



UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**Análisis estructural de elementos finitos en edificaciones con muros
portantes de ductilidad limitada en la ciudad de Machala**

**FERNANDEZ CASTILLO RAY SEBASTIAN
INGENIERO CIVIL**

**MACHALA
2024**



UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**Análisis estructural de elementos finitos en edificaciones con muros
portantes de ductilidad limitada en la ciudad de Machala**

**FERNANDEZ CASTILLO RAY SEBASTIAN
INGENIERO CIVIL**

**MACHALA
2024**



UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

PROYECTOS TÉCNICOS

**Análisis estructural de elementos finitos en edificaciones con
muros portantes de ductilidad limitada en la ciudad de Machala**

**FERNANDEZ CASTILLO RAY SEBASTIAN
INGENIERO CIVIL**

CARRION ROMERO LEYDEN OSWALDO

**MACHALA
2024**

Análisis estructural de elementos finitos en edificaciones con muros portantes de ductilidad limitada en la ciudad de Machala

por Ray Sebastián Fernández Castillo

Fecha de entrega: 06-ago-2024 12:31p.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2428233367

Nombre del archivo: Edificaciones_Tipo_Muros_Portantes_Ray_Fernandez_Castillo_Ok.pdf (616.84K)

Total de palabras: 8220

Total de caracteres: 41764

Análisis estructural de elementos finitos en edificaciones con muros portantes de ductilidad limitada en la ciudad de Machala

INFORME DE ORIGINALIDAD

1 %

INDICE DE SIMILITUD

1 %

FUENTES DE INTERNET

0 %

PUBLICACIONES

0 %

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

www.dspace.uce.edu.ec

Fuente de Internet

1 %

2

hdl.handle.net

Fuente de Internet

1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 40 words

Excluir bibliografía

Activo

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

El que suscribe, FERNANDEZ CASTILLO RAY SEBASTIAN, en calidad de autor del siguiente trabajo escrito titulado Análisis estructural de elementos finitos en edificaciones con muros portantes 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.



FERNANDEZ CASTILLO RAY SEBASTIAN

0706021193

RESUMEN

Dada la continuidad de sucesos sísmicos ocurridos en la actualidad en el relieve ecuatoriano, resulta necesario un estudio de la capacidad sísmica estructural de las edificaciones con diversos tipos de sistema estructural dando o quitando validez a lo dispuesto por normativa para los mismos, dado que los eventos telúricos ocurridos con anterior han demostrado que las edificaciones en la república del Ecuador no cumplen satisfactoriamente el requerimiento que se les solicita, puesto que ellas han visto comprometida su integridad ante eventos sísmicos por debajo de lo que en teoría se los ha diseñado.

Por lo que se dispuso del modelamiento de una edificación ya construida con muros portantes, generando una análisis no-lineal de ella, mostrando irregularidad en planta y elevación, y presentando discontinuidad en sus elementos estructurales, dando como resultados de estos problemas que la estructura se vea comprometida ante todos los eventos sísmicos mencionados en la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC) aconsejando que posterior a cualquiera de ellos se vea en la necesidad de generar una revisión a la estructura dada su limitada capacidad dúctil basados en los niveles de desempeño sísmico proporcionados por la FEMA 356 para el desarrollo del análisis no-lineal.

Palabras claves: Capacidad sísmica, Muros portantes, Norma Ecuatoriana de la Construcción, Análisis no-lineal, Desempeño sísmico.

ABSTRACT

Given the ongoing seismic events currently occurring in Ecuador's topography, it is necessary to study the seismic structural capacity of buildings with various types of structural systems, either validating or invalidating the provisions set by the regulations for them. This need arises because past seismic events have demonstrated that buildings in the Republic of Ecuador do not satisfactorily meet the required standards. These buildings have seen their integrity compromised by seismic events below the levels for which they were theoretically designed.

Therefore, a nonlinear analysis was conducted on an existing building with load-bearing walls. The building was modeled and found to be irregular in plan and elevation, presenting discontinuities in its structural elements. These issues result in the structure being compromised during all seismic events mentioned in the Ecuadorian Construction Code (NEC). It is recommended that, after any of these events, the structure should be reviewed due to its limited ductile capacity, based on the seismic performance levels provided by FEMA 356 for the development of the nonlinear analysis.

Keywords: Seismic Capacity, Bearing Walls, Ecuadorian Construction Code, Nonlinear Analysis, Seismic Performance.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	8
CAPITULO I.....	9
1 Planteamiento del problema	9
1.1 Línea Base.....	9
1.1.1 Vulnerabilidad sísmica	9
1.1.2 Sismo de profundidad intermedia en el golfo de Guayaquil	10
1.2 Descripción de la situación problemática	10
1.3 Formulación del problema	11
1.3.1 Problema central	11
1.3.2 Problemas secundarios.....	11
1.4 Delimitación del objeto de estudio.....	11
1.4.1 Contenido.....	11
1.4.2 Espacial.....	12
1.4.3 Temporal.....	12
1.5 Justificación.....	12
1.6 Objetivo general	12
1.7 Objetivos específicos	13
CAPITULO II.....	14
2 Marco teórico.....	14
2.1 Antecedentes contextuales	14
2.1.1 Macro.....	14
2.1.2 Meso.....	14
2.1.3 Micro.....	15
2.2 Antecedentes conceptuales.....	15

2.3	Antecedentes referenciales.....	16
CAPITULO III.....		18
3	Metodología.....	18
3.1	Análisis de Elementos Finitos (AEF) para muros portantes	18
3.1.1	Selección del software	18
3.1.2	Definición del modelo	18
3.1.3	Discretización del modelo	19
3.2	Análisis no-lineal estático	19
3.2.1	Configuración del análisis no-lineal	19
3.2.2	Aplicación de cargas incrementales.....	20
3.2.3	Curva Pushover.....	20
3.2.4	Análisis de resultados no-Lineales	21
CAPITULO IV		23
4	Análisis e interpretación de datos.....	23
4.1	Delimitación del área de trabajo	23
4.2	Definición de materiales	23
4.2.1	Acero.....	23
4.2.2	Concreto.....	23
4.3	Definición de secciones.....	24
4.3.1	Antepecho y dintel (ventanas)	24
4.3.2	Dintel (puertas)	24
4.3.3	Unión muro-losa	24
4.3.4	Viga de escalera.....	24
4.3.5	Losa.....	25
4.3.6	Cubierta.....	25

