



UNIVERSIDAD LAICA “ELOY ALFARO” DE MANABÍ

Título:

Modelación estructural sismorresistente de una vivienda multifamiliar de 3 niveles ubicada en la parroquia canoa del Cantón San Vicente con vigas, columnas de estructura metálicas y losas colaborantes, aplicando la Norma Ecuatoriana de construcción NEC-15

Autor:

Anggie Katiuska Buenaventura Espinoza

Tutor:

Ing. Patricio Andrés Pazmiño Balda

Unidad Académica:

Unidad Académica de Formación Técnica y Tecnológica.

Carrera:

Tecnología Superior en Construcción Sismorresistente

Sucre, septiembre de 2025

CERTIFICACION DEL TUTOR

Ing. Patricio Andrés Pazmiño Balda; docente de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí, Unidad Académica de Formación Técnica y Tecnológica, en calidad de Tutor.

CERTIFICO:

Que el presente proyecto integrador con el título:

“Modelación estructural sismorresistente de una vivienda multifamiliar de 3 niveles ubicada en la parroquia canoa del Cantón San Vicente con vigas, columnas de estructura metálicas y losas colaborantes, aplicando la Norma Ecuatoriana de construcción NEC-15” ha sido exhaustivamente revisado en varias sesiones de trabajo, está listo para su presentación y apto para su defensa.

Las opciones y conceptos vertidos en este documento son fruto de la perseverancia y originalidad de su autor:

Anggie Katiuska Buenaventura Espinoza,

Siendo de su exclusiva responsabilidad.



Sucre, septiembre de 2025

Ing. Patricio Andrés Pazmiño Balda

TUTOR

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Quien suscribe la presente:

Anggie Katiuska Buenaventura Espinoza,

Estudiante de la Carrera de **Tecnología Superior en Construcción Sismorresistente**, declaro bajo juramento que el presente proyecto integrador cuyo título:

“Modelación estructural sismorresistente de una vivienda multifamiliar de 3 niveles ubicada en la parroquia canoa del Cantón San Vicente con vigas, columnas de estructura metálicas y losas colaborantes, aplicando la Norma Ecuatoriana de construcción NEC-15”, previa a la obtención del Título de **Tecnología Superior en Construcción Sismorresistente**, es de autoría propia y ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros y consultando las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

Sucre, septiembre de 2025.



Anggie Katiuska Buenaventura Espinoza

Firmado con Certificación



APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Los miembros del tribunal examinador aprueban el trabajo de titulación con modalidad proyecto integrador, titulado:

“Modelación estructural sismorresistente de una vivienda multifamiliar de 3 niveles ubicada en la parroquia canoa del Cantón San Vicente con vigas, columnas de estructura metálicas y losas colaborantes, aplicando la Norma Ecuatoriana de construcción NEC-15” de su autor: **Anggie Katuska Buenaventura Espinoza**, de la carrera “**Tecnología Superior en Construcción Sismorresistente**”, y como Tutor del Trabajo el Ing. Patricio Andrés Pazmiño Balda.

Sucre, septiembre de **2025**.

Lcdo. Eduardo Caicedo Bravo, PHD
DECANO

Ing. Patricio Andrés Pazmiño Balda
TUTOR

PRIMER MIEMBRO TRIBUNAL

SEGUNDO MIEMBRO TRIBUNAL

S.E. Ana Isabel Zambrano Loor

SECRETARIA

AGRADECIMIENTO

Mis sinceros agradecimientos al Ingeniero Patricio Pazmiño Balda por su invaluable guía y asesoramiento durante la elaboración de esta tesis. Su apoyo fue fundamental para alcanzar este logro.

A mi familia principalmente a mi mamá y a mi tía que me ayudaron a terminar una etapa importante en mi vida por su amor incondicional, paciencia y motivación constante, que me impulsaron a seguir adelante en cada etapa del proceso.

A la familia que tuve temporalmente aquí gracias a la Señora Jazmín por estar en este momento, a mis hermanas Daniela, Gabriela, Saraí y Elías.

A mis amigos y compañeros, por su respaldo y palabras de aliento, que hicieron más llevadero este camino.

Al Ingeniero Guillermo Pazmiño Balda y al Técnico Especialista en Topografía y Geodesia Mauricio Pazmiño Balda, por brindarme los conocimientos adquiridos en este proceso de 2 años.

Finalmente, a quienes contribuyeron de manera directa o indirecta con su conocimiento y apoyo, les extiendo mi gratitud.

Gracias a todos.

Anggie Katuska Buenaventura Espinoza

DEDICATORIA

Buenos días o tardes con todos los presentes, ¿Cuál es tu nombre, ¿Qué te emociona y hace latir tu corazón? Hoy soy lo que soy con todas mis fallas y mis errores, mañana quizás sea un poco más sabio y ese también seré yo estas fallas y errores son lo que soy constituyendo las estrellas más brillantes, en la constelación de mi vida, he llegado a amarme a mí misma por lo que soy porque lo que fui y por lo que espero llegar a ser, me gustaría preguntarles a todos ustedes ¿cuál es tu nombre? Que los emociona y hace latir tú corazón cuéntenme su historia quiero escuchar su voz y quiero escuchar su convicción no importa quien sea, de donde seas tu color de piel, tu identidad de género simplemente habla tú mismo encuentra tú nombre y encuentra tú voz para expresarte tengo muchos defectos, y tengo muchos más miedos, pero me abrazare a mí misma tan fuerte como pueda y empezar a amarme gradualmente poco a poco, ¿Cómo te llamas? Habla tú mismo.

Anggie Katuska Buenaventura Espinoza

RESUMEN

El presente estudio desarrolla la modelación estructural de una vivienda multifamiliar de tres niveles, ubicada en la parroquia Canoa del cantón San Vicente, empleando un sistema constructivo compuesto por vigas y columnas metálicas junto con losas colaborantes. La metodología se basa en la aplicación de la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-15, garantizando que el diseño cumpla con los requisitos de seguridad y desempeño sísmico establecidos para la región. En primer lugar, se realiza una evaluación detallada de las condiciones sísmicas locales, considerando la zonificación sísmica de la NEC-15 y las características geotécnicas del terreno. Posteriormente, se lleva a cabo la selección y dimensionamiento de los elementos estructurales clave, vigas, columnas y losas para resistir las cargas gravitacionales y sísmicas previstas. Finalmente, se comprueba la eficacia del análisis estructural mediante simulaciones que permiten verificar el comportamiento sismorresistente del sistema estructural. La investigación confirma la viabilidad del diseño propuesto y asegura que la edificación cumpla criterios de estabilidad, seguridad y funcionalidad frente a sismos moderados e intensos, contribuyendo así a la resiliencia de las construcciones en zonas de alta amenaza sísmica.

PALABRAS CLAVE

Modelación, Sismorresistente, Estructura metálica, Losa colaborante, estabilidad.

ABSTRACT

This study develops the structural modeling of a three-story multifamily housing building located in Canoa parish, San Vicente canton, using a construction system composed of steel beams and columns with composite slabs. The methodology follows the Ecuadorian Construction Standard NEC-15 to ensure that the design meets the required safety and seismic performance criteria for the region. First, a detailed evaluation of the local seismic conditions is performed, considering the NEC-15 seismic zoning and the site's geotechnical characteristics. Then, the key structural elements beams, columns, and slabs are selected and sized to withstand the expected gravitational and seismic loads. Finally, the effectiveness of the earthquake-resistant structural analysis is verified through simulations that assess the structural system's behavior under seismic forces. The study confirms the feasibility of the proposed design and ensures that the building meets stability, safety, and functionality requirements under moderate to strong earthquakes, thus contributing to the resilience of buildings in high-seismic-risk areas.

KEYWORDS

Modeling, Earthquake-resistant, Steel structure, Composite slab, Stability.

ÍNDICE

Contenido

CERTIFICACION DEL TUTOR	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	II
APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	III
AGRADECIMIENTO	IV
DEDICATORIA	V
RESUMEN	VI
PALABRAS CLAVE	VI
ABSTRACT	VII
KEYWORDS	VII
ÍNDICE	VIII
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	IX
ÍNDICE DE TABLAS	XI
Capítulo I: Introducción	1
1.1. Titulo	1
1.2. Introducción	1
1.3. Problema	3
1.3.1. Descripción del problema	3
1.3.2. Planteamiento del problema	3
1.4. Justificación	3
1.4.1. Desde lo tecnológico	3
1.4.2. Desde relación del título	4
1.5. Objetivos	5
1.5.1. Objetivo general	5
1.5.2. Objetivos específicos	5
1.6. Metodología	5
1.6.1. Procedimiento	5
1.6.2. Técnicas	6
1.6.3. Métodos	7

Capítulo II: Marco teórico	8
2.1. Definiciones.....	8
2.1.1. Definiciones conceptuales	8
2.1.2. Normativa NEC-15 para diseño sismorresistente	9
2.2. Antecedentes	10
2.2.1. Información referente al proyecto	10
2.2.2. Contexto previo al proyecto	11
2.3. Trabajos relacionados	11
Capítulo III: Desarrollo de la propuesta.....	12
3.1. Análisis las condiciones sismorresistentes.....	13
3.1.1. Características sísmicas locales.....	13
3.1.2. Directrices técnicas de diseño conforme a la NEC-15.....	14
3.2. Dimensionamiento de los elementos estructurales	19
3.2.1. Solicitaciones verticales y sísmicas	19
3.2.2. Dimensionamiento de los elementos estructurales.....	21
3.3. Verificación de los resultados del análisis estructural	27
3.3.1. Definición del modelo estructural planteado	27
3.3.2. Diseño del espectro de respuesta elástico $S_a(T)$	28
3.3.3. Asignación de cargas verticales	30
Capítulo IV: Conclusiones y Recomendaciones	47
4.1. Conclusiones.....	47
4.2. Recomendaciones.....	48
Bibliografía	49
Anexos	53
Gráfico 3D de la estructura modelada, analizada y estabilizada	53
Planos arquitectónicos y modelos estructurales definidos	54

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Mapa de zona sísmica para propósito de diseño (NEC-15).....	14
Ilustración 2: Columna de acero estructural 250x200x6 mm (Autoría propia).....	22

Ilustración 3: Columna de acero estructural 200x5 mm (Autoría propia)	23
Ilustración 4: Viga de acero estructural 300x200x6 mm (Autoría propia)	23
Ilustración 5: Viga de acero estructural 250x200x6 mm (Autoría propia)	24
Ilustración 6: Viga de acero estructural 200x100x4 mm (Autoría propia)	24
Ilustración 7: Viga de acero estructural 125x100x4 mm (Autoría propia)	25
Ilustración 8: Correa G de acero estructural 100x50x15x4 mm (Autoría propia)	25
Ilustración 9: Losa colaborante tipo Deck 0.76 mm (Autoría propia)	26
Ilustración 10: Propiedades y medidas de Losa colaborante (Autoría propia)	26
Ilustración 11: Modelo estructural (Autoría propia)	27
Ilustración 12: Espectro de respuesta elástico de aceleraciones (Autoría propia)	28
Ilustración 13: Caso de carga espectral X (Autoría propia)	29
Ilustración 14: Caso de carga espectral Y (Autoría propia)	29
Ilustración 15: Definición de los patrones de carga (Autoría propia)	30
Ilustración 16: Combo D+L (Autoría propia)	31
Ilustración 17: Combo U1 (Autoría propia)	31
Ilustración 18: Combo U2 (Autoría propia)	32
Ilustración 19: Combo U3 (Autoría propia)	32
Ilustración 20: Combo U4 (Autoría propia)	32
Ilustración 21: Combo U5 SX - SY (Autoría propia)	33
Ilustración 22: Combo U5 EspX - EspY (Autoría propia)	33
Ilustración 23: Combo U6 SX - SY (Autoría propia)	33

Ilustración 24: Combo U6 EspX -EspY (Autoría propia)	34
Ilustración 25: Comprobación de los períodos Ta vs T (Autoría propia)	38
Ilustración 26: Deriva elástica máxima_Etabs (Autoría propia).....	39
Ilustración 27: Comprobación de derivas (Autoría propia)	41
Ilustración 28: Comprobación de cortantes estático y dinámico (Autoría propia)	42
Ilustración 29: Demanda / Capacidad_ Estructura de nivel Z= 3.04 m (Autoría propia)	44
Ilustración 30: Demanda / Capacidad_ Estructura de nivel Z= 6.08 m (Autoría propia)	45
Ilustración 31: Demanda / Capacidad_ Estructura de nivel Z= 9.12 m (Autoría propia)	45

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Valores del factor z en función de la zona sísmica (NEC-15)	15
Tabla 2: Clasificación de los perfiles de suelo (NEC-15)	15
Tabla 3: Tipo de suelo y factores de sitio Fa (NEC-15)	16
Tabla 4: Tipo de suelo y factores de sitio Fd (NEC-15)	16
Tabla 5: Tipo de suelo y factores de comportamiento inelástico del subsuelo Fs (NEC-15).....	17
Tabla 6: Tipo de uso, destino e importancia de la estructura (NEC-15).....	17
Tabla 7: Coeficiente R para sistemas estructurales dúctiles (NEC-15).....	18

Tabla 8: Cálculo de carga muerta de acabados (Autoría propia).....	19
Tabla 9: Cálculo de carga muerta sobre la cubierta (Autoría propia).....	20
Tabla 10: Sobrecargas mínimas uniformemente distribuidas (NEC-15)	20

Capítulo I: Introducción

1.1. Título

Modelación estructural sismorresistente de una vivienda multifamiliar de 3 niveles ubicada en la parroquia canoa del Cantón San Vicente con vigas, columnas de estructura metálicas y losas colaborantes, aplicando la Norma Ecuatoriana de construcción NEC-15.

1.2. Introducción

En la provincia de Manabí, sobre todo la zona costera, es una zona de elevada sismicidad, ha quedado comprobado con los dos últimos terremotos acaecidos entre 1998 y 2016. Por tal razón, la NEC-15, (2015), en su capítulo de peligro sísmico, exige sistemas constructivos más seguros y eficientes. Las estructuras aporticadas con elementos metálicos y losas con placas de acero, presentan una alternativa adecuada gracias a su peso ligero, gran ductilidad y sobre todo buen desempeño sísmico. En este proyecto se evaluará el comportamiento estructural frente a un espectro de respuesta con la NEC-15.

