



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 hormigón armado y losa colaborante aplicando la Norma Ecuatoriana de Construcción NEC-15

Autor:

Daniela Soledad Valdez Arámbulo

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 hormigón armado y losa colaborante 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:

Daniela Soledad Valdez Arámbulo,

Siendo de su exclusiva responsabilidad.

Sucre, septiembre de 2025



Ing. Patricio Andrés Pazmiño Balda

TUTOR

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Quien suscribe la presente:

Daniela Soledad Valdez Arámbulo,

Estudiante de la Carrera de **Tecnología Superior en Construcción Sismorresistente**, declaro bajo juramento que el presente proyecto de investigación 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 hormigón armado y losa colaborante aplicando la Norma Ecuatoriana de Construcción **NEC-15**”, previa a la obtención del Título de Tecnólogo 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.



Daniela Soledad Valdez Arámbulo

Escribir aquí la fecha de firma



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 hormigón armado y losa colaborante aplicando la Norma Ecuatoriana de Construcción NEC-15” de su autor: **Daniela Soledad Valdez Arámbulo**, 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

Expreso mi sincero agradecimiento a quienes han acompañado y fortalecido mi formación académica.

En especial, agradezco al Ingeniero Guillermo Pazmiño Balda por su gran conocimiento académico impartido durante estos años de estudios, al Ingeniero Patricio Pazmiño Balda por brindarme sus completos conocimientos en la Carrera Técnica y por último al Técnico Especialista en Topografía y Geodesia Mauricio Eduardo Pazmiño Balda, por su invaluable enseñanza, guía y motivación a lo largo de este proceso. Gracias por compartir sus conocimientos y por confiar en mis capacidades.

Daniela Soledad Valdez Arámbulo

DEDICATORIA

Dedico este trabajo con todo mi amor a mis hermanos y a mi madre, quienes han sido mi mayor apoyo y mi pilar fundamental e incondicional, y a la memoria de mi querido padre, cuya guía y ejemplo siguen iluminando mi camino desde el cielo. Cada esfuerzo y logro en esta etapa es también suyo.

Gracias.

Daniela Soledad Valdez Arámbulo

RESUMEN

El proyecto investigativo planteado, corresponde al modelo estructural de una vivienda de 3 niveles con pórticos de hormigón armado y losa colaborante.

El trabajo relaciona básicamente la combinación de las cargas gravitatorias actuantes y las cargas sísmicas de diseño obtenidas mediante un espectro elástico de respuesta para aceleraciones sísmicas, diseñado en el software Etabs, del que se obtendrá el comportamiento dinámico de la estructura. Una vez que se presenta el modelo estructural propuesto, se definen las secciones de los elementos que conforman los pórticos, se crean los patrones de carga, casos y combinaciones, para asignarlas a cada nivel de la estructura. Una vez que se completa el modelo estructural, se corre el programa para la obtención y verificación de resultados, determinando que el período obtenido no sobrepase lo especificado en la NEC-15; así mismo, se determina la deriva máxima entre piso y la comparamos con la deriva máxima permitida por la NEC-15; luego, comparamos los cortantes dinámico y estático, así como la participación de masa modal. Cumpliendo con todos los parámetros mencionados, y finalmente, verificamos la demanda/capacidad de los elementos metálicos de soporte de la losa colaborante.

PALABRAS CLAVE

Modelación estructural, carga sísmica, hormigón armado, cargas gravitacionales.

ABSTRACT

The proposed research project corresponds to the structural model of a 3-story house with reinforced concrete frames and composite slabs.

The work essentially relates the combination of acting gravity loads and design seismic loads obtained using an elastic response spectrum for seismic accelerations, designed in Etabs software, from which the dynamic behavior of the structure is obtained. Once the proposed structural model is presented, the sections of the elements that make up the frames are defined, and load patterns, cases, and combinations are created to assign them to each level of the structure. Once the structural model is complete, the results collection and verification program is run, ensuring that the resulting period does not exceed the NEC-15 specification. The maximum floor drift is also determined and compared with the maximum drift permitted by NEC-15. Then, we compare the dynamic and static shear forces, as well as the modal mass ratio. Complying with all the aforementioned parameters, we finally verify the demand/capacity of the supporting steel elements of the composite slab.

KEYWORDS

Structural modeling, seismic loading, reinforced concrete, gravitational loads.

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	X
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 académico	3
1.4.2. Desde lo tecnológico	4
1.4.3. Con relación del título con la línea de investigación institucional .	4
1.5. Objetivos	4
1.5.1. Objetivo general	4
1.5.2. Objetivos específicos	4
1.6. Metodología	5
1.6.1. Procedimiento	5
1.6.2. Técnicas	6

1.6.3. Métodos.....	6
Capítulo II: Marco Teórico.....	7
2.1. Definiciones.....	7
2.1.1. Definiciones conceptuales.....	7
2.1.2. Normativa NEC-15 para diseño sismorresistente.....	9
2.2. Antecedentes.....	11
2.2.1. Datos del sitio donde se ejecutó el proyecto.....	11
2.2.2. Antecedente de los estudios previos.....	12
2.3. Trabajos Relacionados.....	13
Capítulo III: Desarrollo de la propuesta.....	14
3.1. Análisis de los parámetros sísmicos del modelo estructural.....	14
3.1.1. Características sísmicas locales.....	14
3.1.2. Parámetros normativos de diseño según la NEC-15.....	15
3.2. Dimensionamiento de los elementos estructurales.....	19
3.2.1. Cargas sísmicas y gravitacionales.....	20
3.2.2. Dimensionamiento de los elementos estructurales.....	21
3.3. Evaluación de los resultados del análisis estructural.....	24
3.3.1. Modelación estructural.....	24
3.3.2. Diseño del espectro de respuesta elástico $S_a(T)$	25
3.3.3. Definición y asignación de cargas verticales.....	27
3.3.4. Evaluación del comportamiento estructural.....	31
Capítulo IV: Conclusiones y Recomendaciones.....	47
4.1. Conclusiones.....	47
4.2. Recomendaciones.....	48
Bibliografía.....	49
Anexos.....	52
Gráfico 3D de la estructura modelada, analizada y estabilizada.....	52
Planos arquitectónicos y modelos estructurales definidos.....	53

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Mapa de zonificación sísmica y valor del factor de zona z (NEC-SE-DS)	15
Ilustración 2: Columna de Hormigón Armado (Autoría propia)	22
Ilustración 3: Viga de Hormigón Armado (Autoría propia)	22
Ilustración 4: Losa colaborante tipo Deck (Autoría propia)	23
Ilustración 5: Propiedades y medidas de Losa colaborante (Autoría propia)	23
Ilustración 6: Modelo Estructural tridimensional (Autoría propia)	24
Ilustración 7: Espectro de respuesta elástico de aceleraciones (Autoría propia)	25
Ilustración 8: Caso de carga espectral X (Autoría propia)	26
Ilustración 9: Caso de carga espectral Y (Autoría propia)	26
Ilustración 10: Definición de patrones de cargas (Autoría propia)	27
Ilustración 11: Combo D+L (Autoría propia)	28
Ilustración 12: Combo U1 (Autoría propia)	28
Ilustración 13: Combo U2 (Autoría propia)	29
Ilustración 14: Combo U3 (Autoría propia)	29
Ilustración 15: Combo U4 (Autoría propia)	29
Ilustración 16: Combo U5 ESPX - ESPY (Autoría propia)	30
Ilustración 17: Combo U5 SX - SY (Autoría propia)	30
Ilustración 18: Combo U6 S X - SY (Autoría propia)	30
Ilustración 19: Combo U6 ESPX – ESP Y (Autoría propia)	31
Ilustración 20: Cálculo de Ta, Método 1	35
Ilustración 21: Comprobación de períodos Ta vs T	36
Ilustración 22: Deriva elástica máxima_Etabs (Autoría propia)	38
Ilustración 23: Comprobación de derivas (Autoría propia)	39

Ilustración 24: Comprobación de cortantes estático y dinámico (Autoría propia)	40
Ilustración 25: Vista 3D_Demanda / Capacidad_ Estructura de lo colaborante (Autoría propia).....	41
Ilustración 26: Secciones de acero de refuerzo en columnas de H.A. (Autoría propia)	42
Ilustración 27: Refuerzo longitudinal de vigas, z = 3.04 m (Autoría propia).....	43
Ilustración 28: Refuerzo longitudinal de vigas, z = 6.08 m (Autoría propia).....	44
Ilustración 29: Refuerzo longitudinal de vigas, z = 9.12 m (Autoría propia).....	45

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Valores del factor z en función de la zona sísmica adoptada (NEC-SE-DS)	16
Tabla 2: Clasificación de los perfiles de suelo (NEC-SE-DS).....	16
Tabla 3: Tipo de suelo y Factores de sitio Fa (NEC-SE-DS).....	17
Tabla 4: Tipo de suelo y Factores de sitio Fd (NEC-SE-DS).....	17
Tabla 5: Tipo de suelo y Factores del comportamiento inelástico del subsuelo Fs (NEC-SE-DS).....	18
Tabla 6: Tipo de uso, destino e importancia de la estructura (NEC-SE-DS)	18
Tabla 7: Coeficiente R para sistemas estructurales dúctiles (NEC-SE-DS)	19
Tabla 8: Cálculo de sobrecarga muerta D (Autoría propia).....	20
Tabla 9: Sobrecargas mínimas uniformemente distribuidas (NEC-SE-CG)	21
Tabla 10: Participación de la masa modal (Autoría propia).....	32
Tabla 11: Valores de coeficientes Ct y α (NEC-SE-DS)	34
Tabla 12: Valor de T, Etabs (Autoría propia)	35
Tabla 13: Valores de Δ_{max} (NEC-SE-DS_Parte 1)	38

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 hormigón armado y losa colaborante aplicando la Norma Ecuatoriana de Construcción NEC-15.

1.2. Introducción

Los modelos estructurales sismorresistentes están compuestos de varios elementos y características que amplifican su resistencia frente a un sismo. Los pórticos de hormigón armado tienen características parecidas al pórtico de estructura metálica, pero tienen ventajas diferentes, por ejemplo, el pórtico de hormigón armado suele ser más resistente al fuego que un pórtico de estructura metálica, mientras que el pórtico de estructura metálica es más ligero que el de hormigón armado; sin embargo, en ambos casos, si están bien diseñados, su desempeño sísmico es excelente. Según See, (2017), un modelo estructural idealiza una estructura física en una representación analítica que se puede analizar matemáticamente para verificar el comportamiento ante distintos casos de cargas.

El sistema estructural compuesto por vigas y columnas de hormigón armado, funciona como un todo, donde las cargas de la losa son transferidas a

las vigas principales y secundarias, para luego ser transmitidas a las columnas y finalmente a la cimentación, que las transfieren al suelo de fundación. Según Hibbeler, (2011), los pórticos formados por vigas y columnas, son utilizados ampliamente en edificaciones, porque son específicos para el soporte de cargas horizontales y verticales, además, para soportar los diferentes esfuerzos de flexión, corte, torsión y flexo compresión, conjuntamente.

En Ecuador, Carranza, Vera y Alcívar, (2024), analizaron el desempeño de tres sistemas estructurales aporticados resistentes a momento, de hormigón armado, de estructura metálica y de secciones compuestas mediante el método de Diseño por factores de carga y resistencia (LRFD por sus siglas en inglés), mediante un análisis no lineal estático (Pushover) en el software Etabs. Determinaron la curva de capacidad para cada caso, y usando el método de coeficientes de desplazamientos, hallaron el punto de desempeño, comparando los tres sistemas; donde, determinaron que el modelo de hormigón armado se encuentra en el nivel de seguridad de vida, mientras los otros dos sistemas en un nivel ocupacional,

El análisis sismorresistente para este tipo de viviendas ubicadas en zona sísmica alta, debe de considerarse de alto riesgo y vulnerabilidad, por tal razón, su modelación debe de cumplir con todos los factores definidos por las normas para la zona de estudio, y así contribuir al modelo eficiente y seguro para que sea habitado con un nivel alto de confianza, respetando los códigos y fundamento de los principios teóricos y poniéndolos en práctica durante la construcción.

Este tema definido como modelación estructural, tiene una relación muy directa con la carrera de Tecnología sismorresistente, ya que es parte de la formación académica y su aplicación en la vida real será un reto continuo integrado a las labores como tecnólogo en construcciones sismorresistentes.

1.3. Problema

1.3.1. Descripción del problema

Como bien es conocido, Canoa está geográficamente ubicada en una zona de elevado riesgo sísmico, por ende, quedó evidenciado en el último terremoto del 2016, que la vulnerabilidad de las estructuras superó todo pronóstico, causando pérdidas humanas y económicas durante el evento.

1.3.2. Planteamiento del problema

Se plantea realizar un modelo adaptado a los problemas sismorresistentes, cumpliendo con los principios teóricos y las normativas vigentes, definiendo las condiciones de sitio y secciones optimas de los elementos estructurales.

1.4. Justificación

1.4.1. Desde lo académico

Desde lo académico, nos enfocamos en el desarrollo del conocimiento adquirido, definiendo con claridad el desarrollo de las competencias que

contribuyen al aprendizaje para proponer soluciones sostenibles en beneficio de la colectividad.

1.4.2. Desde lo tecnológico

Desde lo tecnológico, nos enfocamos en el aprendizaje y manejo de softwares especializados para realizar la modelacion estructural, contribuyendo a la mejora conutina y garantizando la optimizacion del tiempo en beneficio del profesional para garantizar un trabajo que defina las características planteadas, y definir los principios estructurales plasmados en el análisis y diseño..

1.4.3. Con relación del título con la línea de investigación institucional

Se plantean soluciones investigativas, en beneficio de los conocimientos adquiridos, proponiendo el conocimiento continuo en cada investigacion desarrollada; además, para este tipo de investigacion, es importante definir las soluciones que contribuyan a los resultados esperados, y al entorno social y constructivo.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

Modelar la estructura de una vivienda multifamiliar con columnas y vigas de hormigón armado y losa colaborante aplicando la NEC-15.

