



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 MACIZA APLICANDO LA NORMA ECUATORIANA DE CONSTRUCCION NEC-15.

Autora

Sandra Johanna López Márquez

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

Yo, Ing. Patricio Andrés Pazmiño Balda; docente de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí, Unidad Académica de Formación Técnica y Tecnológica – Extensión Sucre, 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 maciza 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 autora:

Sandra Johanna López Márquez

Siendo de su exclusiva responsabilidad.

Bahía de Caráquez, septiembre de 2025



Ing. Patricio Andrés Pazmiño Balda

TUTOR

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

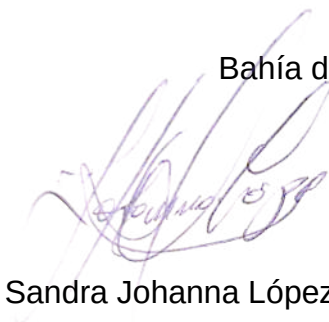
Quien suscribe la presente:

Sandra Johanna López Márquez

Estudiante(s) de la Carrera de **Tecnología Superior en Construcciones Sismorresistentes**

, declaro bajo juramento que el presente proyecto integrador cuyo título: “Modelación estructural sismorresistente de una vivienda multifamiliar de 3 niveles ubicada en la parroquia Canoa del cantón San Vicente con vigas, columnas de hormigón armado y losa maciza aplicando la norma ecuatoriana de construcción nec-15”, previa a la obtención del Título de **Tecnología 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.



Sandra Johanna López Márquez



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 maciza aplicando la norma ecuatoriana de construcción nec-15” de su autora: **Sandra Johanna López Márquez** 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

Mis sinceros agradecimientos a mis docentes como el Ing. Guillermo Pazmiño y el Ing. Patricio Pazmiño que estuvieron en este proceso, que demostraron que con amor y perseverancia se obtiene los resultados esperados. Y porque no agradecer a mis compañeros de aula que también formaron parte de esta enseñanza.

Recuerden que en la vida siempre hay algo bueno que aprender

Sandra Johanna López Márquez

DEDICATORIA

Dedico mi proyecto a mis hijos y demostrar que no hay edad para seguir aprendiendo y lograr las metas que te propones en esta vida

El tiempo de Dios es perfecto él te pone en el momento adecuado para lograr tus objetivos.

Sandra Johanna López Márquez

RESUMEN

El presente trabajo de titulación desarrolla la modelación estructural sismorresistente de una vivienda multifamiliar de tres niveles, ubicada en la parroquia Canoa del cantón San Vicente, una zona afectada por eventos sísmicos muy significativos. La estructura propuesta es un sistema compuesto por vigas, columnas y losas macizas de hormigón armado, aprovechando las resistencias de dichos elementos. La metodología se toma como base la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-15, que define los requisitos de diseño por zonas, incluyendo parámetros de zonificación sísmica, factores de reducción y criterios de ductilidad. Se realiza una evaluación detallada de las condiciones sísmicas locales y del comportamiento del suelo, seguida del dimensionamiento y verificación de los elementos estructurales frente a cargas gravitacionales. A través del análisis se valida el desempeño de la edificación, asegurando que cumpla con los criterios de seguridad, estabilidad y garantizar la resistencia de las construcciones en contextos de alta amenaza sísmica, contribuyendo al desarrollo urbano seguro de zonas vulnerables.

PALABRAS CLAVE

Análisis estructural, diseño sismorresistente, comportamiento del suelo, condiciones sísmicas locales, zonificación sísmica, estabilidad, seguridad, factores de reducción y criterios de ductilidad.

ABSTRACT

This degree work develops the seismic-resistant structural modeling of a three-story multifamily house, located in the Canoa parish of the San Vicente canton, an area affected by very significant seismic events. The proposed structure is a system composed of reinforced concrete beams, columns and solid slabs, taking advantage of the strengths of these elements. The methodology is based on the Ecuadorian Construction Standard NEC-15, which defines the design requirements by zones, including seismic zoning parameters, reduction factors and ductility criteria. A detailed evaluation of the local seismic conditions and soil behavior is performed, followed by the sizing and verification of the structural elements against gravity loads. Through the analysis, the performance of the building is validated, ensuring that it complies with safety and stability criteria and guaranteeing the resistance of the constructions in contexts of high seismic threat, contributing to the safe urban development of vulnerable areas.

KEYWORDS

Structural analysis, seismic-resistant design, soil behaviorlocal, seismic conditions, seismic zoning, stability, safety, reduction factors and ductility criteria.

ÍNDICE

CERTIFICACION DEL TUTOR	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	II
APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	III
AGRADECIMIENTO	IV
DEDICATORIA.....	V
RESUMEN	VI
PALABRAS CLAVE	VI
ABSTRACT	VII
KEYWORDS	VII
ÍNDICE.....	VIII
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	IX
ÍNDICE DE TABLAS	XI
Capítulo I: Introducción	1
1.1. Titulo	1
1.2. Introducción	1
1.3. Problema	2
1.4. Justificación	2
1.5. Objetivos.....	3
1.5.1. Objetivo general.....	3
1.5.2. Objetivos específicos.....	3
1.6. Metodología	4
1.6.1. Procedimiento.....	4
1.6.2. Técnicas	5
1.6.3. Métodos.....	5
Capítulo II: Marco Teórico.....	7
2.1. Definiciones.	7
2.1.1. Modelación estructural.....	7
2.1.2. Estructura Sismorresistente.....	8
2.1.3. Vigas de hormigón.....	8
2.1.4. Columnas de hormigón.....	8

2.1.5. Losas macizas.....	9
2.2. Antecedentes.....	10
2.3. Trabajos relacionados.....	11
Capítulo III: Desarrollo de la propuesta.....	13
3.1. Parámetros de zonificación sísmica establecidos por la NEC-15.....	13
3.1.2. Condiciones sísmicas del sitio	13
3.1.3. Factores de diseño.....	14
3.2. Cargas actuantes según la zonificación sísmica NEC-15.....	18
3.2.1. Cargas permanentes y variables.	18
3.2.2. Carga sísmica.....	22
3.3. Prediseño de los elementos estructurales.	22
3.3.1. Prediseño de losa maciza.....	22
3.3.2. Prediseño de viga.....	23
3.3.3. Prediseño de columna.....	24
3.4. Modelación en Etabs	28
3.5. Análisis estructural y comprobación de la capacidad estructural.....	37
3.5.1. Análisis modal de masa de la estructura.	37
3.5.2. Análisis del periodo de vibración	37
3.5.3. Análisis de las derivas de piso de la estructura	39
3.5.4. Análisis del cortante basal Estático y Dinámico de la estructura.....	41
3.5.5. Comprobación de la capacidad estructural.....	42
Capítulo IV: Conclusiones y Recomendaciones.....	48
4.1. Conclusiones	48
4.2. Recomendaciones	48
Bibliografía.....	50
Anexos	52

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 .- Mapa de zonificación sísmica (NEC-SE-DS).....	13
Ilustración 2.-Viga eje B (2-3) condición desfavorable	23

Ilustración 3.-Columna más desfavorable de la edificación.	25
Ilustración 4.-Fórmula de aplicación para calcular A_g de columna	26
Ilustración 5 .- Edición de la malla.....	29
Ilustración 6 .- Edición de la altura de piso.....	29
Ilustración 7 .- Corrección de las propiedades del hormigón	30
Ilustración 8 .- Corrección de las propiedades del acero de refuerzo	30
Ilustración 9 .- Asignación de las columnas de 40x35cm.....	31
Ilustración 10 .- Armadura de acero de las columnas de 40x35cm.....	31
Ilustración 11 .- Asignación de las vigas de 40x30cm.....	32
Ilustración 12 .- Asignación de la losa maciza de 15 cm.....	33
Ilustración 13 .- Representación de asignación de diafragma.....	33
Ilustración 14 .- Creación de cargas.....	34
Ilustración 15 .- Asignación de las cargas permanentes y variables.	34
Ilustración 16 .- Combinaciones de carga	35
Ilustración 17.- Espectro de respuesta.....	36
Ilustración 18 .- Empotramiento de las columnas en la base.	36
Ilustración 19.- Máxima deriva elástica	40
Ilustración 20.-Cuantía de acero longitudinal en vigas del piso 1 propuestas por el programa ETABS	43
Ilustración 21.-Cuantía de acero longitudinal en vigas de piso 2 propuestas por el programa ETABS	44
Ilustración 22.-Cuantía de acero longitudinal en vigas de piso 3 propuestas por el programa ETABS	45
Ilustración 23.-Porcentaje de acero longitudinal en columnas 1% de la sección transversal de las columnas.....	46

Ilustración 24.-identificación de posibles fallas en la estructura determinado por el programa de modelación ETABS.....	47
Ilustración 25.- Plano arquitectónico de la planta baja.....	52
Ilustración 26.- Plano arquitectónico del primer piso alto	52
Ilustración 27.- Plano arquitectónico del segundo piso alto	53
Ilustración 28.-Vista 3D de la estructura modelada.....	53
Ilustración 29.-Imagen renderizada de la estructura en 3D.....	54

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.- Valor del factor Z en función de la zona sísmica adoptable (NEC-SE-DS).....	14
Tabla 2 .- Clasificación de los perfiles de suelo (NEC-SE-DS)	15
Tabla 3 .- Tipo de suelo y Factores de sitio Fa (NEC-SE-DS)	16
Tabla 4 .- Tipo de suelo y Factores de sitio Fd (NEC-SE-DS)	16
Tabla 5 .- Tipo de suelo y Factores del comportamiento inelástico del subsuelo Fs (NEC-SE-DS)	17
Tabla 6 .- Tipo de uso, destino e importancia de la estructura (NEC-SE-DS)..	17
Tabla 7 .- Coeficiente R para sistemas estructurales dúctiles (NEC-SE-DS)...	18
Tabla 8.-Cargas variables mínimas uniformemente distribuidas, L o Cv (NEC-SE-CG)	19
Tabla 9.-Resumen de cargas actuantes por metro cuadrado de losa en primer piso	20
Tabla 10.-Resumen de cargas actuantes por metro cuadrado de losa en segundo piso	21
Tabla 11.-Resumen de cargas actuantes por metro cuadrado de losa inaccesible	21

Tabla 12.-Valor del área cooperante	25
Tabla 13.- Participación modal de masa de la estructura	37
Tabla 14.- Valores de los coeficientes C_t y α (NEC-SE-DS)	38
Tabla 15.- Periodo T obtenido del análisis modal y masas	38
Tabla 16.- Comparación de los periodos de vibración	39
Tabla 17.- Valores de Δ_M máximos, expresados como fracción de la altura de piso	40
Tabla 18.- Calculo y comprobación de deriva	40
Tabla 19.- Cortante basal estático	41
Tabla 20.- Verificación del cortante basal estático y dinámico de la estructura	42

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 maciza aplicando la Norma Ecuatoriana de Construcción NEC-15.

1.2. Introducción

Por mucho tiempo se atribuía exclusivamente a la naturaleza las afectaciones de las amenazas naturales, de hecho, las sociedades están expuestas a varias condiciones vulnerables y constantes exposiciones a riesgos geodinámicos e hidrometeorológicos debido a desarrollo urbano acelerado, previsión y ordenamiento del territorio. En el mundo actual es frecuente obtener algún tipo de información relativa a los efectos de los fenómenos naturales a nivel global, volviéndose un tema en boga para la sociedad (Sánchez Cortez & Simbaña Tasiguaña, 2024).

En Ecuador, uno de los terremotos que causó mayor impacto en la provincia de Manabí, fue el ocurrido el 16 de abril del 2016 conocido como “terremoto del 16A” de magnitud 7.8, con epicentro entre Pedernales y Cojimíes (a unos 75km del norte de Canoa). Este movimiento sísmico provocó el debilitamiento de estructuras geológicas desencadenados movimientos de tierra que, afectaron significativamente a las infraestructuras del litoral (Paz Sala, Morante Carballo, Domínguez Cuesta, Carrión Mero, & Berrezueta, 2022)

Este trabajo se enfoca en la modelación y prediseño estructural de una vivienda multifamiliar, optimizando la aplicación de la Norma Ecuatoriana de Construcción (NEC-15) vigente para dar una solución estructural eficiente para zonas vulnerables como la parroquia Canoa.

La aplicación de esta normativa nos permite garantizar la seguridad y resistencia sísmica de la edificación, al momento que optimiza el uso de materiales, reduce los tiempos de construcción y mejora el desempeño ante eventos sísmicos, generando un impacto notable a la protección de vidas humanas. De tal manera que

promueva el uso de normativas lo que eleva la calidad constructiva y favorece el desarrollo sostenible en comunidades de alto riesgo.

La modelación estructural sismorresistente de una vivienda multifamiliar de 3 niveles con vigas, columnas de hormigón armado y losa maciza aplicando la Norma Ecuatoriana de Construcción NEC-15, guarda una estrecha relación con la carrera de Tecnología en Construcción Sismorresistente, ya que esta se orienta a garantizar edificaciones ante eventos sísmicos. Este trabajo contribuye también al fortalecimiento del uso de técnicas y normativas de la construcción, mayor resistencia sísmica, protección de vidas humanas y optimización del proceso constructivo.

1.3. Problema

La parroquia Canoa, situada en el cantón San Vicente, dentro de la provincia de Manabí, se localiza en una zona clasificada como de alta amenaza sísmica, conforme a la zonificación determinada por la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-15). El sismo ocurrido el 16 de abril de 2016 evidenció la fragilidad estructural de numerosas edificaciones en la zona, las cuales no fueron proyectadas con criterios adecuados de sismorresistencia. En este escenario, el desarrollo del diseño y la modelación estructural de nuevas edificaciones multifamiliares de 3 pisos, empleando elementos de hormigón armado y losa maciza, requiere un análisis exhaustivo que asegure su estabilidad y seguridad. No obstante, se ha identificado una escasa aplicación práctica de la NEC-15 en proyectos de media y pequeña escala particularmente en áreas rurales o turísticas como Canoa. Esta situación subraya la importancia de plantear un modelo estructural que se ajuste a los lineamientos de la normativa vigente y que sea capaz de responder de manera eficaz a las exigencias sísmicas propias de la región.

1.4. Justificación

El presente proyecto, desde una perspectiva académica, presenta una valiosa oportunidad para aplicar y profundizar conocimientos técnicos en diseño estructural sismorresistente, análisis de cargas y normativas, fortaleciendo así la formación profesional en la carrera de Tecnología Superior en Construcciones Sismorresistentes mediante el estudio de una vivienda multifamiliar en una zona

sísmica como es la parroquia Canoa. Tecnológicamente, la incorporación del software Etabs permite modelar y analizar con precisión el comportamiento estructural frente a cargas permanentes, variables y sísmicas según la NEC-15, asegurando un diseño optimizado, seguro y eficiente. Así mismo, este trabajo está alineado con la investigación institucional enfocada en el desarrollo de estructuras seguras y eficientes, promoviendo la aplicación rigurosa de normativas nacionales y mejores prácticas constructivas; de esta forma, contribuye al fortalecimiento de la vinculación entre la academia y las necesidades sociales, aportando al avance institucional en tecnologías aplicadas a la construcción y a la mitigación de riesgos en zonas sísmicas.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

Realizar un modelo 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 maciza aplicando la norma ecuatoriana de construcción NEC-15.

