



UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Analisis estructural mediante elementos finitos de edificaciones con estructuras de acero de ductilidad limitada en la ciudad de Machala.

**SEGARRA ZEA FERNANDO XAVIER
INGENIERO CIVIL**

**MACHALA
2024**



UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Analisis estructural mediante elementos finitos de edificaciones con estructuras de acero de ductilidad limitada en la ciudad de Machala.

**SEGARRA ZEA FERNANDO XAVIER
INGENIERO CIVIL**

**MACHALA
2024**



UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

PROYECTOS TÉCNICOS

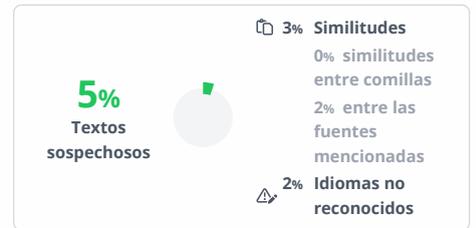
**Análisis estructural mediante elementos finitos de edificaciones
con estructuras de acero de ductilidad limitada en la ciudad de
Machala.**

**SEGARRA ZEA FERNANDO XAVIER
INGENIERO CIVIL**

CARRION ROMERO LEYDEN OSWALDO

**MACHALA
2024**

Análisis estructural mediante elementos finitos_Fernando Segarra



Nombre del documento: Análisis estructural mediante elementos finitos_Fernando Segarra.pdf
ID del documento: 7a8d3c899cf38dfba68bbc119ab3cf7b2e2120b1
Tamaño del documento original: 2,76 MB
Autores: []

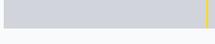
Depositante: Carrión Romero Leyden Oswaldo
Fecha de depósito: 7/2/2025
Tipo de carga: interface
fecha de fin de análisis: 7/2/2025

Número de palabras: 8395
Número de caracteres: 62.891

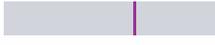
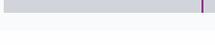
Ubicación de las similitudes en el documento:



Fuentes principales detectadas

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	 pdfs.semanticscholar.org https://pdfs.semanticscholar.org/769f/5df8565cfaa0679f84818d00f86e3b09d599.pdf	< 1%		🔗 Palabras idénticas: < 1% (27 palabras)
2	 doi.org https://doi.org/10.22209/rt.v44n2a05 2 fuentes similares	< 1%		🔗 Palabras idénticas: < 1% (26 palabras)
3	 doi.org Analysis and Design of Lateral Framing Systems for Multi-Story Steel Buildin... https://doi.org/10.3390/applmech4020022	< 1%		🔗 Palabras idénticas: < 1% (31 palabras)
4	 rakenteidenmekaniikka.journal.fi https://rakenteidenmekaniikka.journal.fi/article/view/77252 1 fuente similar	< 1%		🔗 Palabras idénticas: < 1% (23 palabras)
5	 Documento de otro usuario #13a800 📍 El documento proviene de otro grupo 9 fuentes similares	< 1%		🔗 Palabras idénticas: < 1% (21 palabras)

Fuentes con similitudes fortuitas

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	 www.habitatyvivienda.gob.ec https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2023/03/6.-NEC-SE-RE-Riesgo-sismico...	< 1%		🔗 Palabras idénticas: < 1% (31 palabras)
2	 doi.org Structural Identification from Operational Modal Analysis: The Case of Steel ... https://doi.org/10.3390/buildings13020548	< 1%		🔗 Palabras idénticas: < 1% (26 palabras)
3	 doi.org Modular Structure Construction Progress Scenario: A Case Study of an Eme... https://doi.org/10.3390/su141811243	< 1%		🔗 Palabras idénticas: < 1% (28 palabras)
4	 doi.org The Seismic Resistance Analysis of Frame Structures and Wall Structures Usi... https://doi.org/10.3390/app13084704	< 1%		🔗 Palabras idénticas: < 1% (23 palabras)
5	 doi.org Mechanical Behaviors of Inter-Module Connections and Assembled Joints in... https://doi.org/10.3390/buildings13071727	< 1%		🔗 Palabras idénticas: < 1% (28 palabras)

Fuente ignorada Estas fuentes han sido retiradas del cálculo del porcentaje de similitud por el propietario del documento.

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	 doi.org Effect of the Distribution of Mass and Structural Member Discretization on t... https://doi.org/10.3390/app12010433	< 1%		🔗 Palabras idénticas: < 1% (40 palabras)

Fuentes mencionadas (sin similitudes detectadas) Estas fuentes han sido citadas en el documento sin encontrar similitudes.

1	 https://doi.org/10.1088/1755-1315/988/5/052036
2	 https://doi.org/10.24200/sci.2019.21498
3	 https://doi.org/10.2478/rjti-2019-0005
4	 https://doi.org/10.1155/2023/7288450
5	 https://doi.org/10.2320/matertrans.MT-MB2022015

CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

El que suscribe, SEGARRA ZEA FERNANDO XAVIER, en calidad de autor del siguiente trabajo escrito titulado Análisis estructural mediante elementos finitos de edificaciones con estructuras de acero de ductilidad limitada en la ciudad de Machala., otorga a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tiene potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

El autor declara que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

El autor como garante de la autoría de la obra y en relación a la misma, declara que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asume la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.



SEGARRA ZEA FERNANDO XAVIER

0751077488

RESUMEN

En este proyecto se aborda el análisis no lineal estático (pushover) de una vivienda de dos plantas con perfiles metálicos y ductilidad limitada, con el fin de evaluar su respuesta estructural frente a cargas gravitatorias y sísmicas. Para ello, se realizó inicialmente una revisión bibliográfica detallada sobre el comportamiento de estructuras de acero y sus métodos de análisis no lineal, con especial atención a los parámetros que influyen en la plasticidad y los desplazamientos admisibles.

Posteriormente, se elaboró un modelo en un software de elementos finitos que incluyó la geometría real del edificio, las propiedades constitutivas del material, las condiciones de apoyo y las diferentes combinaciones de carga. Con la aplicación progresiva de cargas laterales, se obtuvieron las secuencias de formación de rótulas plásticas y se identificaron las zonas más vulnerables, prestando especial atención a la posible aparición de fallas frágiles. Además, mediante análisis multimodal, fue posible calcular las curvas de capacidad en los modos de vibración más relevantes y determinar los desplazamientos últimos.

Los resultados obtenidos permitieron precisar los niveles de resistencia y rigidez necesarios para un desempeño adecuado de la vivienda bajo demandas sísmicas, así como proponer medidas de refuerzo o rediseño en las zonas críticas. De esta manera, se contribuye a mejorar la seguridad estructural, reduciendo el riesgo de daños significativos y prolongando la vida útil de edificaciones con perfiles metálicos y ductilidad limitada.

Palabras claves: análisis no lineal estático, ductilidad limitada, perfiles metálicos, análisis multimodal

ABSTRACT

This project addresses the non-linear static (pushover) analysis of a two-storey building with steel sections and limited ductility, in order to assess its structural response under gravitational and seismic loads. To this end, a detailed bibliographic review was initially carried out on the behaviour of steel structures and their non-linear analysis methods, with particular focus on the parameters influencing plasticity and permissible displacements.

Subsequently, a finite element model of the building was developed, incorporating its actual geometry, the constitutive properties of the material, support conditions and the various load combinations. With the progressive application of lateral loads, the formation sequences of plastic hinges were obtained, and the most vulnerable areas were identified, paying special attention to the potential occurrence of brittle failures. Furthermore, through multi-modal analysis, it was possible to calculate the capacity curves for the most significant vibration modes and determine the ultimate displacements.

The results made it possible to specify the necessary levels of strength and stiffness for an adequate performance of the building under seismic demands, as well as to propose reinforcement or redesign measures in critical areas. In this way, the study contributes to improving structural safety, reducing the risk of significant damage and extending the service life of buildings with steel sections and limited ductility.

Keywords: non-linear static analysis, limited ductility, steel sections, multi-modal analysis

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	7
CAPÍTULO I.....	8
1. Planteamiento del problema.....	8
1.1. Línea Base	8
1.1.1. Peligro sísmico en Ecuador	8
1.2. Descripción de la situación problemática	9
1.3. Formulación del problema	10
1.3.1. Problema central	10
1.3.2. Problemas secundarios	10
1.4. Alcance del proyecto	10
1.4.1. Contenido	10
1.4.2. Espacial	10
1.4.3. Temporal	10
1.5. Justificación	11
1.6. Objetivo general	11
1.7. Objetivos específicos	11
CAPÍTULO II	12
2. Marco teórico	12
2.1. Antecedentes contextuales	12
2.1.1. Macro	12
2.1.2. Meso	13
2.1.3. Micro	13
2.2. Antecedentes conceptuales	14

2.3. Antecedentes referenciales.....	15
CAPÍTULO III.....	16
3. Metodología	16
3.1. Modalidad básica de la investigación	16
3.2. Tipo de investigación	16
3.3. Descripción de la población y muestra	16
3.4. Métodos teóricos o empíricos con los materiales utilizados	17
3.4.1. Análisis de elementos finitos para perfiles metálicos	17
3.4.2. Modelamiento de la estructura	17
3.4.3. Discretización de los elementos barra	18
3.4.4. Asignación de cargas.....	18
3.4.5. Asignación de rótulas plásticas	19
3.5. Técnicas para el procesamiento de los datos obtenidos	19
3.5.1. Espectro de respuesta sísmica	19
3.5.2. Análisis Modal	20
3.5.3. Análisis no lineal estático	20
CAPÍTULO IV.....	24
4.1. Análisis de resultados	24
4.1.1. Grillado del modelo.....	24
4.1.2. Materiales	24
4.1.3. Unión viga-columna	25
4.1.4. Condiciones de apoyo.....	25
4.1.5. Asignación de diafragmas.....	25
4.1.6. Rótulas plásticas.....	25
4.1.7. Cargas aplicadas	25

CONCLUSIONES	29
RECOMENDACIONES.....	30
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	31
ANEXOS	34

INTRODUCCIÓN

Importancia del tema

El análisis estructural de elementos finitos es de vital importancia en la ciudad de Machala, debido a su sismicidad y condiciones geotécnicas. Este método permite evaluar esfuerzos, deformaciones y la respuesta sísmica de las estructuras, con el objetivo de plantear un adecuado diseño y, en consecuencia, incrementar su seguridad. Las edificaciones de ductilidad limitada pueden experimentar fallas frágiles ante eventos sísmicos, por lo que es importante el análisis de cada uno de sus elementos. Las ciudades en crecimiento como Machala, necesitan realizar análisis no lineal a sus futuras construcciones, de manera que garanticen su estabilidad y adecuada respuesta sismo resistente.

Actualidad de la problemática

En los últimos años, Ecuador ha experimentado sismos de magnitudes inferiores a las previstas en los diseños estructurales, sin embargo, las edificaciones no han respondido adecuadamente ante estos eventos sísmicos. Esta situación representa un riesgo significativo para la población ecuatoriana, ya que un sismo de mayor magnitud podría superar la capacidad de respuesta de las estructuras existentes.

En las estructuras de acero, la poca experiencia y conocimiento de las normativas de construcción, especialmente en lo que respecta a la soldadura de acero estructural, resulta en conexiones débiles entre vigas y columnas. Esto reduce su respuesta ante carga gravitacional y sísmica.

Estructura del trabajo

El presente trabajo de titulación se plantea de manera capitular. En el capítulo I se realiza el planteamiento de la problemática, donde se describe todos los antecedentes que convergen en el problema, detallando las causas y efectos alrededor del análisis estructural de viviendas de ductilidad limitada. Así mismo, se formulan preguntas científicas que permiten definir el alcance del proyecto y justificarlo para, al final, plantear el objetivo general y los objetivos específicos del proyecto técnico.

En el capítulo II se describen los antecedentes que aportan al marco teórico del trabajo de titulación, siendo estos contextuales, referenciales y conceptuales. En el capítulo III se señala la modalidad básica de la investigación, el tipo de investigación y los métodos teóricos o empíricos empleados en el proyecto. En el capítulo IV se realiza el análisis y discusión de resultados, así como la interpretación de los datos, para finalizar señalando las conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO I

1. Planteamiento del problema

1.1. Línea Base

1.1.1. Peligro sísmico en Ecuador

El instituto geofísico ecuatoriano presente el mapa de peligro sísmico en Ecuador, donde se puede evidenciar los valores de aceleración para un periodo de retorno de 475 años, estos valores están en función de la gravedad y son variables para cada región del Ecuador, como se muestra a continuación.