4.3.7	Columna de fachada.....	25
4.3.8	Mallado de elementos	25
4.4	Composición de la edificación.....	25
4.5	Condiciones de apoyo	25
4.6	Asignación de nudos fuertes	26
4.7	Asignación de diafragmas.....	26
4.8	Rótulas plásticas.....	26
4.9	Patrones de carga.....	26
4.10	Cargas aplicadas.....	26
4.10.1	Carga muerta.....	26
4.10.2	Carga viva	27
4.11	Carga sísmica reactiva.....	27
4.12	Casos de carga.....	27
4.12.1	Caso de carga por gravedad.....	27
4.12.2	Caso de carga Pushover	27
4.12.3	Caso de carga por sismo	28
4.12.3.1	Sismo frecuente	29
4.12.3.2	Sismo Ocasional	29
4.12.3.3	Sismo Raro (Diseño)	29
4.12.3.4	Sismo Muy Raro.....	29
4.13	Curva de Capacidad	30
4.14	Resultados	30
4.15	Interpretación de Resultados	31
CAPITULO V.....		33
5	Conclusiones y Recomendaciones	33

5.1	Conclusiones	33
5.2	Recomendaciones.....	33
6	Referencias Bibliográficas.....	34
	ANEXOS	38

INTRODUCCIÓN

El presente proyecto denota la relevancia de las edificaciones con sistema estructural de muros portantes en la ciudad de Machala dada sus cualidades, ya que presenta un modelo diferente a los tradicionales pórticos especiales a momentos permitiendo que las estructuras diseñadas en esta ciudad consten con un panorama diferente en el ámbito estructural, el que puede ser una alternativa con mayor capacidad y resistencia a las cargas que en ella se imponen, considerando las condiciones y el entorno que envuelve la zona tomada como objetivo de análisis.

En la ciudad de Machala siempre el sistema estructural usado ha sido pórticos especiales a momentos, con los que, hasta hoy, se pretende que, junto con la normativa local, hagan garantizar la seguridad de las estructuras y de las personas que en ellas habitan. Sin embargo, esto último puede ser puesto en duda, dado que en los últimos años se han presentado varios eventos sísmicos que han golpeado con fuerza a diversas ciudades del territorio ecuatoriano siendo uno de estas la ciudad de Machala, en donde es posible ver la afectación que estos movimientos telúricos han generado en las edificaciones, mostrando la vulnerabilidad de la que es participe la zona de análisis.

El desarrollo del proyecto se presenta de forma que lo primero en mostrarse es el planteamiento del problema, en donde se muestran la condición de entorno que afectan a la zona de análisis, en donde se determinan los problemas que son la razón de ser de este proyecto, siguiendo con plantearse el alcance de a donde se pretende llegar y justificándolo en relación a la problemática a tratar, en donde posteriormente se sistematiza la planificación de cómo tratar el problema haciendo uso de objetivos que lleven un orden de secciones parciales del trabajo, permitiendo que el proyecto siga un camino definido que facilite el desarrollo del mismo. Luego de definir el planteamiento del problema se gestiona la metodología a utilizar, que consta de la organización de antecedentes contextuales que presentan la relación del problema a tratar en este proyecto con referente a otros con una temática similar, antecedentes referenciales que serán fundamentales para girar el proyecto, y antecedentes conceptuales con términos relativos al tema tratado.

CAPITULO I

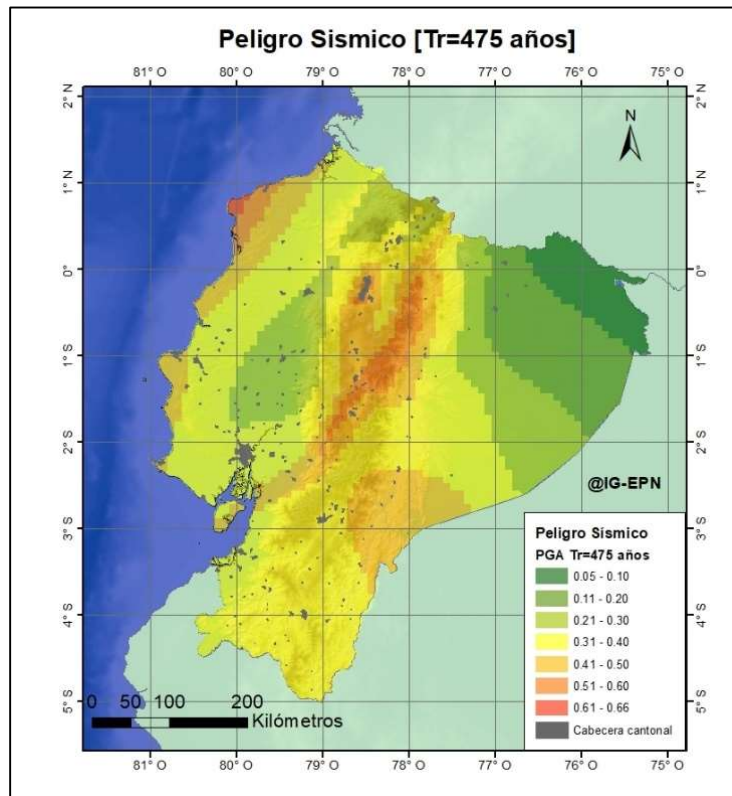
1 Planteamiento del problema

1.1 Línea Base

1.1.1 Vulnerabilidad sísmica

El instituto Geofísico del Ecuador ha realizado los estudios correspondientes para determinar la aceleración que se puede presentar en diversas zonas dentro del territorio ecuatoriano, representado en la Ilustración 1.

Ilustración 1: Mapa de peligro sísmico para un periodo de retorno de 475 años.



Fuente: Instituto Geofísico, 2024.

A partir de lo que se ha dispuesto que para el cantón Machala esta sea catalogada como de alta peligrosidad sísmica ubicado en zona sísmica V, dando como resultado que la aceleración que afecta a esta zona denominado como “Z” sea asumida con el valor de 0.40 g (siendo "g" el valor de la gravedad) ver Tabla 1.

Tabla 1: Valores del factor Z en función de la zona sísmica adoptada.

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

Fuente: Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-2015).

