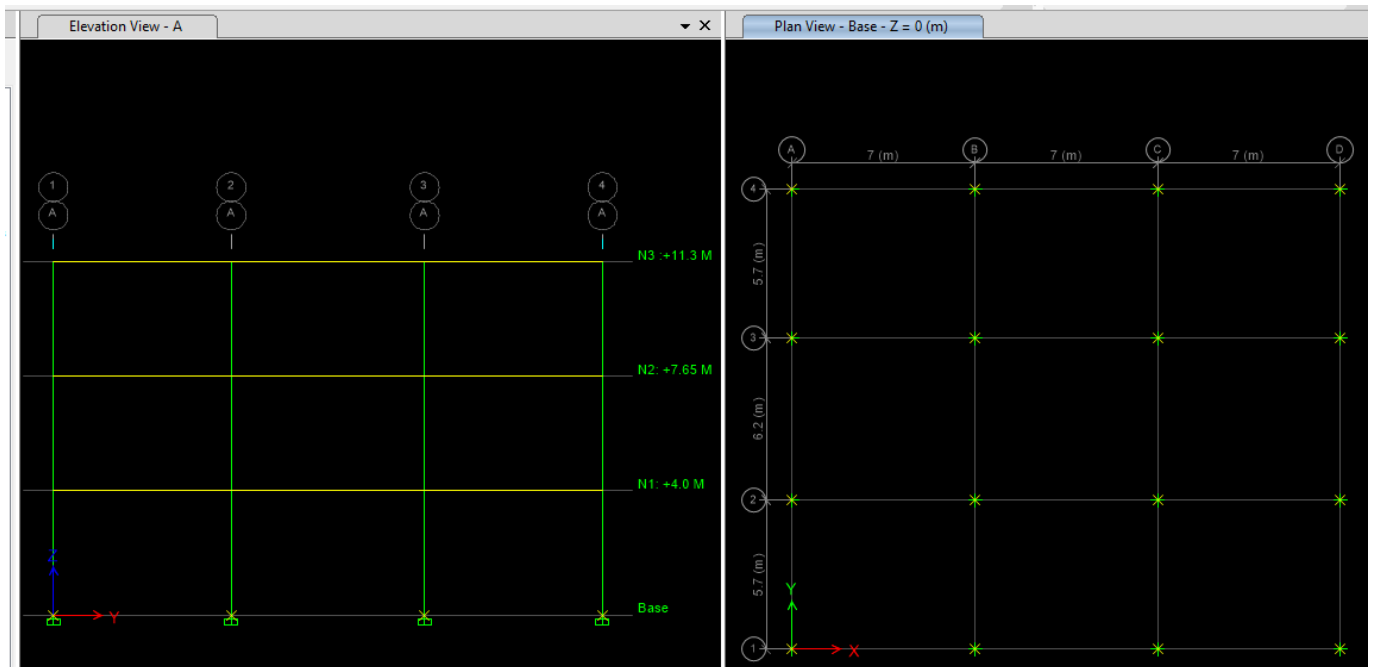
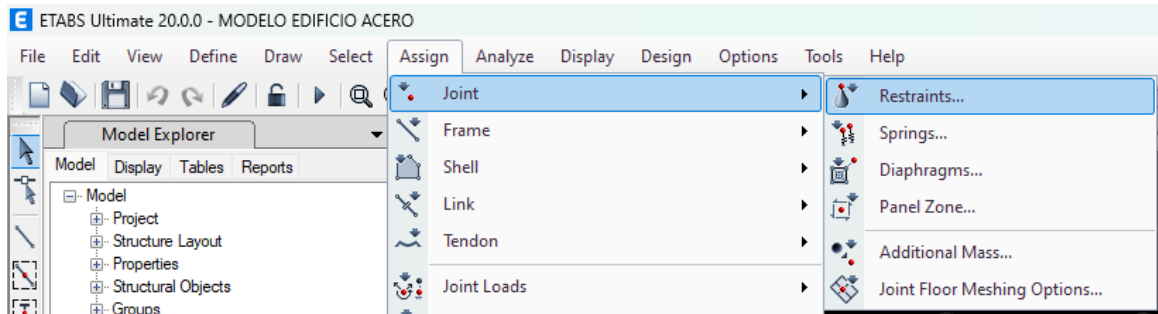


Fuente: Extraída del programa ETABS.

n) Asignación de apoyos a la base de la estructura.