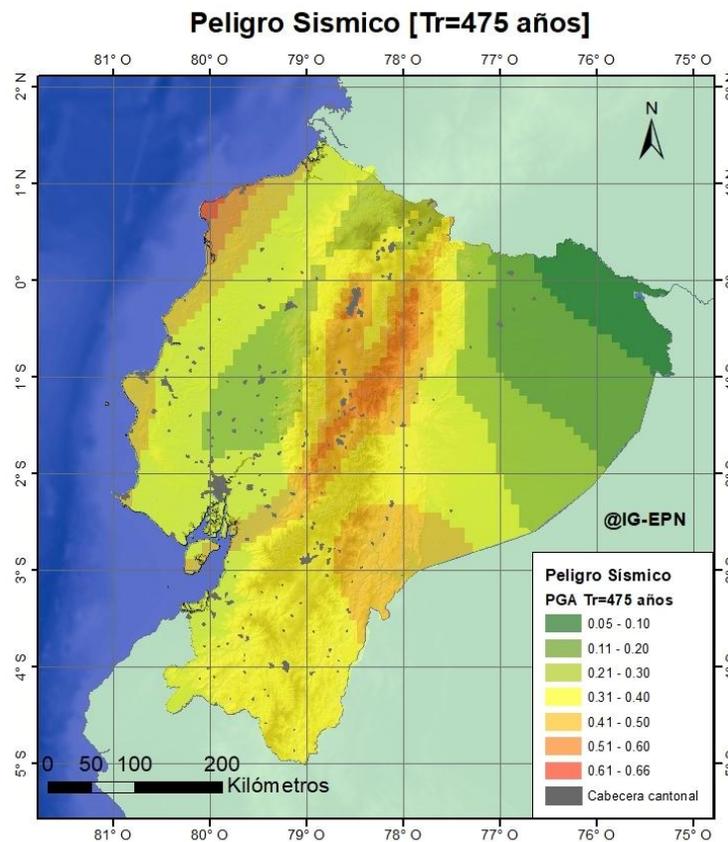


Ilustración 1. Mapa de peligro sísmico del Ecuador

Fuente: Instituto Geofísico EPN

En base a este mapa, se puede evidenciar que Machala, al encontrarse en la provincia de El Oro, presenta aceleraciones de “0.4 g”, esto la ubica en una zona de alto peligro sísmico, teniendo en cuenta que “g” es la aceleración de la gravedad. Con estos datos, podemos concluir que las edificaciones de Machala son propensas a recibir valores elevados de carga sísmica.

1.1.2. Sismo de magnitud “7.8 Mw” en Pedernales

El 16 de abril de 2016 frente a las costas de Cojimíes se presentó un sismo de magnitud “4.8 Mw”, el cual se replicó en Pedernales con una magnitud de “7.8 Mw”, siendo este el evento natural con mayor impacto en lo que va del siglo, pudiendo ser percibido en los países de Colombia y Perú. Este terremoto ocasionó que muchas de las obras de Ecuador colapsaran, dejando fallecidos, heridos y muchos ecuatorianos sin hogar.

1.2. Descripción de la situación problemática

En los últimos años se ha evidenciado la presencia de sismos magnitud inferior al sismo de diseño, sin embargo, las edificaciones de Ecuador no han tenido la respuesta adecuada ante tales acontecimientos, esto supone un riesgo para la población ecuatoriana, ya que ante un sismo de mayor magnitud tendrían una respuesta sísmica inferior.

Una cimentación inadecuada puede llevar a problemas de asentamiento en la estructura, además, si no se realiza un correcto estudio de suelo, esto conlleva a proponer valores de carga admisible que no son acordes a la realidad, por lo que la estructura no cumpliría con los parámetros en la filosofía de diseño sismorresistente.

La escasez de mantenimiento en las obras civiles del Ecuador es un problema constructivo que ha llevado al deterioro acelerado de las mismas, ya que dicho mantenimiento no suele considerarse en la contratación de obra o se lo ejecuta de manera ineficiente. Este conjunto de factores lleva a que las viviendas, edificios y demás modelos constructivos no tengan la respuesta esperada ante una amenaza sísmica.

En estructuras de acero, la falta de experiencia y conocimiento de los lineamientos establecidos en la norma de construcción respecto a la soldadura de acero estructural, conlleva a conexiones débiles entre vigas y columnas, lo que reduce su capacidad de soporte gravitacional y sísmico.

La problemática principal es enfrentar la vulnerabilidad de las estructuras de acero en Machala ante cargas gravitacionales ya que, si se cumplen los factores antes establecidos, esto conllevará a un posible colapso de la estructura al presentarse sismos de mayor magnitud a los descritos.

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema central

¿La población de Machala posee un adecuado diseño estructural de viviendas con perfiles metálicos?

1.3.2. Problemas secundarios

- ¿Cuál es un adecuado proceso constructivo para mejorar la respuesta sísmica de las estructuras?
- ¿Cómo se diseña una adecuada cimentación de edificaciones con perfiles de acero para un control sísmico eficiente?
- ¿Qué parámetros se deben considerar para el correcto mantenimiento de una vivienda con perfiles de acero?
- ¿Cómo debe ser una adecuada conexión entre elementos de acero para aumentar la capacidad de respuesta ante un sismo?

1.4. Alcance del proyecto

1.4.1. Contenido

- Campo: Ingeniería civil
- Área: Estructural
- Aspectos: Edificaciones con perfiles metálicos

1.4.2. Espacial

El lugar de análisis del proyecto está en la ciudad de Machala, perteneciente a la provincia de El Oro, en Ecuador. Machala delimita al norte con el cantón El Guabo, al sur con Santa Rosa, al oeste con el archipiélago de Jambelí y al este con el cantón Pasaje.

1.4.3. Temporal

Este proyecto se encuentra dividido en dos partes, la primera transcurre durante el paso de noveno semestre y la segunda fase se ejecuta durante décimo semestre.

1.5. Justificación

Este proyecto muestra la importancia de un modelo constructivo en la ciudad de Machala, ya que se encuentra en vías de desarrollo urbanístico y cada vez es más común la cantidad de edificaciones y proyectos civiles que se realizan en su territorio. Es por eso que se debe tener en cuenta todos los parámetros de diseño y ejecución de obras para su funcionalidad a largo plazo y adecuada respuesta sísmica.

Debido a que las estructuras de acero son cada vez más comunes en Machala, es necesario conocer un adecuado proceso constructivo para las mismas, ya que de esto depende la seguridad de la población, la durabilidad de las edificaciones a lo largo de los años y la expansión constante expansión urbanística de Machala a lo largo de su territorio.

Además, el presente proyecto tiene como finalidad servir como medio para la obtención del título universitario de la carrera de ingeniería civil al finalizar con éxito el proceso de titulación.

1.6. Objetivo general

Analizar el diseño estructural de una vivienda con perfiles metálicos mediante su modelación e interpretación para asegurar una respuesta ante cargas sísmicas.

1.7. Objetivos específicos

- Definir los conceptos estructurales aplicados a viviendas con perfiles metálicos mediante la revisión bibliográfica de artículos científicos sobre el tema, aumentando el conocimiento sobre el tema.
- Determinar las características principales de las estructuras de acero, mediante la observación en campo de viviendas con dichas características, obteniendo criterios sólidos de su construcción.
- Determinar el factor de mayoración sísmica de la estructura, por medio del análisis multimodal de la estructura y las curvas de capacidad de los modos de vibración más relevantes.

CAPÍTULO II

2. Marco teórico

2.1. Antecedentes contextuales

2.1.1. Macro

El diseño sísmico de estructuras de acero formadas en frío es un área de investigación clave. Se estudió la capacidad de los paneles de pared formados en frío para resistir cargas laterales significativas. Los resultados demostraron que estos paneles, cubiertos con materiales como OSB (Oriented Strand Board), actúan como muros de corte con una capacidad considerable para soportar fuerzas sísmicas, lo cual es crucial para garantizar la seguridad en regiones propensas a terremotos (Chonratana & Chatpattananan, 2023).

Así mismo, el diseño estructural de viviendas con perfiles metálicos se beneficia de métodos avanzados como el Análisis de Elementos Finitos (FEA). Según Mohd Latif et al. (2024), el FEA permite evaluar detalladamente la respuesta de las estructuras bajo diversas cargas, optimizando así su diseño para prevenir fallas estructurales y garantizar la integridad a largo plazo. Este método no solo mejora la precisión del diseño, sino que también reduce el tiempo y costo asociados a iteraciones de diseño manuales.

De igual forma, el uso de métodos avanzados de análisis es crucial para evaluar y optimizar el diseño de estructuras metálicas. Estos métodos permiten una evaluación detallada de la respuesta estructural bajo diversas condiciones de carga, asegurando que las viviendas sean seguras y eficientes. La investigación sobre la modelación y análisis de grandes estructuras destaca la importancia de utilizar modelos matemáticos precisos y técnicas de simulación avanzadas para predecir el comportamiento estructural y garantizar la seguridad a largo plazo (Su et al., 2022).

Comprender el desempeño sísmico de las estructuras con perfiles metálicos es crucial, especialmente en regiones propensas a terremotos. Se destaca la necesidad de evaluar la vulnerabilidad sísmica de edificios de acero preingeniería (PEB) en Bangladesh. El estudio aplicó una versión simplificada del Método de Índice Japonés para evaluar la seguridad sísmica de estructuras PEB de altura media, subrayando la importancia de realizar evaluaciones detalladas para garantizar la integridad estructural frente a eventos sísmicos (Shams Wahid et al., 2023).

Los diseños arquitectónicos contemporáneos a menudo incorporan técnicas de construcción innovadoras utilizando perfiles metálicos para lograr objetivos estéticos y funcionales. Se

introdujo un nuevo diseño para bungalows utilizando elementos modulares de acero que pueden ser prefabricados y ensamblados fácilmente en el sitio. Este enfoque modular no solo reduce el tiempo y los costos de construcción, sino que también mejora el rendimiento estructural y la sostenibilidad de las unidades habitacionales (Takva et al., 2023).

2.1.2. Meso

El estudio de Kim et al. (2022) destacó la importancia del acero como material de construcción en Ecuador. La investigación mostró cómo el uso de acero en estructuras metálicas puede ser optimizado mediante técnicas avanzadas de análisis, lo que permite una reducción significativa de costos. Este aspecto es particularmente relevante en el contexto económico de Ecuador, donde la optimización de recursos y la eficiencia en la construcción son cruciales para el desarrollo sostenible del sector (Kim et al., 2022)

En el contexto ecuatoriano, la evaluación sísmica de edificaciones es fundamental debido a la alta actividad sísmica en la región. Un ejemplo notable es el análisis estructural realizado para el edificio de la Facultad de Ciencias Humanísticas de la Universidad Técnica de Manabí, el cual sufrió daños significativos tras el terremoto del 16 de abril de 2016. Este estudio utilizó métodos de análisis estático equivalente y dinámico modal espectral, encontrando que las derivas de piso excedían los límites establecidos por la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC (2015), lo que llevó a la propuesta de reforzamiento estructural mediante el aumento de la sección de columnas e implementación de muros de corte (García Vincés et al., 2021).

La estabilidad y capacidad de disipación de energía de las conexiones entre módulos en estructuras de acero es un aspecto crucial para la integridad de las viviendas con perfiles metálicos. Un estudio sobre el comportamiento mecánico de estas conexiones mostró que ciertas configuraciones pueden mejorar significativamente la estabilidad y la capacidad de disipación de energía. Esto es vital para garantizar la seguridad y durabilidad de las viviendas metálicas en áreas con alta actividad sísmica, como Ecuador (Yang et al., 2023)

2.1.3. Micro

Se realizó un estudio de vulnerabilidad sísmica en un bloque de aulas de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica de Machala. Este análisis utilizó un enfoque dinámico lineal dentro del rango elástico, aplicando el método de Tiempo-Historia. El bloque de aulas fue evaluado

utilizando un conjunto de acelerogramas sintéticos diseñados en referencia al sismo ocurrido en Pedernales en 2016 (Morocho-Orellana et al., 2022).

2.2. Antecedentes conceptuales

El Ecuador, ubicado en el "Cinturón de Fuego del Pacífico", es una región de alta actividad sísmica. Por ello, la evaluación sísmica de estructuras es crucial para garantizar su seguridad. La Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC) establece directrices para el diseño sismo-resistente de estructuras. Estudios como el de García Vinces et al. (2021) sobre el edificio de la Facultad de Ciencias Humanísticas de la Universidad Técnica de Manabí destacan la importancia de aplicar análisis estáticos equivalentes y dinámicos modales espectrales para asegurar que las edificaciones puedan soportar movimientos sísmicos sin exceder los límites de deriva establecidos por la NEC (García Vinces et al., 2021).

Las estructuras metálicas ofrecen varias ventajas en comparación con otros materiales. En estudios comparativos, como el de Takva et al., (2023), se demostró que las estructuras de acero tienen un comportamiento estructural similar al de las de madera, pero con una ventaja significativa en términos de peso y durabilidad. Esto es particularmente relevante en el contexto de Machala, donde la resistencia a sismos es crucial (Takva et al., 2023).

La evaluación técnica y económica de las estructuras metálicas es vital para su implementación eficiente. Ruiz et al. (2021) realizaron un análisis detallado de naves industriales en Ecuador utilizando interpolación no lineal de Lagrange para determinar el peso y costo de las estructuras. Este estudio mostró cómo las técnicas avanzadas de análisis pueden optimizar el uso de materiales y reducir costos, lo que es crucial para el desarrollo de proyectos de vivienda en Machala (Ruiz et al., 2021).

El diseño contemporáneo de viviendas utilizando perfiles metálicos se beneficia de enfoques modulares y tecnologías avanzadas. (Takva et al., 2023) propusieron el uso de elementos modulares de acero que pueden ser prefabricados y ensamblados fácilmente, reduciendo el tiempo y los costos de construcción. Este enfoque es particularmente útil en la construcción de viviendas en Machala, donde la rapidez y eficiencia son esenciales debido a las condiciones sísmicas Takva et al. (2023).

En Ecuador, la evaluación sísmica de estructuras es fundamental debido a la alta actividad sísmica en la región. Un estudio realizado por García Vinces et al. (2021) en el edificio de la Facultad de

Ciencias Humanísticas de la Universidad Técnica de Manabí, tras el terremoto de Pedernales en 2016, utilizó análisis estáticos equivalentes y dinámicos modales espectrales para evaluar la seguridad estructural. Los resultados indicaron la necesidad de reforzamientos estructurales para cumplir con los límites de deriva establecidos por la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC) (García Vences et al., 2021).