1.1.2 Sismo de profundidad intermedia en el golfo de Guayaquil

El 18 de marzo ocurrió un sismo en Ecuador a las 12:12 del mediodía. El epicentro se localizó en el Golfo de Guayaquil, a una profundidad de 63.1 km, con una magnitud de 6.64 Mw. Este evento dañó edificios que no contaban con un diseño adecuado. Es importante destacar que el sismo no alcanzó la intensidad esperada para un periodo de diseño de 475 años, lo que evidencia la fragilidad de muchas estructuras en Ecuador.

1.2 Descripción de la situación problemática

Ya se ha demostrado con los eventos sísmicos evidenciados en los últimos años que las edificaciones en el territorio ecuatoriano no son construidas de la manera debida dado que muchas de las mismas no han sido capaces siquiera de resistir a aceleraciones menores que la del sismo raro correspondiente con el que se deben diseñar las estructuras en Ecuador. Lo que consterna a la población y propone un reto para los ingenieros civiles que deben enfrentar la realidad que vive el país y buscar alternativas apropiadas para dar corrección a los errores de pasado.

El mantenimiento en casi cualquier tipo de obra civil es algo con lo que no se cuenta hoy, ya que no suele solicitarse en la contratación de la obra o, en sí, el método de mantenimiento usado para el mismo no sea eficiente. Con el tiempo las obras van deteriorando de manera apresurada, con lo que el periodo de diseño que se planteó se reduce y, aún más importante, esto puede generar que la edificación no responde de la manera prevista ante el sismo.

Un diseño de cimentaciones inadecuado por un mal estudio geotécnico o su ausencia puede generar que la estabilidad de la estructura se compromete, afectado directamente a la edificación, dado que la misma se fundamenta en que la superficie donde se asienta soporta

las diversas cargas que en ella participen. Con la presencia de esta inestabilidad la edificación puede presentar agrietamientos en elementos tanto no estructurales como estructurales.

La problemática para enfrentar la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones de muros portantes en Machala se fundamenta en su posible diseño que incumple alguna de las recomendaciones que dispone la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC), por lo que su capacidad sísmica puede verse comprometida en edificaciones que presentan dicha característica. En base a lo anterior, se presume que, las edificaciones que se salgan de los parámetros mencionado en la normativa pueden llegar a colapsar de forma parcial o total, peligrando de esta forma la vida de las personas que en ella habitan o desarrollan sus actividades cotidianas.

1.3 Formulación del problema

1.3.1 Problema central

¿Los habitantes de la ciudad de Machala reciben un adecuado diseño estructural de edificaciones con muros portantes?

1.3.2 Problemas secundarios

- ¿Cuál es un adecuado proceso constructivo que permita mantener el daño en la estructura bajo control?
- ¿Qué plan de mantenimiento deben recibir las edificaciones de muros portantes para que las misma cumplan con el periodo de diseño requerido?
- ¿Cómo debe ser una adecuada cimentación para muros portantes que mantenga una correcta estabilidad de la estructura?

1.4 Delimitación del objeto de estudio

1.4.1 Contenido

- Campo: Ingeniería civil
- Área: Estructural
- Aspectos: Edificaciones de muros portantes

1.4.2 Espacial

La ciudad de Machala se encuentra dentro del territorio Ecuatorial, específicamente en la provincia de El Oro, siendo la capital de la misma, limitado al norte con el cantón El Guabo, al sur con Santa Rosa, al este con Pasaje y Santa Rosa, y al oeste con el archipiélago de Jambelí.

1.4.3 Temporal

El proyecto se realizará en la división de dos fases, la primera en desarrollo en el noveno semestre de la carrera, continuando con la fase dos mientras transcurre el décimo semestre.

1.5 Justificación

Este proyecto se basa en la importancia de la edificación en la ciudad de Machala hoy en día, siendo de la más relevante en el aspecto urbano de la ciudad, en donde se registra mayor densidad poblacional. Puesto que, a su vez, la población hace uso de estas en diversos propósitos, tanto en lo educativo como en la salud, y como no, en el aspecto social y cultural. Resulta necesario un correcto estudio de los mismos si se precisa la construcción de cualquier tipo de estructura.

Dado que las edificaciones con muros portantes no son muy comunes en la ciudad de Machala, hay que tener varias consideraciones en cuanto al diseño a la construcción de esta. Por lo que realizar un análisis de ellas resulta imprescindible para que la población de esta ciudad se siga expandiendo a nuevos horizontes.

Además de, que el presente trabajo sirva para la obtención del correspondiente título universitario de ingeniería civil al culminar con éxito el proceso respectivo.

1.6 Objetivo general

Determinar el desempeño de las edificaciones con muros portantes en la ciudad de Machala a través del análisis de sus propiedades y entorno en el que se desenvuelve permitiendo identificar las cualidades sísmicas de las mismas.

1.7 Objetivos específicos

- Definir conceptos estructurales a partir de la información proporcionada por diversos autores proporcionando un mayor conocimiento de lo trata en el presente proyecto.
- Evaluar la capacidad sísmica que presentan a las edificaciones con el sistema estructural tratado por medio de la interpretación de resultados del respectivo análisis.
- Generar un informe representativo consolidando los conceptos y resultados obtenidos a fin de que el mismo sea usado como referencia para la expansión del campo investigativo en que se desarrolla.

CAPITULO II

2 Marco teórico

2.1 Antecedentes contextuales

2.1.1 Macro

Se denota de diferenciación en resultados obtenidos del método estático equivalente frente a al proceso desarrollado en el análisis modal, siendo en su mayoría la alza en los resultados del método estático, siendo pocos los parámetros en los que el análisis modal supera al método antes mencionado. (Cu, 2021)

El uso del modelo numérico Shell Layered en el software ETABS permite generar un análisis n-lineal en muros reforzados, y en base a los resultados obtenidos se puede dar credibilidad de que los datos recopilados del respectivo análisis representan la capacidad de la estructura en cuanto a desplazamientos y resistencia. (Cuesvas Rosero et al., 2020)

En Latinoamérica, la construcción de muros de hormigón armado presentan gran similitud en su diseño en baja a altura versus su diseño en gran altura, solo destacando que, en baja altura, los muros únicamente son reforzados una capa de malla de acero de refuerzo, mientras que en edificaciones con más de dos pisos, el refuerzo dispuesto en el muros se presenta en dos capas, pretendiendo ganar capacidad al enfrentarse a las deficiencias posiblemente encontradas en edificaciones de gran altura (Almeida Navarrete et al., 2023)