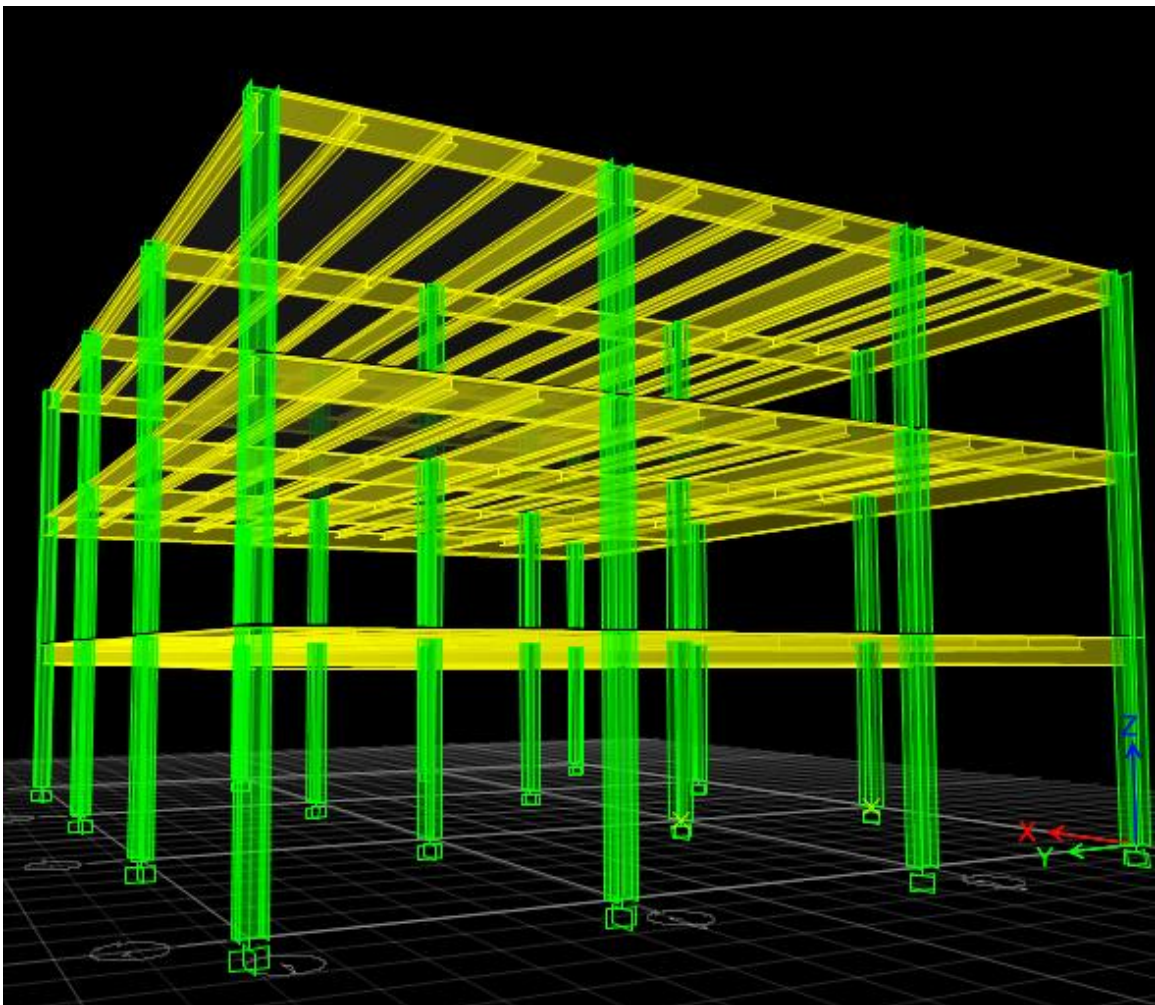
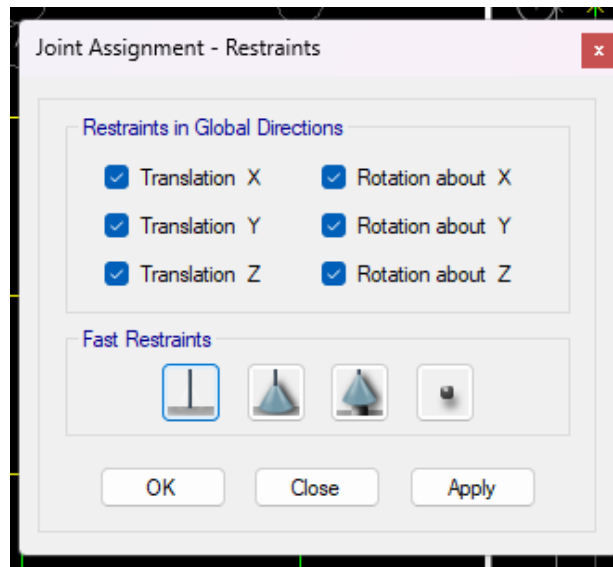
Se selecciona la base del edificio y accedemos la pestaña Assign, luego Restraints y asignamos el tipo de apoyo empotrado para restringir traslación y rotación en todas las direcciones X, Y, Z.

Figura 53. Asignando tipo de restricción en el apoyo.



Fuente: Extraída del programa ETABS.

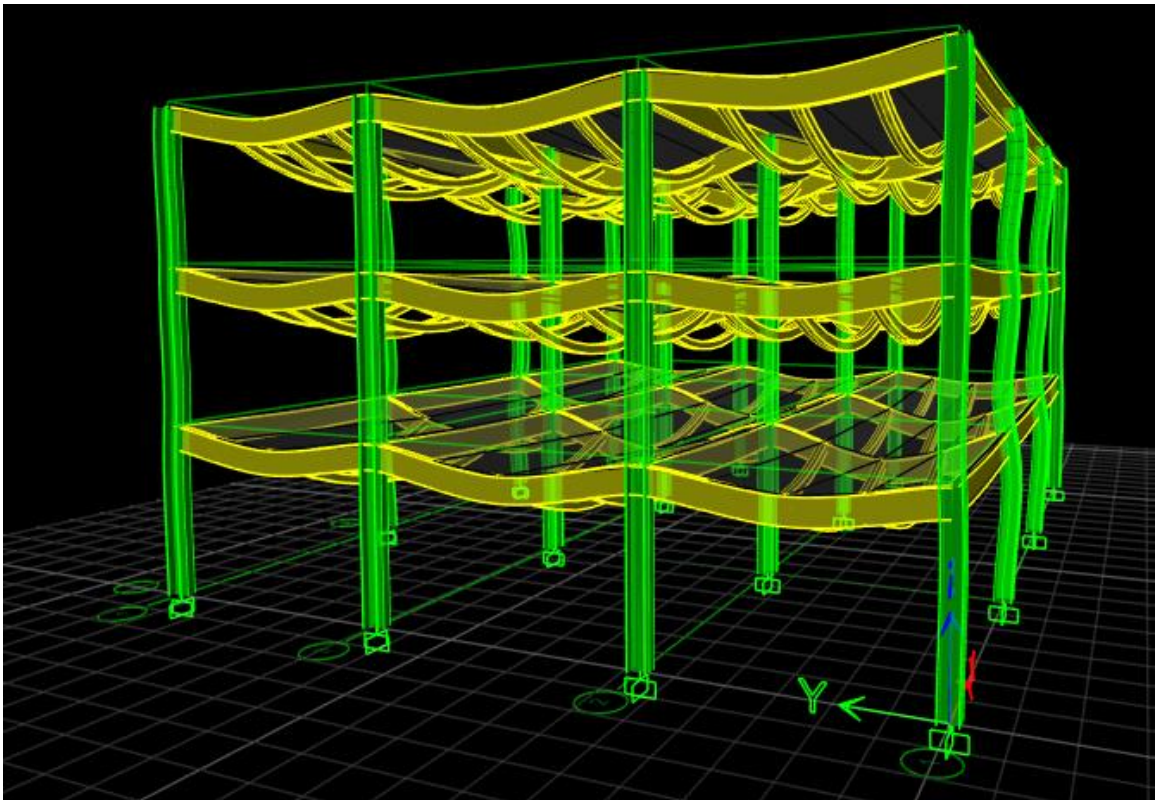
Figura 54. Apoyo de empotre asignado a la base de la estructura.