1.5.2. Objetivos específicos

- Elegir el sistema estructural y los parámetros de análisis para estructuras sismorresistentes conforme a lo establecido en la NEC-15.
- Prediseñar los elementos estructurales cumpliendo con los requerimientos de seguridad y sismorresistencia establecidos por la NEC-15.
- Definir las cargas permanentes y variables que actúan sobre la estructura, incluyendo la acción sísmica conforme a los parámetros de zonificación sísmica establecidos por la NEC-15.
- Crear el modelo estructural 3D en el software Etabs ingresando las dimensiones de los elementos estructurales, las características de los materiales a utilizar y la acción sísmica conforme a los parámetros establecidos por la NEC-15.

- Analizar la estructura ante las solicitaciones de cargas gravitacionales y sísmicas, evaluando el comportamiento y cumplimiento de la estructura sismorresistente.

1.6. Metodología

1.6.1. Procedimiento

El trabajo de titulación se llevó a cabo siguiendo estos pasos, de acuerdo con los objetivos planteados:

- Obtención de datos sísmicos y normativos: Se obtuvieron los datos geotécnicos y parámetros sísmicos específicos de la parroquia Canoa, los cuales permitieron caracterizar el tipo de suelo y definir la zonificación sísmica aplicable al diseño estructural de acuerdo a las disposiciones especificadas en la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-15 capítulo **NEC_SE_DS peligro sísmico**.
- Definición de cargas actuantes en la estructura: Se definen las cargas permanentes **D o Cm** (cargas muertas) que se obtienen según los materiales a utilizar y las cargas variables **L o Cv** (cargas vivas) que están definidas según la utilidad que se le dará a la vivienda o edificación.
- Prediseño y Dimensionamiento: se realizaron los cálculos preliminares para el dimensionamiento de los elementos estructurales. El dimensionamiento incluyó el análisis de resistencia, rigideces de columnas, vigas y losas, garantizando un comportamiento estructural adecuado. Un buen prediseño es fundamental para realizar el diseño final de la estructura.
- Análisis Estructural: Se modeló la estructura en 3D utilizando el software Etabs, incorporando los elementos principales de la estructura, como columnas, vigas y losas macizas resistentes con sus propiedades reales y cargas actuantes. Se aplicó un análisis estático y dinámico equivalente conforme a la NEC-15 capítulo **NEC_SE_DS peligro sísmico** para simular sus cargas actuantes. El análisis del modelo verificó el cumplimiento de los criterios de seguridad, estabilidad en esta zona con alto riesgo sísmico.

- Verificación de resultados: La validación técnica confirmó que la propuesta estructural representa una solución segura y eficiente en la zona de estudio, cumpliendo con los criterios y normativas establecidas para garantizar un excelente diseño estructural.

1.6.2. Técnicas

Análisis documental. – Es un proceso de acceso a la información disponible para construir el conocimiento. A través de éste, el investigador comprende y analiza las definiciones y conceptos alrededor de un tema de investigación (Marcelino Aranda, Martinez Cueva, & Camacho Vera, 2024). Es decir que la técnica está basada en la búsqueda y aplicación de normativas técnicas vigentes, revistas científicas y referencias técnicas pertinentes (NEC-15, ACI-318-19), estableciendo criterios para la modelación de una estructura sismorresistente. Es importante antes de iniciar el modelado estructural tener en consideración los parámetros a definir, los materiales a utilizar y la definición de las secciones de los elementos estructurales a través de Predimensionamiento establecidos en las normas y códigos de diseño.

Modelado estructural. – Ha revolucionado la forma en que se planifican, diseñan y ejecutan proyectos en la industria de la construcción. Con el avance de las tecnologías digitales y el desarrollo de software especializado, los ingenieros y arquitectos pueden simular el comportamiento de estructuras antes de su construcción. Esto permite una optimización sin precedentes en el diseño y la ejecución (Software, 2024). Una vez que se tiene definida la esquematización del proyecto a modelar y los prediseños de los elementos estructurales, se aplicó el software de modelación estructural Etabs, en la cual se define la estructura en 3D sometiendo a cargas gravitacionales y sísmicas para su posterior análisis y verificación de resultados.

1.6.3. Métodos.

Método cuantitativo: El modelado estructural tiene un enfoque cuantitativo para analizar de forma numérica la respuesta estructural de la edificación frente a cargas gravitacionales y sísmicas. Este enfoque permite generar y garantizar resultados precisos, apoyando la toma de decisiones fundamentadas para la verificación del

cumplimiento de los elementos estructurales. (Sampieri et al., 2014). Teniendo en consideración lo establecido en la NEC-15.

Capítulo II: Marco Teórico

2.1. Definiciones.

Tenemos como base principal de esta investigación las siguientes definiciones conceptuales.

2.1.1. Modelación estructural.

El primer paso es modelar el esqueleto mecánico de la estructura, incluidos sus cimientos, pilares, vigas, pórticos, cerchas y otros elementos. El punto de partida es el modelo arquitectónico. Un modelo arquitectónico muestra cómo se verá la estructura en la realidad, pero no es adecuado para los cálculos debido al alto nivel de detalle que se requiere. El modelo arquitectónico debe ser procesado hasta que solo quede la estructura portante. La estructura portante transferirá las cargas aplicadas al terreno. (Soft, 2022)

La creación del modelo alámbrico, del modelo mecánico o del plano del modelo. El modelado implica determinar el material para los componentes de la estructura, ya sea “acero estructural”, “hormigón armado”, “madera”, o cualquier otro material. La elección dependerá principalmente de criterios económicos y de la seguridad requerida para la estructura. Un gran número de estructuras constan de elementos de acero, hormigón y madera. (Soft, 2022)

El modelado también implica definir las dimensiones para cada elemento, que es la base para el cálculo del peso propio a tener en cuenta en el análisis de cargas. La estimación del tamaño del miembro estructural incluye lo que debería ser el ancho o base, el peralte o altura y el espesor del elemento. Se pueden utilizar reglas empíricas para la elección de las dimensiones iniciales o Prediseñar previamente al modelado. (Soft, 2022)

Existen una gran variedad de programas para realizar análisis y modelación de estructuras. Los programas más prácticos para realizar una modelación estructural son los siguientes:

- ETABS
- SAP2000

- ROBOTSTRUCTURALANALYSIS
- CYPECAD

2.1.2. Estructura Sismorresistente.

La estructura sismorresistente de un edificio se compone de varios elementos y características que aumentan su resistencia a los terremotos. Algunos de ellos son: pórticos resistentes a momento, muros estructurales de corte, arriostramientos laterales concéntricos o excéntricos, entre otros, se puede decir que las estructuras sismorresistentes son fundamentales para garantizar la seguridad en zonas de alta actividad sísmica. (Villamizar, 2023)

Se debe garantizar un adecuado modelado, análisis, diseño y detallado estructural, y el uso de técnicas y materiales específicos que garanticen la durabilidad y estabilidad de la estructura, es posible construir edificios seguros y resistentes a los terremotos, siguiendo todos los parámetros y normativas para garantizar una construcción sismorresistente y contribuir así a la seguridad y bienestar de las personas. (Villamizar, 2023)

2.1.3. Vigas de hormigón.

Las vigas de hormigón son elementos estructurales largos y rectangulares, hechos principalmente de hormigón, que se utilizan para soportar cargas en edificaciones y estructuras. Funcionan soportando cargas principalmente a través de la resistencia a la flexión. Además, las vigas de hormigón se utilizan para distribuir el peso de la estructura a las columnas y cimentación, proporcionando estabilidad y soporte. Son fundamentales en la construcción de edificios, puentes y otras estructuras. (Holcim, 2024)

2.1.4. Columnas de hormigón.

Las columnas de hormigón armado, son las estructuras verticales que se encargan de transmitir esfuerzos y cargas de una edificación hacia la estructura de cimentación, estas pueden ser zapatas como estructuras intermediarias de apoyo para dicho evento. Las columnas de hormigón armado tienen la característica de ser

elementos estructurales esbeltos y rígidos que soportan compresión por cargas axiales o flexo compresión por cargas axiales y laterales. (PuntoFijo, s.f.)

2.1.5. Losas macizas.

Este tipo de losas cuentan con un soporte rígido en sus extremos que le permite resistir grandes cargas. Para su construcción, es necesario incorporar refuerzos en dos direcciones, lo que garantiza la capacidad de resistencia del hormigón armado frente al peso y las cargas que soportará. Todas estas cargas, incluyendo el peso propio y las cargas muertas, son transferidas a los elementos de apoyo, ya sea columnas o muros de carga, los cuales a su vez las transmiten a la cimentación. En su mayoría, se emplean como pisos en construcciones residenciales, sociales y comerciales que demandan una plataforma con una capacidad de carga elevada, una resistencia al fuego destacada y un buen aislamiento acústico y térmico. (CALYTEC, s.f.)

2.1.6. Norma Ecuatoriana de Construcción para diseños sismorresistente.

Esta normativa establece los requisitos mínimos de seguridad y calidad para las edificaciones en Ecuador, incluyendo el diseño sismorresistente. La NEC-SE-DS (Diseño Sismorresistente) es el capítulo específico que trata sobre este tema. En este capítulo de las Normas Ecuatorianas de Construcción, se presentan los requerimientos y metodologías que deben ser aplicados al diseño sismorresistente de edificios principalmente y también a otras estructuras; complementadas con normas extranjeras reconocidas ((ACI), 2014)-14). Este capítulo pone a disposición de los calculistas, diseñadores y profesionales del sector de la construcción, las herramientas de cálculo, basándose en conceptos de Ingeniería Sísmica y que les permiten conocer las hipótesis de cálculo que están adoptando para la toma de decisiones en la etapa de diseño. Los lineamientos y directrices para la elaboración de la memoria de cálculo se encuentran definidos en la sección 2.3. Este capítulo se constituirá como un documento de permanente actualización, necesario para el cálculo y diseño sismo resistente de estructuras, considerando el potencial sísmico del Ecuador. (NEC-15, 2014)

2.2. Antecedentes

Para la modelación sismorresistente de una vivienda multifamiliar en la parroquia Canoa, se debe tener en cuenta que Manabí a lo largo de la historia es considerada como una zona con suelos blandos y arcillosos de alta plasticidad (Suárez Carriel, 2023), que se caracterizan en el ámbito de la construcción como suelos desfavorables y a su vez siendo una zona de alto riesgo sísmico como quedo evidenciado en el último evento telúrico que se suscitó el 16 de abril del 2016 con magnitud 7.8 Mw en la escala de Richter, Posterior al evento principal se registraron aproximadamente 1.417 réplicas durante un mes. Quedando establecido la provincia de Manabí como una zona susceptible a las amenazas sísmicas (Sánchez Cortez & Simbaña Tasiguaña, 2024).

Tras lo ocurrido en el terremoto del 16 de abril de 2016 con epicentro en la ciudad de Pedernales, y ciudades como Canoa, Jama, Bahía de Caráquez, Manta y Portoviejo se vieron afectadas severamente, se realizaron estudios en la ciudad de Portoviejo donde colapsaron alrededor de 40 edificios de hormigón armado, ubicados en el Centro de la ciudad, con dolorosas pérdidas de vidas y un cuantioso perjuicio económico. Varias fueron las causas que llevaron al colapso a estos edificios, lo que se analiza en el presente proyecto, unas de las causas fueron construcciones de nuevos pisos sobre los ya existentes sin reforzar las estructuras, estructuras bastante flexibles que tuvieron bastantes desplazamientos, la tipología estructural y la amplificación de las ondas sísmicas por efectos del tipo de suelo que no fueron considerados en los análisis previos a las construcciones de los edificios y viviendas (Aguiar & Mieles, 2018).

Con todos los antecedentes mencionados, Es por tal motivo que surge la necesidad de realizar un modelado y análisis estructural previos al diseño y construcción de estructuras que se consideren sismorresistente, debido a la ubicación del proyecto, se recopiló información de los datos geotécnicos y la zonificación sísmica de los estratos y tipo de suelo descritos en las normativas vigentes (NEC-15, 2014).

2.3. Trabajos relacionados

En España, Montoro Renero, C. (2025) Análisis y modelado de punzonamiento en losas y pilares de hormigón (Proyecto Fin de grado, E.T.S. Arquitectura Universidad Politécnica de Madrid) En este trabajo se analiza el fenómeno del punzonamiento en losas macizas de hormigón armado, evaluando cómo las normativas EHE-08 y el Código Estructural (CE) abordan este problema y como esta última se ha vuelto más restrictiva. La investigación combina simulaciones, análisis normativo y casos de estudio con el objetivo de mejorar la comprensión del comportamiento estructural ante cargas concentradas transmitidas por pilares. En conclusión, esta investigación aborda cómo adaptar los diseños estructurales a las exigencias actuales, garantizando la seguridad mediante soluciones técnicas. El análisis comparativo entre normativas y las propuestas de mejora frente al punzonamiento de la nueva normativa ofrecen una guía para el diseño de estructuras de hormigón armado frente al punzonamiento. (Montoro Renedo, 2025)

En Bolivia, Hinojosa Coca, F. (2019) Comparación de losas macizas de hormigón mediante dos enfoques (Artículo científico, Universidad Autónoma Tomás Frías, Bolivia) Se realizó la comparación técnico –económica de los resultados obtenidos del diseño de losas macizas de hormigón armado a partir del análisis estructural mediante el enfoque elástico de la norma CBH 87 y el enfoque plástico de la teoría de líneas de rotura. El objetivo de la investigación fue cuantificar los efectos que causa el empleo del método de análisis plástico de líneas de rotura, en el diseño de losas macizas de hormigón armado en cuanto al consumo de acero de refuerzo y en cuanto a las flechas y anchos de fisura en el estado límite de servicio. Además, se realizó la modelación estructural del comportamiento resistente y deformacional de las losas macizas en dos direcciones. (Hinojosa Coca, 2019)

En una edificación de hormigón armado de 4 pisos ubicado en el cantón de Salcedo, se procedió a realizar la ejecución de un análisis de influencia del modelado entre dos tipos de elementos de losa: Shell y membrana, usados comúnmente para el diseño estructural, para lo cual se utilizó un software especializado, mismos que fueron comparados a través del modelado. Obteniendo como resultado en los dos tipos de modelamiento el periodo de vibración, cortantes, derivas de piso, deflexión,

asentamiento y áreas de acero de refuerzo, que promuevan un buen desempeño estructural, simplificados en tablas de comparación, con la ayuda de un software de diseño. (Acosta Portilla, 2022)

Por otra parte, los modelados estructurales para realizar diseños de edificaciones con losas macizas en la provincia de Manabí son muy escasas, casi nulas, debido a que se acostumbraba a realizar construcciones sin ningún cálculo estructural tendiendo a las fallas y colapsos de las mismas.