En el 2016, el terremoto ocurrido afectó a las poblaciones de Manabí en toda la zona norte, especialmente en Canoa, donde se demostró la vulnerabilidad de las construcciones tradicionales (IG-EPN, 2016). Por lo tanto, aplicar la Norma Ecuatoriana de construcción, NEC-15, (2015), en especial los sistemas modernos como pórticos metálicos con losas colaborantes, permite diseñar viviendas más seguras. Por lo tanto, se busca aportar seguridad a cada población con sistemas estructurales bien definidos por las normativas vigentes.

Ortiz Vivar y Pacheco Flores, (2019), realizaron un modelo estructural para una vivienda de 4 niveles, con un sistema estructural de pórticos metálicos resistentes a momentos, usando vigas IPE de acero A36.

Este estudio se centra en la modelación estructural de una vivienda multifamiliar, evaluando su desempeño frente a cargas sísmicas y gravitacionales, y optimizando el diseño conforme a la normativa ecuatoriana vigente.

Los modelos estructurales se pueden definir aplicando las normas vigentes como la NEC-15, ACI-318, etc., y se debe garantizar la seguridad estructural y peligro sísmico en zonas vulnerables; por lo que, la asignación de elementos que conforman las estructuras deben estar propuestos conforme a los códigos actualizados, y así garantizar la optimización de materiales y mejora del desempeño sísmico.

El tema de modelación y diseño estructural de viviendas con pórticos metálicos y losas colaborantes, según la NEC-2015, se relaciona directamente con la carrera de Tecnología en Construcción Sismorresistente, ya que esta disciplina busca garantizar estructuras seguras ante sismos. Este trabajo aporta al uso de técnicas y normativas que mejoran la resistencia sísmica, protegiendo vidas y optimizando la construcción en zonas vulnerables.

1.3. Problema

1.3.1. Descripción del problema

En la parroquia Canoa, quedó demostrado que, durante el último evento sísmico, las edificaciones sufrieron daños terribles, causando la pérdida de vidas humanas y económicas, lo cual demostró que existe un alto índice de vulnerabilidad de sus estructuras.

1.3.2. Planteamiento del problema

Como planteamiento a este grave problema, se propone realizar los estudios pertinentes y necesarios para evitar tal vulnerabilidad, realizando un modelo estructural con su respectivo análisis dinámico, basado en un espectro de respuesta elástico de aceleraciones para determinar los efectos causados y definir la estructura para su apropiado diseño.

1.4. Justificación

1.4.1. Desde lo tecnológico

Desde lo tecnológico, se afianza el uso continuo de softwares modernos para realizar los modelos, análisis y diseños estructurales para los sistemas constructivos, garantizando seguridad y confiabilidad en la construcción sismorresistente; tomando siempre en consideración que los análisis estructurales están normados por las normativas vigentes locales como la NEC-15, las normas internacionales como el ACI 318, ASTM, ASCE, NSR-10, Norma E.030etc.

1.4.2. Desde relación del título

Desde la relación con la línea de investigación, se fortalece la formación de los futuros profesionales, ya que impulsa a la investigación científica, y promueve a la aplicación de los conocimientos en este tipo de escenarios. Las bases obtenidas durante la formación académica, es importante para la determinación de los objetivos que se plantean, asegurando los conocimientos durante la investigación para la demostración de los resultados.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

Realizar el modelo estructural de una vivienda multifamiliar de tres niveles aplicando la NEC-15.

1.5.2. Objetivos específicos

- Analizar las condiciones sismorresistentes de acuerdo a la NEC-15.
- Dimensionar los elementos estructurales.
- Verificar los resultados del análisis estructural.

1.6. Metodología

1.6.1. Procedimiento

Recolección de información sísmica y normativa: Se obtuvieron los datos geotécnicos y parámetros sísmicos correspondientes a la parroquia Canoa, además de revisar las disposiciones de diseño estructural establecidas en la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-15.

Selección del sistema estructural: Se optó por un sistema conformado por vigas y columnas metálicas junto con losas colaborantes, especificando las propiedades de los materiales y las secciones de cada elemento.

Análisis preliminar: se determinan las medidas y dimensiones de los elementos estructurales, consideraciones necesarias y las cargas asignadas con las respectivas acciones sísmicas conforme a la NEC-15.

Modelo estructural: se define un modelo estructural en Etabs, dentro del cual se evaluará el comportamiento frente al análisis dinámico.

Resultado de la evaluación sísmica: se verifica la respuesta sísmica del modelo estructural, comprobando el desempeño sísmico y criterios de seguridad que exige la normativa vigente.

Síntesis y validación de resultados: Se elaboraron las conclusiones basadas en los resultados del análisis, comprobando que la propuesta constituye una alternativa constructiva segura y eficiente para la zona de estudio.

1.6.2. Técnicas

Elementos finitos. – es una técnica numérica que se utiliza para simular el comportamiento de sistemas estructurales complejos. Esta técnica, divide la estructura en una red de elementos pequeños conectados en nodos para solucionar con ecuaciones de equilibrio bajo cargas aplicadas. Según See, (2016), este método permite simular con precisión el comportamiento estructural bajo distintas sollicitaciones de cargas gracias a la discretización del sistema estructural.

Método de las fuerzas o flexibilidades. – en esta técnica, se asumen las redundancias estáticas como incógnitas de la estructura hiperestática y se

aplican las ecuaciones de compatibilidad para resolver las redundancias. Según Hibbeler, (2012), en el método de las fuerzas se plantea como incógnitas las redundancias internas del sistema estructural, y se resuelven a través de condiciones de compatibilidad entre deformaciones y fuerzas.

Pendiente deflexión. – en esta técnica se establecen las relaciones entre los momentos flectores en los extremos del miembro conjuntamente con los desplazamientos y rotaciones de los nudos. Según Kassimali, (2010), este método relaciona los momentos de los extremos continuos con los desplazamientos y rotaciones nodales, resolviendo simultáneamente las ecuaciones de compatibilidad y equilibrio de los nudos.

1.6.3. Métodos

Método cuantitativo: según la fuente USC Library, (2024), el método cuantitativo en investigación científica se enfoca en medir variables numéricas, aplicando técnicas estadísticas muy rigurosas para formular conclusiones basadas en análisis numéricos.

Método analítico: según Kassimali, (2010), este método permite determinar las fuerzas internas y desplazamientos de una estructura mediante formulación exacta de ecuaciones de equilibrio, compatibilidad y comportamiento constitutivo, proporcionando resultados precisos para sistemas estructurales idealizados.

Método de simulación computacional:

Según Chopra, (2017), los modelos computacionales son esenciales en la ingeniería estructural, permitiendo a los ingenieros a simular el comportamiento de una estructura compleja bajo diferentes condiciones de cargas, facilitando la optimización y verificación de seguridad del diseño.

Capítulo II: Marco teórico

2.1. Definiciones

Se definirán los conceptos mas importantes y relevantes de esta investigacion.

2.1.1. Definiciones conceptuales

Modelación estructural: según See, (2016), es el proceso de representación matemática del comportamiento físico de una estructura, donde se usan modelos simplificados que capturan las propiedades geométricas de los elementos, materiales y condiciones de carga, para analizar su respuesta bajo diferentes solicitudes.

Vivienda multifamiliar: según el INEC, (2022), es una edificación que permite habitar distintas familias de manera independiente, pero con una estructura común. Para este tipo de diseños se exige que sea adecuado a la cantidad de habitantes en ella, asi como de las cargas resultantes.

Sistema estructural metálico: según Kassimali, (2010), están compuestos por elementos de acero conectados de manera continua para soportar las cargas. Estos modelos incluyen pórticos, marcos, cerchas y armaduras, caracterizadas por su alta resistencia y ductilidad.

Losas colaborantes: según Paulay y Priestley, (1992), son elementos compuestos por placas de acero con concreto simple, que trabajan de manera conjunta para soportar las cargas, reduciendo el peso de la estructura y eficiencia constructiva.

Sismorresistencia: según Chopra, (2017), es la capacidad para resistir los movimientos sísmicos, disipando su energía y manteniendo un desempeño adecuado para proteger la vida de las personas y minimizar los daños materiales.

Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-15: Es la normativa técnica vigente en Ecuador, emitida por el MIDUVI, que establece los requisitos mínimos para el diseño sismorresistente de edificaciones, considerando la zonificación sísmica, tipos de suelo y categorías de uso (MIDUVI, 2015).

2.1.2. Normativa NEC-15 para diseño sismorresistente

En regiones de alta sismicidad, los diseños estructurales deben garantizar la seguridad y funcionabilidad de las viviendas y edificios para proteger a los ocupantes frente a un sismo. La NEC-15, regula las normas para el diseño sismorresistente, definiendo criterios específicos considerando características sísmicas adecuadas.

También define los parámetros esenciales para la modelación estructural, como la aceleración sísmica de la zona y sus factores de amplificación, los análisis de modelación como el estático equivalente o el dinámico espectral

Según la AISC, (2016), se permiten diseñar estructuras que sean capaces de disipar energía y mostrar ductilidad, claves para sistemas metálicos con alta capacidad de deformación.

La NEC-15, (2015), establece requerimientos muy rigurosos para el análisis de viviendas multifamiliares, ya que son de uso continuo, definiendo un diseño mas estricto y detallado en términos de estabilidad y capacidad portante.

Según Torrenti et al., (2018), los sistemas metálicos y losas colaborantes garantizan edificaciones sismorresistentes que se adaptan a las condiciones sísmicas, contribuyendo la mitigación de riesgos

2.2. Antecedentes

2.2.1. Información referente al proyecto

Este proyecto surgió de la consecuencia de profundizar los conocimientos referentes a la ingeniería sísmica, induciendo al investigador a modelar una estructura que sea capaz de soportar un sismo de acuerdo a la información registrada en los últimos 75 años. De acuerdo con el Instituto Geofísico, (2016), en Canoa, se requiere considerar particularidades sísmicas y geotécnicas de la zona, debido a su ubicación de elevada amenaza sísmica.

Con base en este contexto, el proyecto se plantea como una propuesta que aplica herramientas de modelación computacional y principios de la NEC-15 para diseñar una vivienda multifamiliar de tres niveles con estructura metálica y

losas colaborantes, mejorando la eficiencia estructural y reduciendo la vulnerabilidad sísmica en la zona de estudio.

Estos antecedentes justifican la aplicación de modelación estructural avanzada y el cumplimiento de la NEC-15 para diseñar viviendas multifamiliares seguras y eficientes en la parroquia Canoa.

2.2.2. Contexto previo al proyecto

Se realizó una recopilación de datos sísmicos de acuerdo a la zonificación y normativa vigente, considerando estudios que enfatizan la importancia de adoptar como un modelo compuesto con estructura metálica y losa colaborante para mejorar el desempeño sísmico.

Haciendo una revisión en proyectos similares, se comprobó la eficacia del sistema estructural planteado, ya que se ha demostrado la buena capacidad de disipar energía ante un sismo, lo cual garantiza la estabilidad de la estructura.

Esta información recopilada fue fundamental para sustentar el diseño estructural y asegurar el cumplimiento de los requisitos de seguridad y funcionalidad exigidos para la edificación.

2.3. Trabajos relacionados

En Europa, Nam (2019) evaluó el comportamiento sísmico de un pórtico metálico con muros de mampostería durante el terremoto de Italia 2016, mostrando que los sistemas compuestos acero–concreto mejoran la rigidez y disipación de energía.

Roa (2012), en su tesis de grado en la Universidad de Chile, analizó el comportamiento sísmico de edificios con marcos autocentrantes de acero mediante análisis no lineal pushover y referencia normativa FEMA P695. El estudio incluyó modelación de sistemas compuestos acero-concreto con losas colaborantes, siendo un aporte importante para el predimensionamiento de sistemas metálicos de mediana altura.

López Paredes (2017) comparó sistemas estructurales con cimentación tradicional y aisladores sísmicos en seis casas de un conjunto residencial en Quito. El estudio concluyó que los aisladores sísmicos mejoran el desempeño sísmico al reducir desplazamientos y daños estructurales, además de evaluar aspectos técnicos, económicos y operativos.

Mazamba Solórzano (2022) presenta el diseño y análisis cuantitativo de viviendas habitacionales de una planta con estructura metálica en Montecristi. El estudio incluye cálculos estructurales y una evaluación de viabilidad técnica y económica, con el objetivo de proporcionar una alternativa de vivienda económica y resistente a sismos para familias de bajos recursos.

Capítulo III: Desarrollo de la propuesta

Con el objetivo de asegurar la seguridad estructural y eficiencia constructiva, se presenta la modelación de una vivienda multifamiliar de tres niveles con estructura metálica y losas colaborantes, diseñada bajo la normativa NEC 15.

3.1. Análisis las condiciones sismorresistentes

Para el diseño estructural de la vivienda multifamiliar, se determinaron los parámetros sísmicos de la zona según la NEC 15, considerando la aceleración sísmica básica, el tipo de suelo y la categoría de uso de la edificación, permitiendo calcular las cargas sísmicas y garantizar que la estructura cumpla con los requisitos de desempeño y seguridad ante un sismo.

3.1.1. Características sísmicas locales

Canoa está ubicado geográficamente en la costa manabita, lo cual, de acuerdo al mapa de zonificación sísmica, es de elevada sismicidad, donde se han registrado eventos sísmicos considerables como el sismo del 2016, razón por la cual se debe considerar de manera muy acertada los factores de diseño en el modelo estructural. Según la NEC-15, se debe utilizar la aceleración sísmica y la clasificación del suelo local, que influyen directamente en las fuerzas sísmicas que deben soportar la estructura, considerando como parámetros importantes para la estabilidad de la vivienda.

En la Ilustración 1, en el mapa de zonificación sísmica, se observa la clasificación de las áreas según el nivel de riesgo sísmico, lo cual define los parámetros para el análisis estructural

De acuerdo con la NEC-15, Canoa está ubicada en una zona de alta sismicidad por lo que se debe diseñar las estructuras para garantizar la seguridad estructural.