Fuente: Extraída del programa ETABS.

5.4.1. Se procede a correr el programa y se extrae:

Figura 55. Edificio de acero con deformaciones debido a cargas asignadas en el modelo.



➤ Masas y pesos por nivel.

Tabla 24. Tabla de Masas por nivel.

TABLE: Mass Summary by Story				
Story	UX	UY	WX	WY
	tonf-s ² /m	tonf-s ² /m	tonf	tonf
N3: +11.3 M	24.9156	24.9156	244.3220	244.3220
N2: +7.65 M	35.9121	35.9121	352.1541	352.1541
N1: +4.0 M	35.9682	35.9682	352.7042	352.7042
Σ Total=			949.1802	949.1802

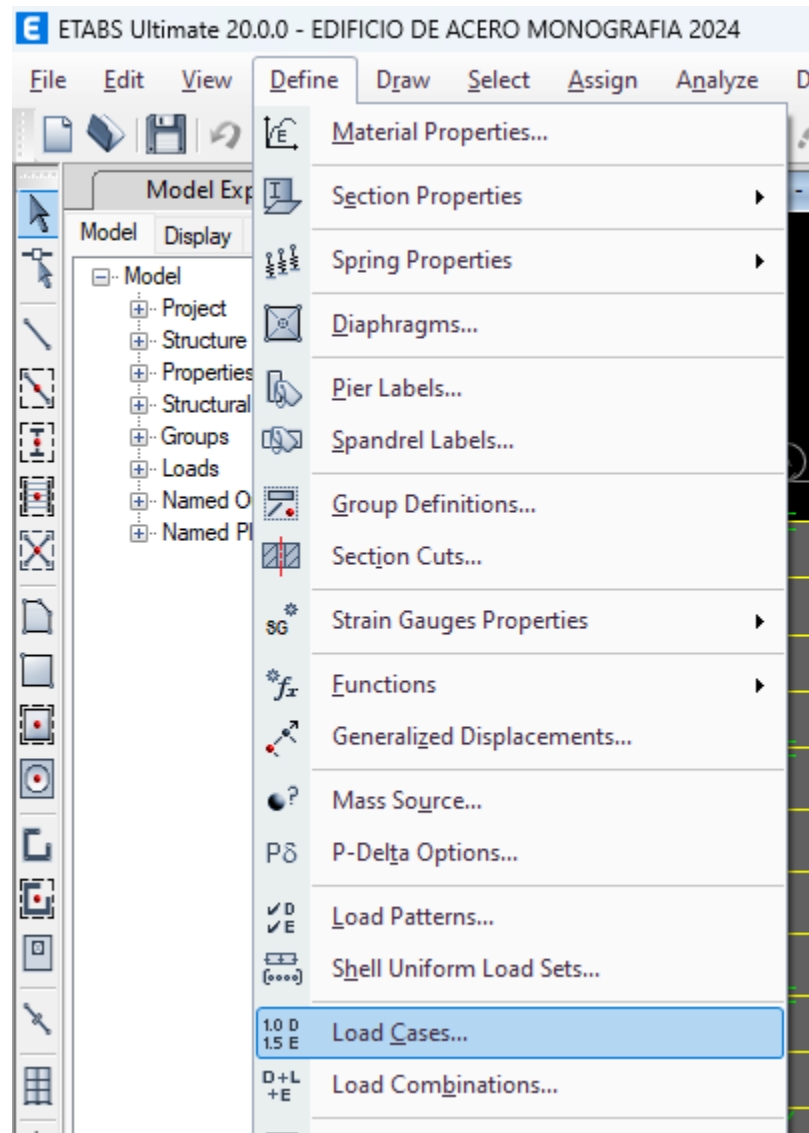
Fuente: Extraída del programa ETABS.

Numero de modos en el método dinámico espectral (MDE)

Se realizará un análisis para determinar los modos naturales de vibración de la estructura. El análisis incluirá el número suficiente de modos de vibración de manera que se alcance por lo menos la participación modal del 90% de la masa sísmica en cada dirección horizontal ortogonal.

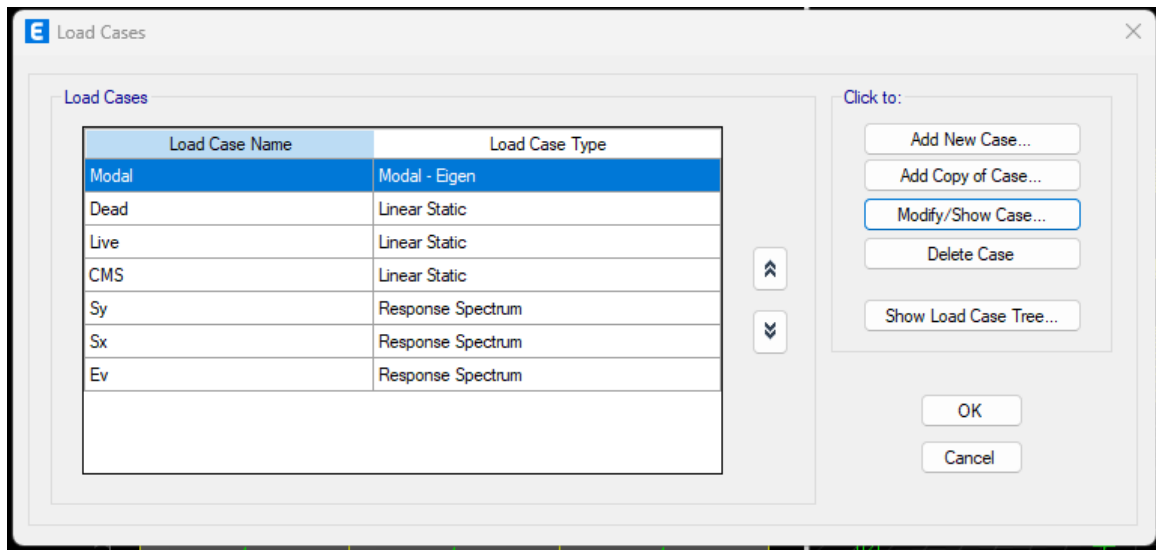
El valor de cada parámetro de diseño de interés, incluyendo derivas de piso, reacciones en apoyos y fuerzas en elementos individuales para cada modo de respuesta, serán calculados usando las propiedades de cada modo y el espectro de diseño definido, dividido por la cantidad R_0/I . El valor de los desplazamientos y de las derivas deberá ser multiplicado por C_d/I .