Es por tal motivo que se plantea realizar una modelación y análisis estructural en un software para garantizar y verificar la seguridad y el cumplimiento ante sollicitaciones de cargas gravitacionales y sísmicas. En nuestro medio se tiene un concepto erróneo sobre las estructuras con losas macizas, todo esto se debe a una mala práctica estructural, sin seguir las normativas recomendadas como son la NEC-15 y ACI-318-19. Lo que significa que, si se realiza un correcto modelado y análisis estructural se pueden seguir construyendo este tipo de estructuras evitando fallas por punzonamientos, ya que son las fallas más comunes en este tipo de losas y es lo que se debe evitar al momento de sus construcciones garantizando siempre la seguridad y economía del proyecto.

Capítulo III: Desarrollo de la propuesta

En este capítulo se detalla la información conforme a los objetivos definidos en la presente investigación.

3.1. Parámetros de zonificación sísmica establecidos por la NEC-15

Se determinaron los parámetros sísmicos de la zona como la aceleración sísmica básica, el tipo de suelo y la categoría de uso de la edificación, lo que permitió calcular las fuerzas sísmicas de diseño. Esto resulta relevante ya que es una zona con alta actividad sísmica lo que implica un riesgo significativo para las edificaciones en caso de eventos sísmicos severos.

3.1.2. Condiciones sísmicas del sitio

En el mapa de zonificación sísmica para propósitos de diseño y valor del factor de zona Z , sección 3.1.1. de la NEC-15, clasifica las zonas según el nivel de riesgo sísmico, la parroquia Canoa del cantón San Vicente de la provincia de Manabí está en una zona altamente sísmica.

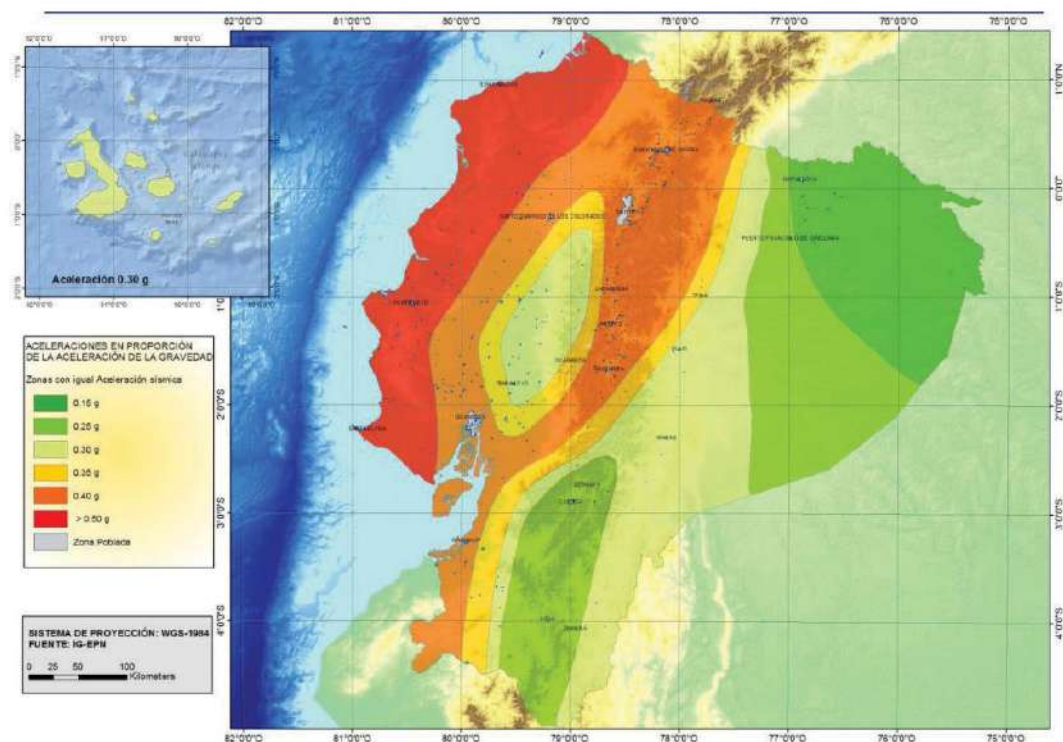


Ilustración 1 .- Mapa de zonificación sísmica (NEC-SE-DS)

3.1.3. Factores de diseño

Se definieron las variables reglamentarias esenciales conforme a la NEC-15, necesarias para garantizar el diseño estructural sismorresistentes de la edificación.

- **Tabla 1**, sección 3.1.1, NEC-SE-DS. Zona sísmica VI: muy alta
- **Tabla 1**, sección 3.1.1, NEC-SE-DS. Factor zona sísmica: $z=0.50$

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.- Valor del factor Z en función de la zona sísmica adoptable (NEC-SE-DS)

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

Tipo de perfil	Descripción	Definición
A	Perfil de roca competente	$V_s \geq 1500 \text{ m/s}$
B	Perfil de roca de rigidez media	$1500 \text{ m/s} > V_s \geq 760 \text{ m/s}$
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$760 \text{ m/s} > V_s \geq 360 \text{ m/s}$

Tipo de perfil	Descripción	Definición
	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios	$N \geq 50.0$ $S_u \geq 100 \text{ kPa}$
D	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$360 \text{ m/s} > V_s \geq 180 \text{ m/s}$
	Perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	$50 > N \geq 15.0$ $100 \text{ kPa} > S_u \geq 50 \text{ kPa}$
E	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$V_s < 180 \text{ m/s}$
	Perfil que contiene un espesor total H mayor de 3 m de arcillas blandas	$IP > 20$ $w \geq 40\%$ $S_u < 50 \text{ kPa}$
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 2 .- Clasificación de los perfiles de suelo (NEC-SE-DS)

- **Tabla 3**, sección 3.2.2, NEC-SE-DS. Coeficiente de amplificación de suelo en la zona de periodo corto. $F_a=1.12$

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

Tabla 3 .- Tipo de suelo y Factores de sitio Fa (NEC-SE-DS)

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

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

Tabla 4 .- Tipo de suelo y Factores de sitio Fd (NEC-SE-DS)

- **Tabla 5**, sección 3.2.2, NEC-SE-DS. Coeficiente no lineal de los suelos. Fs=1.40

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)

- **Tabla 6**, sección 4.1, NEC-SE-DS. Factor de importancia: $I=1.0$

Categoría	Tipo de uso, destino e importancia	Coefficiente 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)

- Se escoge el sistema estructural a modelar y analizar definiendo que son pórticos especiales sismorresistentes, de hormigón armado con vigas descolgadas como se tiene en la **Tabla 7**, sección 6.3.4, NEC-SE-DS.
Los pórticos resistentes a momento de hormigón armado transfieren las cargas actuantes a la cimentación a través de vigas y columnas.
Es decir, que los pórticos que se analicen, diseñen y detallen con los requerimientos establecidos en la NEC-SE-HM, poseerán la ductilidad que sustente la aplicación del factor de reducción de respuesta: $R=8$.

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)

Resumen de Factores de diseño para estructuras sismorresistentes

- Sección 3.3.1 NEC-SE-DS, se calcula el espectro de respuesta elástico de aceleraciones: $S_a(T_a)$ de la siguiente manera:
- Factor de zona sísmica, $Z=0.50$.
- Tipo de suelo, D.
- Coeficientes de amplificación del suelo, $F_a=1.12$, $F_d=1.11$ y $F_s=1.40$.
- Razón entre aceleración espectral $S_a(T=0.1s)$ y el PGA para el periodo de retorno seleccionado, $\eta=1.80$ (Costa-Manabí).
- Factor de Reducción de Respuesta $R=8$
- Factor de importancia $I=1$

3.2. Cargas actuantes según la zonificación sísmica NEC-15.

3.2.1. Cargas permanentes y variables.

Para la determinación de las cargas permanentes, se consideró la carga muerta (D), esta incluye el peso propio de los elementos estructurales que se calculó manualmente para cada uno de los pisos de la edificación y la carga viva definida conforme a las categorías establecidas por la NEC-15.

- **Tabla 8**, sección 4.2.1, NEC-SE-CG. Carga viva: $L= 2.00 \text{ kN/mm}^2 \approx 0.20 \text{ T/m}^2$, que corresponde a residencias multifamiliares.

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 8.-Cargas variables mínimas uniformemente distribuidas, L o Cv (NEC-SE-CG)

- Cálculo de carga muerta **D** del primer piso.

Se calculan paso a paso los pesos y cargas que actúan sobre la losa del primer piso en 1m² de losa siendo su espesor e=15 cm, por lo tanto:

$$V_{\text{losa}} = 1\text{m} * 1\text{m} * 0,15\text{m} \rightarrow V_{\text{losa}} = 0,15\text{m}^3/\text{m}^2 = V_{\text{horm}}$$

Por tratarse de una losa maciza se calcula el peso del hormigón considerando el volumen obtenido en 1m² de losa:

Peso Propio del hormigón:

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

$$P_{\text{horm}} = 0,15 \text{ m}^3/\text{m}^2 * 2400 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$P_{\text{horm}} = 360 \text{ kg/m}^2$$

Una vez que se obtiene el peso del hormigón en 1 m² de losa maciza, se consideran algunas de las cargas muertas D que actúan sobre la losa en 1 m²:

Peso de Cerámica:

$$P_{\text{cerámicas}} = 45 \text{ kg/m}^2$$

Peso de Mampostería:

$$P_{\text{mamposteria}} = 150 \text{ kg/m}^2$$

Peso de enlucido:

$$P_{\text{enlucidos}} = 33 \text{ kg/m}^2$$

Peso de cielo raso:

$$P_{\text{c. raso}} = 15 \text{ kg/m}^2$$

Obtenemos el resumen de cargas actuantes en 1 m² de losa maciza del primer piso descrito en la **tabla 9**:

Resumen de Cargas en 1m² de losa	
Hormigon	360 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 1= 603 kg/m²	
Carga viva piso 1= 200 kg/m²	

Tabla 9.-Resumen de cargas actuantes por metro cuadrado de losa en primer piso

Al momento de ingresar las cargas actuantes al programa de modelación estructural ETABS, se deberá considerar el descuento del peso propio del hormigón, puesto que el programa considera el peso del hormigón al momento que se le considera el tipo de material a utilizar, por lo tanto:

Carga Muerta D que actúa en 1m² de losa del primer piso= 243 kg/m²

Carga viva L que actúa en 1m² de losa según NEC-SE-CG= 200 kg/m²

- Cálculo de carga muerta D del segundo piso.

Las cargas actuantes del segundo piso serán consideradas iguales a las del primer piso, por lo tanto, el resumen de cargas en 1m² de la losa en el segundo piso será como se describe en la **tabla 10**:

Resumen de Cargas en 1m² de losa	
	Hormigon 360 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 2= 603 kg/m²	
Carga viva piso 2= 200 kg/m²	

Tabla 10.-Resumen de cargas actuantes por metro cuadrado de losa en segundo piso

Carga Muerta D que actúa en 1m² de losa del segundo piso= 243 kg/m²

Carga viva L que actúa en 1m² de losa según NEC-SE-CG= 200 kg/m²

- Cálculo de la carga muerta **D** en la losa inaccesible.

Al tratarse de una losa inaccesible, es decir que no soportaran las mismas cargas actuantes como las del primer y segundo piso, se obtiene el resumen como se describe en la **tabla 11**:

Resumen de Cargas en 1m² de losa	
	Hormigon 360 kg/m ²
	Peso enlucido 33 kg/m ²
	Cielo raso 15 kg/m ²
Carga muerta losa inaccesible= 408 kg/m²	
Carga viva losa inaccesible= 100 kg/m²	

Tabla 11.-Resumen de cargas actuantes por metro cuadrado de losa inaccesible

Así como se omitió el peso propio del hormigón para el primer y segundo piso, de la misma forma al momento de ingresar las cargas actuantes al programa de modelación estructural ETABS, se deberá considerar el descuento del peso propio del hormigón para la losa inaccesible, por lo tanto:

Carga Muerta D que actúa en 1m² de losa de losa inaccesible= 48 kg/m²

Carga viva L que actúa en 1m² de losa según NEC-SE-CG para losas inaccesibles= 100 kg/m²

3.2.2. Carga sísmica.

Las cargas sísmicas se dividen en dos tipos: dinámicas (EspX y EspY) y estáticas (SX y SY), aplicadas en ambas direcciones. Estas se obtienen a partir del espectro de respuesta sísmica indicado por la NEC-15.

Las cargas dinámicas se determinarán mediante un análisis modal espectral, que se considera los modos de vibración y el espectro de respuesta sísmica de la estructura.

Las cargas estáticas, se calcularán como fuerzas laterales equivalentes, usando el peso sísmico, la aceleración, factores de uso y comportamiento, y se distribuirán según la altura y peso de cada nivel.

3.3. Prediseño de los elementos estructurales.

3.3.1. Prediseño de losa maciza.

- Verificamos si la losa trabaja en una o dos direcciones

$$\frac{L_b}{L_a} < 2 \rightarrow \text{dos direcciones}$$

$$\frac{L_b}{L_a} \geq 2 \rightarrow \text{una dirección}$$

En donde Lb es el lado largo y La es el lado corto de la losa maciza

$$\frac{4.80}{3.85} = 1.2467 \approx 1.25 < 2 \rightarrow \text{losa maciza en dos direcciones}$$

- Escogemos el espesor de la losa.

$$t \geq t_{\min} \rightarrow t_{\min} = 0.125\text{m}$$

$$t = \frac{P}{180} \quad ; \text{ Perimetro} = 2(L_b + L_a)$$

$$t = \frac{2(4.80 + 3.85)}{180} = \frac{17.30}{180} = 0.10\text{m}$$

$$0.10\text{m} \geq 0.125\text{m}$$

Se escoge el espesor mínimo de 0.125m, utilizamos 0.15m para poder rigidizar la estructura.

3.3.2. Prediseño de viga

- Para el prediseño de la viga se va a escoger con base a los siguientes criterios establecidos en las normativas y criterios prácticos constructivos.

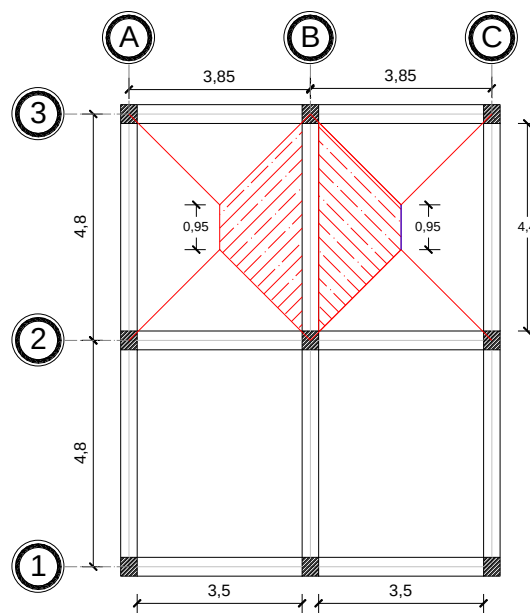


Ilustración 2.-Viga eje B (2-3) condición desfavorable

Criterio Teórico del ACI 318-14:

$$H_{\text{minima}} = \frac{Luz_{\text{larga}}}{21} ; Luz_{\text{larga}} = 4.80\text{m}$$

$$\text{Por lo tanto} \rightarrow H_{\text{minima}} = \frac{4.80\text{m}}{21} = 0.23\text{m}$$

Aplicando el criterio practico:

$$H = \frac{Luz_{\text{larga}}}{12}$$

$$\text{Por lo tanto} \rightarrow H = \frac{4.80\text{m}}{12} = 0.40\text{m}$$

Escogemos el criterio practico:

Altura de la viga → $H=0.40m$

Cálculo de la base:

$$B_{min} \geq 0.25m$$

$$B = \frac{2}{3} * H = 0.27m \approx 0.30m$$

- Inercia de la viga

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

3.3.3. Prediseño de columna

Se debe conocer la resistencia nominal axial a la compresión **Pn**, no debe ser mayor que **Pn max**. Donde **Po** se calcula con la fórmula para miembros no pre esforzados compuesto de concreto y acero estructural, y con la ecuación (22.4.2.4) para miembros no pre esforzados que esta descrito en normativa ACI 318-14.

