



UNIVERSIDAD LAICA “ELOY ALFARO” DE MANABÍ

Título:

Modelación estructural de vivienda multifamiliar de 3 niveles con vigas, columnas y losas alivianadas de hormigón armado, aplicando la NEC 15, en la parroquia Canoa, cantón San Vicente.

Autor

Mera Intriago Stiven Ariel

Tutor

Ing. Patricio Andrés Pazmiño Balda

Unidad Académica:

Unidad Académica de Formación Técnica y Tecnológica – Extensión Sucre

Carrera:

Tecnología Superior en Construcciones Sismorresistentes

Bahía de Caráquez, 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 de vivienda multifamiliar de 3 niveles con vigas, columnas y losas alivianadas de hormigón armado, aplicando la NEC 15, en la parroquia Canoa, cantón San Vicente.” 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:

Stiven Ariel Mera Intriago

Siendo de su exclusiva responsabilidad.

Bahía de Caráquez, septiembre de 2025



Ing. Patricio Andrés Pazmiño Balda

TUTOR

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Quien suscribe la presente:

Mera Intriago Stiven Ariel

Estudiante de la Carrera de **Tecnología Superior en Construcciones Sismorresistentes**, declaro bajo juramento que el presente proyecto integrador cuyo título: “Modelación estructural de vivienda multifamiliar de 3 niveles con vigas, columnas y losas alivianadas de hormigón armado, aplicando la NEC 15, en la parroquia Canoa, cantón San Vicente.”, previo a la obtención del Título de Tecnólogo Superior en Construcciones Sismorresistentes, es de autoría propia y ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros y consultando las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

Bahía de Caráquez, septiembre de 2025



Mera Intriago Stiven Ariel



APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Los miembros del Tribunal Examinador aprueban el Trabajo de Titulación con modalidad Proyecto Integrador, titulado: “Modelación estructural de vivienda multifamiliar de 3 niveles con vigas, columnas y losas alivianadas de hormigón armado, aplicando la NEC 15, en la parroquia Canoa, cantón San Vicente.” de su autor: *Mera Intriago Stiven Ariel* de la Carrera “**Tecnología Superior en Construcciones Sismorresistentes**”, y como Tutor del trabajo el Ing. Patricio Andrés Pazmiño Balda.

Bahía de Caráquez, septiembre de 2025

Lic. Eduardo Caicedo Coello, PhD.
DECANO

Ing. Patricio Andrés Pazmiño Balda
TUTOR

PRIMER MIEMBRO TRIBUNAL

SEGUNDO MIEMBRO TRIBUNAL

S.E. Ana Isabel Zambrano Loor
SECRETARIA

Agradecimiento

Quiero agradecer primeramente a Dios, por darme la fuerza, la salud y la sabiduría necesarias para llegar hasta aquí. Sin Él, nada de esto habría sido posible.

A mi familia, especialmente a mi madre Sara Intriago, mi padre Wilder Mera, y mis hermanos Alejandro Mera y Kenia Mera, gracias por su apoyo incondicional, por estar en los momentos más duros y por impulsarme a seguir cuando quise detenerme. Su confianza en mí fue un motor constante.

A mi compañera de vida, Marian Jama, gracias por estar en cada paso, por tu paciencia, por tu amor y por nunca soltar mi mano. Fuiste mi refugio cuando todo parecía caer y mi motivación cuando creía que ya no podía más.

También quiero agradecer a todos los docentes y compañeros que fueron parte de este camino en la carrera de Construcción Sismo Resistente. De cada uno aprendí algo que hoy forma parte de mi crecimiento personal y profesional.

Y finalmente, gracias a mí mismo, Stiven Ariel Mera Intriago, por no rendirme. Por cada noche sin dormir, cada sacrificio, cada plano, cada cálculo, cada entrega... porque solo yo sé lo que costó llegar hasta aquí.

Mera Intriago Stiven Ariel

Dedicatoria

A Dios

Dedico esta tesis principalmente a Dios que ha sido fuente de mi fortaleza y guía en cada paso en este camino, por darme sabiduría y fuerza para superar cada desafío.

A mí mismo

Por no rendirme, incluso cuando el cansancio y la presión me hacían dudar. Por el esfuerzo, la dedicación y la paciencia que tuve para enfrentar esta carrera, que no fue fácil, pero sí fue un reto que decidí conquistar. Aunque hubo momentos de incertidumbre, tropiezos y aprendizajes duros, siempre seguí adelante, con la mirada fija en la meta.

A mi familia

A mi madre, Sara flor Intriago Morales, a mi padre, Wilder Celestino Mera Vera, y a mis hermanos, Alejandro Mera y Kenia Mera, por su apoyo incondicional, por cada palabra de aliento, por estar en los momentos más difíciles, por recordarme que soy capaz de superar cualquier obstáculo. Este logro es el resultado de su amor inmenso y de su fe inquebrantable en mí. Y por ser el pilar que ha sostenido mi esfuerzo y dedicación.

Marian Yamilex Jama Coello por ese apoyo incondicional ese amor tan grande que me das ese espíritu de lucha que me transmite, iremos caminando agarrados de la mano superando cualquier adversidad, este logro es Gracias a ti. te amo

Mera Intriago Stiven Ariel

Resumen

La parroquia Canoa, ubicada en el cantón San Vicente (Manabí), sufrió graves daños tras el terremoto del 16 de abril de 2016, poniendo en evidencia la fragilidad de edificaciones, causadas principalmente por la falta de criterios técnicos en su diseño y construcción. Ante tal circunstancia, el objetivo principal de este trabajo de titulación es desarrollar la modelación estructural de una vivienda multifamiliar de tres niveles, aplicando los criterios establecidos en la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015 (NEC-15).

La investigación se llevó a cabo mediante un proceso que comprendía en el prediseño de los elementos estructurales como vigas, columnas y losas alivianadas de hormigón armado; así como la determinación de cargas permanentes sísmicas y variables. Además, se utilizó el software Etabs para simular el comportamiento estructural de la vivienda. Como resultado, se obtuvo un modelo estructural que cumple con los requisitos de la NEC-15, construido para tolerar las cargas consideradas y responder de manera eficiente ante eventos sísmicos.

Queda demostrado que la aplicación rigurosa de la normativa, combinada con herramientas especializadas de análisis estructural, permite diseñar edificaciones más seguras, ofreciendo una base técnica para futuras construcciones en zonas sísmicamente vulnerables.

PALABRAS CLAVE

Modelación estructural, prediseño de elementos estructurales, hormigón armado, seguridad estructural.

Abstract

The Canoa parish, located in the San Vicente canton (Manabí), suffered severe damage after the earthquake of April 16, 2016, highlighting the fragility of buildings, caused mainly by the lack of technical criteria in their design and construction. Given such circumstance, the main objective of this degree work is to develop the structural modeling of a three-story multifamily dwelling, applying the criteria established in the Ecuadorian Construction Standard 2015 (NEC-15).

The research was carried out through a process that included the pre-design of structural elements such as beams, columns and reinforced concrete slabs; as well as the determination of permanent seismic and variable loads. In addition, Etabs software was used to simulate the structural behavior of the house. As a result, a structural model was obtained that complies with the requirements of the NEC-15, built to tolerate the loads considered and to respond efficiently to seismic events.

It is demonstrated that the rigorous application of the regulations, combined with specialized structural analysis tools, allows the design of safer buildings, providing a technical basis for future constructions in seismically vulnerable areas.

KEYWORDS

Structural modeling, pre-design of structural elements, reinforced concrete, structural safety.

ÍNDICE

CERTIFICACION DEL TUTOR.....	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	II
APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	III
Agradecimiento.....	V
Dedicatoria.....	VI
Resumen.....	VII
PALABRAS CLAVE	VII
Abstract	VIII
KEYWORDS.....	VIII
ÍNDICE	IX
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	X
ÍNDICE DE TABLAS	XII
Capítulo I: Introducción.....	1
1.1. Titulo	1
1.2. Introducción	1
1.3. Problema.....	2
1.4. Justificación.....	3
1.5. Objetivos	4
1.5.1. Objetivo general.....	4
1.5.2. Objetivos específicos	4
1.6. Metodología	4
1.6.1. Procedimiento	4
1.6.2. Técnicas	5
1.6.3. Métodos.....	6
Capítulo II: Marco teórico	6
2.1. Definiciones	6
2.1.1. Sismorresistencia	6
2.1.2. Losa alivianada	7
2.1.3. Vigas de hormigón.....	7
2.1.4. Columnas de hormigón.....	7
2.1.5. Vivienda multifamiliar.....	7

2.1.6. Modelación estructural.....	8
2.2. Antecedentes	8
2.3. Trabajos relacionados.....	9
Capítulo III: Desarrollo de la propuesta.....	10
3.1. Prediseño de los elementos estructurales.	10
3.1.1. Prediseño de losas alivianadas.	10
3.1.2. Prediseño de vigas.....	3
3.1.3. Prediseño de columnas.....	4
3.2. Cargas estructurales según parámetros sísmicos de la NEC-15.....	5
3.3. Zonificación sísmica de acuerdo a la NEC-15	9
3.3.1. Clasificación sísmica del lugar	9
3.3.2. Parámetros para los factores de diseño	10
3.4. Descripción del proceso en el software Etabs	14
3.5. Obtención de los resultados.....	20
3.5.1. Verificación del análisis del periodo de vibración.....	20
3.5.2. Verificación del análisis de las derivas de piso de la estructura	22
3.5.3. Verificación del análisis del cortante basal estático y dinámico.....	23
3.5.4. Verificación del análisis modal de masa de la estructura	24
3.5.5. Verificación de la capacidad estructural	25
Capítulo IV: Conclusiones y Recomendaciones.....	29
4.1. Conclusiones	29
4.2. Recomendaciones.....	30
Bibliografía	31
Anexos	34

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1.- Losa alivianada, un metro cuadrado (a). Un metro de ancho transformado (b). 2	2
Ilustración 2.- Paño crítico.....	2
Ilustración 3.- Viga eje B (1-2) con condiciones desfavorables	4
Ilustración 4., Área colaborante de la columna más desventajada de la edificación	5

Ilustración 5.- Ecuador, zonas sísmicas para propósitos de diseño y valor del factor de zona Z (NEC-SE-DS)	10
Ilustración 6.- Modelación de la red básica de la estructura.....	14
Ilustración 7.- Modelación de la altura de la estructura.....	15
Ilustración 8.- Edición de las propiedades del hormigón.....	15
Ilustración 9.- Edición de las propiedades del acero.....	16
Ilustración 10.- Creación de secciones de las columnas 40x35cm	16
Ilustración 11.- Asignación del acero de reforzamiento de la columna.....	17
Ilustración 12.- Creación de vigas 40x30cm.....	17
Ilustración 13.- Creación de la losa alivianada de 20cm	18
Ilustración 14.- Restricciones a desplazamientos en “x”, “y”, “z”	18
Ilustración 15.- Representación del diafragma	19
Ilustración 16.- Creación de combinaciones y factores de cargas	20
Ilustración 17.- Valores del análisis modal espectral.....	20
Ilustración 18.- Deriva máxima elástica	22
Ilustración 19.- Porcentaje de acero longitudinal en las columnas de toda la estructura.....	25
Ilustración 20.- Cuantía de acero longitudinal en las vigas del primer piso	26
Ilustración 21.- Cuantía de acero longitudinal en las vigas del segundo piso	27
Ilustración 22.- Cuantía de acero longitudinal en las vigas de la losa de cubierta	28
Ilustración 23.- Identificación de posibles fallas en la estructura mediante el software Etabs	29
Ilustración 24.- Plano arquitectónico de la planta baja	34
Ilustración 25.- Plano arquitectónico del primer piso alto	35
Ilustración 26.- Plano arquitectónico del segundo piso alto	36

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.- Altura equivalente	2
Tabla 2.- Peso y carga CM en 1m^2 de losa	7
Tabla 3.- Peso y carga CM en 1m^2 de losa	7
Tabla 4.- Pesos y carga CM en 1m^2 de losa inaccesible	8
Tabla 5.- Sobre cargas mínimas uniformemente distribuidas, L_0 y concentradas P_0 (NEC-SE-GC)	9
Tabla 6.- Valores del factor Z en función de la zona sísmica adoptada (NEC-SE-DS)	10
Tabla 7.- Clasificación de los perfiles de suelo (NEC-SE-DS)	11
Tabla 8.- Tipo de suelo y Factores de sitio F_a (NEC-SE-SD)	12
Tabla 9.- Tipo de suelo y Factores de sitio F_d (NEC-SE-DS)	12
Tabla 10.- Tipo de suelo y Factores del comportamiento inelástico del subsuelo F_s (NEC-SE-DS)	13
Tabla 11.- Tipo de uso, destino e importancia de la estructura (NEC-SE-SG)	13
Tabla 12.- Coeficiente R para sistemas estructurales dúctiles (NEC-SE-DS)	14
Tabla 13.- Valores de los coeficientes C_t y α (NEC-SE-DS)	21
Tabla 14.- Periodo T obtenido del software Etabs	21
Tabla 15.- Comparación de los periodos de vibración	22
Tabla 16.- Valores de Δ_M máximos, expresados como fracción de la altura de piso (NEC-SE-DS)	23
Tabla 17.- Cálculo y comprobación de la deriva	23
Tabla 18.- Cortante basal estático	23
Tabla 19.- Verificación del cortante basal estático y dinámico de la estructura	24
Tabla 20.- Participación modal de masa de la estructura	25

Capítulo I: Introducción

1.1. Título

Modelación estructural de vivienda multifamiliar de 3 niveles con vigas, columnas y losas alivianadas de hormigón armado, aplicando la NEC 15, en la parroquia Canoa, cantón San Vicente..

