Universidad Nacional de Ingeniería

Área de Conocimiento de Arquitectura y Construcción.

Evaluación comparativa de los métodos de análisis existentes para una estructura ubicada en la ciudad de Managua usando las normativas RNC-07 y la NSCM-2022

Elaborado por:

Br. Kavieng Anthony Sinclair Agurto.
Carnet: 2020-0146U

Br. Katherine Edith Vallejos Ñurinda.
Carnet: 2020-0224U

Tutor:

MSc. Ing. Marco Antonio Palma Cerrato

Abril 2026
Managua, Nicaragua

Dedicatoria

Katherine Edith Vallejos Ñurinda.

Agradezco principalmente a Dios y a la Virgen María quienes siempre han sido los principales protagonistas de cada etapa de mi vida.

Agradezco a mis padres las personas que más admiro y respeto, las cuales fueron las personas que más me retaron, aconsejaron y me apoyaron incondicionalmente para que yo pudiera cumplir mis objetivos.

También a todas las personas presentes que estuvieron a lo largo de mi vida universitaria dándome apoyo, depositando mucho más su confianza en mí que yo misma

Kavieng Anthony Sinclair Agurto.

Quiero hacer un agradecimiento a mis padres, los cuales han sido mi guía, los cuales siempre he admirado, esperando convertirme en una persona de bien.

A mis abuelos, los cuales siempre han velado por mi bienestar, apoyado e inculcado los principios que hoy en día cargo conmigo.

A mis tíos, que representan los hermanos mayores que no tuve, los cuales me corrigieron cuando debían y pulieron mis enseñanzas.

En especial a mi abuelo Anthony Sinclair, abuelo, padre, maestro y guía.

Resumen

El objetivo de este tema monográfico es comparar y dar a entender a los futuros investigadores la importancia de las actualizaciones en los reglamentos nacionales, así como también conocer los distintos parámetros que varían según cada uno de ellos.

En este trabajo monográfico, para optar al título de Ingeniería Civil, se trabajará con un modelo idealizado de cuatro plantas, el cual será sometido a los distintos análisis presentados para ambas normativas: el Reglamento Nacional de la Construcción, en su última edición 2007 con su método estático equivalente y su método dinámico el cual consiste en clasifica la estructura según condiciones que se presenten, su coeficiente sísmico, sus desplazamientos y evaluar su comportamiento, y la Normativa Sismo Resistente de la ciudad de Managua, en su última edición 2022 la cual consiste en clasificar la estructura según condiciones presentes en la misma, obtener sus parámetros de diseño según su localización, analizarlo por medio del método de Fuerza lateral equivalente y su método dinámico.

Se analizarán los resultados obtenidos de cada estudio y se presentará una gráfica comparativa que evidencie los comportamientos según la normativa aplicada.

Índice

I CAPITULO: Generalidades. 1

1.1 Introducción 2

1.2 Antecedentes 3

1.3 Justificación 5

1.4 Objetivos 6

1.4.1 Objetivo general 6

1.4.2 Objetivos Específicos. 6

II CAPITULO: Marco teórico 7

2.1 Definiciones 8

2.1.1 Sismología 8

2.1.2 Peligrosidad y riesgo sísmico en Managua 8

2.1.3 Fallas sísmicas en Managua 9

2.2 Métodos de Análisis 11

2.2.1 Análisis lineal. 11

2.2.2 Análisis no lineal. 11

2.2.3 Análisis estático no lineal (PUSHOVER) 12

2.2.4 Análisis Dinámico no lineal (Non Linear Time History) 12

2.3 REGLAMENTO NACIONAL DE LA CONSTRUCCION RNC-07 13

2.3.1 Método estático equivalente 13

2.3.2 Método dinámico Modal espectral 19

2.3.3 Método modal espectral 20

2.4 Norma sismorresistente para la ciudad de managua (NSCM-2022) 23

2.4.1 Método de la fuerza lateral equivalente (FLE) 23

2.4.2 Coeficiente Sísmico 24

2.4.3 Factores de amplificación vertical por tipo de suelo 25

2.4.4 Cargas Variables Unitarias Mínimas 27

2.4.5 Método dinámico modal espectral 29
III CAPITULO. Análisis y presentación de resultados. 30
3.1 Aplicación de métodos estáticos 31
3.1.1 Metodología de Fase Conceptual 31
3.1.1.1 Modelo de Acero con marcos especiales concéntricamente de Acero y Marcos resistentes a momentos. 31
Descripción del modelo: 31
3.1.1.2 Asignación de cargas. 33
3.1.1.3 Pesos por Nivel 33
3.1.1.4 Cargas Variables 33
3.1.1.5 Set de cargas. 33
3.1.2 Metodología de Fase numérica 35
3.1.2.1 Método estático equivalente RNC-07. 35
3.1.2.1.1 Condiciones de regularidad: 35
3.1.2.2 Ductilidad 40
3.1.2.2.1 Factor de amplificación por tipo de suelo. 41
3.1.2.2.2 Aceleración espectral del suelo ($A0$). 42
3.1.2.2.3 Factor de sobre resistencia. 42
3.1.2.2.4 Coeficiente sísmico. 42
3.1.2.3 Método estático equivalente. 43
3.1.2.3.1 Fuerzas cortantes. 43
3.1.2.3.2 Cortante basal. 44
3.1.2.3.3 Reducción de fuerzas sísmicas. 44
3.1.2.3.4 Cálculo de las Derivas Estáticas en X. 49
3.1.2.3.5 Cálculo de las Derivas Estáticas en Y. 50
3.1.2.4 Análisis dinámico RNC-07. 51
3.1.2.4.1 Espectro Reducido: 51
3.1.2.4.2 Relaciones de participación modal de Masas 52
3.1.2.4.3 Factores modales de periodos y frecuencias 54
3.1.2.4.4 Revisión de cortante basal. 57
3.1.2.4.5 Reacciones en la Base 62
3.1.2.4.6 Desplazamiento lateral. 63

3.1.2.4.7 Calculo de las Derivas 63
3.1.2.4.8 Cálculo de desplazamientos en el estado límite de servicio 65
3.1.2.4.9 Derivas 66
3.1.2.4.10 Cálculo de distorsiones máximas permitidas para el sistema estructural. 67
3.1.2.5 Método de fuerza lateral equivalente NSCM-22 69
3.1.2.5.1 Aceleración espectral ($\boldsymbol{a0}$) 72
3.1.2.5.2 Clasificación por material y sistema estructural 5.5 73
3.1.2.5.3 Factor de comportamiento sísmico del sistema estructural ($\boldsymbol{R0}$) 73
3.1.2.5.4 Zonificación sísmica (Z) 74
3.1.2.5.5 Clasificación por tipo de suelo (S) 74
3.1.2.5.6 Factores de amplificación por tipo de suelo $\boldsymbol{Fas}$ 74
3.1.2.5.7 Factor de ajuste espectral por comportamiento de los suelos para $\boldsymbol{FSTB\ yFSTC}$ 74
3.1.2.5.8 Periodo fundamental aproximado de la estructural $\boldsymbol{Ta}$ 75
3.1.2.5.9 Coeficiente sísmico 77
3.1.2.5.10 Fuerzas Sismica 80
3.1.2.5.11 Cálculo de las Derivas Estáticas en X 82
3.1.2.5.12 Cálculo de las Derivas Estáticas en Y 83
3.2 Analisis modal dinamico NSCM-22 84
3.2.1 Metodo Modal Espectral 84
3.2.2 Espectro de Respuesta Elástico: 84
3.2.3 Relaciones de participación modal de Masas 87
3.2.4 Factores de Periodos y Frecuencias Modales 88
3.2.5 Calculo de la fuerza sismica: 91
3.2.6 Relacion de Cortante Basal 92
3.2.7 Reacciones en la base 93
3.2.8 Cortante Basal con el factor de escalamiento 94
3.2.9 Revision de los desplazamientos 97
3.2.10 Calculo de Derivas de Piso, seccion: 10.2 de la NSCM-2022 97
3.2.11 Revision de distorsiones por colapso: 100
3.2.12 Revision de efectos de segundo orden: 101

IV ANALISIS COMPARATIVO 102
4.1.1 Metodología de Comparación de Resultados 103
Se compararán la respuesta del edificio según los parámetros obtenidos de cada reglamento, principalmente el periodo de respuesta del edificio, análisis estático y análisis dinámico. 103
4.1.1.1 Generalidades. 103
4.1.1.2 Consideración de cargas. 103
4.1.1.3 Cambios en los parámetros sísmicos. 105
4.1.1.4 PGA. 105
4.1.1.5 Aceleración horizontal del suelo. 105
4.1.1.6 Factores adicionales 105
4.1.1.7 Modelo de acero con sistema estructural MF en dirección de análisis X y sistema estructural SCBF en dirección de análisis Y. 106
4.1.1.8 Método estático equivalente vs Fuera lateral equivalente. 106
4.1.1.9 Fuerzas cortantes actuantes en la base. 107
4.1.1.10 Desplazamientos obtenidos: 109
4.1.1.11 METODO DINAMICO ANALISIS MODAL RNC-07 vs NSCM-22 111
4.1.1.12 Cortantes dinámicos. 113
4.1.1.13 Desplazamientos Dinámicos con factor de escalamiento. 115
V CAPITULO: Conclusiones y Recomendaciones. 117
5.1 Conclusiones: 118
5.2 Recomendaciones 120
VI Bibliografía 121
VII Anexos 123

Índice de Tablas

Tabla 3.1 Cargas Variables 33
Tabla 3.2 Distribución de elementos 34
Tabla 3.3 Resistencia al corte; Condición de Regularidad 40
Tabla 3.4 Método estático equivalente 44
Tabla 3.5 Desplazamientos Estáticos 44
Tabla 3.6 Resumen de Cálculos para periodo fundamental en X 45
Tabla 3.7 Resumen de Cálculos para periodo fundamental en Y 45
Tabla 3.8 Margen EXCEL VS ETABS para Periodo estructural 45
Tabla 3.9 Nuevas Fuerzas Sísmicas Reducidas para X 48
Tabla 3.10 Nuevas Fuerzas Sísmicas Reducidas para Y 48
Tabla 3.11 Margen EXCEL VS ETABS para Cortante Basal 48
Tabla 3.12 Tabla de Estado Límite de Servicio en X 49
Tabla 3.13 Tabla de Estado Limite de Colapso en X 49
Tabla 3.14 Estado Límite de Servicio en Y 50
Tabla 3.15 Tabla de Estado Límite de Colapso en Y 50
Tabla 3.16 Participación modal de las masas 53
Tabla 3.17 Periodos modales y frecuencia 55
Tabla 3.19 Cortante basal dinámico X 58
Tabla 3.20 Cortante basal dinámico Y 59
Tabla 3.21 Cortante basal dinámico aplicando factor de escalamiento en dirección X 60
Tabla 3.22 Cortante basal dinámico aplicando factor de escalamiento en dirección Y 61
Tabla 3.23 Reacciones en la base 62
Tabla 3.24 Reacciones en la base 62
Tabla 3.25.Desplazamientos dinámicos mínimos obtenidos mediante software ETABS. 63
Tabla 3.26.Desplazamientos relativos. 65
Tabla 3.27. Deriva de estado límite de servicio. 66
Tabla 3.28 Deriva de estado límite de servicio. 66

Tabla 3.29 Calculo de desplazamiento en estado límite de colapso 68
Tabla 3.30 Calculo de desplazamiento en estado límite de colapso 68
Tabla 3.31 Irregularidad torsional 69
Tabla 3.32 Piso Flexible 70
Tabla 3.33 Distribución de masa 71
Tabla 3.34 Distribución de masa 71
Tabla 3.35 Piso Débil 72
Tabla 3.36 Método FLE para X 81
Tabla 3.37 Método FLE para Y 82
Tabla 3.38 Revisión de Derivas por Colapso (Distorsiones Máximas Permitidas) 82
Tabla 3.39 Criterios de modelado estructural 82
Tabla 3.40 Revisión de Derivas por Colapso (Distorsiones Máximas Permitidas) 83
Tabla 3.41 Criterios de modelado estructural 83
Tabla 3.42 Relaciones de participación modal de Masas 87
Tabla 3.43 Periodos y Frecuencias Modales 89
Tabla 3.44 Cortantes de Piso Dinámicos para X 91
Tabla 3.45 Cortantes de Piso Dinámicos para Y 91
Tabla 3.46 Reacciones en la base en modelo NSCM-22 93
Tabla 3.47 Reacciones en la base en modelo NSCM-22 94
Tabla 3.48 Cortantes de Piso Dinámicos con los factores de escalamiento. 94
Tabla 3.49 Cortantes de Piso Dinámicos con los factores de escalamiento. 96
Tabla 3.50 Desplazamientos Dinámicos en X. 97
Tabla 3.51 Desplazamientos Dinámicos en Y. 99
Tabla 3.52 Revisión de distorsión máxima X 100
Tabla 3.53 Revisión de distorsión máxima Y 100
Tabla 3.54 Revisión de efectos de segundo orden X. 101
Tabla 3.55 Revisión de efectos de segundo orden Y. 101
Tabla 4.1 Pesos sísmicos RNC 07 vs NSCM22 103
Tabla 4.2 Fuerzas cortantes estáticas en X 107
Tabla 4.3 Fuerzas cortantes estáticas en Y 108
Tabla 4.4 Desplazamientos Estáticos X 109

Tabla 4.5 Desplazamientos Estáticos Y 110
Tabla 4.6 Cortantes dinámicos 113
Tabla 4.7 Cortante Basal dinámico X 114
Tabla 4.8 Desplazamientos Dinámicos. 115
Tabla 4.9 Desplazamientos Dinámicos con factor de escalamiento en Y 116

Indice de Imágenes

Imagen 1. Fallas Geológicas de la ciudad de Managua. 10
Imagen 2. Procedimiento pushover para determinar la curva de capacidad 12
Imagen 3. Cargas Vivas unitarias mínimas RNC-07 15
Imagén 4. Zonificación sísmica de Nicaragua 17
Imagén 5. Factores de amplificación por tipo de suelo 18
Imagén 6. Mapa de isoaceleraciones RNC-07 19
Imagén 7. Factores de amplificación vertical por tipo de suelo 25
Imagén 8. Nuevo mapa de Zonificación Sísmica 25
Imagén 9. Mapa de aceleraciones para Nicaragua (a0) 26
Imagén 10. Cargas Variables Unitarias Mínimas 27
Imagén 11. Modos de vibración para análisis DME 29
Imagén 12. Modelo 3D 31
Imagén 13 Planta Típica y Elevaciones del modelo 32
Imagén 14 Simetría del modelo RNC-07 36
Imagén 15. Espectro RNC-07 en X 51
Imagén 16 Espectro RNC-07 Y 52
Imagén 17. Modo 1 RNC07 55
Imagén 18. Modo 2 RNC07 56
Imagén 19. Modo 3 RNC07 56
Imagén 20. Cortante basal dinámico X 58
Imagén 21. Cortante basal dinámico Y 59
Imagén 22. Cortante Basal dinámico X con el factor de escalamiento 60
Imagén 23. Cortante Basal dinámico Y con el factor de escalamiento 61
Imagén 24. Desplazamientos dinámicos Y 64
Imagén 25. Desplazamientos dinámicos X 64
Imagén 26. Tabla distorsiones máximas permitidas 67
Imagén 27. ESPECTRO NSCM22 “X” 85
Imagén 28. ESPECTRO NSCM22 "Y" 86
Imagén 29. Modo 1 NSCM22 89
Imagén 30. Modo 2 NSCM22 90

Imagén 31. Modo 3 NSCM22 90
Imagén 32. Grafica de Cortantes de Piso 95
Imagén 33. Cortantes de Pisos Dinámicos con los factores de escalamiento 96
Imagén 34. Desplazamientos Dinámicos en X. 98
Imagén 35. Desplazamientos Dinámicos en Y 99
Imagén 36. Pesos símicos RNC 07 vs NSCM22..... 104
Imagén 37. Fuerzas cortantes en X RNC 07 vs NSCM22..... 107
Imagén 38. Fuerzas cortantes estáticas en Y RNC 07 vs NSCM22..... 108
Imagén 39. Desplazamientos Estáticos X RNC 07 vs NSCM22 109
Imagén 40. Desplazamientos Estáticos Y RNC 07 vs NSCM22 110
Imagén 41. ESPECTRO DE DISEÑO EN X RNC07 VS NSCM22..... 111
Imagén 42. Espectro de Diseño en Y RNC07 VS NSCM22..... 112
Imagén 43. Cortante Basal dinámico X RNC 07 vs NSCM22 113
Imagén 44. Cortante Basal dinámico Y RNC 07 vs NSCM22 114
Imagén 45. Desplazamientos Dinámicos X RNC 07 vs NSCM22 115
Imagén 46. Desplazamientos Dinámicos con factor de escalamiento en Y 116

I CAPITULO: Generalidades.

1.1 Introducción

Nicaragua es de los países de Centroamérica con mayor actividad sísmica. En los últimos años el desarrollo estructural ha crecido, por ende, las edificaciones son más frecuentes en todo el país ya que surgen como una necesidad para vivienda, negoció, etc. En todo país se emplea una serie de leyes, normas o especificaciones que se han desarrollado mediante estudios y prácticas para garantizar la seguridad y resiliencia en las edificaciones antes los fenómenos sísmicos que puedan ocurrir.

A continuación, se pretende realizar un análisis comparativo de las normas sísmicas existentes en Nicaragua, con el objetivo de ver la efectividad que posee cada una de las normativas y su actualización conforme a las problemáticas que se van presentando.

este análisis desea identificar las diferencias entre los resultados obtenidos de las normativas nicaragüenses, así mismo ver cómo se emplea cada uno de sus métodos; el Reglamento Nacional de la Construcción (RNC-07), Norma Sismorresistentes para la ciudad de Managua (NSCM-2022), siendo este el documento obligatorio a emplear en las edificaciones de la ciudad de Managua.

crecimiento de la sociedad acelerado, así como los eventos sísmicos surgió la necesidad de revisar y actualizar la normativa para mejorar las capacidades de las estructuras especialmente Managua.

En el documento se realizará el análisis sísmico de un edificio que tiene una ubicación en Managua, Nicaragua.

Dicho edificio será una estructura idealizada de 5 plantas, presentará un ascensor en medio de la estructura, así como salientes en su cara frontal, teniendo como uso de la estructura una clínica, presentará condiciones iniciales de análisis idénticas. Siguiendo lo proporcionado por cada normativa, posteriormente a esto se obtendrán las primeras variables como lo son el espectro de respuesta, condiciones de regularidad, ondas de corte del suelo.

Para el modelado estructural del edificio se usará el software ETABS el cual permite obtener resultados visuales y numéricos del comportamiento del edificio.

1.2 Antecedentes

En 1973, después del terremoto de 1972, se creó un Código de Emergencia de la Construcción para mejorar los sistemas constructivos, tanto el diseño, los procesos constructivos como la misma construcción.

Diez años después en 1983, salió el primer Reglamento Nacional de la Construcción. En el 2007 hubo una actualización del Reglamento y 10 años después hay una actualización que tiene un enfoque para minimizar cualquier evento de la naturaleza, los principales, que tienen que ver con sismos y tiene que ver con que haya habitaciones o casas, o edificios más seguros ante todos estos eventos

Con esto se previne, minimizar un poco cualquier esfuerzo adicional de lo que naturaleza nos puede dar, que hay una seguridad que durante la etapa del diseño y construcción se esté tomando en cuenta estos nuevos elementos que están armonizados con las normas internacionales de diseño y construcción de edificios

El Reglamento Nacional de Construcción que promulgó el antiguo Ministerio de la Vivienda y Asentamientos Humanos en el año de 1983, sirvió de base y referencia para este logro: El RNC-07, cuya armonización fue acompañada de un intenso y amplio proceso de consultas con la comunidad de ingenieros y arquitectos, así como de universidades, asociaciones gremiales e instituciones públicas y privadas dedicadas al diseño y construcción de estructuras. Se efectuaron siete presentaciones técnicas especializadas donde participaron más de ciento cincuenta ingenieros civiles y arquitectos, cuyos valiosos aportes están considerados e incorporados en este documento.

El Reglamento Nacional de la Construcción (RNC-83), se promulgó por el Ministerio de la Vivienda y Asentamientos humanos, MINVAH, el cual tuvo como objetivo reducir o prevenir resultados devastadores en las viviendas tras un evento sísmico como el terremoto sucedido el 23 de diciembre de 1972.

Esto dio la pauta a recopilar información sobre procesos de construcción para evitar pasar por la misma situación con respecto a los daños sufridos durante en este terremoto, transcurrieron 11 años durante la recopilación de información para ser

publicado este Reglamento, para el cual, tomaron en cuenta los procedimientos y parámetros de la normativa mexicana (NTC).

El siguiente reglamento oficial fue el RNC-07, el que entró en vigencia en todo el territorio nacional el 27 de enero del 2007, el cual actualizó muchos parámetros y tomó nuevas consideraciones basándose en los cambios que tuvo la normativa mexicana hasta la NTC-2002, luego que este reglamento fue publicado, en los años del 2016 publicó normas complementarias de diseño de mampostería, concreto y acero, las cuales se mencionaban en el RNC-07 en el título V, para mampostería, título VI para el diseño y construcción de estructuras de acero, y el título VII para normas mínimas de concreto reforzado.

Actualmente se publicó un nuevo documento llamado “Norma sismorresistente para la ciudad de Managua – MTI”, la cual hace un cambio bastante significante al basar dicha normativa con los parámetros de la ASCE/SEI 7-16 para cargas mininas de diseño, ASCE/SEI 7-41 para evaluación sísmica, FEMA 273 para guía para la rehabilitación de edificios, entre algunos otros complementos extraídos de reglamentos como la NEC - Norma Ecuatoriana de la construcción, NSR-10 Reglamento Colombiano de Construcción Sismorresistente, Código de Modelo Sísmico para América Latina.

1.3 Justificación

Nicaragua es un país altamente sísmico por lo tanto es fundamental que las construcciones puedan garantizar toda la seguridad posible a los usuarios que se encuentran ella. Como todo país la sociedad va creciendo por ende se genera necesidad de edificaciones las cuales tienen que ser diseñadas y analizadas bajo normas que cumplan las demandas mínimas si mismo prevaleciendo en gran escala la seguridad.

Las dos normativas sísmicas que tiene Nicaragua son la RNC-07 (Reglamento Nacional de Construcción 2007) y la NSCM-22 (Norma Sismorresistente de Construcción y Diseño 2022); el motivo por el cual se desea realizar un análisis comparativo es ver sus comparaciones sísmicas y entender cómo se comportan el sistema estructural en las tres últimas décadas. Porque a pesar de que ambas normas tienen como objetico reducir los riesgos que generan los sismos, ambos tienen diferencias en sus enfoques, métodos y criterios, aunque ambas estén elaboradas con el mismo propósito; logrando así diferentes resultados en los diseños de las estructuras.

El análisis comparativo entre la RNC-07 Y la NSCM-22 tiene como finalidad identificar como la NSCM-22 tiene mejores parámetros de diseño para la zona de Managua que la RNC-07, para así comprender las ventajas y desventajas, al igual que sus limitaciones que posee cada una de ellas, así como la coherencia de sus aplicación constructiva Nicaragüense especialmente en Managua ya que su crecimiento vertical en los últimos años ha sido a gran escala por lo que es de suma importancia tener una relación mucho más precisa entre el tipo de suelo y la edificación, para así dar el mayor aprovechamiento del área urbana.

En conclusión, la comparación de ambas normativas es un aporte fundamental al sistema estructural en Nicaragua ya que se desea una mejora de la seguridad sísmica y que los daños sean relativamente superficiales.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general.

- Realizar una evaluación comparativa de los métodos de análisis existentes para una estructura ubicada en la ciudad de Managua usando las normativas RNC-07 y la NSCM-2022

1.4.2 Objetivos Específicos.

- Aplicar el Método estático equivalente y Método de fuerza lateral equivalente para un modelo estructural siguiendo el procedimiento propuesto en RNC-07 y la NSCM22 respectivamente.
- Implementar el método dinámico modal espectral planteados en reglamento nacional de la construcción (RNC-07) y en la normativa sismorresistente de la ciudad de Managua (NSCM22).
- Realizar una evaluación comparativa de los datos obtenidos en función a la respuesta estructural.

II CAPITULO: Marco teórico

2.1 Definiciones

2.1.1 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 la ingeniería, son los de origen tectónico, que se deben a desplazamientos bruscos de las grandes placas en que esta subdividida dicha corteza. (Bazán &Meli,2002)

2.1.2 Peligrosidad y riesgo sísmico en Managua

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.

Managua se encuentra bajo una situación de extrema amenaza sísmica y volcánica porque está ubicada directamente en el eje de la cadena volcánica de Nicaragua y en un punto de desplazamiento Norte-Sur de la misma**.**

Se elaboraron los parámetros estadísticos de la amenaza sísmica de Managua. La probabilidad de excedencia de 0.02 por año (período de retorno de 50 años) corresponde a 1.82 m/s2 (PGA, Peak Ground Acceleration). Se elaboró un espectro de igual probabilidad que se puede usar en el proceso de la actualización del Código de Construcción.

La amenaza sísmica no se concentra solamente en el centro histórico de Managua, sino se extiende hacia toda el área de la ciudad y sus alrededores. Usando métodos de Paleo-Sismología, se concluyó que existen pruebas de la ocurrencia de grandes terremotos en la zona de la falla Aeropuerto, la cual estuvo activa hace aproximadamente 170 años. Simulaciones numéricas indicaron que las fallas importantes al margen de Managua, como la Falla Aeropuerto o la Falla Cofradía, tienen el potencial para generar terremotos muy fuertes, que causarían destrucción en grandes partes de Managua y las ciudades cercanas, en las cuales se incluye Masaya.

Los parámetros del suelo en Managua no juegan un papel predominante para la determinación de la amenaza sísmica. El suelo es físicamente compacto (velocidades sísmicas altas), las capas superficiales de suelo blando son delgadas (pocos metros). No se detectaron grandes diferencias entre las distintas áreas de Managua, en relación con el comportamiento del suelo durante terremotos, especialmente para edificios importantes, es decir con más de dos pisos. (INSTITUTO NICARAGUENSE DE ESTUDIOS TERRITORIALES, 2005)

El análisis de riesgo involucra la evaluación de los elementos expuestos susceptibles a sufrir daños por la acción sísmica que representa la amenaza considerada. Para el presente caso, dichos elementos corresponden al inventario de edificaciones de Managua. Una vez caracterizado cada uno de los componentes expuestos, es decir cada edificación, se asigna a cada una un valor (que puede ser el valor económico de reposición u otro referente que se considere apropiado) y un nivel de ocupación humana. Igualmente es necesario asignar dependiendo del tipo de edificación y de ocupación unas funciones de vulnerabilidad que darán cuenta de los daños o pérdidas correspondientes. (Central América Probabilistic Risk Assessment (CAPRA), s.f., cap.3.1)

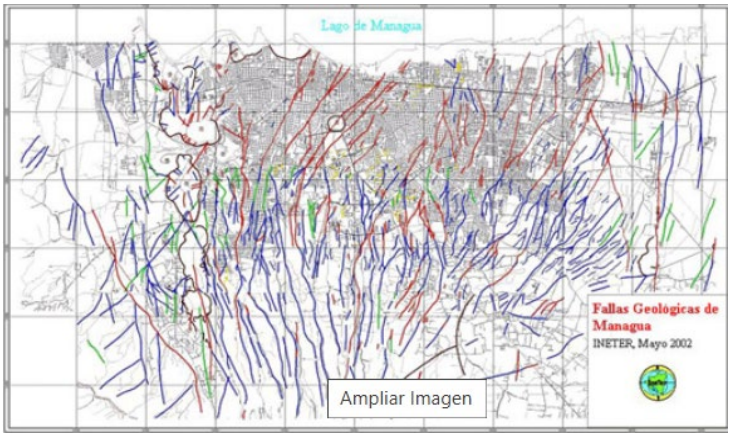
2.1.3 Fallas sísmicas en Managua

En Managua y sus alrededores se encuentran decenas de centros volcánicos en diferentes grados de actividad. El cráter Santiago del volcán Masaya es muy activo; de él salen gases volcánicos químicamente agresivos, cuya nocividad, limita la actividad económica y agrícola de las zonas afectadas por los mismos, al Oeste del volcán. Con frecuencia, ocurren pequeñas explosiones en el cráter. La actividad históricamente más fuerte ocurrió en el año 1771, con efectos catastróficos. El riesgo de repetición de una actividad volcánica de carácter destructivo es posible. Las manifestaciones efusivas de este volcán predominan en las actividades volcánicas históricamente documentadas. Se debe pensar en la posibilidad de una futura actividad volcánica en las fallas sísmicas principales, ubicadas en el mismo centro de Managua.

El cráter Tiscapa es un ejemplo de la ocurrencia de un centro volcánico en una falla sísmica activa. En estas zonas pueden aparecer nuevos centros como los del tipo Chico Pelón y Calvario. Centros volcánicos de carácter similar fueron documentados por Hradecky et al (1997) al Sur de Managua. Entre la zona del aeropuerto y la caldera de Masaya, se encuentra una cadena de centros volcánicos alineados sobre una falla tectónica, lo que señala una vez más la posibilidad de que puedan iniciarse erupciones volcánicas a lo largo de una falla activada por un fuerte terremoto. Se afirma que la interrelación entre actividad volcánica y tectónica-sísmica en la cadena volcánica de Nicaragua, fue demostrada claramente durante la erupción del volcán Cerro Negro, en agosto de 1999, cuando se produjeron sismos destructivos de magnitudes hasta 5 Richter (Strauch et al., 1999). Procesos similares podrían ocurrir en Managua. (INSITUTO NICARAGUENSE DE ESTUDIOS TERRITORIALES, 2005)

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. De este sistema se derivó la versión Web interactiva del mapa de las fallas de Managua.

Imagen 1. Fallas Geológicas de la ciudad de Managua.



Fuente: (Strauch, Dévoli, & Donado, 2002)

2.2 Métodos de Análisis

2.2.1 Análisis lineal.

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 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.

2.2.2 Análisis no lineal.

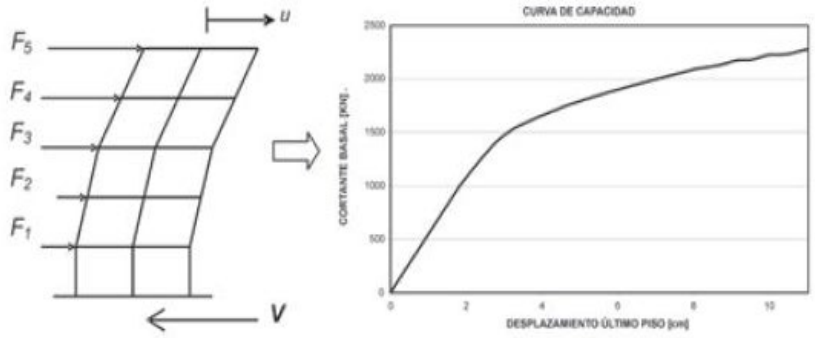
Otra forma de análisis es el no lineal, el cual incursiona por fuera de los alcances que tiene el análisis lineal, es decir, cuando las secciones salen del rango elástico y entran en el rango plástico. El análisis no lineal puede realizarse para métodos estáticos y dinámicos.

2.2.3 Análisis estático no lineal (PUSHOVER)

Este método se basa en el comportamiento del material fuera del rango elástico hasta llegar a su punto máximo de resistencia ultima.

Los métodos lineales solo se encuentran dentro del rango elástico.

Imagen 2. Procedimiento pushover para determinar la curva de capacidad



Fuente: (Mora, Villalba, & Maldonado, 2006)

La demanda varía dependiendo del sismo al que se somete la edificación y se evalúa mediante espectros de respuesta (o diseño). El concepto de espectro de respuesta aparece como un medio conveniente para resumir la respuesta máxima de sistemas lineales y no lineales de un grado de libertad (SDF) a un movimiento sísmico en particular. Igualmente, permite aplicar el conocimiento de la dinámica estructural al diseño de estructuras y al desarrollo de los requerimientos de resistencia a fuerzas sísmicas consignados en los códigos. (Chopra & Goel, 2001).

2.2.4 Análisis Dinámico no lineal (Non Linear Time History)

Es el método más preciso que puede existir en cuanto a análisis dinámico, consiste en considerar las cargas producidas por un sismo, de los que se deben tomar como mínimo 3 registros, sea natural o sintético en el modelo estructural que incorpora elementos con relación fuerzas-deformación de manera inelástica y al menos la aproximación de efectos de primer orden. La propagación del movimiento de suelo en la estructura produce un registro completo de cualquier parámetro de interés de la respuesta del modelo, sea desplazamientos, derivas u otro parámetro que se desee evaluar.