1.5.2. Objetivos específicos

- Analizar los parámetros sísmicos del modelo estructural.
- Dimensionar los elementos estructurales.

- Evaluar los resultados del análisis estructural.

1.6. Metodología

1.6.1. Procedimiento

Para ejecutar la propuesta se siguió el siguiente procedimiento, en correspondencia con los objetivos específicos planteados:

Levantamiento de información sísmica y normativa: Se recopilaron los datos sísmicos y geotécnicos de la Parroquia Canoa, y se revisaron los parámetros de diseño estructural en la Norma Ecuatoriana de Construcción NEC-15.

Definición del sistema estructural: Se seleccionó el sistema de vigas, columnas de hormigón armado y losa colaborante para la vivienda, definiendo materiales y secciones.

Diseño preliminar y dimensionamiento: Se calcularon las dimensiones y refuerzos necesarios de los elementos estructurales principales, considerando las cargas gravitacionales y sísmicas según la normativa vigente.

Modelación estructural.: Se elaboró un modelo estructural en software Etabs para simular el comportamiento sísmico de la edificación propuesta.

Análisis del desempeño sísmico: Se evaluó la respuesta estructural frente a las solicitaciones sísmicas para verificar el cumplimiento de los requisitos de seguridad y eficiencia establecidos en la NEC-15.

Conclusiones y validación: Se documentaron los resultados obtenidos, verificando la efectividad de la propuesta como solución constructiva segura y sostenible.

1.6.2. Técnicas

Método de Cross. – es un método que emplea la distribución de momentos en los modelos hiperestáticos. Dentro de la resolución, permite determinar las reacciones y por ende los diagramas de fuerzas axiales, fuerzas cortantes y momentos flectores. Según See, (2017), este método es muy práctico e intuitivo para analizar vigas y pórticos estáticamente indeterminados.

Método matricial. – es un método de análisis estructural esencial en la ingeniería, se aplica mediante una matriz de rigidez o de flexibilidad. Según See, (2017), los métodos matriciales de un análisis estructural son eficientes para resolver estructuras indeterminadas, que expresan las relaciones de equilibrio y compatibilidad en forma matricial.

Trabajo virtual. - también conocido como método de la fuerza virtual o método de la carga unitaria, utiliza la ley de la conservación de la energía para obtener la deflexión y la pendiente en un punto de la estructura. Según Hibbeler, (2011), establece que el trabajo realizado por las fuerzas externas aplicadas sobre una estructura durante un desplazamiento virtual es igual al trabajo interno desarrollado por las fuerzas internas de ese mismo desplazamiento.

1.6.3. Métodos

Método Cuantitativo. – el método cuantitativo permite probar diversas hipótesis derivadas de la teoría para tomar decisiones acertadas en situaciones particulares. Según Hernández, Fernández y Baptista, (2014), este método se caracteriza por el uso de la recolección de datos para probar hipótesis previamente establecidas.

Método Analítico. - consiste en la desmembración de un todo, descomponiéndolo en sus partes o elementos para observar las causas, naturaleza y efectos. Según Chopra, (2017), el método analítico permite descomponer la estructura en sus elementos básicos para analizar su comportamiento individual y global para facilitar la comprensión de los esfuerzos externos e internos.

Método experimental – simulativo. – es un método científico que comprueba la veracidad de los enunciados hipotéticos. Según Chopra, (2017), este método es eficaz para predecir la respuesta dinámica de las estructuras. Se aplicó en la etapa de validación del modelo estructural.

Capítulo II: Marco Teórico

2.1. Definiciones

Se determinarán las principales definiciones de los conceptos mas importantes de esta investigacion.

2.1.1. Definiciones conceptuales

Sismo: es un fenómeno natural producido por la liberación de energía propagada en forma de ondas desde el interior de la tierra. Según Chopra, (2017), los sismos son la principal causa de cargas dinámicas en las estructuras ubicadas en zonas de alta peligrosidad sísmica.

Sismorresistencia: es la capacidad que posee una estructura para disipar energía provocada por un sismo. Según la NEC, (2015), es la capacidad de una estructura para soportar y disipar energía durante un evento sísmico sin que se produzca el colapso de la misma, preservando la vida de los ocupantes, limitando los daños estructurales.

Modelación estructural: es una metodología importante en la ingeniería que se centra en la representación precisa de los componentes y del sistema de una estructura. Según See, (2017), la modelación estructural es el proceso de idealizar una estructura física en una representación analítica para predecir su comportamiento en diferentes situaciones de cargas.

Vivienda multifamiliar: es una estructura única que se divide en diferentes albergues para familias diferentes. En el contexto ecuatoriano, estas viviendas deben cumplir con los requisitos de seguridad estructural y habitabilidad definidos en la NEC-15 (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2015).

Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-15: Conjunto de normas técnicas obligatorias que establecen los criterios y procedimientos para el diseño, construcción y evaluación de edificaciones seguras y eficientes en el Ecuador. La NEC-15 incluye, entre otros capítulos, las especificaciones para el

diseño sismorresistente de edificaciones, considerando la zonificación sísmica del país.

Viga de hormigón armado: son elementos estructurales que se construyen con hormigón y acero de refuerzo para resistir los esfuerzos de flexión y corte. Según See, (2017), son elementos de baja resistencia a la tracción que se refuerzan con acero para resistir momentos flectores y fuerzas cortantes.

Columna de hormigón armado: Elemento estructural vertical encargado de soportar las cargas provenientes de los pisos superiores y transmitir las hacia las cimentaciones. Las columnas están diseñadas para resistir esfuerzos axiales y momentos flectores, constituyendo junto con las vigas el sistema resistente básico de una edificación (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2015).

Losa colaborante: Elemento estructural compuesto por una lámina metálica y una capa de hormigón que trabajan conjuntamente para resistir cargas, optimizando el peso y la rigidez del sistema de piso. Este sistema es ampliamente utilizado en edificaciones modernas por su eficiencia estructural y rapidez constructiva (Chopra, 2017).

2.1.2. Normativa NEC-15 para diseño sismorresistente

El diseño estructural en zonas sísmicas constituye un pilar fundamental para garantizar la seguridad de las edificaciones y la protección de la vida humana. En el contexto ecuatoriano, la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-15) establece los lineamientos técnicos para la concepción, cálculo y construcción de edificaciones seguras y eficientes frente a las cargas sísmicas.

La NEC-15 surge como respuesta a la necesidad de un marco regulador actualizado que contemple las características geológicas y sísmicas del territorio nacional, dado que el Ecuador se encuentra emplazado sobre el cinturón de fuego del Pacífico, una de las zonas tectónicamente más activas del planeta (MIDUVI, 2015).

Entre los objetivos principales de la NEC-15 se encuentra garantizar que las edificaciones diseñadas cumplan con los principios de desempeño estructural: prevención del colapso, limitación de daños y continuidad funcional después de un evento sísmico. Según Chopra (2017), estos principios son esenciales para lograr un equilibrio entre la seguridad de los ocupantes y la economía del proyecto.

El capítulo específico sobre cargas sísmicas de la NEC-15 define los valores de aceleración sísmica básica para distintas zonas del país, las cuales son utilizadas para calcular las fuerzas horizontales que deben resistir las estructuras. Además, establece métodos de análisis, como el análisis estático equivalente y el análisis modal espectral, así como factores de importancia, redundancia y comportamiento que reflejan las características de ductilidad y disipación de energía de los diferentes sistemas estructurales (MIDUVI, 2015).

Para el caso de edificaciones multifamiliares, la NEC-15 clasifica a estas construcciones como esenciales para la habitabilidad, razón por la cual deben cumplir con requisitos más estrictos en cuanto a estabilidad global, capacidad portante de columnas, vigas y losas, y desempeño ante movimientos laterales.

2.2. Antecedentes

2.2.1. Datos del sitio donde se ejecutó el proyecto

Este proyecto se determina para profundizar los conocimientos referentes a la ingeniería estructural y sísmica, lo que conlleva a modelar una estructura capaz de soportar un sismo conforme a la información de los últimos registros obtenidos en 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.

La parroquia Canoa cuenta con una población aproximada de 7.000 habitantes, cuya actividad económica principal es el turismo y la pesca artesanal (INEC, 2021). En cuanto al parque habitacional, gran parte de las viviendas son de uno o dos pisos, construidas en su mayoría con materiales ligeros y técnicas tradicionales que no cumplen con los estándares actuales de sismorresistencia. Esta situación fue señalada en un estudio por Espinel et al. (2017), quienes concluyeron que “la falta de aplicación de la normativa NEC-15 en edificaciones residenciales incrementó notablemente el número de colapsos totales y parciales durante el terremoto” (p. 45).

El proyecto busca aportar a la reconstrucción segura de la zona mediante la modelación estructural de una vivienda multifamiliar de tres niveles, cumpliendo con los lineamientos de la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-15. La NEC-15 (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2015) establece parámetros de diseño sismorresistente adaptados a la zonificación

sísmica nacional y constituye una herramienta fundamental para reducir la vulnerabilidad de las construcciones.

La elección de la parroquia Canoa como sitio de aplicación del proyecto responde a la necesidad de promover soluciones técnicas viables y seguras en una comunidad con antecedentes de vulnerabilidad sísmica significativa, en consonancia con los principios de desarrollo sostenible y resiliencia urbana propuestos por la ONU (2015) en la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible.

2.2.2. Antecedente de los estudios previos

Antes de plantear el presente proyecto de modelación estructural de una vivienda multifamiliar en la parroquia Canoa, ya se habían realizado estudios sobre la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones en la provincia de Manabí, especialmente tras el terremoto ocurrido en abril de 2016. Estos análisis evidenciaron que muchas viviendas colapsadas o con daños significativos presentaban deficiencias en diseño y construcción, sin cumplir con los requisitos mínimos establecidos en la normativa técnica vigente.

Se identificó que las construcciones tradicionales en la zona costera, en su mayoría de hormigón armado, presentaban problemas en la calidad de los materiales y en el confinamiento de elementos estructurales, lo que aumentaba su susceptibilidad al colapso durante eventos sísmicos. Además, la ausencia de modelos estructurales adecuados y una correcta aplicación de la normativa limitaron la capacidad de las edificaciones para resistir y recuperarse frente a los sismos.

No obstante, hasta ese momento no se habían desarrollado propuestas específicas para el diseño y modelación estructural de viviendas multifamiliares de tres niveles, que consideraran las condiciones locales de Canoa y aplicaran de manera integral la normativa sísmica vigente. Por ello, este proyecto surge como una continuidad y complemento de los estudios anteriores, con el propósito de brindar soluciones técnicas adaptadas a la realidad sísmica de la región.

2.3. Trabajos Relacionados

En Europa, Fardis (2009) documenta que edificios de hormigón armado construidos en Grecia bajo códigos anteriores al Eurocódigo 8 presentaron vulnerabilidades significativas especialmente en conexiones de vigas y columnas sin refuerzo adecuado lo cual resalta la necesidad de actualizar las normativas y prácticas constructivas para mejorar la resiliencia estructural.

En Colombia, Cardona y coautores (2012) lideraron estudios clave sobre la evaluación del riesgo sísmico urbano utilizando metodologías probabilísticas (CAPRA) aplicadas a ciudades como Bogotá, Medellín y Cali. Estos trabajos identificaron vulnerabilidades críticas en viviendas construidas antes de las normativas sismo-resistentes (NSR-10) y sirvieron de sustento para el desarrollo de guías de mitigación del riesgo y estrategias de reforzamiento estructural en zonas urbanas.

Chicaiza Fuentes y Toapanta Castellanos (2025), mediante una evaluación rápida conforme a la NEC-15, concluyeron que la mayoría de viviendas de hormigón armado del barrio La México en Quito presentan alta

vulnerabilidad sísmica, atribuida a la baja calidad del hormigón y falta de detalles de confinamiento en pilares y vigas.

Menéndez-Navarro, G. M., García-García, J. G. y Reyna-García, A. E. (2023) analizaron la vulnerabilidad sísmica en edificaciones de Portoviejo post-sismo 16-A, concluyendo que la infraestructura sufrió un gran deterioro por construcciones deficientes y falta de adopción de técnicas constructivas modernas.

Capítulo III: Desarrollo de la propuesta

Este capítulo muestra el planteamiento y desarrollo de la modelación estructural, su análisis y determinación de los resultados esperados.

3.1. Análisis de los parámetros sísmicos del modelo estructural

Para el diseño estructural de la vivienda multifamiliar, se determinaron los parámetros sísmicos de la zona según la Norma Ecuatoriana de construcción, considerando la aceleración sísmica, tipo de suelo, uso y categoría de la edificación propuesta.

3.1.1. Características sísmicas locales.

Canoa está ubicado geográficamente en la Provincia de Manabí, y de acuerdo al mapa de zonificación sísmica, es de alta sismicidad, en el que se han registrado eventos sísmicos considerables como los sismos de 1998 y 2016, razón por la cual se debe considerar la acertada elección de los factores de diseño en el modelo estructural.

Según la microzonificación sísmica publicada por el MIDUVI y la NEC-15, la zona en estudio corresponde a la zona sísmica Z6, clasificada como de muy alta peligrosidad sísmica, con una aceleración sísmica máxima esperada en roca (PGA) de 0.50 g para un periodo de retorno de 475 años, tal y como se muestra en el mapa de zonificación sísmica de la Ilustración 1 y la Tabla 1. Además, el sitio presenta suelos de tipo D (suelos blandos), lo que amplifica las aceleraciones y debe considerarse en el espectro de diseño.