2.3. Antecedentes referenciales

Valenzuela-Beltrán et al. (2022) investigaron el efecto de la matriz de masa y la discretización de los miembros estructurales en la respuesta sísmica de edificios de acero. El estudio enfatiza la importancia de utilizar una matriz de masa consistente (MC) y al menos dos elementos por viga para una modelación estructural precisa, lo cual es crucial para garantizar la seguridad y eficiencia en el diseño de edificaciones con estructuras metálicas en zonas sísmicas como Machala.

Evaluación exhaustiva de las estructuras metálicas en la construcción de viviendas, centrándose en sus propiedades, ventajas y desafíos. Se destaca la durabilidad y la eficiencia en el tiempo de construcción como principales ventajas. Sin embargo, se identifican retos significativos como la susceptibilidad a la corrosión y al fuego, además del mantenimiento periódico necesario para preservar la integridad estructural. También se menciona la percepción errónea sobre los costos, demostrando que, en muchos casos, las estructuras metálicas pueden ser económicamente competitivas con las tradicionales (Thomas, 2020).

CAPÍTULO III

3. Metodología

3.1. Modalidad básica de la investigación

La metodología utilizada en este trabajo se fundamenta en el estudio cuantitativo de los datos obtenidos mediante el análisis no lineal estático de la vivienda con perfiles metálicos. Los datos se obtienen mediante planos de la vivienda y se verifican mediante visitas de campo. Este enfoque permitirá garantizar la validez y confiabilidad de los datos utilizados, además de proporcionar un marco teórico sólido que respalde las decisiones tomadas durante el estudio. Asimismo, la investigación documental facilita la comparación de diferentes enfoques, metodologías y estándares previamente aplicados en estudios similares, lo que contribuirá a la identificación de mejores prácticas y posibles innovaciones en la aplicación del proyecto (Ma et al., 2019).

3.2. Tipo de investigación

El tipo de investigación a realizar es documental, ya que, a través de datos obtenidos mediante planos y fuentes bibliográficas, tanto artículos científicos como normativas, se obtienen los parámetros a realizar dentro del proyecto. A través de esta metodología, se busca establecer un marco teórico sólido que respalde cada una de las decisiones tomadas, garantizando la validez y fiabilidad de los datos empleados. Además, la investigación documental posibilita la identificación de tendencias, mejores prácticas y enfoques metodológicos utilizados en estudios previos, lo que facilita la comparación y optimización de estrategias dentro del proyecto. De este modo, se podrá contar con una base informativa robusta que contribuya a la precisión y efectividad en la aplicación de los parámetros establecidos (Nan et al., 2022).

3.3. Descripción de la población y muestra

No es necesario obtener la población y muestra del proyecto, debido a la metodología empleada para resolver el problema de estudio, ya que no se realiza el estudio de un grupo de personas, sino se analiza un elemento en particular, en este caso, la vivienda con ductilidad limitada y perfiles metálicos.

3.4. Métodos teóricos o empíricos con los materiales utilizados

3.4.1. Análisis de elementos finitos para perfiles metálicos

El Análisis de elementos finitos es una herramienta fundamental en la ingeniería civil para el diseño y evaluación de estructuras metálicas. Se trata de un método numérico que permite analizar el comportamiento estructural de elementos complejos bajo diversas condiciones de carga, considerando aspectos como esfuerzos, deformaciones y estabilidad (Abu-Khasan et al., 2022).

Este método descompone los elementos de una estructura en cuerpos más simples de estudio, conectados entre sí por medio de nodos, cada elemento posee las ecuaciones matemáticas que describen su comportamiento en función de las condiciones del entorno y las propiedades del material. En el caso de estructuras con perfiles metálicos, se utiliza elementos barra o “frames” para dimensionar columnas y vigas, como es un análisis no lineal, estos serán los únicos elementos que se dibujan dentro del modelo (Stochino et al., 2023).

3.4.2. Modelamiento de la estructura

3.4.2.1. Grillado del modelo

Antes de colocar los elementos barra, se secciona el modelo por medio de un grillado, dimensionando las distancias en los todos los ejes de análisis, para la referenciación de las distancias, se toma en cuenta el plano arquitectónico para saber la separación entre vigas y columnas.

3.4.2.2. Geometría de los elementos barra

Para la respectiva modelación de los elementos, se colocará las dimensiones de sus secciones, así como la longitud de los mismos, señalada por medio de las grillas del modelado, además, de manera que cada tipo de sección sea colocada en un punto específico del modelado (Dughaishi et al., 2023).

3.4.2.3. Propiedades de los materiales

Con respecto a las características de los materiales, estos serán determinados mediante normativa y se adjuntarán a cada elemento modelado, de igual manera, se determinará las características mecánicas del material usado en las columnas de sección compuesta (acero y concreto), como es

el caso de su resistencia a la compresión y tracción, módulo de elasticidad y coeficiente de Poisson (Chen et al., 2022).

3.4.2.3. Restricciones de los elementos

Al momento de enlazar los materiales, se identificarán las condiciones de soporte de cada unión, así mismo como sus apoyos y las restricciones que llevan consigo, de igual manera, se colocará las condiciones de conexión a momento o a corte para cada nudo, esto permitirá tener una alta precisión al momento de ejecutar el análisis no lineal (Ezzaki et al., 2019).

3.4.3. Discretización de los elementos barra

Para realizar un correcto análisis no lineal, es necesario dividir a cada material en partes más pequeñas, de manera que se garantice la convergencia, pudiendo de esta manera estudiar las deformaciones, condiciones de plasticidad, pandeo y otros efectos generados fuera del rango lineal (Gholizadeh & Fu, 2023).

3.4.4. Asignación de cargas

En el análisis no lineal es necesario que los elementos que no realicen aportación ante carga lateral sean suprimidos y colocadas sus reacciones en los elementos que, si realizan este tipo de aportación, por lo que, para este análisis, se suprimirá las vigas secundarias, la losa y paredes, tanto internas como externas, de manera que estas sean reemplazadas como cargas puntuales y distribuidas en las vigas y columnas del modelo (Bruschi et al., 2023).

3.4.4.1. Carga viva

Para la colocación de la carga viva, se tomará en cuenta la Norma Ecuatoriana de la Construcción, específicamente su apartado de vivienda, así mismo, esta carga se colocará de acuerdo a la funcionalidad de la estructura y la ocupación que poseerá.

3.4.4.2. Carga muerta

Para la carga muerta, se toma en cuenta la carga de paredes internas y externas, así como la losa y demás elementos, como la escalera, el antepecho de la terraza, entre otros. Para la carga muerta de losa se considera el peso del hormigón, el peso de la placa colaborante y la malla electrosoldada,

para la carga de pared, se toma en cuenta el peso de los bloques y el mortero, así como el enlucido en pared.

3.4.5. Asignación de rótulas plásticas

Las rótulas plásticas son zonas localizadas en elementos estructurales donde se concentran deformaciones inelásticas significativas bajo cargas extremas, permitiendo a la estructura disipar energía y evitar fallas frágiles. En el diseño de estructuras de acero, especialmente en vigas tipo I, es esencial considerar las normativas vigentes que abordan la formación y comportamiento de estas rótulas para garantizar la seguridad y ductilidad de la construcción.

A nivel internacional, la Especificación para Construcciones de Acero del American Institute of Steel Construction (AISC 360-16) proporciona lineamientos detallados para el diseño de estructuras de acero. Esta especificación aborda aspectos relacionados con la formación de rótulas plásticas y la ductilidad de los elementos estructurales.

Las rótulas plásticas se forman en los extremos de las vigas, donde las secciones pueden detallarse para soportar deformaciones inelásticas significativas sin comprometer la integridad estructural. La implementación de análisis no lineales, como el análisis pushover, permite evaluar la formación y progresión de rótulas plásticas en la estructura, proporcionando una comprensión más detallada del comportamiento inelástico bajo cargas sísmicas (Takagi et al., 2022).

3.5. Técnicas para el procesamiento de los datos obtenidos

3.5.1. Espectro de respuesta sísmica

El Espectro de Respuesta Sísmica es una herramienta fundamental en el diseño sismo-resistente de estructuras, ya que permite estimar las demandas sísmicas en función de las características dinámicas de una edificación y las condiciones sísmicas del sitio. En Ecuador, la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC) establece los lineamientos para la elaboración y aplicación de este espectro en el diseño estructural.

Para construir el espectro de respuesta sísmica, se debe considerar los siguientes parámetros:

- Factor de Zona Sísmica (Z): Representa la aceleración máxima en roca esperada para el sismo de diseño, expresada como fracción de la aceleración de la gravedad.
- Tipo de Suelo: Clasificado según las características geotécnicas del sitio, influye en la amplificación de las ondas sísmicas.

- Coeficientes de Amplificación del Suelo (F_a , F_d , F_s): Factores que ajustan el espectro en función de las propiedades del suelo y su respuesta ante movimientos sísmicos.

El espectro de respuesta elástico de aceleraciones (S_a), expresado como fracción de la aceleración de la gravedad (g), se define en función del período de vibración (T) de la estructura. Donde T_C es el período límite que depende de las características del suelo y se calcula mediante expresiones específicas proporcionadas por la norma (Shams Wahid et al., 2023).

3.5.2. Análisis Modal

El análisis modal es un método fundamental en la ingeniería estructural y sísmica que permite estudiar el comportamiento dinámico de una estructura sometida a vibraciones. Se basa en la descomposición de la respuesta de la estructura en modos de vibración, cada uno con una frecuencia y forma modal específica. Este análisis es esencial para comprender cómo una estructura responderá a cargas dinámicas, como sismos y vientos.

Para el análisis no lineal, específicamente para el análisis multimodal, es necesario tomar al menos el 90% de la masa participativa, de manera que se utilice toda la masa reactiva perteneciente a la estructura y se pueda estudiar su comportamiento con mayor precisión (Taheri et al., 2020).

3.5.3. Análisis no lineal estático

El análisis no lineal estático, también conocido como análisis pushover, es una técnica utilizada en ingeniería estructural para evaluar el comportamiento inelástico de una estructura bajo cargas incrementales. Este análisis es particularmente útil en el diseño y evaluación sísmica de edificaciones y puentes, ya que permite estimar la capacidad de la estructura para disipar energía a través de la formación de rótulas plásticas y otros mecanismos de deformación no lineal. A diferencia del análisis lineal estático, que asume una relación proporcional entre fuerzas y desplazamientos, el análisis no lineal estático considera efectos como la no linealidad geométrica, la no linealidad del material y la degradación de resistencia y rigidez por efectos acumulativos de daño estructural.

Este análisis se basa en la aplicación de un patrón de cargas incrementales hasta alcanzar un estado límite de la estructura, lo que permite trazar su curva de capacidad y evaluar su desempeño ante cargas extremas, como sismos de gran magnitud (Takagi et al., 2020).

3.5.3.1. Análisis multimodal

El análisis dinámico mediante el método multimodal es una técnica fundamental para evaluar el comportamiento sísmico de edificaciones con estructuras de acero de ductilidad limitada. Este procedimiento permite determinar la influencia de los distintos modos de vibración en la respuesta global de la estructura, proporcionando una comprensión más detallada sobre su desempeño ante movimientos sísmicos.

En primer lugar, se lleva a cabo el cálculo de los modos de vibración, donde se determinan los valores propios y los vectores propios de la estructura. A partir de estos cálculos, se identifican las frecuencias naturales y las correspondientes formas modales, las cuales representan los patrones de deformación que adopta la edificación bajo condiciones dinámicas.

Posteriormente, se analiza la distribución de la masa modal y la participación de cada modo en la respuesta global de la estructura. Es fundamental asegurar que la combinación de los modos considerados cubra al menos el 90% de la masa modal total, ya que esto garantiza que la mayor parte de la respuesta estructural ha sido adecuadamente capturada en el análisis.

Una vez establecidos los modos de vibración predominantes, se procede a la generación del espectro de respuesta sísmica. Para ello, se emplea el espectro de respuesta definido en la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC), el cual varía según la zona sísmica en la que se ubique la edificación. Este espectro permite estimar las respuestas máximas esperadas en términos de desplazamientos y esfuerzos, en función de la contribución modal de cada vibración estructural.

Finalmente, se realiza la superposición modal, un procedimiento mediante el cual se combinan los efectos de los distintos modos para obtener la respuesta total de la estructura. Para ello, se emplean métodos como la superposición modal cuadrática (SRSS) o la combinación completa (CC), los cuales permiten obtener una aproximación precisa de la demanda estructural en términos de fuerzas internas, desplazamientos y aceleraciones. A partir de estos resultados, se puede evaluar la seguridad y desempeño estructural de la edificación, facilitando la toma de decisiones para el diseño y optimización de estructuras de acero en zonas de alta sismicidad (Li et al., 2022).

3.5.3.1.1. Curva pushover

La curva pushover es una representación gráfica fundamental en el análisis estructural no lineal estático, utilizada para evaluar la capacidad sísmica de una edificación. En el contexto del análisis multimodal, la curva pushover se extiende más allá del enfoque tradicional basado en un solo

modo, permitiendo capturar mejor la contribución de múltiples modos de vibración en la respuesta estructural.

La curva pushover es un gráfico que representa la relación entre la fuerza cortante en la base y el desplazamiento del techo de una estructura conforme se incrementan las cargas laterales hasta alcanzar el colapso o una condición límite. Su objetivo es reflejar la capacidad inelástica de la estructura y proporcionar información sobre su comportamiento ante movimientos sísmicos severos. En un análisis multimodal, esta curva se obtiene considerando la combinación de múltiples modos de vibración en lugar de únicamente el primer modo dominante, como en un análisis pushover tradicional.