De esta manera la carga axial última **Pu** no debe ser mayor que la resistencia nominal a la compresión axial de la columna **Pn**. Conociendo estos criterios se procede a realizar los cálculos considerando las cargas actuantes que se obtuvieron en las **tablas 9, 10 y 11** del capítulo **3.2.1. cargas permanentes y variables**. Para obtener las cargas actuantes mayoradas **Qu** para cada losa se aplicará las combinaciones de cargas descritas en la NEC-15 del **capítulo cargas no sísmicas** donde tenemos la combinación **U2=1.2D+1.6L**, una vez obtenidas las cargas actuantes mayoradas, se procede a calcular la carga axial mayorada **Pu** que se obtiene multiplicando la carga mayorada de cada piso por el área cooperante. Y de esta forma se puede conocer el **Ag** el área de la sección transversal de la columna a manera de prediseño verificando que cumpla con el concepto de que el área mínima para columnas denominada **Ag min** se mayor o igual a 900cm².

- Procedimiento para obtención de las cargas mayoradas:

Carga mayorada de Piso 1 siendo **D= 603 kg/m2** y **L= 200 kg/m2**

$$Q_{u1} = 1.2D + 1.6L$$

$$Q_{u1} = 1.2 * 603 \text{ kg/m}^2 + 1.6 * 200 \text{ kg/m}^2 = 1043.6 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

Carga mayorada de Piso 2 siendo **D**= 603 kg/m2 y **L**= 200 kg/m2

$$Q_{u1} = 1.2D + 1.6L$$

$$Q_{u1} = 1.2 * 603 \text{ kg/m}^2 + 1.6 * 200 \text{ kg/m}^2 = 1043.6 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

Carga mayorada de Piso 3 o losa inaccesible siendo **D**= 408 kg/m2 y **L**= 100 kg/m2

$$Q_{u1} = 1.2D + 1.6L$$

$$Q_{u1} = 1.2 * 408 \text{ kg/m}^2 + 1.6 * 100 \text{ kg/m}^2 = 649.6 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

- Determinación del Área Cooperante.

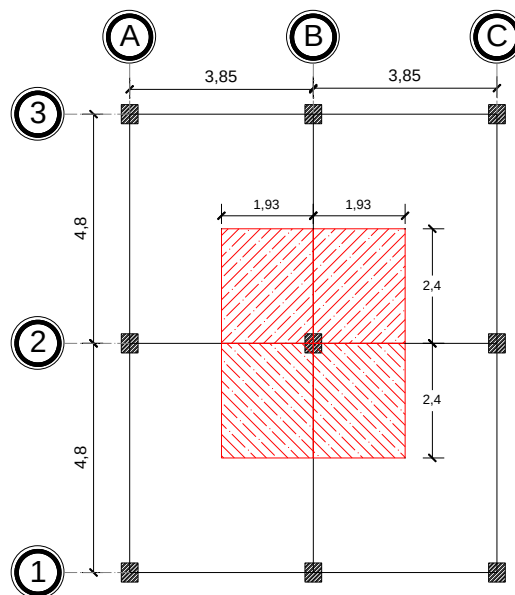


Ilustración 3.-Columna más desfavorable de la edificación.

Obtención del área cooperante considerando el área de mayor aportación de carga actuante para las columnas.

L1	L2	L3	L4	Lt1	Lt2	Área cooperante
1,93 m	1,93 m	2,40 m	2,40 m	3,86 m	4,80 m	18,53 m2

Tabla 12.-Valor del área cooperante

- Cálculo de la carga axial última **P_u**.

Carga axial última del piso 1

$$P_1 = Q_{U1} * A_C$$

$$P_1 = 1043.6 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} * 18.53 \text{ m}^2 \rightarrow P_1 = 19337.91 \text{ kg}$$

Carga axial última del piso 2

$$P_2 = Q_{U2} * A_C$$

$$P_2 = 1043.6 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} * 18.53 \text{ m}^2 \rightarrow P_2 = 19337.91 \text{ kg}$$

Carga axial última del piso 3

$$P_3 = Q_{U3} * A_C$$

$$P_3 = 649.6 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} * 18.53 \text{ m}^2 \rightarrow P_3 = 12037.09 \text{ kg}$$

Por lo tanto, el **P_u** será igual a:

$$P_u = \sum P$$

$$P_u = 50712.91 \text{ kg}$$

- Por tratarse de una columna Central ver **ilustración 3**, el Factor de posición de la columna **F_p**=1.3 y se aplica en la fórmula que se describe en la **ilustración 4**.

P_u se multiplica por el factor de posición f_p.

$$A_g = \frac{P_u + f_p}{\phi 0.80 [0.85 f'_c (1 - \rho) + f_y \rho]}$$

$$f_p = \begin{cases} 2.5 & \rightarrow \text{para col. esquineras} \\ 2.0 & \rightarrow \text{para col. medianeras} \\ 1.3 & \rightarrow \text{para col. centrales} \end{cases}$$

φ = 0.65 para columnas rectangulares con estribos cerrados

φ = 0.70 para columnas circulares con estribos en espiral.

Ilustración 4.-Fórmula de aplicación para calcular A_g de columna

- Además, se tiene en consideración los siguientes datos:

Resistencia a la compresión del concreto $\rightarrow F'_c = 240 \text{ kg/cm}^2$

Fluencia del acero $\rightarrow F_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$

Cuantía de columna se propone 1% $\rightarrow \rho = 0.01$

Factor de reducción para columnas rectangulares $\rightarrow \phi = 0.65$

- Una vez que se obtienen todos los datos, se procede a calcular el A_g de columna según las cargas actuantes mayorada de la vivienda aplicando la formula descrita en la **ilustración 4**:

$$A_g = \frac{P_u * F_p}{\phi * 0.80 * [0.85 * F'_c * (1 - \rho) + F_y * \rho]}$$

Realizando el cálculo $\rightarrow A_g = 519.67 \text{ cm}^2$

Se debe cumplir que el área de la sección transversal de la columna sea mayor o igual que 900 cm^2

Por lo tanto, se tiene que $\rightarrow 519.67 \text{ cm}^2 < 900 \text{ cm}^2$

Se propone columnas con sección transversal de 900 cm^2 es decir columnas de $30 \text{ cm} \times 30 \text{ cm}$

Adicional se puede tener en cuenta algunos criterios de índole práctico, que sirven de ayuda al momento de pre dimensionar las columnas, que consideran la acción combinada de cargas verticales y sismos, por tal motivo se detalla el siguiente concepto:

La inercia de la columna debe ser mayor a la inercia de la viga para que se cumpla el criterio estructural sismorresistente de columna fuerte y viga débil en el nudo donde actuaran sumatorias de momentos producidos por las vigas, que deberán resistir las columnas:

$$\text{Inercia de columna} \geq \text{Inercia de viga}$$

- Inercia de columna de 30×30

$$I_{\text{columna}} = \frac{b * h^3}{12} = \frac{30 \text{ cm} * (30 \text{ cm})^3}{12} = 67500 \text{ cm}^4$$

- Inercia de viga de prediseño 30 x 40

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

Para columnas de 30 x 30 se tiene que:

$$67500 \text{ cm}^4 < 160000\text{cm}^4 \rightarrow \text{No Cumple}$$

$$\text{Inercia de columna} < \text{Inercia de viga}$$

Por lo tanto, se aumenta la sección de la columna y se propone utilizar columnas de 35 cm de base por 40 cm de altura en su sección transversal:

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

Para así cumplir el criterio de columna fuerte y viga débil se obtiene lo siguiente:

$$\text{Inercia de columna} \geq \text{Inercia de viga}$$

$$186666.67\text{cm}^4 \geq 160000\text{cm}^4 \rightarrow \text{Cumple}$$

3.4. Modelación en Etabs

El procedimiento se ha detallado en una serie de fases como se muestra a continuación:

- Para la creación grid modificamos el modelo estándar del programa Etabs y asignamos las medidas en X Grid Data e Y Grid Data; acorde los dimensionamientos del plano arquitectónico y alturas del mismo la cual tenemos la siguiente ruta: Edit > Edit story and Grid System Data > Modify/Show Grid System ; Edit > Edit story and Grid System Data > Modify/Show Story Data

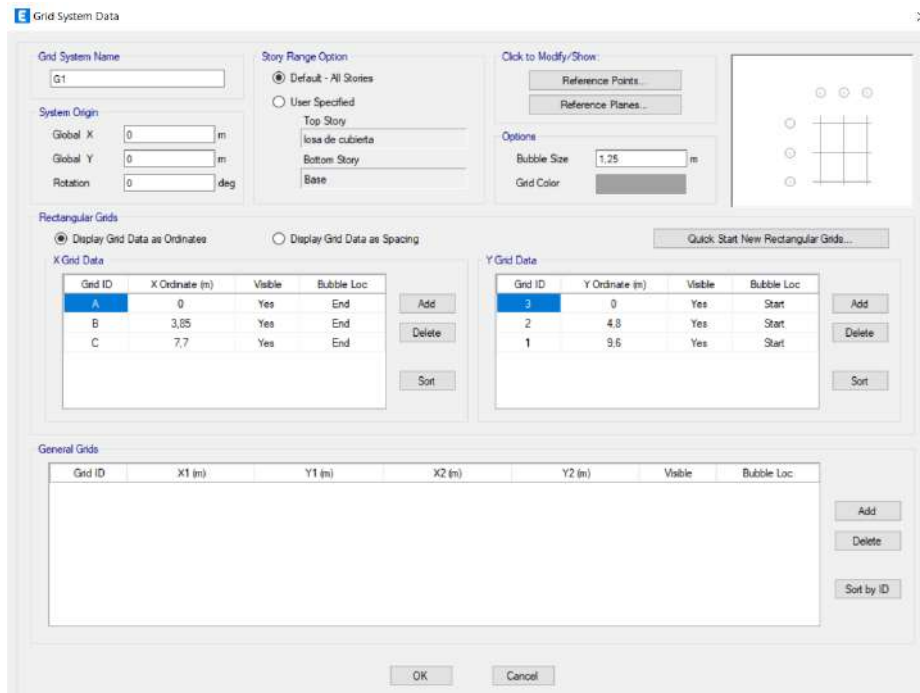


Ilustración 5 .- Edición de la malla

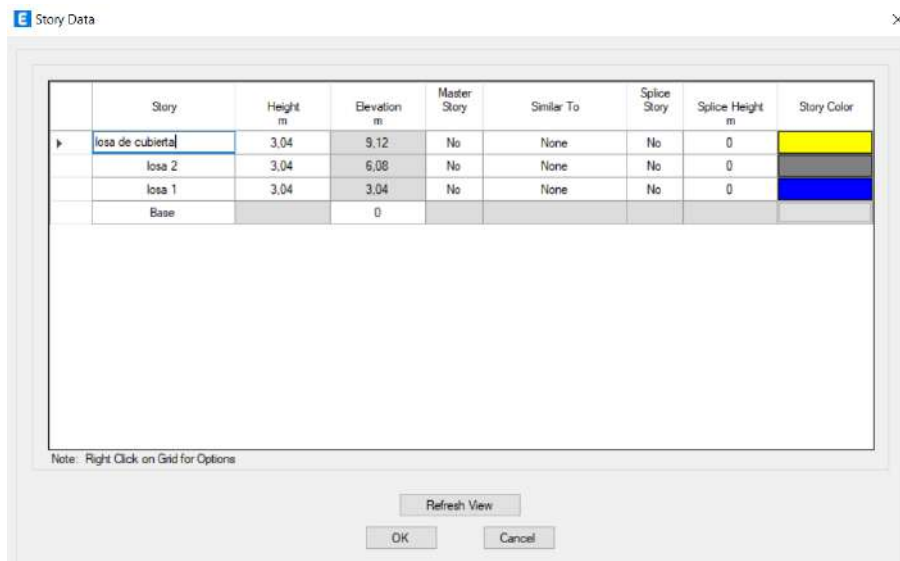


Ilustración 6 .- Edición de la altura de piso

- Se agregaron los materiales los cuales son el hormigón y el acero de refuerzo:
Define > Material Properties...

Hormigón → $f'_c = 240 \text{ kg/cm}^2$ → $E = 15000 \cdot \sqrt{f'_c} = 232379.00 \text{ kg/cm}^2$

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: 2.4028 tonf/m³

Mass per Unit Volume: 0.245014 tonf-s³/m⁴

Mechanical Property Data

Modulus of Elasticity, E: 2323790.01 tonf/m²

Poisson's Ratio, U: 0.2

Coefficient of Thermal Expansion, A: 0.0000099 1/C

Shear Modulus, G: 968245.84 tonf/m²

Design Property Data

Modify/Show Material Property Design Data...

Advanced Material Property Data

Nonlinear Material Data... Material Damping Properties... Time Dependent Properties...

Modulus of Rupture for Cracked Deflections

☒ Program Default (Based on Concrete Slab Design Code) ☐ User Specified

OK Cancel

Ilustración 7 .- Corrección de las propiedades del hormigón

Acero de refuerzo → $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ → $E = 2100000.00 \text{ kg/cm}^2$

Material Property Data

General Data

Material Name: FY 4200

Material Type: Rebar

Directional Symmetry Type: Uniaxial

Material Display Color: Change...

Material Notes: Modify/Show Notes...

Material Weight and Mass

☒ Specify Weight Density ☐ Specify Mass Density

Weight per Unit Volume: 7.849 tonf/m³

Mass per Unit Volume: 0.80038 tonf-s³/m⁴

Mechanical Property Data

Modulus of Elasticity, E: 21000000 tonf/m²

Coefficient of Thermal Expansion, A: 0.0000117 1/C

Design Property Data

Modify/Show Material Property Design Data...

Advanced Material Property Data

Nonlinear Material Data... Material Damping Properties... Time Dependent Properties...

OK Cancel

Ilustración 8 .- Corrección de las propiedades del acero de refuerzo

- Se procede a crear la columna según lo que se obtuvo en el prediseño de columnas: Define > Section Properties > Frame Sections, con su respectivo acero de reforzamiento: Frame Section Property Data > Modify/Show Rebar...

Frame Section Property Data

General Data

Property Name: COL-40x35

Material: FC 240

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: 0.35 m

Width: 0.40 m

Property Modifiers

Modify/Show Modifiers...
Currently User Specified

Reinforcement

Modify/Show Rebar...

OK

Cancel

Show Section Properties...