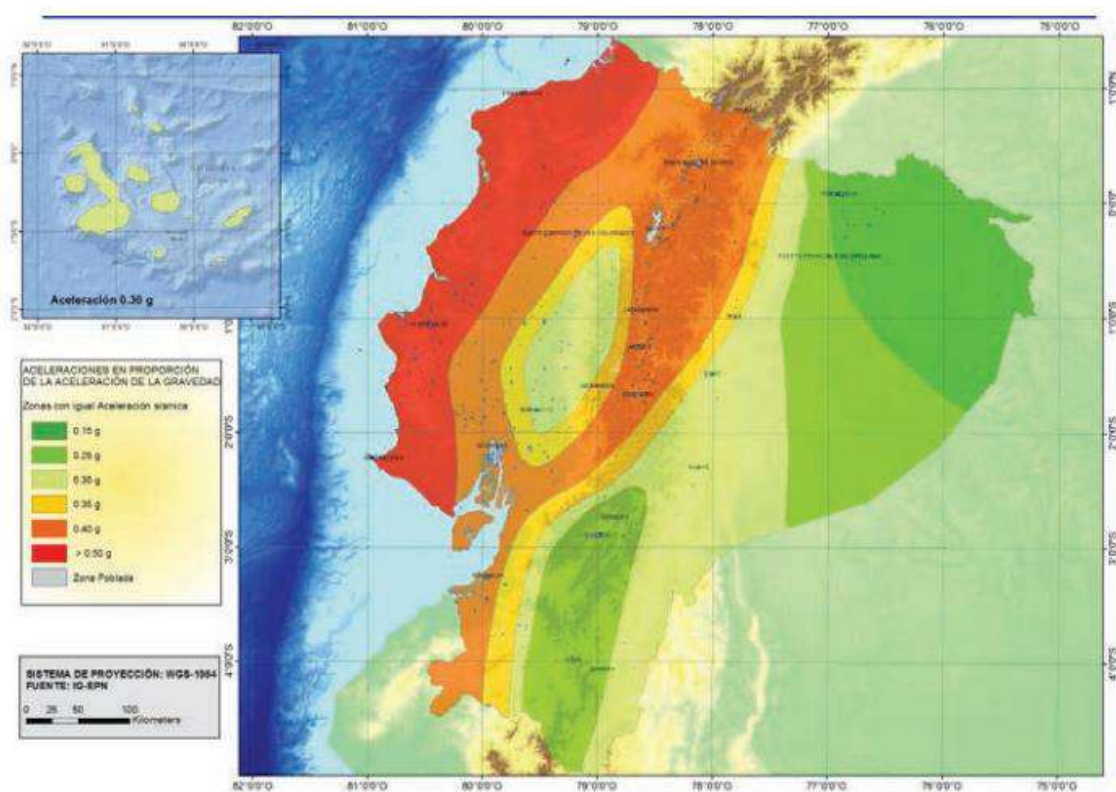


Ilustración 1: Mapa de zonificación sísmica y valor del factor de zona z (NEC-SE-DS)

3.1.2. Parámetros normativos de diseño según la NEC-15

Con base en la NEC-15, se identificaron los principales parámetros normativos 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 adoptada (NEC-SE-DS)

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

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

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

$F_a = 1.12$, 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 F_a (NEC-SE-DS)

- Coeficiente de amplificación de las ordenadas del espectro elástico de respuesta: $F_d = 1.11$, 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 F_d (NEC-SE-DS)

- 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 del comportamiento inelástico del subsuelo F_s (NEC-SE-DS)

- 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-SE-DS)

- Espectro elástico de aceleraciones: S_a , Sección 3.3.1 NEC-SE-DS.

Se calcula con 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 hormigón armado con vigas descolgadas, 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-SE-DS)

3.2. Dimensionamiento de los elementos estructurales

Una vez definidos los parámetros sísmicos y normativos para la zona de estudio, se procedió al diseño y dimensionamiento de los elementos estructurales principales de la vivienda multifamiliar: vigas, columnas y losa

colaborante, considerando las cargas gravitacionales y las fuerzas sísmicas horizontales equivalentes establecidas por la NEC-15.

Este proceso busca garantizar que cada elemento resista las solicitaciones máximas de momento, cortante y compresión, cumpliendo con los requisitos de resistencia, ductilidad y servicio de la normativa vigente.

3.2.1. Cargas sísmicas y gravitacionales

Cargas sísmicas (Estática y Dinámica): se calcularán a partir del espectro de respuesta sísmica de la NEC-15; donde, la carga sísmica estática se calcula como fuerza horizontal equivalente basada en la carga reactiva, la aceleración y coeficiente sísmico; y, la carga dinámica como una fuerza modal en cada modo y combinándose (SRSS o CQC) para determinar la carga sísmica dinámica total sobre la estructura.

Cargas permanentes y variables: se calcularon las cargas permanentes, incluyendo la carga muerta D (peso propio de los elementos estructurales, vía *Mass Source* de ETABS y sobrecarga de paredes y acabados calculados manualmente, Tabla 8), y las cargas vivas según las categorías de la NEC-15 (tabla 9).

Sobrecarga muerta (D)	
Revestimiento de piso con cerámica	0,065 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
Sobrecarga muerta	0,18 T/m²

Tabla 8: Cálculo de sobrecarga muerta D (Autoría propia)

Sobrecarga viva (L)

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	2.00	
Habitaciones	4.80	
Salones de uso público y sus corredores		

Tabla 9: Sobrecargas mínimas uniformemente distribuidas (NEC-SE-CG)

La sobrecarga viva, de acuerdo con la Tabla 9, Sección 4.2.1, NEC-SE-CG, residencias multifamiliares considera una carga viva distribuida, $L = 2 \text{ T/m}^2$.

3.2.2. Dimensionamiento de los elementos estructurales

El dimensionamiento y verificación de los elementos estructurales se realizó en ETABS v16.2.1, siguiendo la NEC 15 y ACI 318-14, y se ajustaron las secciones estructurales, asegurando el cumplimiento de la relación D/C.

Columnas de hormigón armado: Sección: 35 cm x 40 cm

Resistencia del concreto: $F'_c = 240 \text{ Kg/cm}^2$

Fluencia del acero: $F_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$

Frame Section Property Data

General Data

Property Name: Col 35x40

Material: Fc 240 Kg/cm2

Notional Size Data: Modify/Show Notional Size...

Display Color: Change...

Notes: Modify/Show Notes...

Shape

Section Shape: Concrete Rectangular

Section Property Source

Source: User Defined

Section Dimensions

Depth: 35 cm

Width: 40 cm

Property Modifiers

Modify/Show Modifiers...
Currently User Specified

Reinforcement

Modify/Show Rebar...

Ilustración 2: Columna de Hormigón Armado (Autoría propia)

Vigas de hormigón armado: Sección: 45 cm x 25 cm

Resistencia del concreto: $F'_c = 240 \text{ Kg/cm}^2$

Fluencia del acero: $F_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$

Frame Section Property Data

General Data

Property Name: Viga 45x25

Material: Fc 240 Kg/cm2

Notional Size Data: Modify/Show Notional Size...

Display Color: Change...

Notes: Modify/Show Notes...

Shape

Section Shape: Concrete Rectangular

Section Property Source

Source: User Defined

Section Dimensions

Depth: 45 cm

Width: 25 cm

Property Modifiers

Modify/Show Modifiers...
Currently User Specified

Reinforcement

Modify/Show Rebar...

Ilustración 3: Viga de Hormigón Armado (Autoría propia)

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

Fluencia de la lámina de acero: $F_y = 2600 \text{ Kg/cm}^2$

Calidad estructural: Grado 37_ ASTM-653

Refuerzo de corte: Perno stud 3" x 19 mm, ASTM-A490

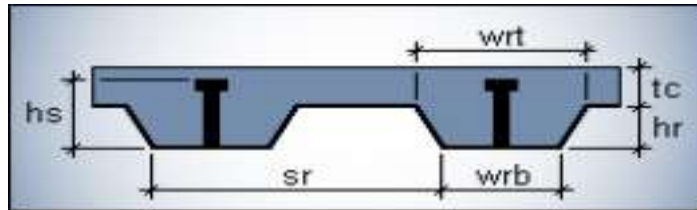


Ilustración 4: Losa colaborante tipo Deck (Autoría propia)

Deck Property Data

General Data	
Property Name	Losa Deck
Type	Filled
Slab Material	Fc 210 Kg/cm2
Deck Material	STEEL DECK
Modeling Type	Membrane
Modifiers (Currently Default)	Modify/Show...
Display Color	Change...
Property Notes	Modify/Show...

Property Data	
Slab Depth, tc	5,5 cm
Rib Depth, hr	5,5 cm
Rib Width Top, wrt	17,5 cm
Rib Width Bottom, wrb	12,5 cm
Rib Spacing, sr	30 cm
Deck Shear Thickness	0,07 cm
Deck Unit Weight	0,001 kgf/cm ²
Shear Stud Diameter	1,9 cm
Shear Stud Height, hs	7,5 cm
Shear Stud Tensile Strength, Fu	4080 kgf/cm ²

Ilustración 5: Propiedades y medidas de Losa colaborante (Autoría propia)

La Ilustración 5, muestra las medidas y características de la losa colaborante, con referencia a la Ilustración 4.

3.3. Evaluación de los resultados del análisis estructural

3.3.1. Modelación estructural

La edificación fue modelada utilizando el software ETABS v16.2.1, ampliamente reconocido por su capacidad de análisis dinámico y no lineal. Se empleó un modelo tridimensional, Ilustración 6, considerando los parámetros sismorresistentes locales (zona sísmica Z=6, tipo de suelo D, factor de importancia I=1.0) y las propiedades mecánicas de los materiales de construcción ($F'_c = 240 \text{ Kg/cm}^2$ para hormigón, $F_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$ para acero de refuerzo). Luego, se diseña el espectro elástico de aceleraciones $S_a(T_a)$ y se asignan las cargas al modelo definido. El análisis estructural se realizará mediante un análisis modal espectral para validar los modos de vibración predominantes y las derivas laterales máximas.

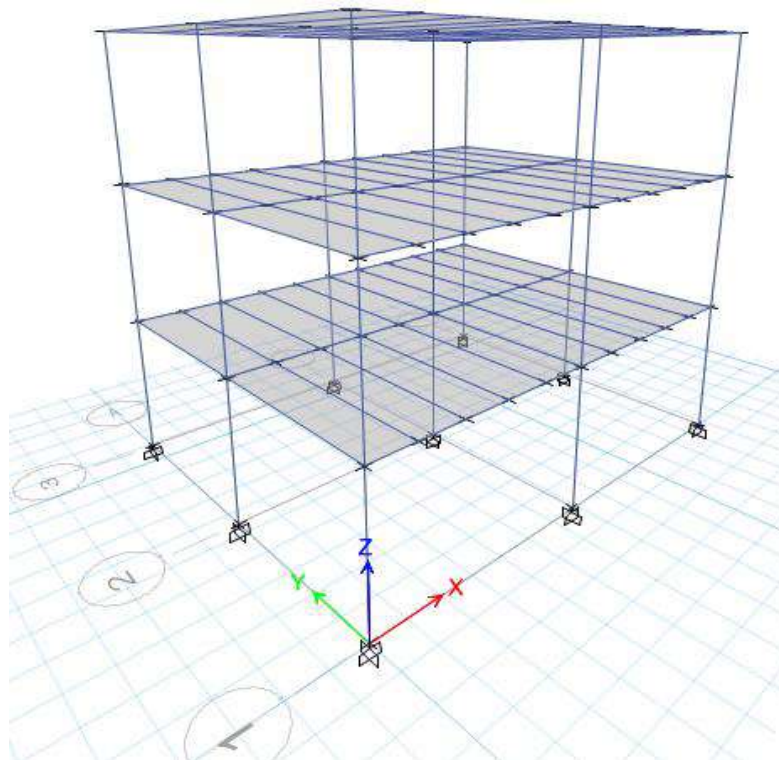


Ilustración 6: Modelo Estructural tridimensional (Autoría propia)

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

El espectro de respuesta elástico de aceleraciones es la curva que relaciona la aceleración espectral S_a con el período T , y permite asignar a cada modo de vibración la demanda sísmica correspondiente. En ETABS se define manualmente como una **Response Spectrum Function**, ingresando las características sísmicas de diseño, tal y como se muestra en la Ilustración 7.

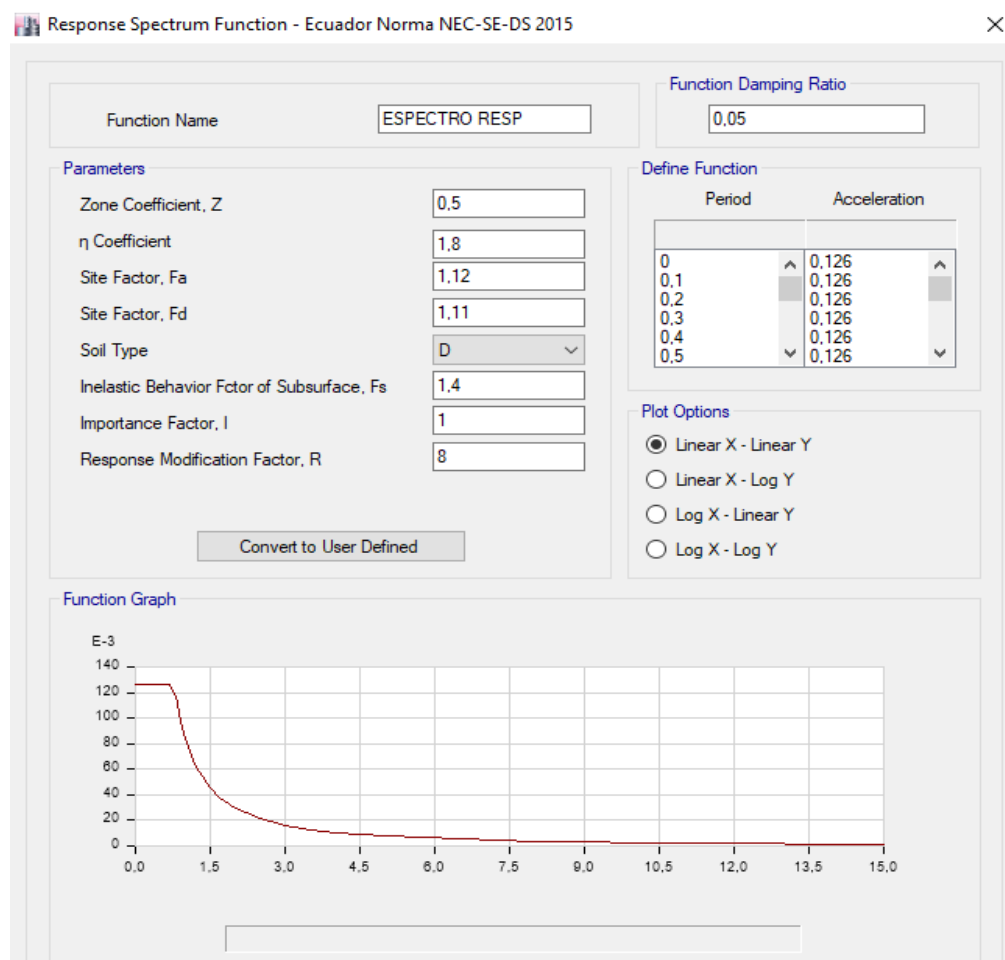


Ilustración 7: Espectro de respuesta elástico de aceleraciones (Autoría propia)

Luego se crea un caso de carga “Response Spectrum” en sentido X y Y, asociado al análisis modal y se combinan los modos (SRSS/CQC) para obtener las fuerzas sísmicas para el análisis de la estructura, Ilustración 8 y 9.