Figura 56. Definiendo el número de modos de vibración de la estructura.



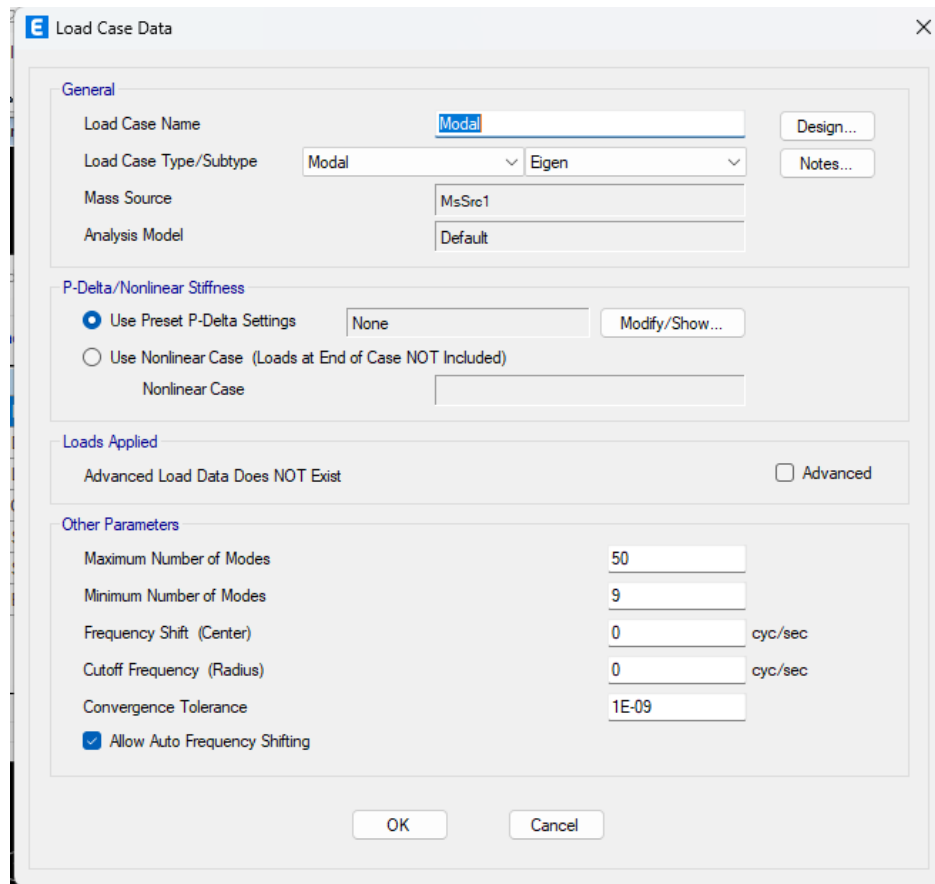
Fuente: Extraída del programa ETABS.

Figura 57. Selección del caso Modal.



Fuente: Extraída del programa ETABS.

Figura 58. Asignación del número máximo y mínimo de modos de vibración a calcular.



Fuente: Extraída del programa ETABS.

Determinación de modos de vibrar y porcentajes de participación de masas.

Tabla 25. Tabla de los Modos de vibrar y Porcentaje de participación de masas.

TABLE: Modal Participating Mass Ratios									
Case	Mode	Period (seg)	UX	UY	SumUX	SumUY	RZ	SumRZ	
Modal	1	0.655	0.8825	0	0.8825	0	0	0	PRIMER DE MODO DE VIBRACIÓN
Modal	2	0.638	0	0.8848	0.8825	0.8848	0	0	
Modal	3	0.512	0	0	0.8825	0.8848	0.8786	0.8786	
Modal	4	0.202	0.0978	0	0.9803	0.8848	0	0.8786	SEGUNDO MODO DE VIBRACION DEL EDIFICIO SE LLEGO AL 90% DE LA PARTICIPACIÓN DE LA MASA
Modal	5	0.200	0	0.0946	0.9803	0.9794	0	0.8786	
Modal	6	0.158	0	0	0.9803	0.9794	0.0995	0.9781	
Modal	7	0.141	0	0	0.9803	0.9794	0	0.9781	TERCER MODO DE VIBRACIÓN
Modal	8	0.141	0	0	0.9803	0.9794	0	0.9781	
Modal	9	0.127	0	0	0.9803	0.9794	0	0.9781	

Fuente: Extraída del programa ETABS.

Se observa que en el segundo modo de vibración se logra el 90 % de la participación de las masas, que es el mínimo de solicitado por la normativa en la sección 8.2.2.2.

Periodo fundamental:

$$T_{\text{fundamental } X} = 0.202 \text{ seg}$$

$$T_{\text{fundamental } Y} = 0.200 \text{ seg}$$

➤ **Cálculo de la fuerza sísmica**

El programa arroja el cortante de piso para ambas direcciones, se calcula fuerza sísmica con la resta del cortante inferior menos el superior.

Tabla 26. Tabla de Cortante de piso y Fuerza sísmica.

Story	Elevation (m)	Location	FUERZA SISMICA		CORTANTE DE PISO	
			X-Dir (tonf)	Y-Dir (tonf)	X-Dir (tonf)	Y-Dir (tonf)
N3: +11.3 M	11.3	Top	36.98	37.38	36.98	37.38
N2: +7.65 M	7.65	Top	34.60	35.60	71.57	72.98
N1: +4.0 M	4.00	Top	19.54	20.11	91.11	93.09
					Cortante de piso	



Fuente: Extraída del programa ETABS.

El cortante coincide con las reacciones en la base

Tabla 27. Tabla de Reacciones en la base.

TABLE: Base Reactions				
Output Case	Case Type	Step Type	FX (tonf)	FY (tonf)
Sx_DIN	LinRespSpec	Max	91.11	1,780.20
SY_DIN	LinRespSpec	Max	1,814.61	93.09

Fuente: Extraída del programa ETABS.