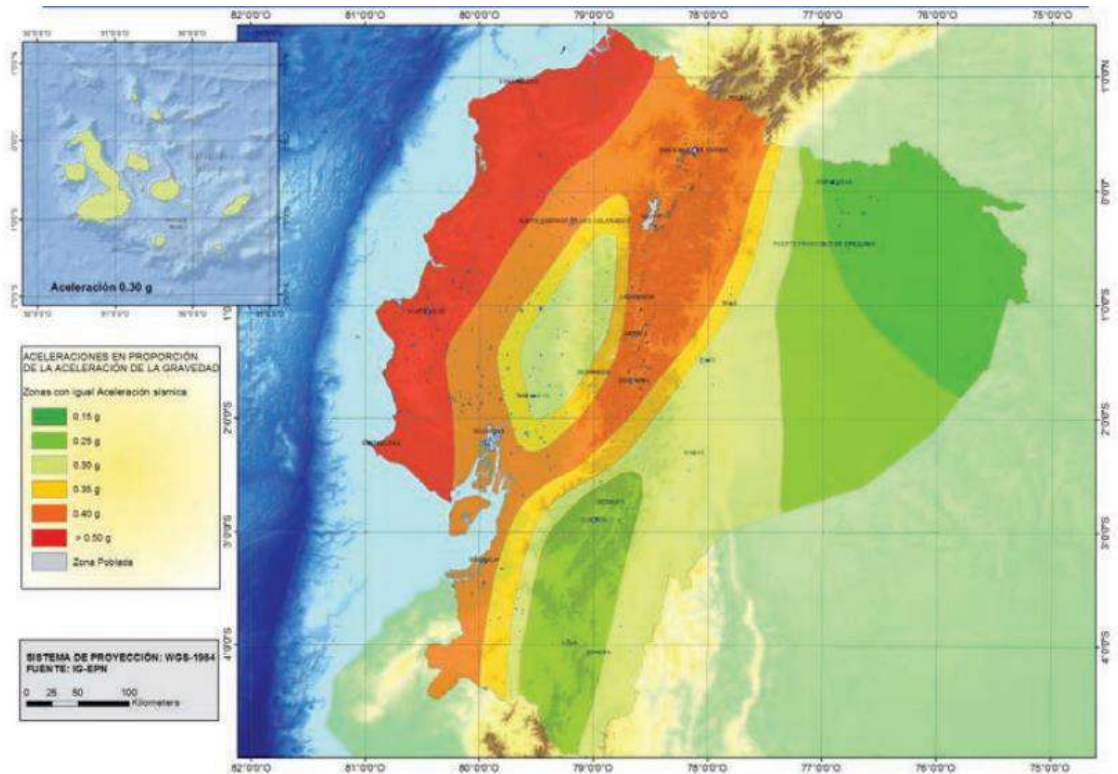


Ilustración 1: Mapa de zona sísmica para propósito de diseño (NEC-15)

3.1.2. Directrices técnicas de diseño conforme a la NEC-15

La NEC-15 fija las cargas, factores y métodos para el diseño sísmico, asegurando la resistencia y estabilidad de estructuras metálicas con losas colaborantes en Ecuador. Además, considera el tipo de suelo, categoría del edificio y ductilidad del sistema para asegurar resistencia y estabilidad. Estas normas son clave para optimizar el diseño de estructuras metálicas con losas colaborantes en Ecuador.

Según lo establecido en la NEC-15, se determinaron los parámetros normativos esenciales para el diseño estructural sismorresistente de la vivienda multifamiliar:

Zona sísmica: VI (Muy alta), Tabla 1, Sección 3.1.1, NEC-SE-DS.

Factor zona sísmica: $z = 0.50$, Tabla 1, Sección 3.1.1, NEC-SE-DS.

Zona sísmica	I	II	III	IV	V	VI
Valor factor Z	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥ 0.50
Caracterización del peligro sísmico	Intermedia	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy alta

Tabla 1: Valores del factor z en función de la zona sísmica (NEC-15)

Tipo de suelo: D, Tabla 2, Sección 3.2.1, NEC-SE-DS.

Tipo de perfil	Descripción	Definición
A	Perfil de roca competente	$V_s \geq 1500$ m/s
B	Perfil de roca de rigidez media	1500 m/s $> V_s \geq 760$ m/s
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios	760 m/s $> V_s \geq 360$ m/s $N \geq 50.0$ $S_u \geq 100$ kPa
D	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o Perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	360 m/s $> V_s \geq 180$ m/s $50 > N \geq 15.0$ 100 kPa $> S_u \geq 50$ kPa
E	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante, o Perfil que contiene un espesor total H mayor de 3 m de arcillas blandas	$V_s < 180$ m/s $IP > 20$ $w \geq 40\%$ $S_u < 50$ kPa

Tabla 2: Clasificación de los perfiles de suelo (NEC-15)

Coeficiente de amplificación de suelo en la zona de período corto:

Fa= 1.12, Tabla 3, Sección 3.2.2 NEC-SE-DS.

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥0.5
A	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
B	1	1	1	1	1	1
C	1.4	1.3	1.25	1.23	1.2	1.18
D	1.6	1.4	1.3	1.25	1.2	1.12
E	1.8	1.4	1.25	1.1	1.0	0.85
F	Véase Tabla 2 : Clasificación de los perfiles de suelo y la sección 10.5.4					

Tabla 3: Tipo de suelo y factores de sitio Fa (NEC-15)

Coeficiente de amplificación de las ordenadas del espectro elástico de respuesta: Fd= 1.11, Tabla 4, Sección 3.2.2 NEC-SE-DS.

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥0.5
A	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
B	1	1	1	1	1	1
C	1.36	1.28	1.19	1.15	1.11	1.06
D	1.62	1.45	1.36	1.28	1.19	1.11
E	2.1	1.75	1.7	1.65	1.6	1.5
F	Véase Tabla 2 : Clasificación de los perfiles de suelo y 10.6.4					

Tabla 4: Tipo de suelo y factores de sitio Fd (NEC-15)

Coeficiente de comportamiento Inelástico del subsuelo: $F_s = 1.40$, Tabla 5, Sección 3.2.2 NEC-SE-DS.

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥ 0.5
A	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
B	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
C	0.85	0.94	1.02	1.06	1.11	1.23
D	1.02	1.06	1.11	1.19	1.28	1.40
E	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2
F	Véase Tabla 2 : Clasificación de los perfiles de suelo y 10.6.4					

Tabla 5: Tipo de suelo y factores de comportamiento inelástico del subsuelo F_s (NEC-15)

Factor de Importancia: $I = 1.0$, Tabla 6, Sección 4.1, NEC-SE-DS

Categoría	Tipo de uso, destino e importancia	Coeficiente I
Edificaciones esenciales	Hospitales, clínicas, Centros de salud o de emergencia sanitaria. Instalaciones militares, de policía, bomberos, defensa civil. Garajes o estacionamientos para vehículos y aviones que atienden emergencias. Torres de control aéreo. Estructuras de centros de telecomunicaciones u otros centros de atención de emergencias. Estructuras que albergan equipos de generación y distribución eléctrica. Tanques u otras estructuras utilizadas para depósito de agua u otras sustancias anti-incendio. Estructuras que albergan depósitos tóxicos, explosivos, químicos u otras sustancias peligrosas.	1.5
Estructuras de ocupación especial	Museos, iglesias, escuelas y centros de educación o deportivos que albergan más de trescientas personas. Todas las estructuras que albergan más de cinco mil personas. Edificios públicos que requieren operar continuamente	1.3
Otras estructuras	Todas las estructuras de edificación y otras que no clasifican dentro de las categorías anteriores	1.0

Tabla 6: Tipo de uso, destino e importancia de la estructura (NEC-15)

El Espectro de respuesta elástico de aceleraciones: $S_a(T_a)$, Sección 3.3.1 NEC-SE-DS, se calcula con los siguientes factores y coeficientes:

El factor de zona sísmica, Z .

Tipo de suelo del sitio de emplazamiento de la estructura, D .

Coeficientes de amplificación del suelo, F_a , F_d y F_s .

Razón entre aceleración espectral $S_a(T=0.1s)$ y el PGA para el período de retorno seleccionado, $\eta=1.80$ (Costa, Manabí).

Factor de reducción de respuesta: $R=8$, para pórticos especiales sismorresistentes de acero laminado en caliente o con elementos armados de placas, Sección 6.3.4, NEC-SE-DS, Tabla 7.

Sistemas Estructurales Dúctiles	R
Pórticos especiales sismo resistentes, de hormigón armado con vigas banda, con muros estructurales de hormigón armado o con diagonales rigidizadoras.	7
Pórticos resistentes a momentos	
Pórticos especiales sismo resistentes, de hormigón armado con vigas descolgadas.	8
Pórticos especiales sismo resistentes, de acero laminado en caliente o con elementos armados de placas.	8
Pórticos con columnas de hormigón armado y vigas de acero laminado en caliente.	8
Otros sistemas estructurales para edificaciones	
Sistemas de muros estructurales dúctiles de hormigón armado.	5
Pórticos especiales sismo resistentes de hormigón armado con vigas banda.	5

Tabla 7: Coeficiente R para sistemas estructurales dúctiles (NEC-15)

3.2. Dimensionamiento de los elementos estructurales

La selección de los elementos fundamentales de la estructura consiste en definir los componentes principales como columnas, vigas y losas que garantizan la resistencia y estabilidad del edificio, considerando su función, disposición y comportamiento ante cargas gravitacionales y sísmicas.

3.2.1. Solicitaciones verticales y sísmicas

En el diseño estructural, las solicitaciones sobre la edificación se agrupan en dos tipos principales: verticales, originadas por el peso propio de los materiales y las cargas de uso (gravitacionales), y laterales, generadas por la acción de los sismos. Ambas deben ser consideradas para garantizar la estabilidad y seguridad de la estructura frente a diferentes condiciones de carga.

El software ETABS calcula automáticamente el peso propio de los elementos estructurales para la carga muerta; por ello, se evaluó y calculó por separado el peso de los acabados, que se asignará manualmente a la estructura.

Carga muerta de acabados D.

Carga muerta acabados (D)	
Revestimiento de piso con cerámica	0,050 T/m ²
Pared Poliestireno reforzado (Panel PSB60)	0,005 T/m ²
Peso mortero e=3 cm (Ambas caras)	0,070 T/m ²
Cielo raso tipo Gypsum e=15 mm	0,015 T/m ²
Instalaciones varias	0,020 T/m ²
Carga muerta de acabados:	D = 0,16 T/m²

Tabla 8: Cálculo de carga muerta de acabados (Autoría propia)

La carga muerta que se asignará a la estructura es: $D = 0.16 \text{ T/m}^2$.

- **Carga muerta sobre cubierta: Dc**

Carga muerta de cubierta (Dc)	
Revestimiento de piso con cerámica	0,000 T/m ²
Pared Poliestireno reforzado (Panel PSB60) h=60cm	0,005 T/m ²
Peso mortero e=3 cm (Ambas caras)	0,020 T/m ²
Instalaciones varias	0,005 T/m ²
Carga muerta de cubierta:	Dc = 0,03 T/m²

Tabla 9: Cálculo de carga muerta sobre la cubierta (Autoría propia)

La carga muerta que se asignará a la estructura es: D = 0.03 T/m².

- **Carga viva L:** Tabla de sobrecargas mínimas uniformemente distribuidas, Sección 4.2.1, NEC-SE-CG.

Ocupación o Uso	Carga uniforme (kN/m ²)	Carga concentrada (kN)
Hospitales		
Sala de quirófanos, laboratorios	2.90	4.50
Sala de pacientes	2.00	4.50
Corredores en pisos superiores a la planta baja	4.00	4.50
Instituciones penales		
Celdas	2.00	
Corredores	4.80	
Pasamanos, guardavías y agarraderas de seguridad	Véase sección 4.5 ASCE/SEI 7-10	
Pasarelas y plataformas elevadas (excepto rutas de escape)	3.00	
Patios y terrazas peatonales	4.80	
Pisos para cuarto de máquinas de elevadores (áreas de 2600 mm²)		1.40
Residencias		
Viviendas (unifamiliares y bifamiliares)	2.00	
Hoteles y residencias multifamiliares		
Habitaciones	2.00	
Salones de uso público y sus corredores	4.80	

Tabla 10: Sobrecargas mínimas uniformemente distribuidas (NEC-15)

La carga viva que se asignará a la estructura es: L = 0.20 T/m²,

correspondiente a residencias multifamiliares.

Carga sísmica E: las cargas EspX y EspY, son cargas dinámicas espectrales, las cargas SX y SY son cargas estáticas, determinadas a partir del espectro de respuesta sísmica. En la siguiente sección se calcularán mediante el análisis modal espectral, donde se combinan fuerzas modales por los modos de vibración y el espectro de la norma, y las cargas estáticas como fuerzas horizontales equivalentes, de acuerdo al peso sísmico reactivo, la aceleración y los factores de uso, distribuidas según el peso y altura de cada nivel.

3.2.2. Dimensionamiento de los elementos estructurales

El dimensionamiento y verificación de los elementos estructurales metálicos se realizó en ETABS v16.2.1, siguiendo los lineamientos de la NEC-15 y la norma AISC 360-10 para acero estructural. Se definieron secciones iniciales para vigas y columnas, que se ajustaron según las fuerzas y momentos del análisis sísmico, asegurando que la (D/C) cumpla con los factores de resistencia requeridos.

Para este sistema estructural se han seleccionado secciones compuestas formadas por la unión de dos perfiles U, conformando elementos compuestos para ofrecer mayor rigidez torsional y flexionante. Se aplicó en vigas y columnas con acero estructural ASTM A36, con un F_y de 2530 Kg/cm².

Las dimensiones iniciales se estimaron de acuerdo al predimensionamiento empírico, considerando a las distancias entre ejes y las cargas aplicadas para un comportamiento estructural funcional y estable. La sección de los elementos permite inercias mayores respecto al eje débil, mejorando la estabilidad lateral.

Dichas secciones se crearon en el modelo estructural, donde el análisis verificó su optimización y garantía estructural de acuerdo con la normativa vigente.