☐ Include Automatic Rigid Zone Area Over Column

Ilustración 9 .- Asignación de las columnas de 40x35cm

Frame Section Property Reinforcement Data

Design Type

☒ P-M2-M3 Design (Column)

☐ M3 Design Only (Beam)

Rebar Material

Longitudinal Bars: FY 4200

Confinement Bars (Ties): FY 4200

Reinforcement Configuration

☒ Rectangular

☐ Circular

Confinement Bars

☒ Ties

☐ Spirals

Check/Design

☐ Reinforcement to be Checked

☒ Reinforcement to be Designed

Longitudinal Bars

Clear Cover for Confinement Bars: 0.05 m

Number of Longitudinal Bars Along 3-dir Face: 4

Number of Longitudinal Bars Along 2-dir Face: 3

Longitudinal Bar Size and Area: 14, 0.000154 m²

Corner Bar Size and Area: 14, 0.000154 m²

Confinement Bars

Confinement Bar Size and Area: 10, 0.000079 m²

Longitudinal Spacing of Confinement Bars (Along 1-Axis): 0.1 m

Number of Confinement Bars in 3-dir: 4

Number of Confinement Bars in 2-dir: 4

OK

Cancel

Ilustración 10 .- Armadura de acero de las columnas de 40x35cm

- Se creará una viga de 40x30cm según lo que se obtuvo en el prediseño de viga, para eso en el menú Define > Section Properties > Frame Sections...

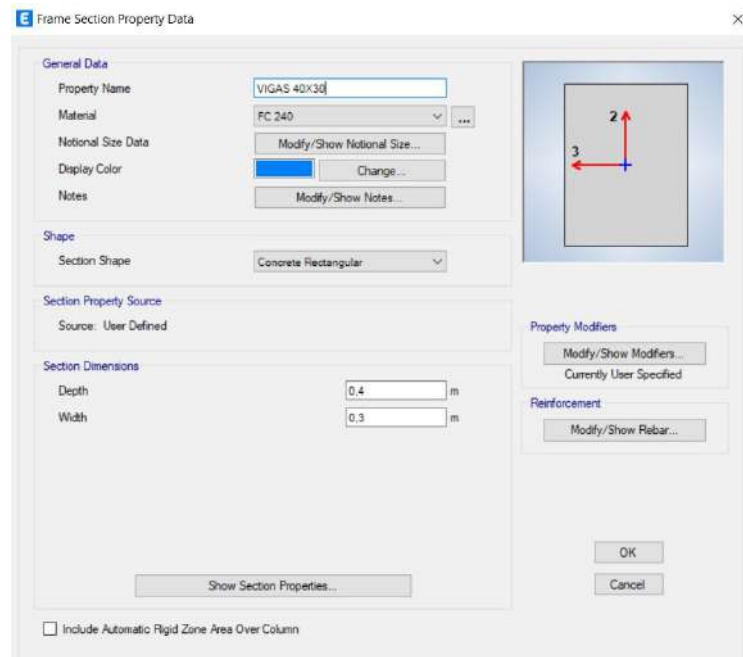


Ilustración 11 .- Asignación de las vigas de 40x30cm

- Se modela la losa como una membrana ingresando las dimensiones obtenidas en el prediseño de losa, para lo cual en el menú Define > Section Properties > Frame Sections...se llega al cuadro de dialogo Slab Properties y dando clic en el botón Add New Property donde se crea la losa maciza 15 cm.

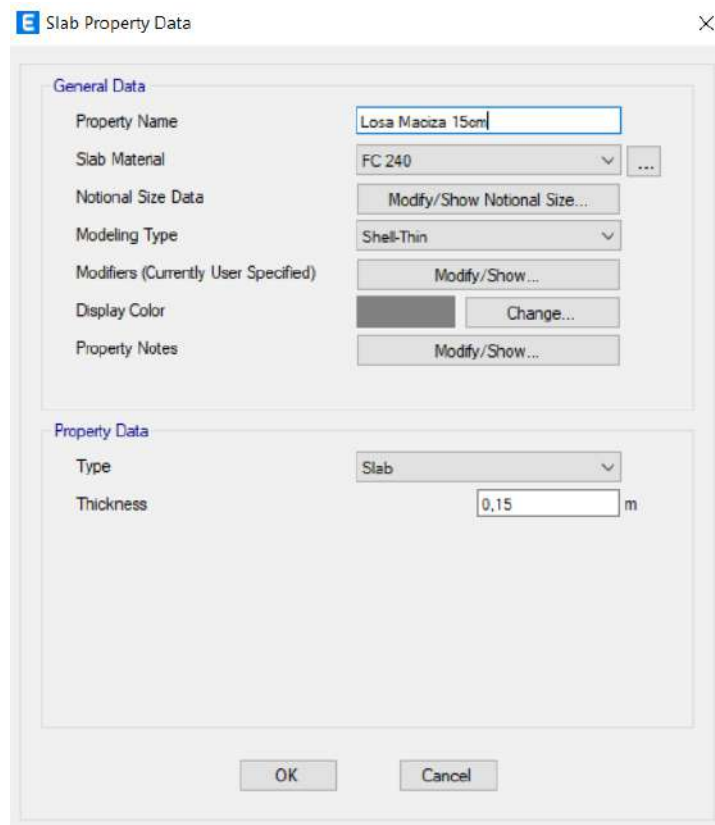


Ilustración 12 .- Asignación de la losa maciza de 15 cm

- Se da clic en el menú Define > Diaphragms, se añade los diagramas correspondientes a los pisos de la estructura y luego lo aginamos con la herramienta Assign > Shell > Diaphragms.

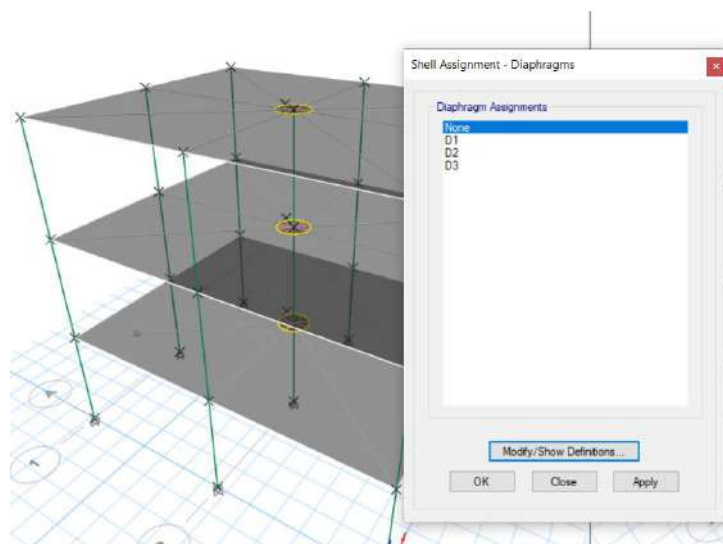


Ilustración 13 .- Representación de asignación de diafragma

- Seleccione en el menú Define > Load patterns , luego clic en el botón Add New Load para agregar las cargas correspondiente a la modelación.

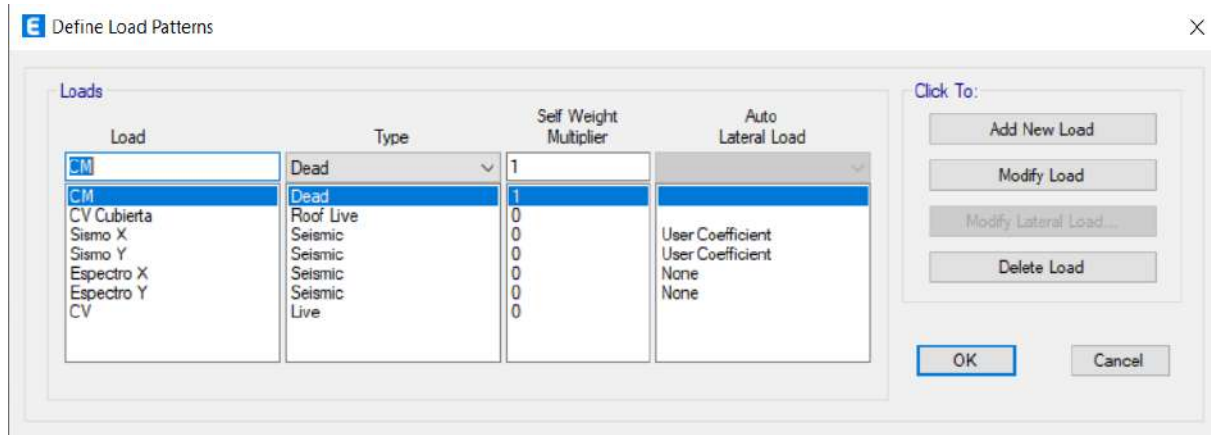


Ilustración 14 .- Creación de cargas

- Se selecciona las losas de los pisos individual o grupal. A continuación, se elige en el menú Assing > Shells Loads > Uniform , aparece la ventana Shell Load Assignment Uniform y procedemos a colocar los valores previamente calculados.

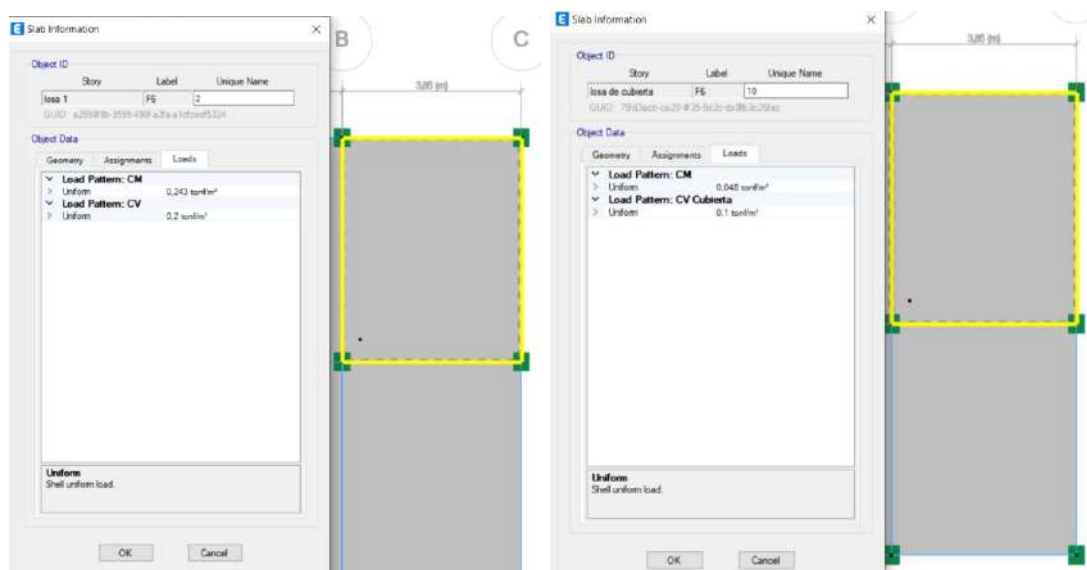


Ilustración 15 .- Asignación de las cargas permanentes y variables.

- Para las combinaciones de cargas de diseño usadas para el modelado de la estructura de acuerdo con la NEC 2015 (Cargas no sísmicas) serán:
 1. SERVICIO= D+L
 2. U1=1,4D
 3. U2= 1,2D+1,6L
 4. U3=1,2D+L+E
 5. U4=0,9D+E

Siendo D= carga muerta, L=carga viva, E=carga de sismo y SERVICIO= D+L

Nos dirigimos al menú Define > Load Combinations y se da clic en el botón Add New Combos para activar la ventana denominada Load Combination Data para agregar cada estado de carga.

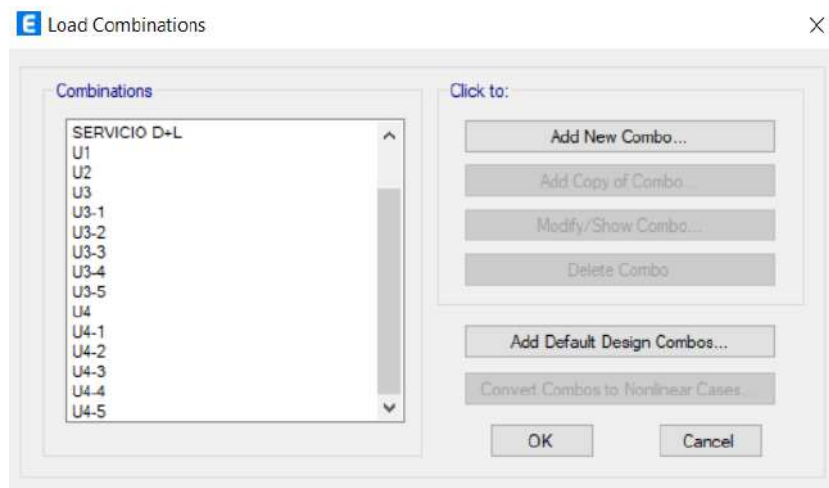


Ilustración 16 .- Combinaciones de carga

- En el menú Define > Functions > Response Spectrum nos dirigimos en Choose Function Type to Add escogemos la norma “NEC-SED-DS-2015” y se crea el espectro de respuesta sísmica con los datos obtenidos en la zonificación y tipo de suelo del capítulo 3.1.3. **factores de diseño** desde la **tabla 2** a la **tabla 7**.

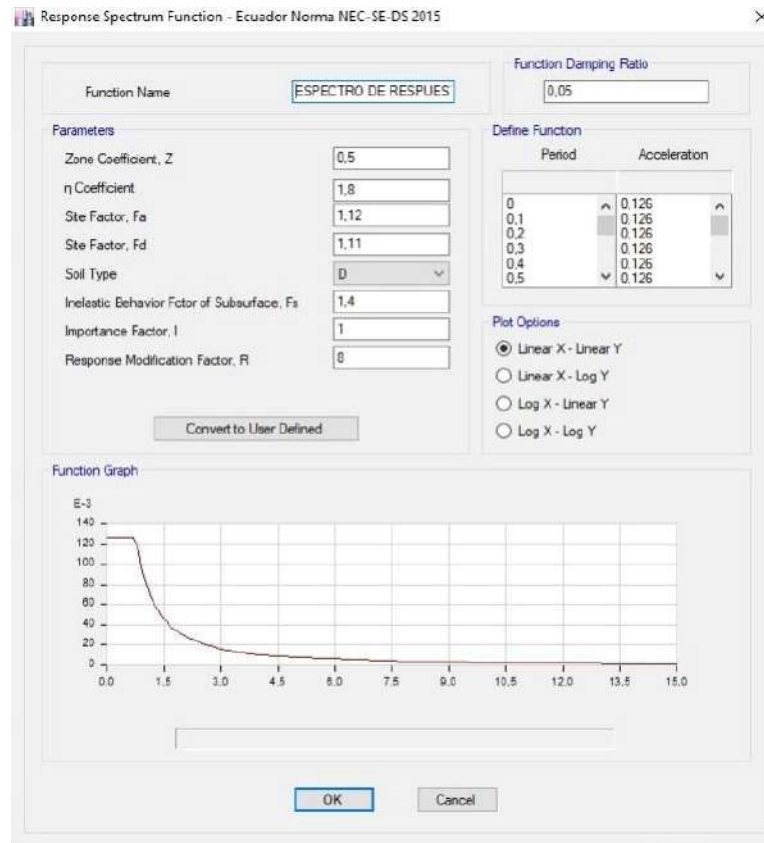


Ilustración 17.- Espectro de respuesta

- Se da clic en el menú Joint > Restraints y aparece la ventana Joint Assignment – Restraints, donde se elige el icono de empotramiento que restringe giros y desplazamientos en las direcciones x, y, z.