➤ **Cálculo del periodo fundamental aproximado (T_a), según la sección 8.2.1.6 de la NSCM-2022.**

$$T_a = C_t * h_n^x \quad (\text{Ec. 48})$$

Donde h_n es la altura de la estructura en metros y los coeficientes C_t y x se muestran en la Tabla 8.2-2 de la NSCM 2022.

Tabla 28. Coeficientes para el cálculo del periodo aproximado.

Tabla 8.2.2 - Coeficientes para el cálculo del periodo aproximado

Tipo de estructura	C_t	x
Marcos resistentes a momentos en los que los marcos resisten el 100% de la fuerza sísmica y que no estén ligados a componentes rígidos que impidan o restrinjan su desplazamiento lateral.		
• Marcos de acero resistentes a momentos.	0.0724	0.80
• Marcos de concreto reforzados resistentes a momentos.	0.0466	0.90
Marcos de acero arriostrados excéntricamente.	0.0731	0.75
Marcos de acero arriostrados con pandeo restringido.	0.0731	0.75
Todos los demás sistemas estructurales.	0.0488	0.75

SISTEMA
PREDOMINANTE

$$C_t = 0.0724$$

$$x = 0.80$$

$$h_n = 11.3 \text{ m}$$

$$T_a = C_t * h_n^x \quad (\text{Ec. 48})$$

$$T_a = 0.50373 \text{ seg}$$

- **Cálculo del periodo fundamental máximo (T_{max}), según la sección 8.2.1.5 de la NSCM-2022.**

$$T_{max} = C_u * T_a \quad (Ec. 49)$$

$$a_0 = 0.366670$$

$$F_{as} = 1.3$$

$$F_{as} * a_0 = 0.476671$$

Tabla 29. Tabla de Coeficiente para el límite superior del periodo máximo calculado.

Tabla 8.2.1- Coeficiente para el límite superior del período máximo calculado

$F_{as} * a_0$	C_u
≥ 0.3	1.4
0.2	1.5
0.15	1.6
≤ 0.1	1.7

$$C_u = 1.4$$

$$T_a = 0.50373 \text{ seg}$$

$$T_{max} = C_u * T_a \quad (Ec. 49)$$

$$T_{max} = 0.70523 \text{ seg}$$

Periodo fundamental extraído de la tabla Modal participación de la masa:

$$T_{fundamental X} = 0.202 \text{ seg}$$

$$T_{fundamental Y} = 0.200 \text{ seg}$$

Debido a que el periodo fundamental extraído de tabla ($T_{fundamental}$) es menor al periodo máximo calculado (T_{max}), se usara ($T_{fundamental}$) como periodo fundamental máximo:

$$T_{max} X = 0.202 \text{ seg}$$

$$T_{max} Y = 0.200 \text{ seg}$$

✓ **Cálculo del coeficiente sísmico (C_s), según la sección 8.2.1.3 de la NSCM-2022. Ecuación 8.2.1.3.**

$$C_s = \frac{\beta * A_0}{R_0} \quad \boxed{T \leq FS_{Tc} * T_c} \quad (\text{Ec. 2})$$

$$C_s = \frac{\beta * A_0}{R_0} * \left(\frac{FS_{Tc} * T_c}{T} \right)^p \quad FS_{Tc} * T_c \leq T \leq T_d \quad (\text{Ec. 3})$$

$$C_s = \frac{\beta * A_0}{R_0} * \left(\frac{FS_{Tc} * T_c}{T} \right)^p * \left(\frac{T_d}{T} \right)^q \quad T_d \leq T \quad (\text{Ec. 4})$$

$$T \leq FS_{Tc} * T_c$$

$$0.202 \text{ seg} \leq 1.333333333 * 0.3 \text{ seg} = 0.4 \text{ seg}$$

$$0.200 \text{ seg} \leq 1.333333333 * 0.3 \text{ seg} = 0.4 \text{ seg}$$

$$FS_{Tc} * T_c = 0.4 \text{ seg}$$

$$FS_{Tc} = 1.3333 (4/3)$$

$$FS_{Tb} = 1$$

$$Tb = 0.05 \text{ seg}$$

$$Tc = 0.3 \text{ seg}$$

$$Td = 2 \text{ seg}$$

$$\beta = 2.40$$

$$a_0 = 0.3667$$

$$F_{as} = 1.3$$

$$I = 1.0$$

$$A_0 = a_0 * F_{as} * I \quad (\text{Ec. 5})$$

$$\begin{aligned}
A_0 &= 0.3667 * 1.3 * 1 = 0.47671 \\
R_0 &= 7.2 \\
p &= 0.8 \\
C_S &= \frac{\beta * A_0}{R_0} \quad (\text{Ec. 2})
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
C_S X &= \frac{2.40 * 0.47671}{7.2} = 0.15890 \\
C_S Y &= \frac{2.40 * 0.47671}{7.2} = 0.15890
\end{aligned}$$

✓ **Cálculo del coeficiente sísmico mínimo (C_{S_min}), según la sección 8.2.1.4 de la NSCM-2022. Ecuación 8.2-3.**

$$C_{S_min} = FS_{T_c} * \beta * \frac{A_0}{R_0} \quad (\text{Ec. 6})$$

$$\begin{aligned}
FS_{T_c} &= 4/3 \\
\beta &= 2.40 \\
A_0 &= 0.47671 \\
R_0 &= 7.2 \\
C_{S_min} X &= 1.333 * 2.40 * \frac{0.47671}{2 * 7.20} = 0.10594 \\
C_{S_min} Y &= 1.333 * 2.40 * \frac{0.47671}{2 * 7.20} = 0.10594
\end{aligned}$$

Se utiliza el valor más alto de los coeficientes sísmicos calculados:

$$\begin{aligned}
C_S X &= 0.15890 \\
C_S Y &= 0.15890
\end{aligned}$$

✓ **Calculando el cortante basal estático.**

Tabla 30. Tabla de Masas por nivel.