Para generar la curva pushover en el análisis multimodal, se sigue un procedimiento estructurado que permite evaluar la respuesta no lineal de una edificación considerando la contribución de múltiples modos de vibración. Este enfoque proporciona una evaluación más precisa del comportamiento sísmico en comparación con el análisis pushover tradicional, ya que incorpora la influencia de diferentes modos en la respuesta global de la estructura.

El proceso inicia con la definición del modelo estructural, donde se representa la edificación en un software de análisis por elementos finitos, como SAP2000, ETABS, Abaqus o OpenSees. En esta etapa, se establecen las propiedades geométricas, los materiales y las condiciones de apoyo de la estructura. Además, se definen los elementos estructurales clave, como vigas, columnas y conexiones, asignándoles comportamientos no lineales mediante la incorporación de rótulas plásticas en zonas estratégicas, según los criterios de normativas como FEMA 356 y ASCE 41.

Posteriormente, se procede a realizar un análisis modal para identificar los modos de vibración más relevantes de la estructura. A partir de este análisis, se determinan las frecuencias naturales y las formas modales, las cuales representan los patrones de deformación de la edificación cuando está sometida a movimientos sísmicos. Se verifica que la combinación de estos modos capture al menos el 90% de la masa modal total, asegurando así que se consideren las principales contribuciones modales en la respuesta estructural.

Con esta información, se definen las distribuciones de carga modal, las cuales representan las fuerzas laterales que se aplicarán a la estructura en función de cada uno de los modos de vibración seleccionados. En este paso, es fundamental asignar correctamente las cargas para reflejar la participación modal de manera adecuada. Estas cargas se aplican progresivamente, aumentando

su magnitud hasta alcanzar el punto de colapso o una condición límite predefinida (García Vinces et al., 2021).

3.5.3.1.2. Superposición modal cuadrática

Dado que cada modo de vibración de una estructura responde de manera independiente al movimiento sísmico, es necesario combinar sus efectos para obtener la respuesta total de la edificación. Como las respuestas modales individuales pueden tener signos opuestos y producir efectos en direcciones distintas, la simple suma algebraica no es adecuada.

El método SRSS proporciona una solución más precisa combinando los valores de respuesta de cada modo. El SRSS se utiliza para combinar las respuestas de los distintos modos en términos de aceleraciones, fuerzas y desplazamientos obtenidos a partir del espectro de respuesta sísmico. Como los modos de vibración suelen estar bien separados en frecuencia, el método SRSS resulta una aproximación aceptable en la mayoría de los casos (Su et al., 2022).

CAPÍTULO IV

4. Análisis e interpretación de Resultados

4.1. Análisis de resultados

A continuación, se detallará el procedimiento para el modelamiento de la vivienda de dos plantas con ductilidad limitada y todos los datos obtenidos en el mismo.

4.1.1. Grillado del modelo

Colocación de las grillas del modelo (ver Anexo) para, posteriormente colocar los elementos barra a lo largo del mismo, según los planos obtenidos de la estructura (ver Aneo)

4.1.2. Materiales

A continuación, se describen los parámetros que fueron tomados para la caracterización de todos los elementos en el modelo.

4.1.2.1. Vigas

Para las vigas, se usará acero A36, su sección es tipo I y vería su dimensión de acuerdo a su ubicación en el plano y la tabla mostrada a continuación:

V2-2	17,91	0,01791
V2-3	30,71	0,03071
V2-1	132,43	0,13243
V1-1	135,45	0,13545
VT2-5	68,71	0,06871
V1-4	35,97	0,03597
VT1-5	129,89	0,12989
VT1-4	102,46	0,10246
VT1-3	79,76	0,07976
VT1-6	115,07	0,11507
V2-8	9,47	0,00947
V2-6	16,12	0,01612
V2-4	15,35	0,01535
V2-9	10,49	0,01049
V2-7	36,85	0,03685
V2-5	10,49	0,01049

4.1.2.2. Columnas

Para el modelado de las columnas, se tomará en cuenta las placas rigidizadoras y la sección de concreto interna, de manera que se dibuje un elemento dividido en tres secciones (ver Anexo)

4.1.3. Unión viga-columna

La conexión entre viga y columna es resistente a momento, por lo que todas las cargas que se apliquen sobre las mismas, transmitirán momento mediante dichas conexiones.

4.1.4. Condiciones de apoyo

Se coloca los apoyos en las columnas que conectan la estructura a la cimentación, esta conexión será de empotramiento, debido a la necesidad de la estructura de ser rígida en todas sus conexiones (ver Anexo)

4.1.5. Asignación de diafragmas

Para que la estructura incremente su condición de rígida, se colocará diafragmas a lo largo de las vigas, con su respectiva separación.

4.1.6. Rótulas plásticas

Para la colocación de rótulas plásticas, se toma en cuenta la normativa y se las coloca automáticamente en función del tipo de elemento que se está analizando (ver Anexo)

4.1.7. Cargas aplicadas

4.1.7.1. Carga muerta

Para la carga muerta, se considera el peso de paredes y losa, que se distribuyen por medio de las vigas secundarias a los demás elementos para el análisis no lineal. Las paredes interiores y exteriores contienen bloque hueco de 40x20x10 cm, aproximadamente 12 bloques por metro cuadrado de pared.

Descripción	Dimensiones (cm)			Volumen (cm ³)	Masa (kg)	Cant por m ²	Peso por metro cuadrado	
Bloque	40	20	10	8000	9,00	12,5	112,5	
Mortero						0,7	1,4	
Pared								113,9
	Descripción	Dimensiones		Área	Cantidad	Área Total	Peso total (kg)	Peso total (Ton)
Planta Alta	Pared exterior 1	6,7	3,3	22,11	2	44,22	5036,658	5,04
	Pared exterior 2	7,39	3,3	24,387	2	48,774	5555,3586	5,56
	Pared interior 1	2,4	3,3	7,92	4	31,68	3608,352	3,61
	Pared interior 2	1,34	3,3	4,422	2	8,844	1007,3316	1,01
	Pared interior 3	2,47	3,3	8,151	1	8,151	928,3989	0,93
	Pared interior 4	2,84	3,3	9,372	1	9,372	1067,4708	1,07
	Pared interior 5	2,7	3,3	8,91	1	8,91	1014,849	1,01
	Pared interior 6	0,88	3,3	2,904	1	2,904	330,7656	0,33
	Peso Total							
Terraza	Pared exterior 1	6,7	0,9	6,03	2	12,06	1373,634	1,37
	Pared exterior 2	7,39	0,9	6,651	2	13,302	1515,0978	1,52
	Peso Total							

Todas estas cargas se distribuyeron para el área de losa, expresando la carga total sobre las vigas secundarias en Toneladas por metro cuadrado, como se muestra a continuación:

Descripción	Dimensiones		Área	Carga de Paredes	Carga Distribuida de Losa	Carga Distribuida de Paredes	Peso Losa	Carga Distribuida Muerta	Carga Distribuida Viva
Losa Plata Baja	12,71	6,81	86,56	18,55	0,19	0,21	0,194	0,60	0,20
Losa Planta Alta	12,71	6,81	86,56	2,89	0,19	0,03	0,194	0,42	0,25

4.1.7.2. Carga viva

Para la carga vivía se tomará en cuenta lo redactado en la norma ecuatoriana de la construcción y se distribuirá según la dirección de las vigas secundarias a cada elemento de estudio (ver Anexo).

4.1.8. Irregularidad en planta y elevación

Para la formación del espectro de respuesta de carga sísmica, es necesario determinar la irregularidad que presenta la estructura tanto en planta como elevación, esto se lo realizó mediante los planos arquitectónicos de la estructura y se realizó el siguiente análisis:

Nivel	I planta				I elevación		
	1	2	3	4	1	2	3
1	0,9	0,9	0,9	1	0,9	1	1
2	0,9	0,9	0,9	1	0,9	1	1
Mínimo	0,9	0,9	0,9	1	0,9	1	1
	0,9					1	
	0,9				0,9		

4.2. Análisis e interpretación de resultados

Una vez obtenidos los datos de las curvas de capacidad para cada modo de vibración (ver Anexo), se obtienen los valores de R para cada tipo de sismo y sus valores respectivos en cada eje por medio del método SRSS. Estos resultados se describen en la siguiente tabla:

Demanda por Sismo	Desplazamiento (cm)		
	Fluencia	Desempeño	Último
Frecuente	0,131	0,12	0,21
Ocasional	0,11	0,12	0,21
Raro	0,12	0,12	0,22
Muy Raro	0,17	0,15	0,24

Demanda por Sismo	Factor R		
	Modo 1	Modo 2	Modo 3
Frecuente	0,155	0,139	0,908
Ocasional	0,242	0,217	1,412
Raro	0,345	0,003	2,018
Muy Raro	0,518	0,004	3,027
Total	0,685	0,258	4,007

El modelo de datos indica que la vivienda de dos plantas en Ecuador presenta factores de reducción de respuesta "R" adecuados en los ejes X e Y, lo que sugiere que la estructura responde correctamente en estas direcciones según la normativa. Esto implica que la distribución de cargas y la rigidez en estos ejes son apropiadas para resistir las fuerzas sísmicas. Sin embargo, se observa un problema en el eje Z, donde el factor "R" es significativamente inferior al esperado, lo que puede indicar una deficiencia en la capacidad de disipación de energía o resistencia vertical.

Además, la estructura presenta torsión, lo que sugiere una distribución irregular de rigidez o masas, posiblemente debido a una configuración estructural asimétrica o una disposición desigual de los elementos resistentes. La torsión puede incrementar la vulnerabilidad sísmica, especialmente en estructuras metálicas de ductilidad limitada, donde la disipación de energía es menor. Esto podría derivar en concentraciones de esfuerzo en ciertos puntos de la estructura, aumentando el riesgo de daños o colapso en eventos sísmicos.

Para mejorar el comportamiento estructural de la vivienda, es recomendable reforzar la rigidez y resistencia en el eje Z mediante la adición de elementos estructurales adecuados, así como optimizar la distribución de rigidez y masas para reducir la torsión. También es crucial verificar que los perfiles metálicos y las conexiones cumplan con los requisitos normativos para garantizar una respuesta sísmica segura. En general, si bien la estructura parece responder bien en dos direcciones, las deficiencias en el eje Z y la torsión pueden comprometer su desempeño global, lo que requiere ajustes para mejorar su estabilidad y seguridad ante sismos.

CONCLUSIONES

- Se concluye que los elementos estructurales con perfiles metálicos presentan características distintas a los de hormigón. Mientras que estos últimos están diseñados para resistir flexocompresión y requieren una metodología de construcción específica, los elementos metálicos dependen de conexiones mediante soldadura para unir sus componentes, lo que influye directamente en su comportamiento frente a diferentes estados de carga.
- Los elementos con perfiles metálicos rellenos con concreto tienen un desempeño diferente al del rango no lineal. En tales elementos, el concreto aporta resistencia a las cargas gravitacionales, y el acero juega un rol principal a resistencia a las cargas laterales. La unión entre estos dos materiales hace posible beneficiar con sus características complementarias, y su desempeño sísmico mejora con ello.
- El factor de reducción de carga sísmica de la estructura, analizado para los modos de vibración más importantes de cada eje, presenta una diferencia significativa respecto al eje Z, en comparación a los ejes X y Y, esto es debido a la alta presencia de torción en la estructura y la cantidad de masa que se presenta en el mismo.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda que, para la investigación bibliográfica de elementos estructurales a base de perfiles metálicos o compuestos, es necesario tomar en cuenta la normativa respectiva que aporte al entendimiento del proceso de diseño del elemento, ya que estas consideran todos los aspectos estructurales del mismo y proporcionan un enfoque más cercano a la realidad del mismo.
- Para la construcción de viviendas de ductilidad limitada con perfiles metálicos, es necesario tener en cuenta el proceso constructivo de la misma, ya que el análisis estructural de la vivienda se realiza en modelamiento y computarización de datos que emulan la realidad lo más certera posible, por lo que estos resultados se plasman en el plano arquitectónico y estructural de la vivienda, sin embargo, si el proceso constructivo no es eficiente, estos elementos no operarán a su capacidad óptima, ocasionan la falla frágil de los mismos.
- Para el análisis no lineal estático de una estructura con este tipo de características, es necesario realizar un método más completo que el análisis multimodal, ya que este solo considera los modos de vibración que son más relevantes, y no toma en cuenta toda la masa participativa. Métodos como el análisis tiempo historia proporcionan un enfoque más detallado del análisis.