1.2. Introducción

Ecuador es un país vulnerable a múltiples fenómenos naturales relacionados por sus condiciones geográficas y geomorfológicas. Uno de los episodios sísmicos más recientes que el territorio ecuatoriano sucumbió pánico y alarma generalizada fue el 16 de abril de 2016, un terremoto de magnitud 7.8 Mw con epicentro entre las provincias de Esmeraldas y Manabí (Sánchez Cortez & Simbaña Tasiguano, 20224).

La destructividad de un terremoto se puede evaluar debido a la capacidad de este al producir el daño. El daño se puede traducir en colapso total, parcial o bien fuera de servicio de las estructuras como edificios, embalses y puentes. También el movimiento puede afectar a una masa de suelo a través de deslizamientos, asentamientos o licuaciones (Frau, Vielma Pérez, Zambrano Mejía, & Falconi Aguilar, 2023).

El diseño sismorresistente es una disciplina llena de incertidumbres que demanda de la capacidad de intuir el comportamiento de las estructuras, para poder seleccionar con el criterio adecuado un sistema resistente eficiente y evaluación para satisfacer requerimientos estructurales y arquitectónicos (Universidad Técnica de Ambato, 2016)

El presente trabajo se direcciona en la modelación sismorresistente y prediseño estructural de una vivienda multifamiliar de 3 niveles aplicando la Norma Ecuatoriana de Construcción (NEC-15) que nos permitirá garantizar seguridad, resistencia sísmica y mejora del desempeño ante eventos sísmicos, provocando un impacto significativo a la protección de vidas humanas.

Esta investigación guarda una estrecha relación con la carrera de Tecnología en Construcción Sismorresistentes porque nos garantiza edificaciones eficientes al igual del

buen uso de las normativas con sus respectivas técnicas, mayor resistencia sísmica, vidas humanas y perfeccionamiento del proceso constructivo.

1.3. Problema

En Ecuador, el diseño y construcción de edificaciones debe de cumplir con los criterios establecidos en la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015 (NEC-15), la cual busca garantizar la seguridad estructural frente a diferentes eventos, especialmente las sísmicas, debido a que el país se encuentra situado en una región con alta actividad sísmica. En este contexto, la parroquia Canoa, ubicada en el cantón San Vicente, provincia de Manabí, es una zona costera que fue gravemente afectada por el terremoto del 16 de abril de 2016, lo que evidencio la vulnerabilidad estructural de muchas edificaciones debido a la ausencia de criterios técnicos en su construcción.

A pesar de las normativas existentes, aún persiste la necesidad de promover un diseño estructural eficiente, especialmente en edificaciones multifamiliares que albergan a varias personas y cuya falla estructural podría ocasionar pérdidas humanas y materiales significativas. En lugares como Canoa, donde se ha evidenciado un crecimiento progresivo de viviendas multifamiliares como respuesta a la demanda habitacional, muchos de estos proyectos presentan deficiencias por la falta de una modelación estructural integral que complete todos los elementos necesarios y garantice el cumplimiento de la normativa vigente. Para abordar esta problemática, el desarrollo de modelos estructurales que incluyan elementos como vigas, columnas y losas alivianadas de hormigón armado, diseñados conforme a los criterios de la NEC-15, facilita un análisis más exacto del desempeño estructural ante cargas permanentes, variables y sísmicas, además de favorecer la seguridad y el rendimiento de las edificaciones.

Por ello, es fundamental llevar a cabo la modelación estructural de una vivienda multifamiliar de tres niveles, aplicando la normativa NEC-15. Este proceso incluirá el prediseño de los elementos estructurales, la determinación de las cargas actuantes y la simulación del estructural mediante el software Etabs, con el objetivo de ofrecer un aporte técnico que sirva como referencia para futuros proyectos en la zona y que contribuyan a fortalecer la seguridad estructural en el cantón San Vicente.

1.4. Justificación

Ecuador se encuentra en una zona con considerable actividad sísmica, lo que hace que la seguridad estructural sea un factor fundamental en el diseño y edificación de construcciones. Para hacer el frente a esta situación, la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015 (NEC-15) establece directrices técnicas que deben seguirse de manera estricta, con el fin de asegurar la estabilidad y resistencia de las edificaciones, especialmente en áreas propensas a sismos. No obstante, en diversas regiones del país, la aplicación de esta normativa sigue siendo deficiente, lo que aumenta la exposición de las construcciones a daños ante fenómenos naturales intensos.

Un ejemplo representativo de esta problemática es la parroquia Canoa, situada en el cantón San Vicente, en la provincia de Manabí, una de las áreas más golpeadas por el terremoto ocurrido el 16 de abril de 2016. Este desastre puso en evidencia no solo la debilidad estructural de muchas edificaciones, sino también la insuficiente aplicación de criterios técnicos apropiados durante las etapas de diseño y construcción. Aunque ha habido avances en la normativa, aún se observan fallas estructurales, especialmente en edificios multifamiliares, los cuales, debido a su uso residencial masivo, representan un riesgo significativo en caso de colapso, tanto en términos de pérdidas humanas como materiales.

En este marco, la investigación adquiere relevancia debido a la necesidad de realizar una modelación estructural completa de una vivienda multifamiliar de tres pisos, utilizando elementos como vigas, columnas y losas aligeradas de hormigón armado, todos diseñados conforme a los lineamientos establecidos en la NEC-15. Dicha modelación se efectuará utilizando el software ETABS, lo que permitirá analizar con precisión el comportamiento de la estructura ante cargas permanentes, variables y sísmicas.

Este estudio tiene un valor práctico, ya que puede servir de guía técnica para futuros proyectos en Canoa y fortalecer la cultura de prevención en zonas vulnerables. Además, es un aporte académico importante en la formación de profesionales en Construcciones Sismorresistentes, al promover el uso adecuado de la normativa y herramientas modernas de análisis estructural.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

Desarrollar la modelación estructural de una vivienda multifamiliar de tres niveles, compuesta por vigas, columnas y losas alivianadas de hormigón armado, aplicando los criterios establecidos en la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015 (NEC-15), en la parroquia Canoa, cantón San Vicente.

1.5.2. Objetivos específicos

- Prediseñar las secciones de los elementos estructurales necesarios para el modelo estructural sismorresistente.
- Determinar las cargas permanentes, sísmicas y variables que actúan sobre la estructura conforme a lo establecido en la NEC-15.
- Escoger los parámetros de zonificación sísmica de acuerdo a la NEC-15
- Realizar el modelo estructural en un software de análisis estructural para evaluar el comportamiento de la edificación.
- Obtener los resultados establecidos por la normativa para verificar el desempeño estructural del modelo.

1.6. Metodología

1.6.1. Procedimiento

El proceso de la elaboración del trabajo de titulación se realizó en función de los objetivos definidos, siguiendo las etapas que se describen a continuación:

- Se recopilaron los datos geotécnicos, los cuales permitieron caracterizar el tipo de suelo y definir la zonificación sísmica de la parroquia Canoa aplicable al diseño estructural de acuerdo a las especificaciones en la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-15.
- Se realizaron los cálculos para el prediseño y dimensionamiento de los elementos estructurales: columnas, vigas y losas alivianadas.

- Se modeló la estructura utilizando el software Etabs, integrando los elementos estructurales ya calculados con sus propiedades reales para simular el comportamiento estructural frente a eventos sísmicos.
- Se efectuaron los resultados obtenidos basado en los resultados del análisis estructural.

1.6.2. Técnicas

Para el desarrollo del trabajo de titulación, se aplicaron las siguientes técnicas: la técnica documental, la modelación computacional y el cálculo estructural. Estas permitieron realizar un análisis detallado de la vivienda multifamiliar de tres niveles, conforme de la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-15:

- Investigación Documental: se utilizó la técnica documental para recopilar, revisar y analizar información normativa y técnica relevante. Se consultaron fuentes primarias como la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-15, además de tesis universitarias, artículos científicos y manuales técnicos que sirvieron de base teórica y metodológica. Esta técnica permitió contextualizar el diseño estructural sismorresistente dentro del marco normativo vigente y establecer los parámetros de carga, zonificación sísmica y comportamiento estructural adecuados ((MIDUVI), Norma Ecuatoriana de la Construcción - NEC-SE-DS: Diseño sismorresistente, 2015; Gallegos Díaz, 2022)
- Modelación Computacional: Se aplicó la técnica de modelación computacional utilizando el software Etabs, ampliamente reconocido en la ingeniería estructural por su capacidad para simular el comportamiento de edificaciones frente a cargas gravitacionales, sísmicas y variables. La modelación incluyó la definición de los elementos estructurales vigas, columnas y losa alivianada, asignación de materiales, cargas, así como la configuración de los espectros de respuesta sísmica según la zonificación del sitio conforme a la NEC-15 (Sarango Calvache, 2020).
- Cálculo estructural: El cálculo estructural consistió en la determinación y verificación de las solicitaciones internas y desplazamientos generados por las cargas actuantes. Se aplicaron procedimientos normativos para el cálculo de cargas muertas, cargas vivas y cargas sísmicas, tanto por el método de fuerza lateral equivalente como por el análisis modal espectral. Posteriormente, se

verificaron las derivas, desplazamientos y esfuerzo de los elementos estructurales con respecto a los alineamientos permitidos por la NEC-15 (Solorzano Chancay, 2017).

1.6.3. Métodos

Método cualitativo. – implementamos este método para la recolección de datos mediante la observación empírica o mediciones de alguna clase que pretenden descubrir una teoría que justifique los datos. Mediante el estudio de los fenómenos semejantes y analizados se desarrolla una teoría explicativa (Quecedo Lecanda & Castaño Garrido).

Método cuantitativo. – la modelación estructural utiliza este método debido a tiene que ver con la medición, el uso de magnitudes, la observación y medición de las unidades de análisis. Este enfoque nos permite el uso de la recolección de datos numéricos y el análisis de ellos para contestar a todas nuestras interrogantes. (Ñaupas Paitán, Valdivia Dueñas, Palacios Vilela, & Romero Delgado, 2018)

Capítulo II: Marco teórico

2.1. Definiciones

A continuación, las siguientes definiciones que respaldan el presente trabajo de investigación.

2.1.1. Sismorresistencia

La sismorresistencia se refiere a la capacidad que tiene una estructura para poder resistir fuerzas generadas por un terremoto. Esto representa diseñar edificios y otras infraestructuras de manera que minimicen los daños estructurales y protejan vidas humanas (Corporación Nacional de Finanzas Populares, s.f.).

Se basa en varios principios fundamentales que guían a un eficiente diseño tales como: distribución adecuada de masa, rigidez lateral, capacidades de disipación de energía y conexiones adecuada entre elementos estructurales como son vigas, columnas y losas (Corporación Nacional de Finanzas Populares, s.f.).

2.1.2. Losa alivianada

Permiten lograr una gran deducción en el uso de los materiales y mano de obra, por su versatilidad del sistema constructivo y la rigidez de la prefabricación. Sin duda alguna es el método más factible para realizar lasas (Tecnopor vive mejor, s.f.).

De acuerdo con (Aceros Arequipa) estas lasas cumplen con estas tres funciones:

- Transmitir hacia los muros o vigas el peso de los acabados, su mismo peso, el peso de los muebles, el de las personas, etc.
- Transmitir hacia los muros las fuerzas que producen los terremotos
- Unir los otros elementos estructurales, columnas, vigas y muros, para que toda la estructura trabaje en conjunto, como si fuera una sola unidad.

2.1.3. Vigas de hormigón

Son elementos estructurales que constituyen en componentes horizontales de las estructuras portantes “tipo pórtico” mediante el uso de hormigón armado.

La combinación del hormigón, que proporciona resistencia a la compresión, con el acero, que ofrece una resistencia a la tracción. Por lo consiguiente el uso de vigas de hormigón nos permite aprovechar y crear estructuras muy resistentes, capaces de soportar esfuerzo de tracción y compresión (Editorial Team, 2024)

2.1.4. Columnas de hormigón

Las columnas de hormigón armado son elementos verticales en la construcción ya que transmiten las cargas de la estructura hacia el suelo mediante su cimentación, es muy fundamental considerar adecuadamente su diseño y ejecución en la estructura. Las columnas también tienen la característica de ser elementos estructurales esbeltos y tienen la capacidad de reaccionar ante esfuerzo de compresión, sin embargo, también presentan momentos de tracción debido a las vigas (Pf Construcciones, s.f.).

2.1.5. Vivienda multifamiliar

(Urbana, 2025) plantea que una vivienda multifamiliar son edificios que cuentan con varias unidades de viviendas separadas, en otras palabras, es una construcción que alberga múltiples soluciones para un número considerable de personas con la intención de dar un buen uso al terreno y atender las demandas cambiantes de vivienda.

2.1.6. Modelación estructural

El uso de software y sistemas constructivos nos han permitido una mayor precisión y eficiencia en el diseño de las edificaciones. El diseño estructural es muy significativo ya que los profesionales pueden simular diferentes escenarios y evaluar el rendimiento de las estructuras bajo diversas condiciones (Acerta_admin, 2024).