TABLE: Mass Summary by Story					
Story	UX (tonf-s ² /m)	UY (tonf-s ² /m)	UZ (tonf-s ² /m)	WX (tonf)	WY (tonf)
N3: +11.3 M	24.916	24.916	24.916	244.322	244.322
N2: +7.65 M	35.912	35.912	35.912	352.154	352.154
N1: +4.0 M	35.968	35.968	35.968	352.704	352.704
			W Total=	949.180	949.180

Fuente: Extraída del programa ETABS.

$$V_b = C_s * W \quad (Ec. 50)$$

$C_s X =$	00.15890
$C_s Y =$	0.15890
$WX =$	949.180 tonf
$WY =$	949.180 tonf
$V_b X =$	150.828 tonf
$V_b Y =$	150.828 tonf

✓ **Calculando cortante dinámico.**

Tabla 27. Tabla de Reacciones en la base.

TABLE: Base Reactions						
Output Case	Step Type	FX (tonf)	FY (tonf)	MX (tonf-m)	MY (tonf-m)	MZ (tonf-m)
Sx	Max	91.11	0.00	0.00	744.36	801.79
Sy	Max	0.00	93.09	752.02	0.00	977.41

Fuente: Extraída del programa ETABS.

$VD_X =$	91.11 tonf
$VD_Y =$	93.09 tonf

✓ **Relación de cortantes:**

$VD_X/V_b X =$	$\frac{91.11 \text{ tonf}}{150.828 \text{ tonf}} = 0.604$
$VD_Y/V_b Y =$	$\frac{93.09 \text{ tonf}}{150.828 \text{ tonf}} = 0.617$

Ambas relaciones dan menor que 1, que corresponde al 100% es necesario aplicar factor de escalamiento para incrementar las fuerzas ya que el cortante dinámico es menor al cortante estático.

✓ **Cálculo factor de escalamiento (FE), según la sección 8.2.2.7 de la NSCM-2022. Ecuación 8.2-14.**

$$\text{Factor de escala} = \frac{V_b}{V_t} = \frac{V_E}{V_D} > 1$$

$$\text{Factor de escala} = V_b X / VD_Y = 1.6553938$$

$$\text{Factor de escala} = V_b Y / VD_Y = 1.6202913$$

✓ **Recalculando de la fuerza sísmica.**

El programa arroja el cortante de piso para ambas direcciones y se multiplican por el factor de escalamiento, luego se calcula fuerza sísmica con la resta del cortante inferior menos el superior. Se obtiene:

			FUERZA SISMICA		CORTANTE DE PISO	
Story	Elevation (m)	Location	X-Dir (tonf)	Y-Dir (tonf)	X-Dir (tonf)	Y-Dir (tonf)
N3: +11.3 M	11.3	Top	61.21	60.56	61.21	60.56
N2: +7.65 M	7.65	Top	57.27	57.68	118.48	118.24
N1: +4.0 M	4.00	Top	32.34	32.58	150.83	150.83
					Cortante basal	

TABLE: Base Reactions				
Output Case	Case Type	Step Type	FX tonf	FY tonf
Sx_DIN	LinRespSpec	Max	150.83	0.00
SY_DIN	LinRespSpec	Max	0.00	150.83

$T_a =$	0.50373 seg
$T_{max} X =$	0.202 seg
$T_{max} Y =$	0.200 seg
$C_s X =$	0.15890
$C_s Y =$	0.15890

✓ **Recalculando del cortante basal estático.**

Tabla 31. Tabla de Masas por nivel.

TABLE: Mass Summary by Story					
Story	UX	UY	UZ	WX	WY
	tonf-s ² /m	tonf-s ² /m	tonf-s ² /m	tonf	tonf
N3: +11.3 M	24.916	24.916	24.916	244.322	244.322
N2: +7.65 M	35.912	35.912	35.912	352.154	352.154
N1: +4.0 M	35.968	35.968	35.968	352.704	352.704
W TOTAL				949.180	949.180

Fuente: Extraída del programa ETABS.

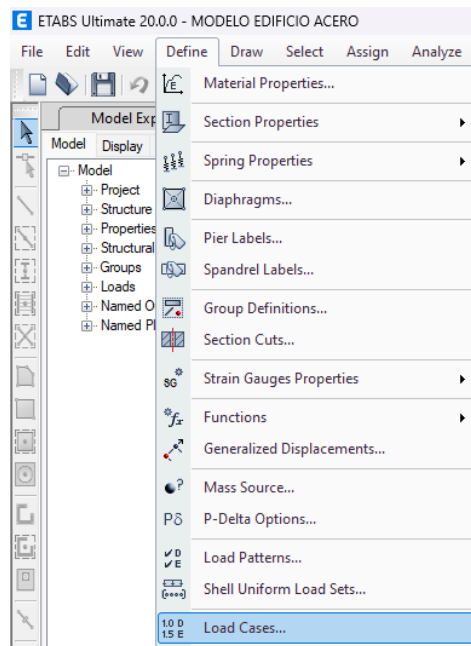
$$V_b = C_s * W \quad (Ec. 50)$$

$C_s X =$	0.15890
$C_s Y =$	0.15890
$WX =$	949.180 tonf
$WY =$	949.180 tonf
$V_b X =$	150.828 tonf
$V_b Y =$	150.828 tonf

✓ **Recalculando el cortante dinámico.**

En el programa en la pestaña Define, seleccionamos Load Cases y en los casos de carga creados para sismo en X e Y (dinámicos), se introduce el factor de escala que nos amplificara la fuerza del cortante dinámico.

Figura 59. Ingreso del factor de escalamiento.



E Load Cases

Load Cases

Load Case Name	Load Case Type
Modal	Modal - Eigen
Live	Linear Static
CMS	Linear Static
Sy_ESTATICO	Linear Static
Sx_ESTATICO	Linear Static
Sx_DIN	Response Spectrum
SY_DIN	Response Spectrum
Dead	Linear Static

Click to:

Add New Case...

Add Copy of Case...

Modify/Show Case...

Delete Case

Show Load Case Tree...

OK

Cancel

E Load Case Data

General

Load Case Name: Sx_DIN

Load Case Type: Response Spectrum

Mass Source: Previous (MsSrc1)

Analysis Model: Default

Design...

Notes...