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)

Design... Notes...

Loads Applied

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U1	ESPECTRO RESP	980.665
Acceleration	U2	ESPECTRO RESP	326.888

Add Delete

☐ Advanced

Other Parameters

Modal Load Case: Modal

Modal Combination Method: CQC

☐ Include Rigid Response

Rigid Frequency, f1:

Rigid Frequency, f2:

Periodic + Rigid Type:

Earthquake Duration, td:

Directional Combination Type: SRSS

Absolute Directional Combination Scale Factor:

Modal Damping: Constant at 0.05

Diaphragm Eccentricity: 0 for All Diaphragms

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

Ilustración 8: 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)

Design... Notes...

Loads Applied

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U2	ESPECTRO RESP	980.665
Acceleration	U1	ESPECTRO RESP	326.888

Add Delete

☐ Advanced

Other Parameters

Modal Load Case: Modal

Modal Combination Method: CQC

☐ Include Rigid Response

Rigid Frequency, f1:

Rigid Frequency, f2:

Periodic + Rigid Type:

Earthquake Duration, td:

Directional Combination Type: SRSS

Absolute Directional Combination Scale Factor:

Modal Damping: Constant at 0.05

Diaphragm Eccentricity: 0 for All Diaphragms

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

Ilustración 9: Caso de carga espectral Y (Autoría propia)

3.3.3. Definición y asignación de cargas verticales

- **Definición de los patrones de carga:**

Menú: Define → Load Patterns.

Donde se declaran los tipos de carga que vas a usar en tu análisis.

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

La Ilustración 10 muestra los patrones de cargas ingresados en ETABS.

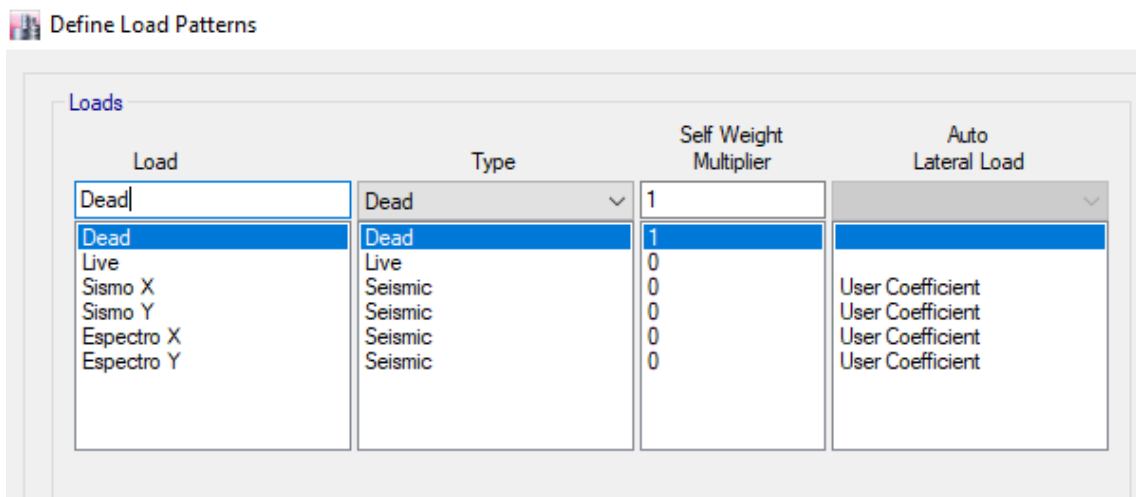


Ilustración 10: Definición de patrones de cargas (Autoría propia)

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).

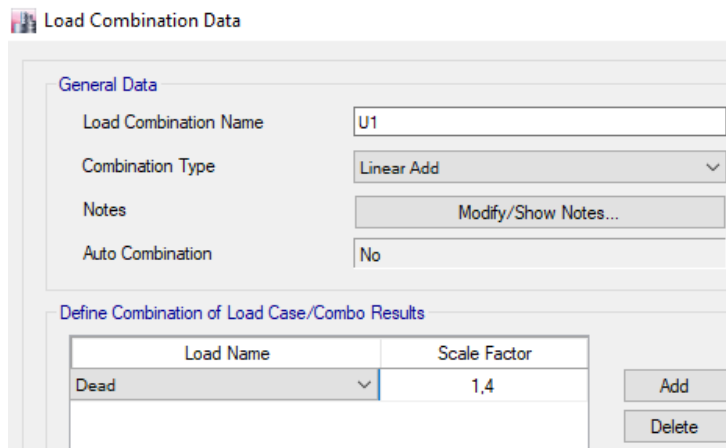
User Coefficient: indica que usarás un coeficiente manual (el que definas luego en Define → Load Cases → Seismic).

- **Combinaciones de cargas:**

Menú: Define → Load Combinations.

De acuerdo con la NEC-15 (NEC-SE-CG para cargas no sísmicas y NEC-SE-DS para sísmicas), tus combinaciones de carga deben cubrir tanto los estados límite últimos (ELU) como los de servicio (ELS), incluyendo los casos sísmicos estático y modal. A continuación, definimos los combos:

- **Combo (D+L):** estado de servicio, Ilustración 11.



Load Combination Data

General Data

Load Combination Name: U1

Combination Type: Linear Add

Notes: Modify/Show Notes...

Auto Combination: No

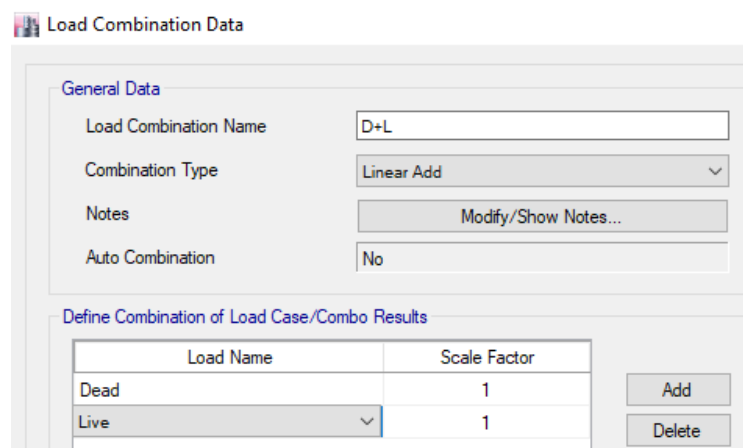
Define Combination of Load Case/Combo Results

Load Name	Scale Factor
Dead	1.4

Add Delete

Ilustración 11: Combo D+L (Autoría propia)

- **Combo (U1):** 1.4 D, Ilustración 12



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 12: Combo U1 (Autoría propia)

- **Combo (U2): 1.2 D + 1.6 L, Ilustración 13**

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 13: Combo U2 (Autoría propia)

- **Combo (U3): 1.2 D + 0.5 L, Ilustración 14**

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 14: Combo U3 (Autoría propia)

- **Combo (U4): 1.2 D + 1.0 L, Ilustración 15**

Load Combination Data

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 15: Combo U4 (Autoría propia)

- **Combo (U5):** 1.2 D + 1.0 L + 1.0 E, Ilustración 16 y 17

Load Combination Data (U5 SX)

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

Load Combination Data (U5 SY)

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

Ilustración 17: Combo U5 SX - SY (Autoría propia)

Load Combination Data (U5 ESPX)

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

Load Combination Data (U5 ESPY)

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

Ilustración 16: Combo U5 ESPX - ESPY (Autoría propia)

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

Load Combination Data (U6 SX)

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

Load Combination Data (U6 SY)

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

Ilustración 18: Combo U6 S X - SY (Autoría propia)

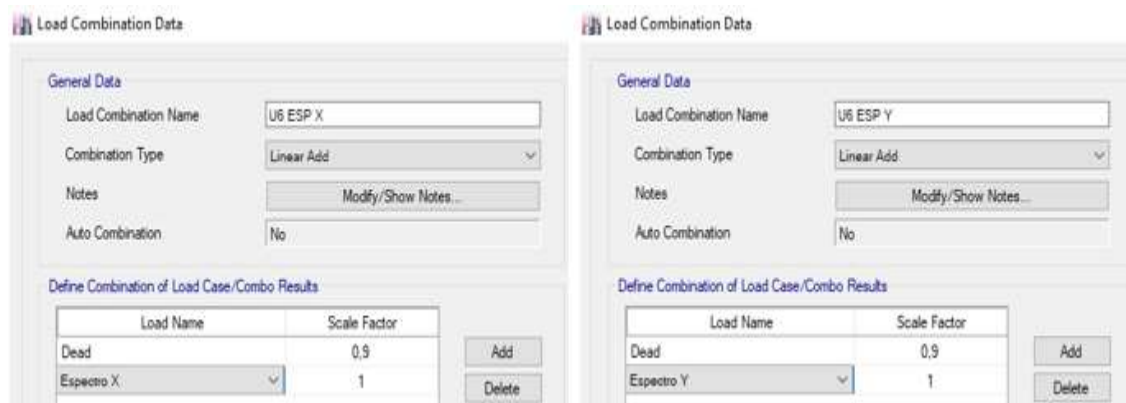


Ilustración 19: Combo U6 ESPX – ESP Y (Autoría propia)

3.3.4. Evaluación del comportamiento estructural.

Una vez desarrollado el modelo estructural y asignadas las cargas definidas en la sección anterior en el software ETABS, se evaluará el comportamiento de la estructura bajo las combinaciones de carga establecidas en la normativa NEC-SE-DS. La evaluación considerará los siguientes parámetros principales:

- **Análisis modal y masas acumuladas.**

En cumplimiento de lo establecido por la NEC-SE-DS, en lo referente al análisis modal espectral, se verificó que la suma acumulada de las masas modales efectivas en cada dirección principal de análisis (UX y UY) alcanza al menos el 90 % de la masa total de la estructura, como lo exige la normativa para garantizar una representación adecuada de la respuesta dinámica.

De acuerdo con los resultados del análisis modal, se consideraron un total de nueve (9) modos de vibración, obteniendo las siguientes masas modales acumuladas:

- En la dirección X (UX): 100 %
- En la dirección Y (UY): 100 %

Estos resultados superan ampliamente el mínimo requerido del 90 % en ambas direcciones principales, por lo que se concluye que el número de modos considerados es adecuado para representar correctamente la respuesta sísmica de la estructura.

Asimismo, se verificó que la participación modal en la dirección vertical (UZ) es insignificante, como es habitual, y no se considera crítica para el diseño sísmico horizontal de la estructura. Las componentes rotacionales RX, RY y RZ son de carácter secundario y no afectan el cumplimiento normativo en cuanto a masa modal efectiva. En la Tabla 10, verificamos la participación de masa modal y el cumplimiento de la Sección 6.2.2, Literal e), NEC-SE-DS_Parte 2.

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	0,443	0,846	0	0	0,846	0,000	0	0	0,209	0
Modal	2	0,436	0	0,861	0	0,846	0,861	0	0,191	0,209	0
Modal	3	0,359	0	0	0	0,846	0,861	0,860	0,191	0,209	0,860
Modal	4	0,137	0	0,110	0	0,846	0,971	0	0,927	0,209	0,860
Modal	5	0,133	0,120	0	0	0,966	0,971	0	0,927	0,908	0,860
Modal	6	0,112	0	0	0	0,966	0,971	0,110	0,927	0,908	0,970
Modal	7	0,078	0	0,029	0	0,966	1,000	0	1,000	0,908	0,970
Modal	8	0,071	0,034	0	0	1,000	1,000	0	1,000	1,000	0,970
Modal	9	0,064	0	0	0	1,000	1,000	0,030	1,000	1,000	1,000

Tabla 10: Participación de la masa modal (Autoría propia)

La tabla presenta los modos de vibración obtenidos en el análisis modal, indicando el período de cada modo y la participación de la masa en las direcciones principales (UX, UY, torsión RZ) y sus acumulados.

Principales resultados:

- El modo 1 (0.443 s) concentra el 84.6% de la masa en X, indicando un modo traslacional principal en esa dirección.
- El modo 2 (0.436 s) concentra el 86.1% de la masa en Y, siendo el modo traslacional principal en esa dirección.
- El modo 3 (0.359 s) tiene mayor contribución torsional (RZ) con 86.04%.

Las masas acumuladas superan el 97 % en traslación y torsión, cumpliendo el mínimo normativo del 90 % según NEC-SE-DS 6.2.2(e).

Conclusión: Los primeros modos analizados capturan adecuadamente la respuesta dinámica de la estructura en las tres direcciones, por lo que el análisis modal es válido y representativo.

- Evaluación del período de vibración.