El diseño estructural utiliza diversas herramientas y técnicas que permiten realizar análisis preciosos entre ellos se encuentran:

- Software de elementos finitos: SAP2000, ETABS Y ANSYS
- Modelado 3D: AutoCAD y Revit
- Análisis dinámico y estático: para evaluar como las estructuras responden a diferentes tipos de cargas.

2.2. Antecedentes

Ecuador vivió un sismo de magnitud 7.8, el 16 de abril 2016 cuyo epicentro fue en Pedernales en la provincia de Manabí, dejando 670 fallecidos y miles de afectados. Las poblaciones más afectadas fueron Pedernales, Manta, Portoviejo, Canoa, Jama, Bahía de Caráquez en Manabí, y los cantones Muisne, Atacames en Esmeraldas (Bravo, 2017). Quedan lecciones por aprender y sistemas constructivos que revisar para establecer mejor una respuesta ante eventos de tal magnitud. Ecuador está establecido en una zona susceptible a amenazas naturales y aun se necesita estrategias de gestión que permitan desarrollar una verdadera cultura de prevención (Sánchez Cortez & Simbaña Tasiguano, 20224).

Tras lo ocurrido en el terremoto del 16 de abril 2016 varias fueron las causas que llevaron al colapso de las edificaciones como la reducción de cantidad y calidad de materiales, el uso incorrecto de los elementos, ausencia de estudios técnicos, construcciones de nuevos pisos en edificaciones ya existentes sin realizar el reforzamiento adecuado para el soporte del peso añadido y uso de mano de obra no calificada para la construcción. Se debe recuperar el control sobre el desarrollo urbano de los territorios que son gestionados por los GAD, estas entidades deben de asumir la responsabilidad sobre la eficiencia de las edificaciones. Se debe ordenar el cumplimiento

de las normas constructivas, para regular su crecimiento y uso (Narváez & Maldonado, 2016).

Tomando en cuenta la información previamente presentada, por esta razón surge la necesidad de realizar un modelado y análisis estructural de una vivienda multifamiliar de tres niveles previos a los estudios de la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones en la provincia de Manabí que se tendrán en cuenta las condiciones locales de parroquia Canoa, cantón San Vicente, por el cual se recopiló información de los datos geotécnicos y de la zonificación sísmica y tipo de suelo de acuerdo a lo establecido en la Norma Ecuatoriana de la Construcción en el capítulo de peligro sísmico: diseño sismorresistente

2.3. Trabajos relacionados

En España, Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid – Universidad Politécnica de Madrid. Arquitectura sismorresistente (trabajo de fin de grado), este trabajo busca realizar un estudio de la arquitectura sismorresistente, examinar más de cerca ciertos ejemplos de arquitectura vernácula especialmente pensados para hacer frente a fenómenos naturales, a través de la explicación de los daños en las construcciones derivadas de la acción sísmica, la historia acontecida de los terremotos más importantes con sus estudios. Por último, se explicarán los criterios de diseños óptimo que deben de tener las edificaciones para resistir un terremoto, tanto diseño como en lo estructural (Hernanz Jiménez, 2022-2023).

En Perú Prudencio & Mendieta, 2023 en la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. Diseño estructural de una edificación de concreto armado, se conceptualiza la edificación a partir del diseño arquitectónico. De la misma manera se realiza el predimensionamiento inicial de las partes estructurales y se cuantifica las cargas de acuerdo a la normativa vigente E0.20 (Prudencio Ramos & Mendieta Carrion, 2023).

Se realiza el análisis estático y dinámico con la ayuda del Etabs, con la finalidad de comprobar su comportamiento ante sismo y cargas gravitacionales, también con el cumplimiento de las derivas, participación de masa. Se finaliza con el diseño de los elementos estructurales de la edificación: losas alivianadas. macizas, columnas, vigas. placas y cimentación de acuerdo a la normativa vigente de concreto armado E0.60 (Prudencio Ramos & Mendieta Carrion, 2023).

En Quito se realizó el comportamiento estructural de edificios regulares utilizando losas alivianadas y postensadas (tesis de grado en la Universidad Politécnica Salesiana), los elementos de entrepiso más aplicados en la construcción son las losas alivianadas, por el cual se está haciendo un énfasis en las nuevas tecnologías de construcción optando por indagar en la utilización y aplicación de las losas postensadas. Con base a los beneficios que concede la implementación de este tipo de entrepiso a las estructuras se optó por analizar un edificio usando losas alivianadas y postensadas, con la finalidad de determinar mejor un comportamiento sísmico (Gualoto Andrango, 2023)

En la Universidad Estatal del Sur de Manabí en Jipijapa. Análisis del desempeño estructural para losas bidireccionales con diferentes sistemas constructivos y su influencia en los costos (tesis de grado). El propósito fundamental es comparar los costos utilizando diversas alternativas de diseños de construcción de las losas, priorizando la seguridad y eficiencia de dichas estructuras, para la realización de este proyecto se utilizó el método de los coeficientes del Ing. Marcelo Romo (Enriquez Viteri, 2019).

Capítulo III: Desarrollo de la propuesta

En este capítulo se describe el procedimiento aplicado para la modelación estructural de una vivienda multifamiliar de tres niveles en la parroquia Canoa, cantón San Vicente. El análisis se realizó conforme a la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015 (NEC-15), considerando elementos como vigas, columnas y losas alivianadas de hormigón armado. Se detallan el enfoque técnico, el software Etabs y los criterios normativos adoptados para asegurar la estabilidad y seguridad estructural de la edificación.

3.1. Prediseño de los elementos estructurales.

3.1.1. Prediseño de losas alivianadas.

- Cálculo de la altura equivalente de la losa

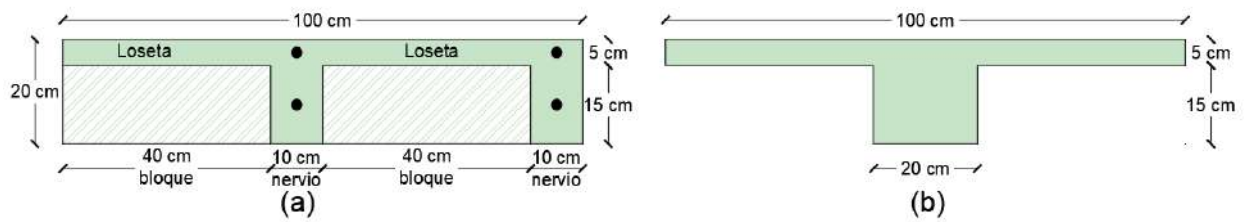


Ilustración 1.- Losa alivianada, un metro cuadrado (a). Un metro de ancho transformado (b).

FIG.	Hi	Bi	Ai	Y	Ai*Y	di	Ai*di ²	I
1	15,00 cm	20,00 cm	300,00 cm ²	7,50 cm	2250,00 cm ³	6,25 cm	11718,75 cm ⁴	5625,00 cm ⁴
2	5,00 cm	100,00 cm	500,00 cm ²	17,50 cm	8750,00 cm ³	-3,75 cm	7031,25 cm ⁴	1041,67 cm ⁴
Σ	20,00 cm	-	800,00 cm ²	-	11000,00 cm ³	-	18750,00 cm ⁴	6666,67 cm ⁴

Tabla 1.- Altura equivalente

$$Y_{cg} = \frac{\sum A_i * Y}{\sum A_i} = \frac{11000.00 \text{ cm}^3}{800.00 \text{ cm}^2} = 13.75 \text{ cm}$$

$$\text{Inercia de losa} = A_i + d_i^2 = 18750.00 \text{ cm}^4 + 6666.67 \text{ cm}^4 = 25416.67 \text{ cm}^4$$

$$H_{\text{equivalente}} = \sqrt[3]{\frac{12 * \text{Inercia de losa}}{B_i}} = \sqrt[3]{\frac{12 * 25416.67 \text{ cm}^4}{100 \text{ cm}}} = 14.50 \text{ cm}$$

➤ Comprobación de la altura mínima de la losa

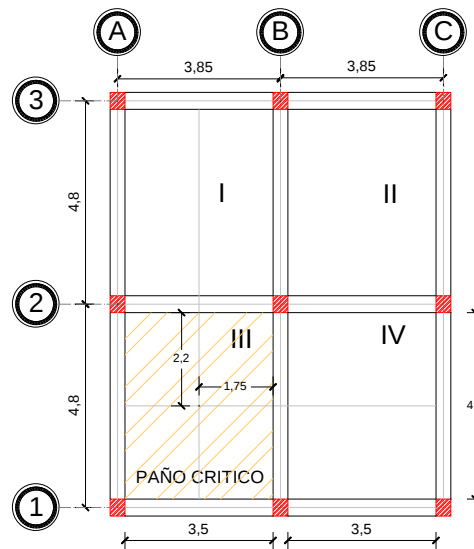


Ilustración 2.- Paño crítico

$$\text{Inercia}_{ejeA} = \frac{350 \text{ cm}}{2} * \frac{(14.50 \text{ cm})^3}{12} = 44459.11 \text{ cm}^4$$

$$Inercia_{ejeB} = \frac{350\text{cm} + 350\text{cm}}{2} * \frac{(14.50\text{cm})^3}{12} = 88918.23\text{cm}^4$$

$$Inercia_{eje1} = \frac{440\text{cm}}{2} * \frac{(14.50\text{cm})^3}{12} = 55891.45\text{cm}^4$$

$$Inercia_{eje2} = \frac{440\text{cm} + 440\text{cm}}{2} * \frac{(14.50\text{cm})^3}{12} = 111782.92\text{cm}^4$$

$$Inercia \text{ de viga } \rightarrow I_v = \frac{b * h^3}{12} = \frac{30\text{cm} * (40\text{cm})^3}{12} = 160000\text{cm}^4$$

Cálculo de alfa

$$\alpha_A = \frac{I_v}{Inercia_{ejeA}} = \frac{160000\text{cm}^3}{44459.11\text{cm}^4} = 3.60$$

$$\alpha_B = \frac{I_v}{Inercia_{ejeB}} = \frac{160000\text{cm}^3}{88918.23\text{cm}^4} = 1.80$$

$$\alpha_1 = \frac{I_v}{Inercia_{eje1}} = \frac{160000\text{cm}^3}{55891.45\text{cm}^4} = 2.86$$

$$\alpha_2 = \frac{I_v}{Inercia_{eje2}} = \frac{160000\text{cm}^3}{111782.92\text{cm}^4} = 1.43$$

Cálculo de alfa m

$$\alpha_m = \frac{\alpha_A + \alpha_B + \alpha_1 + \alpha_2}{4} = 2.42$$

$$\beta = \frac{4.40}{3.40} = 1.29$$

$$h_{\min} = \frac{L_{\text{larga}}(0.80 + \frac{f_y}{1400})}{36 + 9\beta} = \frac{4.40\text{m}(0.80 + \frac{420\text{MPa}}{1400})}{36 + 9 * 1.29} = 0.1016\text{m}$$

Se verifica que la altura mínima cumple por que debe de ser menor a la altura equivalente escogida anteriormente.

3.1.2. Prediseño de vigas

- Cálculo de la altura mínima

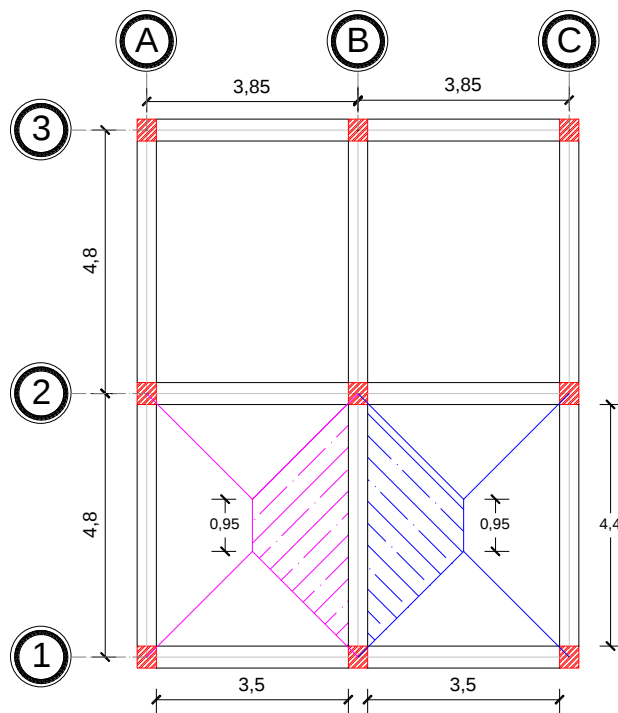


Ilustración 3.- Viga eje B (1-2) con condiciones desfavorables

$$Luz_{larga} = 4.80m$$

$$\text{Criterio del ACI 318-14} \rightarrow H_{\text{minima}} = \frac{Luz_{larga}}{21} = \frac{4.80m}{21} = 0.23m$$

$$\text{Criterio practico} \rightarrow H = \frac{Luz_{larga}}{12} = \frac{4.80m}{12} = 0.40m$$

Escogemos el criterio practico: Altura de la viga $\rightarrow H=0.40m$

$$\text{Base} \rightarrow B = \frac{2}{3} * H = \frac{2}{3} * 0.40m = 0.27m \approx 0.30m$$