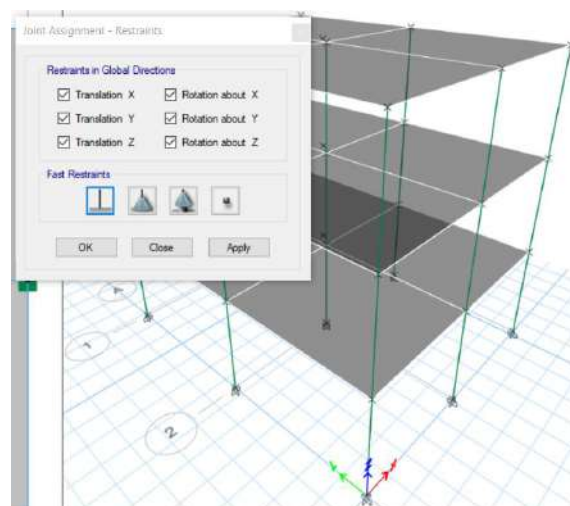


Ilustración 18.- Empotramiento de las columnas en la base.

3.5. Análisis estructural y comprobación de la capacidad estructural.

La evaluación del análisis estructural se centra en parámetros que debe cumplir la estructura que se modeló:

3.5.1. Análisis modal de masa de la estructura.

Se deben considerar en el análisis modal:

1. Todos los modos de vibración que contribuyan significativamente a la respuesta total de la estructura, mediante los varios períodos de vibración y debe haber mayor desplazamiento en X y Y en el primer y segundo modo.
2. Todos los modos que involucren la participación de una masa modal acumulada de al menos el 90% de la masa total de la estructura, en cada una de las direcciones horizontales principales consideradas.
3. Los grados de libertad se determina según el número de piso, por cada piso serán 3 grados de libertad, por lo tanto, serán 9 periodos de análisis modal debido a que la estructura es de 3 pisos.

Por lo tanto, como se evidencia en la **tabla 13** se puede apreciar que existe 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	0,502	0,1075	0,7096	0,1075	0,7096	0	0,0231	0,0231
Modal	2	0,491	0,7253	0,1165	0,8328	0,8261	0	0,0091	0,0321
Modal	3	0,367	0,0201	0,0104	0,8529	0,8365	0	0,8196	0,8518
Modal	4	0,151	0,1044	0,0075	0,9574	0,844	0	0,0039	0,8557
Modal	5	0,147	0,0080	0,1163	0,9654	0,9604	0	0,0009	0,8566
Modal	6	0,112	0,0027	0,0023	0,9681	0,9626	0	0,1104	0,9670
Modal	7	0,084	0,0309	0,0002	0,999	0,9629	0	0,0009	0,9679
Modal	8	0,076	0,0004	0,0359	0,9993	0,9987	0	0,0009	0,9688
Modal	9	0,062	0,0007	0,0013	1,0000	1,0000	0	0,0312	1,0000

Tabla 13.- Participación modal de masa de la estructura

3.5.2. Análisis del periodo de vibración

Se constatará que el periodo de vibración obtenido del análisis modal en Etabs sea aproximado según la NEC-SE-DS para el tipo estructural y altura de la edificación, asegurando que la rigidez del modelo cumpla con los límites normativos.

Tal como se establece en la sección 6.3.3 de la NEC-SE-DS, el periodo de vibración T , será estimado a partir de uno de los dos métodos:

Método 1: el periodo puede calcularse con la siguiente fórmula

$$T = C_t h_n^\alpha$$

Donde:

C_t : Coeficiente que depende del tipo de edificio

h_n : Altura máxima de la edificación de n pisos, medida desde la base de la estructura, en metros

α : Exponente empírico que varía según el sistema estructural

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

Cálculo del periodo de vibración por el método 1:

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

Método 2: El valor de T_a calculado en el método 2 no debe ser mayor en un 30% al valor de T_a calculado con el método 1.

Case	Mode	Period sec
Modal	1	0,502
Modal	2	0,491

Tabla 15.- Periodo T obtenido del análisis modal y masas

COMPARACIÓN DE LOS PERIODOS DE VIBRACIÓN		
Ta= T = $C_t h_n^a$	0,402	Metodo 1
T (Etabs)=	0,502	Metodo 2
VARIACION MAX + 30% DEL PERIODO CALCULADO =		1,25
OK		

Tabla 16.- Comparación de los periodos de vibración

3.5.3. Análisis de las derivas de piso de la estructura

Una vez impuestas todas las cargas a la estructura tanto verticales como laterales se verifican los desplazamientos laterales de la edificación y sus derivas que no deben pasar de las máximas permitidas por la norma NEC-SE-DS (peligro sísmico).

Conforme la NEC-SE-DS, sección 6.3.9 las derivas máximas inelásticas se expresan con la siguiente formula:

$$\Delta_M = 0.75R\Delta_E$$

Donde:

Δ_M : Deriva máxima inelástica

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

R: Factor de reducción de resistencia

Comprobamos en el análisis que la mayor deriva elástica (Δ_E) ocurre por la acción del sismo estático en la dirección Y.

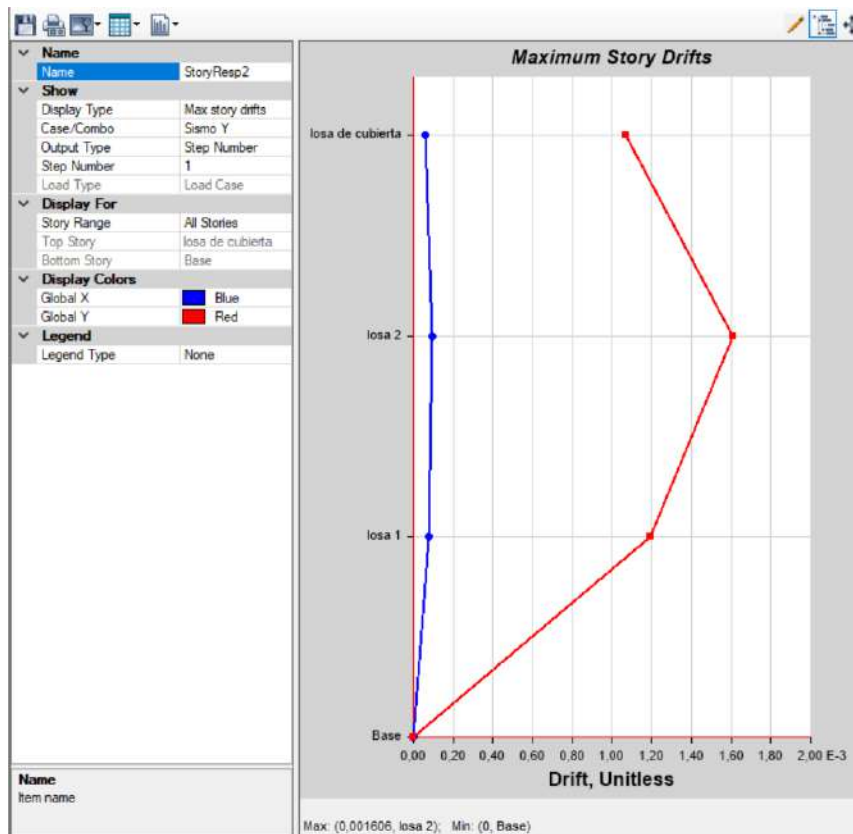


Ilustración 19.- Máxima deriva elástica

La deriva máxima entre los pisos no debe de superar los límites inelásticos indicados en la NEC-SE-DS, sección 4.2.2 **tabla 17**.

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

Tabla 17.- Valores de Δ_M máximos, expresados como fracción de la altura de piso

Por lo tanto:

CALCULO Y COMPROBACION DE DERIVA

DERIVA ELASTICA= 0,001606

R= 8

FACTOR= 0,75

DERIVA INELASTICA= 0,9636%

DERIVA ADMISIBLE= 2% **OK**

Tabla 18.- Calculo y comprobación de deriva

3.5.4. Análisis del cortante basal Estático y Dinámico de la estructura.

El espectro de diseño, según las especificaciones en el capítulo **6.2.2. de NEC 2015_SD_DS (peligro sísmico)** Ajuste del corte basal de los resultados obtenidos por el análisis estático y dinámico. El cortante Basal estático debe ser el 80% del cortante basal dinámico (espectro de respuesta) para estructuras con regularidad en planta y elevación, y 85% del cortante basal dinámico (espectro de respuesta) para estructuras con irregularidad en planta y elevación, como se muestra en la tabla 21 por tratarse de una estructura regular.

Se obtiene los resultados como se muestra en la **tabla 19** del análisis del cortante basal estático y dinámico en ETABS:

Cortante basal estático

CARGA TOTAL DE LA ESTRUCTURA Y FUERZAS LATERALES DE DISEÑO CORTANTE BASAL ESTATICO									
Load Pattern	Type	Direction	Eccentricity %	Top Story	Bottom Story	C	K	Weight Used tonf	Base Shear tonf
SISMO X	Seismic	X		Story3	Base	0,0956	1	176,58	22,25
SISMO X	Seismic	X + Ecc. Y	5	Story3	Base	0,0956	1	176,58	22,25
SISMO X	Seismic	X - Ecc. Y	5	Story3	Base	0,0956	1	176,58	22,25
SISMO Y	Seismic	Y		Story3	Base	0,0956	1	176,58	22,25
SISMO Y	Seismic	Y + Ecc. X	5	Story3	Base	0,0956	1	176,58	22,25
SISMO Y	Seismic	Y - Ecc. X	5	Story3	Base	0,0956	1	176,58	22,25

Tabla 19.- Cortante basal estático

Cortante basal dinámico

Se debe sacar una resultante que actúa en sentido ortogonal, en caso de que los efectos de sismos producidos por el espectro de respuesta actúen en las dos direcciones como se ve en la **tabla 20**.

CORTANTE BASAL ESTATICO			
Sismo x=	22,25 tn		
Sismo y=	22,25 tn		
CORTANTE BASAL DINAMICO			
Espectro x=	18,70 tn	eje y=	6,47 tn
Espectro y=	18,56 tn	eje x=	6,52 tn
Resultante x=	19,79 tn		
Resultante y=	19,67 tn		
ESTRUCTURA REGULAR DIRECCIÓN X			
Para estructuras regulares se debe cumplir la siguiente condicion:			
sismo x con espectro x			
V basal Dinamico > 80% V basal Estatico			
	19,79 tn	> 0,8 V basal E	
	19,79 tn	17,80 tn	ok
ESTRUCTURA REGULAR DIRECCIÓN Y			
Para estructuras regulares se debe cumplir la siguiente condicion:			
sismo Y con espectro Y			
V basal Dinamico > 80% V basal Estatico			
	19,67 tn	> 0,8 V basal E	
	19,67 tn	17,80 tn	ok

Tabla 20.- Verificación del cortante basal estático y dinámico de la estructura

3.5.5. Comprobación de la capacidad estructural

Una vez que se verifico el análisis estructural con los elementos que se prediseñaron para poder realizar el modelo, comprobamos el cumplimiento de la estructura ante sollicitaciones de cargas gravitacionales y cargas sísmicas, verificando que el programa de modelación estructural ETABS nos determina la cantidad de acero longitudinal a utilizar en vigas y columnas ver **ilustración 20, 21, 22 y 23**, siendo este de gran importancia para el diseño final de cada uno de los elementos estructurales. Además, podemos revisar el cumplimiento ante cualquier tipo de falla que se pueda ocasionar en el caso de que no se haya realizado un correcto prediseño y análisis sismorresistente ver **ilustración 24**.

Cuantía de acero longitudinal que el programa nos sugiere para utilizar en las vigas del piso 1 ver **ilustración 20**.

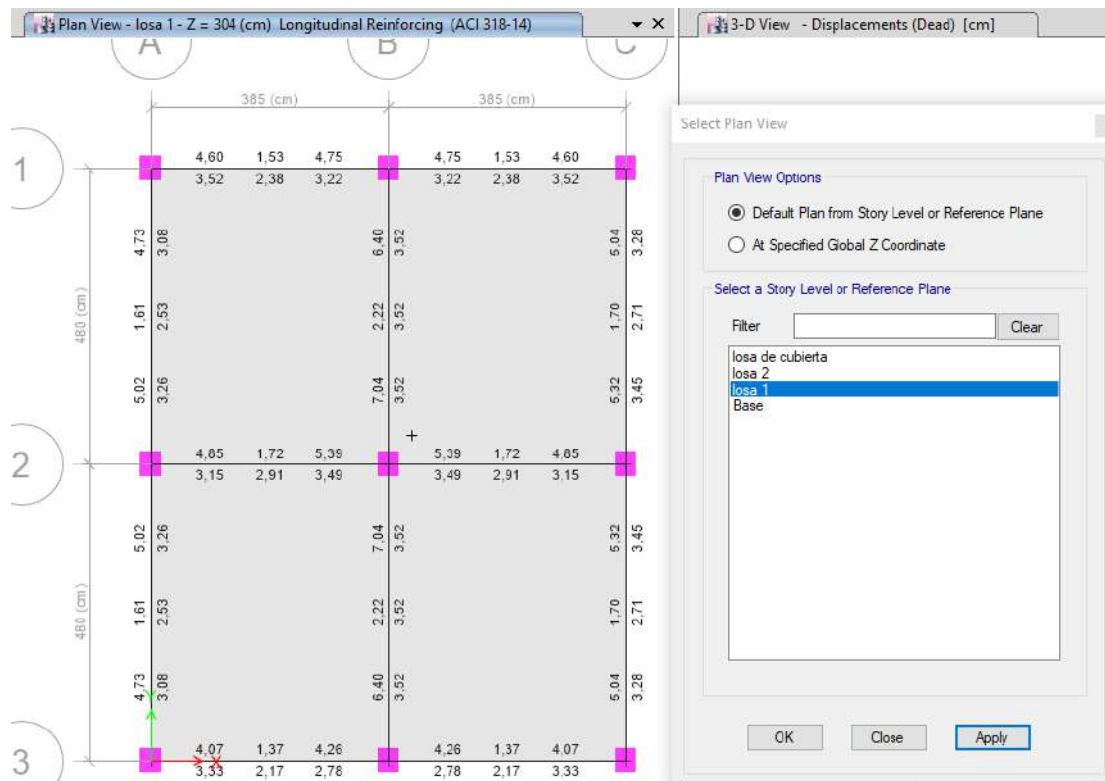


Ilustración 20.-Cuantía de acero longitudinal en vigas del piso 1 propuestas por el programa ETABS

Cuantía de acero longitudinal que el programa nos sugiere para utilizar en las vigas del piso 2 ver **ilustración 21**.