Se verificará el período fundamental de vibración T obtenido del análisis modal en ETABS, comparándolo con el período aproximado T_a calculado según la NEC-SE-DS para el tipo estructural y altura de la edificación. Esta verificación asegura que la rigidez global del modelo sea consistente con las características físicas de la estructura y cumpla los límites normativos.

De acuerdo con la Sección 6.3.3 NEC-SE-DS, el período de vibración aproximado de la estructura T , para cada dirección principal, será estimado a partir de uno de los 2 métodos descritos a continuación:

a) **Método 1.**

Para estructuras de edificación, el valor de **T** puede determinarse de manera aproximada mediante la expresión: **$T_a = C_t h_n^\alpha$**

Donde:

C_t = Coeficiente que depende del tipo de edificio.

h_n = Altura máxima de la edificación, medida desde la base de la estructura, en metros.

α = Exponente empírico que depende del sistema estructural.

T_a = Período de Vibración aproximado.

La tabla 11, presenta los valores de los coeficientes 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 11: Valores de coeficientes C_t y α (NEC-SE-DS)

b) **Método 2.**

El período fundamental **T** puede ser calculado, utilizando las propiedades estructurales y las características de deformación de los elementos resistentes, en un análisis apropiado y adecuadamente sustentado.

Para nuestro trabajo, el período fundamental T se obtiene del análisis modal realizado en ETABS, considerando el primer modo predominante de traslación, ya que representa la respuesta global de la estructura.

Sin embargo, en la Sección 6.3.3, Literal b), NEC-SE-DS_Parte 2, indica que, el valor de T calculado según el Método 2, no debe ser mayor en un 30% al valor de T_a calculado con el Método 1, por lo que, realizamos la verificación:

Valor de T_a calculado por el método 1: con la ecuación $T_a = C_t h_n^\alpha$ procedemos al cálculo del período T_a , tal y como se muestra en la Ilustración 20:

Pórticos especiales de hormigón armado		
h_n =	9,12 m	Altura de edificio
C_t =	0,055	Sección 6.3.3, NEC-SE-DS
α =	0,90	Sección 6.3.3, NEC-SE-DS
CÁLCULO DEL PERÍODO T_a (Método 1)		
$T_a = 0,055 \times 9,12^{0,9} = 0,402 \text{ seg}$		

Ilustración 20: Cálculo de T_a , Método 1

Valor de T calculado por el método 2: se procede a analizar la estructura en Etabs y obtenemos el valor del período T en el primer modo de vibración, tal y como se muestra la Tabla 12.

TABLE: Modal Participating Mass Ratios						
Case	Mode	Period	UX	UY	UZ	RZ
		sec				
Modal	1	0,443	0,846	0	0	0
Modal	2	0,436	0	0,861	0	0
Modal	3	0,359	0	0	0	0,860

Tabla 12: Valor de T , Etabs (Autoría propia)

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

Método 1: $T_a = 0,402$ segundos

Método 2: $T = 0,443$ segundos

COMPROBACION DE LOS PERIODOS		
$T_a = C_t h_n^\alpha$ $T_a =$	0,402	Método 1
Máximo período T permitido:	0,523	30% del Período calculado Método 1
T (ETABS) =	0,443	Método 2
VARIACION MAXIMA 30% DEL PERIODO CALCULADO : 		10,17% OK
El valor del Período T calculado por el Método 2 (Etabs), NO debe ser mayor al 30% del valor del Período T_a calculado con el Método 1.		

Ilustración 21: Comprobación de períodos T_a vs T (Autoría propia)

Por tanto, de acuerdo a la Ilustración 21, se observa que el período T obtenido en el ETABS es **$T = 0,443$ segundos** (método 2), tiene una variación del **10.17%** con respecto al período **$T_a = 0,402$ segundos** (método 1), demostrando así que estamos dentro del rango óptimo que nos indica la NEC-SE-DS en la sección 6.3.3, Literal b) “El valor de T_a calculado según el método 2 no debe ser mayor en un 30% al valor de T_a calculado con el Método 1”.

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

La deriva entre pisos es la diferencia de desplazamiento lateral entre dos pisos consecutivos, dividida para la altura del entrepiso.

Por lo tanto, la deriva, sirve para verificar que las deformaciones laterales sean aceptables para servicio y seguridad.

La Sección 6.3.9 de la NEC-SE-DS, titulada “*Control de la deriva de piso*”, establece la verificación de que las derivas inelásticas máximas que la estructura podría experimentar durante un sismo severo no excedan los límites normativos.

En diseño sismorresistente se permiten derivas inelásticas controladas, siempre que no afecten la estabilidad ni la seguridad de la estructura.

Según NEC-SE-DS (2015), sección 6.3.9, las derivas inelásticas máximas se calculan amplificando las derivas elásticas obtenidas del análisis por el factor de reducción de respuesta R , para simular el comportamiento real de la estructura bajo un sismo severo.

La relación entre las derivas elásticas y las derivas inelásticas máximas suele determinarse con la siguiente expresión: $\Delta_m = 0.75 R \Delta_E$

Donde:

Δ_m = Deriva máxima esperada

$R = 8$ (Factor de reducción de resistencia)

Δ_E = Deriva elástica máxima obtenida del análisis estructural

$\Delta_E = 0.001288$ (Deriva elástica máxima obtenida del análisis en Etabs)

$\Delta_M = 0.75 \times 8 \times 0.001288$

$\Delta_M = 0.0077$ (Deriva inelástica obtenida del cálculo)

Por lo tanto, del análisis lineal, se verifica que la deriva elástica máxima es provocada por el Sismo estático en dirección X, donde se obtuvo el desplazamiento máximo, tal y como se muestra en la Ilustración 22.

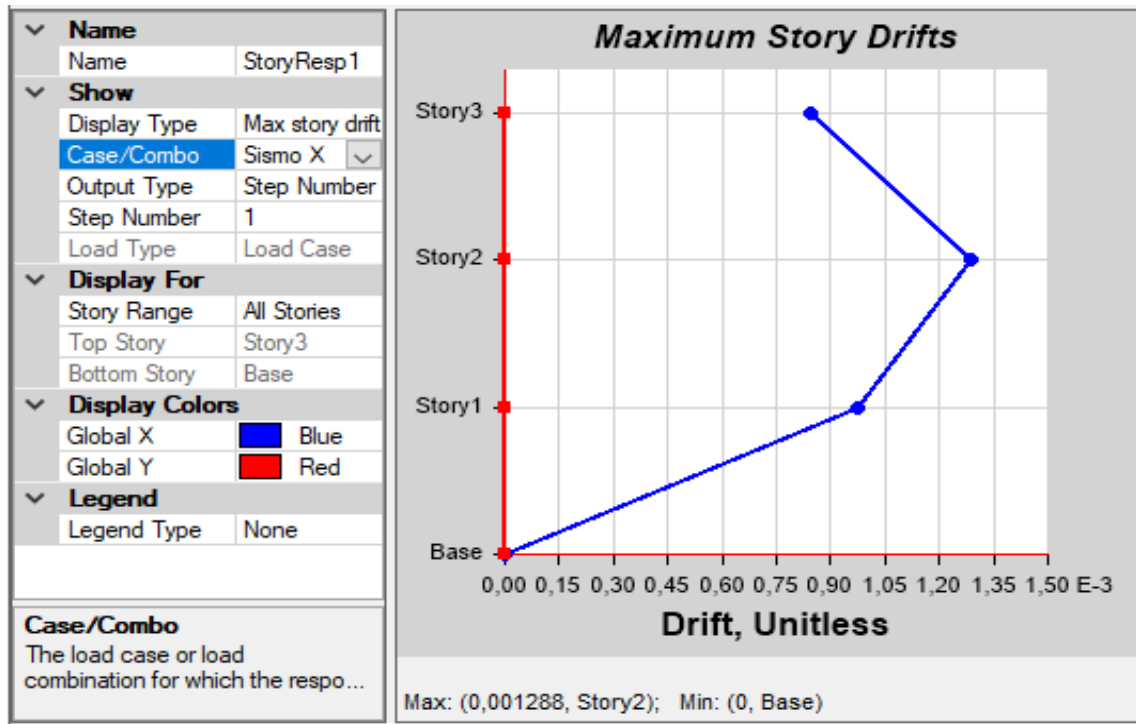


Ilustración 22: Deriva elástica máxima_Etabs (Autoría propia)

De acuerdo con la Sección 4.2.2, NEC-SE-DS_Parte 1 (Límite permisible de las derivas de los pisos), la deriva máxima para cualquier piso no excederá los límites de la deriva inelástica establecidos en la tabla siguiente, en la cual la deriva máxima se expresa como un porcentaje de la altura de piso, Tabla 13.

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

Tabla 13: Valores de Δ_{max} (NEC-SE-DS_Parte 1)

Finalmente, verificamos el cumplimiento de las derivas, tal y como se muestra en la Ilustración 23, donde: $\Delta_M \leq \Delta_{M_{max}}$

COMPROBACION DE DERIVAS			
MAX. DERIVA INELASTICA PERMISIBLE	$\Delta_{Max} =$	0,02	2%
MAX.DERIVA ELASTICA (ETABS):	$\Delta E =$	0,001288	
FACTOR DE REDUCCION	$R =$	8	
FACTOR	$\alpha =$	0,75	
DERIVA INELÁSTICA	$\Delta M =$	0,0077	0,77%
COMPROBACIÓN DE DERIVAS	$\Delta M < \Delta_{Max}:$	0,0077 < 0,02	OK

Ilustración 23: Comprobación de derivas (Autoría propia)

En la Ilustración 23 se presentan los cálculos donde se comprobó que la deriva inelástica máxima entre pisos (ΔM) se mantiene dentro de los límites permisibles establecidos en la Tabla 13, de acuerdo con la categoría de uso de la edificación definida en la normativa.

La verificación confirma la capacidad de la estructura para soportar derivas controladas, garantizando estabilidad y desempeño ante sismos severos.

Control del cortante basal.

Se verifica que el análisis dinámico no subestime las fuerzas sísmicas, ya que el análisis espectral puede dar valores menores a los mínimos normativos por aproximaciones o irregularidades.

Según la NEC-SE-DS 6.2.2(b), el cortante dinámico debe ser al menos el 80 % (estructuras regulares) o 85 % (irregulares) del cortante estático. En este caso, los cortantes dinámicos superaron esos mínimos en ambas direcciones, cumpliendo la norma, como se evidencia en la Ilustración 24.

CORTANTE BASAL ESTÁTICO				
Sismo X=	17,76 T		V Estático X	
Sismo Y=	17,76 T		V Estático Y	
CORTANTE BASAL DINÁMICO				
Espectro X=	eje X=	15,20 T	eje Y=	5,15 T
Espectro Y=	eje Y=	5,07 T	eje X=	15,44 T
Resultante X=	16,05 T		V Dinámico X	
Resultante Y=	16,25 T		V Dinámico Y	
PARA ESTRUCTURA REGULAR				
Para estructuras regulares se debe cumplir la siguiente condicion:				
Sismo X con Espectro X				
V basal Dinamico > 80% V basal Estatico				
16,05 T > 80% * 17,76 T 16,05 T > 14,21 T OK				
PARA ESTRUCTURA REGULAR				
Para estructuras regulares se debe cumplir la siguiente condicion:				
Sismo Y con Espectro Y				
V basal Dinamico > 80% V basal Estatico				
16,25 T > 80% * 17,76 T 16,25 T > 14,21 T OK				

Ilustración 24: Comprobación de cortantes estático y dinámico (Autoría propia)

Por lo tanto, la estructura cumple con el requisito normativo para edificaciones regulares.

- **Comparación entre Demanda Sísmica y Capacidad Estructural de la estructura metálica de soporte de la losa colaborante.**

La NEC-15 establece que la capacidad de los elementos estructurales debe ser mayor o igual a la demanda sísmica de diseño, asegurando una relación $D/C \leq 1$ y el adecuado desempeño estructural.

La Ilustración 25 muestra la estructura 3D con las vigas secundarias de soporte de la losa tipo caja 200x100x4 mm, diseñadas según AISC 360-10.

La escala de colores indica la razón demanda/capacidad según AISC 360-10, siendo celeste baja demanda y rojo alta utilización.