Columna de acero estructural: 250 x 200 x 6 mm, ASTM A36

Fluencia del acero: $F_y = 2530 \text{ Kg/cm}^2$, (36 ksi)

The screenshot shows the 'Frame Section Property Data' dialog box. It is divided into several sections: 'General Data' with fields for Property Name (Col 250x200x6), Material (A36), Display Color (cyan), and Notes; 'Shape' with a dropdown for Section Shape (Steel Tube); 'Section Property Source' with a dropdown for Source (User Defined); and 'Section Dimensions' with input fields for Total Depth (250 mm), Total Width (200 mm), Flange Thickness (6 mm), Web Thickness (6 mm), and Corner Radius (24,9 mm). On the right, there is a visual representation of the steel tube section with a coordinate system (2, 3) and a 'Property Modifiers' section with a 'Modify/Show Modifiers...' button and the text 'Currently Default'.

Ilustración 2: Columna de acero estructural 250x200x6 mm (Autoría propia)

Columna de acero estructural: 200 x 5 mm, ASTM A36

Fluencia del acero: $F_y = 2530 \text{ Kg/cm}^2$, (36 ksi)

The screenshot shows the 'Frame Section Property Data' dialog box for a square steel tube column. The 'General Data' section includes 'Property Name' (Col 200x5), 'Material' (A36), 'Display Color' (magenta), and 'Notes'. The 'Shape' section shows 'Section Shape' as 'Steel Tube'. The 'Section Property Source' is 'User Defined'. The 'Section Dimensions' section lists: Total Depth (200 mm), Total Width (200 mm), Flange Thickness (5 mm), Web Thickness (5 mm), and Corner Radius (14.4 mm). A diagram on the right shows a square cross-section with a coordinate system (2, 3). The 'Property Modifiers' section shows 'Modify/Show Modifiers...' and 'Currently Default'.

Ilustración 3: Columna de acero estructural 200x5 mm (Autoría propia)

Viga de acero estructural: 300 x 200 x 6 mm, ASTM A36

Fluencia del acero: $F_y = 2530 \text{ Kg/cm}^2$, (36 ksi)

The screenshot shows the 'Frame Section Property Data' dialog box for a rectangular steel tube beam. The 'General Data' section includes 'Property Name' (Viga 300x200x6), 'Material' (A36), 'Display Color' (blue), and 'Notes'. The 'Shape' section shows 'Section Shape' as 'Steel Tube'. The 'Section Property Source' is 'User Defined'. The 'Section Dimensions' section lists: Total Depth (300 mm), Total Width (200 mm), Flange Thickness (6 mm), Web Thickness (6 mm), and Corner Radius (22.6 mm). A diagram on the right shows a rectangular cross-section with a coordinate system (2, 3). The 'Property Modifiers' section shows 'Modify/Show Modifiers...' and 'Currently Default'.

Ilustración 4: Viga de acero estructural 300x200x6 mm (Autoría propia)

Viga de acero estructural: 250 x 200 x 6 mm, ASTM A36

Fluencia del acero: $F_y = 2530 \text{ Kg/cm}^2$, (36 ksi)

The screenshot shows the 'Frame Section Property Data' dialog box. The 'General Data' section includes 'Property Name' (Viga 250x200x6), 'Material' (A36), 'Display Color' (cyan), and 'Notes' (Modify/Show Notes...). The 'Shape' section shows 'Section Shape' (Steel Tube). The 'Section Property Source' section shows 'Source: User Defined'. The 'Section Dimensions' section includes 'Total Depth' (250 mm), 'Total Width' (200 mm), 'Flange Thickness' (6 mm), 'Web Thickness' (6 mm), and 'Corner Radius' (13,8 mm). The 'Property Modifiers' section shows 'Modify/Show Modifiers...' and 'Currently Default'. A diagram on the right shows a rectangular cross-section with a coordinate system (2, 3).

Ilustración 5: Viga de acero estructural 250x200x6 mm (Autoría propia)

Viga de acero estructural: 200 x 100 x 4 mm, ASTM A36

Fluencia del acero: $F_y = 2530 \text{ Kg/cm}^2$, (36 ksi)

The screenshot shows the 'Frame Section Property Data' dialog box. The 'General Data' section includes 'Property Name' (Viga 200x100x4), 'Material' (A36), 'Display Color' (green), and 'Notes' (Modify/Show Notes...). The 'Shape' section shows 'Section Shape' (Steel Tube). The 'Section Property Source' section shows 'Source: User Defined'. The 'Section Dimensions' section includes 'Total Depth' (200 mm), 'Total Width' (100 mm), 'Flange Thickness' (4 mm), 'Web Thickness' (4 mm), and 'Corner Radius' (10 mm). The 'Property Modifiers' section shows 'Modify/Show Modifiers...' and 'Currently Default'. A diagram on the right shows a rectangular cross-section with a coordinate system (2, 3).

Ilustración 6: Viga de acero estructural 200x100x4 mm (Autoría propia)

Viga de acero estructural: 125 x 100 x 4 mm, ASTM A36

Fluencia del acero: $F_y = 2530 \text{ Kg/cm}^2$, (36 ksi)

Frame Section Property Data

General Data

Property Name: Viga 125x100x4

Material: A36

Display Color: Change...

Notes: Modify/Show Notes...

Shape

Section Shape: Steel Tube

Section Property Source

Source: User Defined

Section Dimensions

Dimension	Value	Unit
Total Depth	125	mm
Total Width	100	mm
Flange Thickness	4	mm
Web Thickness	4	mm
Corner Radius	12.9	mm

Property Modifiers

Modify/Show Modifiers...

Currently Default

Ilustración 7: Viga de acero estructural 125x100x4 mm (Autoría propia)

Correa G de acero estructural: 105 x 50 x 15 x 4 mm, ASTM A36

Fluencia del acero: $F_y = 2530 \text{ Kg/cm}^2$, (36 ksi)

Frame Section Property Data

General Data

Property Name: G 100x50x15x4

Material: A36

Display Color: Change...

Notes: Modify/Show Notes...

Shape

Section Shape: Cold Formed C

Section Property Source

Source: User Defined

Section Dimensions

Dimension	Value	Unit
Web Depth	100	mm
Flange Width	50	mm
Thickness	4	mm
Radius	17.1	mm
Lip Depth	15	mm

Property Modifiers

Modify/Show Modifiers...

Currently Default

Mirror

☐ Mirror About Local 2-Axis

Ilustración 8: Correa G de acero estructural 100x50x15x4 mm (Autoría propia)

- Losa colaborante (Tipo Deck): Altura total: 11 cm; 5.50 cm de concreto $F'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$

Fluencia mínima: $F_y = 2300 \text{ Kg/cm}^2$

Calidad estructural: Acero galvanizado, Grado 33, ASTM A653

Refuerzo de corte: Perno stud 19 mm, ASTM-A108, $F_u=4200 \text{ Kg/cm}^2$

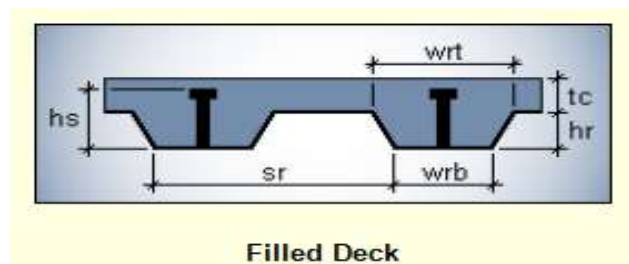


Ilustración 9: Losa colaborante tipo Deck 0.76 mm (Autoría propia)

Deck Property Data

General Data	
Property Name	Losa Deck 0.76 mm
Type	Filled
Slab Material	Fe 210
Deck Material	STEEL DECK
Modeling Type	Membrane
Modifiers (Currently Default)	Modify/Show...
Display Color	Change...
Property Notes	Modify/Show...

Property Data	
Slab Depth, tc	55 mm
Rib Depth, hr	55 mm
Rib Width Top, wrt	175 mm
Rib Width Bottom, wrb	125 mm
Rib Spacing, sr	300 mm
Deck Shear Thickness	0.7 mm
Deck Unit Weight	0.007 tonf/m ²
Shear Stud Diameter	19 mm
Shear Stud Height, hs	75 mm
Shear Stud Tensile Strength, Fu	4200 kgf/cm ²

Ilustración 10: Propiedades y medidas de Losa colaborante (Autoría propia)

La Ilustración 10, muestra las medidas y características de la losa colaborante, con referencia a la Ilustración 9.

3.3. Verificación de los resultados del análisis estructural

Verificaremos los resultados obtenidos para garantizar las condiciones de estabilidad de la estructura.

3.3.1. Definición del modelo estructural planteado

Es clave definir con precisión el modelo estructural, ya que una buena modelación prevé su comportamiento sísmico para garantizar que los resultados sean confiables para el diseño propuesto.

Se empleará el **método dinámico espectral**, que considera la respuesta modal y el tipo de suelo, logrando un diseño sísmico más preciso que el método estático.

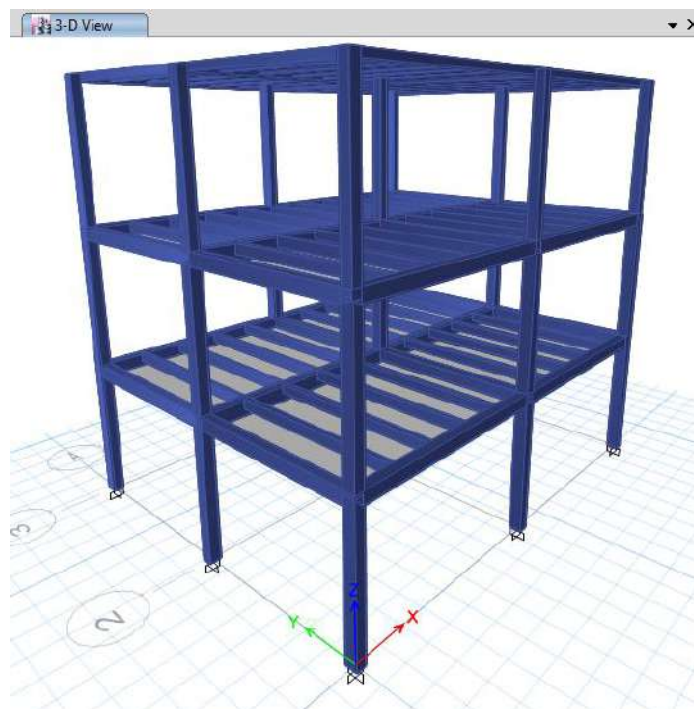


Ilustración 11: Modelo estructural (Autoría propia)

3.3.2. Diseño del espectro de respuesta elástico $S_a(T)$

Se muestra la aceleración máxima en el espectro de respuesta, considerando las condiciones sísmicas de la estructura. La evaluación de las demandas dinámica es esencial en este análisis sismorresistente; además, la definición de la zona sísmica, tipo de suelo y parámetros del espectro de respuesta, se calculan conforme a las normas vigentes. Sabemos que el software de diseño, modela de manera automática el espectro de respuesta para el análisis modal.

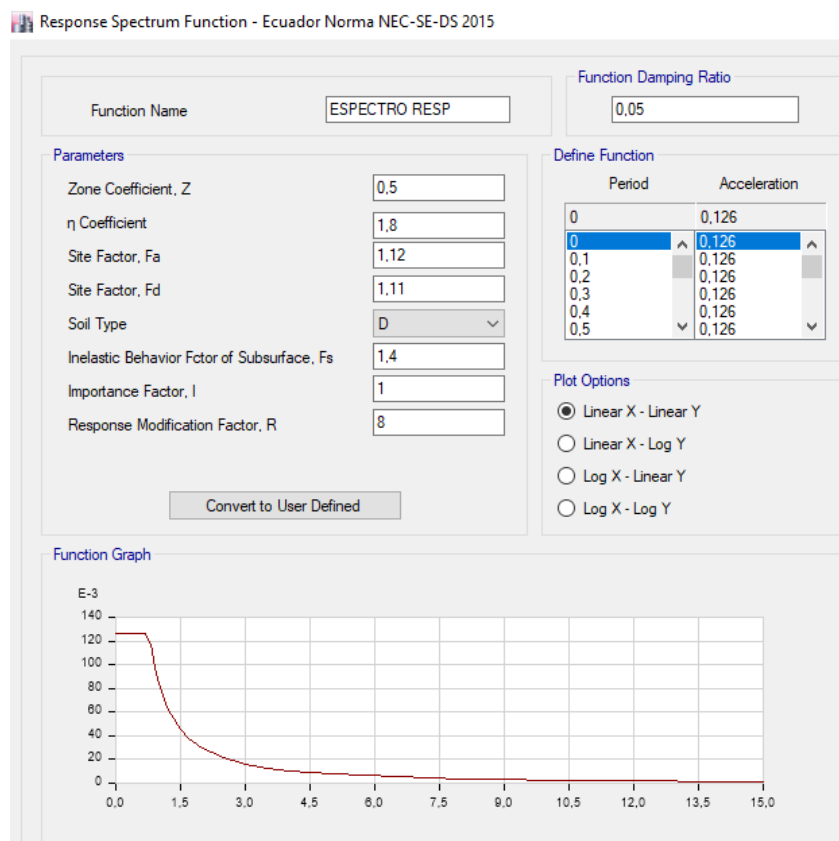


Ilustración 12: Espectro de respuesta elástico de aceleraciones (Autoría propia)

Después de definido el espectro, se crea un caso de carga “Response Spectrum” en las direcciones X y Y, asociado al análisis modal. Los modos de

vibración se combinan mediante SRSS o CQC para obtener las fuerzas sísmicas equivalentes, que permiten evaluar la respuesta dinámica de la estructura.