2.3 REGLAMENTO NACIONAL DE LA CONSTRUCCION RNC-07

2.3.1 Método estático equivalente

Para calcular las fuerzas cortantes a diferentes niveles de una estructura, se supondrá un conjunto de fuerzas horizontales actuando sobre cada uno de los puntos donde se supongan concentradas las masas. Cada una de estas fuerzas se tomará igual al peso de la masa que corresponde, multiplicado por un coeficiente proporcional a h, siendo h la altura de la masa en cuestión sobre el desplante (o nivel a partir del cual las deformaciones estructurales pueden ser apreciables).

$$F_c = c * W_0 \qquad \textit{(Ec.1)}$$

En donde:

$F_c = Fuerza\ cortante\ actuando\ a\ nivel\ de\ la\ base$

$c = \ Coeficiente\ de\ diseño\ para\ la\ fuerza\ sísmica, cuyo\ valor\ se\ calcula\ segun\ el$

$método\ de\ análisis\ sísmicoempleado. Arto24, RNC\ 07.$

$W_0 = Carga\ o\ peso\ total\ del\ edifico\ CM + CVR$

a) Cargas vivas unitarias mínimas:

Dentro del artículo 10 del RNC-07 se plantea el concepto de las cargas vivas y su respectivo uso:

Se considerarán cargas vivas 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 vivas más altas que probablemente ocurran, pero en ningún caso menores que las cargas vivas uniformemente distribuidas listadas en la *Figura 2.3-1 Cargas Vivas unitarias máximas Tabla 1 de la RNC-07.*

Las cargas especificadas no incluyen el peso de muros divisorios de 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

viva especificada. Los valores adoptados deberán justificarse en la memoria de cálculo e indicarse en los planos estructurales. (MTI, 2007)

Para realizar cualquier análisis sísmico se debe usar la segunda columna de la tabla 1, la cual propone las cargas mínimas según sea el uso que se le da a la estructura.

Las cargas vivas incidentales son el producto de las cargas vivas por un coeficiente de reducción, que para la mayoría de casos es del 40% y para las de almacenaje son mucho menores, manteniendo el 85% de la carga viva.

Imagen 3. Cargas Vivas unitarias mínimas RNC-07

Tabla 1. Cargas vivas unitarias mínimas (kg/m²).

DESTINO	MÁXIMA (CV)	INCIDENTAL (CVR)	Notas
Residencial (casas, apartamentos, cuartos de hoteles, internados de escuelas, cuarteles, cárceles, correccionales)	200	80	(1)
Salones de clase: Escuelas primarias	250	150	
Secundaria y universidad	250	200	
Hospitales (salas y cuartos), Asilos, Centros de Salud y Clínicas	200	100	
Salas de Operación	400	150	
Oficinas: Despachos	250	100	(2)
Salas de Archivo	500	250	
Bibliotecas: Salones de Lectura	300	150	
Salón de Libros	600	400	
Lugares de Reunión: Salones de Baile, gimnasios, restaurantes, museos y Salas de juegos	400	250	
Auditorios, Cines, Templos: Sillas Fijas	350	250	
Sillas móviles	500	250	
Teatros: Vestíbulos	200	80	
Piso del escenario	700	350	
Graderías y tribunas	500	250	
Lugares de Comunicación para peatones (Pasillos, escaleras, rampas y pasajes de acceso libre al público);	500	250	(3)
Estadios y lugares para espectáculo provisto de gradas (desprovisto de bancas o butacas)	500	350	
Laboratorios	250	125	
Comercio: Ligero	350	300	(4)
Semi-pesado	450	400	(4)
Pesado	550	500	(4)
Fábrica y Talleres: Ligero	400	350	(4)
Semi-pesado	500	450	(4)
Pesado	700	600	(4)
Bodegas: Ligero	450	400	(4)
Semi-pesado	550	475	(4)
Pesado	650	550	(4)
Techos de losas con pendiente no mayor de 5%	100	40	(5)
Techos de losas con pendiente mayor de 5%	50	20	
Garajes y estacionamientos (para automóviles exclusivamente, altura controlada a 2.40 m)	250	150	(6)
Andamios y cimbra para concreto	150	100	
Volados en vía pública (marquesinas, balcones y similares)	400	200	

Fuente:(MTI, 2007)

b) Coeficiente sísmico:

Y según el Reglamento Nacional de la Construcción (RNC 07)

$$c = \frac{S(2.7 * a_0)}{Q' * \Omega} \qquad (Ec. 2)$$

Donde:

$Q' = Factor\ de\ reducción\ por\ ductilidad. Arto\ 21, RNC - 07$

$\Omega =$ Factor de reducción por sobrerresistencia. Arto 22, RNC $- 07$

$a_0 = Aceleración\ máxima\ del\ terreno. Arto\ 24, RNC - 07$

$S = Factor\ de\ amplificación\ por\ el\ tipo\ de\ suelo. Arto\ 25, RNC - 07$

En el artículo 32 del RNC-07 se explica el Método estático equivalente. Para aplicar este método se deben cumplir los requisitos establecidos en el artículo 30 inciso b), el cual define las alturas máximas permitidas para la aplicación del Método estático equivalente.

Puede utilizarse el método estático del Articulo 32 para analizar estructuras regulares de altura no mayor de 40 m, y estructuras irregulares de no más de 30 m.

c) Fuerzas sísmicas:

Para calcular las fuerzas cortantes a diferentes niveles de una estructura, se supondrá un conjunto de fuerzas horizontales actuando sobre cada uno de los puntos donde se supongan concentradas las masas. Cada una de estas fuerzas se tomará igual al peso de la masa que corresponde, multiplicado por un coeficiente proporcional a h, siendo h la altura de la masa en cuestión sobre el desplante (o nivel a partir del cual las deformaciones estructurales pueden ser apreciables).

Su distribución por piso se calcula con la siguiente ecuación:

$$Fs_i = cW_i h_i \frac{\sum W_i}{\sum W_i h_i} \qquad (\text{Ec. } 3)$$

Donde:

$Fs_i = Fuerza\ lateral\ que\ actua\ en\ el\ nivel\ i. Arto\ 32, RNC$

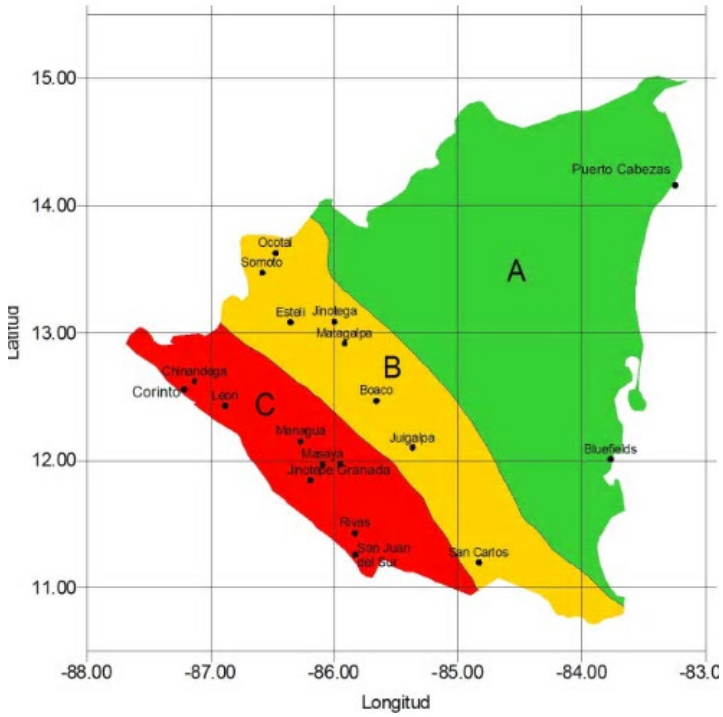
$W_i = Peso\ del\ nivel\ i$

$h_i = Altura\ del\ nivel\ i$

d) Parámetros para la obtención del coeficiente sísmico:

La ubicación y el tipo de suelo toman un papel importante al momento de realizar un análisis sísmico de cualquier tipo de edificación, la dependencia de la zona definirá el tipo de análisis que debe aplicarse y la importancia que esta tenga, posteriormente, a nivel de micro localización, se debe conocer por medio de información de sitio, el tipo de suelo en donde se cimentará la estructura.

Imagén 4. Zonificación sísmica de Nicaragua



Fuente: (MTI, 2007)

Se aprecian las 3 franjas donde la zona A es parte de la región norte y atlántico, la zona B es toda la región central y Río San Juan, mientras que la zona C, es el pacífico, siendo esta la zona altamente sísmica, por lo cual es donde se propone realizar análisis sísmico, según sea el caso que sea permitido dentro de las limitantes de uso de este reglamento.

Arto. 25: Influencia del suelo y del período del edificio:

La clasificación del suelo se divide en 4, según las características presentes:

Tipo I: Afloramiento rocoso con Vs>750 m/s,

Tipo II: Suelo firme con 360 < Vs ≤ 750 m/s,

Tipo III: Suelo moderadamente blando, con 180 ≤ Vs ≤ 360 m/s,

Tipo IV: Suelo muy blando, con Vs<180 m/s.

El valor de aceleración del suelo se determina por la estratificación y las ecuaciones de velocidad de corte,

$$V_S = \frac{\sum_{n=1}^{N} h_n}{\sum_{n=1}^{N} \frac{h_n}{V_n}} \qquad (Ec. 4)$$

Donde:

h_n= espesor del n-ésimo estrato

V_n= velocidad de ondas de corte del n-ésimo estrato

N= número de estratos.

Si no se dispone de estos mapas de microzonificación, se utilizarán los siguientes factores de amplificación, S.

Imagén 5. Factores de amplificación por tipo de suelo

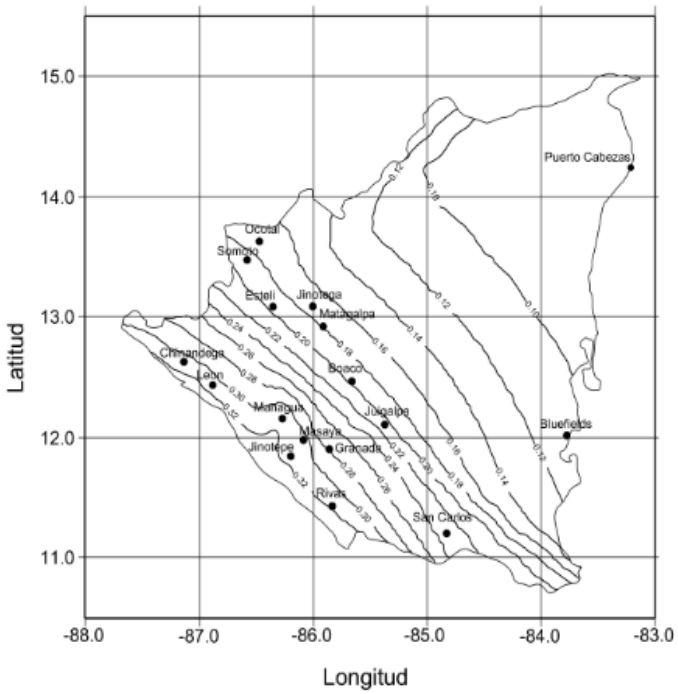
Zona Sísmica	Tipo de suelo		
	I	II	III
A	1.0	1.8	2.4
B	1.0	1.7	2.2
C	1.0	1.5	2.0

Fuente: (MTI, 2007)

Aceleración máxima del terreno (a_0):

En el anexo C del RNC-07 se encuentra un mapa de isoaceleraciones, teniendo el aproximado valor de la aceleración del terreno en diferentes zonas del país.

Imagén 6. Mapa de isoaceleraciones RNC-07



Fuente: (MTI, 2007)

2.3.2 Método dinámico Modal espectral

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. A continuación, se describen brevemente los métodos modales espectral y el “paso a paso”, según el RCDF-2004.

2.3.3 Método modal espectral

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 (por ejemplo, en estructuras del grupo A o si no se cumplen las condiciones de los métodos simplificado y estático).

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = f \qquad (Ec. 5)$$

Donde:

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

$m = Es\ la\ matriz\ de\ masas\ de\ la\ estructura$

$k = Es\ la\ matriz\ de\ rigidez\ de\ la\ estructura$

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

$c = Es\ la\ matriz\ de\ Amortiguamiento\ de\ la\ estructura$

La fuerza sísmica $-M\iota\ddot{u}_g(t)$ 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

$$m\iota = \sum_{1}^{N} s_n = \sum_{1}^{N} \Gamma_n m\phi_n \qquad (Ec. 6)$$

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

$$u(t) = \sum_{n=1}^{N} \phi_n q_n(t) \qquad (Ec.7)$$

Donde:

$\phi_n = vector\ n - esimo\ modo\ de\ vibración\ normalizado$

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

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

$$|k - \omega^2 . m| = 0 \qquad (Ec.8)$$

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

$$u = \Phi q_n . ;\ \dot{u} = \Phi . \dot{q_n}\ ;\ \ddot{u} = \Phi . \ddot{q_n} \qquad (Ec.9)$$

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

$$\ddot{q_n} + 2\zeta_n \omega_n \dot{q_n} + {\omega_n}^2 q_n = -\Gamma_n \ddot{u}_g \qquad (Ec.10)$$

En donde:

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

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

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

$$\Gamma_n = \frac{{\phi_n}^T m\iota}{{\phi_n}^T m\phi_n} \qquad (Ec. 11)$$

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 $x_{máx}$ en cada modo, para ellos se calcula el periodo natural de cada modo de vibración $T_n = \frac{2\pi}{\omega_n}$, asi se puede determinar la aceleración para cada periodo $A_n(Tn)$. La cual se divide por la frecuencia propia al cuadrado ${\omega_n}^2$ para obtener el desplazamiento espectral $D_n(Tn)$ y luego tener las constribuciones 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

$$f_n = ku_n \qquad (Ec. 12)$$

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

$$f_n = s_n A_n \qquad (Ec. 13)$$

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

$$S_m = \frac{A_m}{g} \bar{\alpha}_m \sum_1^n W_i \qquad (Ec. 14)$$

Siendo

$$\bar{\alpha}_m = \frac{(\sum_1^n W_i \, \phi_{im})^2}{\sum_1^n W_i \, {\phi_{im}}^2} * \frac{1}{\sum_1^n W_i} \qquad (Ec. 15)$$

Donde:

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

$\phi_{im} = Amplitud\ normalizada\ en\ el\ piso\ i\ en\ el\ modo\ m$

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

$A_m = Aceleración\ espectral\ reducida\ correspondiente\ al\ modo\ de\ vibación\ m$

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

$$Y_T = \sqrt{\sum Y_i^2} \qquad (Ec. 16)$$

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.

2.4 Norma sismorresistente para la ciudad de managua (NSCM-2022)

2.4.1 Método de la fuerza lateral equivalente (FLE)

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.

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 hacer significativos

El método FLE está limitado en altura porque estructuras altas tiende a tener modos altos y como resultado el método subestimaría el cortante basal y puede no predecir correctamente la distribución vertical de las fuerzas sísmicas. El método FLE puede ser utilizado para todas las zonas sísmicas del país y para estructuras clasificadas como tipo I y II

La fuerza de corte basal V_b, está dada por:

$$V_b = C_s * W$$

Donde:

$C_S = Coeficiente\ sismico$

$W = Peso\ sismico\ efectivo\ segun\ seccion\ 9.6$

2.4.2 Coeficiente Sísmico

El artículo 8.2.1.3 de la Normativa Sismorresistente para la ciudad de Managua nos da tres ecuaciones para calcular el coeficiente sísmico que dependerá del periodo fundamental de vibración para ver cual se utilizará:

- Si: $0 \leq T \leq FS_{TC} * T_c$

$$C_s = \frac{\beta A_0}{R_o} \qquad (Ec. 19)$$

- Si $FS_{TC} * T_c \leq T \leq T_d$

$$C_s = \frac{\beta A_0}{R_o}\left(\frac{\mathrm{F_s} * T_c}{\mathrm{T}}\right)^{\mathrm{p}} \qquad (Ec. 20)$$

- Si $Td \leq T$

$$C_s = \frac{\beta A_0}{R_o}\left(\frac{\mathrm{F_s} * T_c}{\mathrm{T}}\right)^{\mathrm{p}}\left(\frac{T_d}{T}\right)^{q} \quad (Ec. 21)$$

Donde:

$$A_0 = a_0\, F_{as}\, I \qquad (Ec. 22)$$

$I = Indice\ de\ importancia$

$F_{as} = Factor\ de\ amplificacion\ vertical\ por\ el\ tipo\ de\ suelo$

$\beta = Coeficiente\ de\ aceleracion\ a\ (Meseta)/a_0$

$a_0 = Aceleracion\ de\ terreno\ en\ roca\ para\ periodo\ 0$

$R_o = Factor\ de\ comportamiento\ sismico\ del\ nivel\ estructural$

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

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

$T = Periodo\ fundamental\ de\ la\ estructura$

$p = 0.8$

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

$q = 2$

2.4.3 Factores de amplificación vertical por tipo de suelo

Imagén 7. 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: (MTI, 2022)

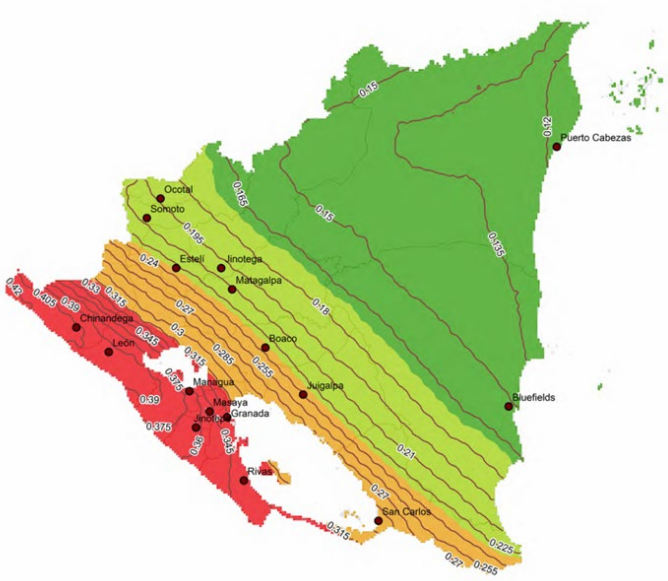
Según el Informe de geofísica y respuesta sísmica de sitio MTI 2021 los estudios de respuesta sísmica se realizaron para la ciudad de Managua, con registros sísmicos escalados a una aceleración de 0.5g lo que equivale a una zona de alta sismicidad como Z4 y para suelos clasificados como C y D, por tanto, los coeficientes 1.3 y 1.4 han sido determinados en dicho informe, el resto de valores tienen que ser determinados, en la Tabla 6.4.1 los valores propuestos son proyectados, que serán determinados cuando se estudien las demás zonas del país.

Imagén 8. Nuevo mapa de Zonificación Sísmica



Fuente: (MTI, 2022)

Imagén 9. Mapa de aceleraciones para Nicaragua (a0)



Fuente: (MTI, 2022)

La ecuación del coeficiente sísmico mínimo está dada por:

$$C_{S_min} = FS_{T_c}\beta\frac{A_o}{R_o} \qquad (Ec.23)$$

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 $T_d = 2s$.

D) Cargas variables unitarias mínimas

Los documentos normativos de referencia para la asignación de las cargas variables unitarias mínimas, son mencionados en el capítulo 4 de la NSM-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.

Dentro del capítulo 7 de la NSM-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.

2.4.4 Cargas Variables Unitarias Mínimas

Imagén 10. Cargas Variables Unitarias Mínimas

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: (MTI, 2022)

E) Reducción de carga viva

La peculiaridad que se presenta en NSM-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

$$W = CM + 0.15 * CV \qquad (Ec. 17 - A)$$

Casos especiales: Bodegas, parqueos y almacenaje

$$W = CM + 0.3 * CV \qquad (Ec. 17 - B)$$

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 que está en función del uso y destino de la edificación.

2.4.5 Método dinámico modal espectral

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.

Imagén 11. Modos de vibración para análisis DME

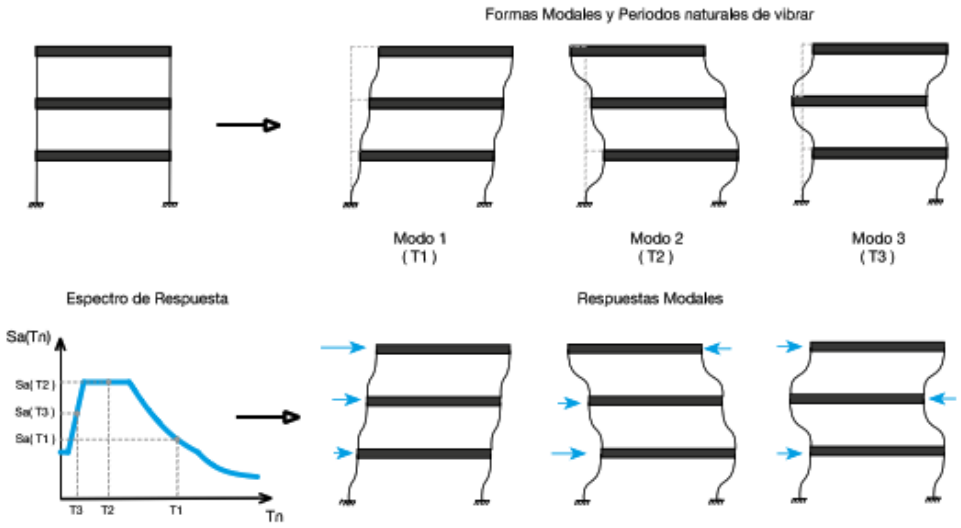


Figura 8.2 2 - Análisis Modal Espectral

Fuente: (MTI, 2022)

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 modalmente y posteriormente combinado con CQC u otro método, no sobre los valores ya combinados.

IIICAPITULO. Análisis y presentación de resultados.

3.1 Aplicación de métodos estáticos

3.1.1 Metodología de Fase Conceptual

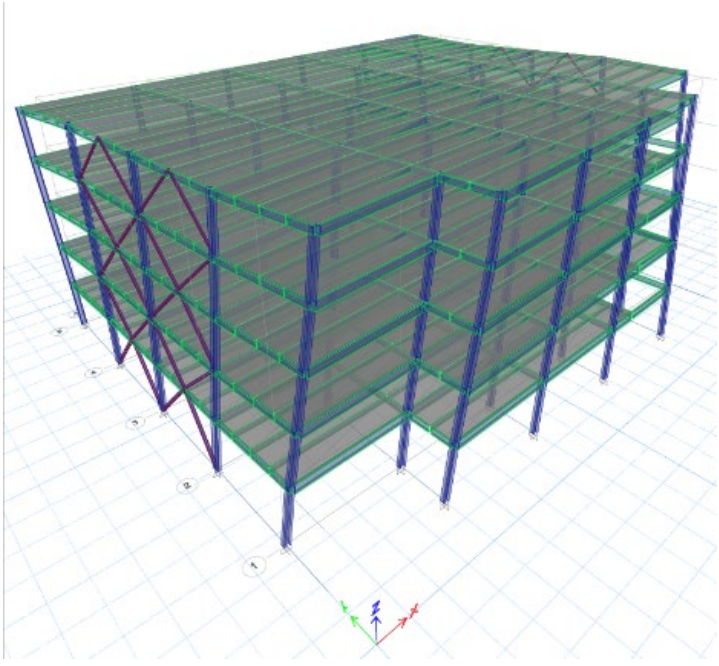
Se presentarán todos los parámetros del diseño establecidos para poder realizar la comparación entre ambas normativas, es decir que se dará a conocer lo que es el tipo de suelo, clasificación de estructuras, clasificación de irregularidades presentadas, limitación de ubicación, factores de aceleraciones, espectros de diseño, ductilidad de los sistemas que se plantean.

3.1.1.1 Modelo de Acero con marcos especiales concéntricamente de Acero y Marcos resistentes a momentos.

Descripción del modelo:

El edificio de acero corresponde a una estructura de uso clínico de 5 plantas, ubicado en la ciudad de Managua, Nicaragua. Donde se propuso una velocidad de onda de corte Vs = 360 m/s tomando como referencia la microzonificación de Managua realizada por el INETER, cuenta con una altura de 4.5 metros para el primer piso y los otros 4 pisos con 4 metros, cuenta con 5 claros de 9 metros en dirección Este – Oeste y 4 claros de 8 metros en dirección Norte – Sur.

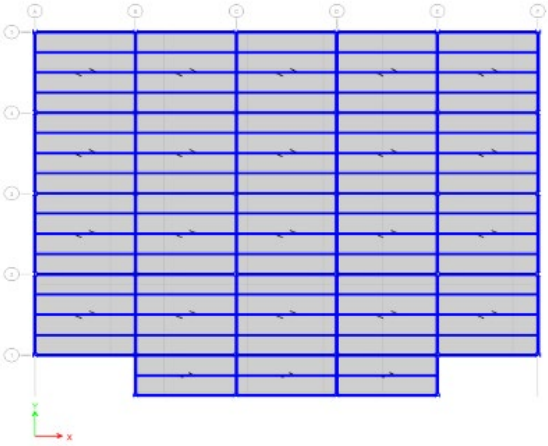
Imagén 12. Modelo 3D



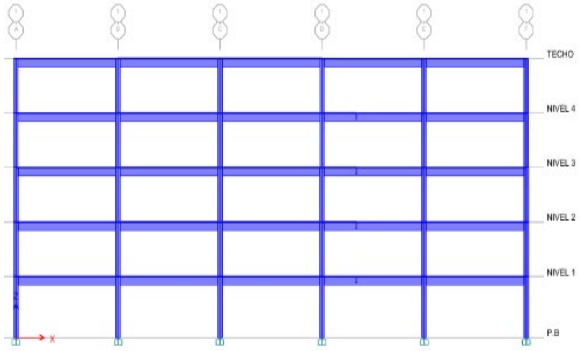
Fuente: *Software Etabs; Elaboración Propia*

Imagén 13 Planta Típica y Elevaciones del modelo

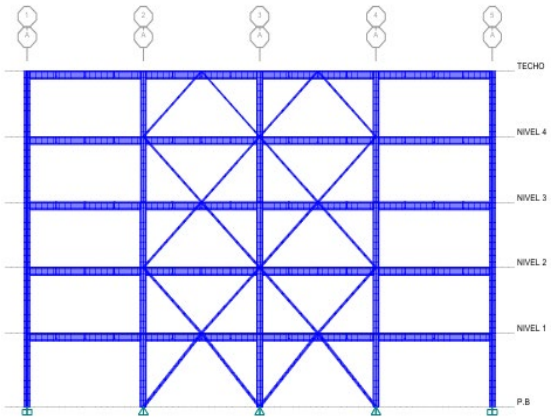
Planta Típica



Elevación del Eje X



Elevación del Eje Y



Fuente: *Software Etabs*

3.1.1.2 Asignación de cargas.

Las cargas de accesorios son estandarizadas y en otros casos son valores estimados, se definen con fichas técnicas o las tablas del Anexo A del Reglamento Nacional de la construcción RNC-07.

3.1.1.3 Pesos por Nivel

Los pesos sísmicos asignados a cada nivel provienen exclusivamente de la contribución de los elementos estructurales permanentes incluidos en el modelado, principalmente vigas y columnas de acero. Estos componentes, por su masa constante y su distribución uniforme en todos los niveles, generan cargas gravitacionales que son consistentes con los valores obtenidos, observándose una ligera variación entre niveles debido a cambios en la geometría, longitud o cantidad de elementos estructurales presentes en cada piso.

3.1.1.4 Cargas Variables

Las cargas variables se asignan conforme a la ocupación de la estructura; como el modelo es una clínica se considerarán los siguientes valores de las tablas 1 del RNC-07 y la tabla 7.1.1 de la NSCM-22, para ambos casos las normativas poseen el mismo valor, sin embargo, la carga incidental es menor en el nuevo reglamento, en la siguiente tabla 3.1.1.1 se puede apreciar lo comentado anteriormente.

Tabla 3.1 Cargas Variables

DESTINO	MAXIMA (kg/m²)	INCIDENTAL	
		RNC-07	NSCM-22
CLINICA	200	100	-
PENDIETE 5%	100	40	50

Fuente: Elaboración Propia

3.1.1.5 **Set de cargas**.

La carga muerta total estará definida por la siguiente ecuación:

CM = PP + CMSI

Para CMSI se tendrá en consideración que el edificio es de uso clínico, por lo que tendremos módulos para consultorios o de uso variado en cada uno de los niveles de la estructura, con una distribución que permita la optimización de los espacios y

que no interrumpa la libre circulación de los pasillos para traslado de equipamiento o el ascensor.

Tendremos 42 habitaciones con la siguiente distribución:

- 4 metros de vista frontal.
- 3.5 metros utilizado como división en pared lateral.
- Área total de cada módulo es de 14 metros cuadrados.

Materiales utilizados:

- Cielo Raso.
- Cerámica.
- Cerramiento con paneles de vidrio.
- Pared de electromalla y poroplast.

Se procede a distribuir el peso de cada uno de los elementos sobre el área de la losa. Cada peso unitario de los elementos utilizados está en el reglamento Nacional de la construcción RNC07.

Tabla 3.2 Distribución de elementos

Elementos		
Pared de electromalla	150	kg/m²
Cielo Raso	8	kg/m²
Ceramico	30	kg/m²
Cerramiento con Paneles de	96	kg/m
Impermealizante asfaltico	35	kg/m²
Barandas	60	kg/m

Fuente: Elaboración Propia

Se procede a multiplicar en cada piso el peso unitario de cada material por su altura por su longitud o nivel dándonos una respuesta en kilogramos, este peso es la carga muerta sobre impuesta sobre la losa que adicionalmente se le añade el 10% de la carga muerta total en unidad de medida Toneladas Fuerza.

Se obtiene que para la carga muerta sobre impuesta por nivel es:

$$\text{Carga muerta sobre impuesta total de losa Nivel } 1 - \text{Nivel } 2 = 0.069 \ \frac{\text{ton}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Carga muerta sobre impuesta total de losa Nivel } 2 - \text{Nivel } 3 = 0.069 \ \frac{\text{ton}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Carga muerta sobre impuesta total de losa Nivel } 3 - \text{Nivel } 4 = 0.069 \ \frac{\text{ton}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Carga muerta sobre impuesta total de losa techo} = 0.053 \ \frac{\text{ton}}{\text{m}^2}$$

Para que el valor final de la carga muerta sobre impuesta a utilizar sea 0.259 ton/m².

3.1.2 Metodología de Fase numérica

Se observarán variaciones obtenidas en ambos reglamentos, según los resultados que se obtendrán de cada uno de los cálculos planteados para el análisis del edificio propuesto.

3.1.2.1 Método estático equivalente RNC-07.

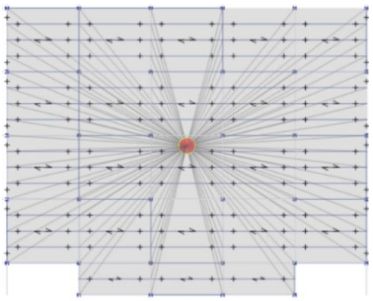
3.1.2.1.1 Condiciones de regularidad:

En el reglamento nacional de la construcción RNC-07 en el artículo 23. Se nos menciona las condiciones de regularidad las cuales son 12, nuestra estructura debe de cumplir con estos requisitos para ser considerada regular, de lo contrario se deberá aplicar un factor de corrección.

El Modelo se revisará para determinar si presenta irregularidad para hacer un ajuste de ductilidad.

1) Su planta es sensiblemente simétrica con respecto a dos ejes ortogonales por lo que toca a masas, así como a muros y otros elementos resistentes. Estos son, además, sensiblemente paralelos a los ejes ortogonales principales del edificio.

Imagén 14 Simetría del modelo RNC-07



Fuente: *Software ETABS; Elaboración Propia*

2) La relación de su altura a la dimensión menor de su base no pasa de 2.5

La altura total de nuestro edificio de 5 plantas es de 20 metros, siendo el primer piso de 4.5 metros y los restantes de 4 metros.

$$H = 20.5m$$

Nuestra base menor del edificio en dirección Y, Norte – sur es de 36 metros.

$$Base\ menor = 36\ m$$

Haciendo una relación entre la altura total del edificio y su base menor nos da 0.575 cuando la normativa RNC-07 nos limita a 2.5 como máximo

$$\frac{20.5m}{36m} = 0.575 < 2.5$$

Por lo tanto, Cumplimos esta condición de regularidad.

3) La relación de largo a ancho de la base no excede de 2.5.

El largo de la base de la estructura es de 36 metros

$$Largo\ de\ la\ base = 36\ m$$

El ancho de la base de la estructura es de 45 metros.

$$Ancho\ de\ la\ base = 45\ m$$

La relación de la base de la estructura entre el ancho de la base nos tiene que dar menor a 2.5.

$$\frac{36\ m}{45\ m} = 0.80\ < 2.5$$

Por lo tanto, se cumple con esta condición de regularidad.