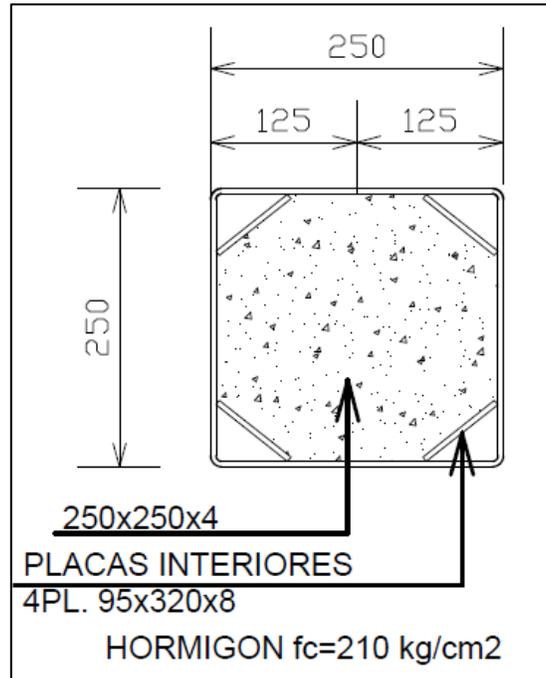
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abu-Khasan, M., Egorov, V., Rudenko, N., & Dergachev, A. (2022). The Use of Metal Structures in the Construction of Unique Buildings and Structures. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 988(5), 052036. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/988/5/052036>
- Bruschi, E., Quaglioni, V., & Zoccolini, L. (2023). Seismic Upgrade of Steel Frame Buildings by Using Damped Braces. *Applied Sciences* 2023, Vol. 13, Page 2063, 13(4), 2063. <https://doi.org/10.3390/APP13042063>
- Chen, L., Zhai, C., Wang, L., Hu, X., & Huang, X. (2022). Modular Structure Construction Progress Scenario: A Case Study of an Emergency Hospital to Address the COVID-19 Pandemic. *Sustainability* 2022, Vol. 14, Page 11243, 14(18), 11243. <https://doi.org/10.3390/SU141811243>
- Chonratana, Y., & Chatpattananan, V. (2023). The Seismic Resistance Analysis of Frame Structures and Wall Structures Using Ferrocement and Expanded Metal. *Applied Sciences* 2023, Vol. 13, Page 4704, 13(8), 4704. <https://doi.org/10.3390/APP13084704>
- Dughaisi, H. Al, Lawati, J. Al, Alost, M., Mahmood, S., Al-Kazee, M., Yusoff, N. M., & Milad, A. (2023). Analysis and Design of Lateral Framing Systems for Multi-Story Steel Buildings. *Durham School of Architectural Engineering and Construction: Faculty Publications*. <https://digitalcommons.unl.edu/archengfacpub/216>
- Ezzaki, N., Stoica, D., Rece, L., & Modrea, A. (2019). Reducing the Seismic Vulnerability for RC Buildings by Using Steel Bracing Elements. *Romanian Journal of Transport Infrastructure*, 8(1), 89–101. <https://doi.org/10.2478/RJTI-2019-0005>
- García Vinces, L., Palacios Rodríguez, J., Escobar Molina, A., & Zambrano Cevallos, L. (2021). Análisis Estructural y propuesta de reforzamiento del edificio de Facultad de Ciencias Humanísticas de la Universidad Técnica de Manabí. *Revista Riemat*, 6(1), 14–25. <https://revistas.utm.edu.ec/index.php/Riemat/article/view/3686/3474>
- Gholizadeh, N., & Fu, F. (2023). Seismic Behaviour of Multistorey Steel Framed Tall Buildings Using Intentionally Eccentric Braces. *Shock and Vibration*, 2023(1), 7288450. <https://doi.org/10.1155/2023/7288450>
- Kim, J., Jung, D., & Kwon, Y. (2022). Numerical Study on the Quantitative Structure-Property Relation of Lattice Truss Metals. *MATERIALS TRANSACTIONS*, 63(10), 1317–1322. <https://doi.org/10.2320/MATERTRANS.MT-MB2022015>

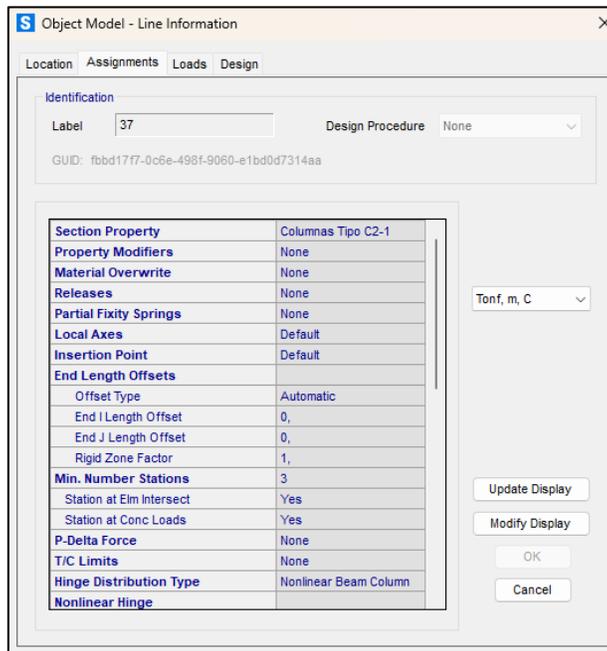
- Li, J., Ni, W., Wang, X., Zhu, S., Wei, X., Jiang, F., Zeng, H., & Hitch, M. (2022). Mechanical activation of medium basicity steel slag under dry condition for carbonation curing. *Journal of Building Engineering*, 50, 104123. <https://doi.org/10.1016/J.JOBE.2022.104123>
- Ma, Z., Havula, J., & Heinisuo, M. (2019). Structural fire analysis of simple steel structures by using LS-DYNA explicit solver. *Rakenteiden Mekaniikka*, 52(1), 1–22. <https://doi.org/10.23998/RM.77252>
- Mohd Latif, H., Essah, E. A., & Donyavi, S. (2024). Creating a link between healthy homes and architectural elements: a qualitative study of modern residential buildings. *International Journal of Building Pathology and Adaptation*, 42(4), 637–652. <https://doi.org/10.1108/IJBPA-09-2021-0115/FULL/XML>
- Morocho-Orellana, J. C., Cornejo-Reyes, P. J., Inca-Balseca, C., & Mena-Reinoso, Á. P. (2022). Vulnerabilidad sísmica en edificaciones educativas ecuatorianas evaluadas mediante modelos matemáticos de análisis dinámico. *Polo Del Conocimiento*, 7(4). <https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/3937/html>
- Nan, Z., Dai, X., Chen, H., Welch, S., & Usmani, A. (2022). A numerical investigation of 3D structural behaviour for steel-composite structures under various travelling fire scenarios. *Engineering Structures*, 267, 114587. <https://doi.org/10.1016/J.ENGSTRUCT.2022.114587>
- Ruiz, M. M., Carvalho, E. B. de S., Oliveira, M. de, & Ladeira, B. C. (2021). Biodiversidad bacteriana en un riachuelo con vertido continuo de efluentes de hidrocarburos: *Revista Técnica de La Facultad de Ingeniería. Universidad Del Zulia*, 44(2), 62–74. <https://doi.org/10.22209/rt.v44n2a01>
- Shams Wahid, C. M., Rahman, M. Al, Aktharuzzaman, S., & Jahir Bin Alam, M. (2023). A proposal for seismic vulnerability assessment of pre-engineered steel buildings in Bangladesh using simplified japanese index method. *ASEAN Engineering Journal*, 13(2), 61–67. <https://doi.org/10.11113/AEJ.V13.18838>
- Stochino, F., Attoli, A., Serra, M., Napoli, A., Meloni, D., & Mistretta, F. (2023). Structural Identification from Operational Modal Analysis: The Case of Steel Structures. *Buildings 2023, Vol. 13, Page 548*, 13(2), 548. <https://doi.org/10.3390/BUILDINGS13020548>
- Su, M., Yang, B., & Wang, X. (2022). Research on Integrated Design of Modular Steel Structure Container Buildings Based on BIM. *Advances in Civil Engineering*, 2022(1), 4574676. <https://doi.org/10.1155/2022/4574676>

- Taheri, E., Firouzianhaji, A., Mehrabi, P., Hosseini, B. V., & Samali, B. (2020). Experimental and Numerical Investigation of a Method for Strengthening Cold-Formed Steel Profiles in Bending. *Applied Sciences* 2020, Vol. 10, Page 3855, 10(11), 3855. <https://doi.org/10.3390/APP10113855>
- Takagi, J., Hayashi, A., Saito, K., & Ohsaki, M. (2022). Relationship between seismic design conditions and good design solutions for steel buildings. *J-Stage Top*, 87(802), 1257–1266. <https://doi.org/10.3130/AIJS.87.1257>
- Takagi, J., Obana, R., & Ohsaki, M. (2020). Superior design solutions of section sizes in steel buildings for different lateral frame systems and column shapes. *Japan Architectural Review*, 3(4), 445–458. <https://doi.org/10.1002/2475-8876.12156>
- Takva, Y., Takva, C., & Goksen, F. (2023). A Contemporary House Proposal: Structural Analysis of Wood and Steel Bungalows. *Engineering, Technology & Applied Science Research*, 13(3), 11032–11035. <https://doi.org/10.48084/ETASR.5896>
- Thomas, D. J. (2020). Using Finite Element Analysis Methods to Reduce the Failure of Building Structures. *Journal of Failure Analysis and Prevention*, 20(3), 615–616. <https://doi.org/10.1007/S11668-020-00900-2/FIGURES/1>
- Valenzuela-Beltrán, F., Llanes-Tizoc, M. D., Bojórquez, E., Bojórquez, J., Chávez, R., Leal-Graciano, J. M., Serrano, J. A., & Reyes-Salazar, A. (2022). Effect of the Distribution of Mass and Structural Member Discretization on the Seismic Response of Steel Buildings. *Applied Sciences* 2022, Vol. 12, Page 433, 12(1), 433. <https://doi.org/10.3390/APP12010433>
- Yang, C., Xu, B., Xia, J., Chang, H., Chen, X., & Ma, R. (2023). Mechanical Behaviors of Inter-Module Connections and Assembled Joints in Modular Steel Buildings: A Comprehensive Review. *Buildings* 2023, Vol. 13, Page 1727, 13(7), 1727. <https://doi.org/10.3390/BUILDINGS13071727>

ANEXOS



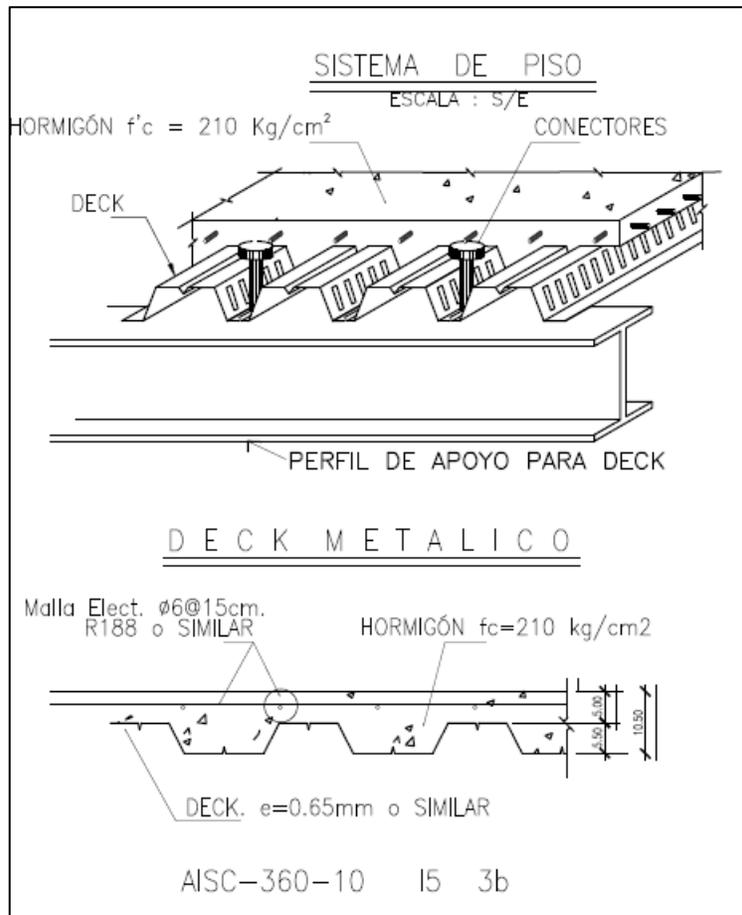
Anexo1: Sección de columnas para el modelado
Fuente: Autor



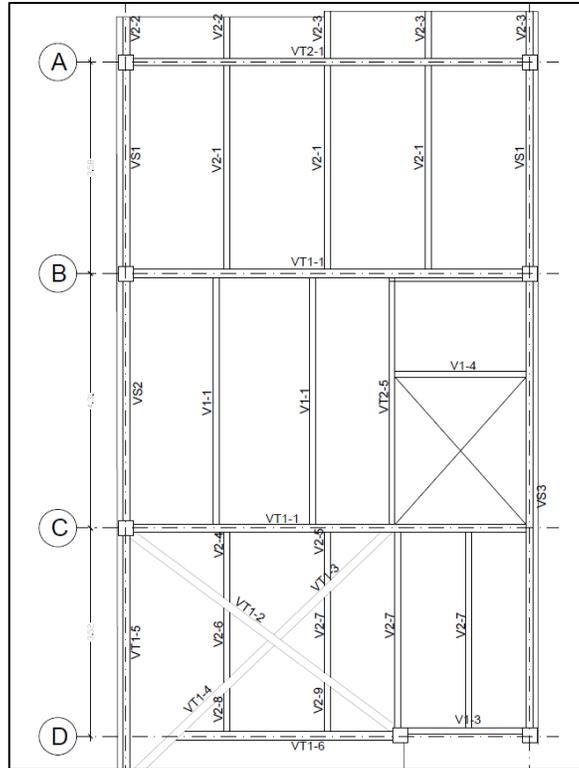
Anexo2: Propiedades del material en columna
Fuente: Autor

SECCIONES DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES			
PERFILES 160x8 374x4 Acero A50	PERFILES 110x6 258x3 Acero A50	PERFILES 100x5 210x3 Acero A36	PERFILES 110x6 - 248x3 Acero A36