Load Case Data

General

Load Case Name: Espectro X

Load Case Type: Response Spectrum

Exclude Objects in this Group: Not Applicable

Mass Source: Previous (MASA 1)

Loads Applied

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U1	ESPECTRO RESP	9,8067
Acceleration	U2	ESPECTRO RESP	3,2689

Other Parameters

Modal Load Case: Modal

Modal Combination Method: CQC

☐ Include Rigid Response

Rigid Frequency, f1:

Rigid Frequency, f2:

Periodic + Rigid Type:

Earthquake Duration, td:

Directional Combination Type: SRSS

Absolute Directional Combination Scale Factor:

Modal Damping: Constant at 0,05

Diaphragm Eccentricity: 0 for All Diaphragms

Ilustración 13: Caso de carga espectral X (Autoría propia)

Load Case Data

General

Load Case Name: Espectro Y

Load Case Type: Response Spectrum

Exclude Objects in this Group: Not Applicable

Mass Source: Previous (MASA 1)

Loads Applied

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U2	ESPECTRO RESP	9,8067
Acceleration	U1	ESPECTRO RESP	3,2689

Other Parameters

Modal Load Case: Modal

Modal Combination Method: CQC

☐ Include Rigid Response

Rigid Frequency, f1:

Rigid Frequency, f2:

Periodic + Rigid Type:

Earthquake Duration, td:

Directional Combination Type: SRSS

Absolute Directional Combination Scale Factor:

Modal Damping: Constant at 0,05

Diaphragm Eccentricity: 0 for All Diaphragms

Ilustración 14: Caso de carga espectral Y (Autoría propia)

3.3.3. Asignación de cargas verticales

- Definición de los patrones de carga:

Menú: Define → Load Patterns.

- **Dead:** cargas muertas (peso propio, acabados permanentes).
- **Live:** cargas vivas (ocupación, mobiliario, etc.).
- **Seismic:** fuerzas laterales sísmicas o espectrales.

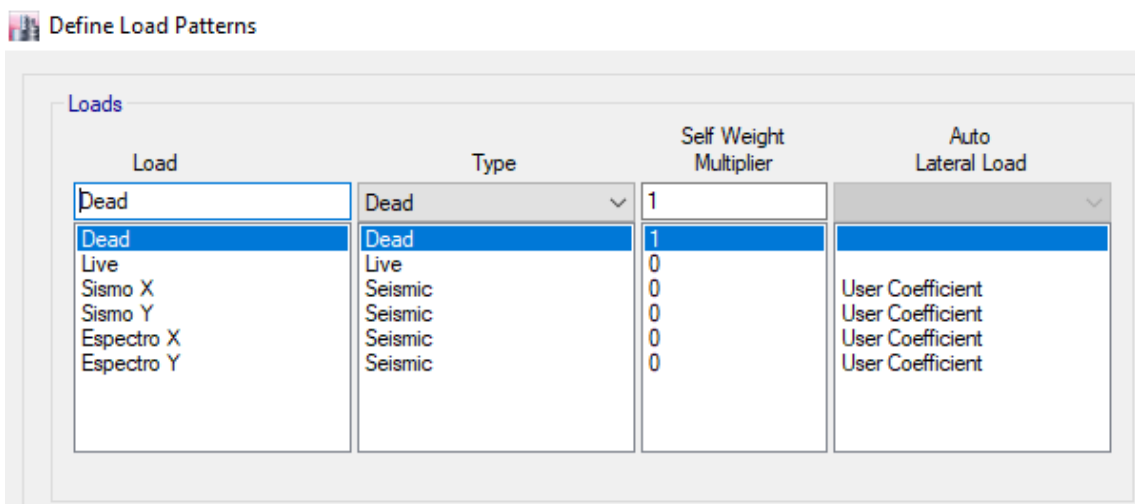


Ilustración 15: Definición de los patrones de carga (Autoría propia)

La Ilustración 15 muestra los patrones de cargas ingresados en ETABS.

Self Weight Multiplier: Factor que multiplica el peso propio de los elementos para incluirlo cuando se ejecuta ese caso:

“1” para que ETABS auto incluya el peso propio en el caso Dead,

“0” en Live o Seismic (no quiero que vuelva a sumar el peso propio).

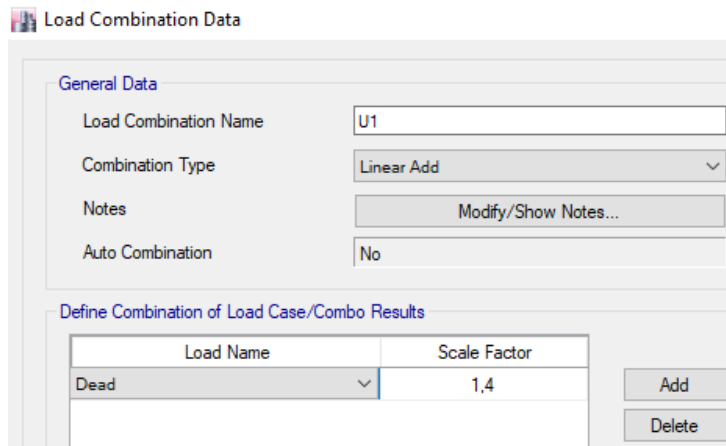
User Coefficient: indica que usarás un coeficiente manual (el que definas luego en Define → Load Cases → Seismic).

- **Combinaciones de cargas:**

Menú: Define → Load Combinations.

Según la NEC 15 (NEC SE CG y NEC SE DS), las combinaciones de carga deben incluir estados límite últimos y de servicio, considerando tanto cargas sísmicas estáticas como modales. A continuación, se definen las combinaciones.

Combo (D+L): estado de servicio, Ilustración 16.



Load Combination Data

General Data

Load Combination Name: U1

Combination Type: Linear Add

Notes: Modify/Show Notes...

Auto Combination: No

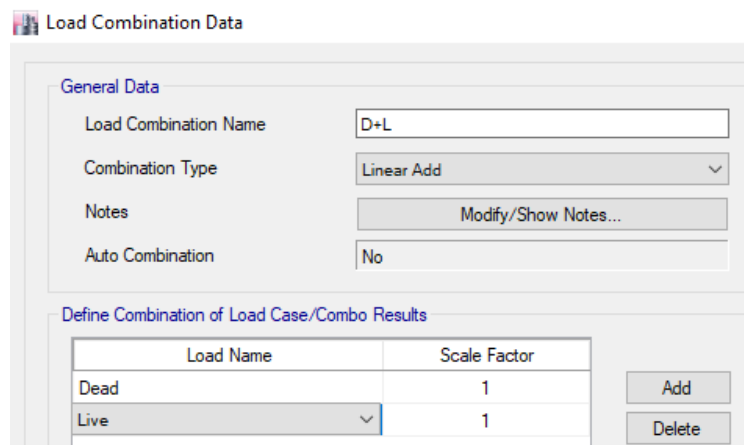
Define Combination of Load Case/Combo Results

Load Name	Scale Factor
Dead	1.4

Add Delete

Ilustración 16: Combo D+L (Autoría propia)

- **Combo (U1):** 1.4 D, Ilustración 17



Load Combination Data

General Data

Load Combination Name: D+L

Combination Type: Linear Add

Notes: Modify/Show Notes...

Auto Combination: No

Define Combination of Load Case/Combo Results

Load Name	Scale Factor
Dead	1
Live	1

Add Delete

Ilustración 17: Combo U1 (Autoría propia)

- **Combo (U2): 1.2 D + 1.6 L, Ilustración 18**

 Load Combination Data

General Data

Load Combination Name: U2

Combination Type: Linear Add

Notes: [Modify/Show Notes...](#)

Auto Combination: No

Define Combination of Load Case/Combo Results

Load Name	Scale Factor
Dead	1.2
Live	1.6

[Add](#) [Delete](#)

Ilustración 18: Combo U2 (Autoría propia)

- **Combo (U3): 1.2 D + 0.5 L, Ilustración 19**

 Load Combination Data

General Data

Load Combination Name: U3

Combination Type: Linear Add

Notes: [Modify/Show Notes...](#)

Auto Combination: No

Define Combination of Load Case/Combo Results

Load Name	Scale Factor
Dead	1.2
Live	0.5

[Add](#) [Delete](#)

Ilustración 19: Combo U3 (Autoría propia)

- **Combo (U4): 1.2 D + 1.0 L, Ilustración 20**

General Data

Load Combination Name: U4

Combination Type: Linear Add

Notes: [Modify/Show Notes...](#)

Auto Combination: No

Define Combination of Load Case/Combo Results

Load Name	Scale Factor
Dead	1.2
Live	1

[Add](#) [Delete](#)

Ilustración 20: Combo U4 (Autoría propia)

Combo (U5): 1.2 D + 1.0 L + 1.0 E, Ilustración 21 y 22

Load Combination Data

General Data

Load Combination Name: U5 SX

Combination Type: Linear Add

Notes: Modify/Show Notes...

Auto Combination: No

Define Combination of Load Case/Combo Results

Load Name	Scale Factor
Dead	1.2
Live	1
Sismo X	1

Add Delete

Load Combination Data

General Data

Load Combination Name: U5 SY

Combination Type: Linear Add

Notes: Modify/Show Notes...

Auto Combination: No

Define Combination of Load Case/Combo Results

Load Name	Scale Factor
Dead	1.2
Live	1
Sismo Y	1

Add Delete

Ilustración 21: Combo U5 SX - SY (Autoría propia)

Load Combination Data

General Data

Load Combination Name: U5 ESP X

Combination Type: Linear Add

Notes: Modify/Show Notes...

Auto Combination: No

Define Combination of Load Case/Combo Results

Load Name	Scale Factor
Dead	1.2
Live	1
Espectro X	1

Add Delete

Load Combination Data

General Data

Load Combination Name: U5 ESP Y

Combination Type: Linear Add

Notes: Modify/Show Notes...

Auto Combination: No

Define Combination of Load Case/Combo Results

Load Name	Scale Factor
Dead	1.2
Live	1
Espectro Y	1

Add Delete

Ilustración 22: Combo U5 EspX - EspY (Autoría propia)

Combo (U6): 0.9 D + 1.0 E, Ilustración 18 y 19

Load Combination Data

General Data

Load Combination Name: U6 SX

Combination Type: Linear Add

Notes: Modify/Show Notes...

Auto Combination: No

Define Combination of Load Case/Combo Results

Load Name	Scale Factor
Dead	0.9
Sismo X	1

Add Delete

Load Combination Data

General Data

Load Combination Name: U6 SY

Combination Type: Linear Add

Notes: Modify/Show Notes...

Auto Combination: No

Define Combination of Load Case/Combo Results

Load Name	Scale Factor
Dead	0.9
Sismo Y	1

Add Delete

Ilustración 23: Combo U6 SX - SY (Autoría propia)

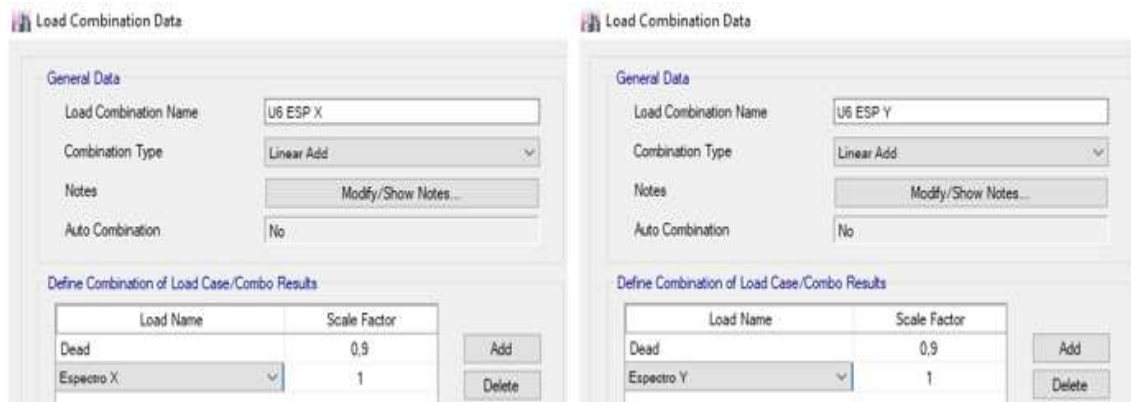


Ilustración 24: Combo U6 EspX -EspY (Autoría propia)

Análisis del comportamiento estructural

Con el modelo estructural definido y las cargas asignadas en ETABS, se evalúa la respuesta de la estructura bajo las combinaciones de carga de la NEC-SE-DS. La evaluación se centra en los siguientes parámetros principales:

- **Análisis modal y masas acumuladas.**

La tabla 11 presenta las razones de participación modal, que muestran el porcentaje de masa que interviene en cada modo de vibración en las direcciones principales y de rotación, junto con su período y contribución a la respuesta dinámica.

TABLE: Modal Participating Mass Ratios											
Case	Mode	Period	UX	UY	UZ	Sum UX	Sum UY	RZ	Sum RX	Sum RY	Sum RZ
		sec									
Modal	1	0,497	0,891	0	0	0,891	0	0	0	0,125	0
Modal	2	0,480	0	0,886	0	0,891	0,886	0	0,130	0,125	0
Modal	3	0,382	0	0	0	0,891	0,886	0,893	0,130	0,125	0,893
Modal	4	0,178	0	0,052	0	0,891	0,938	0	0,615	0,125	0,893
Modal	5	0,176	0,054	0	0	0,945	0,938	0	0,615	0,667	0,893
Modal	6	0,135	0	0	0	0,945	0,938	0,053	0,615	0,667	0,946
Modal	7	0,118	0,056	0	0	1	0,938	0	0,615	1	0,946
Modal	8	0,114	0	0,062	0	1	1	0	1	1	0,946
Modal	9	0,093	0	0	0	1	1	0,054	1	1	1

Tabla 11: Participación de la masa modal (Autoría propia)

- El primer modo corresponde a una vibración traslacional predominante en la dirección X, ya que captura el 89.10 % de la masa en esa dirección. También tiene una ligera componente de rotación alrededor del eje Y (12.50 %). Este es típicamente el modo fundamental en X.
- El segundo modo corresponde a una vibración traslacional en la dirección Y, capturando el 88.60 % de la masa en esa dirección, con una componente secundaria de rotación en Y. Este es el modo fundamental en Y.
- El tercer modo corresponde a una vibración rotacional predominante alrededor del eje Z (torsión), capturando el 89.30 % de la masa en esa rotación. Este es típico en estructuras con asimetría geométrica o de rigidez.

Principales resultados:

- El modo 1 (0.497 s) concentra el 89.1% de la masa en X, indicando un modo traslacional principal en esa dirección.
- El modo 2 (0.480 s) concentra el 88.6% de la masa en Y, siendo el modo traslacional principal en esa dirección.
- El modo 3 (0.382 s) tiene mayor contribución torsional (RZ) con 89.3%.