➤ Inercia de la viga

$$I_v = \frac{b * h^3}{12} = \frac{30cm * (40cm)^3}{12} = 160000cm^4$$

3.1.3. Prediseño de columnas.

➤ Cálculo del área colaborante:

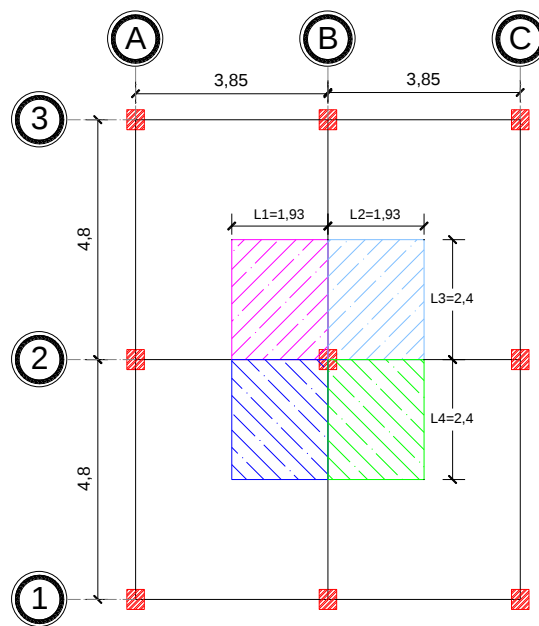


Ilustración 4., Área colaborante de la columna más desventajada de la edificación

$$L_{t1} = L_1 + L_2 = 1.925\text{m} + 1.925\text{m} = 3.85\text{m}$$

$$L_{t2} = L_3 + L_4 = 2.40\text{m} + 2.40\text{m} = 4.80\text{m}$$

$$\text{Área colaborante } (A_T) = L_{t1} * L_{t2} = 3.85\text{m} * 4.80\text{m} = 18.48\text{m}^2$$

➤ Inercia de columna

$$I_c = \frac{b * h^3}{12} = \frac{35\text{cm} * (40\text{cm})^3}{12} = 186666.67\text{cm}^4$$

Inercia de columna $\geq$ Inercia de viga

$$186666.67\text{cm}^4 \geq 160000\text{cm}^4 \rightarrow \text{ok, cumple}$$

3.2. Cargas estructurales según parámetros sísmicos de la NEC-15

Cargas sísmicas: las cargas sísmicas se determinarán a partir del espectro de respuesta sísmica establecido por la NEC-15.

La carga sísmica estática se calculará como una fuerza horizontal equivalente, basada en la carga reactiva, la aceleración sísmica y el coeficiente correspondiente.

La carga dinámica se obtendrá como una fuerza modal en cada modo de vibración y se combinarán mediante métodos de raíz cuadrada de la suma de los cuadrados (SRSS)

y combinación cuadrática completa (CQC) para obtener la carga total que actúa sobre la estructura.

Cargas permanentes y variables: se calcularon manualmente las cargas muertas (D), incluyendo los pesos propios y las cargas vivas según las categorías en la NEC-15

- Cálculo de carga mayorada del piso N°1.- se calcula los pesos y cargas que actúan sobre la losa del primer piso por metro cuadrado cuyo espesor de losa calculado fue 20,00 cm, de manera que:

$$V_{\text{losa}} = 1\text{m} * 1\text{m} * (0.20 - 0.0964)$$

$$V_{\text{losa}} = 0.104 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2} \rightarrow V_{\text{horm}}$$

Peso propio del hormigón

$$P_{\text{horm}} = V_{\text{horm}} * \sigma_{\text{horm}} ; \sigma_{\text{horm}} = \text{peso específico del hormigón}$$

$$P_{\text{horm}} = 0.104 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2} * 2400 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 250 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Peso de bloques} \rightarrow P_{\text{bloques}} = 86 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Peso de cerámica} \rightarrow P_{\text{ceramica}} = 45 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Peso de bloque pesado de pared} \rightarrow P_{\text{bloquepesadodepared}} = 150 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Peso de enlucido} \rightarrow P_{\text{enlucido}} = 33 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Peso de cielo raso} \rightarrow P_{\text{cielorazo}} = 15 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

Hallamos el resumen de pesos y cargas actuantes en un metro cuadrado de losa alivianada del primer piso en la **tabla 2**:

Pesos y Carga CM en 1m² de losa
Hormigon 250 kg/m ²
Bloques 86 kg/m ²
Ceramica 45 kg/m ²
Bloque pesado de pared 150 kg/m ²
Peso enlucido 33 kg/m ²
Cielo raso 15 kg/m ²
Carga muerta piso N°1= 579 kg/m²

Tabla 2.- Peso y carga CM en 1m² de losa

Al instante de ingresar las cargas actuantes en el software de Etabs, se considera el descuento del peso propio del hormigón puesto que el software considera ese peso al momento que se le agrega el tipo de material al utilizar, por consiguiente:

Carga muerta del primer piso = 329 kg/m²

- Cálculo de carga mayorada del piso N°2.- las cargas del segundo piso serán consideradas iguales a las del primer piso, el resumen de cargas en un metro cuadrado del segundo piso en la **tabla 3**:

Pesos y Carga CM en 1m² de losa
Hormigon 250 kg/m ²
Bloques 86 kg/m ²
Ceramica 45 kg/m ²
Bloque pesado de pared 150 kg/m ²
Peso enlucido 33 kg/m ²
Cielo raso 15 kg/m ²
Carga muerta piso N°2= 579 kg/m²

Tabla 3.- Peso y carga CM en 1m² de losa

Carga muerta del primer piso = 329 kg/m²

- Cálculo de carga mayorada de losa inaccesible. – al tratarse de una losa inaccesible no soportara las mismas cargas actuantes como las del primer y segundo piso, se determina el resumen en la **tabla 4**:

Pesos y Carga CM en 1m² de losa inaccesible
Hormigon 250 kg/m ²
Bloques 86 kg/m ²
Peso enlucido 33 kg/m ²
Cielo raso 15 kg/m ²
Carga muerta Losa in= 384 kg/m²

Tabla 4.- Pesos y carga CM en 1m² de losa inaccesible

Del mismo modo en que se omitió el peso propio del hormigón para el primer y segundo piso, se deberá de considerar el descuento del peso propio para la losa inaccesible, por lo tanto:

Carga muerta del primer piso = 134 kg/m²

- Carga viva: $L=0.20 \text{ T/m}^2$, que corresponde a residencias multifamiliares de acuerdo a la **tabla 5**, sección 4.2.1, NEC-SE-GC

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		
Salas de baile	4.80	
Salas de billar, bolos y otras áreas de recreación similares	3.60	
Salida de emergencia	4.80	
Únicamente para residencias unifamiliares	2.00	
Sistemas de pisos para circulación		
Para oficinas	2.40	9.00
Para centros de cómputo	4.80	9.00

Tabla 5.- Sobre cargas mínimas uniformemente distribuidas, L_0 y concentradas P_0 (NEC-SE-GC)

3.3. Zonificación sísmica de acuerdo a la NEC-15

3.3.1. Clasificación sísmica del lugar

La parroquia Canoa del cantón San Vicente de la provincia de Manabí se encuentre en una zona altamente sísmica, en la sección 3.1.1 de la NEC-15 tenemos el mapa de zonificación sísmica para propósitos y valor del factor de zona Z el cual obtenemos estos valores.

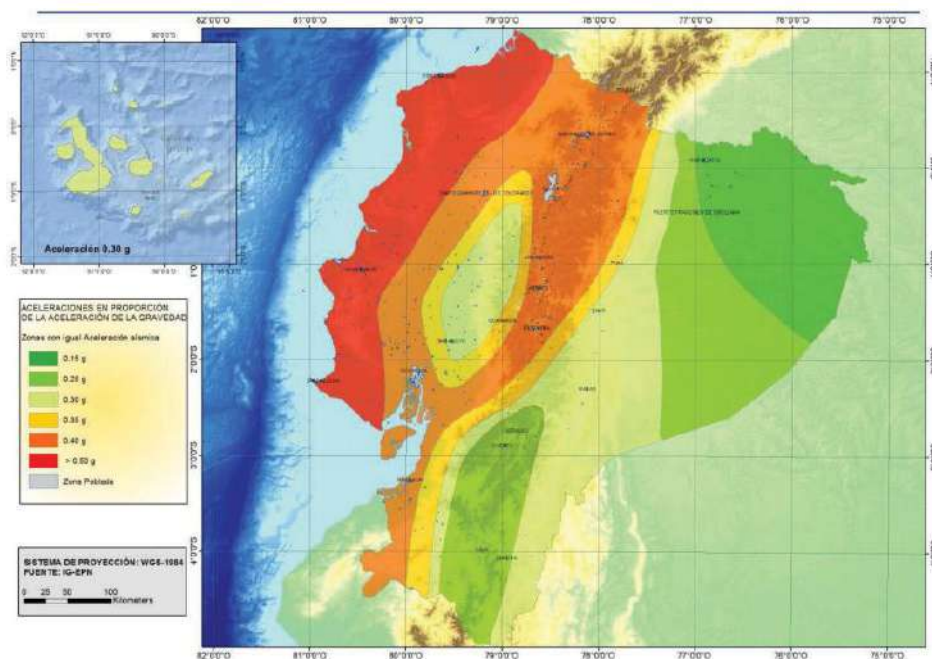


Ilustración 5.- Ecuador, zonas sísmicas para propósitos de diseño y valor del factor de zona Z (NEC-SE-DS)

3.3.2. Parámetros para los factores de diseño

Se determinaron los parámetros normativos para el diseño estructural sismorresistente de la vivienda multifamiliar según lo establecido en la NEC-15:

- Zona sísmica: VI, **tabla 6**, sección 3.1.1, NEC-SE-DS.
- Caracterización del peligro sísmico: Muy alta, **tabla 6**, sección 3.1.1, NEC-SE-DS
- Valor de factor Z: 0.50, **tabla 6**, 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 6.- Valores del factor Z en función de la zona sísmica adoptada (NEC-SE-DS)

- Tipo de Suelo: D, **tabla 7**, 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	$1500 \text{ m/s} > V_s \geq 760$ m/s
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$760 \text{ m/s} > V_s \geq 360$ m/s

Tipo de perfil	Descripción	Definición
	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	$360 \text{ m/s} > V_s \geq 180$ m/s
	Perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	$50 > N \geq 15.0$ $100 \text{ kPa} > S_u \geq 50$ 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
F	Los perfiles de suelo tipo F requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero geotecnista. Se contemplan las siguientes subclases:	
	F1 —Suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como: suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente cementados, etc.	
	F2 —Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas (H > 3m para turba o arcillas orgánicas y muy orgánicas).	
	F3 —Arcillas de muy alta plasticidad (H > 7.5 m con índice de Plasticidad IP > 75)	
	F4 —Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda (H > 30m)	
	F5 —Suelos con contrastes de impedancia α ocurriendo dentro de los primeros 30 m superiores del perfil de subsuelo, incluyendo contactos entre suelos blandos y roca, con variaciones bruscas de velocidades de ondas de corte.	
	F6 —Rellenos colocados sin control ingenieril.	

Tabla 7.- Clasificación de los perfiles de suelo (NEC-SE-DS)

- Coeficiente de amplificación del suelo en la zona de periodo corto, $F_a = 1.12$, **tabla 8**, 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 8.- Tipo de suelo y Factores de sitio F_a (NEC-SE-SD)

- Amplificación de las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamiento para diseño en roca, $F_d=1.11$, **tabla 9**, 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 9.- Tipo de suelo y Factores de sitio F_d (NEC-SE-DS)

- Comportamiento no lineal de los suelos, $F_s=1.40$, **tabla 10**, secciones 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 10.-Tipo de suelo y Factores del comportamiento inelástico del subsuelo F_s (NEC-SE-DS)

- Se calcula el espectro de respuesta elástico de aceleraciones: $S_a(T_a)$ de acuerdo a la sección 3.3.1, NEC-SE-DS:
- Factor de zona sísmica, Z .
- Tipo de suelo, D
- Coeficientes de amplificación del suelo, F_a , F_d , F_s .
- Razón entre aceleración espectral $S_a(T=0.1s)$ y el PGA para el periodo de retorno seleccionado, para la Costa $\eta=1.80$
- Factor de Importancia, $I=1.0$, **tabla 11**, 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 11.-Tipo de uso, destino e importancia de la estructura (NEC-SE-SG)

- Factor de reducción de respuesta, $R=8$, **tabla 12**, sección 6.3.4, NEC-SE-DS.

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 12.- Coeficiente R para sistemas estructurales dúctiles (NEC-SE-DS)

3.4. Descripción del proceso en el software Etabs

Para la modelación de la vivienda multifamiliar se hizo uso del software Etabs.

- Edit > Edit story and Grid System Data > Modify/Show Grid System...