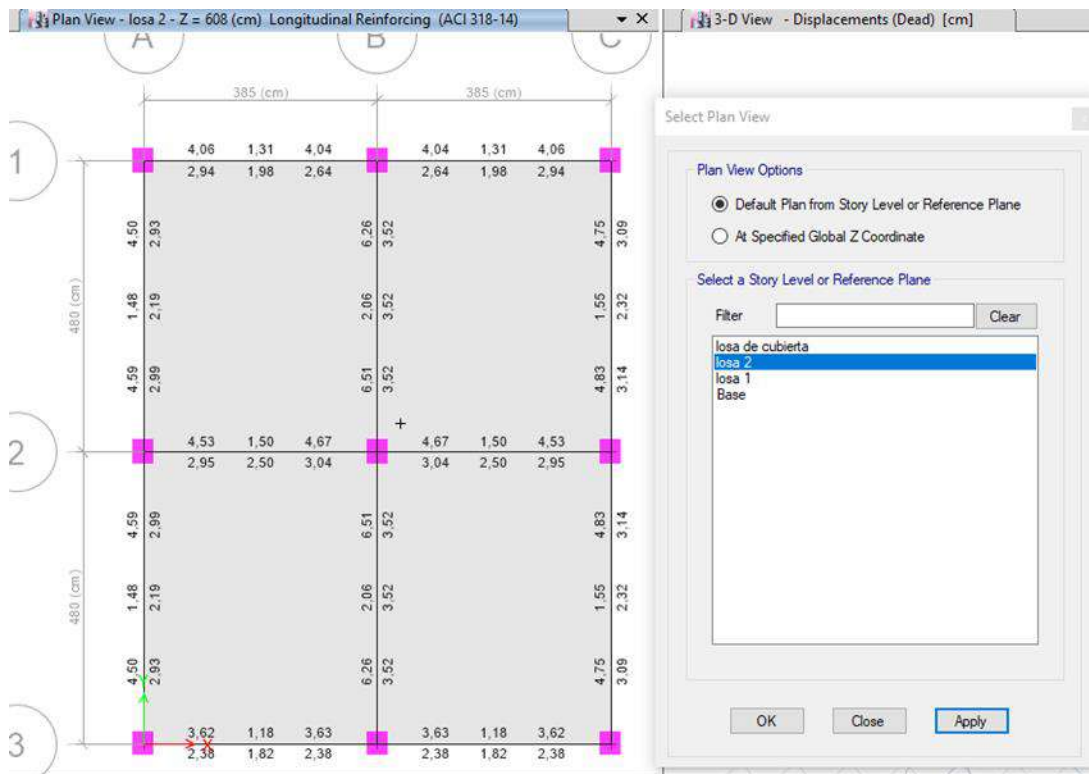


Ilustración 21.-Cuantía de acero longitudinal en vigas de piso 2 propuestas por el programa ETABS

Cuantía de acero longitudinal que el programa nos sugiere para utilizar en las vigas del piso 3 ver **ilustración 22**.

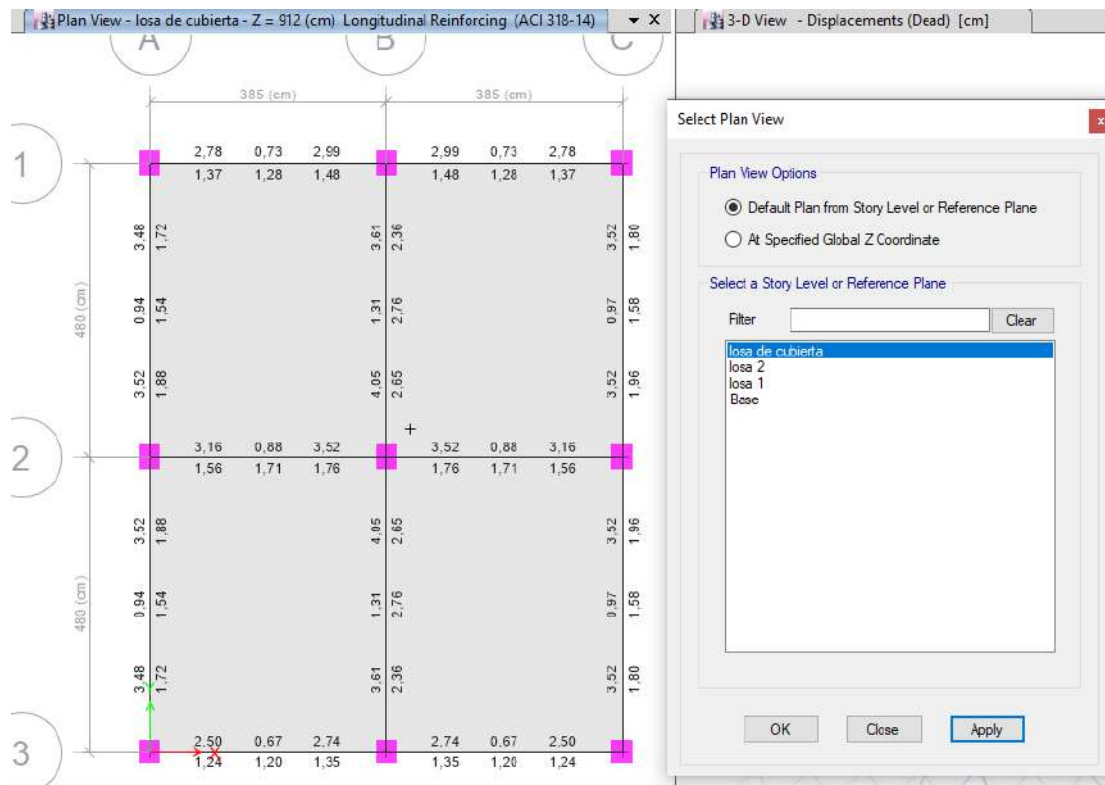


Ilustración 22.-Cuantía de acero longitudinal en vigas de piso 3 propuestas por el programa ETABS

Porcentaje de acero longitudinal que el programa nos sugiere para utilizar en las columnas de toda la estructura es del 1% como se lo realizo en el prediseño de columnas, ver **ilustración 23**.

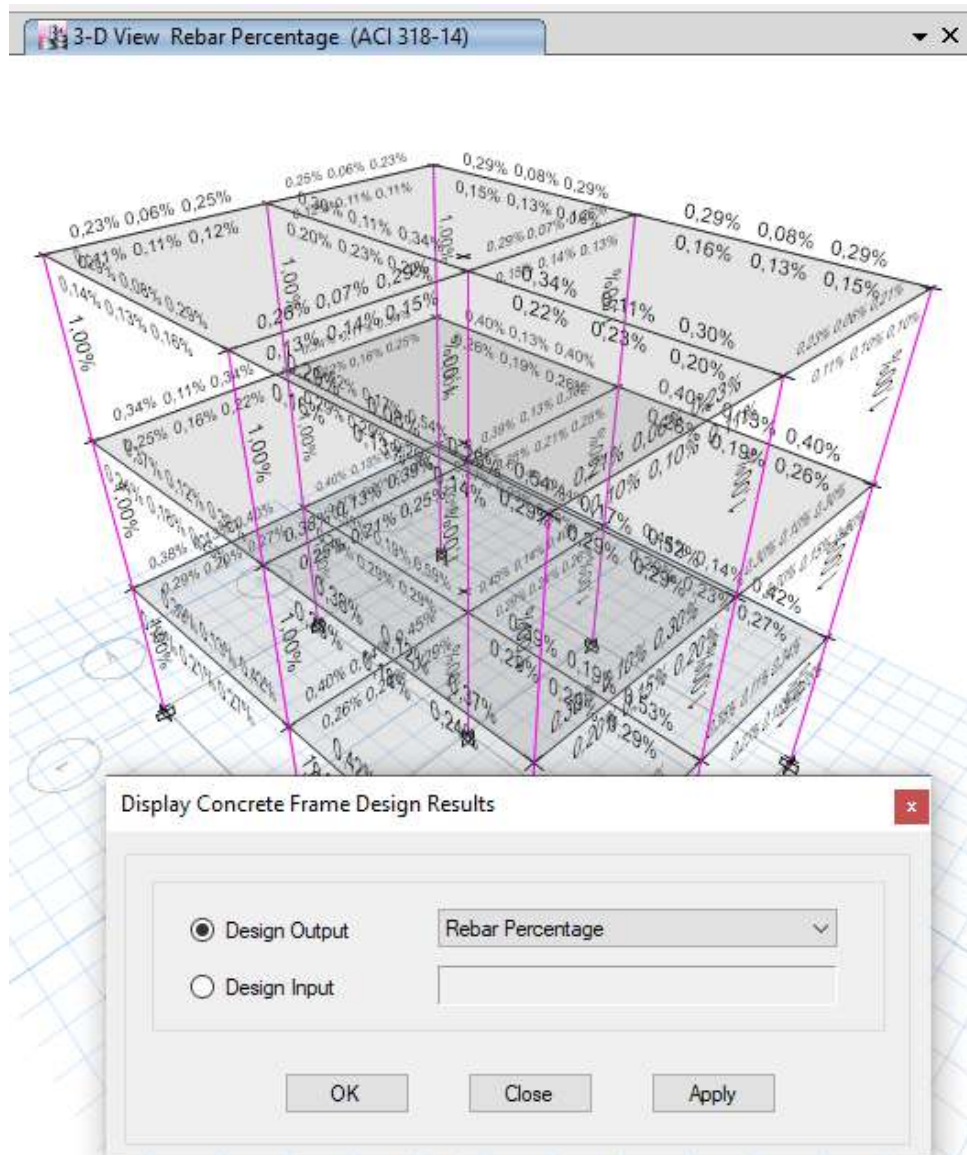


Ilustración 23.-Porcentaje de acero longitudinal en columnas 1% de la sección transversal de las columnas.

Identificación de todas las posibles fallas, como se muestra en la **ilustración 24**. El programa no determina fallas posibles en la estructura por lo que se determina que la estructura satisface con la modelación y análisis estructural que se realizó, es decir la estructura la podemos determinar cómo sismorresistente que cumple con todas las solicitaciones de cargas externas con el sistema estructural escogido.

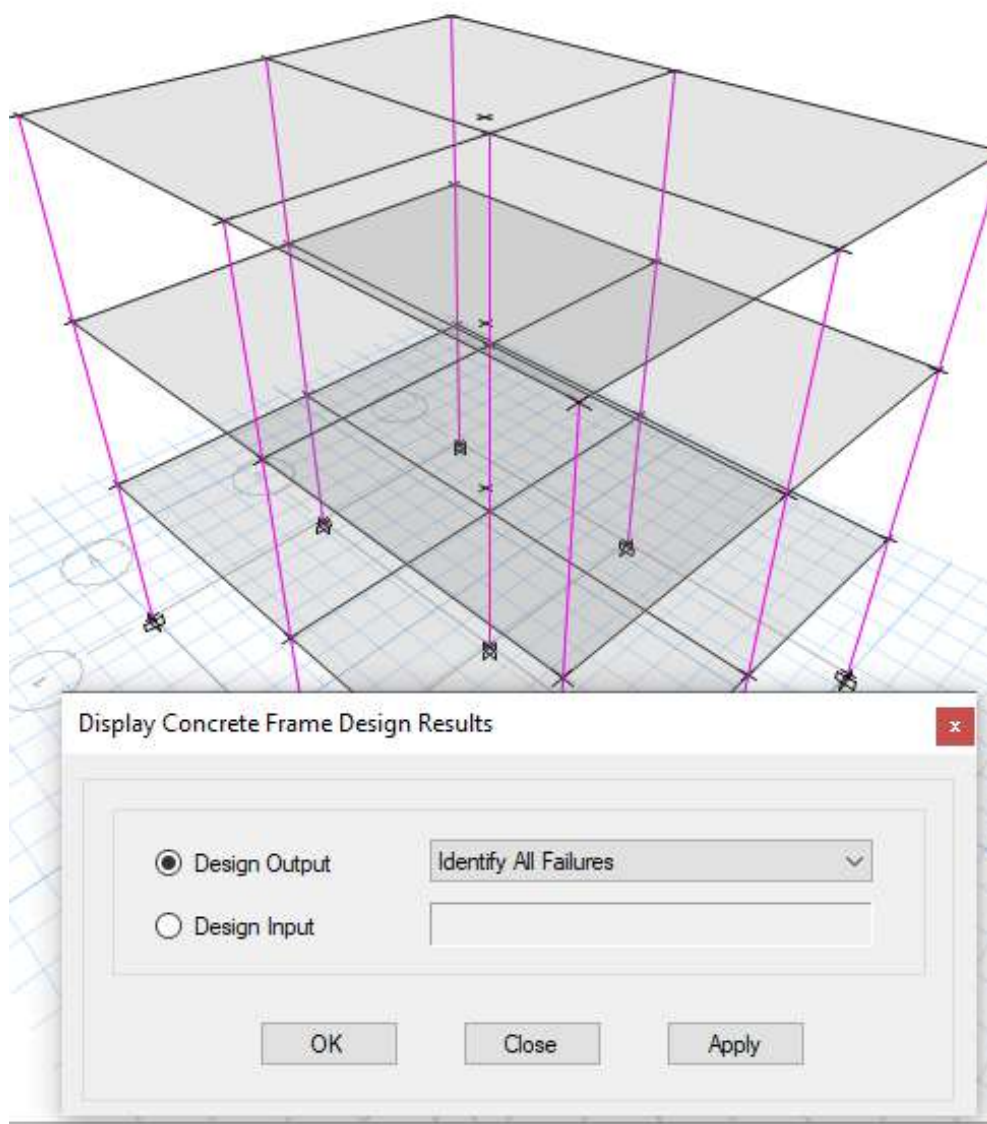


Ilustración 24.-identificación de posibles fallas en la estructura determinado por el programa de modelación ETABS.

Capítulo IV: Conclusiones y Recomendaciones

4.1. Conclusiones

En el marco de la evaluación sísmica se analizaron las condiciones del sitio en función de la zonificación sísmica y los parámetros establecidos por la Norma Ecuatoriana de la Construcción, lo que nos permitió determinar las cargas de diseño apropiadas para la edificación ubicada en la parroquia Canoa, esto aseguró que el análisis estructural representa con precisión las condiciones reales del entorno, garantizando la solidez del diseño sísmico

En cuanto a la selección y predimensionamiento de los elementos estructurales tales como columnas, vigas y losa maciza de hormigón armado de acuerdo a la NEC-15 y ACI 318-14, obteniéndose una solución técnica adecuada, los componentes cumplen con las acciones sísmicas previstas a las que fueron expuestas en el análisis.

Respecto a la verificación del análisis estructural, los resultados evidenciaron un desempeño adecuado ante el sismo de diseño, sin presencia de fallas en zonas críticas que comprometan la seguridad estructural, los elementos seleccionados para la modelación estructural demostraron ser eficiente para un diseño sismorresistente conforme a los estándares establecidos en la Norma Ecuatoriana de la Construcción.

4.2. Recomendaciones

Es importante promover la capacitación continua de profesionales en el uso de las normativas, actualizar la documentación técnica y fomentar el uso de herramientas computacionales, con el fin de facilitar futuros proyectos de modelaciones estructurales para cualquier tipo de edificación. Contemplando siempre los análisis estáticos y dinámicos para poder obtener una evaluación más precisa del comportamiento sismorresistente de la estructura.