Las masas acumuladas superan el 94 % en traslación y torsión, cumpliendo el mínimo normativo del 90 % según NEC-SE-DS 6.2.2(e).

- **Evaluación del período de vibración.**

Se verificará que el período fundamental T obtenido en Etabs sea consistente con el aproximado T_a calculado según la NEC-SE-DS, asegurando que la rigidez del modelo cumpla con las características de la estructura y los

límites normativos. Según la Sección 6.3.3 de la NEC-SE-DS, T_a se estima mediante uno de dos métodos establecidos.

Método 1 para estimar el período fundamental de vibración (T_a):

Según la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC), el período aproximado T_a para estructuras de edificación puede calcularse con la fórmula:

$$T_a = C_t h_n^\alpha$$

donde:

C_t = es un coeficiente que depende del tipo de edificio,

h_n = es la altura máxima de la edificación (m),

α = es un exponente empírico que varía según el sistema estructural.

En la Tabla 12, se encuentran los valores específicos de C_t y α .

Tipo de estructura	C_t	α
Estructuras de acero		
Sin arriostramientos	0.072	0.8
Con arriostramientos	0.073	0.75
Pórticos especiales de hormigón armado		
Sin muros estructurales ni diagonales rigidizadoras	0.055	0.9
Con muros estructurales o diagonales rigidizadoras y para otras estructuras basadas en muros estructurales y mampostería estructural	0.055	0.75

Tabla 12: Valores de coeficientes C_t y α (NEC-SE-DS)

Pórticos especiales de estructuras de acero		
$h_n =$	9,12 m	Altura de edificio
$C_t =$	0,072	Sección 6.3.3, NEC-SE-DS
$\alpha =$	0,80	Sección 6.3.3, NEC-SE-DS
CÁLCULO DEL PERÍODO T_a (Método 1)		
$T_a = 0,055 \times 9,12^{0,8} = 0,422 \text{ seg}$		

Tabla 13: Cálculo del período T_a , método 1 (Autoría propia)

Método 2 para calcular el período fundamental de vibración (T):

De acuerdo con la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC), el período fundamental T , puede determinarse mediante un análisis estructural detallado, que considere las propiedades estructurales y las características de deformación de los elementos resistentes, siempre que este análisis esté debidamente fundamentado.

TABLE: Modal Participating Mass Ratios						
Case	Mode	Period	UX	UY	UZ	RZ
		sec				
Modal	1	0,497	0,891	0	0	0
Modal	2	0,480	0	0,886	0	0
Modal	3	0,382	0	0	0	0,893

Tabla 14: Período T obtenido del análisis modal (Autoría propia)

Luego, analizamos el periodo aproximado T_a con el período T calculado del análisis estructural en el ETABS:

Método 1: $T_a = 0,422$ segundos

Método 2: $T = 0,497$ segundos

COMPROBACION DE LOS PERIODOS		
$T_a = C_t h_n^{\alpha}$ Ta =	0,422	Metodo 1
Máximo período T permitido:	0,549	30% del Período calculado Método 1
T (Etabs) =	0,497	Metodo 2
VARIACION MAX 30% DEL PERIODO CALCULADO : 		17,77% OK
El valor del Período T calculado por el Método 2 (Etabs), NO debe ser mayor al 30% del valor del Período Ta calculado con el Método 1.		

Ilustración 25: Comprobación de los períodos T_a vs T (Autoría propia)

Según la Ilustración 25, el período $T=0.497$ s (método 2) difiere solo un 17.77% respecto a $T_a=0.422$ s (método 1), cumpliendo con la NEC-SE-DS 6.3.3.b (máx. 30%).

- **Control de derivas de la estructura analizada.**

Según la NEC-SE-DS (2015), sección 6.3.9 (Control de derivas), la **deriva máxima entre pisos** es el desplazamiento lateral relativo entre dos pisos consecutivos, dividido para la altura del entrepiso. La norma establece límites máximos para estas derivas, con el fin de evitar daños excesivos en elementos no estructurales y asegurar la funcionalidad de la edificación después de un sismo.

En diseño sismorresistente, se permiten ciertas **derivas inelásticas** (deformaciones laterales) siempre que no comprometan la seguridad ni estabilidad.

Según la NEC-SE-DS (2015), sección 6.3.9, las **derivas máximas inelásticas** se estiman tomando las derivas elásticas del análisis y amplificándolas por un

factor relacionado con la ductilidad de la estructura, para reflejar su comportamiento real ante un sismo fuerte.

La norma usa la expresión:

$$\Delta_m = 0.75 R \Delta E$$

donde ΔE es la deriva elástica del análisis, R es el factor de reducción por ductilidad, y 0.75 es un factor de ajuste.

Verificamos del análisis lineal y se comprobó que la **mayor deriva elástica** ocurre por la acción del **sismo estático en la dirección X**, ya que en esa dirección se obtuvo el mayor desplazamiento lateral, como se observa en la ilustración 26.

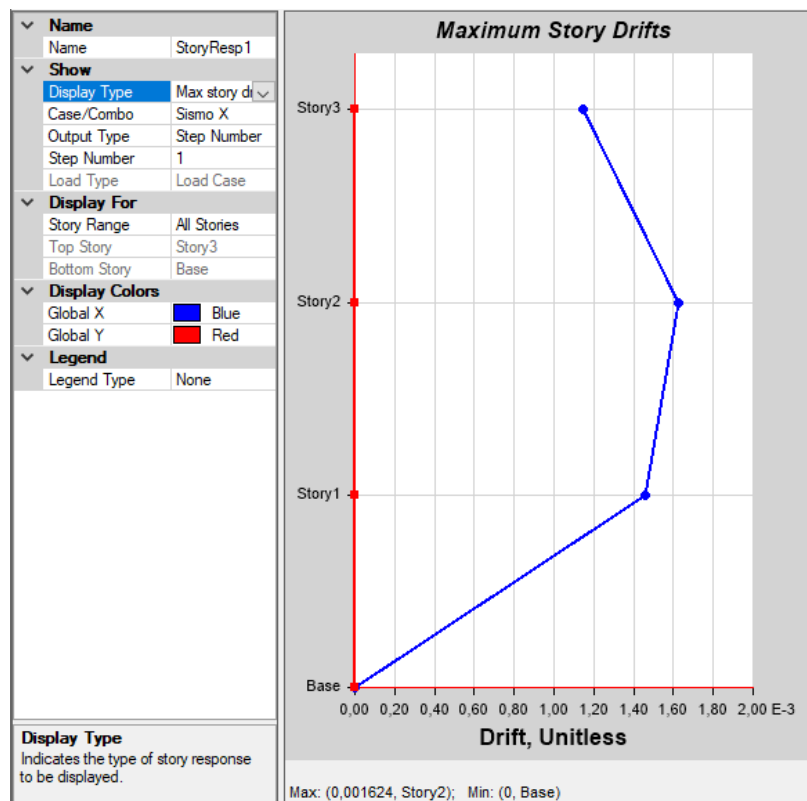


Ilustración 26: Deriva elástica máxima_Etabs (Autoría propia)

Por lo tanto:

$$\Delta E = 0.001624$$

$$R = 8$$

$$\Delta m = 0.75 \times 8 \times 0.001624$$

$$\Delta m = 0.0097$$

Según la NEC-SE-DS, sección 4.2.2, la **deriva máxima entre pisos** no debe superar los límites inelásticos indicados en la Tabla 15, los cuales se expresan como un porcentaje de la altura del piso.

Estructuras de:	Δ_M máxima (sin unidad)
Hormigón armado, estructuras metálicas y de madera	0.02
De mampostería	0.01

Tabla 15: Valores de Dmax (NEC-SE-DS_Parte 1)

Por lo tanto, tomando los valores límite de deriva máxima (Dmax) indicados en la Tabla 15 y comparándolos con la deriva calculada (Dm), se realiza la verificación para comprobar que la estructura cumple con los requisitos establecidos por la norma.

Finalmente, se verificó que las derivas de la estructura están dentro de lo permitido por la norma. En la Ilustración 27 se observa que la deriva máxima calculada (Δ_m) es menor que la deriva máxima admisible (Δ_{max}).

Esto confirma que los desplazamientos laterales son adecuados y no representan riesgo para la seguridad ni el desempeño de la edificación.

- **Control del cortante basal.**

Este control verifica que el cortante basal dinámico espectral cumpla con

COMPROBACION DE DERIVA MAXIMA			
MAX. DERIVA INELASTICA PERMISIBLE	$\Delta_{Max} =$	0,02	2%
MAXIMA DERIVA ELASTICA (ETABS)	$\Delta_E =$	0,001624	
FACTOR DE REDUCCION	$R =$	8	
FACTOR DE AJUSTE		0,75	
DERIVA INELÁSTICA	$\Delta_M =$	0,0097	0,97%
COMPROBACION DE DERIVAS $\Delta_M < \Delta_{Max}$:		0,0097 < 0,02	OK

Ilustración 27: Comprobación de derivas (Autoría propia)

el mínimo exigido por la NEC-SE-DS 6.2.2(b), siendo al menos el 80 % del estático en estructuras regulares y 85 % en irregulares, evitando así la subestimación de las fuerzas sísmicas.

La Tabla 24 valida que los cortantes basales dinámicos mínimos obtenidos (6,79 T en X y 6,76 T en Y) exceden el 80 % del cortante estático de referencia (5,75 T), conforme a lo estipulado en la NEC-SE-DS 6.2.2(b) para estructuras regulares, asegurando que el análisis dinámico cumple con las demandas sísmicas normativas.

CORTANTE BASAL ESTÁTICO				
Sismo X=	7,19 T		V Estático X	
Sismo Y=	7,19 T		V Estático Y	
CORTANTE BASAL DINÁMICO				
Espectro X=	eje X=	6,44 T	eje Y=	2,15 T
Espectro Y=	eje Y=	2,15 T	eje X=	6,41 T
Resultante X=	6,79 T		V Dinámico X	
Resultante Y=	6,76 T		V Dinámico Y	
ESTRUCTURA REGULAR				
Para estructuras regulares se debe cumplir la siguiente condicion:				
Sismo X con Espectro X				
V basal Dinamico > 80% V basal Estatico				
6,79 T > 80% * 7,19 T 6,79 T > 5,75 T OK				
ESTRUCTURA REGULAR				
Para estructuras regulares se debe cumplir la siguiente condicion:				
Sismo Y con Espectro Y				
V basal Dinamico > 80% V basal Estatico				
6,76 T > 80% * 7,19 T 6,76 T > 5,75 T OK				

Ilustración 28: Comprobación de cortantes estático y dinámico (Autoría propia)

De acuerdo con la NEC-SE-DS 6.2.2(b), el cortante basal dinámico resultó superior al 80 % del cortante estático en las direcciones correspondientes para estructuras regulares, cumpliendo los requisitos normativos de estimación mínima de fuerzas sísmicas.

- **Evaluación de la relación Demanda / Capacidad en la Estructura.**

El diseño se realizó mediante el método de diseño basado en fuerzas (DBF), alineado con la filosofía de desempeño de la NEC-15. Este método aplica

factores de carga y de reducción de resistencia para garantizar que la capacidad estructural supere las demandas sísmicas de las combinaciones más críticas.

La comprobación estructural consiste en verificar que la capacidad resistente reducida de cada elemento es mayor o igual a la demanda aumentada:

$$\text{Demanda sísmica} \leq \text{Capacidad Estructural}$$

Esto se puede expresar como una relación adimensional **D/C**, definida como:

$$\frac{Q_u}{\phi R_n} \leq 1.0$$

Donde:

Q_u = Cargas de diseños mayoradas, obtenidas de las combinaciones de la NEC.

ϕR_n = Resistencia de los elementos estructurales reducidas.

Por lo que es equivalente a expresarlo como: $D/C = \frac{\text{Demanda}}{\text{Capacidad}} \leq 1.0$

Las Ilustraciones 29 y 30 muestran los modelos estructurales en planta correspondientes a los niveles ocupativos de la edificación, mientras que la Ilustración 31 presenta el modelo estructural de la cubierta.

Aquí se detallan las columnas y vigas conformadas por acero estructural A36, dimensionadas y verificadas de acuerdo a los requisitos de resistencia, ductilidad y estabilidad ajustados a la normativa vigente. Los gráficos mostrados permiten visualizar de disposición geométrica y estructural de los principales elementos del sistema, y garantiza la correcta disposición de las cargas gravitatorias frente a las demandas sísmicas propuestas.

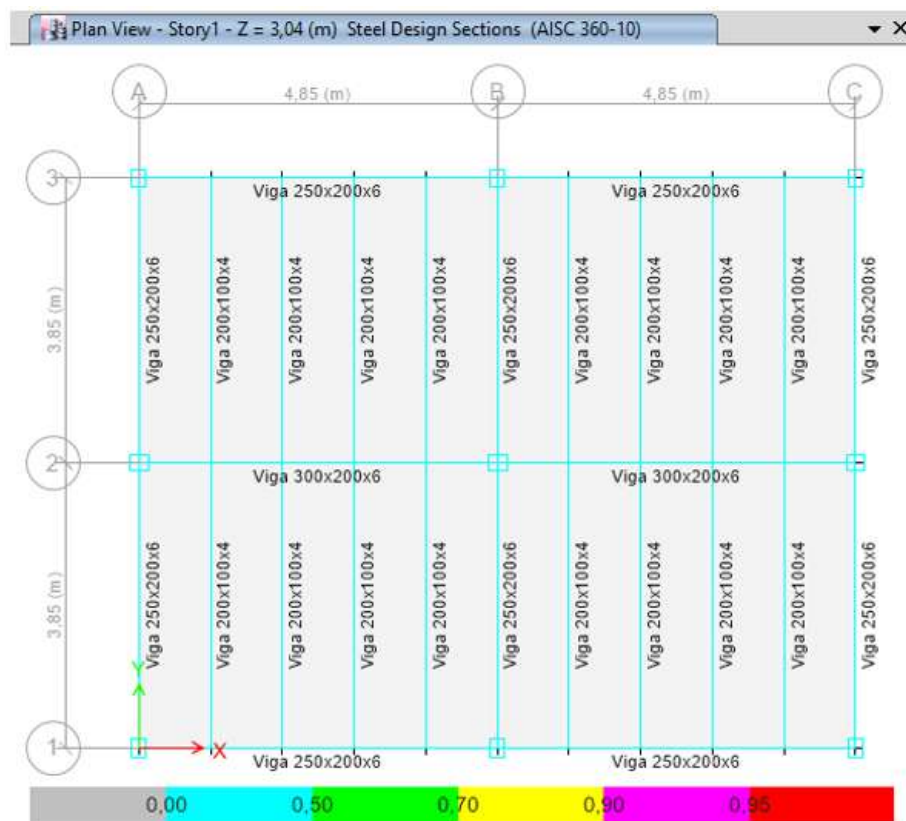


Ilustración 29: Demanda / Capacidad_ Estructura de nivel Z= 3.04 m (Autoría propia)



Ilustración 30: Demanda / Capacidad_ Estructura de nivel Z= 6.08 m (Autoría propia)



Ilustración 31: Demanda / Capacidad_ Estructura de nivel Z= 9.12 m (Autoría propia)

Las plantas mostradas en las Ilustraciones 29 y 30 indican las vigas de diferentes tamaños, y su demanda / capacidad se representa mediante la escala de colores, donde se puede observar que predominan los colores bajos (celeste), demostrando que las vigas cuentan con la capacidad adecuada para las demandas sísmicas, asegurando un análisis estructural funcional y seguro.