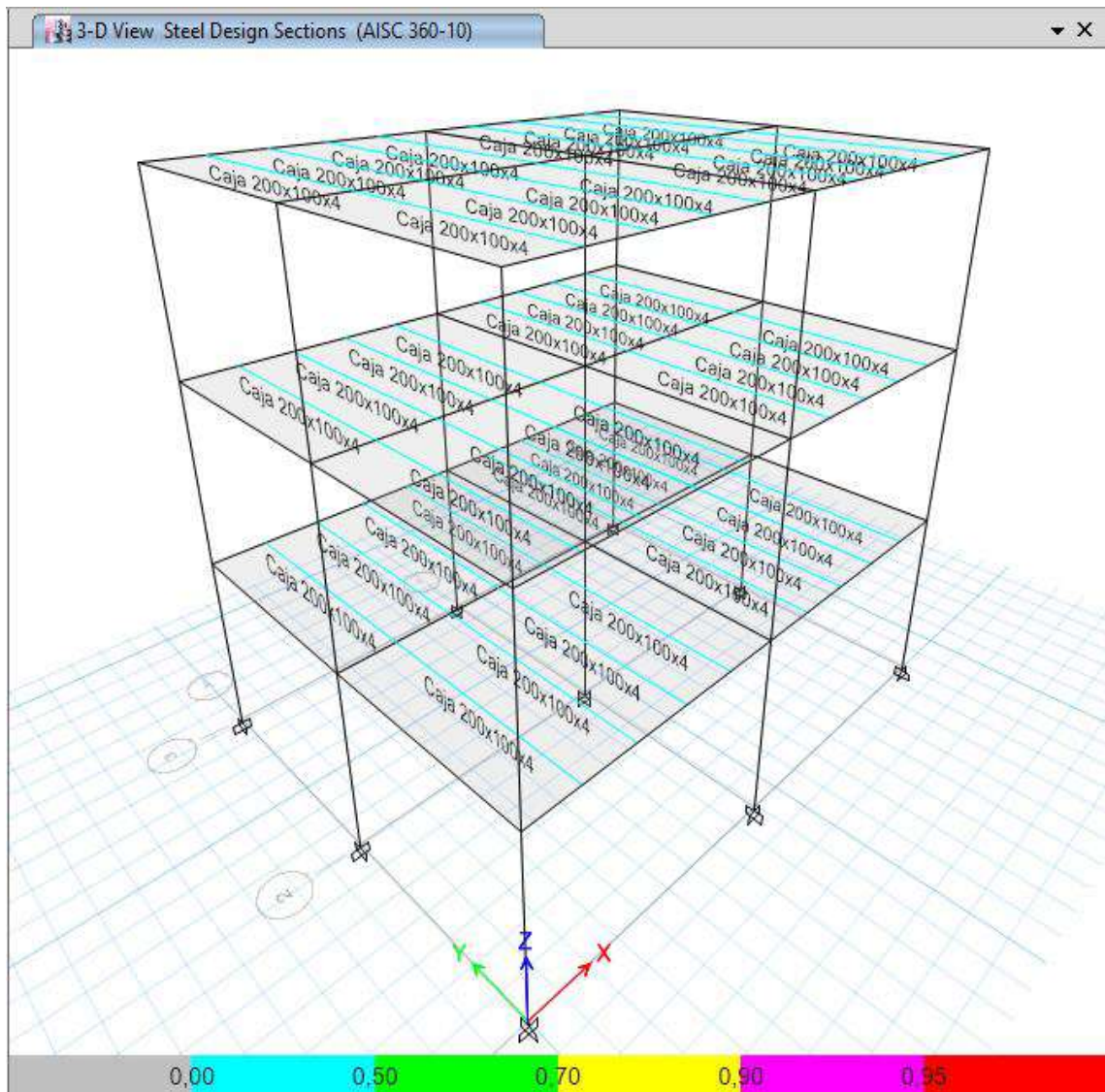


Ilustración 25: Vista 3D_Demanda / Capacidad_ Estructura losa colaborante (Autoría propia)

Por lo tanto, las vigas metálicas de soporte de la losa colaborante, muestran un color celeste, lo cual nos indica que tienen una baja demanda sísmica o una alta capacidad de resistencia.

- **Área de acero de refuerzo en columnas de hormigón armado.**

La Ilustración 26, muestra la distribución del área total de acero de refuerzo longitudinal requerido en las columnas del edificio, calculado según las cargas sísmicas y gravitacionales combinadas y diseñado conforme a las disposiciones de la norma ACI 318-14. Cada valor entre paréntesis indica el área de acero en (cm^2) para la respectiva columna, verificando la capacidad resistente frente a las solicitaciones.

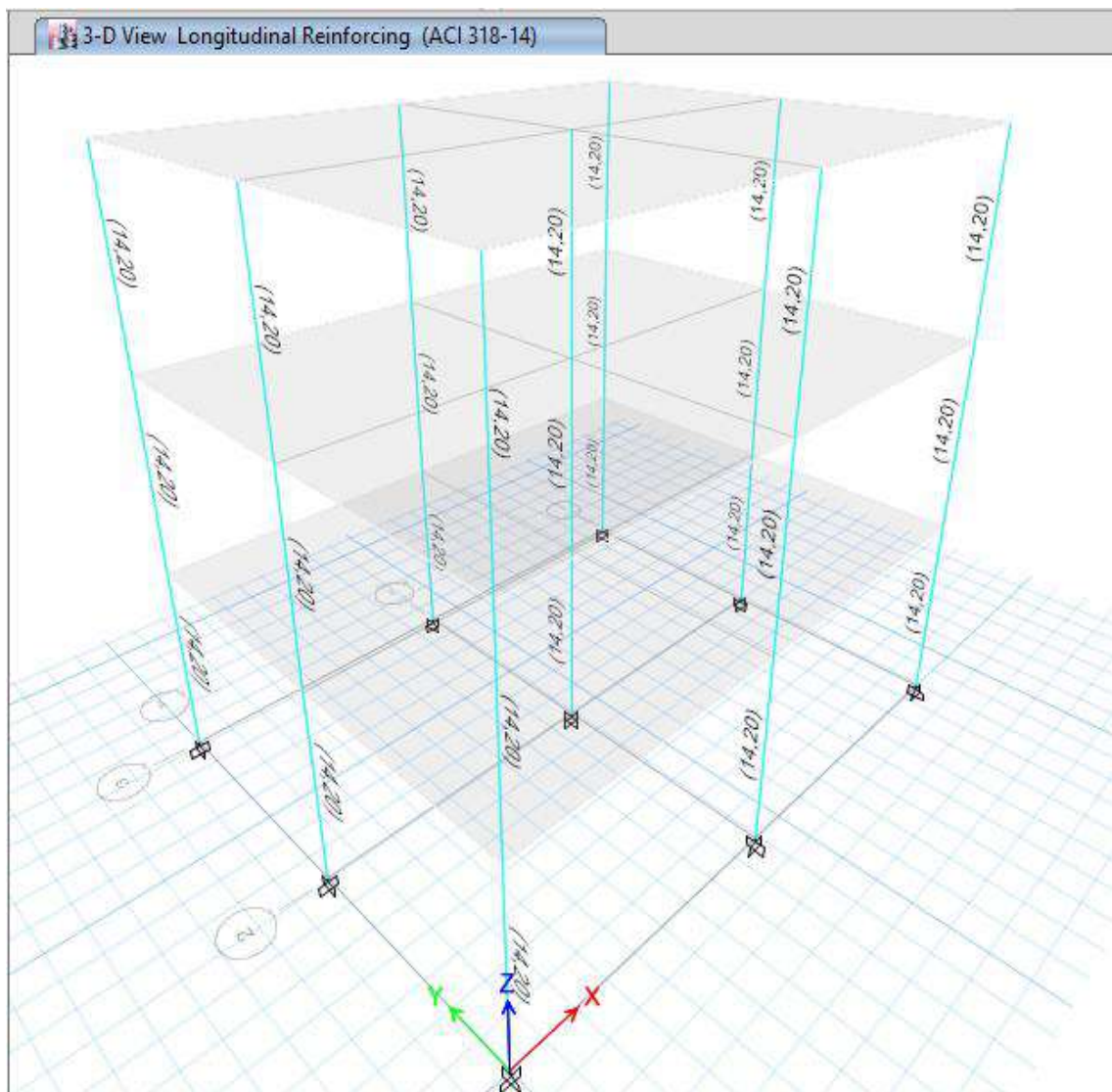


Ilustración 26: Secciones de acero de refuerzo en columnas de H.A. (Autoría propia)

- **Distribución en planta del refuerzo longitudinal en vigas (ACI 318-14), $z = 6.08$ m.**

La Ilustración 28, muestra la planta del piso ($z = 6,08$ m), indicando sobre cada viga, el área de acero longitudinal necesaria en (cm^2), de acuerdo al diseño por flexión y normas ACI 318-14.

Cada número junto a una viga representa la cantidad de acero por franja o dirección, para resistir las combinaciones de carga calculadas

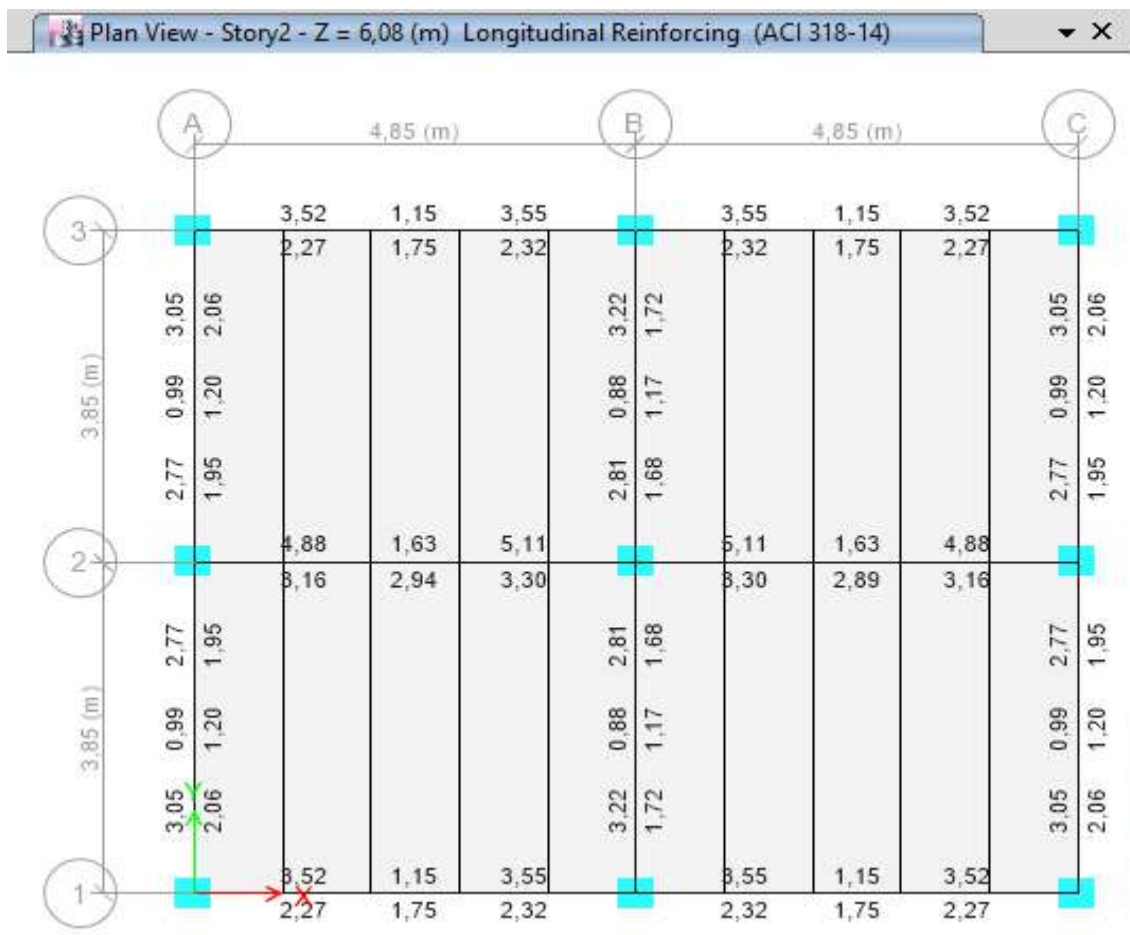


Ilustración 28: Refuerzo longitudinal de vigas, $z = 6.08$ m (Autoría propia)

- **Distribución en planta del refuerzo longitudinal en vigas (ACI 318-14), $z = 9.12$ m.**

La Ilustración 29, muestra la planta de la losa de cubierta ($z = 9,12$ m), indicando sobre cada viga, el área de acero longitudinal necesaria en (cm^2), de acuerdo al diseño por flexión y normas ACI 318-14.

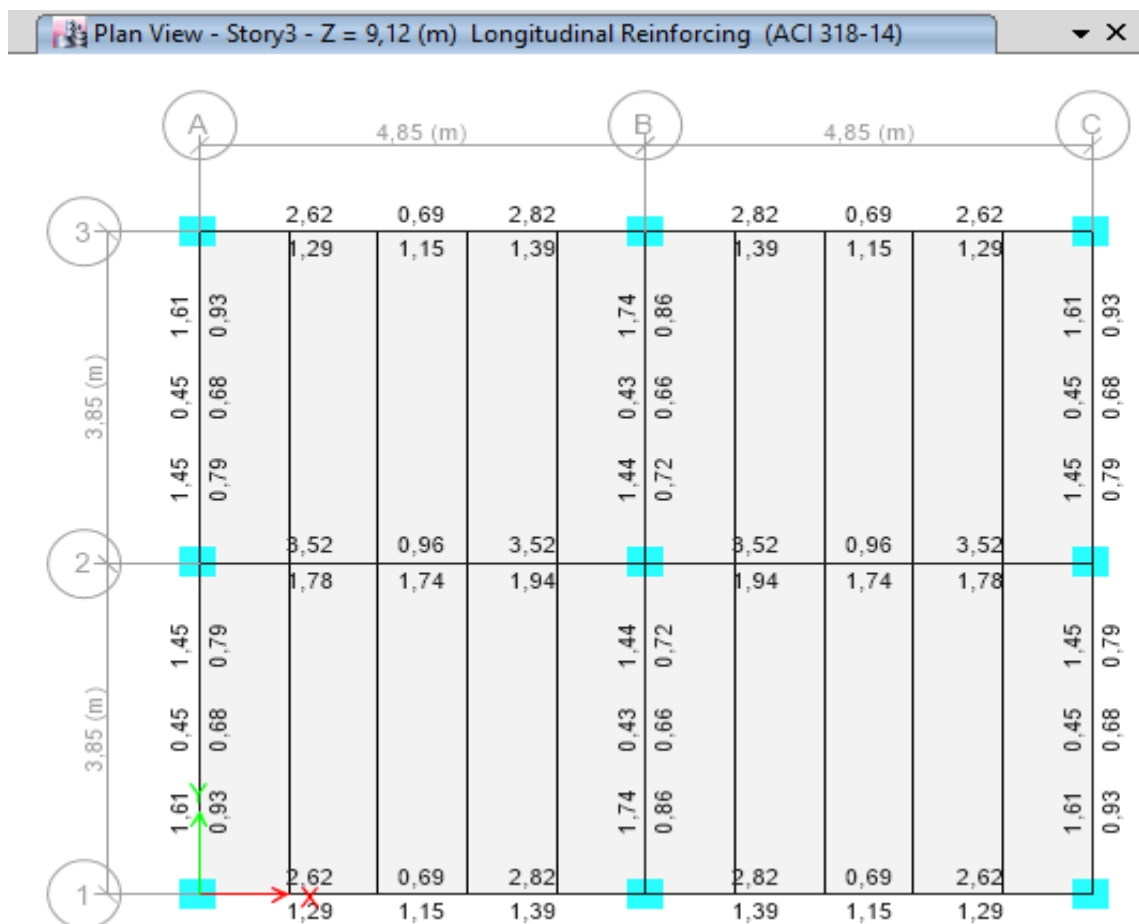


Ilustración 29: Refuerzo longitudinal de vigas, $z = 9.12$ m (Autoría propia)

Por lo tanto, la verificación del comportamiento sísmico nos indica que:

La evaluación estructural realizada, confirma que la edificación cumple con las exigencias de las normativas vigentes, garantizando un comportamiento sísmico, seguro y adecuado.