Los muros de corte de placas de acero (SPSW) son una alternativa viable en el diseño de edificaciones que pretenden soportar grandes fuerzas cortantes. Dada su relevante rigidez en flexión, permite que la carga lateral dirigida al marco sea re-direccionada al muro, quien es capaz de absorber dicha carga sin afectar considerablemente al marco. (Akbar et al., 2022)

2.1.2 Meso

En la zona de Challuabamba y Misicata, ubicada en la ciudad de Cuenca, en la provincia de Azuay, dispone de un sistema constructivo combinado de vigas de acero con muros de hormigón, en donde se destaca la importancia de cada una de las partes de este diseño para su adecuado funcionamiento. Se puede notar la relevancia de los muros en el diseño de

edificaciones dada su gran capacidad en flexión, tracción y corte, además de contar un comportamiento sísmico que supera a sus rivales de mercado. (Orellana-Jara & Maldonado-Noboa, 2022)

Dadas las condiciones actuales en el entorno ecuatoriano en cuanto a la disponibilidad habitacional, resultando importante destacar lo pertinente que resulta el contar con materiales adecuados que aporten a capacidad sísmica de las edificaciones, teniendo que ser estos eficientes en desempeño energético y que requiera una solicitud energética reducida en su producción. (Arroba et al., 2023)

En sistemas estructurales convencionales resulta evidente su falencia en la capacidad de soporte a cargas laterales, pero además de eso se ha notado que en algunas ocasiones también se presentan deficiencias en su comportamiento estructural al enfrentar a carga gravitacionales, esto posiblemente ocasionado por una cimentación inestable o por un decrecimiento de sección de columnas a medidas que se eleva en número de piso. (Zevallos-Ludeña et al., 2022)

2.1.3 Micro

Dentro de la zona de estudio del presente proyecto, se ha encontrado el desarrollo de análisis dinámico lineal en sistemas convencionales, por medio del método de Tiempo-Historia haciendo uso de acelerogramas sintéticos, obteniendo que, los desplazamientos verticales en respuesta sísmica no resultan significativos. (Morocho-Orellana et al., 2022)

2.2 Antecedentes conceptuales

La construcción de obras civiles conlleva una serie de sucesos que pueden ocurrir en el desarrollo de ellas ocasionando que las mismas colapsen, las principales son originadas por eventos fortuitos, los cuales comúnmente son generados por la negligencia de los participantes en el proyecto. (Chmielewski et al., 2021)

En Uzbekistan y en el resto del mundo la utilidad de las edificaciones es variante dentro de una gran cantidad de posibilidades, con las cuales resulta necesario tener en cuenta la disposición de estas para un adecuado diseño estructural que permita soportar la exigencia que estas ocasionan sobre la estructura, optando por tomar como alternativa para eso tipos de

esfuerzos la aplicación del sistema de muros revestidos con armazón, demostrando su gran capacidad para soportar estos requerimientos. (Khodjaev & Karimjonov, 2022)

Requisitos para diseño de muros (Mishra, 2019):

- En unión de muros ortogonales usar refuerzos horizontales.
- Uso de bandas de refuerzo horizontal de hormigón armado, facilitando la continuidad de cargas entre ejes.
- Uso de banda tipo pedestal como contramedida a la humedad, baja consistencia de suelo y variación del mismo.
- En aperturas o vacíos usar bandas dintel en cada una de sus plantas.

Dada su disponibilidad y simplificado proceso constructivo los diseños que cuenta con una estructura de mampostería resultan llamativos en sector urbano, y a su vez estos captan la atención de investigadores científicos buscando ampliar este campo de conocimiento. (Huang et al., 2021)

Para denotar el gran crecimiento en los ámbitos de la tecnología, así como en el de la información se muestra la posibilidad de aplicar en el apartado estructural lo conocido como optimización estructural, logrando por medio de estos un mayor rendimiento que en condiciones normales. (Elkabany et al., 2020)

La diferenciación entre cargas críticas en análisis lineal y no-lineal en la estabilidad de estanterías cantiléver, describe la base portadora de edificios de altura considerable. (Inozemtseva & Inozemtsev, 2022)

Dado el contexto en que se desenvuelve la edificación, debido a factores como pueden ser: fortificación sísmica, altura estructural, regularidad y tipología de construcción, el rendimiento de las mismas puede verse alterado, generando diversos problemas antes y después de movimientos telúricos, ocasionando complejidad en costos y procesos de reconstrucción de daños. (Ling et al., 2019)

2.3 Antecedentes referenciales

En zonas con alto riesgo sísmico ($z \geq 5$) se ha verificado que el sistema estructural de muros portantes refleja una mayor capacidad al daño controlado, lo cual fue comprobado en una

edificación de dos plantas por medio del uso de software de análisis estructural. (Caraguay Salinas, 2018)

En estudios referentes al diseño estructural de edificaciones de muros portantes que presenta una limitada ductilidad, el correcto diseño siguiendo la normativa vigente en la localidad y global, permite que la estructura trabaje adecuadamente frente a eventos sísmicos en zona con alto nivel de peligro sísmico. (Valencia Chuquimarca, 2020)

CAPITULO III

3 Metodología

La metodología del presente proyecto se basa en un estudio cuantitativo de los datos obtenidos a partir del análisis no lineal estático de estructuras de muros estructurales. El tipo de investigación usado es documental, dado que se presentarán resultados de las propiedades y comportamiento de la estructura analizada. El caso por analizar se centra en el estudio de muros portantes, en los cuales se realizará la metodología descrita a continuación.

3.1 Análisis de Elementos Finitos (AEF) para muros portantes

Para facilitar el análisis en el estudio de comportamiento estructural bajo diversas condiciones de cargas se recurre a un análisis de elementos finitos, siendo una técnica numérica que permite descomponer una estructura compleja en elementos con mayor simplicidad.

3.1.1 Selección del software

Buscando una mejor precisión y disponibilidad instrumental que permita un reconocimiento valorado de estructuras con muros portantes, se ha optado por SAP2000 como la alternativa más viable, dada su reconocimiento y amplio uso en la industria, y dado que cumple satisfactoriamente los parámetros buscados en el mismo.