En el tercer nivel, la estructura de cubierta se muestra con los perfiles estructurados con perfilería A36 de acuerdo a la norma AISC-360-10, tal y como se muestra en la Ilustración 31.

El gráfico codifica la razón demanda/capacidad (D/C) mediante una escala cromática de celeste (baja utilización) a rojo (alta utilización). La mayoría de los elementos se encuentran en un rango bajo a moderado (D/C 0.0 – 0.7), evidenciando que la capacidad resistente de las vigas es adecuada y con margen de seguridad frente a las cargas y demandas sísmicas. No se detectan zonas críticas, lo que indica un diseño estructural eficiente.

Por lo tanto, se puede observar que las verificaciones realizadas conforme a las normativas aplicadas, demuestran el cumplimiento de desempeño óptimo para las edificaciones de uso general, asegurando la funcionabilidad y seguridad de la estructura, según el modelo planteado en el software.

Capítulo IV: Conclusiones y Recomendaciones

4.1. Conclusiones

Se verificó la seguridad del análisis estructural conforme al predimensionamiento presentado en el ingreso de datos al software Etabs, lo cual nos permitió determinar de manera correcta, el cumplimiento de los elementos estructurales y las condiciones de la estructura ante la simulación sísmica con el espectro de respuesta elástico de aceleraciones.

Las medidas definidas y la selección de los elementos estructurales fueron los correctos para el modelo propuesto, cumpliendo con la demanda capacidad de los elementos estructurales, determinando la estabilidad de la estructura.

El modelo estructural quedo definido de manera correcta, frente a las sollicitaciones gravitatorias y sísmicas, garantizando el buen desenvolvimiento estructural de todo el sistema.

4.2. Recomendaciones

Se recomienda a los estudiantes de carreras técnicas y tecnológicas, mantenerse actualizado con las normativas vigentes, ya que pueden variar ciertos aspectos en cada actualización de las mismas.

Se sugiere a los profesionales y técnicos especializados que se dedican al análisis y diseño estructural, asegurar los modelos estructurales conforme a los parámetros de diseño actualizados, para evitar errores en los cálculos de materiales y resistencias de los mismos.

Se recomienda de manera general, comparar los modelos estáticos y dinámicos, con el fin de evaluar las diferencias entre ellos, conforme al margen de seguridad sísmica empleado; y además, capacitarse en el uso de herramientas informáticas y documentación técnica para facilitar la comprensión de modelamientos futuros.

Bibliografía

Bibliografía:

Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional (IG-EPN). (2016). Informe del terremoto del 16 de abril de 2016. <https://www.igepn.edu.ec>

Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI). (2015). Norma ecuatoriana de la construcción NEC-2015. <https://www.habitatyvivienda.gob.ec>

Ortiz Vivar, R. & Pacheco Flores, S. (2019). *Diseño estructural sismorresistente de una edificación metálica de cuatro niveles, ubicado en la ciudad de Guayaquil*. Tesis de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra, ESPOL, Guayaquil. Disponible en DSpace ESPOL: <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/48205>

Paulay, T., & Priestley, M. J. N. (1992). Seismic design of reinforced concrete and masonry buildings. Wiley.

Computers and Structures, Inc. (CSI). (2020). ETABS: Integrated software for structural analysis & design. <https://www.csiamerica.com/products/etabs>

Nilson, A. H., Darwin, D., & Dolan, C. W. (2010). Design of concrete structures (14th ed.). McGraw-Hill.

Chopra, A. K. (2017). Dynamics of structures: Theory and applications to earthquake engineering (5th ed.). Prentice Hall.

Sampieri, R. H., Collado, C. F., & Lucio, P. B. (2014). Metodología de la investigación (6.^a ed.). McGraw-Hill.

Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). (2022). Anuario de estadísticas de la construcción.

[https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Construccion/2022/Anuario de Estadisticas de la Construccion 2022.pdf](https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Construccion/2022/Anuario_de_Estadisticas_de_la_Construccion_2022.pdf)

American Institute of Steel Construction. (2016). Steel construction manual (15th ed.). AISC.

Ghasemi, H., Saadatmanesh, H., & Amiri, G. G. (2020). Seismic behavior of steel moment-resisting frames with composite slab systems. *Journal of Constructional Steel Research*, 168, Article 105905. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2020.105905>

See, H.-Y. (2016). *Finite Element Analysis for Civil Engineering Structures*. Springer.

Hibbeler, R. C. (2012). *Análisis estructural* (8.^a ed.). Pearson Educación.

Kassimali, A. (2010). *Structural Analysis* (5th ed.). Cengage Learning.

University of Southern California Library. (2024). *Quantitative research methods: Definition and characteristics*. USC Research Guides. Consultado el 2024 desde USC Library libre guide.

Chopra, A. K. (2017). *Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering* (5th ed.). Pearson.

Torrenti, J. M., Eligehausen, R., & Popov, E. P. (2018). Steel-concrete composite structures: Theory and design. CRC Press.

Nam, P. H., Paolacci, F., & Hoang, P. H. (2019). *Seismic performance of an infilled moment-resisting steel frame during the 2016 Central Italy Earthquake*. ArXiv preprint. <https://arxiv.org/abs/1907.10263>

Roa, H. M. (2012). Parámetros de diseño sísmico para edificios estructurados a partir de marcos autocentrantes de acero [Memoria de título, Universidad de Chile]. Repositorio Académico Universidad de Chile. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/113882>

López Paredes, D. F. (2017). *Análisis comparativo entre sistemas estructurales sismo resistentes para edificaciones de acero en la provincia de Pichincha, cantón Quito, utilizando los sistemas: tradicional de cimentación y aisladores sísmicos, para un conjunto residencial* (Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana). Recuperado de <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/14414>

Mazamba Solórzano, A.S. (2022). Proyecto de vivienda para la construcción de casas con estructura metálica en la ciudad de Montecristi [Tesis de pregrado, Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, sede Manta]. Repositorio ULEAM. <https://repositorio.uleam.edu.ec/handle/123456789/6001>

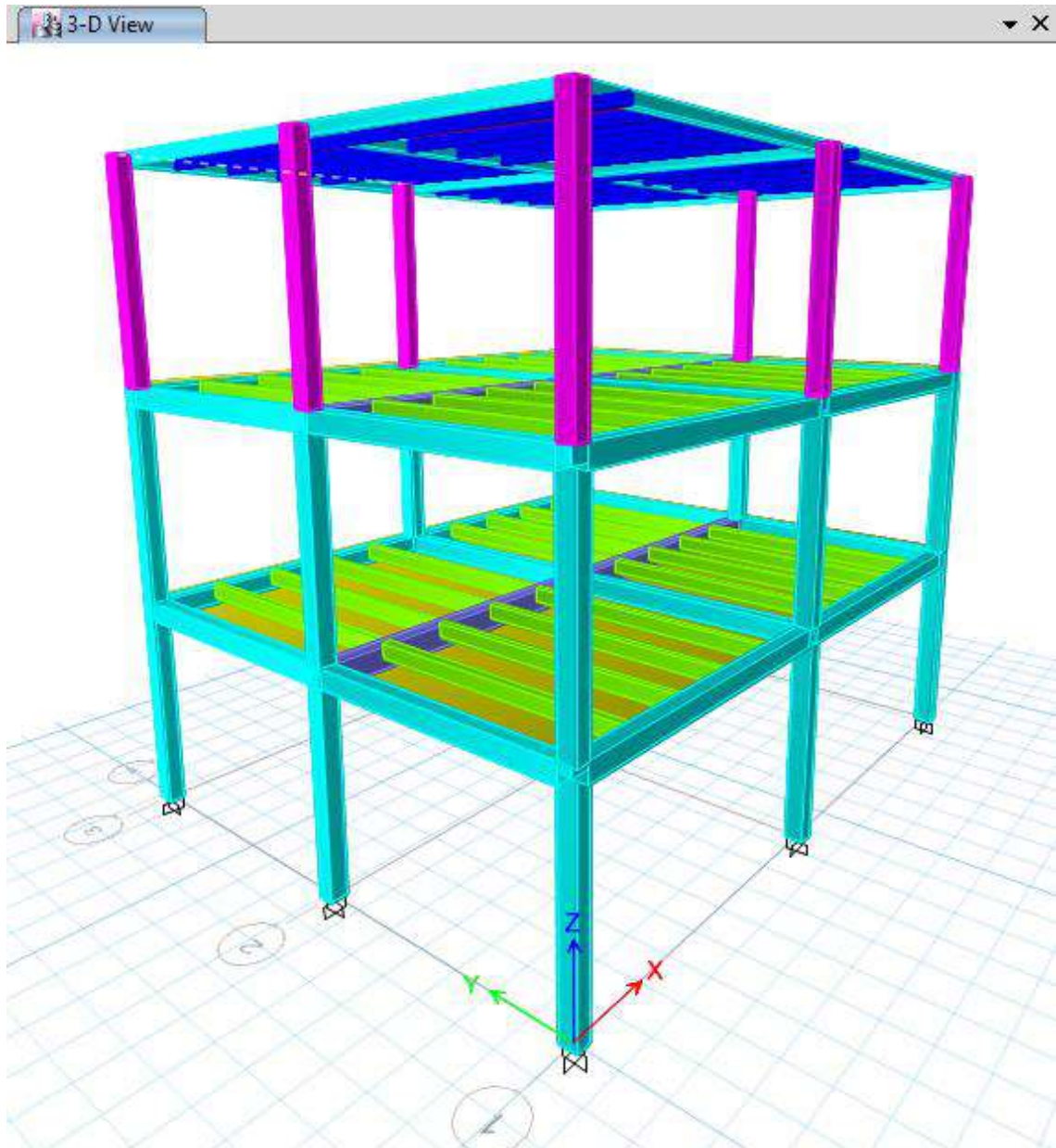
American Institute of Steel Construction. (2010). Specification for structural steel buildings (ANSI/AISC 360-10). <https://www.aisc.org/globalassets/aisc/publications/standards/a360-16-spec-and-commentary.pdf>

Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI). (2015). Norma
ecuatoriana de la construcción NEC-15.

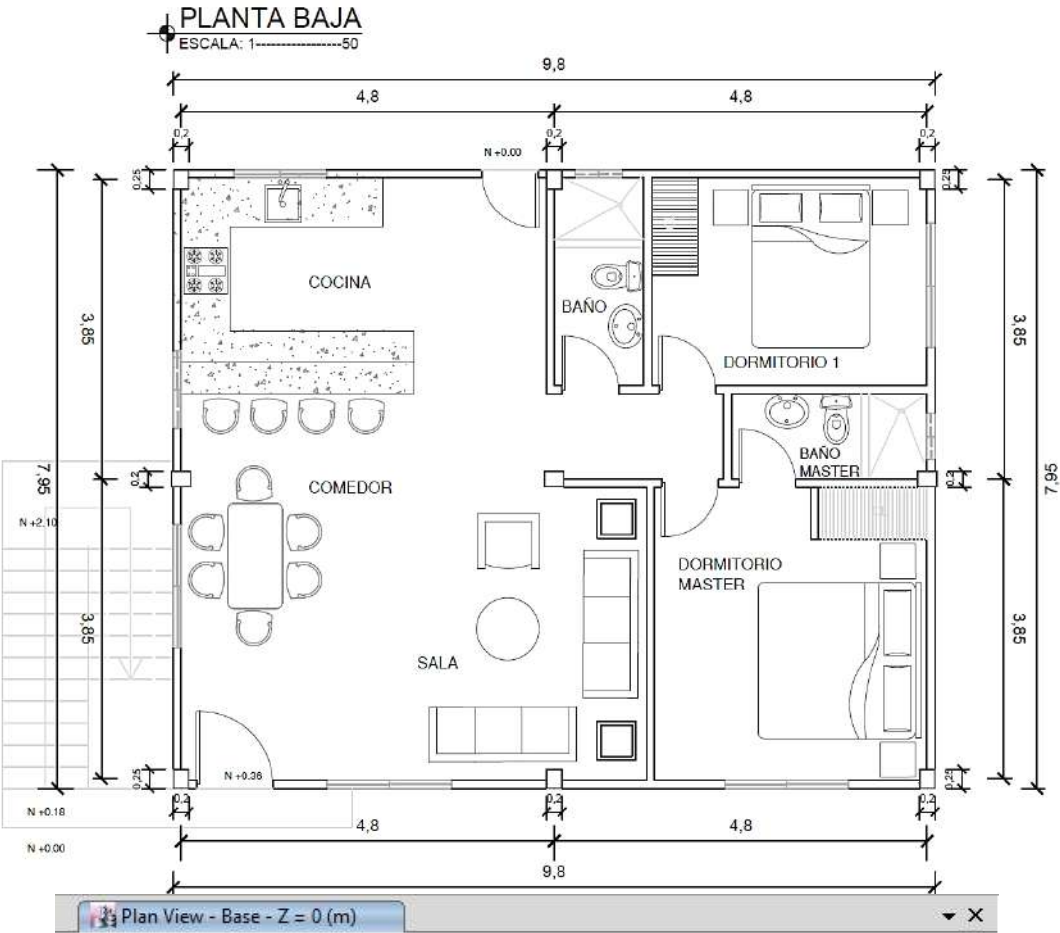
<https://www.habitatyvivienda.gob.ec/documentos-normativos-nec-norma-ecuatoriana-de-la-construccion/>