La participación de masas modales acumuladas en ambas direcciones principales supera el 90 %, validando la representatividad del análisis modal espectral.

El período fundamental de vibración obtenido, es coherente con la altura y tipología del edificio, reflejando una correcta rigidez estructural.

Las derivas inter-piso calculadas, permanecen dentro de los límites normativos, asegurando estabilidad, seguridad y confort para los ocupantes.

El cortante basal dinámico supera el mínimo requerido por la normativa, sin necesidad de escalar las fuerzas sísmicas.

Además, verificamos que los elementos estructurales fueron dimensionados para que su capacidad resistente supere la demanda sísmica, con una razón demanda / capacidad (D/C) menor o igual a uno.

En los elementos de hormigón armado, el refuerzo longitudinal fue diseñado conforme a la norma ACI 318-14, mientras que en la estructura metálica los perfiles cumplen con AISC 360-10.

En conjunto, las verificaciones realizadas conforme a la NEC-15, ACI 318-14 y AISC 360-10 demuestran que la edificación satisface los criterios de desempeño establecidos para edificaciones normales, garantizando su seguridad y funcionalidad ante el sismo de diseño.

Capítulo IV: Conclusiones y Recomendaciones

4.1. Conclusiones

- Los parámetros sísmicos fueron obtenidos de manera correcta para el modelo estructural, definiendo cada parámetro de acuerdo a la zonificación de la estructura.
- El dimensionamiento de los elementos estructurales cumplió con las características del modelo, cuya geometría y resistencia quedaron definidas para que la estructura tenga la capacidad de mantenerse estable aun en condiciones sísmicas.
- Los resultados obtenidos de la modelación estructural mediante el análisis modal espectral, fueron determinados de manera correcta, lo cual garantiza la seguridad y estabilidad sismorresistente de la estructura.

4.2. Recomendaciones

- Como recomendación principal se solicita que los estudiantes de carreras afines a la materia en cuestión, tengan capacitaciones continuas y constantes, ya que de esto depende mucho el desarrollo del conocimiento en temas tan trascendentales como este.
- Se recomienda que todo proyecto de análisis y modelación estructural, tengan los estudios pertinentes a la mano, para no asumir valores que pongan en riesgo el buen desarrollo del modelo estructural.
- Se recomienda la capacitación continua en materia de normativa, ya que los códigos se modifican cada cierto tiempo, cambiando ciertos factores de diseño, y se desactualice la información brindada.

Bibliografía

Betancourt-Rodríguez, V., Rodríguez-Téllez, J., Martínez-Rocamorra, A., & Escolano-Margarit, D. (2023). Comparative analysis of the sustainability and seismic performance of social housing structures. *Frontiers in Built Environment*, 9, Article 115082. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2023.1150826>

Cardona, O. D., Ordaz, M., Marulanda, M. C., & Barbat, A. H. (2012). Evaluación del riesgo sísmico en viviendas multifamiliares en Colombia. Universidad de los Andes.

Chopra, A. K. (2017). *Dynamics of structures: Theory and applications to earthquake engineering* (5th ed.). Prentice Hall. Recuperado de https://gacbe.ac.in/images/E%20books/Dynamics%20of%20Structures%20Theory%20and%20Applications%20to%20Earthquake%20Engineering%20A.K.%20Chopra_NNN_bb.pdf

Espinel, R., Mora, J., & Cedeño, L. (2017). Vulnerabilidad sísmica de las edificaciones en Manabí tras el terremoto del 16 de abril de 2016. *Revista de Ingeniería Sísmica del Ecuador*, 2(1), 40–55.

Fardis, M. N. (2009). *Seismic Design, Assessment and Retrofitting of Concrete Buildings: based on EN-Eurocode 8*. Springer Science+Business Media. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9842-0_6

Cardona, O. D., Salgado-Gálvez, M. A., Zuloaga-Romero, D., Bernal, G. A., & Mora, M. G. (2014). *Fully probabilistic seismic risk assessment considering local site effects for the portfolio of buildings in Medellín, Colombia*. Bulletin of Earthquake Engineering, 12, 671–695.
<https://doi.org/10.1007/s10518-013-9550-4>

See, H.-Y. (2017). *Structural analysis: Principles, methods and modelling*. CRC Press.

Hibbeler, R. C. (2011). *Análisis estructural* (8ª ed.). Prentice Hall.

Carranza Vera, L. A., Vera Zambrano, J. S., & Alcívar, S. (2024). *Desempeño sísmico de tres sistemas estructurales aporticados diseñados según la Norma Ecuatoriana de la Construcción, NEC-2015*. Polo del Conocimiento, 9(2), 3000–3024.
<https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/7916>

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6.ª ed.). McGraw-Hill, p. 4.

Chicaiza Fuentes, J. P., & Toapanta Castellanos, M. A. (2025). *Análisis de la vulnerabilidad sísmica de las viviendas de hormigón armado del sector “La México”, parroquia Chimbacalle, cantón Quito, Pichincha, mediante la Norma Técnica NEC-15* (Tesis de pregrado). Universidad Internacional SEK.
<https://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/5480>

Menéndez-Navarro, G. M., García-García, J. G., & Reyna-García, A. E. (2023). *Vulnerabilidad sísmica en edificaciones de la ciudad de Portoviejo*:

Reflexiones del 16-A. Revista InGenio, 6(1), 73–86.
<https://doi.org/10.18779/ingenio.v6i1.565>

Gallego, A., Martínez, J., & Hernández, M. (2011). Manual de construcción con losas colaborantes. Editorial UPC.

García, N. L., & colaboradores. (2023). Comparing analysis of earthquake-resistant housing construction. En Proceedings of the 9th International Conference on Structural Engineering and Construction Technology (ICSECT 2024). ESPOL.
https://avestia.com/CSEE2024_Proceedings/files/paper/ICSECT_120.pdf

Hernández, J., Ramírez, L., & Paredes, M. (2019). Métodos cuantitativos aplicados al análisis estructural. Editorial Académica Española.

Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2019). Metodología de la investigación. McGraw-Hill Education.

Instituto Geofísico. (2016). Informe especial: Terremoto de magnitud 7.8 en la costa de Ecuador. Escuela Politécnica Nacional.

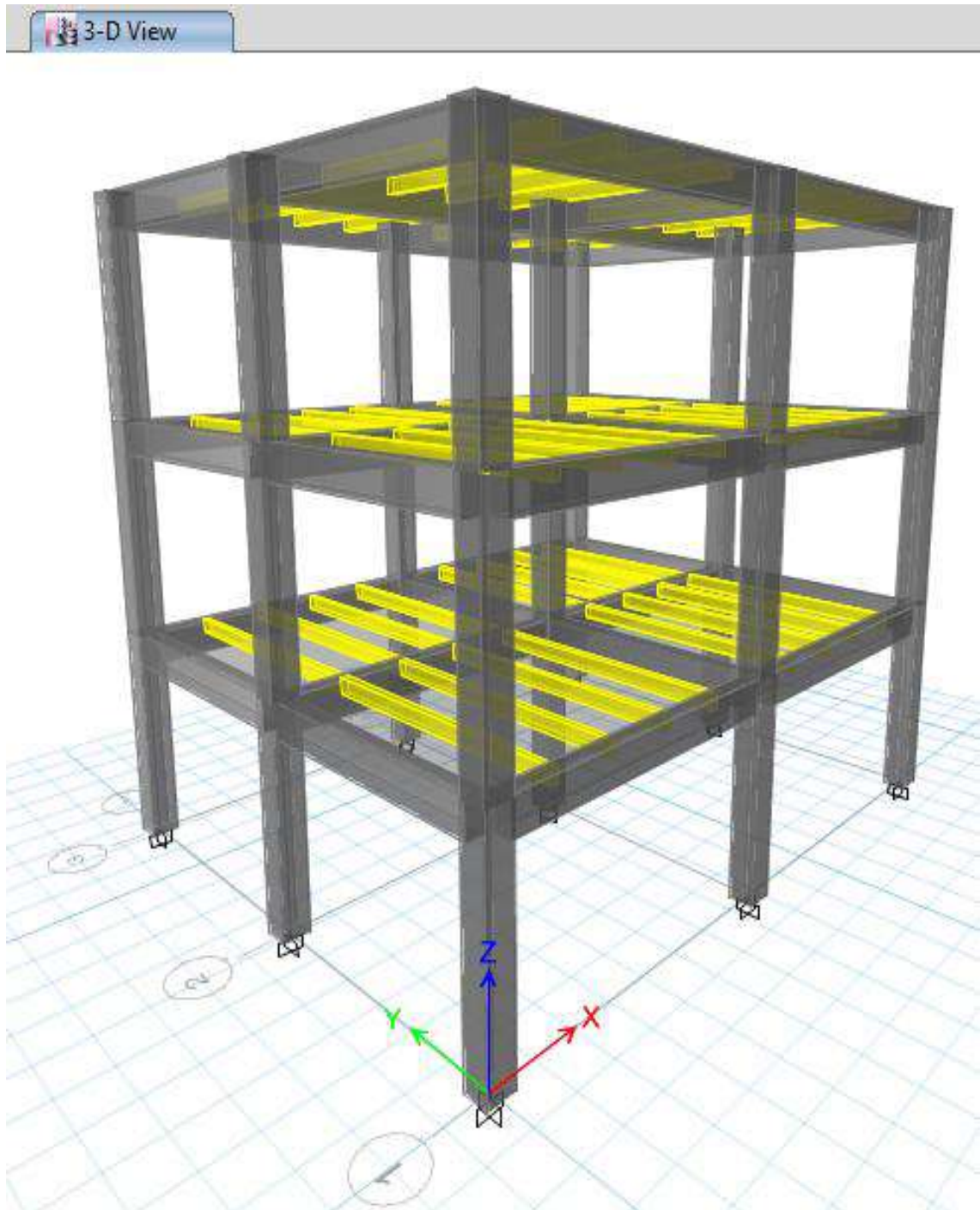
Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). (2021). Censo de población y vivienda 2021: Provincia de Manabí. INEC.

Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI). (2015). Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-15. MIDUVI.
<https://www.habitatyvivienda.gob.ec>

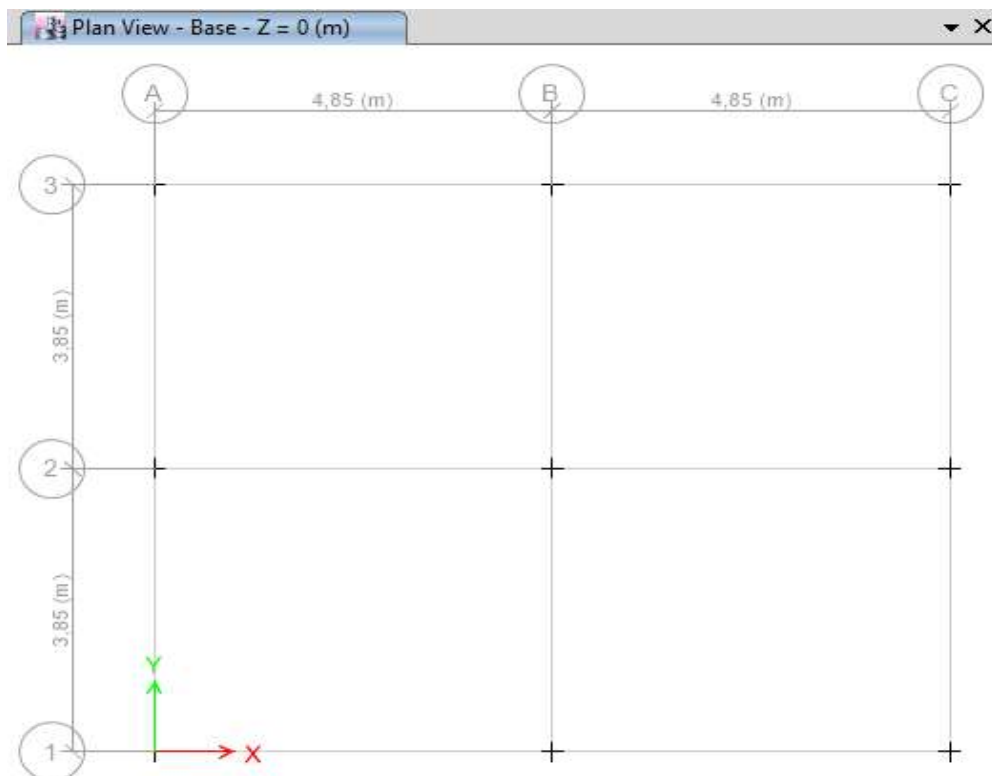
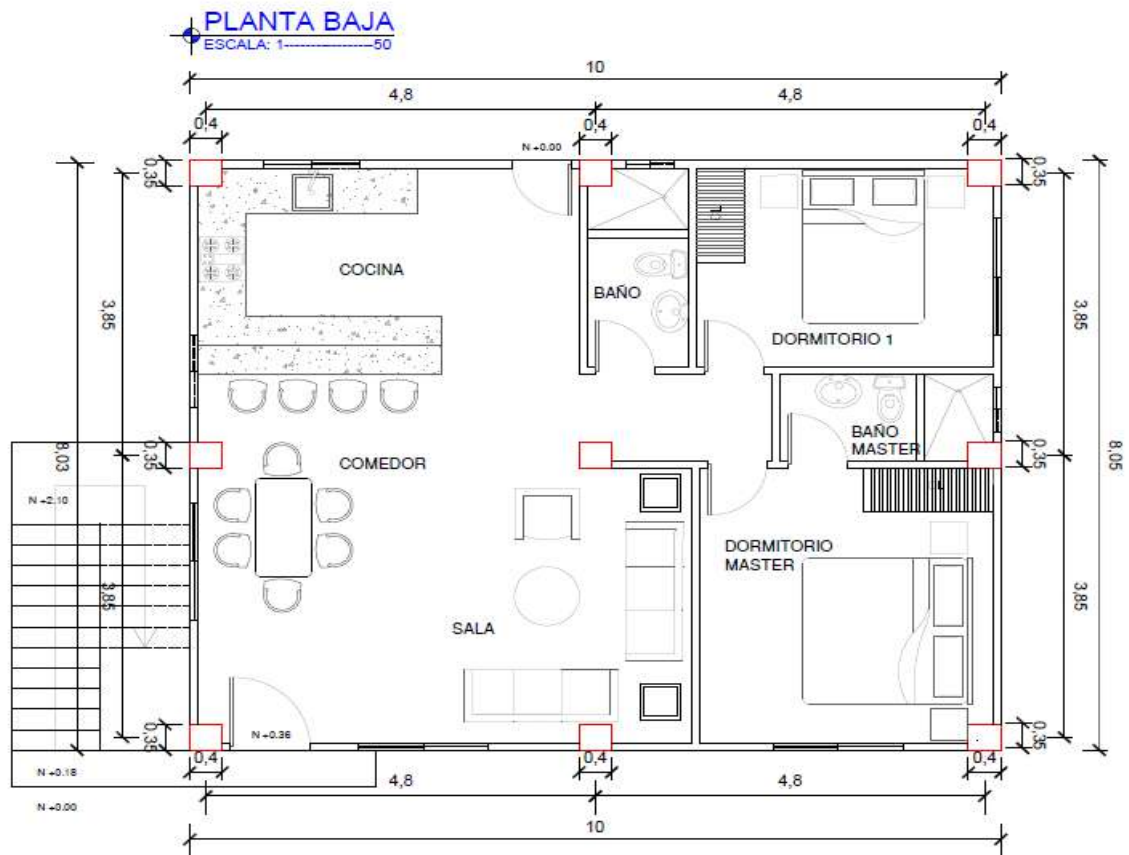
Organización de las Naciones Unidas (ONU). (2015). Agenda 2030 para el desarrollo sostenible. ONU.