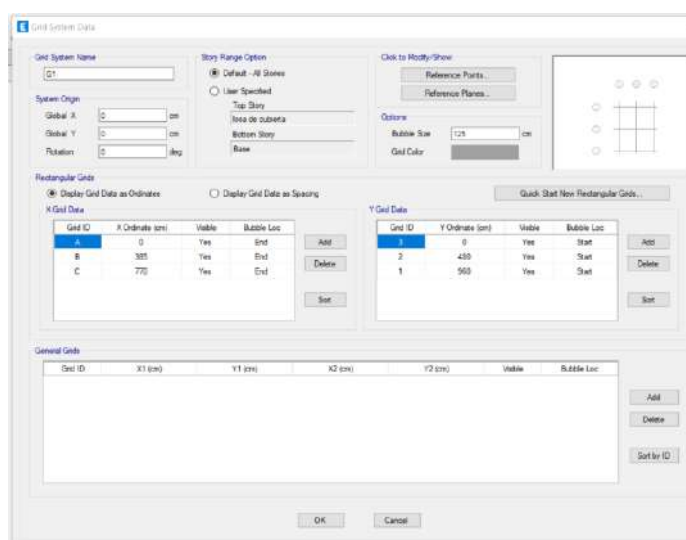


Ilustración 6.- Modelación de la red básica de la estructura

- Edit > Edit story and Grid System Data > Modify/Show Story Data...

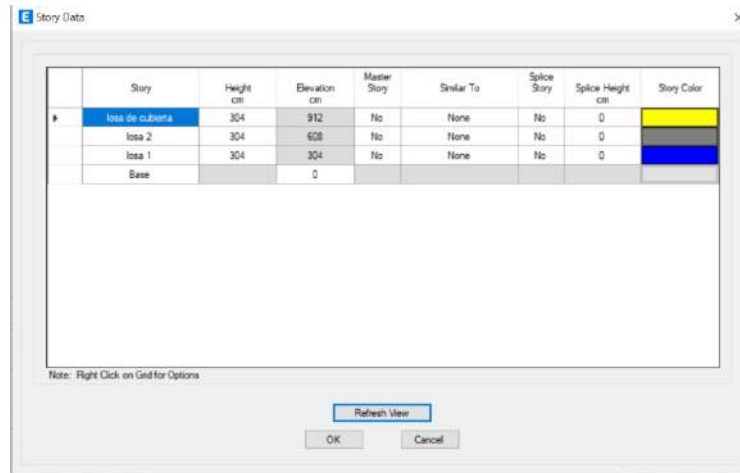


Ilustración 7.- Modelación de la altura de la estructura

➤ Define > Material Properties...

Hormigón

Resistencia a la compresión: $f'_c = 240 \text{ kg/cm}^2$

Módulo de elasticidad del hormigón: $E = 15000 \cdot \sqrt{f'_c} = 232379.00 \text{ kg/cm}^2$

Material Property Data

General Data

Material Name: FC 240

Material Type: Concrete

Directional Symmetry Type: Isotropic

Material Display Color: Change...

Material Notes: Modify/Show Notes...

Material Weight and Mass

☒ Specify Weight Density ☐ Specify Mass Density

Weight per Unit Volume: 0.0024 kgf/cm³

Mass per Unit Volume: 0.000002 kgf-s³/cm⁴

Mechanical Property Data

Modulus of Elasticity, E: 232379 kgf/cm²

Poisson's Ratio, U: 0.2

Coefficient of Thermal Expansion, A: 0.0000099 1/C

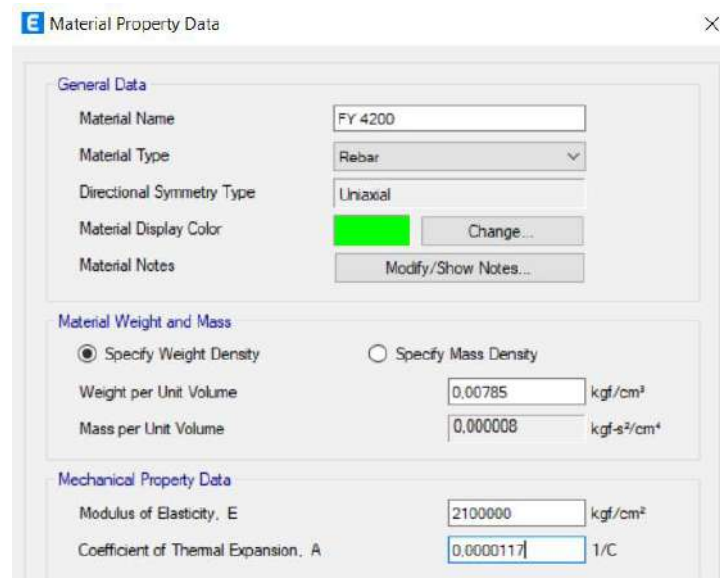
Shear Modulus, G: 96824.58 kgf/cm²

Ilustración 8.- Edición de las propiedades del hormigón

Acero de refuerzo

Límite de fluencia: $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$

Módulo de elasticidad del acero: $E = 2100000.00 \text{ kg/cm}^2$



The 'Material Property Data' dialog box is shown with the following settings:

- General Data:**
 - Material Name: FY 4200
 - Material Type: Rebar
 - Directional Symmetry Type: Uniaxial
 - Material Display Color: Green
 - Material Notes: (empty)
- Material Weight and Mass:**
 - ☒ Specify Weight Density
 - Weight per Unit Volume: 0.00785 kgf/cm³
 - Mass per Unit Volume: 0.000008 kgf-s²/cm⁴
- Mechanical Property Data:**
 - Modulus of Elasticity, E: 2100000 kgf/cm²
 - Coefficient of Thermal Expansion, A: 0.0000117 1/C

Ilustración 9.- Edición de las propiedades del acero

➤ Define > Section Properties > Frame Sections...



The 'Frame Section Property Data' dialog box is shown with the following settings:

- General Data:**
 - Property Name: COL 40X35
 - Material: FC 240
 - Notional Size Data: (empty)
 - Display Color: Blue
 - Notes: (empty)
- Shape:**
 - Section Shape: Concrete Rectangular
- Section Property Source:**
 - Source: User Defined
- Section Dimensions:**
 - Depth: 35 cm
 - Width: 40 cm
- Reinforcement:**
 - Modify/Show Rebar... (button)

A diagram on the right shows a rectangular cross-section with a grid of reinforcement bars. The top bar is labeled '2' and the left bar is labeled '3'.

Ilustración 10.- Creación de secciones de las columnas 40x35cm

➤ Frame Section Property Data > Modify/Show Rebar...

Ilustración 11.- Asignación del acero de reforzamiento de la columna

➤ Define > Section Properties > Frame Sections...

Ilustración 12.- Creación de vigas 40x30cm

➤ Define > Section Properties > Slab Sections...

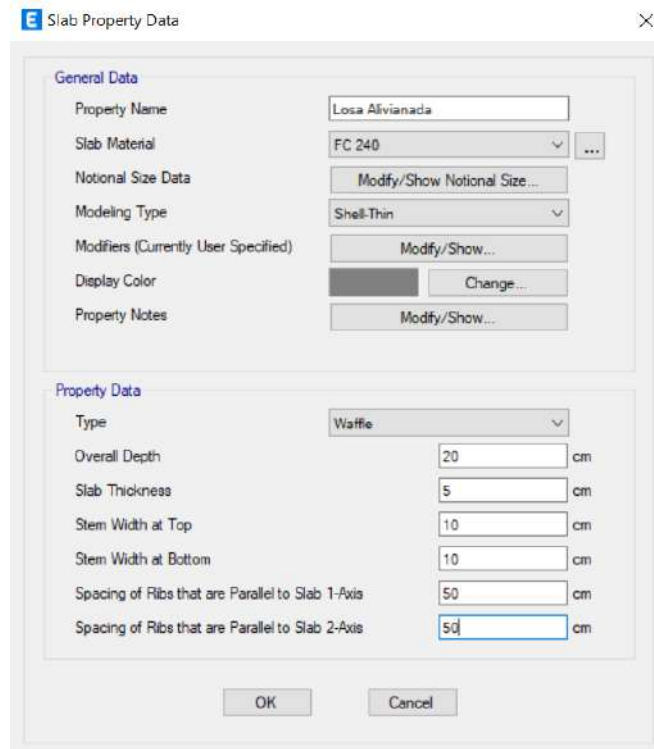


Ilustración 13.- Creación de la losa alivianada de 20cm

➤ Assign > Join > Restraints...

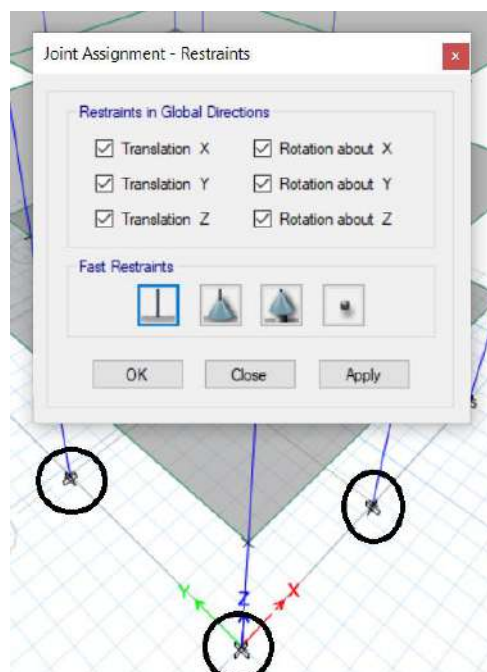


Ilustración 14.- Restricciones a desplazamientos en "x", "y", "z"

➤ Define > Diaphragms...

- Asing > Shell > Diaphragms

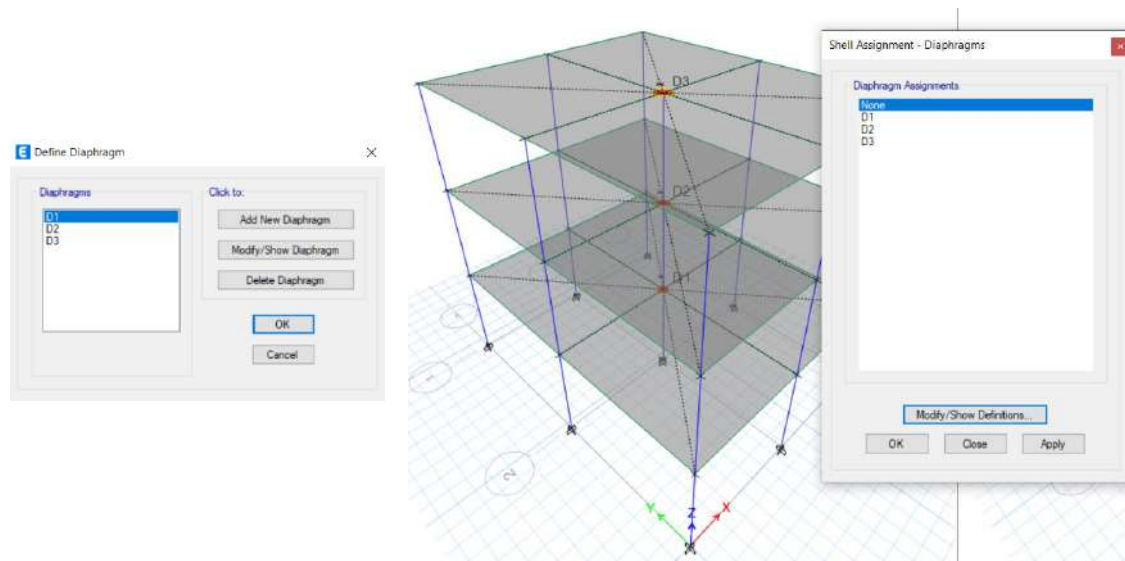


Ilustración 15.- Representación del diafragma

- Define > Load Combinations... para las combinaciones de carga de diseño usadas para el modelado de la estructura de acuerdo a la NEC 2015 capítulo de cargas no sísmicas serán:

Servicio: D+L

U1: 1.4D

U2: 1.2D+1.6L

U3: 1.2D + L + E

U4: 0.9D + E

Siendo D: carga muerta, L: carga viva, E: carga de sismo.

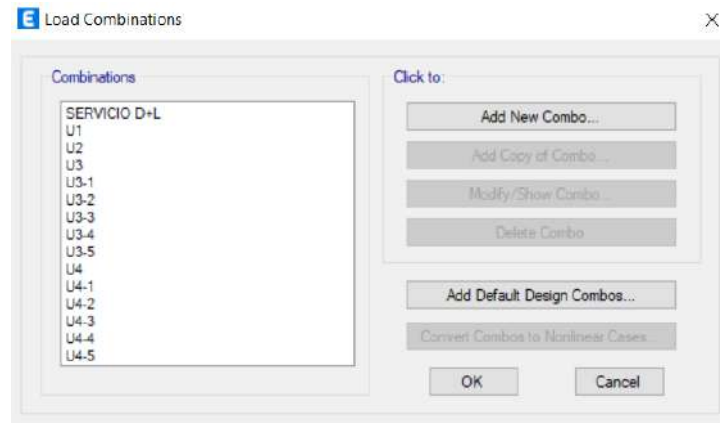


Ilustración 16.- Creación de combinaciones y factores de cargas

- Define > Functions > Response Spectrum con la norma “NEC-SED-DS 2015” ...