Loads Applied

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U1	ESP. DISEÑO EN X	9.8067*1.6553938320

Add

Delete

Advanced

Other Parameters

Modal Load Case: Modal

Modal Combination Method: CQC

☐ Include Rigid Response

Rigid Frequency, f1

Rigid Frequency, f2

Periodic + Rigid Type

Earthquake Duration, td

Directional Combination Type: SRSS

Absolute Directional Combination Scale Factor

Modal Damping: Constant at 0.05

Diaphragm Eccentricity: 0 for All Diaphragms

Modify/Show...

Modify/Show...

OK

Cancel

E Load Case Data

General

Load Case Name: **SY_DIN** Design...

Load Case Type: Response Spectrum Notes...

Mass Source: Previous (MsSrc1)

Analysis Model: Default

Loads Applied

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U2	ESP. DISEÑO EN Y	9.8067*1.62029134299

+ Add - Delete ☐ Advanced

Other Parameters

Modal Load Case: Modal

Modal Combination Method: CQC

☐ Include Rigid Response

Rigid Frequency, f1:

Rigid Frequency, f2:

Periodic + Rigid Type:

Earthquake Duration, td:

Directional Combination Type: SRSS

Absolute Directional Combination Scale Factor:

Modal Damping: Constant at 0.05 Modify/Show...

Diaphragm Eccentricity: 0 for All Diaphragms Modify/Show...

OK Cancel

Fuente: Extraída del programa ETABS.

Se obtiene un nuevo cortante dinámico con el factor de escalamiento:

Tabla 32. Reacciones en la base con el factor de escalamiento.

Output Case	Step Type	FX (tonf)	FY (tonf)	MX (tonf-m)	MY (tonf-m)	MZ (tonf-m)
Sx	Max	150.829	0.00	0.00	1,232.22	1,327.30
Sy	Max	0.00	150.829	1,218.50	0.01	1,583.70

Fuente: Extraída del programa ETABS.

$$\frac{VD_X = 150.829 \text{ tonf}}{VD_Y = 150.829 \text{ tonf}}$$

✓ **Relación de cortantes:**

$$\frac{VD_X/V_b X = \frac{150.829 \text{ tonf}}{150.828 \text{ tonf}} = 1}{VD_Y/V_b Y = \frac{150.829 \text{ tonf}}{150.828 \text{ tonf}} = 1}$$

Ambas relaciones resultan igual a 1, que corresponde al 100% por lo tanto cumple y no es necesario realizar una corrección incrementando las fuerzas mediante un factor de escalamiento.

✓ **Revisión de los desplazamientos.**

Sx

Tabla 33. Tabla de desplazamientos en dirección X.

TABLE: Story Response				
Story	Elevation (mm)	Location	X-Dir (mm)	Y-Dir (mm)
N3: +11.3 M	11300	Top	24.338	0.000
N2: +7.65 M	7650	Top	18.762	0.000
N1: +4.0 M	4000	Top	9.334	0.000

Fuente: Extraída del programa ETABS.

Sy

Tabla 34. Tabla de desplazamientos en dirección Y.

TABLE: Story Response				
Story	Elevation (mm)	Location	X-Dir (mm)	Y-Dir (mm)
N3: +11.3 M	11300	Top	0.000	23.024
N2: +7.65 M	7650	Top	0.000	17.849
N1: +4.0 M	4000	Top	0.000	8.992

Fuente: Extraída del programa ETABS.

✓ **Cálculo de las derivas de piso, sección: 10.2 de la NSCM-2022.**

Se debe de multiplicar los desplazamientos en ambas direcciones por el coeficiente de deflexión (C_d), dado en la Tabla 5.5.1- Coeficientes y factores de diseño para sistemas resistentes a fuerzas sísmicas. Con el objetivo de obtener los desplazamientos máximos.

$$C_d = 5.5$$

Tabla 35. Tabla de Desplazamientos máximos en dirección X e Y.

DESPLAZAMIENTOS MAXIMOS				
Story	Elevation (mm)	Location	X-Dir (mm)	Y-Dir (mm)
N3: +11.3 M	11300	Top	133.859	126.632
N2: +7.65 M	7650	Top	103.191	98.170
N1: +4.0 M	4000	Top	51.337	49.456

Fuente: Extraída del programa ETABS.

La deriva de piso Δi , será calculada como la diferencia de los desplazamientos en los centros de masa superior e inferior del piso en consideración. Ecuación: 10.2-1 de la NSCM 2022.

$$\Delta i = \delta_i + 1 - \delta_i \quad (\text{Ec. 51})$$

Tabla 36. Tabla de Derivas de piso.

DERIVAS DE PISO				
Story	Elevation (mm)	Location	X-Dir (mm)	Y-Dir (mm)
N3: +11.3 M	11300	Top	30.668	28.463
N2: +7.65 M	7650	Top	51.854	48.714
N1: +4.0 M	4000	Top	51.337	49.456

Fuente: Extraída del programa ETABS.

- ✓ **Se calcula la distorsión de piso máxima permitida (γ_i) de acuerdo con la sección: 10.4 de la NSCM-2022.**

Se define la distorsión del piso Δi , como el cociente entre la deriva de piso y la altura correspondiente bajo el piso en consideración. Ecuación 10.4-1 de la NSCM 2022.

$$\gamma_i = \frac{\Delta_i}{h_i} \quad (\text{Ec. 52})$$

$$\gamma_i = 0.025 \text{ Distorsión máxima de piso}$$

Tabla 37. Tabla para el cálculo de distorsiones máximas permitidas en dirección X e Y.

		DISTORSIONES MAXIMAS PERMITIDAS			
Story	Elevation (mm)	γ_X mm	COMENTARIOS	γ_Y mm	COMENTARIOS
N3: +11.3 M	3650	0.008402	CUMPLE	0.007798	CUMPLE
N2: +7.65 M	3650	0.014207	CUMPLE	0.013346	CUMPLE
N1: +4.0 M	4000	0.012834	CUMPLE	0.012364	CUMPLE

Fuente: Elaboración propia.

✓ **Se calcula la distorsión el Efecto P – Δ de acuerdo a la sección: 9.5 de la NSCM-2022.**

Debe tenerse en cuenta explícitamente en el análisis los efectos geométricos de segundo orden (P-Δ), debido a las cargas verticales al obrar en estructura desplazada lateralmente ya que producen un incremento en las fuerzas internas, momentos, fuerzas axiales, cortantes y derivas de piso.