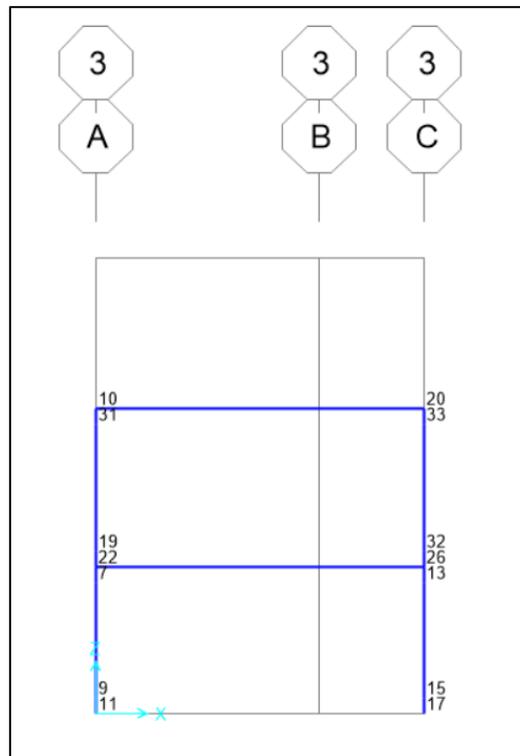
Anexo 3: Secciones de vigas de acero
Fuente: Planos estructurales



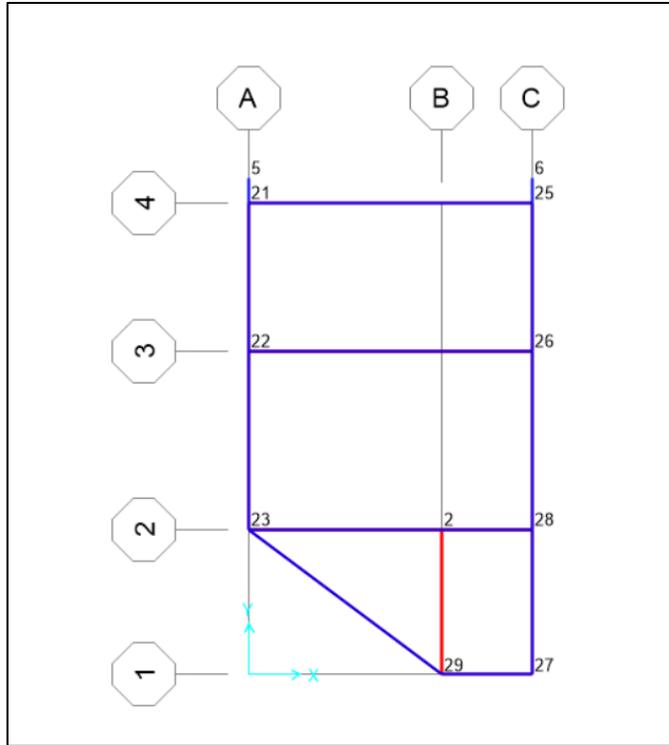
Anexo 4: Detalle de losa deck y sistema de piso
Fuente: Planos estructurales



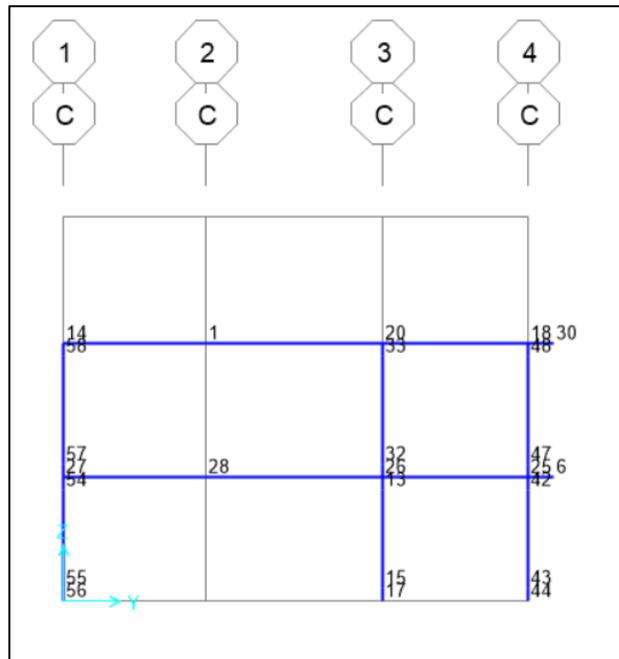
Anexo 5: Distribución de secciones de viga en planta
Fuente: Planos estructurales



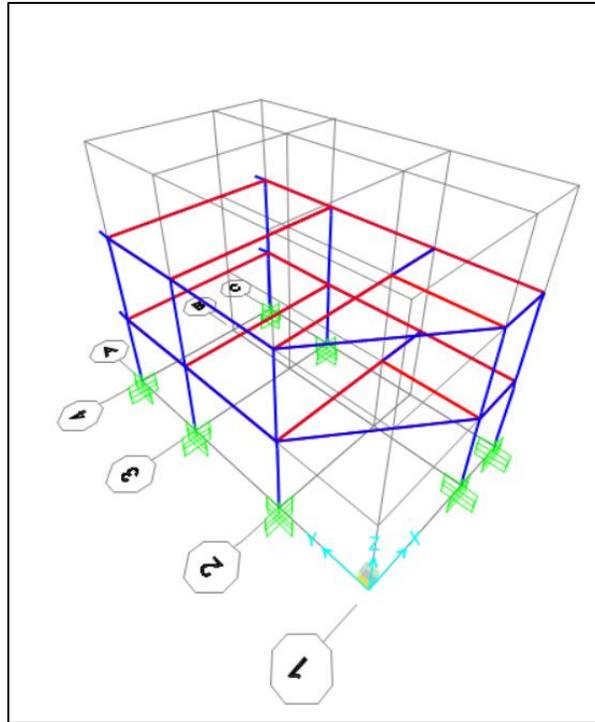
Anexo 6: Vista lateral del modelado
Fuente: Autor



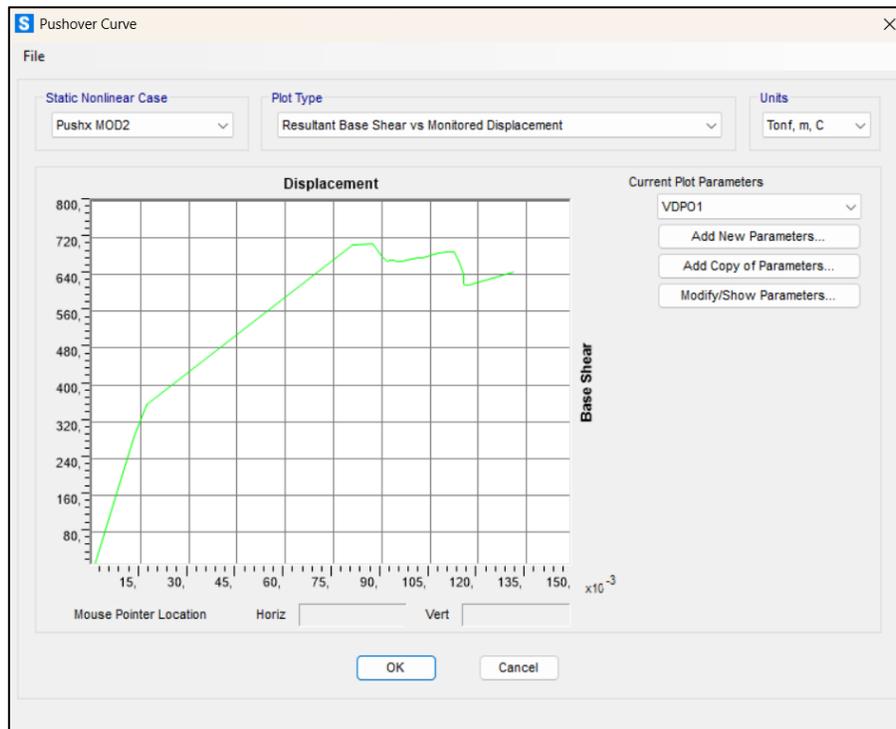
Anexo 7: Vista en planta del modelado
Fuente: Autor



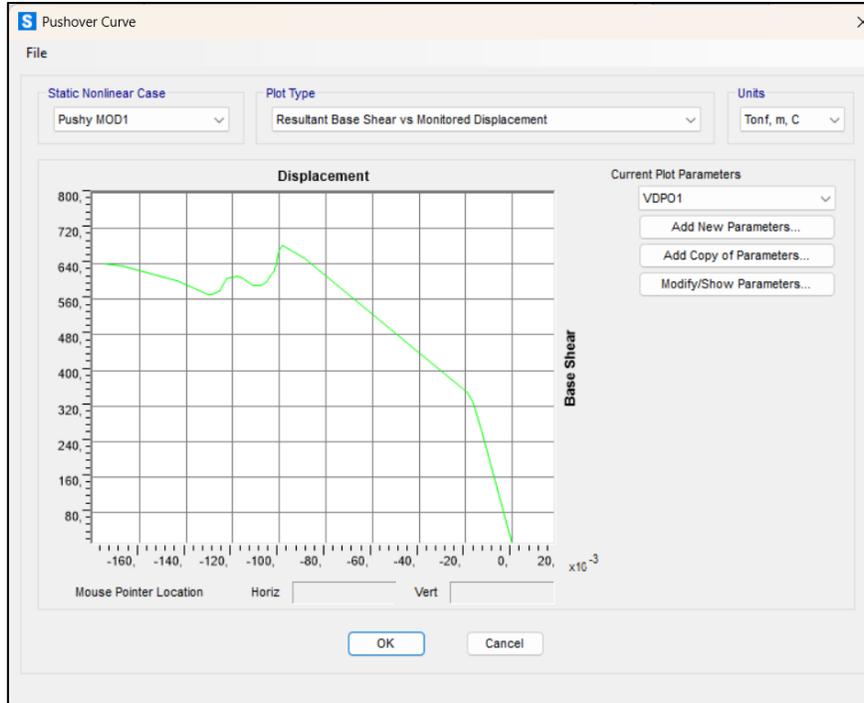
Anexo 8: Vista lateral del modelado
Fuente: Autor



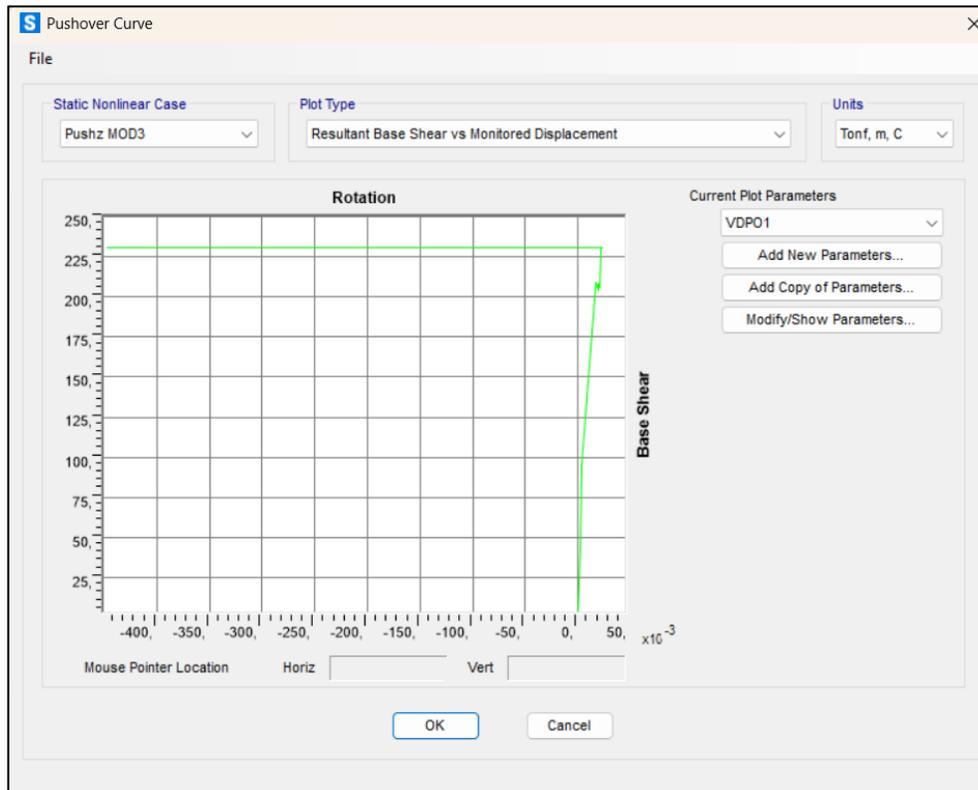
Anexo 9: Vista isométrica del modelado
Fuente: Autor



Anexo 10: Curva de desplazamiento en el modo 2
Fuente: Autor



Anexo 11: Curva de desplazamiento modo 1
Fuente: Autor



Anexo 12: Curva de desplazamiento modo 3
Fuente: Autor

Calculated Items

Edit

Units: Tonf, m, C

Item	Value
C0	0,9794
C1	1,
C2	1,
C3	1,
Sa	1,1
Te	0,145
Ti	0,145
Ki	20047,539
Ke	20047,539
Alpha	1,
R	0,598
Vy	256,8057
Weight	139,6004
Cm	1,

Done

Anexo 13: Coeficientes de interacción con curva
Fuente: Autor

Calculated Items

Edit

Units: Tonf, m, C

Item	Value
C0	0,9537
C1	1,
C2	1,
C3	1,
Sa	1,1
Te	0,1393
Ti	0,1393
Ki	22210,904
Ke	22210,904
Alpha	1,
R	0,5361
Vy	286,4608
Weight	139,6004
Cm	1,