3.1.2 Definición del modelo

- Geometría del muro: Se ingresará la altura, espesor y longitud de cada uno de los muros, incluyendo en ellos las aperturas por efecto de detalles arquitectónicos y de uso, permitiendo la interpretación de las dimensiones y a su vez de la configuración estructural dada la posición de cada uno de los muros.
- Propiedades de materiales: Se describirán las características mecánicas del material utilizado en el muro, incluyendo el módulo de elasticidad, el coeficiente de Poisson, y las resistencias a la compresión y tracción. Se contemplará el empleo de materiales como el concreto, la mampostería o el ladrillo.
- Condiciones de borde: Se identificarán las condiciones de soporte y restricciones del muro, tales como empotramientos, apoyos simples o deslizantes. Estas condiciones son cruciales para simular con precisión el comportamiento del muro en la práctica.

3.1.3 Discretización del modelo

Se generará una malla que se adapte de manera adecuada a la geometría del muro. Se elegirá el tipo de elemento y el tamaño de malla óptimos para garantizar criterios de convergencia, asegurando que los resultados del análisis sean precisos. Esto implica verificar que los desplazamientos y los esfuerzos se estabilicen a medida que la malla se refina. (Portugal Quevedo, 2017)

3.2 Análisis no-lineal estático

El análisis no lineal estático es una técnica avanzada que permite captar los efectos de la no linealidad material y geométrica en la respuesta estructural de los muros portantes. Este enfoque es especialmente útil para evaluar la capacidad de carga última y el comportamiento post-elástico de las estructuras. Dentro de la no linealidad, se consideran dos aspectos principales (Tamásco Sandoval et al., 2023):

No-linealidad Geométrica: Se tienen en cuenta los efectos de grandes desplazamientos y deformaciones en la estructura. Este tipo de análisis es esencial cuando las deformaciones son significativas y pueden comprometer la estabilidad global del muro (Hoogendoorn et al., 2021).

No-linealidad de material: Se emplean modelos constitutivos avanzados para representar el comportamiento no lineal de los materiales. Esto incluye modelos de daño plástico, curvas tensión-deformación no lineales y modelos de fractura para simular el comportamiento post-pico (Lagos et al., 2021).

3.2.1 Configuración del análisis no-lineal

Se establecerán criterios específicos de daño y colapso para el material del muro, los cuales pueden incluir la tensión máxima, la deformación última y modelos de daño acumulado. Para resolver las ecuaciones no lineales, se utilizarán algoritmos iterativos como el método de Newton-Raphson y el método de Jacobi. Estos métodos son fundamentales para encontrar soluciones precisas cuando se presentan no linealidades. (Hung & Hsieh, 2020)

3.2.2 Aplicación de cargas incrementales

Las cargas se aplicarán de manera incremental para observar el comportamiento del muro a lo largo de todo el rango de cargas hasta llegar al colapso. Este enfoque permite identificar los puntos de inicio de falla y el comportamiento no lineal progresivo.

Se generarán curvas de capacidad que muestren la relación entre la carga aplicada y el desplazamiento resultante, como en el caso de la curva pushover. Estas curvas son esenciales para evaluar la ductilidad y la resistencia del muro. (Al Agha & Umamaheswari, 2020)

3.2.3 Curva Pushover

La curva pushover es una herramienta esencial en el análisis sísmico de estructuras, especialmente en el contexto del análisis no lineal estático. Esta curva correlaciona dos parámetros principales:

- **Fuerza aplicada:** Representa la fuerza lateral total aplicada a la base de la estructura durante el análisis pushover. Es una medida de la capacidad de carga lateral de la estructura y se incrementa gradualmente durante el análisis para simular las fuerzas sísmicas crecientes.
- **Desplazamiento lateral:** Representa el desplazamiento lateral acumulado de un punto específico en la estructura, típicamente en la parte superior (techo). Este parámetro refleja la deformación de la estructura en respuesta a las fuerzas aplicadas y es crucial para evaluar la ductilidad y el comportamiento no lineal de la estructura.

La curva pushover presenta las siguientes características (Barreto, 2023):

- **Región elástica:** Al principio de la curva, la relación entre la fuerza aplicada y el desplazamiento es lineal. Esto indica que la estructura responde de manera elástica, y los desplazamientos se recuperan completamente si se retiran las cargas.
- **Punto de fluencia:** Este punto marca el inicio del comportamiento no lineal de la estructura. A partir de aquí, se observan deformaciones plásticas permanentes.
- **Región plástica:** Después del punto de fluencia, la curva se vuelve no lineal. La pendiente disminuye, indicando que se requieren incrementos mayores de fuerza para

producir incrementos adicionales en el desplazamiento. Esta región refleja el comportamiento post-elástico y la capacidad de disipación de energía de la estructura.

- Punto de capacidad máxima: Representa el máximo valor de fuerza que la estructura puede soportar antes de perder su capacidad de carga significativa. Más allá de este punto, la estructura puede experimentar un colapso progresivo.
- Descenso: En algunos casos, la curva puede mostrar una caída en la capacidad de carga después de alcanzar el punto máximo, indicando la degradación y falla de los componentes estructurales.

La curva pushover se utiliza para evaluar (Echavarría et al., 2023):

- Capacidad de carga: Determinar la capacidad máxima de carga lateral de la estructura.
- Ductilidad: Medir la capacidad de la estructura para deformarse más allá del límite elástico sin perder su capacidad de carga significativa.
- Puntos de inicio de falla: Identificar las zonas críticas donde la estructura comienza a experimentar fallas o daños significativos.
- Evaluación del rendimiento sísmico: Analizar cómo se comportará la estructura bajo cargas sísmicas, proporcionando información para el diseño sísmico y la rehabilitación de estructuras existentes.

Además de los parámetros principales mencionados, otros parámetros que pueden ser analizados a partir de la curva pushover incluyen:

- Energía disipada: El área bajo la curva pushover puede dar una indicación de la energía que la estructura puede disipar durante un evento sísmico.
- Patrones de daño: Identificación de las secuencias de daño y los modos de falla en diferentes niveles de carga.
- Relación carga-desplazamiento para diferentes niveles: Evaluación de cómo varía la rigidez de la estructura a medida que se incrementa la carga.