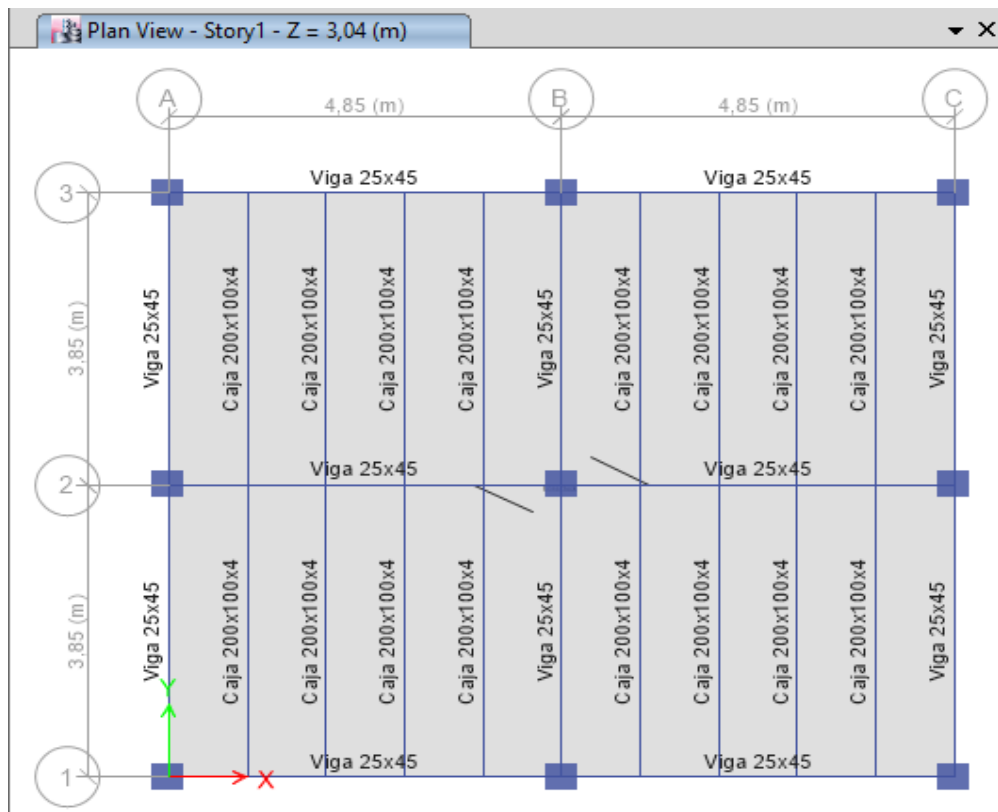
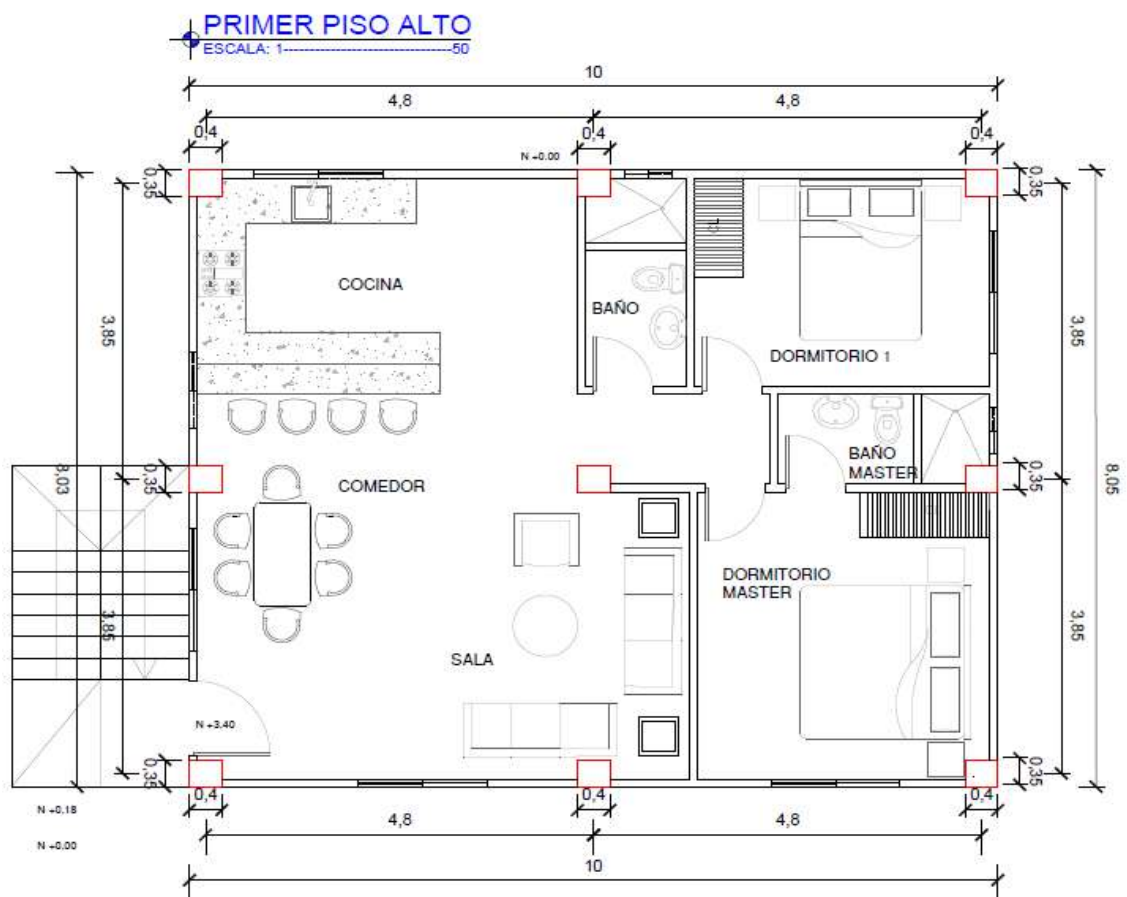
Anexos

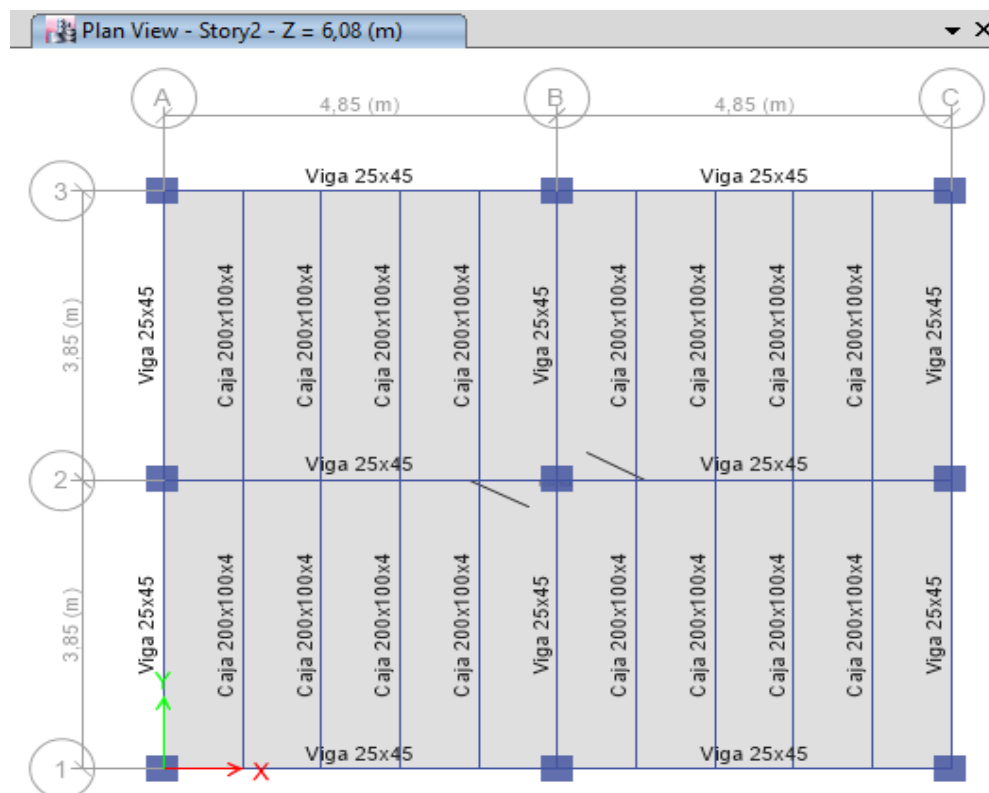
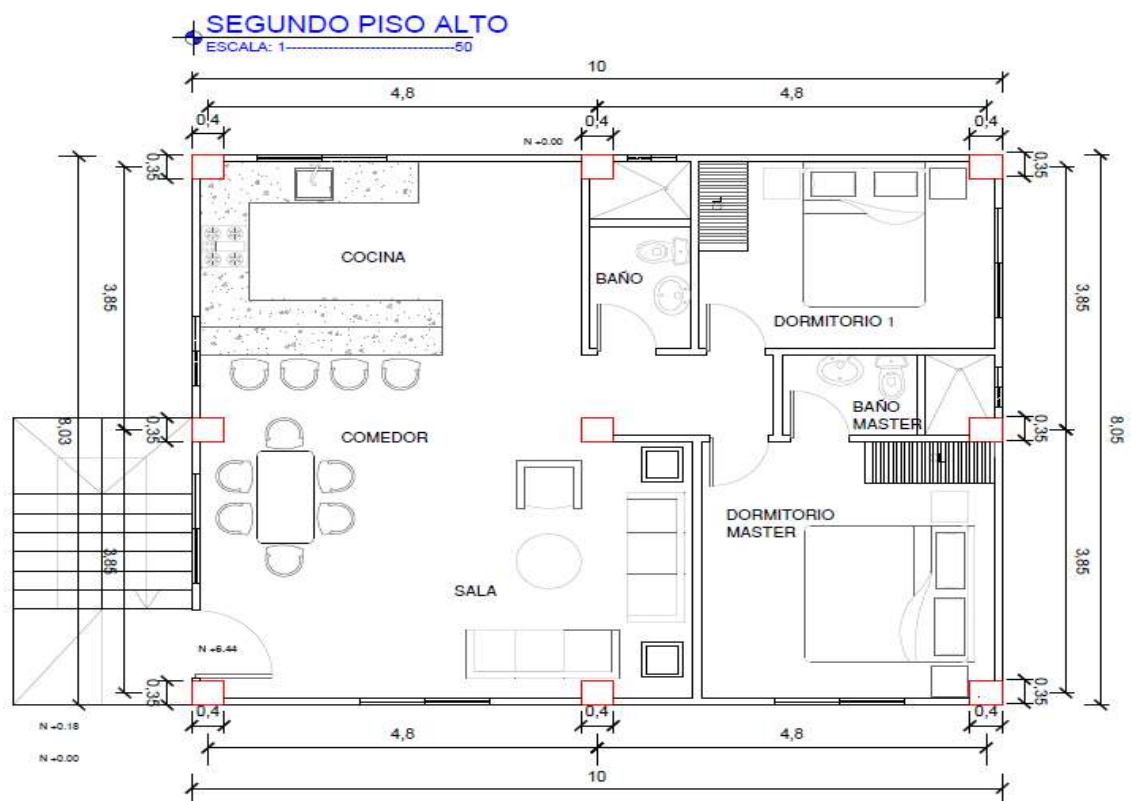
Gráfico 3D de la estructura modelada, analizada y estabilizada



Planos arquitectónicos y modelos estructurales definidos.









3D Rendered View