4) En planta no tiene entrantes ni salientes cuya dimensión exceda de 20 por ciento de la dimensión de la planta medida paralelamente a la dirección que se considera del entrante o saliente.

La dimensión de la planta es de 1610 metros.

$$Dimension\ de\ la\ planta = 1610\ m$$

Pero la dimensión del saliente en el lado X es:

$$Dimension\ del\ saliente = 108\ m$$

El reglamento exige que esta dimensión sea menor del 20% de la dimensión del edificio.

$$20\%\ de\ la\ dimension\ = 322\ m$$

la dimensión del saliente es de 108 metros y el 20% de la dimensión del edificio es de 322 m.

$$108\ m < 322\ m$$

En cada nivel se cuenta con un sistema de techo o piso rígido y resistente.

Por lo tanto, si cumple con la condición de regularidad

El entrepiso está construido por losa maciza de concreto reforzado de $f'c$ = 3000 Psi, vigas y columnas debidamente reforzadas con acero estructural de fy:60,000 Psi, por lo que cumple condición.

Cumple Condición de regularidad.

6) No tiene aberturas en sus sistemas de techo o piso cuya dimensión exceda de 20 por ciento de la dimensión en planta medida paralelamente a la abertura; las áreas huecas no ocasionan asimetrías significativas ni difieren en posición de un piso a otro, y el área total de aberturas no excede en ningún nivel de 20 por ciento del área de la planta.

$$Dimension\ del\ area\ de\ planta = 1610\ m^2$$

En los niveles 1,2 ,3 y 4 se cuenta con un ascensor en la parte central del edificio y su abertura es de 48 m²

$$Area\ de\ abertura\ del\ ascensor\ en\ niveles\ 1{,}2{,}3{,}4\ = 48\ m^2$$

Y el 20% de la dimensión total de nuestro edificio es mayor.

$$20\%\ de\ la\ dimension\ = 322\ m^2$$

$$48\ m^2 < 322\ m^2$$

Por lo tanto, se cumple con esta condición de regularidad.

7) El peso de cada nivel, incluyendo la carga viva que debe considerarse para diseño sísmico, no es mayor que 110 por ciento del correspondiente al piso inmediato inferior ni, excepción hecha del último nivel de la construcción, es menor que 70 por ciento de dicho peso.

Se requiere determinar el peso sísmico que consiste en la siguiente ecuación: W=CM+CVR Los pesos son extraídos del software ETABS que calculó de forma automática el peso propio y con el centro de masa definido con las cargas vivas reducidas y los accesorios sobreimpuestos, se obtiene la masa sísmica, y de ahí se presenta un resumen de pesos.

Como podemos observar ninguno de los pesos según la condición de regularidad excede el 110% del peso total.

Por lo tanto, se cumple con la condición de regularidad.

8) Ningún piso tiene un área, delimitada por los paños exteriores de sus elementos resistentes verticales, mayor que 110 por ciento de la del piso inmediato inferior ni menor que 70 por ciento de ésta. Se exime de este último requisito únicamente al último piso de la construcción. Todos los pisos tienen las mismas dimensiones.

Por lo tanto, se cumple con la condición de regularidad.

9) Todas las columnas están restringidas en todos los pisos en dos direcciones sensiblemente ortogonales por diafragmas horizontales y por trabes o losas planas

La figura obtenida de ETABS muestra que las columnas esquineras están restringidas en 2 direcciones, las columnas perimetrales están restringidas en 3 direcciones y las gravitacionales tienen restricción en sus 4 caras, por lo cual cumple condición.

Se cumple dicha condición de regularidad.

10) La rigidez al corte de ningún entrepiso excede en más de 50 por ciento a la del entrepiso inmediatamente inferior. El último entrepiso queda excluido de este requisito.

Extraeremos la información necesaria del software ETABS, Se observa que el edificio en análisis tiene distintos perfiles de acero estructural, teniendo distintas secciones transversales y aportando rigidez al edificio.

Como Podemos observar en todos los niveles se cumplen que el cortante del piso inmediato superior es mayor al 150% del piso inmediato superior.

Por lo tanto, se cumple con esta condición de regularidad.

11) La resistencia al corte de ningún entrepiso excede en más de 50 por ciento a la del entrepiso inmediatamente inferior. El último entrepiso queda excluido de este requisito.

Tabla 3.3 Resistencia al corte; Condición de Regularidad

COND.NORMALES VS COND. DE IRREGULARIDAD					
ITEM	X	Y	X (REG)	Y (REG)	COMENTARIO
TECHO	150.226	234.877	150.226	234.877	EXCLUIDO
N4	301.122	470.802	451.683	706.202	VERDADERO
N3	421.099	658.385	631.649	987.578	VERDADERO
N2	503.121	786.625	754.681	1179.938	VERDADERO
N1	546.500	854.448	819.750	1281.673	VERDADERO

Fuente: Elaboración Propia

Resumen: La estructura es irregular, según RNC-07 en su artículo 23. Acápite D, corrección por irregularidad el factor de reducción Q´ se multiplicará por 0.9.

Q ≠ Q'

- **Parámetros de acción sísmica.**

El edificio tiene ocupación de clínica, por lo cual se considera una estructura de gran importancia, según el arto 32 método estático equivalente en inciso (a) Indica que para estructuras del grupo A las fuerzas calculadas con la ecuación 11 del reglamento deberán multiplicarse por 1.5.

3.1.2.2 Ductilidad.

En dirección X:

Se usará $\boldsymbol{Q = 4}$ cuando la resistencia a fuerzas laterales es suministrada por losas planas con columnas de acero o de concreto reforzado, o por marcos de acero con ductilidad reducida o provistos de arriostramiento con ductilidad normal, o de concreto reforzado que no cumplan con los requisitos para ser considerados dúctiles, o muros de concreto reforzado, o de placa de acero o compuestos de acero y concreto, que no cumplen en algún entrepiso lo especificado por el Artículo 21 inciso a) y b) de este Capítulo, o por muros de mampostería de piezas macizas

confinados por columnas o vigas de concreto reforzado o de acero que satisfacen los requisitos de las Normas correspondientes.

En dirección Y:

Se usará $\boldsymbol{Q = 3}$ cuando se satisfacen los requisitos 2, 4 y 5 del Artículo 21 en el inciso a) y en cualquier entrepiso dejan de satisfacerse las condiciones 1 o 3, pero la resistencia en todos los entrepisos es suministrada por columnas de acero o de concreto reforzado con losas planas, o por marcos rígidos de acero, o por marcos de concreto reforzado, o por muros de concreto o de placa de acero o compuestos de los dos materiales, o por combinaciones de éstos y marcos o por diafragmas de madera.

La estructura es irregular por lo tanto se debe ajustar el factor de ductilidad para ambos sistemas estructurales:

Para "X":

$$Q'_X = Q * 0.9 = 4 \times 0.9$$

$$Q'_X = 3.6$$

Para "Y":

$$Q'_Y = Q * 0.9 = 3 \times 0.9$$

$$Q'_Y = 1.8$$

3.1.2.2.1 Factor de amplificación por tipo de suelo.

Factor de amplificación por tipo de suelo indica que la velocidad de onda de corte obtenida es $\boldsymbol{V_s = 360\ m/s}$**,** por lo que se clasifica como suelo tipo II.

Managua se encuentra en la zona C, y como se expresa en el reglamento RNC-07, el valor de amplificación del suelo, se obtiene a partir de estos dos datos, zonificación y tipo de suelo, según la tabla 2 del RNC-07:

$$\boldsymbol{S = 1.5}$$

3.1.2.2.2 Aceleración espectral del suelo (A_0).

Según el mapa de isoaceleraciones espectrales, presente en el anexo C del RNC-07 el valor de aceleración es:

$$A_0 = 0.31$$

3.1.2.2.3 Factor de sobre resistencia.

El factor de sobre resistencia Ω en el RNC-07 proviene del concepto de resistencia adicional inherente que presentan los sistemas estructurales más allá de la resistencia nominal considerada en el diseño por fuerzas sísmicas. Es un factor propio del diseño sismorresistente basado en capacidad, y se utiliza en la mayoría de reglamentos modernos (NEHRP, ASCE-7, UBC, IBC) del cual el RNC-07 toma su estructura conceptual.

$$\boldsymbol{\Omega = 2}$$

3.1.2.2.4 Coeficiente sísmico.

Una vez definidos todos los parámetros de acción sísmica y analizadas las características de la estructura, se puede calcular el coeficiente sísmico por medio de la ecuación:

$$\boldsymbol{C = \frac{S * (2.7 * Ao)}{Q´ * \Omega}}$$

Para dirección X con sistema estructural MF:

$$Cx = \frac{1.5 * (2.7 * 0.31)}{3.6 * 2} = 0.17$$

Para dirección Y con sistemas estructural SCBF:

$$Cy = \frac{1.5 * (2.7 * 0.31)}{1.8 * 2} = 0.356$$

Se debe comparar que dichos valores sean mayores que $S \times A_0$ para poder hacer uso de estos valores.

$$1.5 \cdot 0.31 = 0.465$$

Podemos apreciar que:

En el sistema X el coeficiente sísmico es: $0.170 < 0.465$

En el sistema de Y el coeficiente sísmico es: $0.356 < 0.465$

Por lo tanto, el valor de C será el C mínimo para la primera iteración del modelo el cual es:

$$\boldsymbol{C_{minimo} = 0.465}$$

3.1.2.3 Método estático equivalente.

3.1.2.3.1 Fuerzas cortantes.

Para calcular las fuerzas cortantes a diferentes niveles de una estructura, se analizará un conjunto de fuerzas horizontales actuando sobre cada uno de los puntos donde se concentran las masas. Cada una de estas fuerzas se tomará igual al peso de la masa que corresponde, multiplicado por un coeficiente proporcional a h, siendo h la altura de la masa en cuestión sobre el desplante (o nivel a partir del cual las deformaciones estructurales pueden ser apreciables).

De acuerdo con este requisito, la fuerza lateral que actúa en el i-ésimo nivel, Fsi, resulta ser:

$$\boldsymbol{Fs = C * Wi * Hi * \left(\frac{\Sigma W}{\Sigma Wi * Hi}\right)} \qquad \textbf{(11)}$$

$$C = 0.465.$$

A pesar de que se tenga 2 sistemas estructurales en dirección de análisis X y dirección de análisis Y en vista que ninguna de las C calculadas es mayor que el Valor de $S \times A_0$ se ocupara este como valor general en ambas direcciones como el coeficiente sísmico

Tabla 3.4 Método estático equivalente

Nivel	H (m)	Wi (Ton)	Wi*H	Fi (Ton)	Vi (ton)
Azotea	20.5	700.220	14354.500	552.463	552.463
Nivel 4	16.5	907.354	14971.334	576.204	1128.667
Nivel 3	12.5	917.133	11464.160	441.223	1569.890
Nivel 2	8.5	922.044	7837.371	301.638	1871.528
Nivel 1	4.5	921.116	4145.022	159.530	2031.057
		4367.866	**52772.387**		

Fuente: Elaboración propia

3.1.2.3.2 Cortante basal.

De forma alternativa se calcula el cortante basal con la siguiente ecuación.

$$Fs = C * Wo$$

$$Fs = 2031.057$$

3.1.2.3.3 Reducción de fuerzas sísmicas.

Desplazamientos totales y relativos.

Los desplazamientos se obtienen a través de la aplicación de la ley de Hooke, pero para el análisis adecuado de la presente investigación se usan los valores extraídos del software ETABS.

Tabla 3.5 Desplazamientos Estáticos

Desplazamientos Estaticos				
Story	Elevation	Location	X-Dir	Y-Dir
	cm		cm	cm
Azotea	2050	Top	**22,050**	**8,970**
Nivel 4	1650	Top	**19,550**	**7,612**
Nivel 3	1250	Top	**15,390**	**5,751**
Nivel 2	850	Top	**10,600**	**3,794**
Nivel 1	450	Top	**5,150**	**1,632**

***Fuente**: Software ETABS; Elaboración propia*

- **El periodo fundamental de vibración "T" Se tomará igual a:**

$$2\pi\sqrt{\frac{\sum Wi * Xi^2}{g\sum Fsi * Xi}}$$

Valores para MF:

Tabla 3.6 Resumen de Cálculos para periodo fundamental en X

Eje (X)				
Nivel	Desplazamiento (cm)		Wi*Xi²	Fi*Xi
Azotea	22,05	cm	340541,120	12183,476
Nivel 4	19,55	cm	346721,855	11263,628
Nivel 3	15,39	cm	217224,831	6790,415
Nivel 2	10,60	cm	103639,926	3197,965
Nivel 1	5,15	cm	24392,364	820,941
			1.032.520,096	**34.256,426**

***Fuente**: Software ETABS; Elaboración propia*

Periodo fundamental en el eje X: 1.101

Periodo del eje X obtenido del software ETABS: $T_x = 1.086\ sec$

Valores para SCBF:

Tabla 3.7 Resumen de Cálculos para periodo fundamental en Y

Eje (Y)				
Nivel	DesplazamientoY(Cm)		Wi*Yi²	Fi*Yi
Azotea	8,97	cm	56390,551	4957,807
Nivel 4	7,61	cm	52546,751	4384,910
Nivel 3	5,75	cm	30343,801	2537,912
Nivel 2	3,79	cm	13216,386	1142,001
Nivel 1	1,63	cm	2450,317	260,193
			154.947,806	**13.282,823**

***Fuente**: Software ETABS; Elaboración propia*

Periodo fundamental en el eje Y:0.685

Periodo del eje X obtenido del software ETABS: $T_y = 0.709\ sec$

Tabla 3.8 Margen EXCEL VS ETABS para Periodo estructural

ITEM	DATOS OBTENIDOS	CONVERGENCIA	COMENTARIO
Tx	1,101	0,986	TENEMOS UN MARGEN DE ERROR DEL 0,03%
Tx_Programa	1,086		
Ty	0,685	0,958	TENEMOS UN MARGEN DE ERROR DEL 0,075%
Ty_Programa	0,656		

***Fuente**: Elaboración propia*

Como podemos ver, aunque se tenga una gran convergencia aún se tiene un pequeño margen de error por lo que se ocupara el periodo fundamental de Obtenido mediante el Software ETABS.

Antes de reducir las fuerzas se debe encontrar nuevamente el coeficiente sísmico, teniendo en consideración que se está realizando un análisis estático siguiendo el procedimiento del reglamento nacional de la construcción el cual nos dice que:

$$C = \frac{a}{Q' \cdot \Omega}$$

En las expresiones anteriores, a es la ordenada espectral definida en el Articulo 27 subtema II (Espectros para diseño sísmico) en función del periodo estructural, mientras que: y Q' son los valores de reducción dados en el Articulo 22 y 21 respectivamente. El valor de a no se tomará menor que $S * a_0$.

- **Se procede a encontrar nuestro Valor de A para X**

Se deberá encontrar el de A teniendo en consideración el rango de T que obtiene en el artículo 27 del reglamento nacional de la construcción RNC-07 en el inciso II. Espectros para diseño sísmico en sección A llamada Espectros aplicables a los análisis estático y dinámico.

$$T_a = 0.1$$

$$T_b = 0.6$$

$$T_c = 2$$

$$T = 1.086$$

Se tiene un periodo fundamental calculado procedemos a calcular A.

$$0.6s < 1.086s < 2s$$

$$Tb < Tx < Tc$$

En vista que el periodo obtenido encaja en la siguiente ecuación para

$$a = Sd * \left(\frac{Tb}{Tx}\right)$$

$$Sd * \left(\frac{Tb}{Tx}\right) = 0.694$$

Una vez habiendo encontrado el valor de A procedemos a encontrar el valor del coeficiente sisimico reducido.

$$C = \frac{a}{Q' \cdot \Omega} = 0.193$$

- Se procede a encontrar el Valor de A para Y

$$Ta = 0.1$$

$$Tb = 0.6$$

$$Tc = 2$$

$$T = 0.656$$

Se tiene periodo fundamental calculado procedemos a calcular A.

$$0.6s < 0.656 < 2s$$

$$Tb < Ty < Tc$$

En vista que el periodo obtenido encaja en la siguiente ecuación para

$$a = Sd * \left(\frac{Tb}{Ty}\right)$$

$$Sd * \left(\frac{Tb}{Ty}\right) = 1.148$$

Una vez habiendo encontrado el valor de A se obtiene el valor del coeficiente sisimico reducido.

$$C = \frac{a}{Q' \cdot \Omega} = 0.319$$

Una vez obtenida la aceleración espectral, se calculan las nuevas fuerzas sísmicas reducidas en base al coeficiente de modificación de respuesta, dado por la primera parte de la ecuación 13 del RNC-07.

$$Fs_i := \frac{a}{\Omega\, Q'} \cdot W_i h_i \cdot \left(\frac{\Sigma W_i}{\Sigma W_i h_i}\right)$$

Para X:

Tabla 3.9 Nuevas Fuerzas Sísmicas Reducidas para X

EJE X						
Nivel	**H (m)**	**Wi (Ton)**	**Wi*H**	**Fi (Ton)**	**Vi (ton)**	mv
Azotea	20,5	700,22	14354,50	228,92	228,92	228,92
Nivel 4	16,5	907,35	14971,33	238,76	467,68	696,60
Nivel 3	12,5	917,13	11464,16	182,83	650,51	1347,11
Nivel 2	8,5	922,04	7837,37	124,99	775,49	2122,60
Nivel 1	4,5	921,12	4145,02	66,10	841,60	2964,20
		4367,87	52772,39			

***Fuente**: Elaboración propia*

***Cortante Basal Máximo en**:* $x = 841.60\ Tonf$

Tabla 3.10 Nuevas Fuerzas Sísmicas Reducidas para Y

EJE Y						
Nivel	**H (m)**	**Wi (Ton)**	**Wi*H**	**Fi (Ton)**	**Vi (ton)**	**MV**
Nivel 5	20,5	700,22	14354,50	379,56	379,56	378,98
Nivel 4	16,5	907,35	14971,33	395,87	775,42	1153,21
Nivel 3	12,5	917,13	11464,16	303,13	1078,55	2230,12
Nivel 2	8,5	922,04	7837,37	207,23	1285,78	3543,94
Nivel 1	4,5	921,12	4145,02	109,60	1395,38	4907,2
		4367,87	52772,39			

***Fuente**: Elaboración propia*

***Cortante Basal Máximo en**:* $y = 1395.38\ Tonf$

Tabla 3.11 Margen EXCEL VS ETABS para Cortante Basal

ITEM	DATOS MANUALES	DATOS OBTENIDOS ETABS	CONVERGENCIA
VBXmax	841,60	843,553	23,17%
VBY_Din	1395,38	1394,27	8,01%

***Fuente**: Elaboración propia*

Se observa que se tiene muy buena convergencia de los resultados obtenidos manualmente y los resultados obtenidos mediante el software de ETABS.

3.1.2.3.4 Cálculo de las Derivas Estáticas en X.

Tabla 3.12 Tabla de Estado Límite de Servicio en X

Calculo de desplazamieto estatico en el estado limite de servicio					
Nivel	Altura	DesplaX	**DespModx**	**Deriva X**	
Nivel 5	400	2.53	3.650	0.009	Cumple
Nivel 4	400	4.20	6.044	0.015	Cumple
Nivel 3	400	4.83	6.954	0.017	Cumple
Nivel 2	400	5.50	7.917	0.020	Cumple
Nivel 1	450	5.18	7.465	0.017	Cumple

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3.13 Tabla de Estado Limite de Colapso en X

Calculo de desplazamieto estatico en el estado limite de colapso					
Nivel	Altura	DesplaX	**DespModx**	**Deriva X**	
Nivel 5	400	2.53	3.650	0.009	Cumple
Nivel 4	400	4.20	6.044	0.015	Cumple
Nivel 3	400	4.83	6.954	0.017	Cumple
Nivel 2	400	5.50	7.917	0.020	Cumple
Nivel 1	450	5.18	7.465	0.017	Cumple

Fuente: Elaboración Propia

Muestra que la estructura presenta un comportamiento adecuado frente a las solicitaciones sísmicas tanto en el estado límite de servicio como en el estado límite de colapso. Los desplazamientos aumentan progresivamente hacia los niveles superiores, lo cual es consistente con el comportamiento esperado de una estructura sometida a cargas laterales; sin embargo, las derivas de entrepiso calculadas oscilan entre 0.009 y 0.020, valores que se mantienen dentro de los límites permisibles establecidos por la normativa. El mayor valor de deriva se presenta en el Nivel 2 (0.020), aunque todavía cumple con los criterios de aceptación del reglamento, lo que indica que la rigidez lateral del sistema estructural es suficiente para controlar las deformaciones.

3.1.2.3.5 Cálculo de las Derivas Estáticas en Y.

Tabla 3.14 Estado Límite de Servicio en Y

Calculo de desplazamieto estatico en el estado limite de servicio					
Nivel	**Altura**	**DesplaX**	**DespModY**	**Deriva Y**	**Cond.**
Nivel 5	400	1.38	1.982	0.005	Cumple
Nivel 4	400	1.88	2.703	0.007	Cumple
Nivel 3	400	1.98	2.858	0.007	Cumple
Nivel 2	400	2.01	2.895	0.007	Cumple
Nivel 1	450	1.81	2.599	0.006	Cumple

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3.15 Tabla de Estado Límite de Colapso en Y

Calculo de desplazamieto estatico en el estado limite de colapso					
Nivel	**Altura**	**DesplaY**	**DespModY**	**Deriva Y**	
Nivel 5	400	1.38	1.982	0.005	Cumple
Nivel 4	400	1.88	2.703	0.007	Cumple
Nivel 3	400	1.98	2.858	0.007	Cumple
Nivel 2	400	2.01	2.895	0.007	Cumple
Nivel 1	450	1.81	2.599	0.006	Cumple

Fuente: Elaboración Propia

El análisis de desplazamientos estáticos en la dirección Y indica que la estructura presenta un comportamiento adecuado frente a las solicitaciones sísmicas tanto en el estado límite de servicio como en el estado límite de colapso. Los desplazamientos muestran una variación gradual a lo largo de la altura de la edificación, alcanzando su valor máximo en el Nivel 2, lo cual es consistente con la distribución esperada de deformaciones en estructuras sometidas a cargas laterales. Las derivas de entrepiso se encuentran en un rango de 0.005 a 0.007, valores considerablemente inferiores a los límites permisibles establecidos por la normativa, lo que evidencia una adecuada rigidez lateral del sistema estructural en esta dirección. En consecuencia, la estructura cumple satisfactoriamente con los criterios de control de desplazamientos establecidos por el reglamento, garantizando un adecuado desempeño ante eventos sísmicos y reduciendo la probabilidad de daños significativos en elementos estructurales y no estructurales.

3.1.2.4 Análisis dinámico RNC-07.

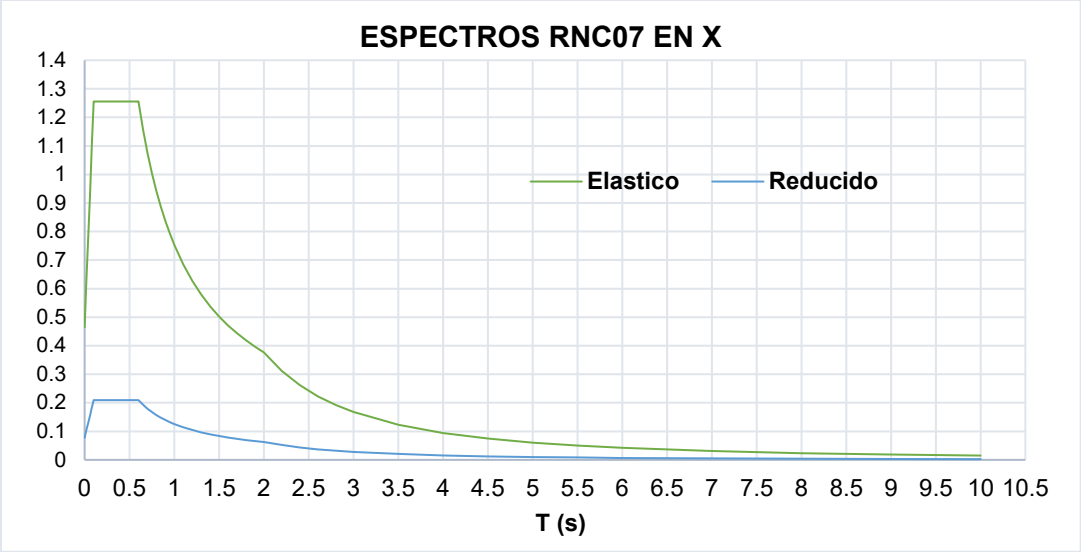
3.1.2.4.1 Espectro Reducido:

La normativa sísmica nicaragüense *RNC-07*, el espectro reducido utilizado en el análisis dinámico modal se obtiene a partir del *espectro elástico de diseño*, definido por la zonificación sísmica, el tipo de suelo, el factor de importancia y la aceleración sísmica efectiva del sitio. Este espectro, como el mostrado para las direcciones X e Y, se *reduce mediante el factor de comportamiento sísmico (Q)* del sistema estructural, incorporando la ductilidad y sobre-resistencia. El espectro reducido resultante, que no inicia desde cero y presenta menores valores de aceleración espectral A/GA/GA/G, es el empleado directamente para el cálculo de fuerzas, desplazamientos y derivas conforme a la RNC-07.

Para X:

$Grado\ A = 1.5$	$D = 0.837$	$Ta = 0.1\ s$	$Tc = 2\ s$
$Ao = 0.31$	$S = 1.5$	$Tb = 0.6\ s$	$Q = 3$
			$\Omega = 2$

Imagén 15. Espectro RNC-07 en X

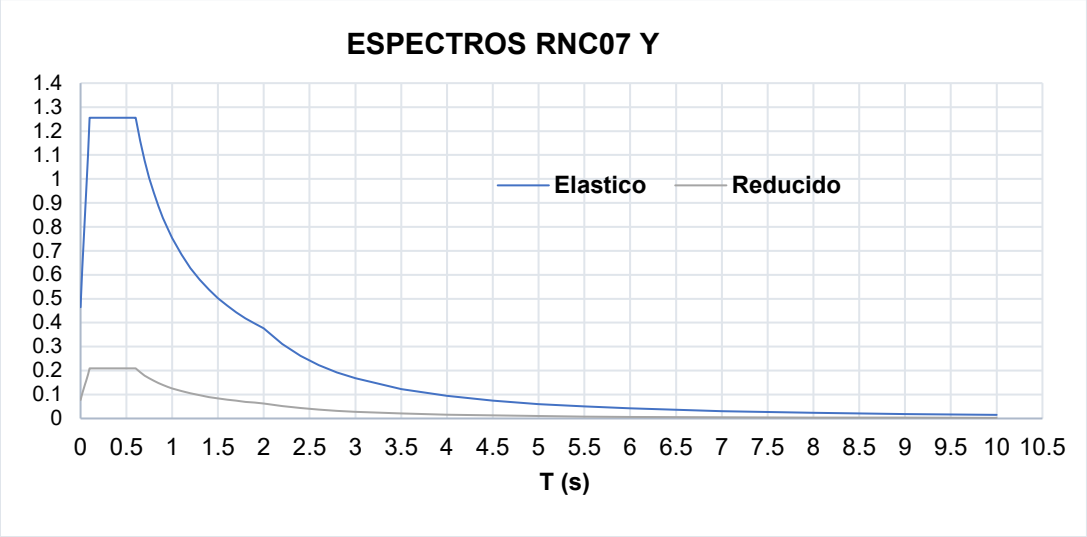


***Fuente**: Elaboración propia*

Para Y:

$Grado\ A = 1.5$	$D = 0.837$	$Ta = 0.1\ s$	$Q = 4$
$Ao = 0.31$	$S = 1.5$	$Tb = 0.6\ s$	Ω=2
		$Tc = 2\ s$	

Imagén 16 Espectro RNC-07 Y



***Fuente**: Elaboración propia*

3.1.2.4.2 Relaciones de participación modal de Masas

El análisis de los factores de participación modal demuestra que la estructura modelada en ETABS cumple de manera adecuada con los criterios establecidos por la RNC-07 para el análisis modal espectral. Tanto en las direcciones X y Y como en el grado torsional, la masa participante acumulada supera el 90 % requerido, alcanzando valores cercanos o superiores al 98 % entre los modos 7 y 9.

Tabla 3.16 Participación modal de las masas

Modal Participating Mass Ratios					
Case	**Mode**	**Period**	**SumUX**	**SumUY**	**SumRZ**
		sec			
Modal	1	1.08	0.8498	0	0.0001
Modal	2	0.651	0.8498	0.8192	0.0002
Modal	3	0.487	0.8499	0.8193	0.8193
Modal	4	0.365	0.9507	0.8193	0.8193
Modal	5	0.238	0.9507	0.9471	0.8193
Modal	6	0.199	0.9848	0.9471	0.8193
Modal	7	0.179	**0.9849**	0.9471	0.9465
Modal	8	0.144	0.9849	**0.9823**	0.9465
Modal	9	0.133	0.9958	0.9823	**0.9466**
Modal	10	0.108	0.9958	0.9823	0.9821
Modal	11	0.105	0.9958	0.9946	0.9821
Modal	12	0.099	1	0.9946	0.9821
Modal	13	0.082	1	1	0.9821
Modal	14	0.079	1	1	0.9947
Modal	15	0.061	1	1	1

***Fuente**: Elaboración propia*

Esto indica que:

- Los modos fundamentales son responsables de la mayor parte de la respuesta sísmica del edificio.
- La estructura se comporta predominantemente de forma flexional, con torsión secundaria pero correctamente representada.
- El número de modos incluidos en el análisis es suficiente y apropiado para capturar la respuesta dinámica global.
- Se garantiza que los desplazamientos, derivas y esfuerzos obtenidos del análisis espectral constituyen una base técnicamente válida para el diseño sismorresistente.

3.1.2.4.3 Factores modales de periodos y frecuencias

El análisis de los períodos y frecuencias modales muestra un comportamiento dinámico coherente y progresivo de la estructura. El modo fundamental (Modo 1) presenta el mayor período, T = 1.08 s, lo que indica que este modo gobierna la respuesta sísmica global y está asociado a la deformación principal del sistema estructural. A medida que aumenta el número de modo, los períodos disminuyen gradualmente y las frecuencias se incrementan, reflejando una transición desde un comportamiento global hacia modos de vibración más rígidos y localizados, lo cual es consistente con un modelo estructural estable y correctamente definido.

Asimismo, el incremento continuo de la frecuencia angular y del autovalor evidencia un aumento progresivo de la rigidez modal asociada a cada modo superior. Los valores bajos de autovalor en los primeros modos confirman que estos concentran la mayor participación de masa y, por tanto, son los más relevantes para la evaluación de fuerzas sísmicas y desplazamientos. Por el contrario, los modos superiores, con autovalores elevados, representan vibraciones de alta frecuencia que influyen principalmente en la respuesta local de ciertos elementos, pero con una contribución menor a la respuesta sísmica global.

Los períodos, frecuencias, frecuencias angulares y autovalores modales representan las propiedades dinámicas fundamentales que describen cómo vibra la estructura ante una excitación sísmica. Estos parámetros permiten identificar los modos dominantes, evaluar la rigidez y flexibilidad del sistema estructural y verificar que el análisis modal captura adecuadamente el comportamiento dinámico exigido por la normativa, sirviendo como base para el cálculo confiable de fuerzas internas, desplazamientos y derivas sísmicas.