Los efectos P- Δ se deberán tomar en cuenta en las dos direcciones principales de la estructura para determinar el factor de incremento y la evaluación de la estabilidad global de la estructura.

No se considerará en el análisis cuando el coeficiente de estabilidad (θ) determinado por la siguiente expresión sea igual o menor que 0.1.
Ecuación: 9.5-1 de la NSCM 2022.

$$\theta = \frac{P_i * \Delta_i * I}{V_i * h_i * Cd} \quad (Ec. 53)$$

Donde:

P_i : Suma de la carga vertical total sin mayorar, incluyendo el peso muerto y carga viva, del piso i y de todos los pisos localizados sobre el piso i

Δ_i : Deriva del piso i calculada según la sección 10.2.

I : Factor de importancia de la sección 5.2

V_i : Cortante sísmico del piso i

h_i : Altura del piso i

Cd : Coeficiente de deflexión según sección 5.5

$$\theta_{max} = 0.1 \rightarrow \text{Angulo de distorsión maximo}$$

Tabla 38. Tabla para el cálculo de Efecto de segundo orden $P - \Delta$.

		DISTORSIONES MAXIMAS PERMITIDAS				EFECTO DE SEGUNDO ORDEN (EFECTO $P - \Delta$)							
Story	Elevation mm	γ_X mm	COMENTARIOS	γ_Y mm	COMENTARIO S	WX tonf	WY tonf	VX tonf	VY tonf	θ_X	COMENTARIOS	θ_Y	COMENTARIOS
N3: +11.3 M	3650	0.008402	CUMPLE	0.007798	CUMPLE	244.3220	244.3220	61.214	60.560	0.00610	CUMPLE	0.005720	CUMPLE
N2: +7.65 M	3650	0.014207	CUMPLE	0.013346	CUMPLE	596.4760	596.4760	118.484	118.244	0.01300	CUMPLE	0.012241	CUMPLE
N1: +4.0 M	4000	0.012834	CUMPLE	0.012364	CUMPLE	949.1802	949.1802	150.828	150.828	0.01469	CUMPLE	0.014147	CUMPLE

VI. CONCLUSIONES

En base a la información obtenida durante el desarrollo de este trabajo de seminario Monográfico, logramos concluir lo siguiente:

El comportamiento sísmico del edificio planteado, en base a los modos de vibrar son correctos, tomando en cuenta lo propuesto por Chopra (2014), obteniendo los primero dos modos traslacionales (eje X y eje Y) y el tercer modo torsional. Según la Norma Sismorresistente para la Ciudad de Managua (2022), sección 8.2.2.2 se debe obtener mínimo 90% de masa participativa, el cual se logró en el segundo modo de vibrar para las 3 componentes direccionales (2 traslacionales y una rotacional).

En base a lo que plantea la sección 8.2.2.7 de la Norma Sismorresistente para la Ciudad de Managua (2022), se plantea la evaluación del cortante basal dinámico contra el cortante basal estático, obteniendo una relación de 0.604 y 0.617, respectivamente para la dirección X y Y, por lo que se debió realizar el escalamiento de la fuerza en base a los coeficientes obtenidos, esto para corregir la demanda sísmica dinámica y de desplazamiento del edificio, hasta lograr equiparar la respuesta dinámica contra la estática en un factor no menor a 1 (uno).

Se procedió a realizar la evaluación de los desplazamientos debido a la fuerza, esto tomando en cuenta las deformaciones y derivas de piso según el capítulo 10 de la Norma Sismorresistente para la Ciudad de Managua (2022), para esto usando las ecuaciones planteadas en la sección 10.1 y 10.4 se obtuvo que la distorsión en colapso está controlada y no sobrepasa la distorsión máxima permitida de 0.025, según lo establece la tabla 5.5.1 para el sistema estructural usando.

Usando la sección 9.5 de la Norma Sismorresistente para la Ciudad de Managua (2022), se procedió a evaluar el comportamiento en base al efecto de segundo

orden (Efecto $P-\Delta$), esto para validar si los efectos de cargas y desplazamientos laterales combinados con peso y altura, no generan un efecto desestabilizador en la edificación, por lo que, tomando un coeficiente de estabilidad de 0.1 como máximo, propuesto por la Norma Sismorresistente para la Ciudad de Managua (2022), se pudo encontrar que estos efectos están completamente controlados.

En base a todo lo anterior planteado, se puede aseverar que la estructura que se evaluó tiene un comportamiento satisfactorio según lo indica la Norma Sismorresistente para la Ciudad de Managua (2022).

VII. RECOMENDACIONES

Debido a las ya conocidas limitantes de los métodos lineales de análisis planteados en la normativa en estudio, se recomienda realizar estudios donde se usen análisis no lineal (Estático No lineal y Dinámico No lineal) para evaluar el desempeño sísmico de esta edificación, así como todas las edificaciones que se dispongan a ser analizadas.

Continuar con este tipo de temáticas, donde se discuta sobre el comportamiento sísmico de edificaciones, dada la importancia de un correcto entendimiento del ingeniero civil en esta temática tan vital para la integridad de las edificaciones en zonas de alta demanda sísmica.

VIII. REFERENCIAS

Dumova-Jovanoska, E. (2000) Fragility Curves for Reinforced Concrete Structures in Skopje (Macedonia) Region. Dinámica del suelo e ingeniería sísmica.

Chávez, V., Hansen, F., & Quesada, D. (julio de 1973). ISOSISTAS DE MANAGUA - TERREMOTO DEL 23 DE DICIEMBRE DE 1972. Managua. Obtenido de <https://webserver2.ineter.gob.ni/sis/managua72/chavez/isosistas.html>

Enrique Bazán & Roberto Meli. (1985). Diseño sísmico de edificios. LIMUSA NORIEGA EDITORES MEXICO.

INSTITUTO GEOGRAFICO NACIONAL. (2014). SIS- Teoría de Sismología. Madrid: Ediciones Cinca.

Chopra & Goel. (2001). A Modal Pushover Analysis Procedure to Estimate Seismic Demands for Buildings: Theory and Preliminary Evaluation. Universidad de California, Berkeley.

Serway, R. A., & Jewett, J. J. (2015). Física para ciencias e ingeniería (9na ed., Vol. I). México: Cengage Learning.