3.2.4 Análisis de resultados no-Lineales

Se analizarán los desplazamientos y deformaciones en el muro, identificando las zonas críticas donde se inicien las fallas y se desarrollen grietas. Se realizará una evaluación de la

distribución de los esfuerzos normales y cortantes en el muro, comparando los resultados con los obtenidos en el análisis lineal. Esto permitirá identificar concentraciones de esfuerzos y zonas potencialmente problemáticas. Finalmente, se generará una curva pushover que muestre la capacidad estructural del muro bajo cargas incrementales. Esta curva es fundamental para evaluar la respuesta sísmica y la capacidad de absorción de energía del muro. (Zhu et al., 2020)

CAPITULO IV

4 Análisis e interpretación de datos

A continuación, se describirá el procedimiento usado para el desarrollo del modelo matemático en referencia a los planos de una vivienda de dos plantas para la verificación de ductilidad de dicha estructura.

4.1 Delimitación del área de trabajo

Delimitación de grilla general (ver [Anexo 1](#)), para la posterior colocación de muros en lugares necesarios para seguir a cabalidad lo dispuesto en planos (ver [Anexo 2](#)).

4.2 Definición de materiales

4.2.1 Acero

El acero uso será el ASMT A706 cuya elasticidad es la comúnmente usada para acero de refuerzo con un límite de elasticidad mínimo que ronda los 4200 kgf/cm² (Gr60) ([Anexo 3](#) y [Anexo 4](#)). Ubicando en sus propiedades el ámbito de no-linealidad siguiendo las condiciones de esfuerzo-tensión dadas por el método Park y creando secciones de acero de refuerzo las cuales serán usadas posteriormente para armar los elementos muros (ver [Anexo 5](#) a [Anexo 7](#)).

4.2.2 Concreto

El concreto dispuesto en planos es de $f'c=240\text{kg/cm}^2$, dado que las propiedades de este material no estaban dispuestas en el software se realizó la obtención de información de los mismo (ver [Anexo 8](#) y [Anexo 9](#)). Cuyos respectivos cálculos se muestran a continuación:

$$E_c = 4.7 * \sqrt{f'c} = 4.7 * \sqrt{24.465\text{MPa}} = 23.247\text{GPa} = 2,370,534,273.387 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$\text{Peso volumétrico hormigón} = \frac{22\text{KN}}{\text{m}^3} * \frac{1000\text{ N}}{1\text{ KN}} * \frac{1\text{ kgf}}{9.80665 \frac{\text{m}}{\text{seg}^2}} = 2243.376 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3}$$

$$\text{Masa volumétrica hormigón} = \frac{2243.375 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3}}{9.80665} = 228.761 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Siguiendo con el ingreso de los datos obtenidos al software e incluyendo sus parámetros de no linealidad generando la curva de Esfuerzo-Tensión por medio del método Mander (ver [Anexo 10](#) a [Anexo 12](#)).

4.3 Definición de secciones

4.3.1 Antepecho y dintel (ventanas)

Para detalle de muros con uso de dintel y antepecho de ventanas o puertas se usará un muro con malla electro-soldada de 5.5 mm con espaciamiento de 15 cm entre barras, junto con una viga con 2 barras de 7 mm que delimitan la sección del dintel y antepechos, (ver [Anexo 13](#), [Anexo 15](#) y [Anexo 16](#)).

Se opta por un análisis más detallado considerando la no-linealidad en las dos direcciones y la combinación entre ellas, así mismo este comportamiento se lo mantendrá aun cuando el elemento salga del plano (ver [Anexo 14](#)).

4.3.2 Dintel (puertas)

Los muros en puertas tendrán un detalle de viga dintel para asegurar su adecuado comportamiento estructural, siendo las vigas dintel de planta baja de 15 cm de altura con 8 cm de espesor con acero de refuerzo de 8 mm y diferenciándose de las vigas dintel de planta alta por ser estas últimas de una altura de 35 cm (ver [Anexo 17](#) a [Anexo 20](#)).

4.3.3 Unión muro-losa

Para muros en general obviando los casos antes mencionados, se usará una malla electro-soldada de 7 mm con espaciamiento de 15 cm entre barras (ver [Anexo 21](#)). Se asignan los mismos parámetros de sección como en el caso anterior para una malla electro-soldada de 7 mm con 15 cm de separación, (ver [Anexo 22](#)). Además, se recalca la adición de una viga de unión entre muros de planta baja con loa de planta alta (ver [Anexo 23](#)).

4.3.4 Viga de escalera

La escalera presenta la inclusión de una viga que ayuda al soporte del extremo de llegada de la misma, permitiendo que la escalera se mantenga accesible durante eventos de esfuerzo

considerable (ver [Anexo 24](#)). La misma dispone de acero de refuerzo en dos capas compuestas por dos barras de 8 mm (ver [Anexo 25](#)),

4.3.5 Losa

La losa de la que dispone la estructura es de característica maciza, estando compuesta por un espesor de 10 cm y una distribución de acero de 7 mm cada 15 cm en la capa inferior y 7.5 cm en la capa superior (ver [Anexo 26](#) y [Anexo 27](#)).

4.3.6 Cubierta

En cubierta se asignó un Shell de 8 mm de acero, despreciando el peso propio y la masa del mismo (ver [Anexo 28](#)), dado que más adelante se los detalla como carga externa.

4.3.7 Columna de fachada

Detalle de columnas de soporte del volado frontal de la edificación (ver [Anexo 29](#)), contando con 5 barras de 12 cm pretendiendo controlar la posible deflexión del mismo y el desplazamiento de un posible modo de vibración excesivo, (ver [Anexo 30](#)).

4.3.8 Mallado de elementos

Se tendrá como límite una longitud de 50 cm en cualquiera de sus ejes para contar con una adecuada desratización de los elementos analizados (ver [Anexo 31](#)).

4.4 Composición de la edificación

Presenta la diferenciación entre las diversas partes del mismo, ver [Anexo 32](#). Se muestran también el modelado de la planta baja, planta alta, losa, cubierta y culminando por el modelo definitivo de la edificación en base a lo dispuesto en planos (ver [Anexo 33](#) a [Anexo 37](#)).

4.5 Condiciones de apoyo

Se coloca las condiciones de apoyo de la estructura, siendo la escogida la de empotramiento dada la gran capacidad de los muros a resistir a momentos por estar conectados a la cimentación (ver [Anexo 38](#)).