Tabla 3.17 Periodos modales y frecuencia

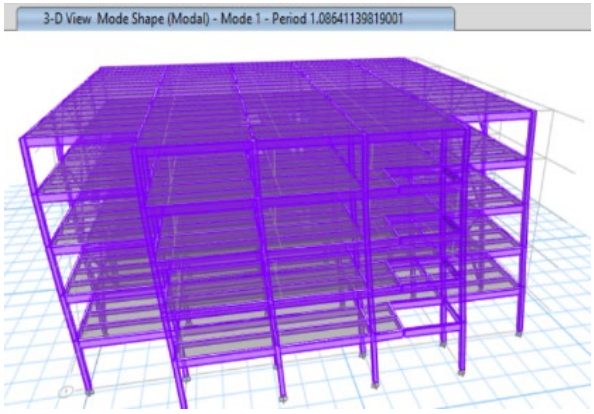
Modal Periods And Frequencies					
Case	Mode	Period	Frequency	CircFreq	Eigenvalue
		sec	cyc/sec	rad/sec	rad²/sec²
Modal	1	1.08	0.93	5.82	33.87
Modal	2	0.65	1.54	9.64	93.01
Modal	3	0.49	2.05	12.90	166.44
Modal	4	0.37	2.74	17.21	296.32
Modal	5	0.24	4.20	26.36	694.79
Modal	6	0.20	5.04	31.64	1001.17
Modal	7	0.18	5.60	35.19	1238.45
Modal	8	0.14	6.94	43.61	1901.58
Modal	9	0.13	7.51	47.16	2224.06
Modal	10	0.11	9.27	58.25	3392.50
Modal	11	0.11	9.48	59.59	3551.18
Modal	12	0.10	10.07	63.26	4001.56
Modal	13	0.08	12.22	76.77	5894.26
Modal	14	0.08	12.72	79.95	6392.06
Modal	15	0.06	16.43	103.20	10650.49

***Fuente**: Elaboración propia*

Los principales modos son:

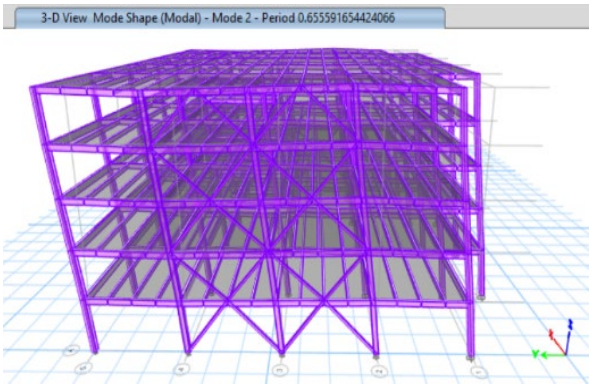
Primer modo:1.08s

Imagén 17. Modo 1 RNC07



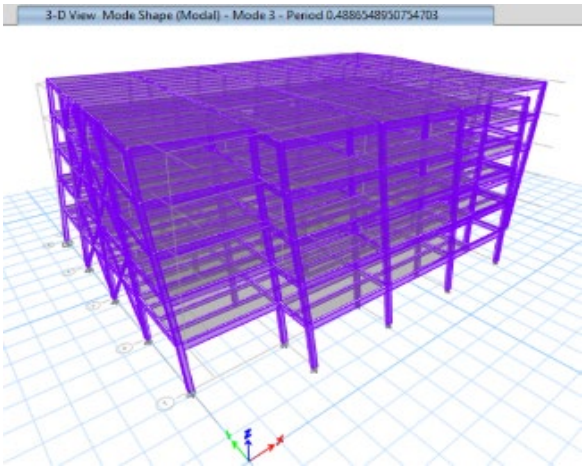
Segundo modo: 0.65 s

Imagén 18. Modo 2 RNC07



Tercer modo: 0.48 s

Imagén 19. Modo 3 RNC07



3.1.2.4.4 Revisión de cortante basal.

En este punto, con los resultados dinámicos obtenidos mediante el software de Etabs y los resultados estáticos obtenidos mediante calculo manual procedemos a hacer una comparación, dicha comparación debe ser mayor al 80% de caso contrario se aplica una corrección mediante escalación.

La evaluación del factor de escalamiento se es necesaria en cualquier estructura, procedemos a hacer la relación entre el cortante basal estático entre el dinámico en dirección de análisis eje X:

$$Cortante\ Estatico\ X = 841.60\ Tonf$$

$$Cortante\ Dinamico\ X = 662.64\ Tonf$$

$$\frac{CBEX = 841.598}{CBDX = 662.643} = 0.787$$

La evaluación del factor de escalamiento es necesaria en cualquier estructura, procedemos a hacer la relación entre el cortante basal estático entre el dinámico en dirección de análisis eje Y:

$$Cortante\ Estatico\ Y = 1393.260\ Tonf$$

$$Cortante\ Dinamico\ Y = 786.11\ Tonf$$

$$\frac{CBEY = 1395.38}{CBDY = 786.11} = 1.128$$

Podemos observar que el edificio no cumple con el mínimo requerido según normativa RNC-07, en adicional podemos concluir que el edificio al tener dos sistemas estructurales actuando en una misma estructura presenta, desfavorece esta condición por lo cual se necesita aplicar un factor de escalamiento

$$\frac{CBDX * 0.8}{CBDX}$$

Procedemos a calcular el factor de escalamiento para las fuerzas horizontales en eje X y eje Y.

$$\frac{CBDX * 0.8}{CBDX} = 1.016$$

Para el calculo de las fuerzas sismicas se utilizo los cortantes de piso dinamicos extraidos del programa en ambas direcciones, restando el cortante inferior menos el superior obteniendo asi la siguiente tabla:

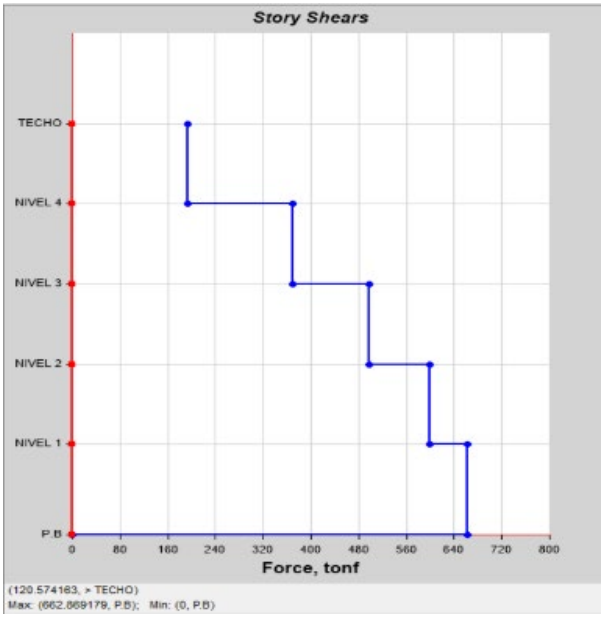
Para dirección X:

Tabla 3.18 Cortante basal dinámico X

Cortante Basal Dinamico				
Story	Elevation	Location	F.Sismica	C. Piso (SismDin)
			X-Dir	X-Dir
	m		tonf	tonf
TECHO	20.5	Top	194.006	194.0063
NIVEL 4	16.5	Top	174.807	368.8132
NIVEL 3	12.5	Top	129.040	497.8534
NIVEL 2	8.5	Top	101.240	599.093
NIVEL 1	4.5	Top	63.550	662.6428
Σtotal			**662.643**	

***Fuente**: Software ETABS; Elaboración propia*

Imagén 20. Cortante basal dinámico X



***Fuente**: Software ETABS*

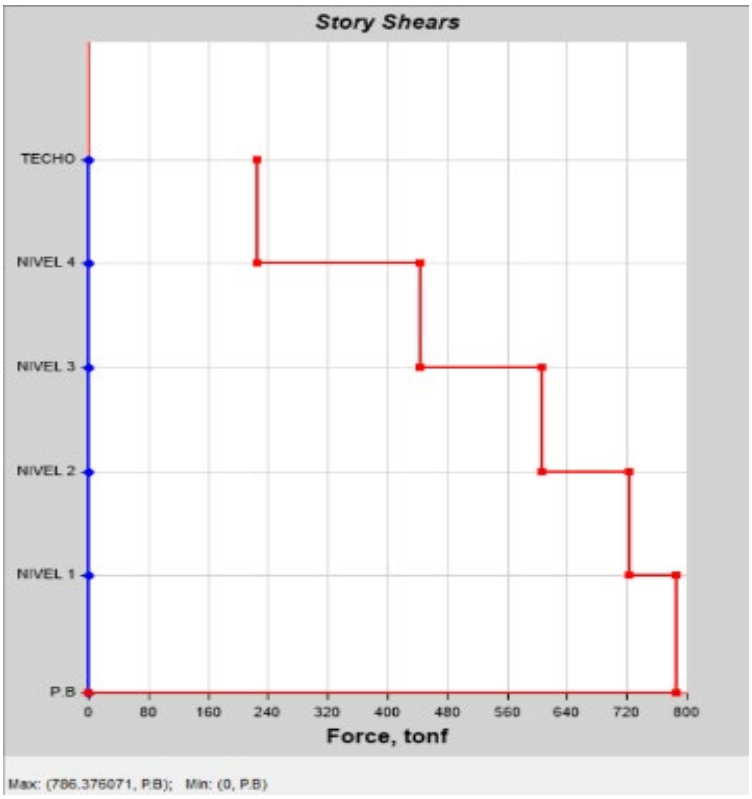
Para dirección Y:

Tabla 3.19 Cortante basal dinámico Y

Cortante Basal Dinamico				
Story	Elevation	Location	F.Sismica	C. Piso (SismDin)
			Y-Dir	Y-Dir
	m		tonf	tonf
TECHO	20.5	Top	224.815	224.8146
NIVEL 4	16.5	Top	218.401	443.2152
NIVEL 3	12.5	Top	163.565	606.7805
NIVEL 2	8.5	Top	115.924	722.7042
NIVEL 1	4.5	Top	63.403	786.1075
Σtotal			**786.108**	

***Fuente**: Software ETABS; Elaboración propia*

Imagén 21. Cortante basal dinámico Y



***Fuente**: Software ETABS*

Aplicando los factores de escalamiento correspondiente obtenemos la siguiente tabla:

Cálculos en dirección X:

$$\frac{CBDX * 0.8}{CBDX} = 1.016$$

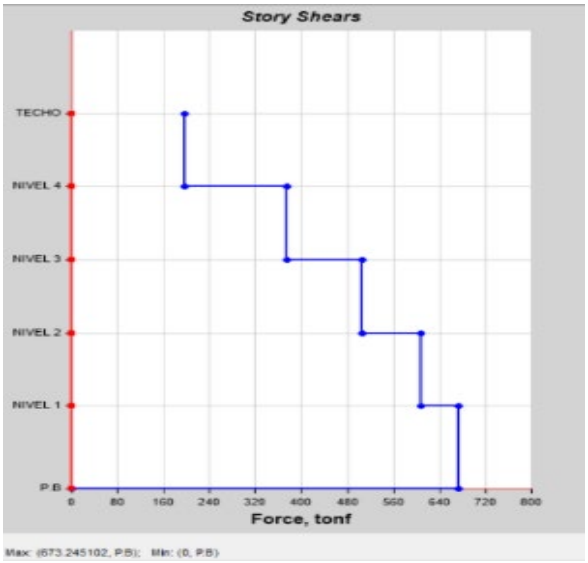
Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U1	RNC07_X	9.81*1.016

Tabla 3.20 Cortante basal dinámico aplicando factor de escalamiento en dirección X

Cortante Basal Dinamico aplicando Factor de escalamiento				
Story	Elevation	Location	F.Sismica	C. Piso (SismDin)
			X-Dir	X-Dir
	m		tonf	tonf
TECHO	20,5	Top	197,120	197,1104
NIVEL 4	16,5	Top	177,613	374,7142
NIVEL 3	12,5	Top	131,111	505,819
NIVEL 2	8,5	Top	102,865	608,6784
NIVEL 1	4,5	Top	64,566	673,2451
Σtotal			**673,275**	

***Fuente**: Software ETABS; Elaboración propia*

Imagén 22. Cortante Basal dinámico X con el factor de escalamiento



***Fuente**: Software ETABS*

Cálculos en dirección Y:

$$\frac{CBDY * 0.8}{CBDY} = 1.42$$

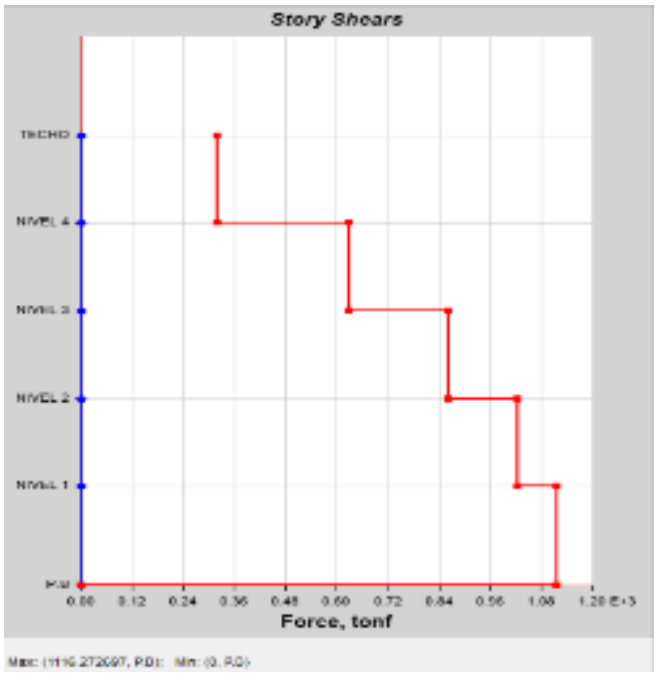
Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U2	RNC07_Y	9.81*1.42

Tabla 3.21 Cortante basal dinámico aplicando factor de escalamiento en dirección Y

Cortante Basal Dinamico aplicando Factor de escalamiento				
Story	Elevation	Location	F.Sismica	C. Piso (SismDin)
			Y-Dir	Y-Dir
	m		tonf	tonf
TECHO	20.5	Top	319.247	319.2367
NIVEL 4	16.5	Top	310.138	629.3655
NIVEL 3	12.5	Top	232.270	861.6283
NIVEL 2	8.5	Top	164.617	1026.24
NIVEL 1	4.5	Top	90.035	1116.2727
Σtotal			**1116.307**	

***Fuente**: Software ETABS; Elaboración propia*

Imagén 23. Cortante Basal dinámico Y con el factor de escalamiento



***Fuente**: Software ETABS; Elaboración propia*

3.1.2.4.5 Reacciones en la Base

Tabla 3.22 Reacciones en la base

Base Reactions		
Output Case	**Step Type**	**FX**
		tonf
SismoDinX	Max	673.25
SismoDinY	Max	0.35

***Fuente**: Software ETABS; Elaboración propia*

Tabla 3.23 Reacciones en la base

Base Reactions		
Output Case	**Step Type**	**FY**
		tonf
SismoDinX	Max	0.34
SismoDinY	Max	1116.27

***Fuente**: Software ETABS; Elaboración propia*

Una vez más procedemos a evaluar nuestras fuerzas para ver si debemos hacer una segunda iteración con un nuevo factor de escalamiento:

$$Cortante\ Estatico\ X = 841.60\ Tonf$$

$$Cortante\ Dinamico\ X = 673.275\ Tonf$$

$$\frac{CBEX = 841.598}{CBDX = 673.275} = 0.8$$

$$Cortante\ Estatico\ Y = 1393.260\ Tonf$$

$$Cortante\ Dinamico\ Y = 1116.31\ Tonf$$

$$\frac{CBEY = 1395.38}{CBDY = 1116.310} = 0.8$$

Como la respuesta dio el 80% calculamos las derivas de piso con las fuerzas incrementadas por factor de escala.

3.1.2.4.6 Desplazamiento lateral.

Según Artículo 34 del reglamento RNC-07 Cuando para el análisis sísmico se use el método estático o alguno de los dinámicos, será necesario calcular los desplazamientos de la estructura en el estado límite de servicio de acuerdo con los siguientes criterios:

Cuando la estructura se analice por el método estático o el dinámico modal, se revisará que su rigidez lateral sea suficiente para cumplir con las dos condiciones siguientes:

Para limitación de daños a elementos no estructurales, las diferencias entre los desplazamientos laterales de pisos consecutivos, calculados como lo estipula el Artículo 34 inciso a), no excederán 0.002 veces las diferencias de elevaciones correspondientes, salvo que no haya elementos incapaces de soportar deformaciones apreciables, como muros de mampostería, o éstos estén separados de la estructura principal de manera que no sufran daños por sus deformaciones; en tal caso, el límite en cuestión será de 0.0150.

$$\boldsymbol{Límite = 0.0150.}$$

3.1.2.4.7 Calculo de las Derivas

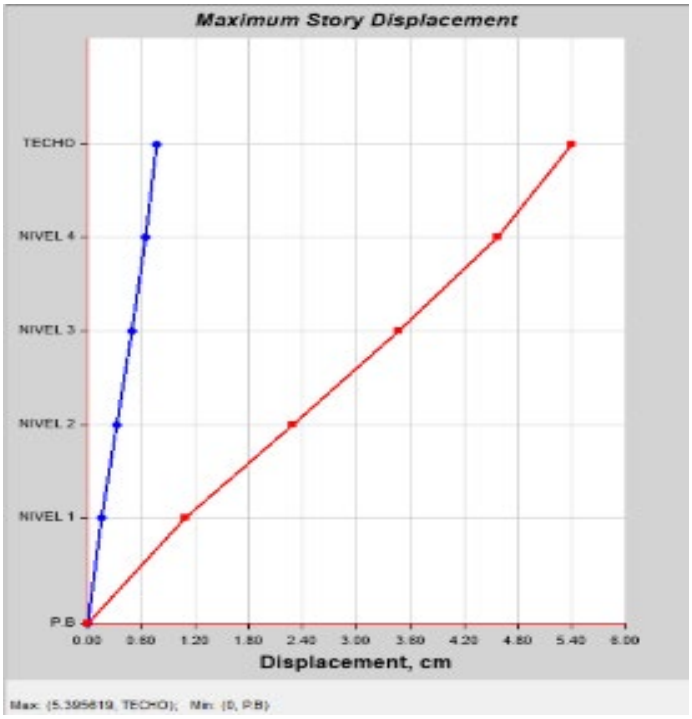
Las derivas seran calculadas como la diferencia de los desplazamientos dinamicos de del nivel superior e inferior del piso correspondiente:

Tabla 3.24.Desplazamientos dinámicos mínimos obtenidos mediante software ETABS.

Desplazamientos Dinamicos.				
Story	**Elevation**	**Location**	**X-Dir**	**Y-Dir**
	cm		cm	cm
Azotea	2050	Top	7.26	5.40
Nivel 4	1650	Top	6.45	4.58
Nivel 3	1250	Top	5.11	3.46
Nivel 2	850	Top	3.56	2.28
Nivel 1	450	Top	1.74	1.08

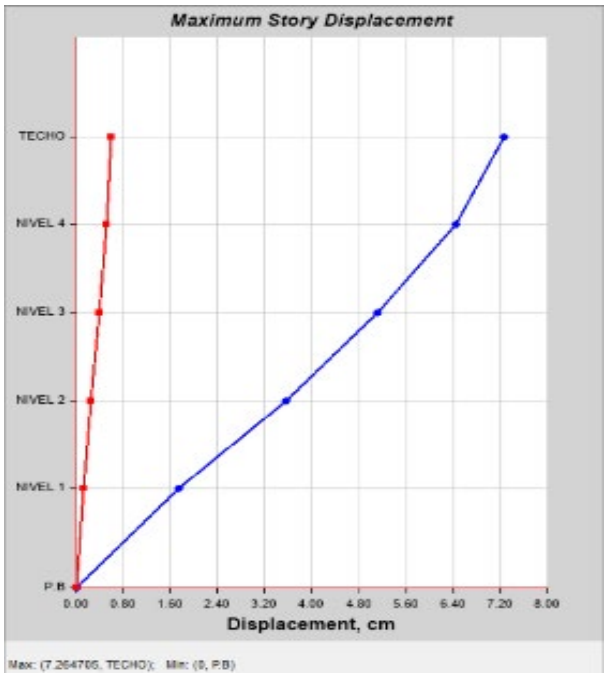
***Fuente**: Software ETABS; Elaboración propia*

Imagén 24. Desplazamientos dinámicos Y



***Fuente**: Software ETABS; Elaboración propia*

Imagén 25. Desplazamientos dinámicos X



***Fuente**: Software ETABS; Elaboración propia*

Se observa un incremento progresivo de los desplazamientos desde el *Nivel 1 hasta la Azotea*, lo cual es consistente con el comportamiento esperado de una estructura sometida a cargas sísmicas laterales, donde la mayor deformación ocurre en los niveles superiores. En la *dirección X* se alcanzan desplazamientos máximos del orden de *7.26 cm* en la azotea, mientras que en la *dirección Y* los valores son menores, con un máximo aproximado de *5.40 cm*, lo que sugiere una mayor flexibilidad estructural en la dirección X.

Las gráficas generadas por ETABS reflejan este comportamiento de forma continua a lo largo de la altura del edificio, mostrando curvas suaves y sin discontinuidades, lo cual indica una adecuada transmisión de rigidez entre niveles y ausencia de irregularidades significativas en elevación. La diferencia entre los desplazamientos en X y Y confirma que la rigidez o configuración estructural no es idéntica en ambas direcciones, aspecto normal y aceptable siempre que las derivas resultantes cumplan con los límites normativos establecidos por la RNC-07 para el uso de la edificación.

Tabla 3.25.Desplazamientos relativos.

DERIVAS		
NIVEL	X	Y
Δ5	0,81	0,82
Δ4	1,34	1,11
Δ3	1,56	1,18
Δ2	1,81	1,20
Δ1	1,74	1,08

***Fuente**: Software ETABS; Elaboración propia*

3.1.2.4.8 Cálculo de desplazamientos en el estado límite de servicio.

Si para el análisis se ha usado el método estático tomando en cuenta el efecto del periodo estructural, tal como se prevé en el Artículo 32 inciso b), o si se ha utilizado el método dinámico espectral, los desplazamientos serán los que resulten del análisis estructural ante fuerzas reducidas multiplicadas por el factor $Q'\Omega/2.5$. El valor de Q' se calculará para el periodo fundamental de la estructura.

- **Desplazamientos:**

$$Dy * (\frac{\Omega * Q'}{2.5})$$

Siendo Q': *El valor de obtenido de la correccion por irregularidad del factor de ductilidad, recordemos que Q ≠ Q'.*

3.1.2.4.9 Derivas

Lluego de eso procedemos a verificar las derivas recordemos que estas se Comprobaran Diviendo cada uno de los desplazamientos modificados entre la altura de cada piso en centimientros.

Cálculos en dirección X:

Tabla 3.26. Deriva de estado límite de servicio.

Calculo de desplazamieto en el estado limite de servicio					
Nivel	Altura	DesplaX	**DespModx**	**Deriva X**	
Nivel 5	400	0.81	1.170	0.003	Cumple
Nivel 4	400	1.34	1.926	0.005	Cumple
Nivel 3	400	1.56	2.245	0.006	Cumple
Nivel 2	400	1.81	2.611	0.007	Cumple
Nivel 1	450	1.74	2.509	0.006	Cumple

Fuente*: Software ETABS; Elaboración propia*

Cálculos en dirección Y:

Tabla 3.27 Deriva de estado límite de servicio.

Calculo de desplazamieto en el estado limite de servicio					
Nivel	Altura	DesplaY	**DespModY**	**Deriva Y**	
Nivel 5	400	0.82	1.179	0.003	Cumple
Nivel 4	400	1.11	1.605	0.004	Cumple
Nivel 3	400	1.18	1.698	0.004	Cumple
Nivel 2	400	1.20	1.727	0.004	Cumple
Nivel 1	450	1.08	1.561	0.003	Cumple

Fuente*: Software ETABS; Elaboración propia*

De acuerdo con los resultados obtenidos, las derivas entre pisos se calcularon como la diferencia de los desplazamientos dinámicos del nivel superior e inferior de cada entrepiso. Los valores obtenidos cumplen con los límites máximos establecidos por la normativa *RNC-07*, tanto en dirección X como Y. Por lo tanto, se concluye que la estructura presenta un comportamiento lateral adecuado ante cargas sísmicas, garantizando la integridad estructural y el confort funcional exigido para edificaciones de uso clínico.

3.1.2.4.10 Cálculo de distorsiones máximas permitidas para el sistema estructural.

Recordemos que las máximas distorsiones permitidas para el sistema estructural en dirección **X-Y** es la estipulada según *la figura 5.7-1*

Imagén 26. Tabla distorsiones máximas permitidas

Tabla 4 Distorsiones máximas permitidas

Sistema estructural	Distorsión
Marcos dúctiles de concreto reforzado (Q= 3 ó 4)	0.0300
Marcos dúctiles de acero (Q= 3 ó 4)	0.0300
Marcos de acero ò concreto con ductilidad limitada (Q= 1 ó 2)	0.0150
Losas planas sin muros o contravientos	0.0150
Marcos de acero con contravientos excéntricos	0.0200
Marcos de acero o concreto con contravientos concéntricos	0.0150
Muros combinados con marcos dúctiles de concreto (Q= 3)	0.0150
Muros combinados con marcos de concreto con ductilidad limitada (Q= 1 ó 2)	0.0100
Muros diafragma	0.0060
Muros de carga de mampostería confinada de piezas macizas con refuerzo horizontal o malla	0.0050
Muros de carga de: mampostería confinada de piezas macizas; mampostería de piezas huecas confinada y reforzada horizontalmente; o mampostería de piezas huecas confinada y reforzada con malla	0.0040
Muros de carga de mampostería de piezas huecas con refuerzo interior	0.0020
Muros de carga de mampostería que no cumplan las especificaciones para mampostería confinada ni para mampostería reforzada interiormente	0.0015

Fuente: reglamento nacional de la construcción 2007.

Distorsiones máximas permitidas: 0.0150

Cálculos en dirección X:

Tabla 3.28 Calculo de desplazamiento en estado límite de colapso

Calculo de desplazamieto en el estado limite de colapso					
Nivel	Altura	DesplaX	**DespModx**	**Deriva X**	
Nivel 5	400	0.81	1.170	0.003	Cumple
Nivel 4	400	1.34	1.926	0.005	Cumple
Nivel 3	400	1.56	2.245	0.006	Cumple
Nivel 2	400	1.81	2.611	0.007	Cumple
Nivel 1	450	1.74	2.509	0.006	Cumple

***Fuente**: Software ETABS; Elaboración propia*

Cálculos en dirección Y:

Tabla 3.29 Calculo de desplazamiento en estado límite de colapso

Calculo de desplazamieto en el estado limite de colapso					
Nivel	Altura	DesplaY	**DespModY**	**Deriva Y**	
Nivel 5	400	0.82	1.179	0.003	Cumple
Nivel 4	400	1.11	1.605	0.004	Cumple
Nivel 3	400	1.18	1.698	0.004	Cumple
Nivel 2	400	1.20	1.727	0.004	Cumple
Nivel 1	450	1.08	1.561	0.003	Cumple

***Fuente**: Software ETABS; Elaboración propia*

La estructura de uso clínico evaluada cumple con las distorsiones y derivas máximas permitidas según el reglamento vigente en dirección X-Y, demostrando un adecuado comportamiento ante cargas sísmicas. Esto garantiza la rigidez y estabilidad lateral requeridas para su funcionamiento esencial. Además, el cumplimiento de las derivas de colapso asegura un margen suficiente de seguridad estructural. En conjunto, la edificación presenta un desempeño sísmico confiable y apto para su uso clínico.

3.1.2.5 Método de fuerza lateral equivalente NSCM-22

Condiciones de regularidad NSCM-22

- ***Condiciones en planta***
  - **Tipo 1: Irregularidad torsional**

Tabla 3.30 Irregularidad torsional

Tabla Resumen							
Nivel	**Caso**	**Tipo**	**Direccion**	**Max Drift**	**Avg Drift**	**Ax**	**Condicion**
TECHO	SismoDin	Max	X	0.001442	0.001390	1.037	Cumple
NIVEL 4	SismoDin	Max	X	0.002164	0.002116	1.022	Cumple
NIVEL 3	SismoDin	Max	X	0.002386	0.002340	1.020	Cumple
NIVEL 2	SismoDin	Max	X	0.002731	0.002685	1.017	Cumple
NIVEL 1	SismoDin	Max	X	0.002339	0.002293	1.020	Cumple
TECHO	SismoDin	Max	Y	0.001090	0.001045	1.043	Cumple
NIVEL 4	SismoDin	Max	Y	0.001410	0.001352	1.043	Cumple
NIVEL 3	SismoDin	Max	Y	0.001447	0.001388	1.043	Cumple
NIVEL 2	SismoDin	Max	Y	0.001460	0.001400	1.043	Cumple
NIVEL 1	SismoDin	Max	Y	0.001179	0.001130	1.043	Cumple

***Fuente**: Software ETABS; Elaboración propia*

La estructura está en la categoría de diseño sisimico D para el cálculo de torsión por ende para obtener el factor de amplificación se ocupan las derivas máximas de los extremos de cada planta y así obtener el valor de amplificación torsional Ax:

$$A_x = \left(\frac{\delta_{max}}{1.2\delta_{prom}} \right)^2$$

Así mismo el valor de amplificación se puede obtener mediante el software ETABS. Este valor tendrá que estar en el rango de 3 y 1.

Es regular

- **Tipo 2: Retroceso excesivos en las esquinas**

La estructura contiene dos entrantes en cada esquina de uno de los lados de la planta; verificando la información que plantea la condición nos damos cuenta que $A < 0.15B$ por ende es regular mientras que $C > 0.15D$ es irregular concluyendo que se va a tomar como regular ya que la condición nos dice que la los entrantes de ambos lados tienen que ser mayor que el 15%

Es regular

- **Tipo 3: Discontinuidad en los sistemas de piso**

El edificio tiene aberturas en la parte central de la planta que no son apreciables o significativas a su rigidez, así mismo tomando en cuenta que todas las plantas tienen la misma área a excepción de la azotea.

Es regular

- **Tipo 4: Ejes estructurales no paralelos**

Es regular ya que los ejes estructurales son paralelos a la estructura porque se encuentran a 90 grados.

Es regular

➢ ***Condiciones en elevación***

- **Tipo 1: Piso Flexible**

Tabla 3.31 Piso Flexible

Simbologia	Nivel	Kx (kgf/m)	0.8∑(Ki+1)/n	0.7 Ki+1	COND
E	Azotea	23156.70	-	-	-
D	4	28055.13	**18,525.359**	16,209.689	
C	3	33770.08	**20,484.730**	19,638.589	
B	2	35216.13	**22,661.841**	23,639.055	
A	1	40671.42	**25,877.689**	24,651.289	

***Fuente**: Software ETABS; Elaboración propia*

Es regular

- **Tipo 2: Distribución de masa**

Tabla 3.32 Distribución de masa

Simbologia	Nivel de piso	Wo	Condicion	
		tonf-s²/m	1.5Mx	
E	TECHO	65.13689	<	97.705335
D	NIVEL 4	86.84842	<	130.27263
C	NIVEL 3	87.85536	<	131.78304
B	NIVEL 2	88.35647	<	132.534705
A	NIVEL 1	88.28801	<	132.432015

***Fuente**: Software ETABS; Elaboración propia*

Es regular

- **Tipo 3: Irregularidad geométrica**

Tabla 3.33 Distribución de masa

Entrepisos	MF (X)	MF (X)	R_X	CBF (Y)	CBF (Y)	R_Y	CONDICIÓN
Nivel 1–2	16	16	1<1.3	45	45	1<1.3	REGULAR
Nivel 2–3	16	16	1<1.3	45	45	1<1.3	REGULAR
Nivel 3–4	16	16	1<1.3	45	45	1<1.3	REGULAR
Nivel 4–Techo	16	16	1<1.3	45	45	1<1.3	REGULAR

***Fuente**: Software ETABS; Elaboración propia*

La estructura es completamente regular ya que todos los niveles poseen la misma dimensión de planta.