Se sugiere actualizar regularmente los parámetros sísmicos del sitio en futuros proyectos, teniendo en cuenta la incorporación de nuevos estudios o posibles modificaciones de la Norma Ecuatoriana de la Construcción, con el objetivo de garantizar que los diseños se mantengan adecuados frente a solicitudes sísmicas de la zona.

Es recomendable que en proyectos futuros se contemple realizar un prediseño de las secciones estructurales para garantizar mediante la aplicación de software avanzados edificaciones capaces de resistir las solicitaciones de cargas gravitacionales y sísmicas, y así mejorar la eficiencia del uso de materiales y reducir los costos, sin dejar a un lado los niveles de seguridad estructural.

Bibliografía

- (ACI), A. C. (2014). *Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-14) and Commentary (ACI 318R-14)* .
- (NEC), N. E. (2015). *Carga (No Sísmicas) - NEC-SE-CG*. Quito: Dirección de comunicación social, MIDUVI.
- Acosta Portilla, D. J. (2022). *ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DEL MODELADO DE LOSAS POR ELEMENTOS TIPO SHELL Y MEMBRANA EN EL DISEÑO ESTRUCTURAL DE UN EDIFICIO DE 4 PISOS, UTILIZANDO UN SOFTWARE DE DISEÑO ESPECIALIZADO*. Ambato.
- Aguiar, R., & Miele, Y. (2018). ANÁLISIS DE LOS EDIFICIOS QUE COLAPSARON EN PORTOVIEJO DURANTE EL TERREMOTO DEL 16 DE ABRIL DE 2016. *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras*.
- CALYTEC. (s.f.). *CALYTEC INNOVACIÓN EN PREFABRICADOS*. Obtenido de <https://prefabricadoscalytec.com.pe/blog/tipos-losa-maciza/#:~:text=%C2%BFQu%C3%A9%20es%20la%20losa%20maciza,sobre%20la%20malla%20de%20acero>.
- Hinojosa Coca, F. (2019). COMPARACIÓN DE LOSAS MACIZAS DE HORMIGÓN MEDIANTE DOS ENFOQUES. *INGENIERIA Y SUS ALCANCES*.
- Holcim. (2024). *Holcim España*. Obtenido de <https://www.holcim.es/vigas-de-hormigon-pilares-de-estabilidad-en-la-construccion-moderna/#:~:text=Definiendo%20las%20Vigas%20de%20Hormig%C3%B3n,la%20resistencia%20a%20la%20flexi%C3%B3n>.
- Marcelino Aranda, M., Martínez Cueva, M. d., & Camacho Vera, A. D. (2024). Analisis Documental, un proceso de apropiación del conocimiento. *Revista Digital Universitaria (RDU)*, 25(6).
- Montoro Renedo, C. (2025). *Análisis y modelado de punzonamiento en losas y pilares de hormigón*. Madrid.
- NEC-15. (2014). *PELIGRO SISMICO DISEÑO SISMORESISTENTE*. Quito: Dirección de comunicación social, MIDUVI.
- Paz Sala, N., Morante Carballo, F., Domínguez Cuesta, M., Carrión Mero, P., & Berrezueta, E. (2022). Evaluación del sistema playa-acantilado de Canoa (Ecuador) como sitio de interés geoturístico. *Sociedad Geológica España*.
- PuntoFijo. (s.f.). *Punto Fijo Ingeniería y Arquitectura*. Obtenido de https://dehormigon.com.ar/hormigon-armado/columna-de-hormigon-armado/#%C2%BFQue_es_una_columna_de_concreto_armado

- Sánchez Cortez , J. L., & Simbaña Tasiguaña, M. (2024). Terremoto del 16 de abril de 2016 en Ecuador: Una visión general de los acontecimientos y lecciones aprendidas. *REDER*.
- Soft, B. (23 de marzo de 2022). *Build Soft*. Obtenido de <https://www.buildsoft.eu/es/conceptos-basicos-de-diseno-y-analisis-estructural/#:~:text=1.,Muros%20de%20carga>
- Software, D. (2024). *Dlubal*. Obtenido de https://www.dlubal.com/es/soporte-y-formacion/soporte/base-de-conocimientos/001648?srsId=AfmBOopjdTMk_9ux6Py5LF8FMkG4pBtxqqY38fDCDEpFhJBCqsN-NiYH
- Suárez Carriel, V. E. (2023). *Evaluación de la calidad del suelo para cimentación de obras civiles sector 4 del sitio Sancán del cantón Jipijapa*. Jipijapa.
- Villamizar, L. (25 de Julio de 2023). *Inesa Tech Civil Engineering School & Consulting*. Obtenido de <https://www.inesa-tech.com/blog/como-se-hace-una-estructura-sismorresistente/#:~:text=La%20estructura%20sismorresistente%20de%20un%20edificio%20se%20compone%20de%20varios,conc%C3%A9ntricos%20o%20exc%C3%A9ntricos%2C%20entre%20otros>.

Anexos

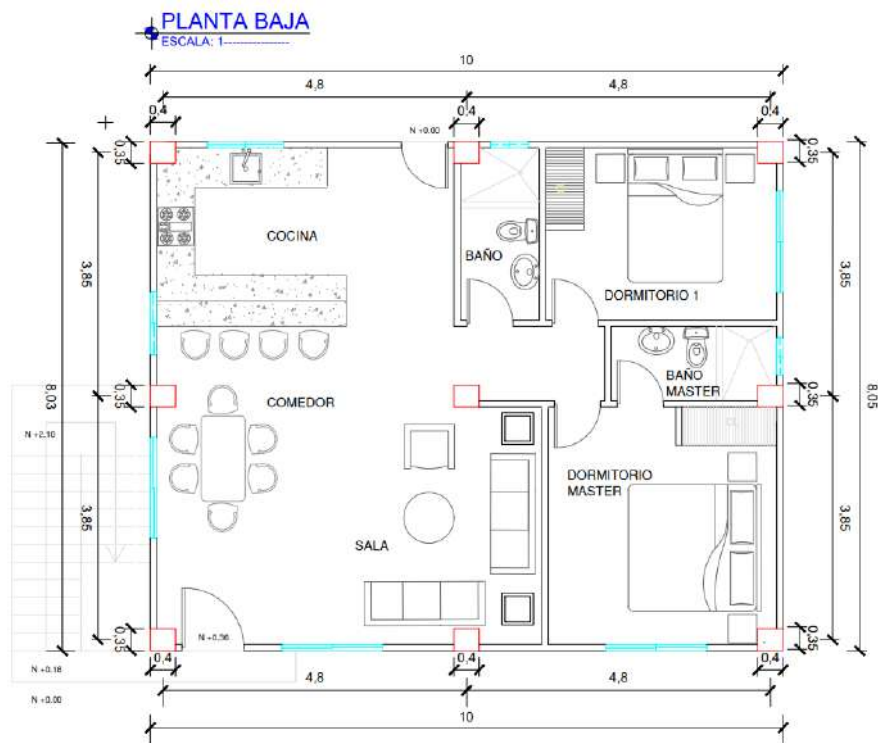


Ilustración 25.- Plano arquitectónico de la planta baja

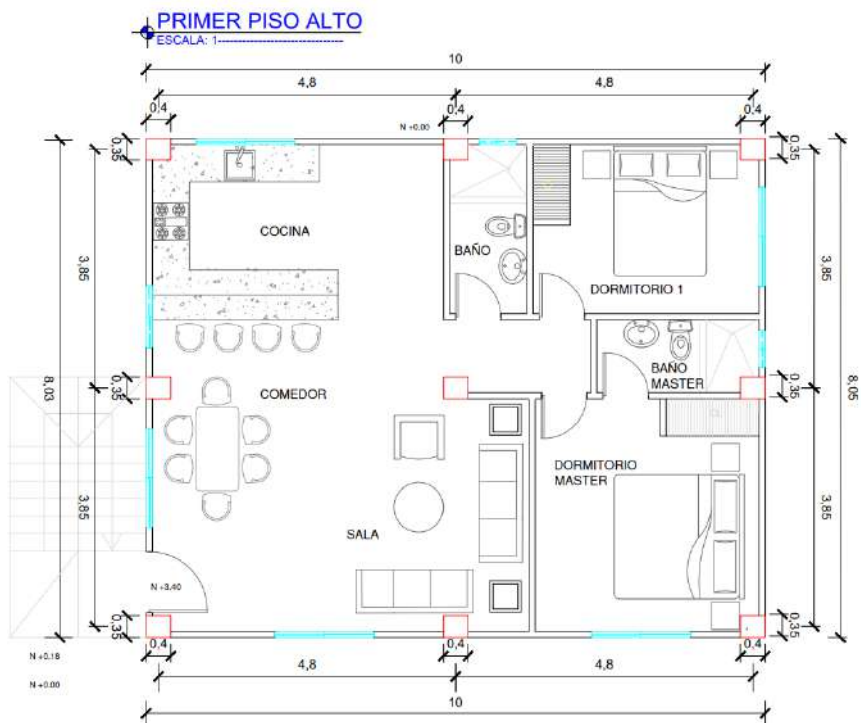


Ilustración 26.- Plano arquitectónico del primer piso alto

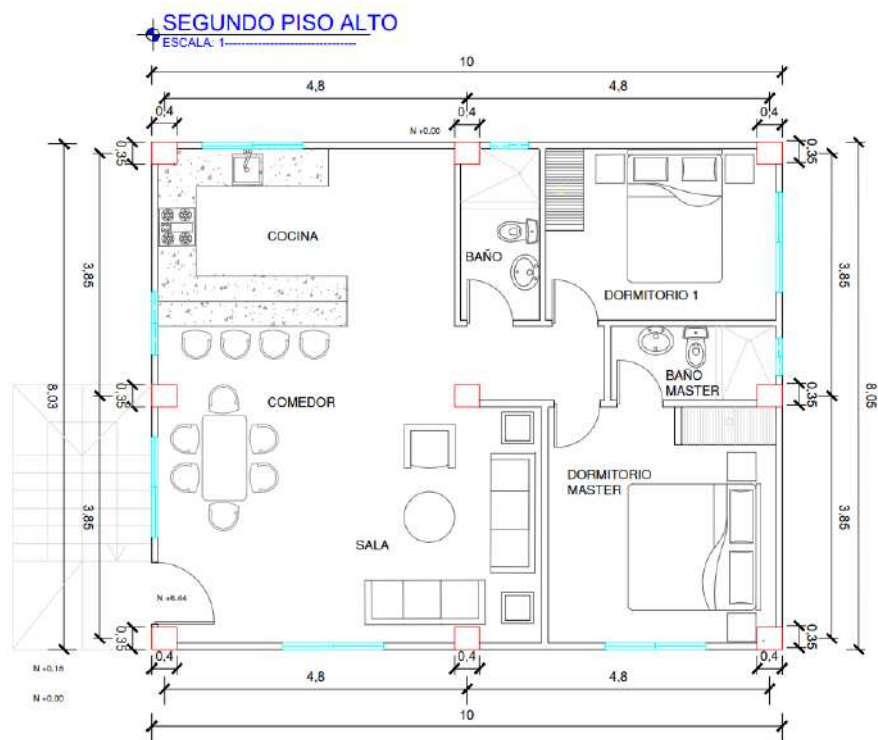


Ilustración 27.- Plano arquitectónico del segundo piso alto

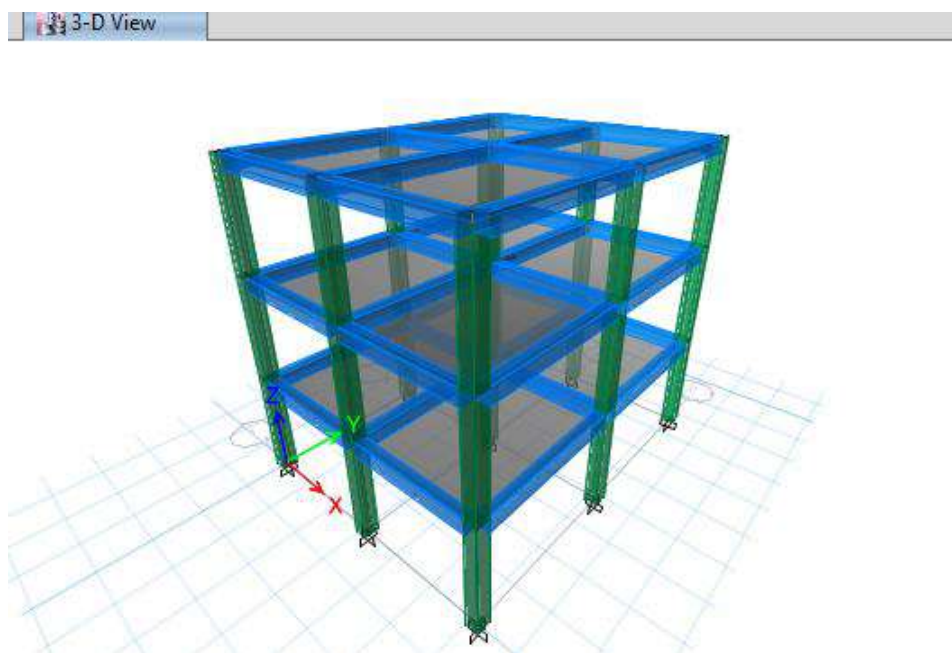


Ilustración 28.-Vista 3D de la estructura modelada.

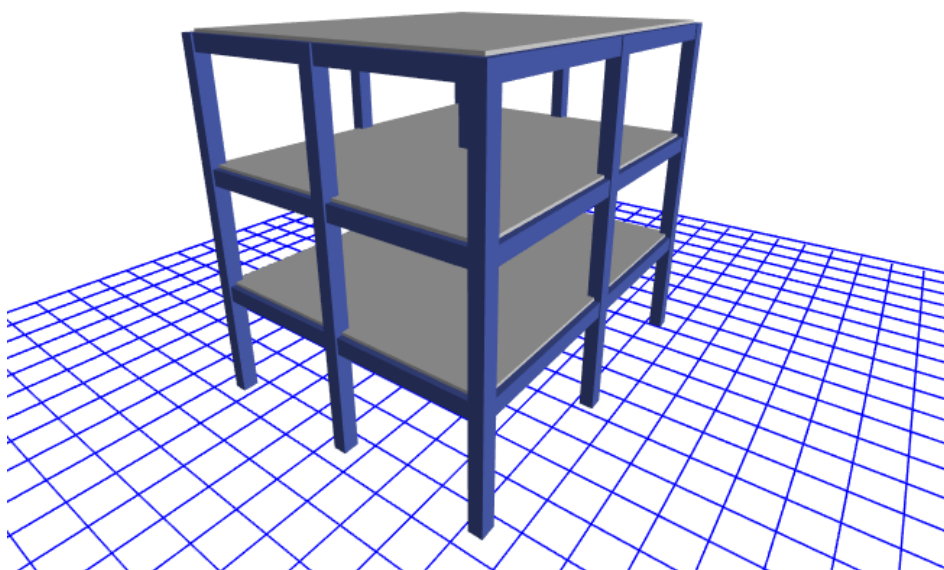


Ilustración 29.-Imagen renderizada de la estructura en 3D.