4.6 Asignación de nudos fuertes

Para la asignación de nudos fuertes se procede a modificar el factor de rigidez de los nudos de la estructura, cambiando de un 0.5 por defecto a 1 de factor de rigidez, permitiendo que los elementos estén correctamente unidos (ver [Anexo 39](#)).

4.7 Asignación de diafragmas

Se aplican diafragmas rígidos a las conexiones de losa-muro y cubierta-muro de la edificación permitiendo los elementos trabajen en conjunto (ver [Anexo 40](#)).

4.8 Rótulas plásticas

Se asignan rótulas plásticas en las aberturas de los muros, permitiendo que estos mismo sirvan de disipadores de energía cuando la estructura esté enfrentando el sismo (ver [Anexo 41](#)).

4.9 Patrones de carga

Se ingresan los patrones de carga a usarse destinados a cargas muertas (considerando el peso propio de los elementos), cargas vivas, y cargas por sismo, esta últimas condicionadas por un coeficiente que se calculará posteriormente (ver [Anexo 42](#)).

4.10 Cargas aplicadas

4.10.1 Carga muerta

La cubierta usada es de acero galvanizado de 8 mm de espesor, de donde se obtiene un valor de peso unitario en kN/m² proporcionado por la NEC (ver [Anexo 43](#)), luego asignando únicamente sobre la cubierta como patrón de carga muerta (ver [Anexo 44](#)). Para el resto de elementos de la edificación se asigna el peso propio ingresado anteriormente en software.

$$\text{Peso unitario de cubierta} = \frac{0.09 \text{ KN}}{\text{m}^2} * \frac{1000 \text{ N}}{1 \text{ KN}} * \frac{1 \text{ kgf}}{9.80665 \frac{\text{m}}{\text{seg}^2}} = 9.177 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

Siendo 9.80665 m/seg² el valor promedio atribuido a la gravedad.

4.10.2 Carga viva

Para la aplicación de carga viva en la cubierta y sobre la losa se obtiene el valor de carga uniforme dado por la NEC debido a su ocupación y uso (ver [Anexo 45](#) y [Anexo 46](#)), para posteriormente aplicarla en software dentro del patrón de carga viva (ver [Anexo 47](#) y [Anexo 48](#)).

$$Carga\ viva\ de\ cubierta = \frac{0.70\ KN}{m^2} * \frac{1000\ N}{1\ KN} * \frac{1\ kgf}{9.80665\ \frac{m}{seg^2}} = 71.380\ \frac{kgf}{m^2}$$

$$Carga\ viva\ de\ losa = \frac{2\ KN}{m^2} * \frac{1000\ N}{1\ KN} * \frac{1\ kgf}{9.80665\ \frac{m}{seg^2}} = 203.943\ \frac{kgf}{m^2}$$

4.11 Carga sísmica reactiva

Se considera la totalidad de la carga muerta y a su vez un 25% de la carga viva, aun cuando la NEC nos permite obviarla para el análisis sísmico, a buen criterio debería considerarse, (ver [Anexo 49](#)). Ingresado de la misma forma al software para el posterior análisis por eventos sísmicos (ver [Anexo 50](#)).

4.12 Casos de carga

4.12.1 Caso de carga por gravedad

En este caso de carga se trata por la asignación de cargas puesta anteriormente, donde se considerará la totalidad de la carga muerta y el 25% de la carga viva para el análisis (ver [Anexo 51](#)).

4.12.2 Caso de carga Pushover

Este estado de carga tiene una dependencia del caso de carga anterior correspondiente a carga por gravedad, este asignado a sus dos direcciones de análisis (ver [Anexo 52](#) y [Anexo 53](#)) y con un control de desplazamiento del 10% de su altura, tomando como referencia uno de los puntos con mayor altura de la estructura (ver [Anexo 54](#)).

4.12.3 Caso de carga por sismo

Para la estructura analizada se ha considera una importancia de 1 (ver [Anexo 55](#)), así como un factor de reducción por normativa para este tipo de estructura de 3 (ver [Anexo 56](#)), coeficientes por irregularidad en planta y elevación de 0.9 dado el tipo de irregularidades encontradas (ver [Anexo 57](#) y [Anexo 59](#)) y en base al cálculo y parámetros dados por la NEC (ver [Anexo 58](#) y [Anexo 60](#)),

Coefficiente de irregularidad en planta:

$$\phi_P = \phi_{PA} * \phi_{PB}$$

Tipo de irregularidad en planta: Tipo 1 = 0.9, Tipo 2 = 1, Tipo 3 = 1, Tipo 4 = 1;

$$\phi_P = 0.9 * 1 = 0.9$$

Coefficiente de irregularidad en elevación:

$$\phi_E = \phi_{EA} * \phi_{EB}$$

Tipo de irregularidad en elevación: Tipo 1 = 0.9, Tipo 2 = 1, Tipo 3 = 1;

$$\phi_E = 0.9 * 1 = 0.9$$

lo que nos proporciona un coeficiente sísmico C de 0.4115,

$$C = \frac{I}{R * \phi_P * \phi_E} = \frac{1}{3 * 0.9 * 0.9} = 0.4115$$

y dado el periodo de la estructura de 0.03 segundo se aplica el valor K (ver [Anexo 61](#)) de 1. Dado la zona sísmica de Machala se tomará la curva de peligro sísmico del lugar para la determinación de la aceleración máxima en roca (PGA) de cada uno de los sismos descritos por la NEC a partir de su tasa anual de excedencia (ver [Anexo 62](#)), de donde se obtiene lo siguiente:

Nota: Los valores de Z propuestos (exceptuando el correspondiente al sismo raro) descritos a continuación y los consecuentes no necesariamente representan el valor real de los mismos, puesto que estos dependen estrictamente de la interpretación y apreciación del analista en el uso de la curva de peligro sísmico de la localidad.

4.12.3.1 Sismo frecuente

El sismo frecuente con una tasa de excedencia de 0.01389 proporciona un valor de Z igual a 0.18g en base a la curva de peligro sísmico (ver [Anexo 63](#)), con lo que se procede a hacer uso de los parámetros de la NEC para este nivel de peligro sísmico en relación al tipo de suelo donde se ubica la estructura (ver [Anexo 64](#) a [Anexo 66](#)), en el caso del sitio de estudio este sería un suelo tipo D según lo describe la memoria ambiental, y por último en base a la normativa ecuatoriana para espectros elástico de respuesta en aceleraciones (ver [Anexo 67](#)), se procede con el desarrollo de la misma para el caso del sismo presentado, añadiendo a su vez el sismo inelástico de respuesta en aceleraciones de la estructura (alterado por el factor R) para un mejor entendimiento de la capacidad dúctil que la normativa nos sugiere (ver [Anexo 68](#)).