Es regular

- **Tipo 4: Piso débil**

Tabla 3.34 Piso Débil

Nivel	Vx (Tonf)	0.8∑(Vi+1)/n		COND	Nivel	Vy (Tonf)	0.8∑(Vi+1)/n		COND
	46.544	-				46.544			
4	99.248	37.235	32.581		4	99.248	37.235	32.581	
3	140.142	58.317	69.474	NO ES PISO DEBIL	3	140.142	58.317	69.474	NO ES PISO DEBIL
2	169.004	76.249	98.099	NO ES PISO DEBIL	2	169.004	76.249	98.099	NO ES PISO DEBIL
1	186.280	108.905	118.303	NO ES PISO DEBIL	1	186.280	108.905	118.303	NO ES PISO DEBIL
0	193.798	132.114	130.396	NO ES PISO DEBIL	0	193.798	132.114	130.396	NO ES PISO DEBIL

***Fuente**: Software ETABS; Elaboración propia*

Es regular

- ***Clasificación de estructura y sismo de diseño***

La tabla 5.2.2 la normativa nos indica la categoría de riesgo de la estructura según su grupo de importancia ya que la estructura será una clínica entrará en la categoría III.

$$Categoria\ de\ Riesgo: III$$

$$Factor\ de\ importancia: 1.3$$

3.1.2.5.1 Aceleración espectral (a_0)

La aceleración espectral del diseño se indica en la Tabla 14.2 como la estructura se encuentra en la zona 4 se tiene como valor PGA:

$$a_0 = 0.36667$$

- ***Clasificación por tipo de Categoría de diseño sísmico (CDS)***

La clasificación por categoría de diseño sísmico basadas en el nivel de amenazas que estas en dependencia del PGA y la categoría de riesgo donde la Tabla 5.3.1:

$$CDS = D$$

$$0.30 \leq a_0$$

3.1.2.5.2 Clasificación por material y sistema estructural 5.5

Para X

- ✓ El valor del coeficiente de modificación de respuesta $R = 8.0$
- ✓ El material con el cual se construye el sistema
- ✓ El factor de sobre resistencia $\Omega_0 = 3$
- ✓ El factor de amplificación de la deflexión $Cd = 5.5$
- ✓ La cantidad máxima de pisos permitida $= SL$
- ✓ La distorsión máxima de pisos permitida $\gamma_{max} = 0.025$

Para Y

- ✓ El valor del coeficiente de modificación de respuesta $R = 7$
- ✓ El material con el cual se construye el sistema
- ✓ El factor de sobre resistencia $\Omega_0 = 2.5$
- ✓ El factor de amplificación de la deflexión $Cd = 5.50$
- ✓ La cantidad máxima de pisos permitida $= SL$
- ✓ La distorsión máxima de pisos permitida $\gamma_{max} = 0.020$

3.1.2.5.3 Factor de comportamiento sísmico del sistema estructural $(\boldsymbol{R_0})$

Este factor se determina mediante los factores de irregularidad de planta y elevación, si la estructura presenta irregularidad se le aplica el factor dependiendo del caso de la irregularidad, estos factores modificaran como la estructura va a comportarse:

En el eje X:

$$R_0 = \Phi_p * \Phi_E$$

$$R_0 = 8 * 1 * 1$$

$$R_0 = 8$$

En el eje Y:

$$R_0 = \Phi_p * \Phi_E$$

$$R_0 = 7 * 1 * 1$$

$$R_0 = 7$$

3.1.2.5.4 Zonificación sísmica (Z)

El mapa de esta normativa indica que Managua se encuentra en la:

$$Zona = Z4$$

3.1.2.5.5 Clasificación por tipo de suelo (S)

La velocidad de onda de corte que se está implementando en el diseño de la estructura, se está considerando una velocidad de onda de corte entre $360 < V_s < 760$ el cual nos indica que es un suelo muy denso y roca blanda según la tabla 6.3.1. es decir que:

$$Clasificacion\ del\ suelo = C$$

3.1.2.5.6 Factores de amplificación por tipo de suelo F_{as}

Se determinan mediante la clasificación del suelo y la zonificación sísmica en la que está ubicada la estructura.

$$F_{as} = 1.3$$

3.1.2.5.7 Factor de ajuste espectral por comportamiento de los suelos para $FS_{TB}\ yFS_{TC}$

Estos dos factores se toman de la Tabla 6.5.1 son los que ayudan a definir el terreno en el espectro de diseño

$$FS_{Tb} = 1$$

$$FS_{Tc} = \frac{4}{3}$$

- **Cálculo de A_0**

$$A_0 = a_0 * F_{as} * I$$

$$A_0 = 0.36667 \cdot 1.3 \cdot 1.3$$

$$\boldsymbol{A_0 = 0.61967}$$

3.1.2.5.8 Periodo fundamental aproximado de la estructural T_a

Para el cálculo del sistema del periodo estructural aproximado se requiere de los siguientes términos:

$$T_a = C_t * h_n^x$$

Para X

- *Sistema Estructural: Marcos de acero resistentes a momentos.*
- *Coeficientes para el cálculo del periodo aproximado:*

$$Ct = 0.0724$$

$$X = 0.80$$

Para Y

- *Sistema Estructural: Todos los demás sistemas estructurales.*
- *Coeficientes para el cálculo del periodo aproximado:*

$$Ct = 0.0488$$

$$X = 0.75$$

- Altura de la estructura: $h = 20.5\ m$

Entonces:

El periodo aproximado para X:

$$T_{ax} = 0.0724 \cdot 20.5^{0.8}$$

$$T_{ax} = 0.811\ S$$

El periodo aproximado para Y:

$$T_{ay} = 0.0488 \cdot 20.5^{0.75}$$

$$T_a = 0.470\ S$$

Se realiza el cálculo del coeficiente sísmico para obtener el periodo con el valor menor de T (periodo fundamental)

Calculando:

$$F_{as} \cdot a_0 = 1.3 \cdot 0.36667$$

$$F_{as} \cdot a_0 = 0.477 \geq 0.3$$

$$Cu = 1.4$$

La sección 8.2.1.5 de la NSCM-22 indica como identificar el periodo fundamental de la estructura, tomando los valores calculados anteriormente se tiene que el periodo fundamental para el análisis de ambas direcciones:

En X:

$$T = T_a \cdot C_u$$

$$T = (0.811\ S)(1.4)$$

$$\boldsymbol{T = 1.136\ s}$$

En Y:

$$T = T_a \cdot C_u$$

$$T = (0.470\ S)(1.4)$$

$$\boldsymbol{T = 0.658\ s}$$

3.1.2.5.9 Coeficiente sísmico

El coeficiente sísmico está en base a la norma ASCE7-16 donde indica que se aplica a fallas sísmicas cercanas:

$$C_s = \begin{cases} 1)\ \dfrac{\beta\ \cdot\ A_0}{R_0} \\ 2)\ \dfrac{\beta\ \cdot\ A_0}{R_0} \cdot \left(\dfrac{FS_{Tc}\ \cdot\ T_c}{T}\right)^p \\ 3)\ \dfrac{\beta\ \cdot\ A_0}{R_0}\ \cdot \left(\dfrac{FS_{Tc}\ \cdot\ T_c}{T}\right)^p \cdot \left(\dfrac{T_d}{T}\right)^q \end{cases}$$

El primer calculo del coeficente se tomara con el periodo fundamental maximo ya que se necesita para la primera corrida del programa por conseguiente:el coeficiente sismico se va a determinar dependiendo la condicion que cumpla basandose en el periodo fundamental de la estructura:

Primera Condicion:

$$1.1357 \geq \left(\frac{4}{3}\right) \cdot 0.3 = 0.4; \boldsymbol{No\ cumple}$$

Segunda Condicion:

$$\left(1.1357 > \left(\frac{4}{3} \cdot 0.3\right)\right)\ \wedge\ (1.1357\ \leq 2); \boldsymbol{Cumple}$$

Tercera Condicion:

$$1.1357 < 2; \boldsymbol{No\ cumple}$$

Por lo tanto la formula que se aplicara sera la segunda condicion para el C_s

$$C_s = \frac{\beta\ \cdot\ A_0}{R_0} \cdot \left(\frac{FS_{Tc}\ \cdot\ T_c}{T}\right)^p$$

$$C_s = \frac{2.4\ \cdot 0.6197}{4.5} \cdot \left(\frac{\frac{4}{3}\ \cdot\ 0.3\ s}{1.1357\ s}\right)^{0.8}$$

$$\boldsymbol{C_s = 0.1434225}$$

Calculando el coeficiente sismico minimo (seccion 8.2.1.4):

$$C_{s_min} = FS_{Tc}\beta\frac{A_0}{2R_0}$$

$$C_{S_min} = \left(\frac{4}{3}\right)\cdot(2.4)\ \cdot\ \left(\frac{0.6197}{2\cdot 4.5}\right)$$

$$C_{S_min} = 0.22034$$

La normativa habla de que el coficiente sismico no puede ser menor que el minimo indicado en la seccion 8.2.1.4 en consecuencia que el coeficiente minimo es mayor que el basado en el del periodo fundamental se tomara como Cs el valor de:

$$\boldsymbol{C_s = 0.2203}$$

Ya al tener los periodos fundamentales reales de la estructura que es para

$$x = 1.063\ sec$$

$$y = 0.642\ sec$$

Se hace una segunda iteracion del coeficiente sismico

Primera Condicion:

$$1.063 \geq \left(\frac{4}{3}\right)\cdot 0.3 = 0.4; \boldsymbol{No\ cumple}$$

Segunda Condicion:

$$\left(1.063 > \left(\frac{4}{3}\cdot 0.3\right)\right)\ \wedge\ (1.063\ \leq 2); \boldsymbol{Cumple}$$

Tercera Condicion:

$$1.063 < 2; \boldsymbol{No\ cumple}$$

Por lo tanto la formula que se aplicara sera la segunda condicion para el C_s

$$C_s = \frac{\beta \cdot A_0}{R_0} \cdot \left(\frac{FS_{Tc} \cdot T_c}{T}\right)^p$$

$$C_s = \frac{2.4 \cdot 0.6197}{4.5} \cdot \left(\frac{\frac{4}{3} \cdot 0.3\ s}{1.063\ s}\right)^{0.8}$$

$$\boldsymbol{X_C_s = 0.151}$$

Calculando el coeficiente sismico minimo (seccion 8.2.1.4):

$$C_{s_min} = FS_{Tc}\beta \frac{A_0}{2R_0}$$

$$C_{S_min} = \left(\frac{4}{3}\right) \cdot (2.4) \cdot \left(\frac{0.6197}{2 \cdot 8}\right)$$

$$C_{S_min} = 0.124$$

Para Y:

Primera Condicion:

$$0.642 \geq \left(\frac{4}{3}\right) \cdot 0.3 = 0.4; \boldsymbol{No\ cumple}$$

Segunda Condicion:

$$\left(0.642 > \left(\frac{4}{3} \cdot 0.3\right)\right) \wedge (0.642 \leq 2); \boldsymbol{Cumple}$$

Tercera Condicion:

$$0.642 < 2; \boldsymbol{No\ cumple}$$

Por lo tanto la formula que se aplicara sera la segunda condicion para el C_s

$$C_s = \frac{\beta \cdot A_0}{R_0} \cdot \left(\frac{FS_{Tc} \cdot T_c}{T}\right)^p$$

$$C_s = \frac{2.4 \cdot 0.6197}{7} \cdot \left(\frac{\frac{4}{3} \cdot 0.3\ s}{0.642\ s}\right)^{0.8}$$

$$\boldsymbol{Y_C_s = 0.1455}$$

Calculando el coeficiente sismico minimo (seccion 8.2.1.4)

$$C_{s_min} = FS_{Tc}\beta\frac{A_0}{2R_0}$$

$$C_{S_min} = \left(\frac{4}{3}\right)\cdot(2.4)\ \cdot\ \left(\frac{0.6197}{2\cdot 7}\right)$$

$$C_{S_min} = 0.1416$$

3.1.2.5.10 Fuerzas Sismica

- *Fuerza de corte basal*

Estimado el cortante sismico se procede a realizar el calculo del cortante basal Estatico para ambas direcciones:

Para X:

$$Vb = W_0\ \cdot\ C_s$$

$$Vb = 4153.153\cdot\ 0.124$$

$$Vb = 514.716\ Tonf$$

Para Y:

$$Vb = W_0\ \cdot\ C_s$$

$$Vb = 4153.153\ \cdot\ 0.142$$

$$Vb = 604.329\ Tonf$$

Para el calculo de cada fuerza sismica lateral por nivel:

$$F_x = C_{vx}\cdot V_b \qquad (8.2\text{-}8)$$

Coeficiente de distribucion vertical de la fuerza cortante:

$$C_{vx} = \frac{w_x \cdot h_x^k}{\Sigma_{i=1}^{n} w_i \cdot h_i^k} \qquad (8.2\text{-}9)$$

Antes de encontrar las fuerzas sismicas se calcula el exponente relacionado al periodo de la estructura **"k"**

$$T \leq 0.5\ s$$

$$T \geq 2.5\ s$$

$$0.5\ s\ \geq T \geq 2.5\ s$$

Si el periodo de la estructura esta entre 0.5 y 2.5 segundos, el valor de k sera interpolado con la siguiente formula

$$k = 0.75 + 0.5T$$

Se tiene dos valores de k

$$k_x = 1.2815$$

$$k_y = 1.071$$

- *Aplicando el metodo estatico equivalente se obtienen las siguientes fuerzas de piso por nivel:*

Sistema del eje X:

Tabla 3.35 Método FLE para X

METODO FLE							
Nivel	**H(m)**	**W (Tonf)**	**WH^K (Tonf.m)**	**C_{vx}**	**Fs (Tonf)**	**V (Tonf)**	**MV (Tonf.m)**
Techo	20.5	689.862	33095.951	0.313	161.108	161.108	161.108
Nivel 4	16.5	856.132	31099.008	0.294	151.387	312.496	473.604
Nivel 3	12.5	866.007	22040.003	0.208	107.289	419.785	893.389
Nivel 2	8.5	870.921	13521.638	0.128	65.822	485.607	1378.996
Nivel 1	4.5	870.230	5980.338	0.057	29.112	514.719	1893.715
Σ		**4153.153**	**105736.938**	**1**	**514.719**	**1893.715**	

***Fuente**: Software ETABS; Elaboración propia*

Sistema del eje Y:

Tabla 36 Método FLE para Y

METODO FLE							
Nivel	**H (m)**	**W (Tonf)**	**WH^K (Tonf.m)**	**C_{vx}**	**Fs (Tonf)**	**V (Tonf)**	**MV (Tonf.m)**
Techo	20.5	689.862	17524.704	0.289	174.510	174.510	174.510
Nivel 4	16.5	856.132	17237.178	0.284	171.647	346.157	520.667
Nivel 3	12.5	866.007	12951.262	0.213	128.968	475.125	995.791
Nivel 2	8.5	870.921	8617.606	0.142	85.814	560.938	1556.729
Nivel 1	4.5	870.230	4357.371	0.072	43.390	604.329	2161.058
Σ		**4153.153**	**60688.120**	**1.000**	**604.329**	**2161.058**	

***Fuente**: Software ETABS; Elaboración propia*

3.1.2.5.11 Cálculo de las Derivas Estáticas en X.

Tabla 37 Revisión de Derivas por Colapso (Distorsiones Máximas Permitidas)

Nivel	Altura cm	γ_x	Condicion
TECHO	2050	0.0116	**Cumple**
NIVEL 4	1650	0.0127	**Cumple**
NIVEL 3	1250	0.0132	**Cumple**
NIVEL 2	850	0.0134	**Cumple**
NIVEL 1	450	0.0122	**Cumple**

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 38 Criterios de modelado estructural

Evaluacion de estabilidad Global de la estructura						
Nivel	**Wi**	**hi**	**Vi (X)**	**Δi x**	**θix**	**Condicion**
	Tonf	**cm**	**Tonf**	**cm**		
TECHO	5.145	2050	161.108	2.735	0.00001	**Cumple**
NIVEL 4	5.720	1650	312.496	4.488	0.00001	**Cumple**
NIVEL 3	7.080	1250	419.785	5.140	0.00002	**Cumple**
NIVEL 2	7.649	850	485.607	5.844	0.00003	**Cumple**
NIVEL 1	9.472	450	514.719	5.507	0.00005	**Cumple**

Fuente: Elaboración Propia

3.1.2.5.12 Cálculo de las Derivas Estáticas en Y.

Tabla 39 Revisión de Derivas por Colapso (Distorsiones Máximas Permitidas)

Nivel	Altura cm	Γy	Condicion
TECHO	2050	0.0056	**Cumple**
NIVEL 4	1650	0.0058	**Cumple**
NIVEL 3	1250	0.0058	**Cumple**
NIVEL 2	850	0.0056	**Cumple**
NIVEL 1	450	0.0050	**Cumple**

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 40 Criterios de modelado estructural

Evaluacion de estabilidad Global de la estructura						
Nivel	Wi Tonf	hi cm	Vi (Y) Tonf	Δi Y cm	θiY	Condicion
TECHO	4.286	2050	174.510	1.755	0.000005	**Cumple**
NIVEL 4	5.145	1650	346.157	2.365	0.000005	**Cumple**
NIVEL 3	5.720	1250	475.125	2.486	0.000006	**Cumple**
NIVEL 2	7.080	850	560.938	2.512	0.000009	**Cumple**
NIVEL 1	7.649	450	604.329	2.261	0.000015	**Cumple**

Fuente: Elaboración Propia

3.2 Analisis modal dinamico NSCM-22

3.2.1 Metodo Modal Espectral

El analisis modal espectral permite estimar la respuesta sismica considerando los diferentes modos de vibracion que tiene la estructura a analizar. Se consideraron 15 modos de vibracion verificando que la que la masa efectiva participativa acumulada sea ≥ 90% en cada dirección (X y Y). Los modos principales corresponden a dos traslacionales y uno torsional, los cuales controlan la respuesta global del edificio.

3.2.2 Espectro de Respuesta Elástico:

- **Espectro de respuesta Elástico y Reducido:**

Analizado el edificio por el método estático ahora se realiza el análisis dinámico; donde los parámetros que se toman en cuentan son exactamente lo mismos por lo tanto para elaborar el espectro de diseño y reducido se toman en cuenta los siguientes parámetros, usados igualmente en el método de fuerzas laterales equivalente.

Espectro elástico de respuesta "X":

Parámetros x:

$A_0 = 0.6$

$\beta = 2.4$

$P = 0.8$

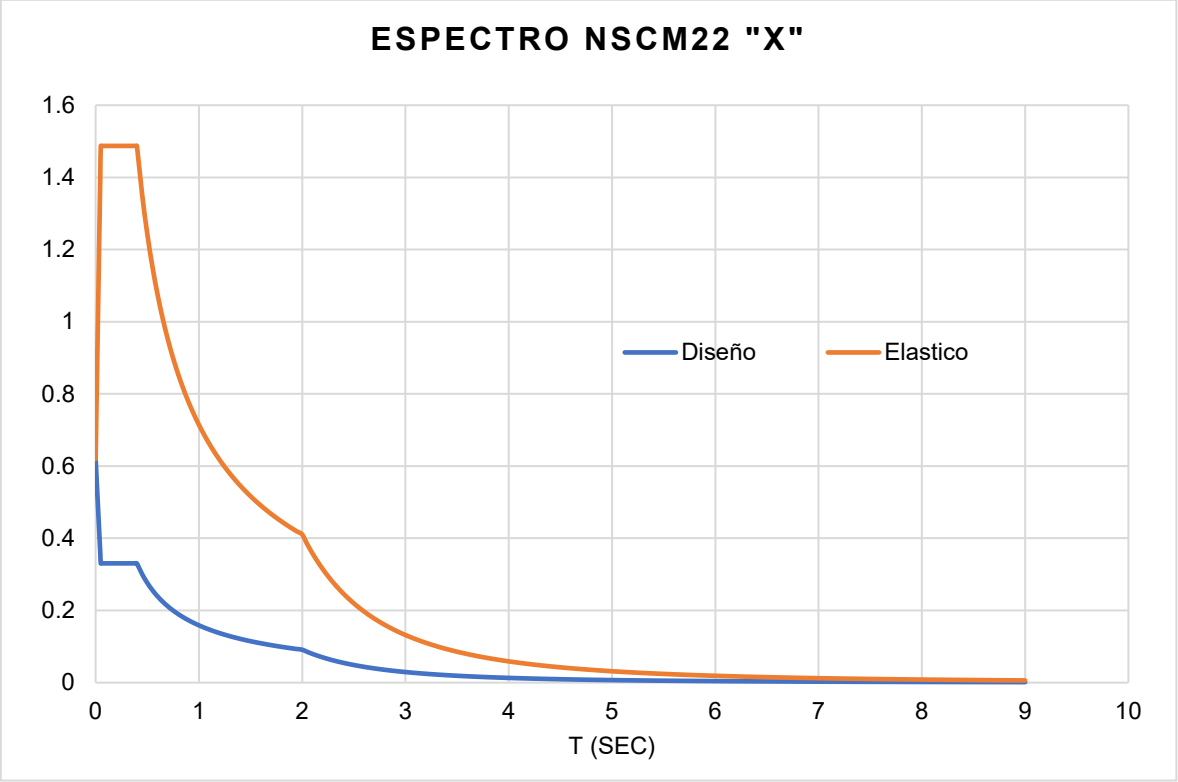
$q = 2.0$

$FS_{Tb} * T_b = 0.05\ sec$ $\quad T_b = 0.1\ s$

$FS_{Tc} * T_c = 0.40\ sec$ $\quad T_c = 0.3\ s$

$R_0 = 7.0$ x $\quad T_d = 2.0\ s$

Imagén 27. ESPECTRO NSCM22 “X”



Fuente: *Elaboración propia.*

Espectro elástico de respuesta "Y":

Parámetros:

$A_0 = 0.6$

$\beta = 2.4$

$P = 0.8$

$q = 2.0$

$T_b = 0.1\ s$

$T_c = 0.3\ s$

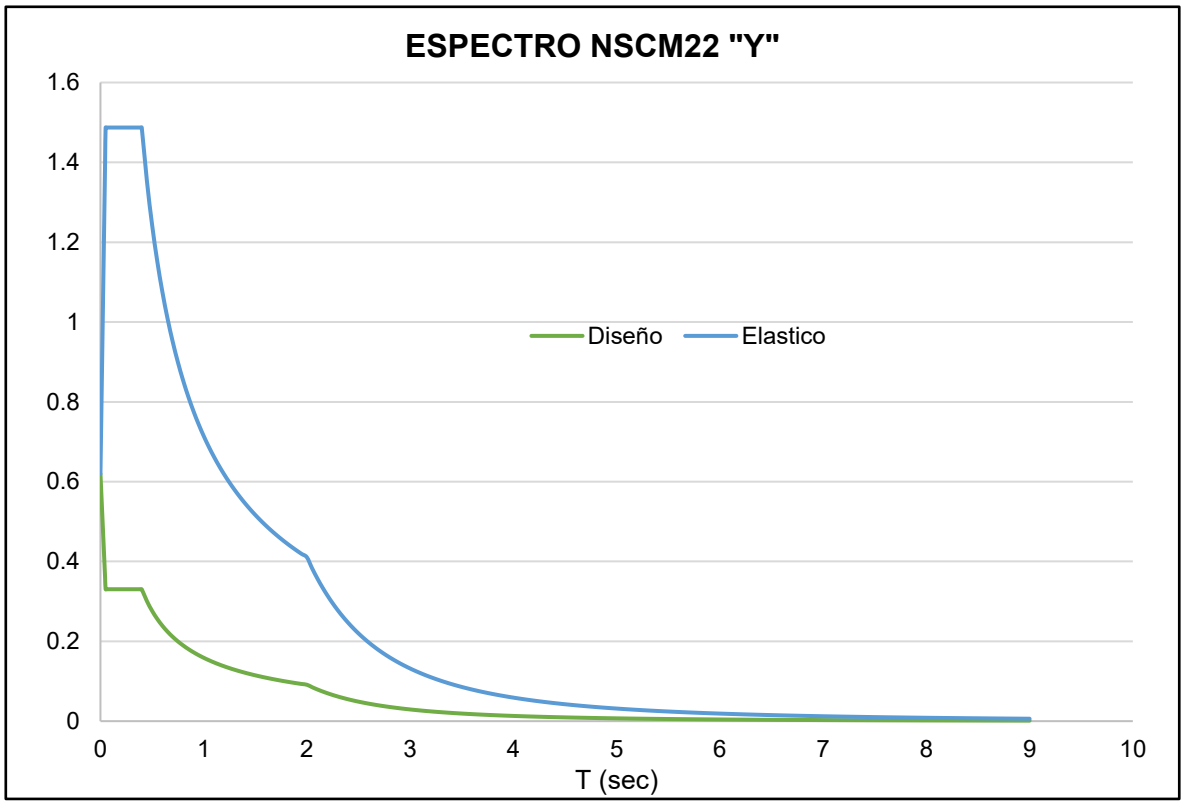
$T_d = 2.0\ s$

$FS_{Tb} * T_b = 0.05\ sec$

$FS_{Tc} * T_c = 0.40\ sec$

$R_0 = 8.0$

Imagén 28. ESPECTRO NSCM22 "Y"



Fuente:*Elaboracion propia*

3.2.3 Relaciones de participación modal de Masas

Tabla 41 Relaciones de participación modal de Masas

Relaciones de masa participante modales					
Case	Mode	Period	SumUX	SumUY	SumRZ
		sec			
Modal	1	1.063	0.8497	0	0.0002
Modal	2	0.642	0.8497	0.8191	0.0003
Modal	3	0.479	0.8499	0.8192	0.8187
Modal	4	0.357	0.9509	0.8192	0.8187
Modal	5	0.233	0.9509	0.947	0.8188
Modal	6	0.194	0.9845	0.947	0.8188
Modal	7	**0.175**	0.9846	0.947	0.9463
Modal	8	0.141	0.9846	0.9819	0.9463
Modal	9	0.131	0.9958	0.9819	0.9463
Modal	10	0.106	0.9958	0.9819	0.9819
Modal	11	0.103	0.9958	0.9946	0.9819
Modal	12	0.097	1	0.9946	0.9819
Modal	13	0.08	1	1	0.9819
Modal	14	0.077	1	1	0.9947
Modal	15	0.059	1	1	1

***Fuente**: Software ETABS*

En la tabla de *"Relaciones de masa participante modales"* calculada con ETABS y la normativa *NSCM-22*, se observa que la mayor parte de la masa estructural queda capturada en los modos de orden bajo–medio. En la dirección X (*columna SumUX*), la masa acumulada alcanza aproximadamente *0.9846* en el *modo 7* (T ≈ 0.175 s, resaltado en la figura), valor que prácticamente se mantiene para los modos siguientes. Esto significa que con los primeros siete modos se ha representado ya *más del 98 % de la masa traslacional en X*, superando el criterio de la NSCM-22 de considerar al menos el 90 % de la masa participante en cada dirección principal para el análisis dinámico modal.

En la dirección Y *(columna SumUY)* la tendencia es similar, pero con una ligera diferencia en el orden modal: alrededor del *modo 8* la masa participante acumulada llega a valores del orden de *0.9819*, y continúa incrementándose marginalmente en los modos superiores. De nuevo, esto indica que la *respuesta lateral en Y está controlada por los primeros modos flexionales*, garantizando que las derivas y fuerzas sísmicas

obtenidas del análisis espectral representan adecuadamente el comportamiento global de la estructura bajo las exigencias de la NSCM-22.

Respecto al grado de libertad torsional (columna *SumRZ*), la masa participante crece de forma más gradual, alcanzando valores cercanos al *0.95* entre los *modos 7 y 9***,** y aproximándose a la unidad en modos posteriores. Este comportamiento es coherente con edificaciones donde la torsión no domina la respuesta, pero sí requiere considerar varios modos para representarla correctamente. En conjunto, puede concluirse que, bajo los lineamientos de la *NSCM-22***,** el modelo dinámico utilizado en ETABS incorpora un número suficiente de modos para captar más del 90 % de la masa en traslación y torsión

3.2.4 Factores de Periodos y Frecuencias Modales

Mediante el sowftware se obtiene la tabla que da los factores de participacion modal donde se vera el comportamiento de cada modo que se toman como principales dos tralacionales y uno rotacional;basandose en estos el numero de piso por la cantidad de modos define cuantos vamos a tener que en este caso seran 15 modos a continuacion en la siguiente tabla se tienen los valores;

Tabla 42 Periodos y Frecuencias Modales.

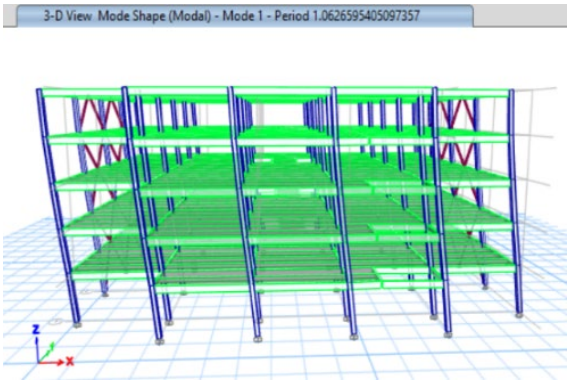
Periodos y Frecuencias Modales					
Caso	Modo	Periodo	Frecuencia	Frecuencia Angular	Autovalor
		sec	*cyc/sec*	*rad/sec*	*rad²/sec²*
Modal	1	1.063	0.941	5.913	34.960
Modal	2	0.642	1.558	9.790	95.852
Modal	3	0.479	2.090	13.131	172.416
Modal	4	0.357	2.799	17.585	309.228
Modal	5	0.233	4.286	26.932	725.311
Modal	6	0.194	5.145	32.325	1,044.870
Modal	7	0.175	5.720	35.940	1,291.688
Modal	8	0.141	7.080	44.483	1,978.724
Modal	9	0.131	7.649	48.062	2,309.915
Modal	10	0.106	9.472	59.516	3,542.137
Modal	11	0.103	9.683	60.842	3,701.765
Modal	12	0.097	10.341	64.976	4,221.895
Modal	13	0.080	12.564	78.942	6,231.820
Modal	14	0.077	13.029	81.862	6,701.360
Modal	15	0.059	16.886	106.096	11,256.360

***Fuente**: Software ETABS*

Entonces como principales modos estan :

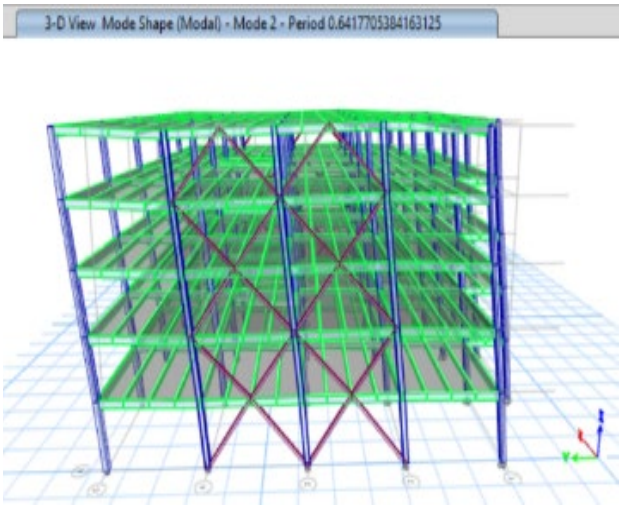
Primer modo = 1.063

Imagén 29. Modo 1 NSCM22



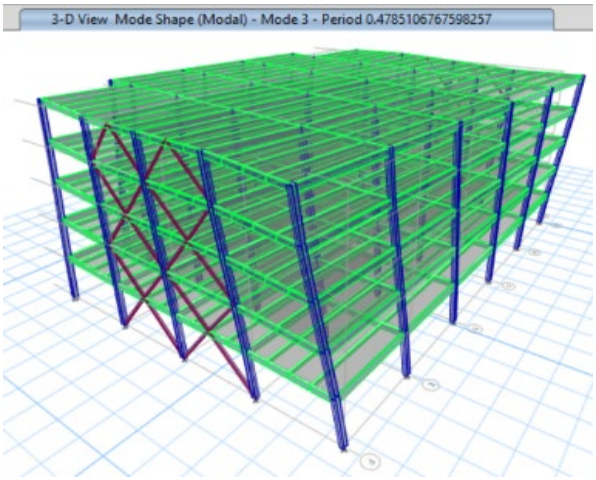
Segundo modo = 0.642

Imagén 30. Modo 2 NSCM22



Tercer modo = 0.479

Imagén 31. Modo 3 NSCM22



***Fuente**: Software ETABS, Elaboracion propia.*

3.2.5 Calculo de la fuerza sismica:

Para el calculo de las fuerzas sismicas se utilizara los cortantes de piso dinamicos extraidos del programa en ambas direcciones, restando el cortante inferior menos el superior obteniendo asi las siguiente tablas:

Dirección en X:

Tabla 43 Cortantes de Piso Dinámicos para X

Cortante Basal Dinamico				
Story	Elevation	Location	*F.Sismica*	*C. Piso (SismDin)*
			X-Dir	X-Dir
	m		*tonf*	*tonf*
TECHO	20.5	Top	99.687	99.687
NIVEL 4	16.5	Top	78.690	178.377
NIVEL 3	12.5	Top	55.547	233.924
NIVEL 2	8.5	Top	46.270	280.195
NIVEL 1	4.5	Top	32.097	312.291
Σtotal			**312.291**	

***Fuente**: Software ETABS; Elaboración propia*

Dirección en Y:

Tabla 44 Cortantes de Piso Dinámicos para Y

Cortante Basal Dinamico				
Story	Elevation	Location	*F.Sismica*	*C. Piso (SismDin)*
			Y-Dir	Y-Dir
	m		*tonf*	*tonf*
TECHO	20.5	Top	158.153	158.153
NIVEL 4	16.5	Top	134.579	292.732
NIVEL 3	12.5	Top	98.891	391.623
NIVEL 2	8.5	Top	74.180	465.803
NIVEL 1	4.5	Top	44.759	510.562
Σtotal			**510.562**	

***Fuente**: Software ETABS; Elaboración propia*

Para verificar si el cortante de piso es correcto se compara las reacciones obtenidas del software de la base del edificio; estas coinciden por lo tanto son correctas:

$$\boldsymbol{SismoDin_{Fx} = 312.291\ Tonf}$$

$$\boldsymbol{SismoDin_{Fy} = 510.562\ Tonf}$$

3.2.6 Relacion de Cortante Basal

En los resultados anteriores se determinaron los cortantes basales estaticos y dinamicos con estos se verifica la relacion de fuerzas que existen entre ambos , ya que si la respuesta da menor que el 100% o 1 habria que aplicar un factor que aumente a todas las fuerzas cortantes de piso.