Done

Anexo 14: Coeficiente de interacción con curva
Fuente: Autor

Modal Participating Mass Ratios

File View Edit Format-Filter-Sort Select Options

Units: As Noted

Filter: Modal Participating Mass Ratios

OutputCase	StepType	StepNum	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX	RY	RZ	SumRX	SumRY	SumRZ
	Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
MODAL	Mode	1	0.144863	0.241849	0.467901	0.002214	0.241849	0.467601	0.002214	0.025874	0.035601	0.009104	0.025874	0.035601	0.009104
MODAL	Mode	2	0.138726	0.448186	0.255729	0.000226	0.691015	0.72333	0.00244	0.019726	0.057151	0.021922	0.0456	0.092752	0.031026
MODAL	Mode	3	0.1071	0.027821	0.000868	0.004848	0.718836	0.724196	0.007287	0.002402	0.00567	0.672994	0.048002	0.098422	0.70402
MODAL	Mode	4	0.081706	0.003941	0.001152	0.074136	0.722777	0.725351	0.081423	0.03214	0.00119	0.00856	0.080141	0.099611	0.71258
MODAL	Mode	5	0.073427	0.006653	0.003148	0.09172	0.72943	0.728496	0.173143	0.03705	0.002637	0.008085	0.117192	0.102249	0.720664
MODAL	Mode	6	0.067531	1.7E-05	8.591E-06	0.11035	0.729447	0.728505	0.283493	0.095892	2.825E-07	4.687E-06	0.213083	0.102249	0.720669
MODAL	Mode	7	0.059679	1.5E-05	4.881E-06	0.094057	0.729482	0.72851	0.377549	0.08667	1.98E-06	9.96E-08	0.299753	0.102251	0.720669
MODAL	Mode	8	0.042031	3.2E-05	2.8E-05	0.052878	0.729494	0.728538	0.430428	0.095004	0.012359	5.362E-06	0.304757	0.11461	0.720675
MODAL	Mode	9	0.040706	7.864E-07	1.336E-08	0.001953	0.729495	0.728538	0.432381	0.029205	0.004748	6.701E-06	0.334042	0.119357	0.720681
MODAL	Mode	10	0.037721	0.001776	0.00081	0.041586	0.73127	0.729348	0.473966	0.006942	0.006441	7.8E-05	0.340965	0.125799	0.720757
MODAL	Mode	11	0.036488	5.2E-05	2.2E-05	0.002066	0.731323	0.729369	0.476933	0.024972	0.004142	6.4E-05	0.365957	0.12994	0.720822
MODAL	Mode	12	0.032099	0.134964	0.063521	0.000245	0.866306	0.79289	0.476278	0.024329	0.074781	0.009474	0.390285	0.204722	0.730296
MODAL	Mode	13	0.031545	0.058041	0.148317	0.000241	0.924347	0.941207	0.476518	0.047387	0.035788	0.000246	0.437672	0.24051	0.730541
MODAL	Mode	14	0.029085	0.001889	0.000235	0.001025	0.926036	0.941441	0.477543	0.000208	0.013494	1.31E-06	0.43806	0.254004	0.730542
MODAL	Mode	15	0.027023	0.003202	1.1E-05	1.5E-05	0.929238	0.941453	0.477558	3.8E-05	0.021019	8.382E-07	0.438098	0.275023	0.730543
MODAL	Mode	16	0.026187	0.000328	0.001581	0.000655	0.929566	0.943033	0.478213	0.002278	0.001414	0.068215	0.440376	0.276437	0.730759
MODAL	Mode	17	0.025321	0.012333	0.000455	0.000202	0.941899	0.943489	0.478415	1.5E-05	0.054798	0.094332	0.44039	0.331234	0.89309
MODAL	Mode	18	0.023347	0.001408	0.000189	3.83E-07	0.943308	0.943678	0.478415	8.8E-05	0.032447	0.028941	0.440478	0.363681	0.920031
MODAL	Mode	19	0.018404	0.001063	1.888E-06	0.015596	0.944371	0.94368	0.494011	0.001247	0.051699	2.521E-06	0.441725	0.41538	0.922034
MODAL	Mode	20	0.017989	5.248E-06	3.732E-07	0.004659	0.944376	0.94368	0.49887	0.003508	0.007249	0.0003	0.445233	0.42283	0.922334
MODAL	Mode	21	0.01759	2.551E-07	4.627E-07	0.007978	0.944378	0.94368	0.506649	0.010701	0.000206	3.309E-07	0.455933	0.422835	0.922334
MODAL	Mode	22	0.016677	0.001199	4.249E-06	0.013163	0.945576	0.943685	0.519812	0.00091	0.005181	6.008E-06	0.458843	0.478016	0.92234
MODAL	Mode	23	0.016314	7.585E-06	3.299E-07	0.013679	0.945583	0.943685	0.533491	0.001886	0.000104	0.000222	0.458729	0.47812	0.922562
MODAL	Mode	24	0.016097	7.106E-06	1.299E-07	2.947E-06	0.94559	0.943685	0.533494	0.000677	0.000496	0.000201	0.458406	0.478616	0.922763

Record: << < 1 > >> of 24 Double-click row header to view row details. Add Tables... Done

Anexo 15: Tabla de modos de vibración y masa participativa

Modal Periods And Frequencies

File View Edit Format-Filter-Sort Select Options

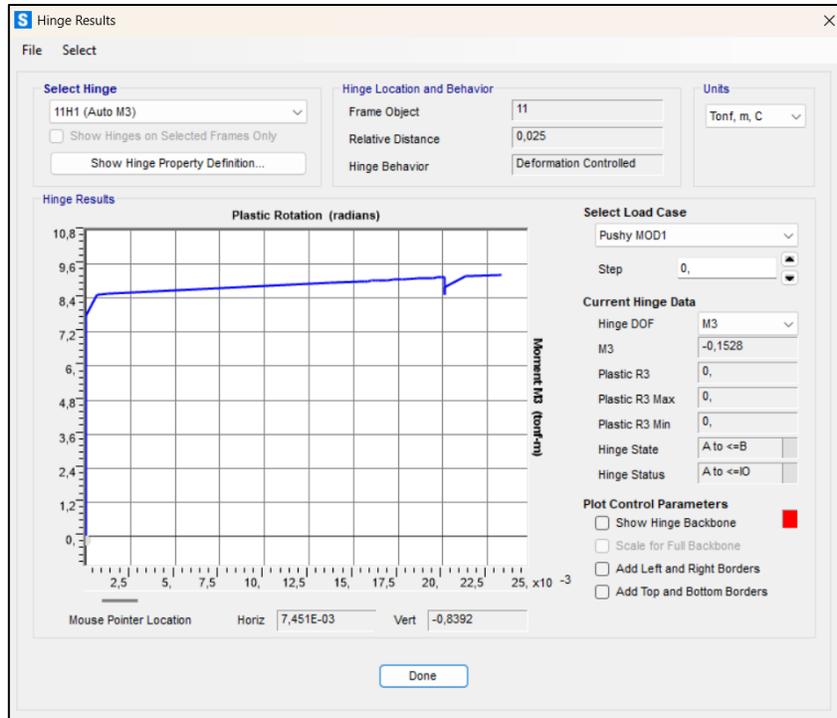
Units: As Noted

Filter: Modal Periods And Frequencies

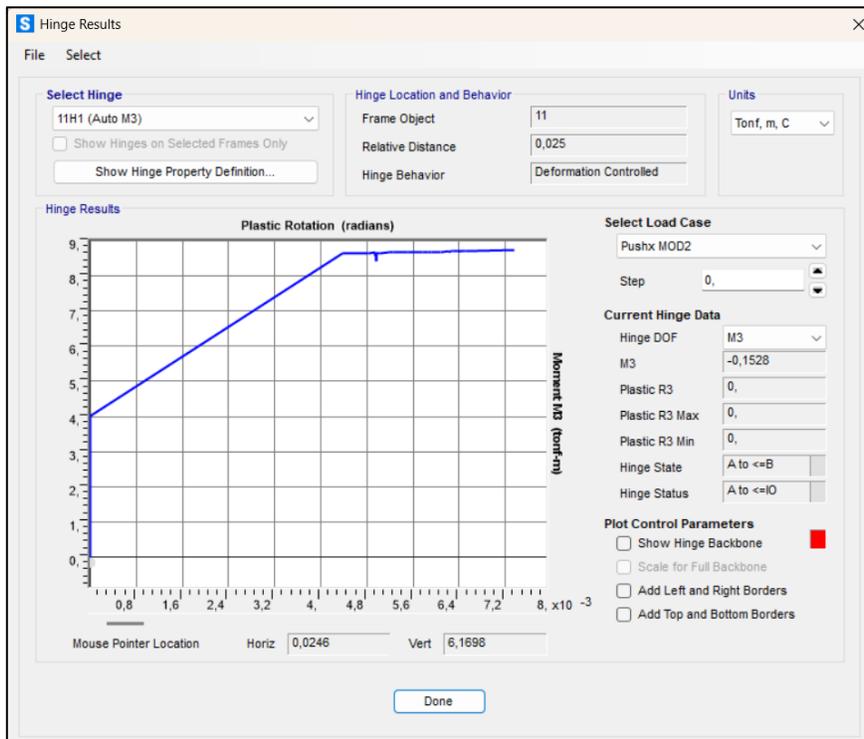
OutputCase	StepType	StepNum	Period	Frequency	CircFreq	Eigenvalue
	Text	Unitless	Sec	Cyc/sec	rad/sec	rad ² /sec ²
MODAL	Mode	1	0.144863	6.90306482	43.3732354	1881.23755
MODAL	Mode	2	0.138726	7.20643142	45.2919104	2051.35714
MODAL	Mode	3	0.1071	9.33704592	58.6663897	3441.74528
MODAL	Mode	4	0.081706	12.2389680	76.8997044	5913.56454
MODAL	Mode	5	0.073427	13.6189885	85.5706285	7322.33247
MODAL	Mode	6	0.067531	14.8080594	93.0417817	8656.77315
MODAL	Mode	7	0.059679	16.7003115	104.931152	11010.5468
MODAL	Mode	8	0.042031	23.7919928	149.489499	22347.1104
MODAL	Mode	9	0.040706	24.5665102	154.355936	23825.7551
MODAL	Mode	10	0.037721	26.5105420	166.570648	27745.7808
MODAL	Mode	11	0.036488	27.4227220	172.302044	29687.9944
MODAL	Mode	12	0.032099	31.1539792	195.748224	38316.5845
MODAL	Mode	13	0.031545	31.7012405	199.184768	39674.5721
MODAL	Mode	14	0.029085	34.3820589	216.028847	46666.4628
MODAL	Mode	15	0.027023	37.0052226	232.510871	54061.2123
MODAL	Mode	16	0.026187	38.1863770	239.932083	57567.4045
MODAL	Mode	17	0.025321	39.4924308	248.138261	61572.5967
MODAL	Mode	18	0.023347	42.8313697	269.117432	72424.1927
MODAL	Mode	19	0.018404	54.3362595	341.404787	116557.228
MODAL	Mode	20	0.017989	55.5892855	349.277822	121994.969
MODAL	Mode	21	0.01759	56.8510419	357.205631	127595.863
MODAL	Mode	22	0.016677	59.9614649	376.748995	141939.805
MODAL	Mode	23	0.016314	61.2981352	385.134976	148328.950
MODAL	Mode	24	0.016097	62.1222621	390.325684	152354.140

Record: << < 1 > >> of 24 Double-click row header to view row details. Add Tables... Done

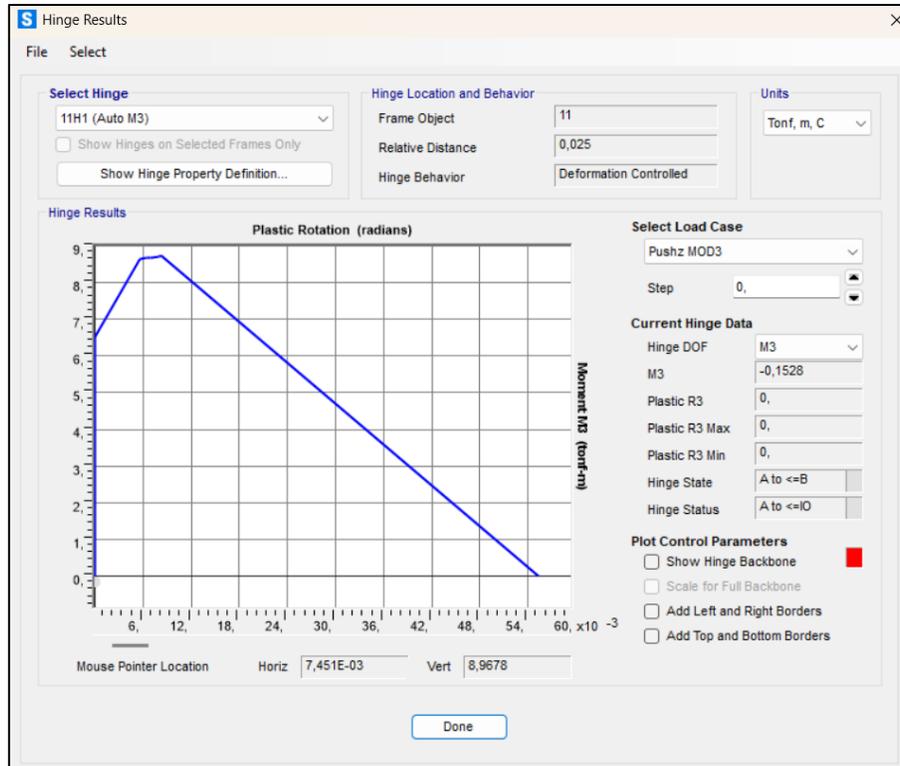
Anexo 16: Tabla de modos de vibración y periodos