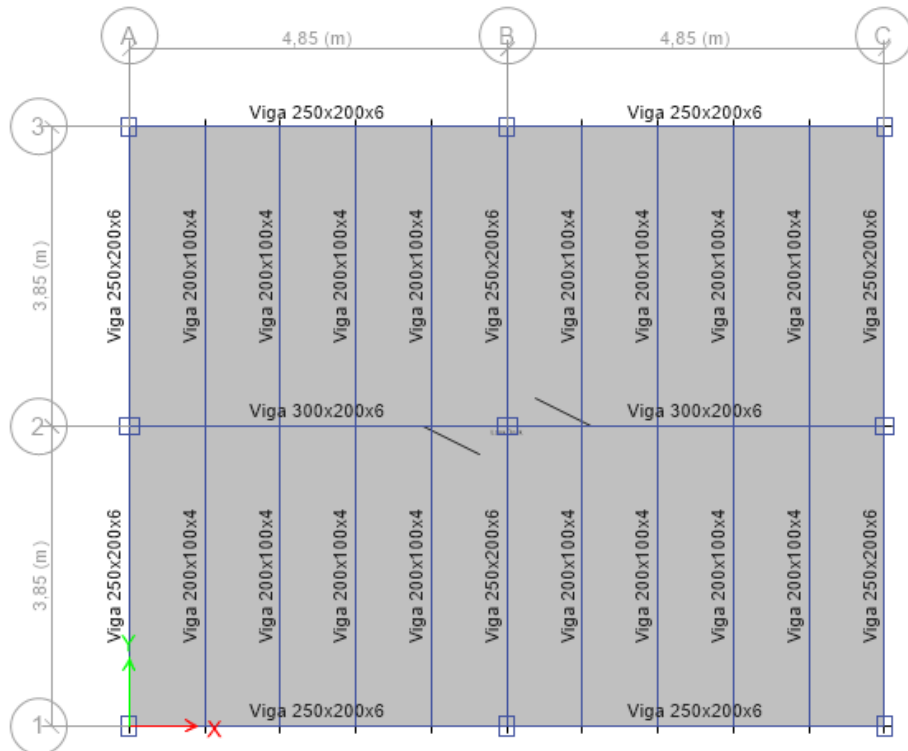
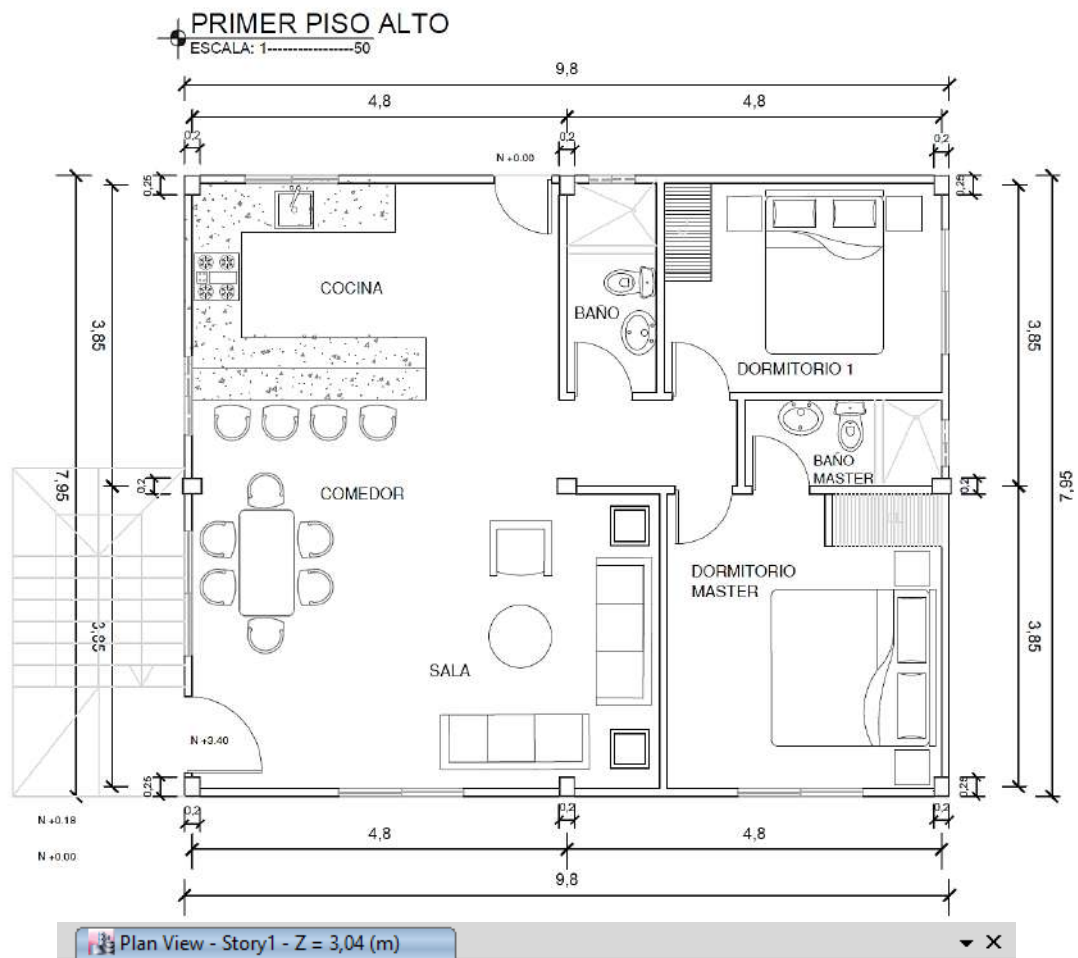
Anexos

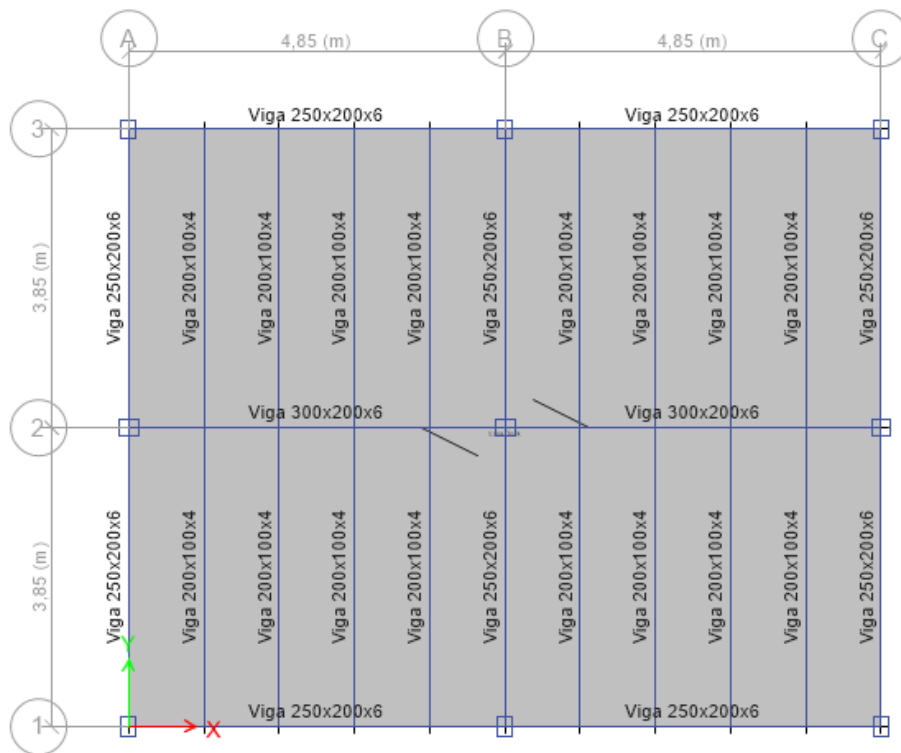
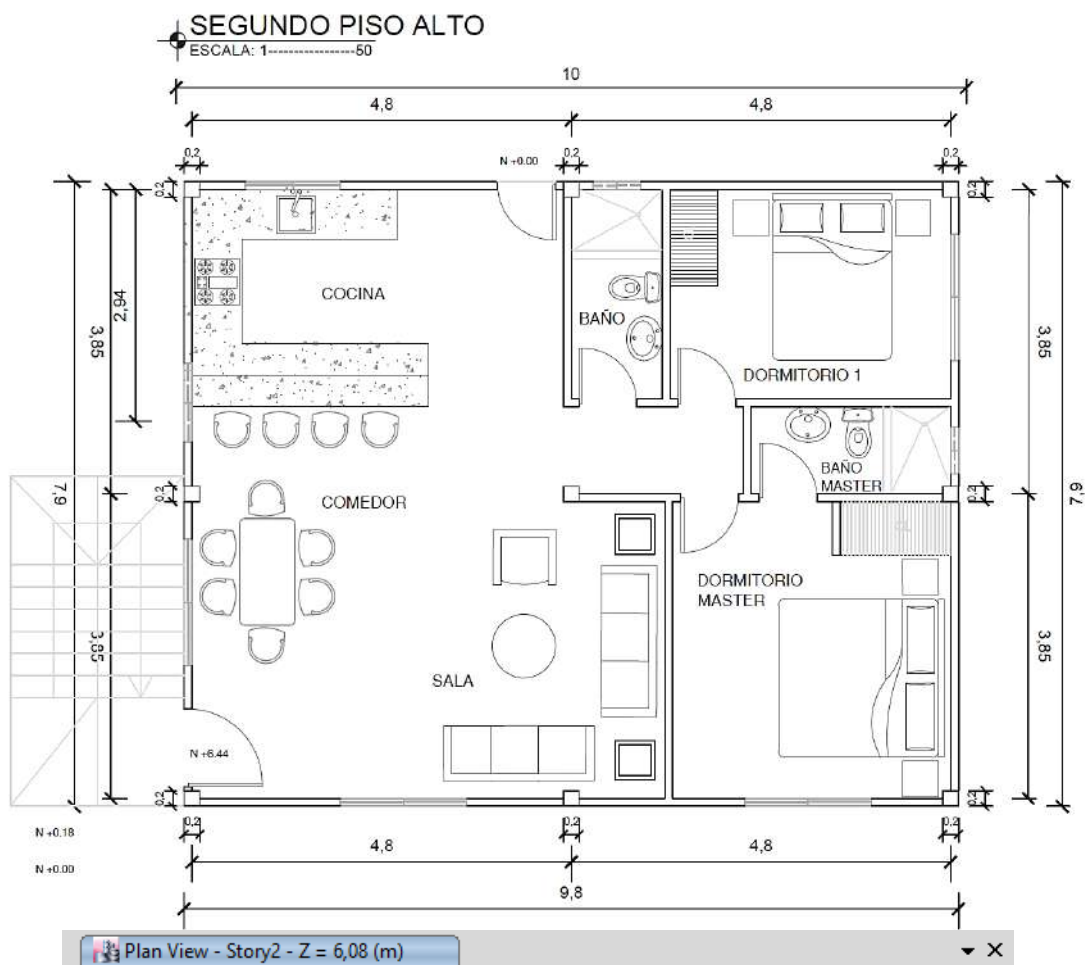
Gráfico 3D de la estructura modelada, analizada y estabilizada

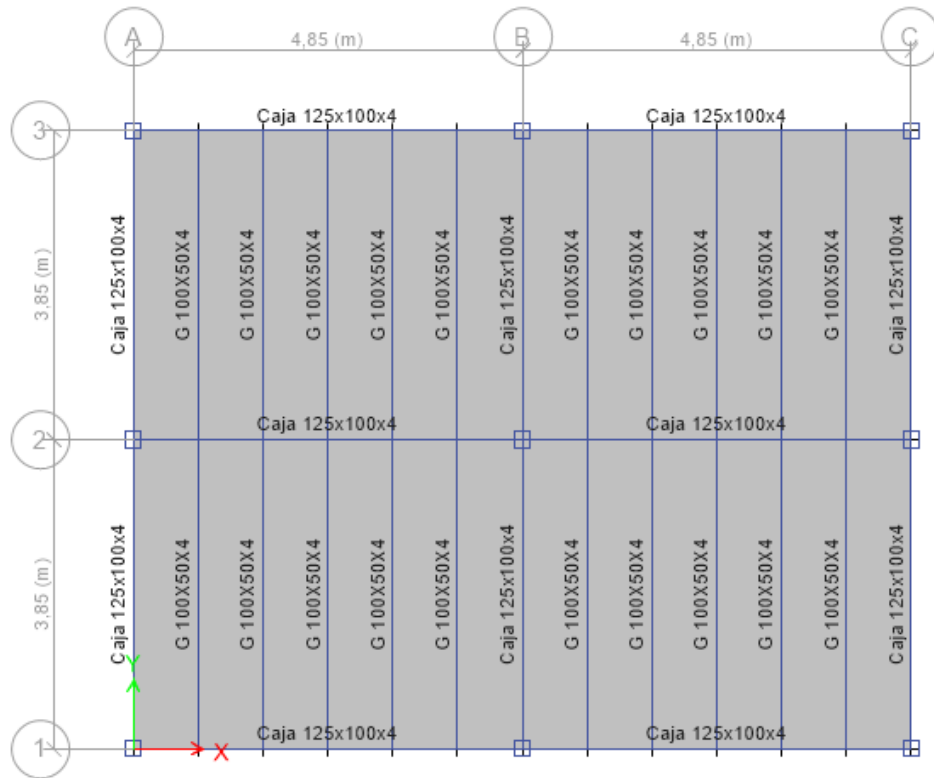


Planos arquitectónicos y modelos estructurales definidos









3D Rendered View