Cortantes Basales Estáticos	Cortantes Basales Dinámicos
$Vb_x = 514.573\ Tonf$	$Vt_x = 312.291\ Tonf$
$Vb_y = 604.329$	$Vt_y = 510.562\ Tonf$

$$FE = \frac{V_b}{V_t} = \frac{V_E}{V_D} > 1$$

Relacion de X:

$$\frac{Vt_x}{Vb_x} = \frac{312.291\ Tonf}{514.573\ Tonf} = 0.607$$

Relacion de Y:

$$\frac{Vt_y}{Vb_y} = \frac{510.562\ Tonf}{604.329\ Tonf} = 0.845$$

La relacion dio menor a 1 por lo tanto se calculara el factor de escalamiento para incrementar la fuerza de todos los niveles; este factor lo obtemos mediante la division del cortante basal estatico y el dinamico el resultado se multiplicara a cada una de las fuerzas cortantes dinamicas, teniendo los resultados se vuelve a realizar la division ahora del cortate dinamico con el estatico

- *Calculo factor de escalamiento (FE), según la seccion 8.2.2.7 de la NSCM-2022. Ecuacion 8.2 -14*

Calculo en dirección X:

$$FE = \frac{V_{bx}}{V_{tx}} = \frac{514.573\ Tonf}{312.291\ Tonf} = 1.648$$

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U1	SMF_X	9.8067*1.648

Calculo en direccion en Y:

$$FE = \frac{V_{by}}{V_{ty}} = \frac{604.329\ Tonf}{510.562\ Tonf} = 1.184$$

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U2	SCBF_Y	980.665*1.184

Calculados los factores de escalamientos de ambos sistemas se tienen los nuevos valores de los cortantes:

Cortantes Basales Estáticos

$Vb_x = 514.573\ Tonf$

$Vb_y = 604.329\ Tonf$

Cortantes Basales Dinámicos

$Vt_x = 514.659\ Tonf$

$Vt_y = 604.509\ Tonf$

3.2.7 Reacciones en la base

Tabla 45 Reacciones en la base en modelo NSCM-22

Base Reactions		
Output Case	Step Type	FX
		tonf
SismoDinX	Max	514.6585
SismoDinY	Max	0.1934

***Fuente**: Software ETABS; Elaboración propia*

Tabla 46 Reacciones en la base en modelo NSCM-22

Base Reactions		
Output Case	**Step Type**	**FY**
		tonf
SismoDinX	Max	0.2356
SismoDinY	Max	604.5086

***Fuente**: Software ETABS; Elaboración propia*

Se realiza nuevamente la relacion para cada sistema:

Relacion de X:

$$\frac{Vt_x}{Vb_x} = \frac{514.659\ Tonf}{514.573\ Tonf} = 1$$

Relacion de Y:

$$\frac{Vt_y}{Vb_y} = \frac{604.509\ Tonf}{604.329\ Tonf} = 1$$

Los resultados de cada eje dieron como resultado 100% por lo tanto ya no se necesita hacer escalamiento.

3.2.8 Cortante Basal con el factor de escalamiento

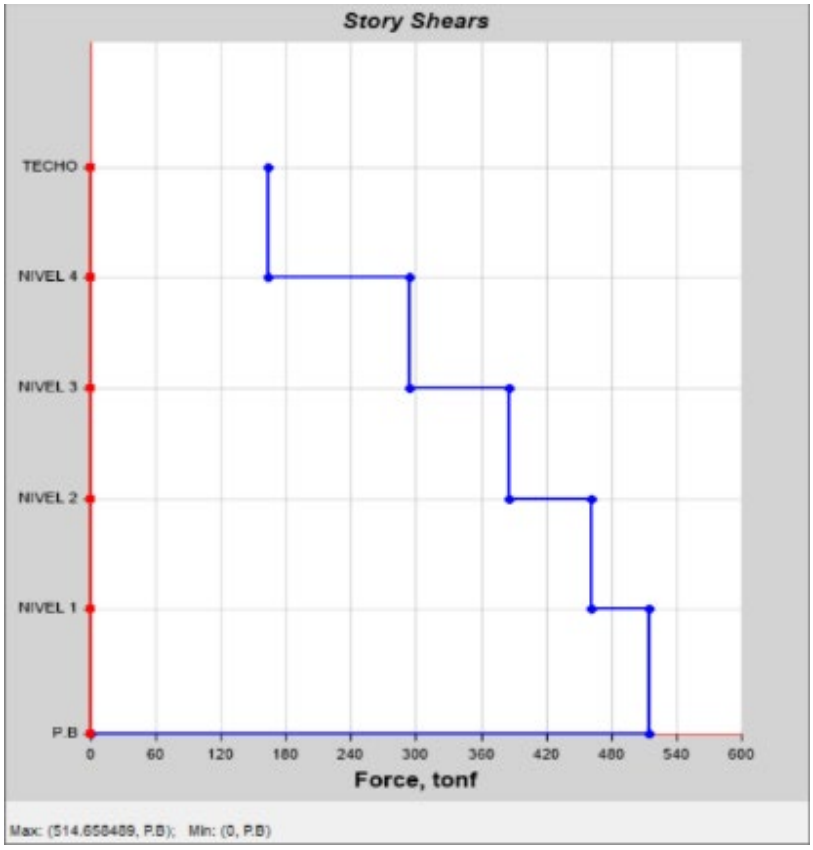
Para X:

Tabla 47 Cortantes de Piso Dinámicos con los factores de escalamiento.

Cortante Basal Dinamico con los factores de escalamiento				
Story	**Elevation**	**Location**	***Fuerza Sismica***	***C.Piso (SismDin)***
			X-Dir	**X-Dir**
	m		***tonf***	***tonf***
TECHO	20.5	Top	164.257	164.284
NIVEL 4	16.5	Top	129.682	293.967
NIVEL 3	12.5	Top	91.542	385.509
NIVEL 2	8.5	Top	76.254	461.763
NIVEL 1	4.5	Top	52.896	514.659
Σtotal			**514.631**	

***Fuente**: Software ETABS; Elaboración propia*

Imagén 32. Grafica de Cortantes de Piso



***Fuente**: Software ETABS; Elaboración propia*

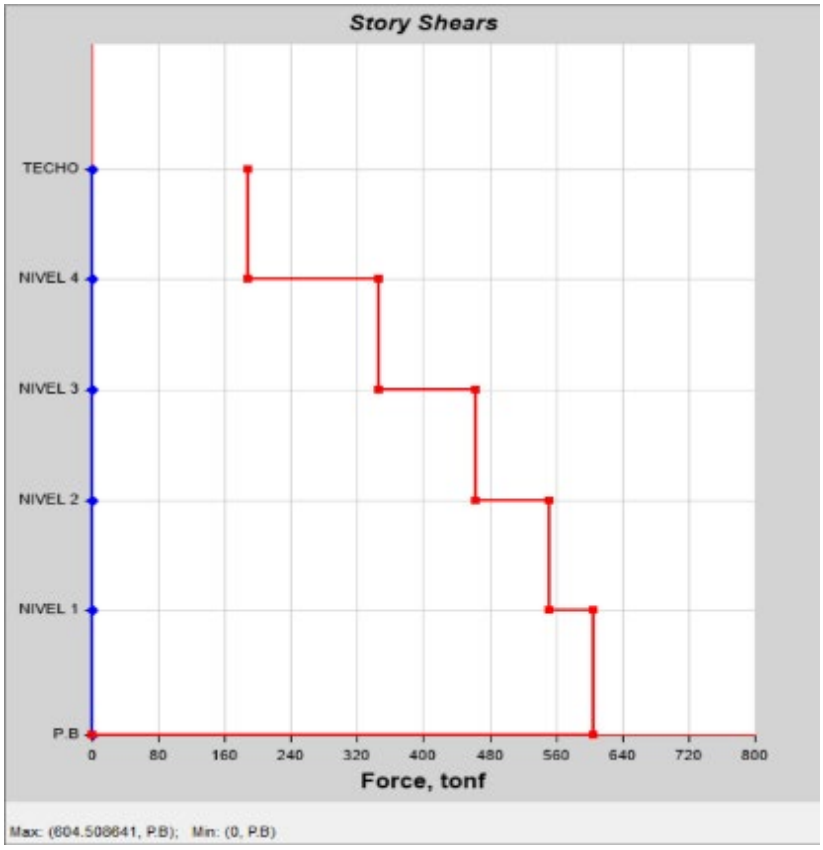
Para Y:

Tabla 48 Cortantes de Piso Dinámicos con los factores de escalamiento.

Cortante Basal Dinamico con los factores de escalamiento				
Story	Elevation	Location	Fuerza Sismic.Piso (SismDin)	
			Y-Dir	Y-Dir
	m		tonf	tonf
TECHO	20.5	Top	187.198	187.254
NIVEL 4	16.5	Top	159.342	346.596
NIVEL 3	12.5	Top	117.088	463.684
NIVEL 2	8.5	Top	87.830	551.514
NIVEL 1	4.5	Top	52.995	604.509
Σtotal			**604.453**	

***Fuente**: Software ETABS; Elaboración propia*

Imagén 33. Cortantes de Pisos Dinámicos con los factores de escalamiento



***Fuente**: Software ETABS; Elaboración propia*

Obtenidos los nuevos cortantes basales se calculan las derivas de piso con las fuerzas incrementadas por factor de escala.

3.2.9 Revision de los desplazamientos

Para obtener los desplazamientos Maximos de la estructura deben multiplicarse los desplazamientos resultantes por el coeficente de amplificacion de las deflexiones que en este caso se tiene que $Cd = 4$ y divididos entre el valor de importancia estos valores seran multiplicados en ambas direcciones.

3.2.10 Calculo de Derivas de Piso, seccion: 10.2 de la NSCM-2022

Las derivas seran calculadas como la diferencia de los desplazamientos del nivel superior e inferior del piso correspondiente:

Los desplazamientos totales y relativos dan como resusaltado lo siguiente:

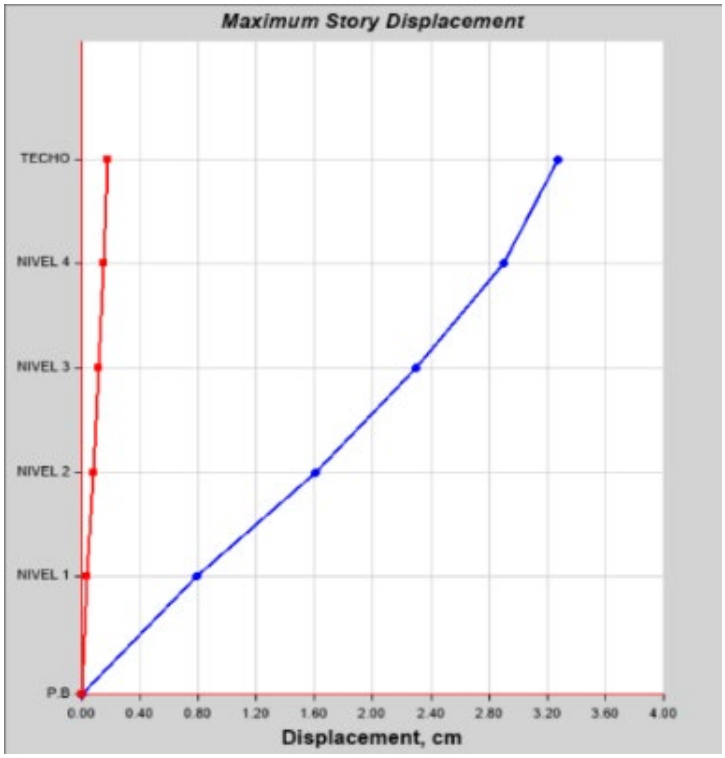
Para X:

Tabla 49 Desplazamientos Dinámicos en X.

Desplazamientos Dinamicos				
Nivel	**Altura**	**Despl.**	**δ**	**Δ**
	cm	**cm**	**cm**	**cm**
TECHO	2050	**5.395**	22.825	2.592
NIVEL 4	1650	**4.782**	20.233	4.191
NIVEL 3	1250	**3.792**	16.042	4.856
NIVEL 2	850	**2.644**	11.186	5.683
NIVEL 1	450	**1.301**	5.503	5.503

***Fuente**: Software ETABS; Elaboración propia*

Imagén 34. Desplazamientos Dinámicos en X.



***Fuente**: Software ETABS; Elaboración propia*

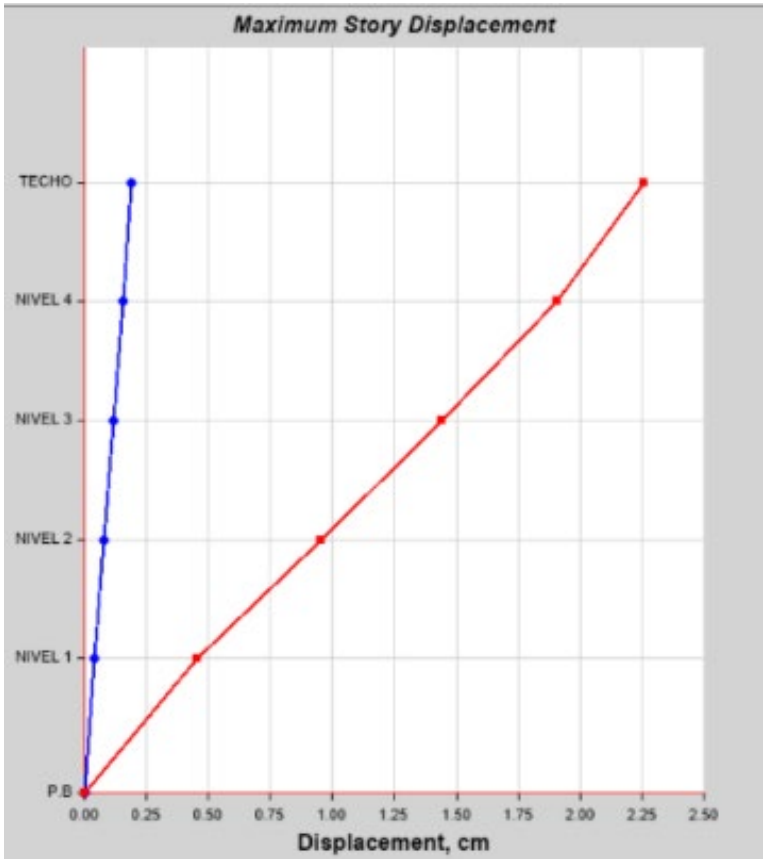
Para Y:

Tabla 50 Desplazamientos Dinámicos en Y.

Desplazamientos Dinamicos				
Nivel	**Altura**	**Despl.**	**δ**	**Δ**
	cm	**cm**	**cm**	**cm**
TECHO	2050	**2.669**	11.293	1.751
NIVEL 4	1650	**2.255**	9.542	2.327
NIVEL 3	1250	**1.705**	7.215	2.444
NIVEL 2	850	**1.128**	4.771	2.494
NIVEL 1	450	**0.538**	2.277	2.277

***Fuente**: Software ETABS; Elaboración propia*

Imagén 35. Desplazamientos Dinámicos en Y



***Fuente**: Software ETABS; Elaboración propia*

3.2.11 Revision de distorsiones por colapso:

Se calcula la distorsion de piso maxima para verificar que el diseño cumpla con la resistencia de los efectos de las reacciones sismicas para que elementos estructurales y no estructurales resistan a los desplazamientos laterales excesivos. Las distorsiones se obtienen mediante la division de la deriva de piso y la altura de cada nivel.

Formula a emplearse:

$$\gamma_i = \frac{\Delta_i}{h_i}$$

Calculos en direccion X:

La distorsion maxima de colapso es de 0.025

Tabla 51 Revisión de distorsión máxima X.

Nivel	Altura cm	γ_x	Condicion
TECHO	2050	0.0111	**Cumple**
NIVEL 4	1650	0.0123	**Cumple**
NIVEL 3	1250	0.0128	**Cumple**
NIVEL 2	850	0.0132	**Cumple**
NIVEL 1	450	0.0122	**Cumple**

***Fuente**: Software ETABS; Elaboración propia*

Calculos en dirección Y:

La distorsion maxima de colapso es de 0.020

Tabla 52 Revisión de distorsión máxima Y.

Nivel	Altura cm	Γy	Condicion
TECHO	2050	0.0055	**Cumple**
NIVEL 4	1650	0.0058	**Cumple**
NIVEL 3	1250	0.0058	**Cumple**
NIVEL 2	850	0.0056	**Cumple**
NIVEL 1	450	0.0051	**Cumple**

***Fuente**: Software ETABS; Elaboración propia*

Las distorsiones son menores que las maximas permisibles, por lo cual cumplen estas condiciones y la estructura esta segura contra colapso ante cargas dinamicas.

3.2.12 Revision de efectos de segundo orden:

Se estiman los efectos $P-\Delta$ en ambas direcciones de la estructura para ver el incremento y la evaluación de la estabilidad que posee el diseño:

En dirección X:

Tabla 53 Revisión de efectos de segundo orden X.

Evaluacion de estabilidad Global de la estructura						
Nivel	Wi	hi	Vi (X)	Δi x	θix	Condicion
	Tonf	cm	Tonf	cm		
TECHO	689.862	2050	164.284	2.592	0.001	Cumple
NIVEL 4	856.132	1650	293.967	4.191	0.002	Cumple
NIVEL 3	866.007	1250	385.509	4.856	0.002	Cumple
NIVEL 2	870.921	850	461.763	5.683	0.003	Cumple
NIVEL 1	870.230	450	514.659	5.503	0.005	Cumple

***Fuente**: Software ETABS; Elaboración propia*

En dirección Y:

Tabla 54 Revisión de efectos de segundo orden Y.

Evaluacion de estabilidad Global de la estructura						
Nivel	Wi	hi	Vi (Y)	Δi Y	θiY	Condicion
	Tonf	cm	Tonf	cm		
TECHO	856.132	2050	187.254	1.751	0.001	Cumple
NIVEL 4	866.007	1650	346.596	2.327	0.001	Cumple
NIVEL 3	870.921	1250	463.684	2.444	0.001	Cumple
NIVEL 2	870.230	850	551.514	2.494	0.001	Cumple
NIVEL 1	4153.153	450	604.509	2.277	0.008	Cumple

***Fuente**: Software ETABS; Elaboración propia*

IV ANALISIS COMPARATIVO

4.1.1 Metodología de Comparación de Resultados

Se compararán la respuesta del edificio según los parámetros obtenidos de cada reglamento, principalmente el periodo de respuesta del edificio, análisis estático y análisis dinámico.

4.1.1.1 Generalidades.

La metodología utilizada desde la implementación de la norma sismo resistente de la ciudad de managua 2022 por su abreviación **NSCM22** es una actualización de parámetros para obtener resultados con ciertas variantes a los obtenidos durante los últimos 15 años con el reglamento nacional de la construcción en su edición del 2007 (**RNC-07)** previos al lanzamiento de dicha normativa**.**

4.1.1.2 Consideración de cargas**.**

Uno de los aspectos más relevantes al aplicar un método de análisis estático o dinámico es la variación en la carga variable unitaria. La mayoría de los parámetros se mantienen constantes entre una normativa y otra; no obstante, la NSCM-22 establece una reducción al 15 % de la carga incidental, tal como se especifica en el apartado 9.6.

Tabla 55 Pesos sísmicos RNC 07 vs NSCM22

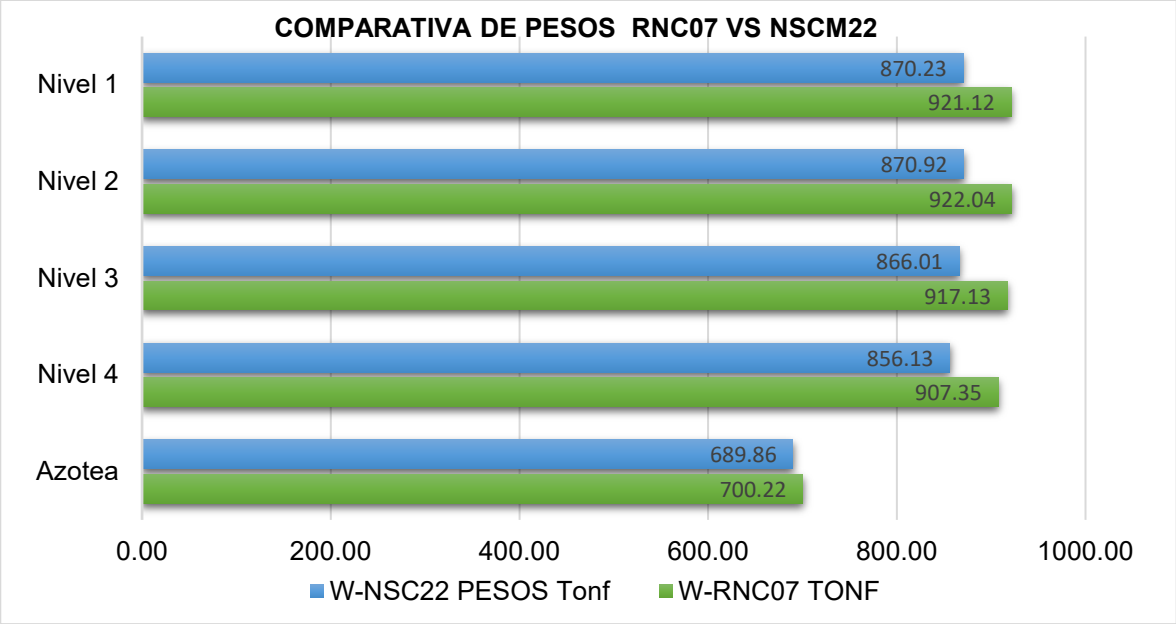
Pesos Sismicos			
Story	**W-RNC07**	**W-NSCM22**	**COMPATIBILIDAD**
	TONF	**TONF**	**%**
Azotea	700.22	689.86	98.52
Nivel 4	907.35	856.13	94.35
Nivel 3	917.13	866.01	94.43
Nivel 2	922.04	870.92	94.46
Nivel 1	921.12	870.23	94.48

***Fuente**: Software ETABS; Elaboración propia*

La gráfica comparativa de pesos sísmicos por nivel evidencia que, para todos los niveles del edificio (Niveles 1 a 4 y Azotea), los valores asociados a la NSCM-22 son consistentemente mayores que los correspondientes al RNC-07. Este incremento es más notorio en los niveles intermedios y superiores, donde la

diferencia entre ambas normativas se vuelve más significativa. Ello refleja que la NSCM-22 considera una estimación más conservadora del peso sísmico efectivo, producto de criterios más exigentes en la definición de cargas gravitacionales que participan en la acción sísmica, así como en la inclusión y combinación de cargas permanentes y variables.

Imagén 36. Pesos símicos RNC 07 vs NSCM22



***Fuente**: Software ETABS; Elaboración propia*

Desde el punto de vista del análisis estructural, considera mayores pesos sísmicos bajo la NSCM-22 implican fuerzas inerciales superiores, lo que se traduce en mayores cortantes basales, demandas internas en elementos estructurales y, potencialmente, mayores desplazamientos y derivas si no se compensan con una mayor rigidez o capacidad resistente. En contraste, el RNC-07 conduce a resultados menos severos al trabajar con pesos sísmicos inferiores. En conjunto, la comparación confirma que la NSCM-22 resulta más estricta y conservadora en la evaluación sísmica, incrementando el nivel de seguridad estructural, pero también exigiendo diseños más robustos frente a la acción sísmica.

4.1.1.3 Cambios en los parámetros sísmicos.

En la tabla 5.5.1 de la NSCM-22, es un resumen de gran parte de los parámetros sísmicos, incluyendo el factor de Respuesta sísmica R, Ω_0, $\Delta_{\max}$ y adicionalmente un coeficiente de deflexión Cd, el cual se utiliza al momento de evaluar las distorsiones de la estructura y para efectos de segundo orden.

Anteriormente en el RNC-07 se indicaba un valor directo de Q en el artículo 21, que es la ductilidad del sistema, y la sobre resistencia se mantenía constante para cualquier sistema teniendo un valor de $\Omega = 2$ en el artículo 22.

4.1.1.4 PGA.

Anteriormente se contaba con el mapa de isoaceleraciones con poca información o poco precisa sobre la ubicación para definir el factor de Ao, en este caso, el municipio de managua se considera como $A_0 = 0.31$, pero en la NSCM-22 se toma el valor como $A_0 = 0.36667$.

4.1.1.5 Aceleración horizontal del suelo.

La clasificación por tipo de suelo y respecto a la ubicación tiene un cambio ligero en cuanto a sus parámetros y forma de definirlos, desde la clasificación del suelo, que subdividen las categorías en 5, donde presenta un valor para cada una de las 4 zonas del país, donde anteriormente se contaba con 4 tipos de suelo en 3 zonas sísmicas. Según RNC-07 en el artículo 25 se obtienen los parámetros del suelo, mientras que en la NSCM-22 lo encontramos en el artículo 6.3.1

4.1.1.6 Factores adicionales.

RNC-07:

Hay factores en el RNC-07 que no tienen su equivalente en la norma sismo resistente de la ciudad de managua 2022

- **Arto 27 criterio general II. Espectro de diseño**

  Como el factor d = $2.7\ x\ A_0$, los valores de $T_a.T_b, T_c$ y S el factor de amplificación por tipo de suelo definido en el artículo 23 y su clasificación de estructuras.

NSCM-22:

- **Arto 6.7 Espectro de respuesta elástico.**

Esta Norma establece un espectro normalizado de respuesta elástica de aceleraciones $A(T)$ en la superficie libre del terreno, 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:

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

β: cociente de la aceleración (a(meseta)/ a0) p, q: son los exponentes que definen la forma del espectro para un período de vibración mayor de Tc, Td respectivamente.

T_a, T_b, T_c Períodos característicos del espectro de respuesta.

I: Factor de importancia.

4.1.1.7 Modelo de acero con sistema estructural MF en dirección de análisis X y sistema estructural SCBF en dirección de análisis Y.

En el modelo analizado contamos con 2 sistemas estructurales distintos los cuales son SCBF Y MF en simultaneo en las direcciones de análisis X y Y respectivamente por lo cual los resultados analizados en simultaneo son los siguientes:

4.1.1.8 Método estático equivalente vs Fuera lateral equivalente.

Para llevar a cabo la comparación entre las fuerzas sísmicas, es indispensable considerar las condiciones establecidas por cada normativa. Resulta inadecuado utilizar las fuerzas sísmicas obtenidas mediante el método estático equivalente del RNC-07 sin tomar en cuenta la influencia del período estructural en el cálculo de las fuerzas sísmicas reducidas; por ello, estos son los valores que deben considerarse para efectuar una comparación adecuada de resultados entre ambas normativas.

4.1.1.9 Fuerzas cortantes actuantes en la base.

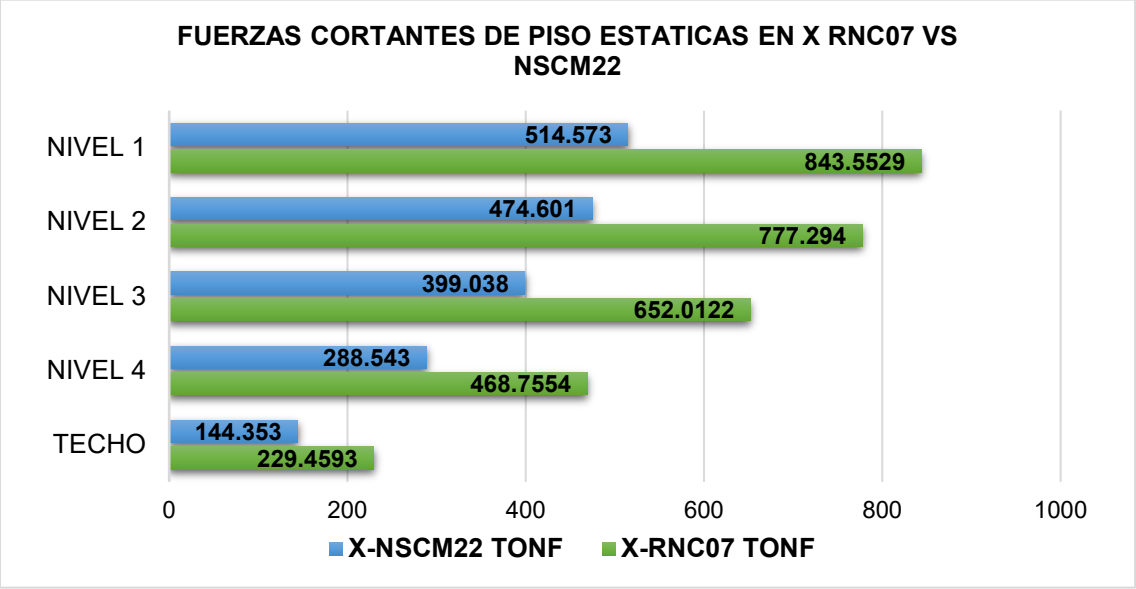
La incorporación de un factor de distribución K introduce una variación en la forma de determinar las fuerzas sísmicas; en consecuencia, la comparación de los cortantes puede arrojar resultados más próximos que la comparación de las fuerzas sísmicas consideradas de manera individual, o bien generar discrepancias mayores respecto a la evaluación de las fuerzas estáticas por nivel.

Tabla 56 Fuerzas cortantes estáticas en X

Fuerzas Cortantes Estaticas en X				
Story	**Elevation**	**V - RNC07**	**V - NSCM22**	**COMPATIBILIDAD**
	m	cm	cm	%
TECHO	20.50	229.46	144.353	62.91
NIVEL 4	16.50	468.76	288.543	61.56
NIVEL 3	12.50	652.01	399.038	61.20
NIVEL 2	8.50	777.29	474.601	61.06
NIVEL 1	4.50	843.55	514.573	61.00

***Fuente**: Elaboración propia*

Imagén 37. Fuerzas cortantes en X RNC 07 vs NSCM22



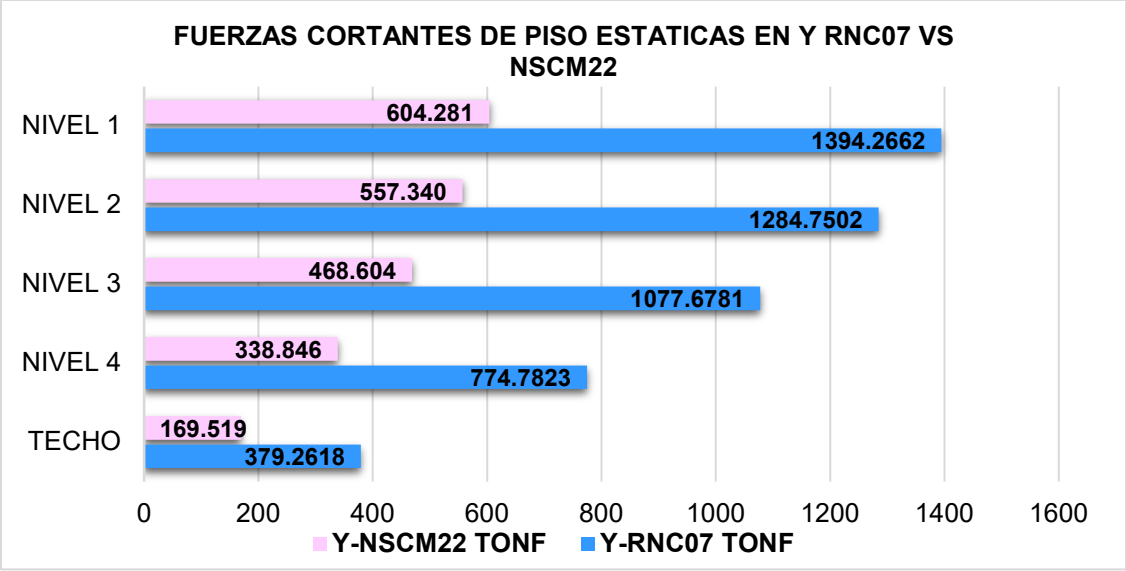
***Fuente**: Elaboración propia*

Tabla 57 Fuerzas cortantes estáticas en Y

Fuerzas Cortantes Estaticas en Y				
Story	**Elevation**	**V - RNC07**	**V - NSCM22**	**COMPATIBILIDAD**
	m	cm	cm	%
TECHO	20.50	379.26	169.519	44.70
NIVEL 4	16.50	774.78	338.846	43.73
NIVEL 3	12.50	1077.68	468.604	43.48
NIVEL 2	8.50	1284.75	557.340	43.38
NIVEL 1	4.50	1394.27	604.281	43.34

***Fuente**: Software ETABS; Elaboración propia*

Imagén 38. Fuerzas cortantes estáticas en Y RNC 07 vs NSCM22



***Fuente**: Elaboración propia*

4.1.1.10 Desplazamientos obtenidos:

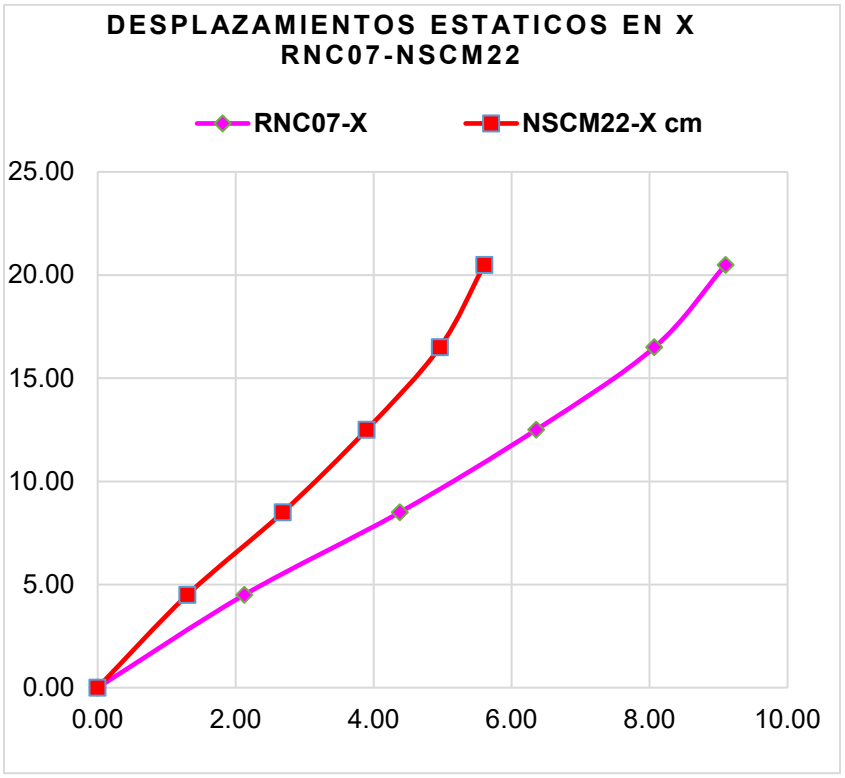
En cuanto a los desplazamientos, se prevé que los valores obtenidos con el RNC-07 sean mayores que los correspondientes a la NSCM-22, debido a la magnitud de las fuerzas sísmicas aplicadas; a mayor fuerza, mayores desplazamientos.