Anexo 17: Curva de comportamiento de rótula plástica
 Fuente: Autor



Anexo 18: Curva de comportamiento de rótula plástica
 Fuente: Autor



Anexo 19: Curva de comportamiento de rótula plástica
Fuente: Autor

Espesor de placa	Altura de Losa		Volumen Hormigón	Cargas de peso propio (Kg/m ²)		
	Hormigón	Placa + Hormigón		Hormigón	Placa	Total
mm	cm	cm	m ³ /m ²	kg/m ²	kg/m ²	kg/m ²
0,65	5	10,50	0,08	188	6,38	194
	6	11,50	0,09	212	6,38	218
	8	13,50	0,11	259	6,38	265

Anexo 20: Detalle de placa metálica en losa
Fuente: Catálogo

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

Anexo 21: F_s en función del perfil de suelo y el factor z
Fuente: NEC – Peligro Sísmico

Nivel de sismo	Sismo	Probabilidad de excedencia en 50 años	Período de retorno T_r (años)	Tasa anual de excedencia ($1/T_r$)
1	Frecuente (menor)	50%	72	0.01389
2	Ocasional (moderado)	20%	225	0.00444
3	Raro (severo)	10%	475	0.00211
4	Muy raro* (extremo)	2%	2 500	0.00040

Tabla 9: niveles de amenaza sísmica

Anexo 22: Periodo de retorno en función del tipo de sismo
Fuente: NEC – Peligro Sísmico

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

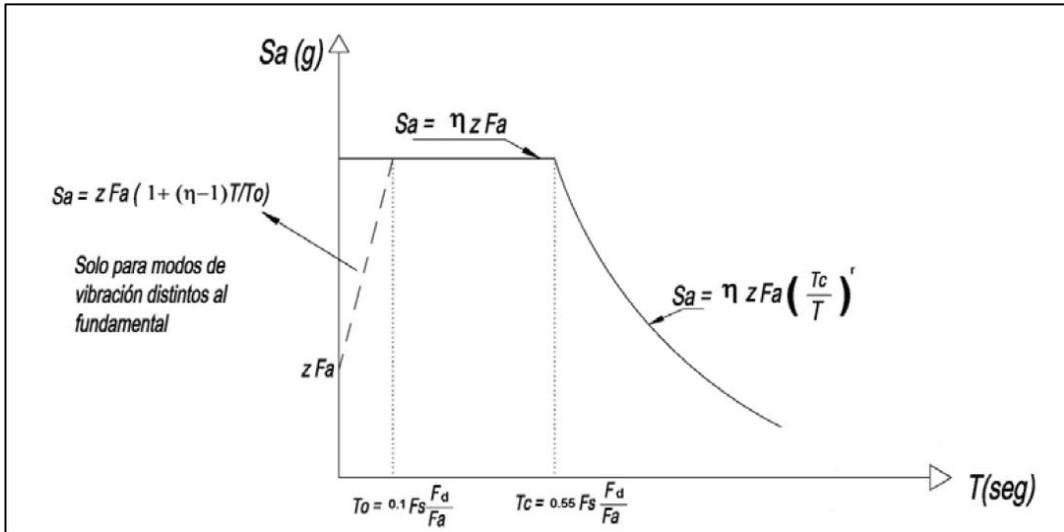
Tabla 3: Tipo de suelo y Factores de sitio F_a

Anexo 23: F_a en función del tipo de suelo y el factor Z
Fuente: NEC – Peligro Sísmico

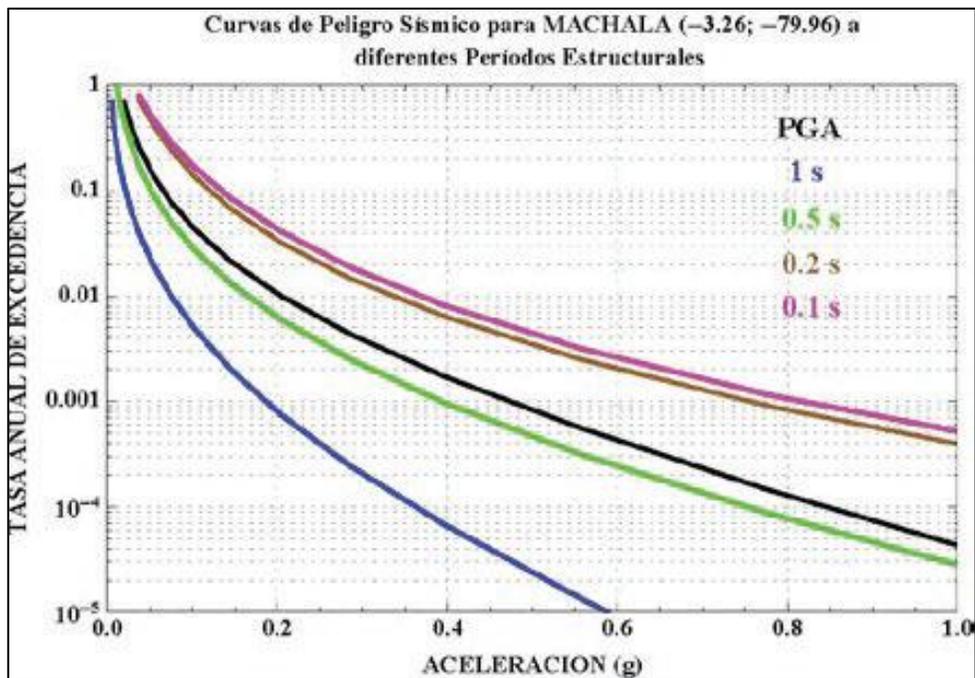
Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥0.5
A	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
B	1	1	1	1	1	1
C	1.36	1.28	1.19	1.15	1.11	1.06
D	1.62	1.45	1.36	1.28	1.19	1.11
E	2.1	1.75	1.7	1.65	1.6	1.5
F	Véase Tabla 2 : Clasificación de los perfiles de suelo y 10.6.4					

Tabla 4 : Tipo de suelo y Factores de sitio F_d

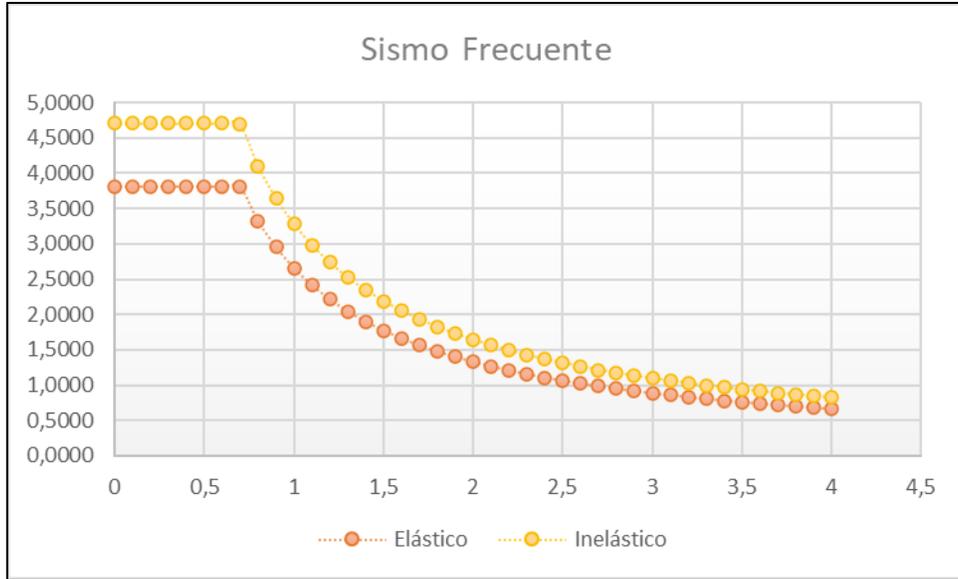
Anexo 24: F_d en función del tipo de suelo y el factor Z
Fuente: NEC – Peligro Sísmico



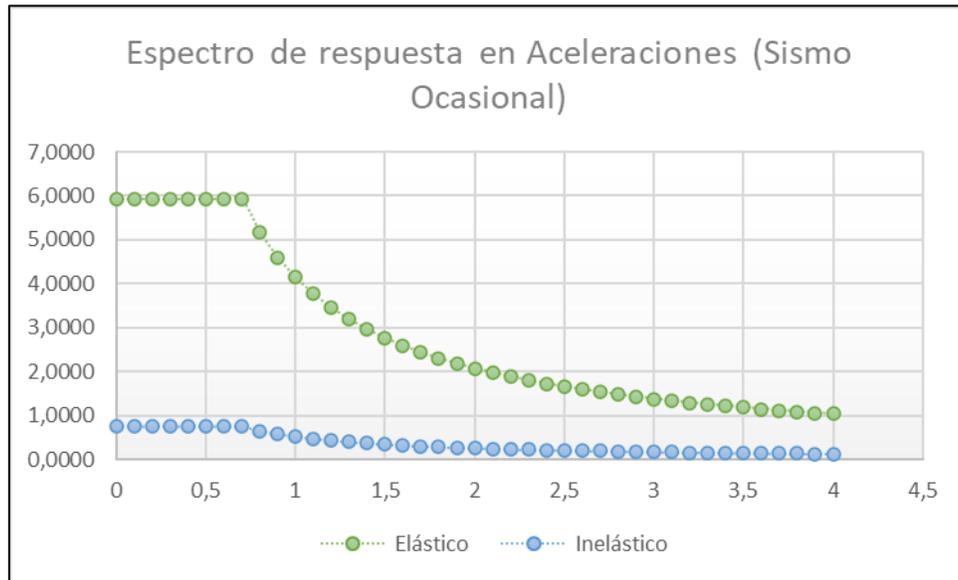
Anexo 25: Espectro de diseño en Aceleración
Fuente: NEC – Peligro Sísmico



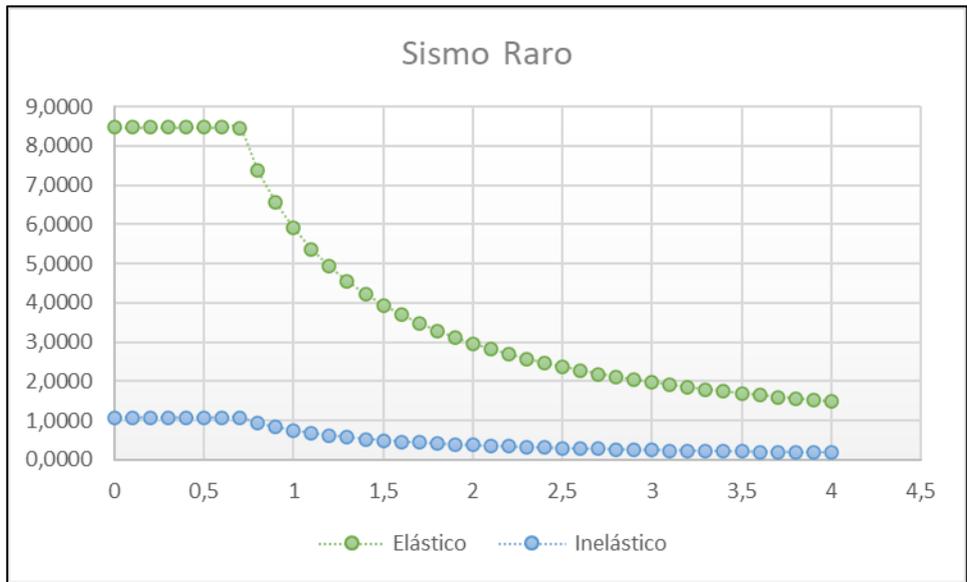
Anexo 26: Curva de Peligro Sísmico en Machala
Fuente: NEC – Peligro Sísmico



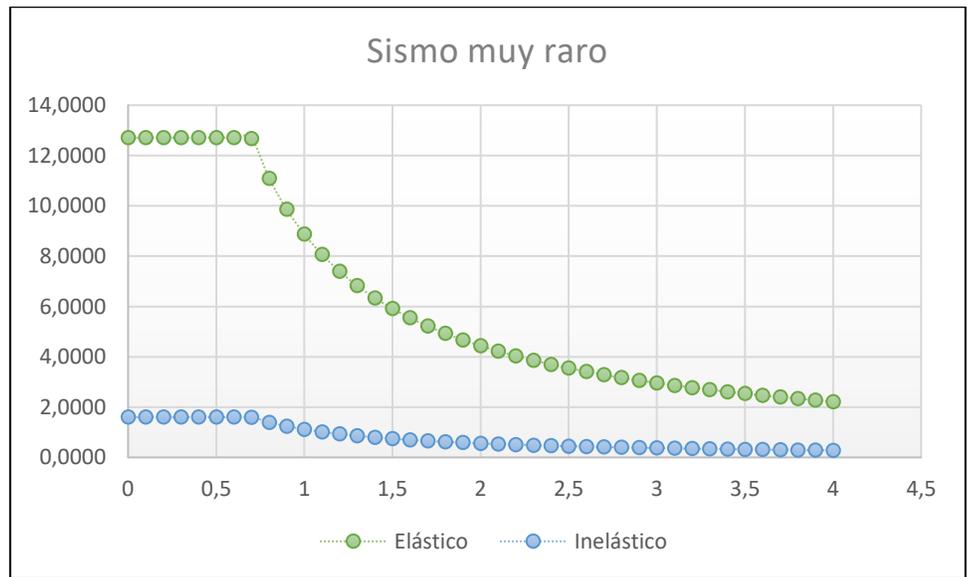
*Anexo 27: Espectro de diseño elástico e inelástico para sismo frecuente
Fuente: Autor*



*Anexo 28: Espectro de Diseño Elástico e Inelástico para Sismo Ocasional
Fuente: Autor*



Anexo 29: Espectro de Diseño en Aceleración para Sismo Raro



Anexo 30: Espectro de Diseño en Aceleración para Sismo muy Raro