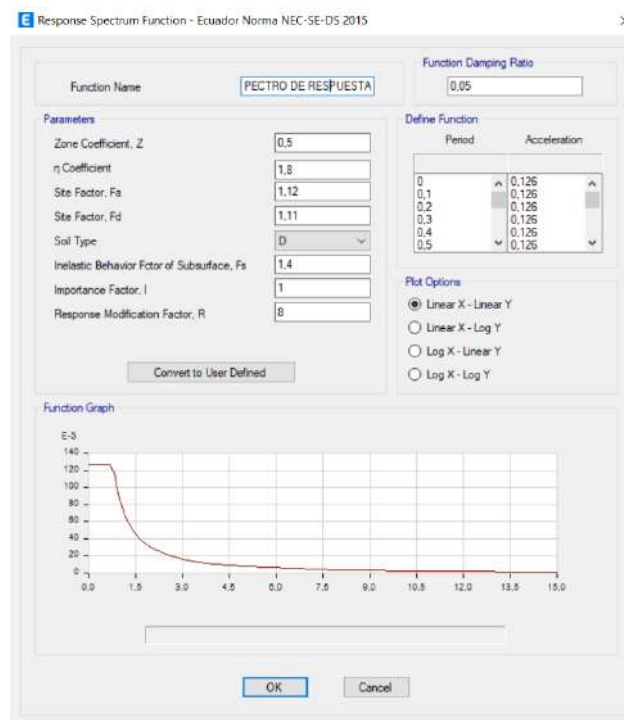


Ilustración 17.- Valores del análisis modal espectral

3.5. Obtención de los resultados

3.5.1. Verificación del análisis del periodo de vibración

Se estima que el periodo de vibración es obtenido del análisis modal en Etabs para el tipo de estructura y altura de la edificación debería de ser aproximado a lo planteado en la NEC-SE-DS, asegurando que la rigidez cumpla con la normativa.

En la sección 6.3.3 de la NEC-SE-DS, el periodo de vibración **T** será calculado de la siguiente manera:

Método 1

$$T = C_t * h_n^{\alpha}$$

Donde:

C_t : coeficiente dependiendo del tipo de edificio

h_n : altura máxima de la edificación, medida en metros desde la base de la estructura

α : exponente empírico calculado según el sistema estructural en la **tabla13**

T: periodo de vibración

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 13.- Valores de los coeficientes C_t y α (NEC-SE-DS)

El periodo de vibración por el método 1 es igual a:

$$T = 0.055 * 9.12m^{0.90} = 0.402 \text{ segundos}$$

Método 2

No debe de ser mayor en un 30% al valor de T_a calculado con respecto al método 1

Case	Mode	Period sec
Modal	1	0,47
Modal	2	0,462

Tabla 14.- Periodo T obtenido del software Etabs

COMPROBACIÓN DE LOS PERIODOS

T=	0,402	Metodo1	
T Etabs=	0,470	Metodo2	OK
VARIACION MAX +-30%			
DEL PERIODO CALCULADO	1,17		

Tabla 15.- Comparación de los periodos de vibración

3.5.2. Verificación del análisis de las derivas de piso de la estructura

De acuerdo a la NEC-SE-DS, sección 6.3.9 las derivas máximas inelásticas se expresan de la siguiente manera:

$$\Delta_M = 0.75 * R * \Delta_E$$

Donde:

Δ_E : desplazamiento obtenido en aplicación de las fuerzas laterales de diseño reducidas

R: factor de reducción de resistencia, **tabla 12**, capítulo 3, 3.2.2

Δ_M : deriva máxima inelástica

Chequeamos que la mayor deriva elástica ocurre en el sismo estático en la dirección Y en la losa del segundo piso.

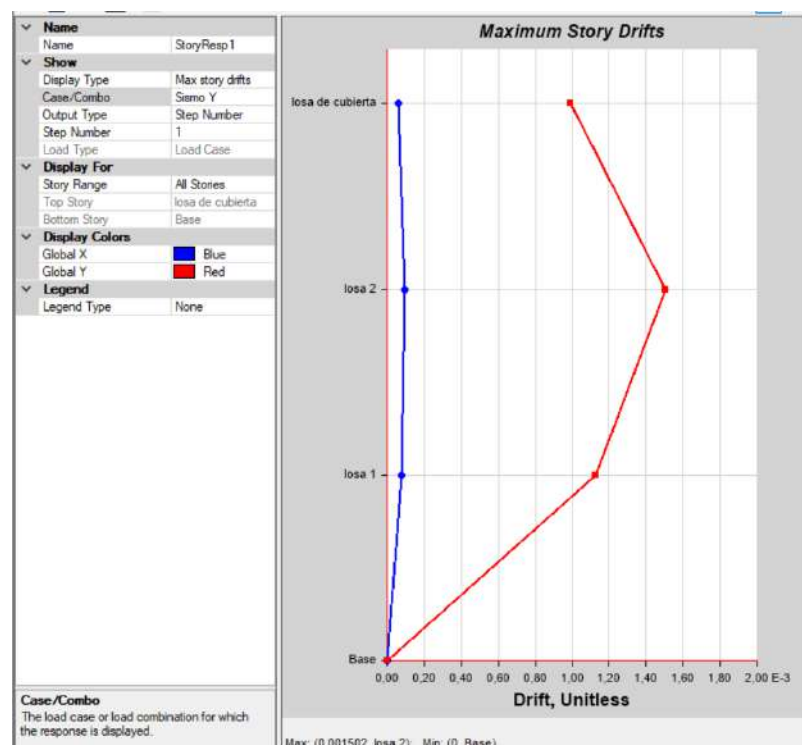


Ilustración 18.- Deriva máxima elástica

De acuerdo con la NEC-SE-DS, sección 4.2.2, **tabla 16**, la deriva máxima entre los pisos no debe de superar los límites inelásticos.

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

Tabla 16.- Valores de Δ_M máximos, expresados como fracción de la altura de piso (NEC-SE-DS)

Por ende:

COMPROBACIÓN DE DERIVA	
Deriva Elastica=	0,0015
R=	8
Factor=	0,75
hn=	9,12
Deriva Inelastica=	0,9012%
Deriva Admisible=	2% OK

Tabla 17.- Cálculo y comprobación de la deriva

3.5.3. Verificación del análisis del cortante basal estático y dinámico

De acuerdo con el capítulo 6.2.2 de la NEC-SE-DS (peligro sísmico: diseño sismorresistente). El cortante basal estático debe ser el 80% del cortante basal dinámico para estructuras con regularidad en planta y elevación, y el 85% del cortante basal dinámico para estructuras con irregularidad en planta y elevación, en este trabajo presentamos a continuación el análisis del cortante basal estático realizado en el software Etabs cuya estructura es regular.

Load Pattern	Type	Direction	Eccentricity %	Top Story	Bottom Story	C	K	Weight Used tonf	Base Shear tonf
SISMO X	Seismic	X		Story3	Base	0,126	1	177,97	22,42
SISMO X	Seismic	X + Ecc. Y	5	Story3	Base	0,126	1	177,97	22,42
SISMO X	Seismic	X - Ecc. Y	5	Story3	Base	0,126	1	177,97	22,42
SISMO Y	Seismic	Y		Story3	Base	0,126	1	177,97	22,42
SISMO Y	Seismic	Y + Ecc. X	5	Story3	Base	0,126	1	177,97	22,42
SISMO Y	Seismic	Y - Ecc. X	5	Story3	Base	0,126	1	177,97	22,42

Tabla 18.- Cortante basal estático

A continuación, el cortante basal dinámico y su comprobación:

CORTANTE BASAL ESTATICO	
sismo x=	22,42 tn
sismo y=	22,42 tn
CORTANTE BASAL DINAMICO	
espectro x=	18,93 tn
espectro y=	18,81 tn
resultante x=	20,05 tn
resultante y=	19,95 tn
ESTRUCTURA REGULAR EN SENTIDO X	
Para estructuras regulares se debe cumplir la siguiente condicion:	
sismo x con espectro x	
V basal Dinamico > 80% V basal Estatico	
20,05 tn > 0,8 V basal E	
20,05 tn	17,94 tn OK
ESTRUCTURA REGULAR EN SENTIDO Y	
Para estructuras regulares se debe cumplir la siguiente condicion:	
sismo Y con espectro Y	
V basal Dinamico > 80% V basal Estatico	
19,95 tn > 0,8 V basal E	
19,95 tn	17,94 tn OK

Tabla 19.- Verificación del cortante basal estático y dinámico de la estructura

3.5.4. Verificación del análisis modal de masa de la estructura

- Serán nueve periodos de análisis modal debido a que los grados de libertad se evalúan según el numero de pisos, por cada piso serán tres grados de libertad.
- Se deben considerar todos aquellos modos que contribuyan a una masa modal acumulada igual o superior al 90% de la masa total de la estructura, en cada una de las direcciones principales analizadas.
- Se deben considerar todos los modos de vibración que tengan una contribución significativa en la respuesta global de la estructura, a través de sus respectivos periodos de vibración, es de esperar que los mayores desplazamientos en las direcciones X y Y se presenten en el primer y segundo modo

En la **tabla 20** se observa que existe el cumplimiento en el análisis modal de la estructura.

Case	Mode	Period sec	UX	UY	Sum UX	Sum UY	Sum UZ	RZ	Sum RZ
Modal	1	0,47	0,1752	0,6441	0,1752	0,6441	0	0,0300	0,0300
Modal	2	0,462	0,6619	0,188	0,8371	0,832	0	0,0067	0,0367
Modal	3	0,351	0,0228	0,0123	0,8599	0,8444	0	0,8215	0,8582
Modal	4	0,145	0,1005	0,0067	0,9604	0,8511	0	0,0041	0,8624
Modal	5	0,14	0,0074	0,1115	0,9678	0,9626	0	0,0010	0,8634
Modal	6	0,109	0,0028	0,0025	0,9706	0,9651	0	0,1059	0,9693
Modal	7	0,083	0,0284	0,0002	0,999	0,9653	0	0,0009	0,9702
Modal	8	0,075	0,0004	0,0334	0,9994	0,9987	0	0,0009	0,9711
Modal	9	0,062	0,0006	0,0013	1,0000	1,0000	0	0,0289	1,0000

Tabla 20.- Participación modal de masa de la estructura

3.5.5. Verificación de la capacidad estructural

Ya verificado el análisis estructural con los elementos prediseñados en los ítems anteriores, comprobamos el cumplimiento de la estructura ante las cargas permanentes, sísmicas y variables, el software Etabs nos determina la cantidad de acero longitudinal a utilizar en losas, vigas y columnas.

El software Etabs nos sugiere utilizar para las columnas de toda la estructura un porcentaje del 1% de acero longitudinal.

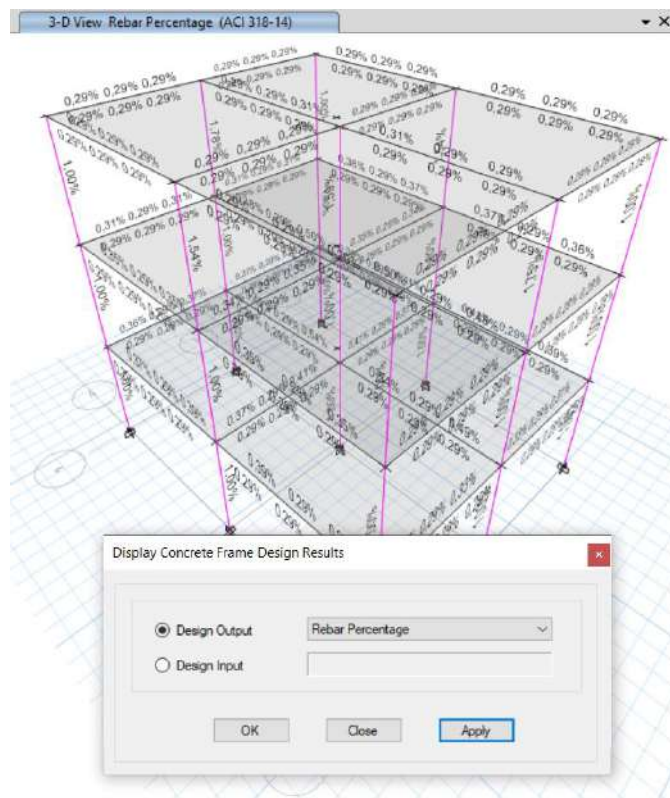


Ilustración 19.- Porcentaje de acero longitudinal en las columnas de toda la estructura

El software Etabs nos sugiera utilizar en las vigas del primer piso la siguiente cuantía de acero longitudinal:

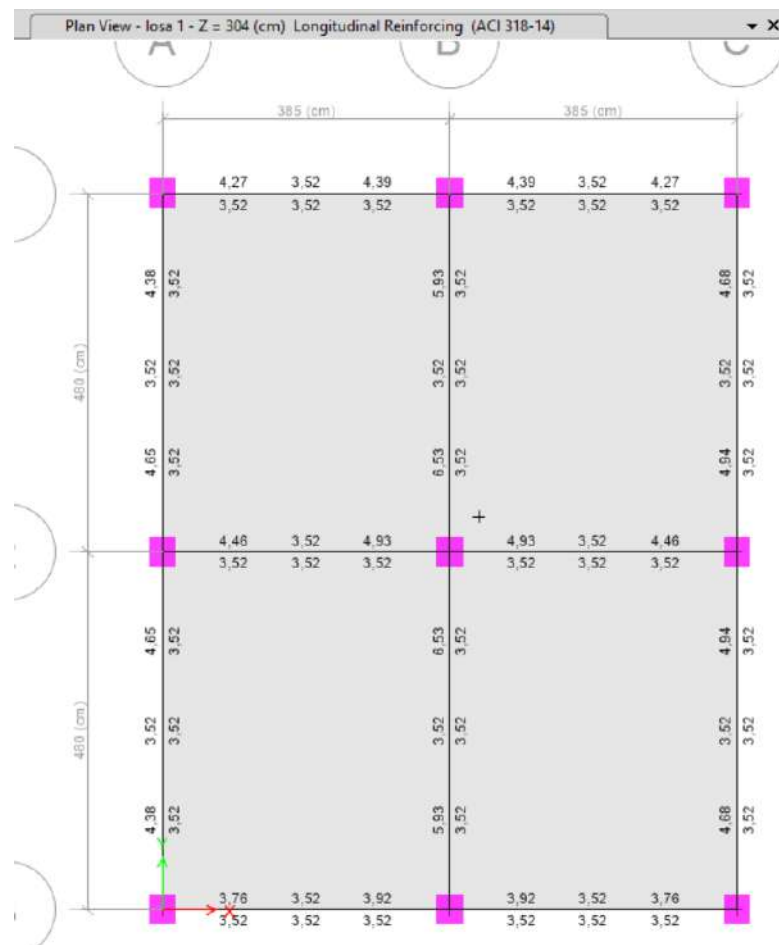


Ilustración 20.- Cuantía de acero longitudinal en las vigas del primer piso

El software Etabs nos sugiera utilizar en las vigas del segundo piso la siguiente cuantía de acero longitudinal:

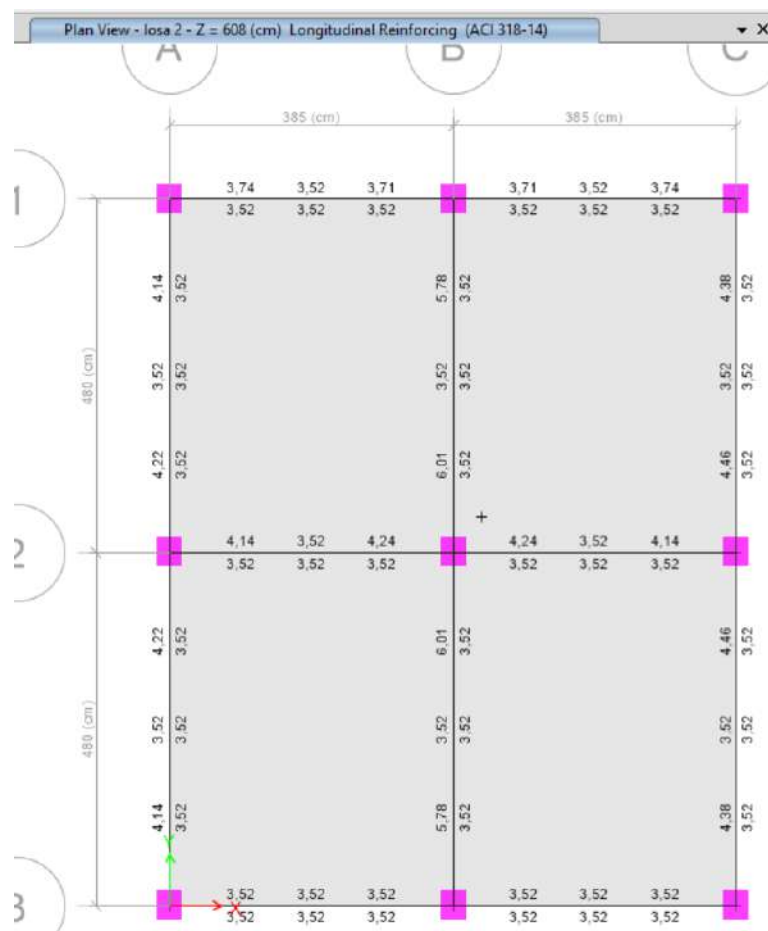


Ilustración 21.- Cuantía de acero longitudinal en las vigas del segundo piso

El software Etabs nos sugiera utilizar en las vigas de la losa de cubierta la siguiente cuantía de acero longitudinal:

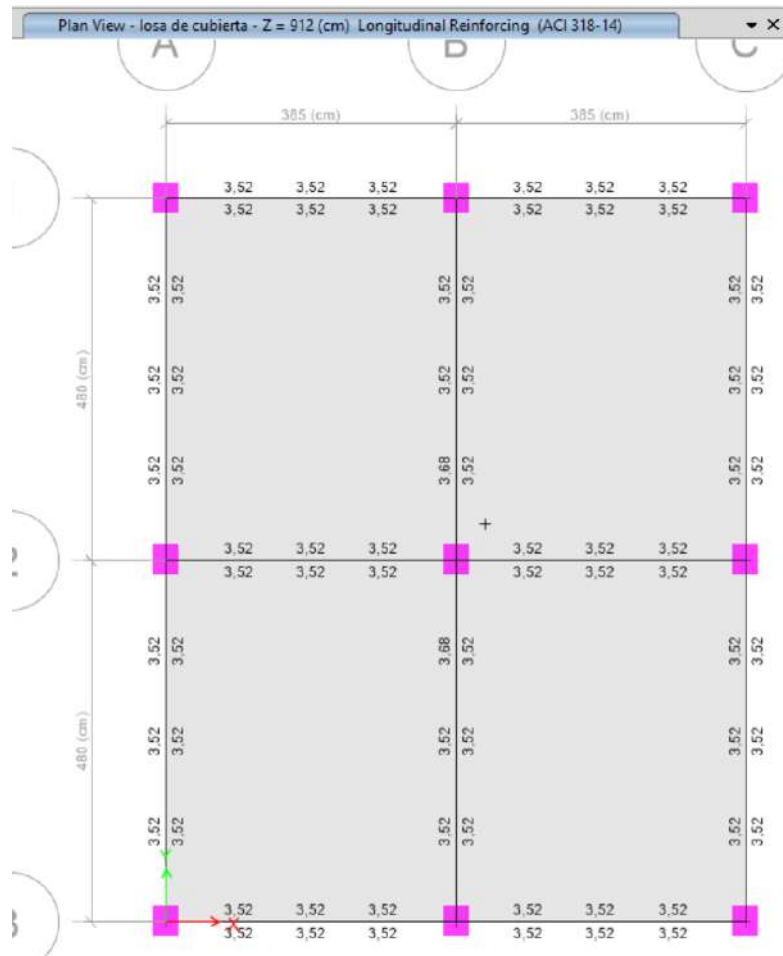


Ilustración 22.- Cuantía de acero longitudinal en las vigas de la losa de cubierta

En la **ilustración 23** podemos ver que el software Etabs no determina posibles fallas en la estructura por lo que se determina que la edificación satisface con la modelación y el análisis estructural realizado, es decir podemos determinar como un análisis sismorresistente que cumple con todas las especificaciones técnicas y solicitud de cargas.

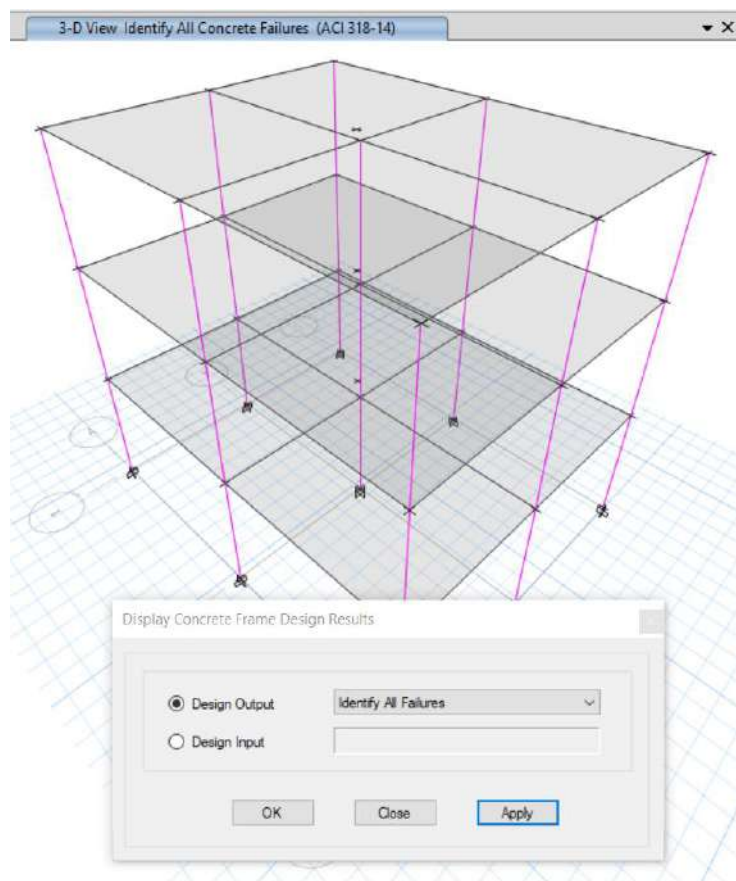


Ilustración 23.- Identificación de posibles fallas en la estructura mediante el software Etabs

Capítulo IV: Conclusiones y Recomendaciones

4.1. Conclusiones

En el prediseño de las secciones de los elementos estructurales, se escogieron con base a las normativas técnicas, aplicando los conocimientos adquiridos en la materia de modelación estructural, teniendo como resultado el cumplimiento general de la estructura que se logró evidenciar al momento de verificar los resultados de cumplimiento en el software Etabs sin presentar ningún tipo de falla localizada.

Además, la estructura modelada fue capaz de soportar las solicitaciones de cargas permanentes, variables y sísmicas a las que fue expuesta simulando el comportamiento real de la estructura en una zona de alta actividad y peligro sísmico.

Mediante el análisis previo se garantizó el cumplimiento de toda la estructura, dejando en conocimiento que, para todo buen diseño estructural sismorresistente, se

deben seguir todos los pasos en la fase previa como son el prediseño, análisis de cargas, modelado de la estructura obteniendo así un resultado positivo y viable para la construcción de estructuras sismorresistentes.

4.2. Recomendaciones

Después del modelado estructural de la vivienda en el software Etabs y una vez verificado el cumplimiento general de la estructura, se debe promover los conocimientos técnicos, asesorando a maestros e ingenieros del sector constructivo del cantón Sucre, para que se apliquen las normativas técnicas para diseños estructurales sismorresistentes, creando conciencia después de haber pasado por los últimos sismos de alta intensidad que dejaron como resultados el colapso de varias edificaciones, de tal forma que se pueda evitar caer en los mismos errores recurrentes al momento de iniciar un proyecto de construcción donde se involucra la seguridad y vulnerabilidad de los habitantes del cantón ante eventos sísmicos.

Bibliografía

- (MIDUVI), M. d. (2015). *Norma Ecuatoriana de la Construcción - NEC-SE-CG: Carga no Sísmica*. Dirección de Comunicación Social, MIDUVI.
- (MIDUVI), M. d. (2015). *Norma Ecuatoriana de la Construcción - NEC-SE-DS: Diseño sísmorresistente*. Dirección de Comunicación Social, MIDUVI.
- Aceros Arequipa. (s.f.). *Manual de Construcción*. Perú.
- Acerta_admin. (19 de diciembre de 2024). *Acerta*. Obtenido de Acerta: <https://grupoacerta.mx/blog/construccion/modelado-estructural/>
- Bravo, E. (2017). El sismo del 16 de abril en Manabí visto desde la ecología política del desastre. *Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador*.
- Corporación Nacional de Finanzas Populares. (s.f.). *El nuevo Ecuador*. Obtenido de <https://www.finanzaspopulares.gob.ec/principios-basicos-de-la-sismorresistencia-protegiendo-vidas-y-construcciones/>
- Editorial Team. (19 de abril de 2024). *BibLus*. Obtenido de BibLus: <https://biblus.accasoftware.com/es/vigas-de-hormigon-armado-tipos-y-metodo-de-diseno/>
- Enriquez Viteri, L. (2019). *Análisis del desempeño estructural para losas bidireccionales con diferentes sistemas constructivos y su influencia en los costos*. Jipijapa.
- Frau, C., Vielma Pérez, J., Zambrano Mejía, A., & Falconi Aguilar, R. (2023). Potencial destructivo generado por el terremoto de Ecuador del 16 de abril de 2016. *Revista Geofísica*.
- Gallegos Díaz, P. F. (2022). *Análisis comparativo del diseño sísmo resistente de estructura de hormigón armado basado en Normativa Ecuatoriana (NEC-SE-DS) y Colombiana (NSR-10)*. Ambato-Ecuador.
- Gualoto Andrango, B. (2023). *COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE EDIFICIOS REGULARES UTILIZANDO*. Quito, Ecuador.