Tabla 58 Desplazamientos Estáticos X

Desplazamientos Estaticos X				
Story	Elevation	Δx RNC07	Δx NSCM22	COMPATIBILIDAD
	m	cm	cm	%
TECHO	20.50	9.10	5.605	61.59
NIVEL 4	16.50	8.07	4.959	61.45
NIVEL 3	12.50	6.35	3.898	61.34
NIVEL 2	8.50	4.38	2.683	61.27
NIVEL 1	4.50	2.13	1.302	61.23

***Fuente**: Software ETABS; Elaboración propia*

Imagén 39. Desplazamientos Estáticos X RNC 07 vs NSCM22



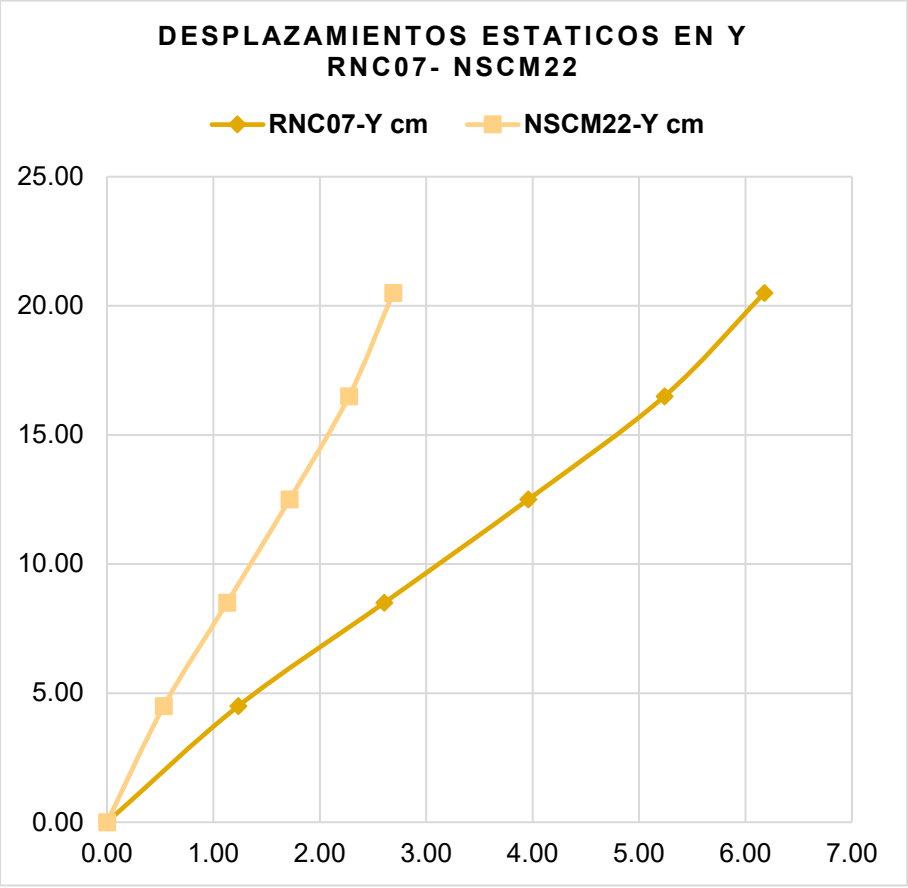
***Fuente**: Software ETABS; Elaboración propia*

Tabla 59 Desplazamientos Estáticos Y

Desplazamientos Estaticos Y				
Story	Elevation	Δy RNC07	Δy NSCM22	COMPATIBILIDAD
	m	cm	cm	%
TECHO	20.50	6.18	2.689	43.53
NIVEL 4	16.50	5.24	2.275	43.41
NIVEL 3	12.50	3.96	1.716	43.33
NIVEL 2	8.50	2.61	1.128	43.30
NIVEL 1	4.50	1.23	0.534	43.28

***Fuente**: Software ETABS; Elaboración propia*

Imagén 40. Desplazamientos Estáticos Y RNC 07 vs NSCM22



***Fuente**: Software ETABS; Elaboración propia*

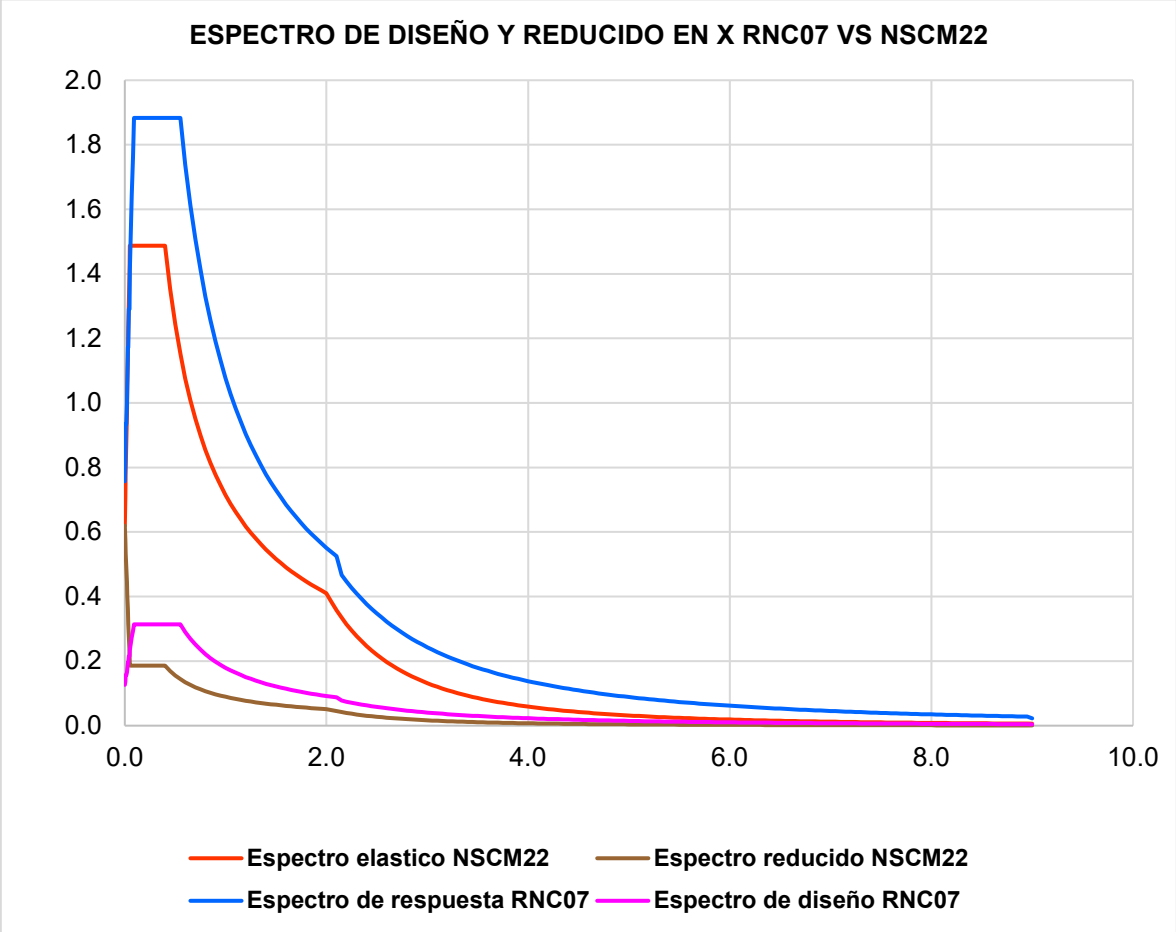
4.1.1.11 METODO DINAMICO ANALISIS MODAL RNC-07 vs NSCM-22

Tomando en cuenta las modificaciones de parámetros expuestas a lo largo de este documento, se presenta inicialmente el espectro empleado en ambos análisis, el cual muestra variaciones no solo en la formulación utilizada para definir los distintos tramos del espectro, sino también en el cálculo del espectro reducido, ya que su primer tramo no comienza desde cero.

Desde este punto en adelante para el sistema MF y SCBF al momento de reducir fuerzas y ocupar los nuevos desplazamientos dinámicos de la estructura es cuando se presentan las variaciones en los resultados.

GRAFICAS DE ESPECTROS EN "X" de RNC07 VS NSCM22

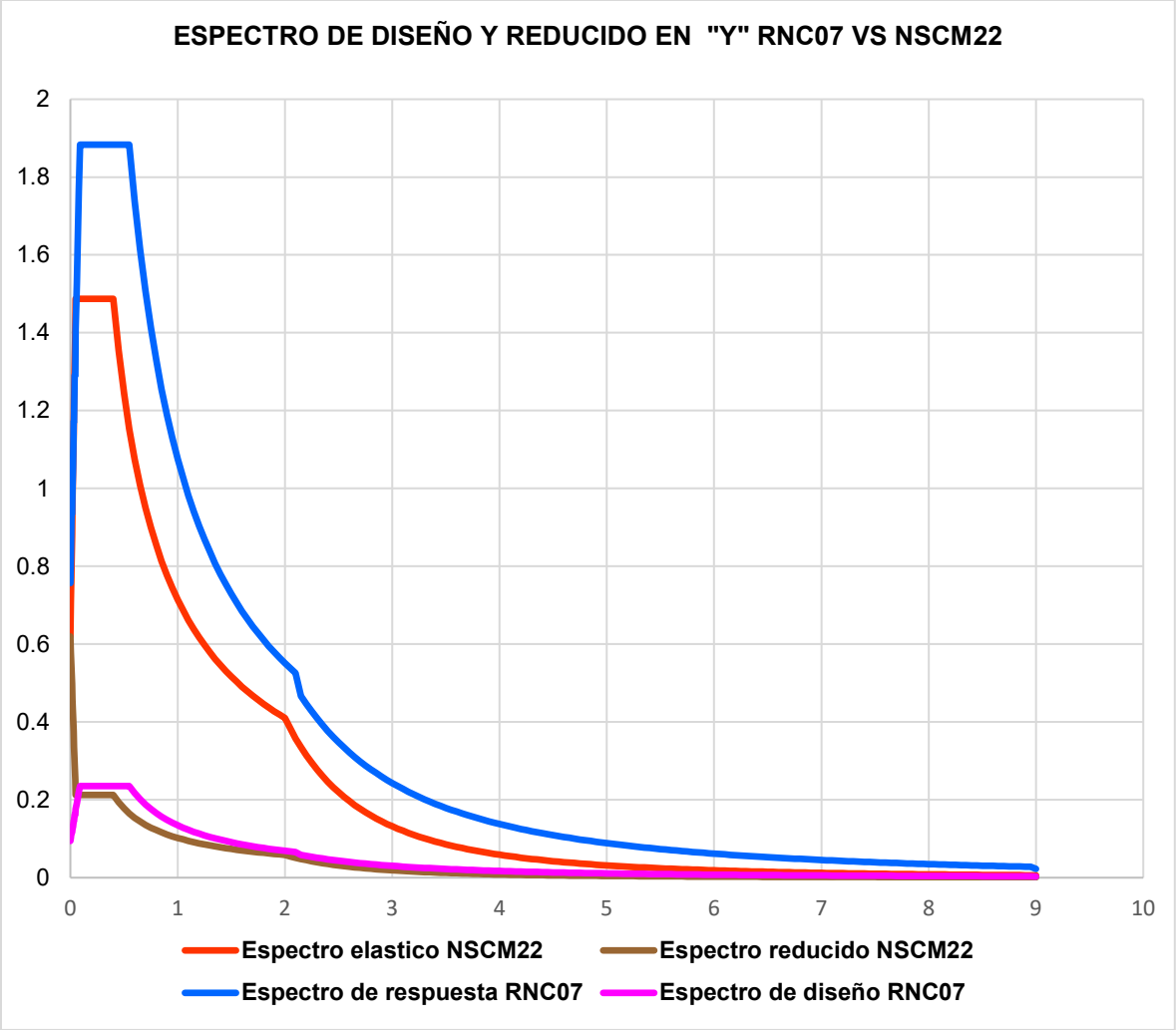
Imagén 41. ESPECTRO DE DISEÑO EN X RNC07 VS NSCM22



***Fuente**: Software ETABS; Elaboración propia*

GRAFICAS DE ESPECTROS EN "Y" de RNC07 VS NSCM22

Imagén 42. Espectro de Diseño en Y RNC07 VS NSCM22



***Fuente**: Software ETABS; Elaboración propia*

4.1.1.12 Cortantes dinámicos.

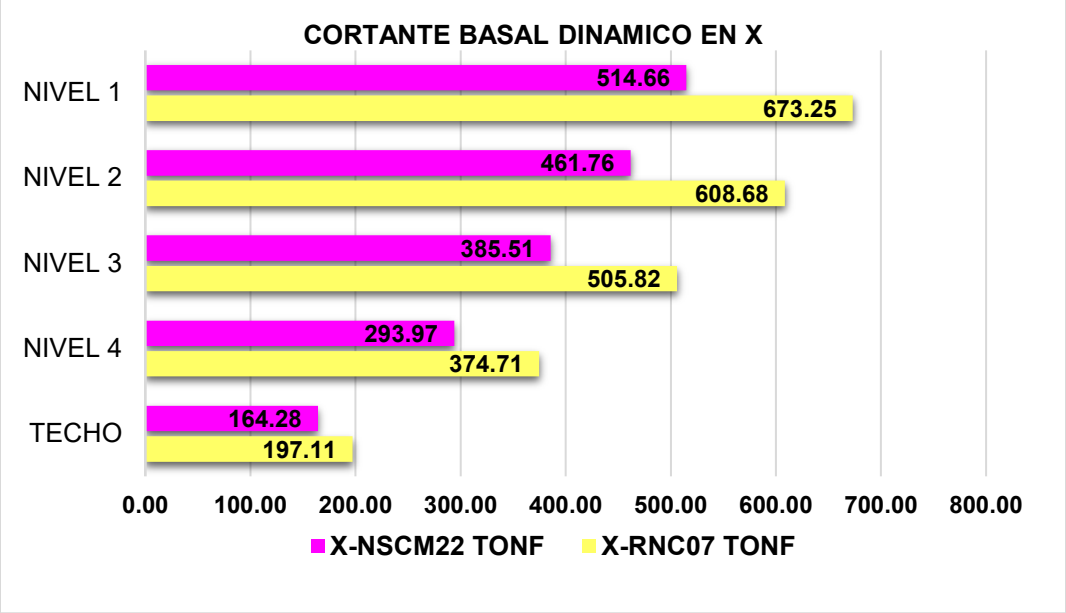
El RNC-07 establece en el artículo 33 sección “a” revisión por cortante basal que el cortante dinámico debe ser, como mínimo, el 80 % del cortante estático calculado mediante el MEE; por su parte, la NSCM-22 exige que este sea al menos el 100 % del cortante obtenido con el método FLE. En consecuencia, al aplicar las correcciones correspondientes, se obtienen valores más elevados bajo la NSCM-22.

Tabla 60 Cortantes dinámicos

Story	Elevation	V_x - RNC07	V_x - NSCM22	COMPATIBILIDAD
	m	TONF	TONF	%
TECHO	20.50	197.11	164.28	83.35
NIVEL 4	16.50	374.71	293.97	78.45
NIVEL 3	12.50	505.82	385.51	76.21
NIVEL 2	8.50	608.68	461.76	75.86
NIVEL 1	4.50	673.25	514.66	76.44

***Fuente**: Software ETABS; Elaboración propia*

Imagén 43. Cortante Basal dinámico X RNC 07 vs NSCM22



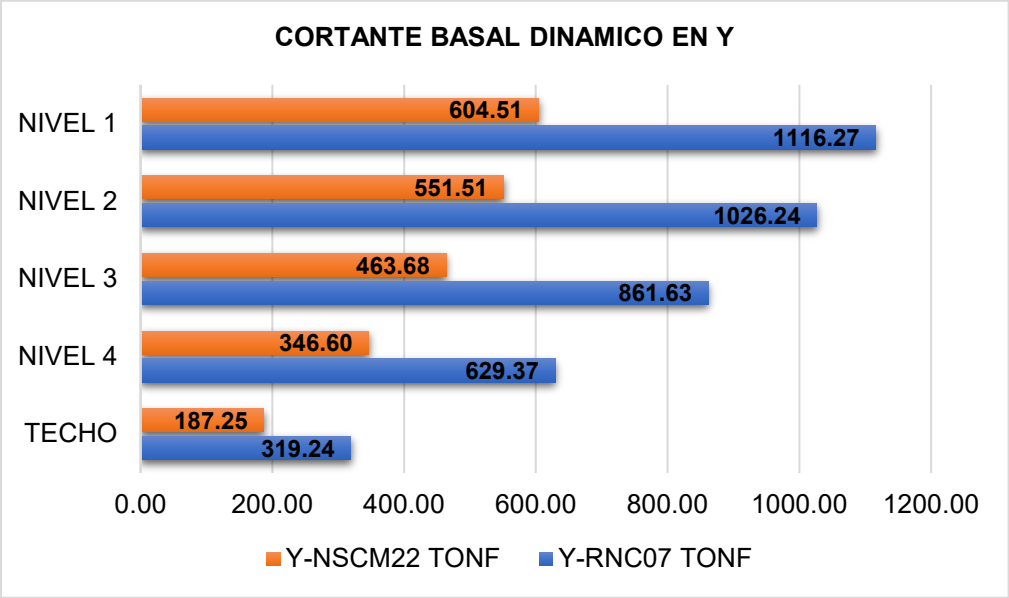
***Fuente**: Software ETABS; Elaboración propia*

Tabla 61 Cortante Basal dinámico X

Story	Elevation	V_y - RNC07	V_y - NSCM22	COMPATIBILIDAD
	m	TONF	TONF	%
TECHO	20.50	319.24	187.25	58.66
NIVEL 4	16.50	629.37	346.60	55.07
NIVEL 3	12.50	861.63	463.68	53.81
NIVEL 2	8.50	1026.24	551.51	53.74
NIVEL 1	4.50	1116.27	604.51	54.15

***Fuente**: Software ETABS; Elaboración propia*

Imagén 44. Cortante Basal dinámico Y RNC 07 vs NSCM22



***Fuente**: Software ETABS; Elaboración propia*

El análisis comparativo entre la RNC-07 y la NSCM-22 muestra que los valores de cortante basal dinámico en dirección X son consistentemente mayores en la RNC07 para todos los niveles de la estructura, con reducciones del orden del *17% al 25%* cuando se utilizan los criterios de la NSCM-22.

La compatibilidad registrada entre ambas normativas oscila entre *75% y 83%*, evidenciando que, aunque la distribución del cortante a lo largo de la altura sigue un *patrón similar*, la NSCM-22 demanda esfuerzos sísmicos menores debido a

parámetros actualizados de peligrosidad sísmica y factores de reducción modernizados.

En conjunto, esto implica que la NSCM-22 tiende a generar diseños más eficientes y menos conservadores, manteniendo la coherencia estructural en la distribución del cortante, pero reduciendo las fuerzas actuantes, especialmente en los niveles inferiores donde las diferencias son más marcadas.

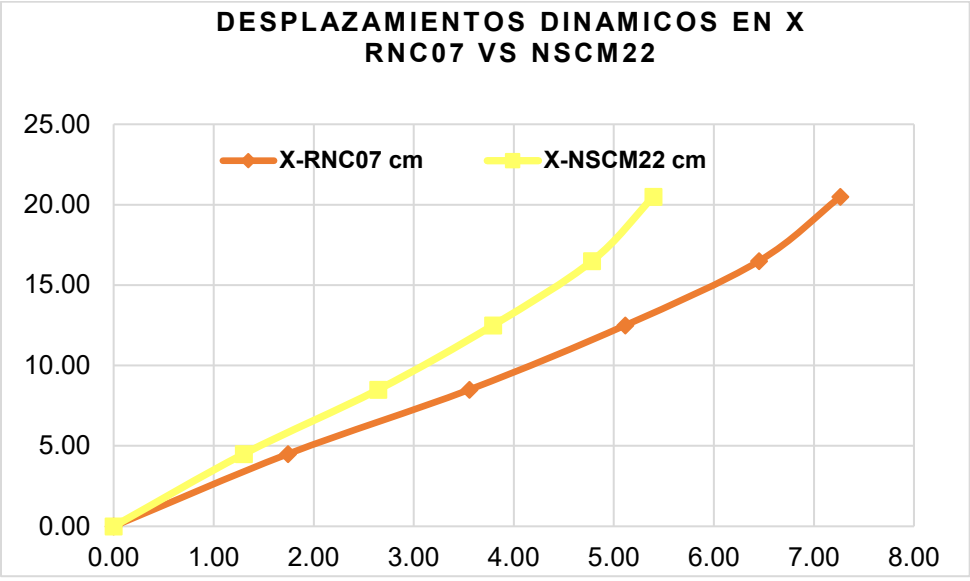
4.1.1.13 Desplazamientos Dinámicos con factor de escalamiento.

Tabla 62 Desplazamientos Dinámicos.

Desplazamientos Dinamicos con Factor X				
Story	**Elevation**	**Δx RNC07**	**Δx NSCM22**	**COMPATIBILIDAD**
	m	cm	cm	%
TECHO	20.50	7.26	5.395	74.26
NIVEL 4	16.50	6.45	4.782	74.12
NIVEL 3	12.50	5.11	3.792	74.13
NIVEL 2	8.50	3.56	2.644	74.36
NIVEL 1	4.50	1.74	1.301	74.64

***Fuente**: Software ETABS; Elaboración propia*

Imagén 45. Desplazamientos Dinámicos X RNC 07 vs NSCM22



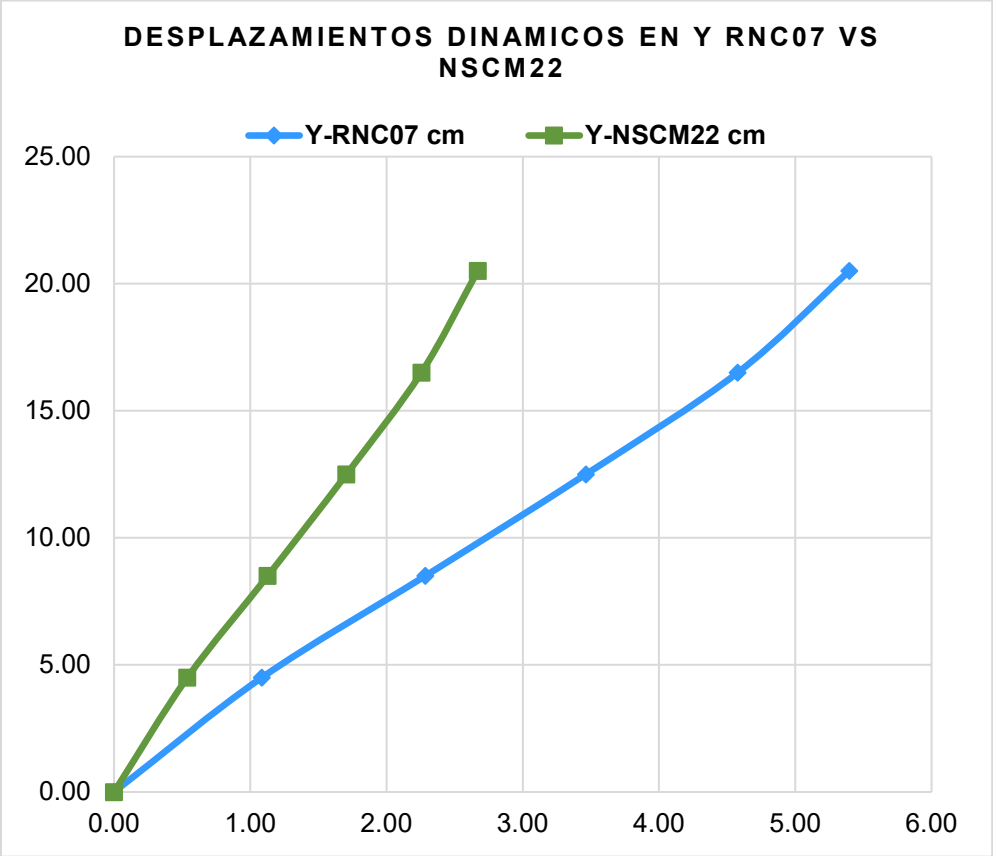
***Fuente**: Software ETABS; Elaboración propia*

Tabla 63 Desplazamientos Dinámicos con factor de escalamiento en Y

Desplazamientos Dinamicos con Factor Y				
Story	Elevation	Δy RNC07	Δy NSCM22	COMPATIBILIDAD
	m	cm	cm	%
TECHO	20.50	5.40	2.669	49.47
NIVEL 4	16.50	4.58	2.255	49.28
NIVEL 3	12.50	3.46	1.705	49.25
NIVEL 2	8.50	2.28	1.128	49.38
NIVEL 1	4.50	1.08	0.538	49.65

***Fuente**: Software ETABS; Elaboración propia*

Imagén 46. Desplazamientos Dinámicos con factor de escalamiento en Y



***Fuente**: Software ETABS; Elaboración propia*

V CAPITULO: Conclusiones y Recomendaciones.

5.1 Conclusiones:

A partir del análisis precedente de las comparativa de los métodos existentes se aprecia en los resultados obtenidos conforme a la estructura propuesta bajo los criterios del RNC-07 y la NSCM-22, el análisis evidenciando diferencias relevantes en la definición de cargas, espectros, factores sísmicos y resultados estructurales.

- En comparación, la **NSCM-22** calcula pesos sísmicos menores porque emplea criterios más actualizados y selectivos, reduciendo la participación de sobrecargas y excluyendo masas poco probables durante un sismo, mientras que la **RNC-07** adopta un enfoque más conservador al incluir una mayor proporción de cargas dentro del peso sísmico; así, la primera refleja de forma más realista la masa efectivamente movilizada, mientras que la segunda tiende a sobreestimarla por seguridad.
- Se ven cambios en parámetros sísmicos, como la incorporación del factor Cd, la redefinición de los períodos espectrales, y la actualización del valor de $A_0 = 0.36667$,refuerzan la tendencia de la NSCM-22 a exigir una evaluación más rigurosa de la demanda sísmica.
- En cuanto a los cortantes estáticos, los gráficos y tablas muestran reducciones significativas al aplicar la NSCM-22, con compatibilidades cercanas al 61 % en la dirección X y del 43 % en la dirección Y.
- Los desplazamientos estáticos muestran que el RNC-07 genera mayores valores, por ejemplo, en la dirección X se obtiene una compatibilidad del 61 %, mientras que en Y los desplazamientos NSCM-22 representan solo el 43 % de los obtenidos con RNC-07.
- En el análisis dinámico, el documento ilustra diferencias claras en los espectros empleados: el espectro NSCM-22 no inicia en cero y presenta una forma modificada que incrementa la demanda en ciertos intervalos de periodo.
- En cuanto a los cortantes dinámicos, la normativa NSCM-22 exige un mínimo del 100 % del cortante estático obtenido con el método FLE, en contraste con el 80 % del RNC-07. Esto explica que, tras aplicar las correcciones, los

cortantes dinámicos conforme a NSCM-22 resulten más elevados. Las tablas muestran compatibilidades entre 75–83 % en X y 53–58 % en Y.

- En los desplazamientos dinámicos se mantiene el patrón: la NSCM-22 produce valores menores debido a la reducción de fuerzas, aunque con porcentajes de compatibilidad más altos que en el análisis estático, alcanzando 74 % en X y alrededor del 49 % en Y.
- La comparación evidencia que la NSCM-22 introduce criterios más estrictos y actualizados en la evaluación sísmica, con parámetros más representativos del peligro sísmico real y con espectros más detallados. Aunque esta normativa reduce ciertos valores, como la carga incidental o los desplazamientos, sus espectros y factores asociados generan pesos sísmicos menores, exigencias realistas en el análisis dinámico y una demanda sísmica más robusta.
- En contraste, el RNC-07 arroja mayores desplazamientos y cortantes estáticos más altos, pero con una filosofía menos coherente al compararse con los procedimientos modernos de evaluación sísmica.
- En conjunto, la NSCM-22 resulta ser más exacta, fortaleciendo la seguridad estructural al imponer criterios de diseño más consistentes, exigir una revisión rigurosa del cortante basal dinámico y ajustar el espectro de acuerdo con las características sísmicas actuales del país.
- Para estructuras importantes o con sistemas combinados, como MF y SCBF considerados en el estudio, estas diferencias se vuelven más significativas a lo largo del análisis, especialmente en niveles superiores donde las amplificaciones sísmicas tienen mayor impacto.
- Finalmente, la implementación de la NSCM-22 representa un avance técnico importante para la ingeniería estructural en Nicaragua, al proporcionar resultados más consistentes con metodologías internacionales y al elevar el nivel de detalle en los parámetros sísmicos. Esto se traduce en diseños más seguros, con un entendimiento más claro del comportamiento dinámico de las edificaciones y con una evaluación más precisa de las demandas para cada sistema estructural.

5.2 Recomendaciones.

En función de los resultados obtenidos en el análisis comparativo entre la normativa RNC-07 y la NSCM-22, se plantean las siguientes recomendaciones orientadas a fortalecer la práctica del diseño estructural sísmico y a mejorar futuras investigaciones en el ámbito de la ingeniería civil.

- Se recomienda la adopción prioritaria de la normativa NSCM-22 en el diseño de nuevas edificaciones, debido a que incorpora parámetros sísmicos más actualizados y representativos del peligro sísmico actual en Nicaragua. Esto permite obtener resultados más coherentes con el comportamiento dinámico real de las estructuras y alineados con estándares internacionales.

- Se sugiere realizar evaluaciones estructurales de edificaciones existentes diseñadas bajo la normativa RNC-07, especialmente aquellas de importancia alta o ubicadas en zonas de mayor peligrosidad sísmica, con el fin de verificar su desempeño frente a los criterios más recientes establecidos por la NSCM-22.
- Para futuras investigaciones se sugiere considerar el factor de interacción suelo-estructura y el comportamiento no lineal de los materiales.

- Se recomienda que no se limiten su análisis a la aplicación directa de la normativa, sino que desarrolle un criterio ingenieril que permita interpretar adecuadamente los resultados y tomar decisiones fundamentadas en el comportamiento estructural esperado.
- Finalmente, se recomienda continuar desarrollando estudios comparativos entre normativas nacionales e internacionales, con el fin de evaluar la evolución de los criterios de diseño sísmico y contribuir al fortalecimiento de la ingeniería estructural en Nicaragua.

En conjunto, estas recomendaciones buscan no solo optimizar el uso de la normativa vigente, sino también promover un enfoque más crítico, analítico y fundamentado en la práctica de la ingeniería estructural, orientado a garantizar la seguridad, eficiencia y confiabilidad de las edificaciones ante eventos sísmicos.

VI Bibliografía

Enrique Bazán y Roberto Meli (2002). *Introducción a la sismología y a la ingeniería Sísmica*. Diseño Sísmico de Edificios.

Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (2005). *Microzonificación de Managua* -Conclusiones y Recomendaciones. *https://webserver2.ineter.gob.ni/geofisica/sis/proyectos/micromana/conclusiones.html*

Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (2005). *Microzonificación de Managua – Capitulo: 3 Geología. https://webserver2.ineter.gob.ni/geofisica/sis/proyectos/micromana/3-geologia-resx.html*

Chopra, A. K., (2014). *Dinámicas de estructuras.* México: Pretice Hall.

Chopra, A. K., & Goel, R. K. (2001). *A modal pushover procedure to estimate seismic demands for buildings: Theory and preliminary evaluation.* California: Pacific Earthquake Engineering Research Center.

CISMID; FIC; UNI. (s.a). *Fundamentos de Análisis dinámico de estructuras.* LIMA

Mora, M. A., Villalba. J. D., & Maldonado, E. (December de 2006). Scientific Electronic Library Online. Obtenido de SciELO: *http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-33242006000200006*

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

MTI. (2007). REGLAMENTO NACIONAL DE LA CONTRUCCION – RNC07. MANAGUA

MTI. (2022). NORMA SISMORRESISTENTE PARA LA CIUDAD DE MANAGUA. Managua: MTI

Central América Probabilistic Risk Assessment, Metodologia de Modelacion Probabilista de Riesgos Naturales. (s,f). *INFORME TÉCNICO ERN-CAPRA-T2-RIESGO SÍSMICO DE* MANAGUA.

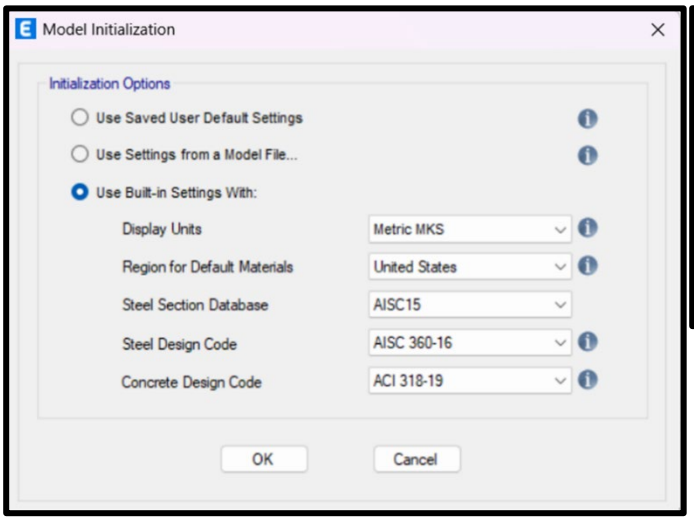
https://ecapra.org/sites/default/files/documents/ERN-CAPRA-R7-T2-7%20-%20Terremoto%20Managua_NIC.pdf

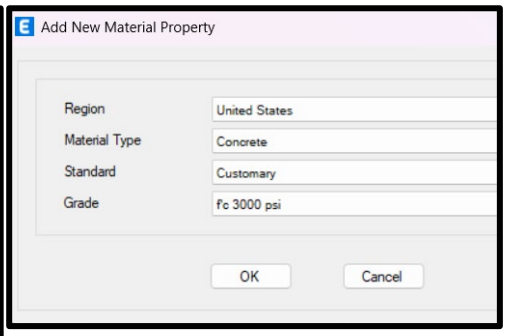
VII Anexos

Anexo 1: Uso de Software

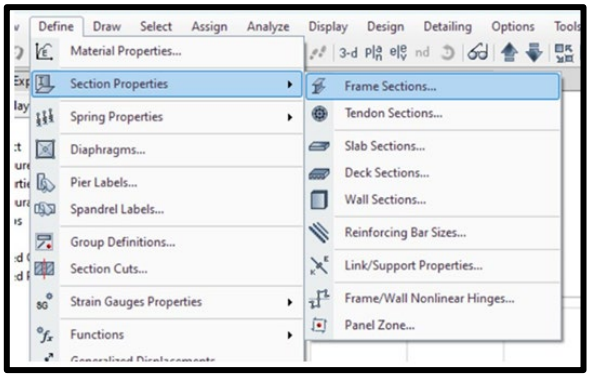
Para la elaboración del modelado de la estructura se utilizó el Software ETABS 2022 para lograr los valores de las rigideces, peso sísmico de la estructura desplazamientos, fuerzas laterales, cortantes de piso, así como la respuesta dinámica del edificio.

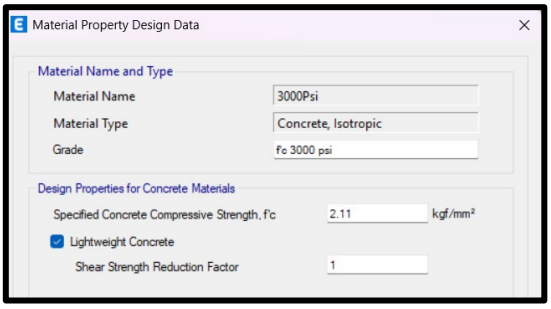
Primero se designaron las consideraciones con las cuales el modelo representa el comportamiento real de la estructura conforme a la asignación de cargas que se le fueron implementadas ya que son fundamentales para determinar la rigidez, resistencia y comportamiento global.



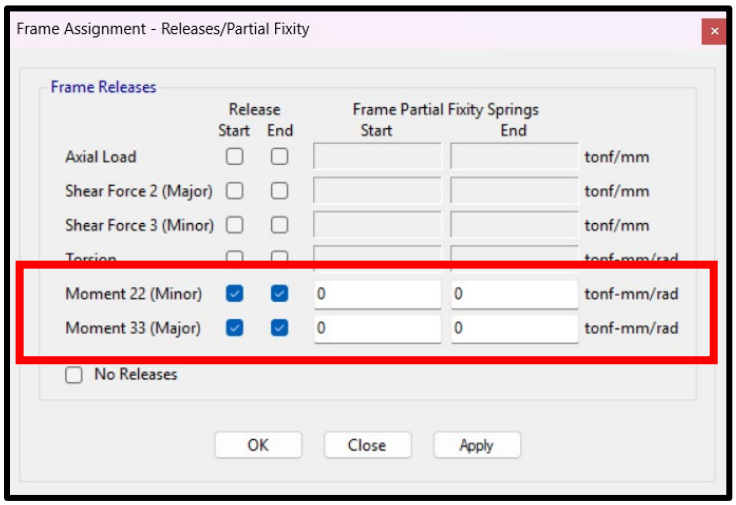


Se agrego cada uno de los perfiles propuestos ´por el diseño (Vigas, Columnas, Riostras, Losa).El edificio es una estructura de acero con perfileria para las vigas W y HSS para las riostras con un sistema de Losa estilo STEEL DECK:

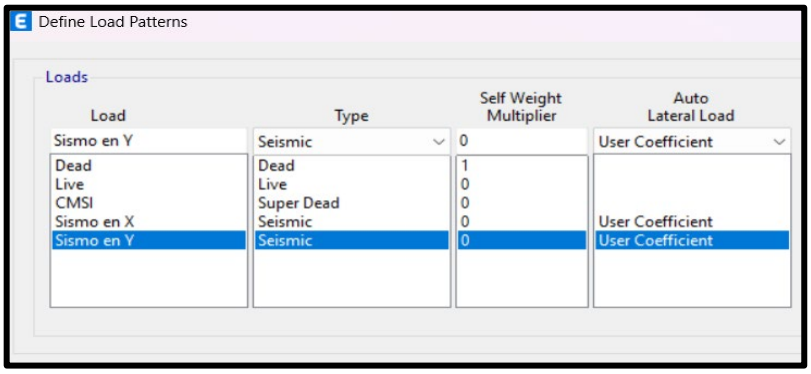


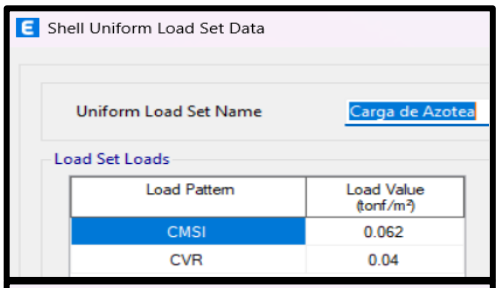


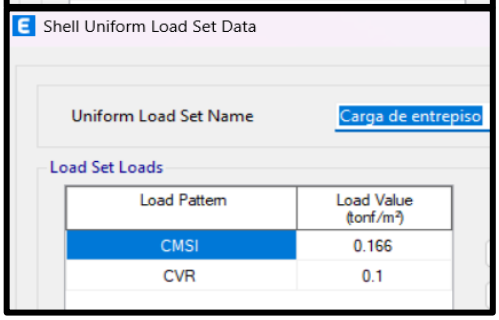
Se liberaron los momentos M22 Y M33 en ambos extremos de ciertos elementos, es decir no transmiten momentos en sus nodos comportandose como elementos articulados.

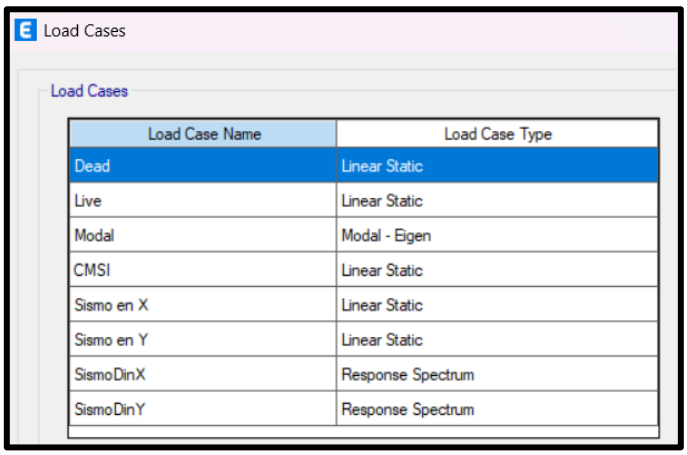


Se definieron los patrones, los casos de carga y los set de cargas a cada uno de los modelados conforme a la normativa empleada.





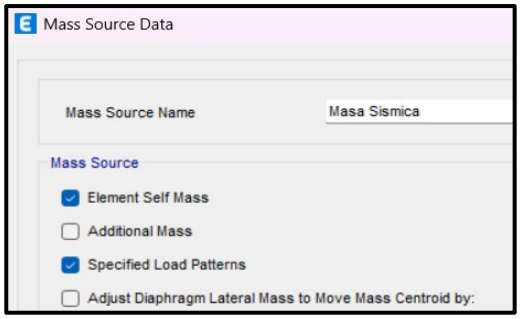


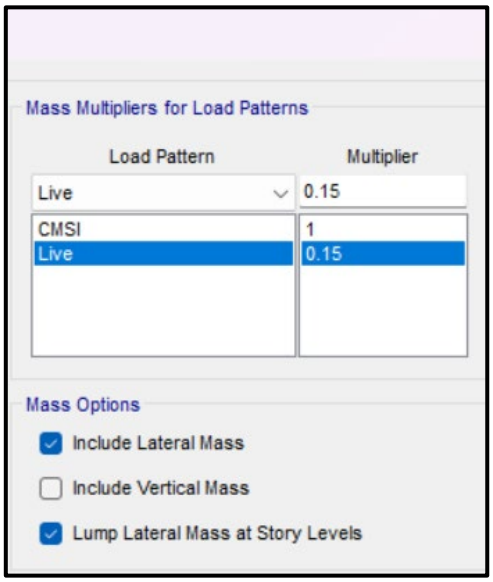


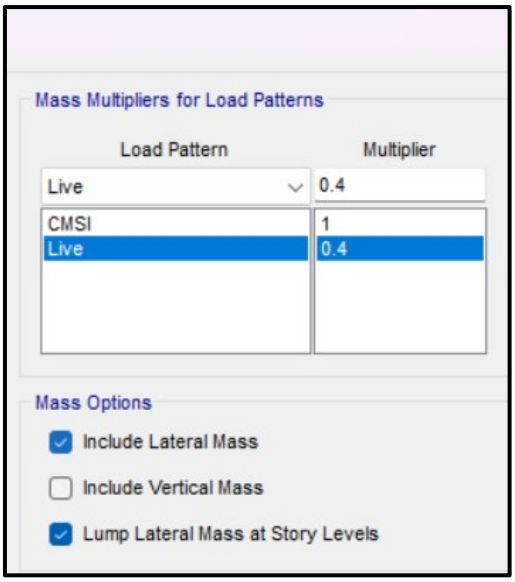
Destacando que para los casos de carga tanto en “X” como en “Y” en el concepto de ambas normativas la excentricidad accidental es del 5% para la NSCM22 y del 10% para la RNC07, se activan las opciones correspondientes para cada direccion en el modelo.



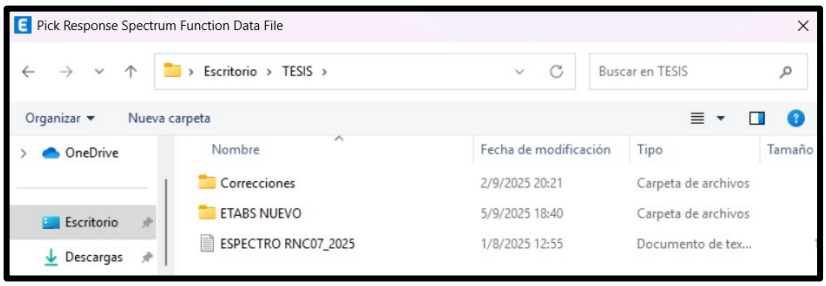
La Masa sísmica se definirá según la combinación establecida en el reglamento nacional que se esté usando.

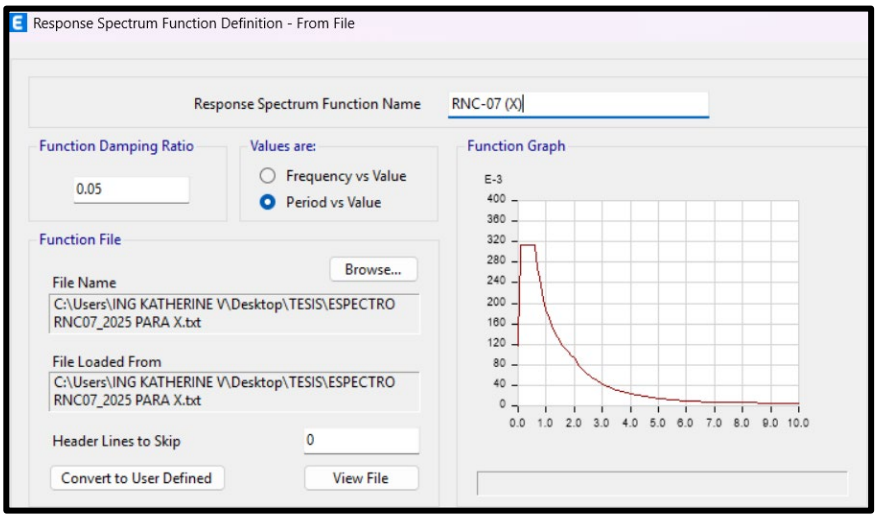




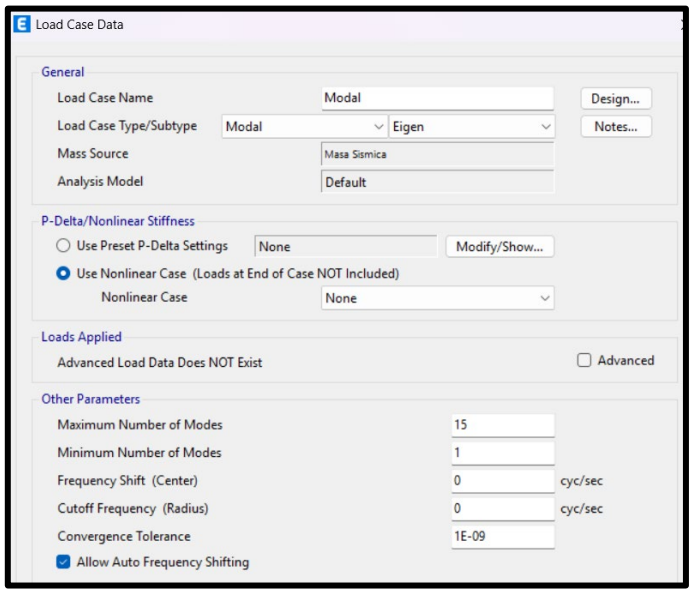


Segun los espectros de cada normativa realizados se cargan al programan asi logrando obtrner la respuesta dinamica conforme al periodo fundamental de la estructura.

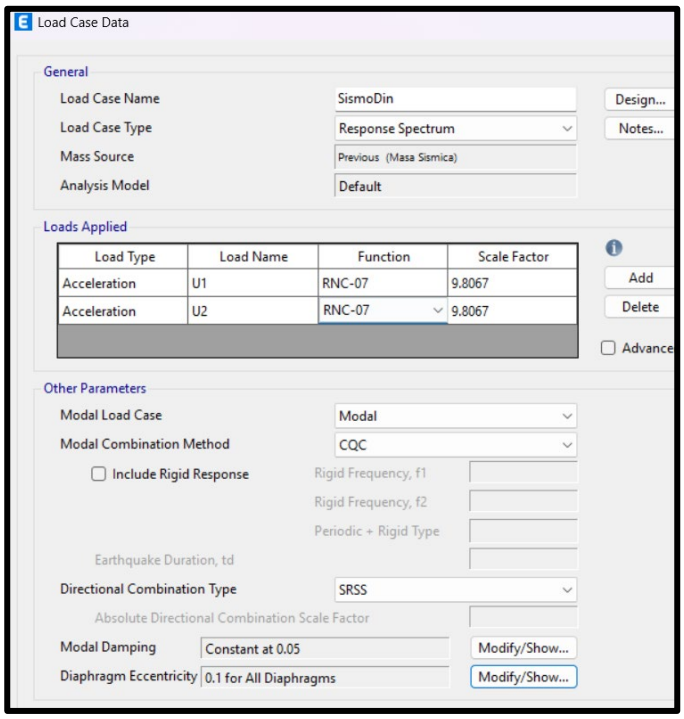




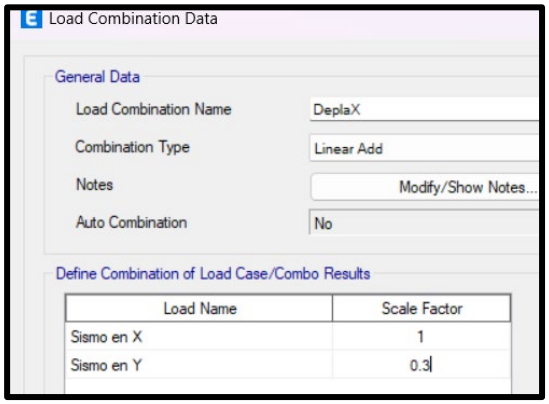
Se asigno el numero de casos modales que va conforme a la cantidad de pisos que tiene el edificio en este caso hay cinco plantas por lo tanto tendremos 15 modos de vibración:

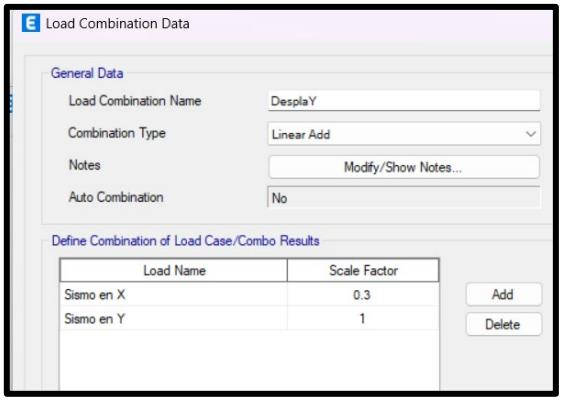


Se asigna el sismo de diseño en ambas direcciones con un factor de gravedad de 9.8067 en el siguiente apartado;



Las combinaciones de carga para Efecto Bidireccional toman el 30% de cada de las direcciones conforme a cada normativa aplicada, es decir:





Anexos 2:

TABLA 1B FACTORES DE COMPORTAMIENTO SÍSMICO Q

Sistema estructural	Descripción	Factor de comportamiento sísmico, Q
a) Edificios industriales	Edificios con marcos rígidos en una dirección (X), y contraventeados con diagonales que trabajan exclusivamente a tensión en la dirección ortogonal (Y).	Qx $\geq$ 2[1] Qy = 1
	Edificios con marcos rígidos en una dirección (X), y contraventeados con diagonales que pueden trabajar en tensión o compresión en la dirección ortogonal (Y).	Qx $\geq$ 2[1] Qy = 1.5
b) Sistemas contraventeados	Contraventeo excéntrico.	4
	Contraventeo concéntrico dúctil.	3
	Contraventeo concéntrico con ductilidad normal.	2
c) Marcos rígidos	Marcos rígidos de acero con ductilidad alta.	4 ó 3
	Marcos rígidos de acero con ductilidad reducida.	2

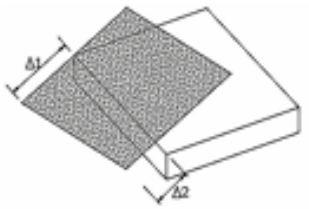
Tabla 5.4.2 Factores de irregularidad en planta

Tipo 1 – Irregularidad torsional

$\phi_{Pi} = 0.9$

$\Delta > 1.2 * (\frac{\Delta 1 + \Delta 2}{2})$

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.

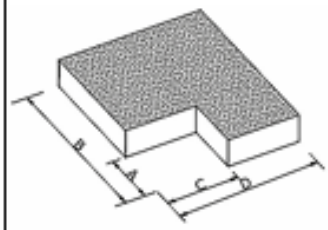


Tipo 2 - Retroceso excesivos en las equinas

$\phi_{Pi} = 0.9$

$A > 0.15B \; y \; C > 0.15D$

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.



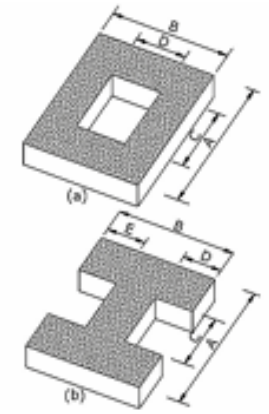
Tipo 3 – Discontinuidad en los sistemas de piso

$\phi_{Pi} = 0.9$

a) $C \times D > 0.5A \times B$

b)$[C \times D + C \times E] > 0.5A \times B$

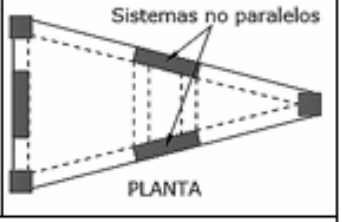
La configuración de la estructura se considera irregular cuando el sistema de piso tiene discontinuidades apreciables o variaciones significativas en su rigidez, incluyendo las causadas por aberturas, entrantes o huecos, con áreas mayores al 50% del área total del piso o con cambios en la rigidez en el plano del **sistema de piso de más del 50% entre niveles consecutivos**.



Tipo 4 – Ejes estructurales no paralelos

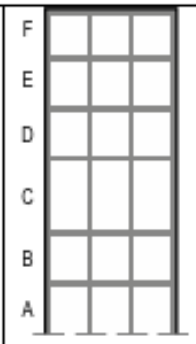
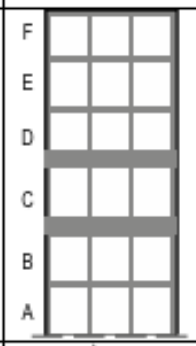
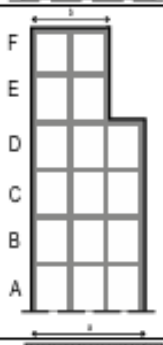
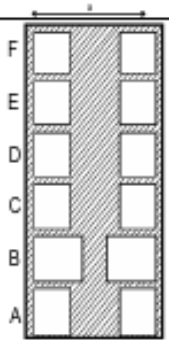
$\phi_{Pi} = 0.8$

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



Nota: La descripción de estas irregularidades no faculta al calculista o diseñador a considerarlas como normales, por lo tanto, la presencia de estas irregularidades requiere **incluir en los modelos de análisis las deformaciones por flexión, fuerza axial,** cortante y por torsión de los elementos estructurales y el método de análisis deberá ser dinámico espacial.

Tabla 5.4.3 - Factores de irregularidad en elevación

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.	
Tipo 2 – Distribución de masa $\phi_{Ei} = 0.9$ $m_D > 1.50 m_E$ o $m_D > 1.50 m_C$ 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.	
Tipo 3 – Irregularidad geométrica $\phi_{Ei} = 0.9$ La estructura se considera irregular cuando la dimensión en planta del sistema resistente en cualquier piso es mayor que 1,3 veces la misma dimensión en un piso adyacente, exceptuando el caso de los **altillos** de un solo piso.	
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.	
Nota: La descripción de estas irregularidades no faculta al calculista o diseñador a considerarlas como normales, por lo tanto, la presencia de estas irregularidades requiere **incluir en los modelos de análisis las deformaciones por flexión, fuerza axial,** cortante y por torsión de los elementos estructurales y el método de análisis deberá ser dinámico espacial. En los casos de aumento de masas con la altura y esbeltez excesiva, se deberá incorporar el efecto P-Delta en el análisis.	

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	
CUIDAD 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	
LA PAZ DE ORIENTE	11.82159	-86.13065	0.357333	
NANDASMO	11.93330	-86.11670	0.353781	
NIQUINOHOMO	11.90518	-86.09446	0.353352	
MALPAISILLO	12.67572	-86.57162	0.353095	
NANDAIME	11.75000	-86.05000	0.352472	
TOLA	11.43330	-85.93330	0.345397	
SAN JUAN DEL SUR	11.25292	-85.87049	0.343685	
BELÉN	11.50000	-85.88330	0.342530	
POTOSÍ	11.49416	-85.85680	0.339339	
RIVAS	11.43330	-85.83330	0.335964	
BUENOS AIRES	11.46670	-85.81670	0.335299	
SAN JORGE	11.45584	-85.80308	0.334595	
GRANADA	11.92988	-85.95602	0.332963	
TIPITAPA	12.20060	-86.09390	0.328836	
CÁRDENAS	11.20000	-85.51670	0.326221	
TISMA	12.08194	-86.01739	0.325204	
MOYOGALPA	11.53330	-85.70000	0.324525	
ALTAGRACIA	11.56670	-85.58330	0.312272	
SAN FRANCISCO LIBRE	12.50470	-86.30030	0.309043	
SOMOTILLO	13.03330	-86.91670	0.299712	
VILLANUEVA	12.96360	-86.81470	0.295717	
SAN CARLOS	11.12300	-84.77870	0.293260	
EL JICARAL	12.72720	-86.38080	0.290595	
SAN MIGUELITO	11.40000	-84.90000	0.282374	
SANTA ROSA DEL PEÑON	12.80110	-86.37060	0.281296	
EL SAUCE	12.88690	-86.53810	0.278710	
SANTO TOMAS DEL NORTE	13.18440	-85.92190	0.277569	
PUERTO MORRITO	11.62090	-85.07919	0.274547	
EL LLANO	11.02230	-84.81360	0.265644	
SÁBALOS	11.05000	-84.46670	0.263217	
TEUSTEPE	12.41670	-85.80000	0.260007	
SAN FRANCISCO DEL NORTE	13.20000	-86.76666	0.259346	
SAN PEDRO DEL NORTE	13.26670	-86.88330	0.258956	
CIUDAD DARÍO	12.73060	-86.12500	0.257376	
ACHUAPA	13.05370	-86.59004	0.256640	
SAN NICOLAS	12.93240	-86.34810	0.251660	
SAN LORENZO	12.38330	-85.66670	0.245579	
JUIGALPA	12.10100	-85.36710	0.242460	
TERRABONA	12.73330	-85.96670	0.238550	
SAN JUAN DE LIMAY	13.16670	-86.61670	0.237303	
SEBACO	12.85110	-86.09940	0.237089	
LAS CAÑAS	11.52870	-86.14750	0.236741	
SAN JOSÉ DE GUASIMAL	12.95530	-86.22410	0.235858	
SAN ISIDRO	12.93190	-86.19530	0.235803	
LA TRINIDAD	12.96880	-86.23530	0.235099	
COMALAPA	12.28330	-85.51670	0.234868	
SANTA LUCIA	12.53330	-85.71670	0.234427	
BOACO	12.46670	-85.66670	0.234379	
SAN JOSE DE LOS REMATES	12.60000	-85.76670	0.234373	
ACOYAPA	11.96670	-85.16670	0.233193	

Departamento	Longitud (Oeste)	Latitud (Norte)	Aceleración	Zona
SAN JOSE DE CUSMAPA	13.28330	-86.65000	0.230908	
ESTELÍ	13.08330	-86.35000	0.229832	
CAMOAPA	12.38330	-85.51670	0.227043	
ESQUIPULAS	12.66670	-85.78330	0.225594	
SAN FRANCISCO DE CUAPA	12.26670	-85.38330	0.225494	
SAN DIONISIO	12.75000	-85.85000	0.223672	
LAS SABANAS	13.35000	-86.61670	0.221183	
SAN JUAN DE NICARAGUA	10.94800	-83.73420	0.219464	
SANTO TOMAS	12.06670	-85.08330	0.216900	
EL ALMENDRO	11.68330	-84.70000	0.216607	
LA LIBERTAD	12.21670	-85.16670	0.213588	
MATAGALPA	12.91670	-85.91670	0.212623	
VILLA SANDINO	12.04830	-84.99362	0.212457	
SAN LUCAS	13.41670	-86.60000	0.211869	
SANTA MARIA	13.75000	-86.71670	0.210481	
PUEBLO NUEVO	13.38330	-86.48330	0.207684	
SOMOTO	13.48330	-86.58330	0.205631	
SAN RAMON	12.91667	-85.83333	0.205575	
CONDEGA	13.35000	-86.40000	0.204562	
MUYMUY	12.76670	-85.63330	0.204195	
LA CONCORDIA	13.18330	-86.16670	0.203013	
SANTO DOMINGO	12.26670	-85.08330	0.202712	
NUEVA GUINEA	11.68330	-84.45000	0.202075	
JINOTEGA	13.09103	-86.00234	0.201012	
YALAGUINA	13.48333	-86.48333	0.200849	
MACUELIZO	13.65000	-86.61670	0.199169	
PALACAGUINA	13.45000	-86.40000	0.198324	
SAN RAFAEL DEL NORTE	13.21670	-86.11670	0.197737	
TOTOGALPA	13.56270	-86.49240	0.197074	
EL CORAL	11.91580	-84.65030	0.196575	
SAN SEBASTIAN DE YALI	13.30000	-86.18330	0.195701	
OCOTAL	13.63330	-86.48330	0.194016	
DIPILTO	13.71670	-86.50000	0.191357	
MOZONTE	13.65000	-86.45000	0.189288	
TELPANECA	13.52928	-86.28568	0.189046	
MATIGUAS	12.83330	-85.46670	0.188226	
CIUDAD ANTIGUA	13.63330	-86.31670	0.184781	
MUELLE DE LOS BUEYES	12.06670	-84.53330	0.182672	
SAN FERNANDO	13.68137	-86.31486	0.182580	
LA DALIA	13.06670	-85.75000	0.182305	
SAN JUAN DEL RIO COCO	13.54483	-86.16506	0.181925	
SANTA MARIA DE PANTASMA	13.27197	-86.04677	0.181543	
BOCANA DE PAIWÁS	12.78571	85.12269	0.174387	
EL AYOTE	12.49470	-84.81940	0.174218	
QUILALÍ	13.56670	-86.03330	0.173706	
EL JICARO	13.71670	-86.13330	0.172507	
RIO BLANCO	12.93330	-85.21670	0.171977	
RANCHO GRANDE	13.23655	-85.55864	0.171081	
JALAPA	13.91670	-86.13330	0.171061	
MURRA	13.76667	-86.01667	0.169168	
EL CUÁ	13.36750	-85.67330	0.168329	
WIWILÍ DE NUEVA SEGOVIA	13.61670	-85.83330	0.164163	
WIWILÍ DE JINOTEGA	13.62680	-85.82540	0.164042	
EL RAMA	12.33333	-84.66667	0.162554	
WASLALA	13.33100	-85.37460	0.158999	
SAN JOSE DE BOCAY	13.53330	-85.53330	0.156791	
MULUKUKU	13.17320	-84.95540	0.154564	
BLUEFIELDS	12.01310	-83.76530	0.152154	
KUKRA HILL	12.25000	-83.75000	0.145158	
EL TORTUGUERO	12.81670	-84.20000	0.144585	
WASPAM	14.73330	-83.96670	0.144201	
LA CRUZ DE RIO GRANDE	13.11670	-84.18330	0.140276	
LAGUNA DE PERLAS	12.34294	-83.67123	0.139541	
SIUNA	13.73321	-84.77725	0.137890	
ALAMIKAMBA	13.50000	-84.21670	0.136219	
BONANZA	14.02885	-84.59103	0.134497	
ROSITA	13.88330	-84.40000	0.134043	
KARAWALA	12.93231	-83.57762	0.127771	
BILWI	14.03330	-83.38330	0.113379	