- Hernanz Jiménez, M. (2022-2023). *Arquitectura sismorresistente*. Madrid, España.
- Narváez, R., & Maldonado, D. (24 de abril de 2016). *lbe - la barra espaciadora*. Obtenido de lbe - la barra espaciadora: <https://www.labarraespaciadora.com/ddhh/terremoto-2016/>
- Ñaupás Paitán, H., Valdivia Dueñas, M., Palacios Vilela, J., & Romero Delgado, H. (2018). *Metodología de la investigación cuantitativa - cualitativa y redacción de la tesis*. Bogotá, Colombia: Ediciones de la U.
- Pf Construcciones. (s.f.). Obtenido de <https://pfconstrucciones.com.py/2024/04/19/columna-de-hormigon/>
- Prudencio Ramos, F., & Mendieta Carrion, J. (2023). *Diseño estructural de una edificación de CONcreto Armado de 5 niveles para mitigar los daños estructurales de sismo severos en edificación en el distrito de los Olivos*. Lima, Perú.
- Quecedo Lecanda, R., & Castaño Garrido, C. (s.f.). Introducción a la metodología de investigación cualitativa. *Revista de Psicodidáctica*.
- Sánchez Cortez, J., & Simbaña Tasiguano, M. (20224). Terremoto del 16 de abril de 2016 en Ecuador: Una visión general de los acontecimientos y lecciones aprendidas. *Revista de Estudios Latinoamericanos sobre Reduccion del Riesgo de Desastres (REDER)*.
- Sarango Calvache, J. (2020). *Comparación de la respuesta dinámica de estructuras aporticadas de hormigón armado utilizando los métodos modal espectral (Nec 2015) y tiempo historia de aceleraciones (Pedernales 2016)*. Quito.
- Solorzano Chancay, F. I. (2017). *Diseño Estructural Sismo-Resistente modelado en Etabs de un bloque*. Jipijapa.
- Tecnopor vive mejor. (s.f.). Obtenido de <https://tecnopor.net/losas-alivianadas/#:~:text=La%20losa%20alivianada%20permite%20lograr,m%C3%A1s%20factible%20para%20realizar%20losas.>

Universidad Técnica de Ambato. (2016). *SISMO RESISTENCIA EN EDIFICIOS DE HORMIGÓN Y ACERO PARA ZONAS DE ALTA PELIGROSIDAD SÍSMICA EN EL ECUADOR*. Ambato.

Urbania. (17 de febrero de 2025). Obtenido de Urbania:
<https://urbania.pe/blog/noticia/que-es-una-vivienda-multifamiliar/>

Anexos

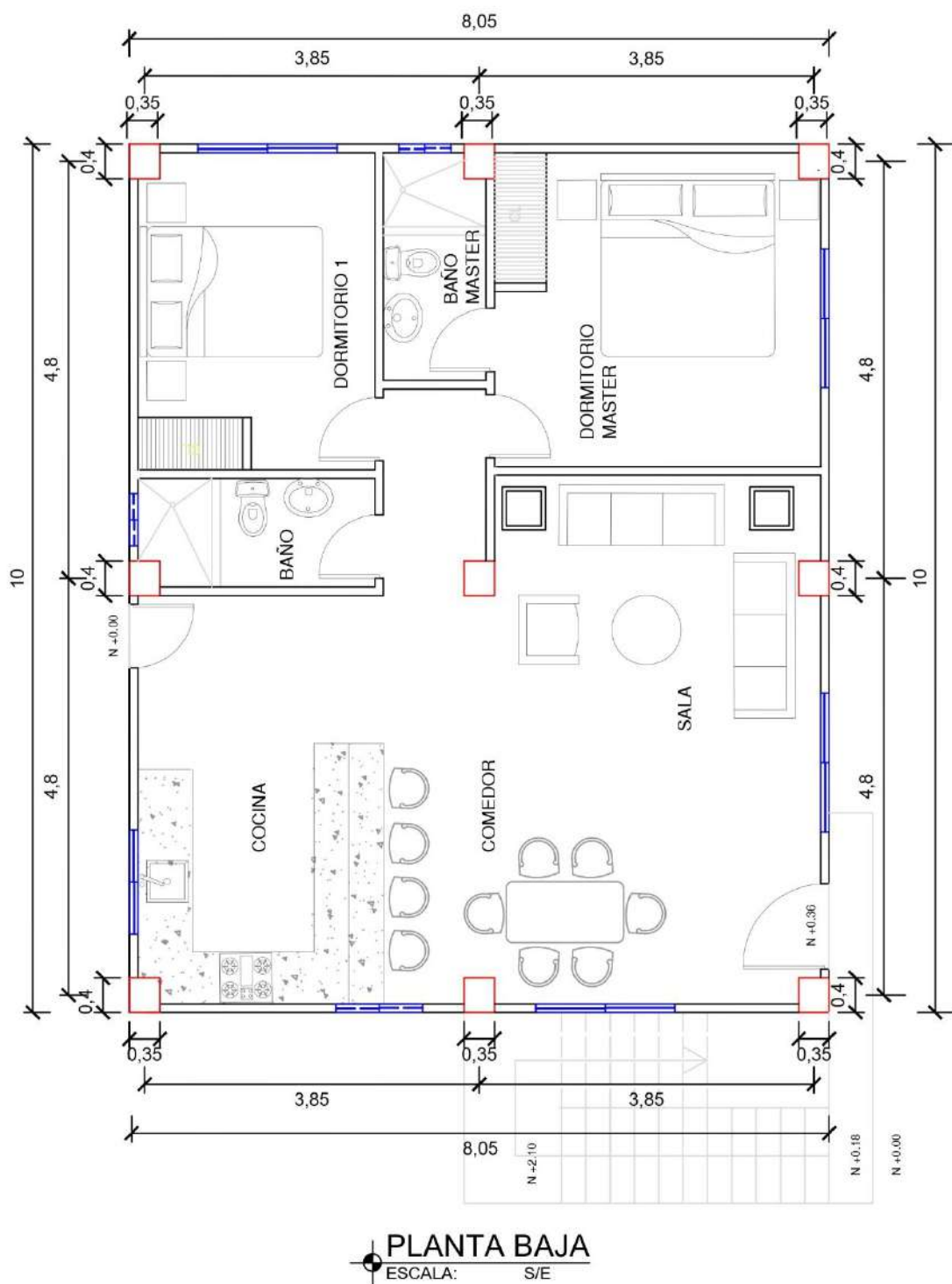


Ilustración 24.- Plano arquitectónico de la planta baja

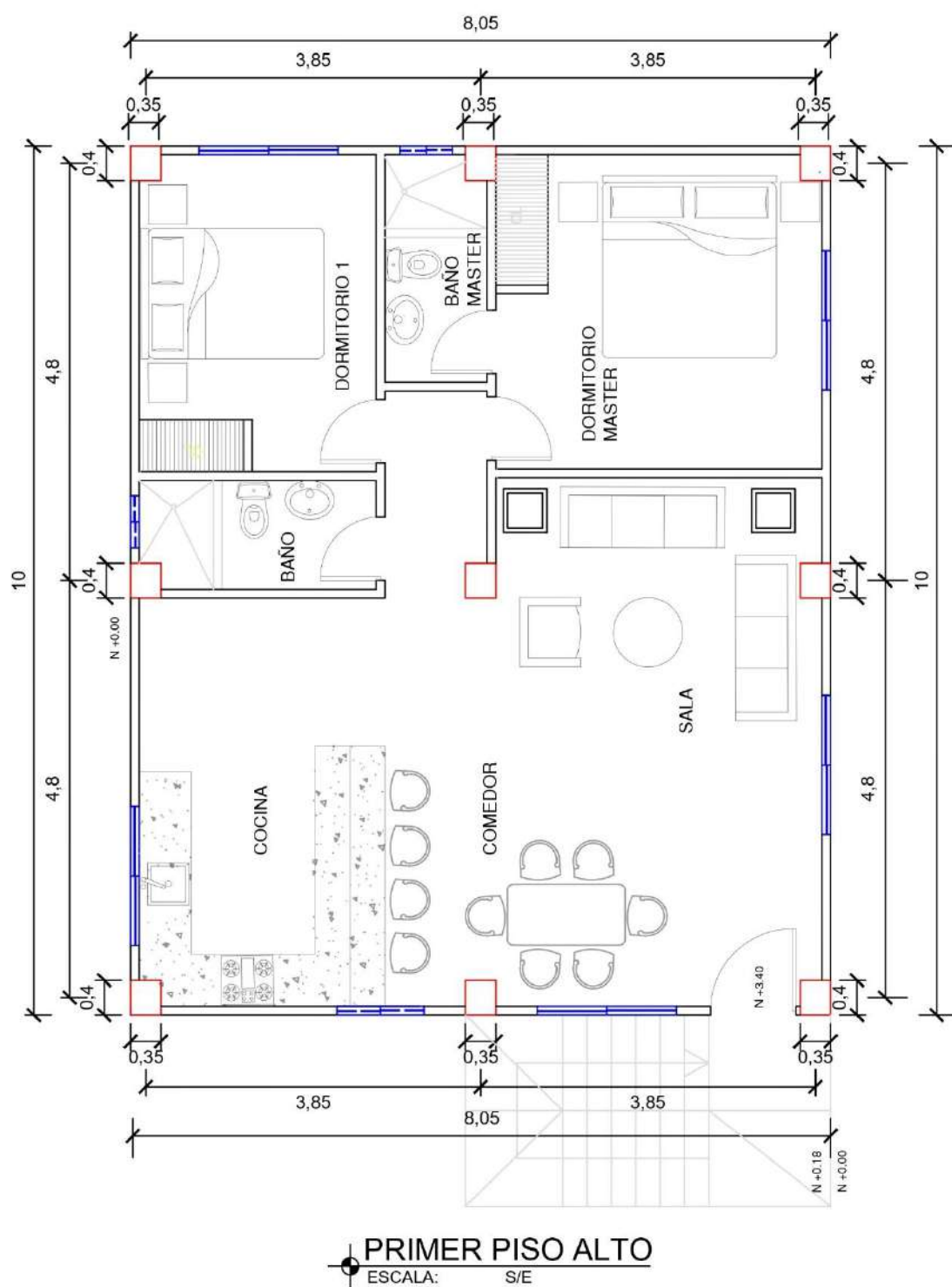


Ilustración 25.- Plano arquitectónico del primer piso alto

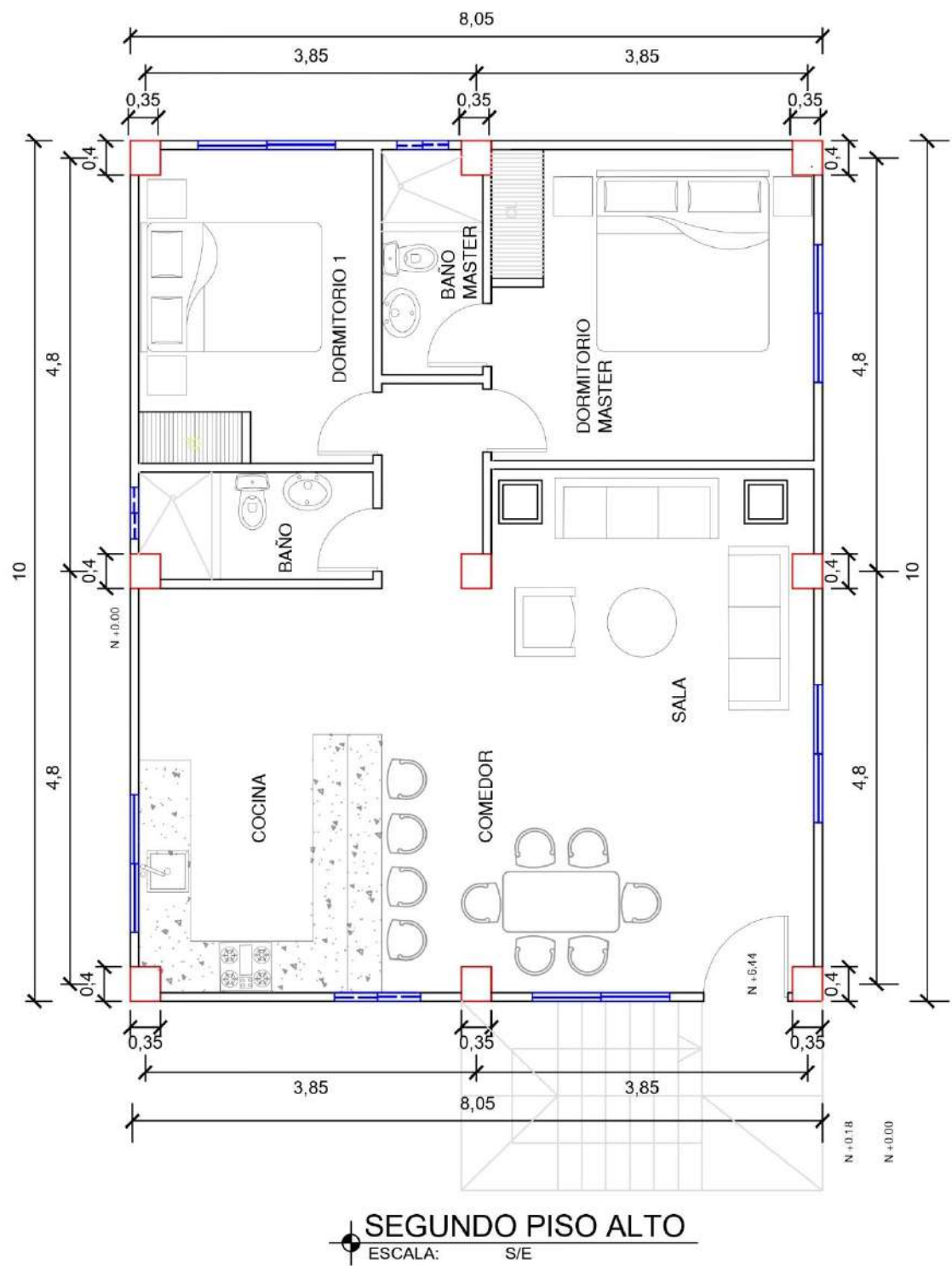


Ilustración 26.- Plano arquitectónico del segundo piso alto