4.12.3.2 Sismo Ocasional

El sísmico ocasional con tasa de excedencia de 0.00444 proporciona un valor de Z igual a 0.28g en base a la curva de peligro sísmico (ver [Anexo 69](#)). La continuación del proceso es el ya descrita con anterioridad, dando una gráfica comparativa entre espectro de respuesta en aceleraciones elástica e inelástico (ver [Anexo 70](#)).

4.12.3.3 Sismo Raro (Diseño)

El sísmico raro o también llamado de diseño con tasa de excedencia de 0.00211 proporciona un valor de Z igual a 0.4g (ver [Tabla 1](#)). La continuación del proceso es el ya descrita con anterioridad, dando una gráfica comparativa entre espectro de respuesta en aceleraciones elástica e inelástico (ver [Anexo 71](#)).

4.12.3.4 Sismo Muy Raro

El sísmico muy raro con tasa de excedencia de 0.00040 proporciona un valor de Z igual a 0.6g en base a la curva de peligro sísmico (ver [Anexo 72](#)). La continuación del proceso es el ya descrita con anterioridad, dando una gráfica comparativa entre espectro de respuesta en aceleraciones elástica e inelástico (ver [Anexo 73](#)).

Cada uno de los espectros elásticos de respuesta en aceleraciones antes descritos se ingresan al software en ambas direcciones de análisis para su posterior uso en la interpretación de datos al generar la curva de capacidad de la estructura (ver [Anexo 74](#)).

4.13 Curva de Capacidad

En seguimiento al proceso descrito para el modelamiento de la estructura en mención se ha obtenido como resultado por medio del software SAP2000 las curvas de capacidad en dirección X e Y de la estructura, Se definen así también los puntos de importancia de la misma, por medio del análisis de desplazamientos, contando con el desplazamiento de fluencia y el desplazamiento último de la estructura se obtiene que la diferencia de las mismas da como resultado el desplazamiento inelástico, donde la teoría nos indica que al 30% del desplazamiento plástico se ubica el nivel de desempeño sísmico de Ocupación Inmediata (IO), en el 60% de la misma se sitúa el nivel de desempeño sísmico de Seguridad de Vida (LS), siguiendo con el 80% que señala el nivel de desempeño sísmico de Prevención de Colapso (CP) y finalizando por el 100% del desplazamiento plástico el cual coincide con el desplazamiento último de la estructura siendo este el nivel más crítico de desempeño sísmico de la estructura señalando el Colapso de la misma.

4.14 Resultados

Para el eje X se han obtenidos los siguientes datos:

Tabla 2: Desempeño sísmico eje X.

DEMANDA	Despl. de Fluencia	Despl. de Desempeño	Despl. Último
Sismo Frecuente	0.13 cm	0.09 cm	0.18 cm
Sismo Ocasional	0.13 cm	0.13 cm	0.18 cm
Sismo Raro	0.13 cm	0.16 cm	0.18 cm
Sismo Muy Raro	0.13 cm	0.18 cm	0.18 cm

Fuente: Autor

En base a lo que se ha dispuesta la gráfica de capacidad que permite la evaluación visual del desempeño de la estructura ante cada uno de los espectros sísmicos asignados en esta dirección de análisis (ver [Anexo 75](#) a [Anexo 78](#)).

Para el eje Y de la edificación los datos obtenidos fueron los siguientes:

Tabla 3: Desempeño sísmico eje Y.

DEMANDA	Despl. de Fluencia	Despl. de Desempeño	Despl. Último
Sismo Frecuente	0.19 cm	0.12 cm	0.28 cm
Sismo Ocasional	0.19 cm	0.18 cm	0.28 cm
Sismo Raro	0.19 cm	0.23 cm	0.28 cm
Sismo Muy Raro	0.19 cm	0.27 cm	0.28 cm

Fuente: Autor

De igual manera generando gráficas de desempeño estructural a partir de los datos recopilados (ver Anexo 79 a Anexo 82).

4.15 Interpretación de Resultados

Con los datos obtenidos en cuanto a desplazamientos de la estructura se determina lo siguiente:

Tabla 4: Estado de la estructura en el eje X post-sismo.

Parámetro de ductilidad				
Ductilidad	Sismo Frecuente	Sismo Ocasional	Sismo Raro	Sismo Muy Raro
Ductilidad μ máxima	1.38	1.38	1.38	1.38
Ductilidad μ demanda	0.70	1.00	1.18	1.37
Ductilidad μ reserva	0.68	0.38	0.20	0.02
Estado de la Estructura	Revisión	Revisión	Revisión	Revisión

Fuente: Autor

Tabla 5: Estado de la estructura en el eje Y post-sismo.

Parámetro de ductilidad				
Ductilidad	Sismo Frecuente	Sismo Ocasional	Sismo Raro	Sismo Muy Raro
Ductilidad μ máxima	1.46	1.46	1.46	1.46
Ductilidad μ demanda	0.64	0.94	1.21	1.45
Ductilidad μ reserva	0.82	0.52	0.25	0.01
Estado de la Estructura	Habitable	Revisión	Revisión	Revisión

Fuente: Autor

Donde la ductilidad de máxima corresponde al desplazamiento ultimo sobre el desplazamiento de fluencia, la ductilidad de demanda es la relación entre el desplazamiento de desempeño ante el sismo correspondiente y el desplazamiento de fluencia, y la ductilidad de reserva es la diferencia de ambos cálculos.

Se determina que, si la ductilidad de reserva es mayor que la mitad de la ductilidad máxima ante el sismo correspondiente entonces la edificación puede ser habitable, mientras que si es superior a la mitad de la ductilidad máxima pero menor a la totalidad de la misma necesita

de una revisión, seguido de un probable reforzamiento o en peor de los casos demolición, y si está por encima de la ductilidad de máxima entonces la estructura ya ha colapsado. Proporcionando como visto en la Tabla 4 y Tabla 5, donde únicamente el eje Y ante un evento sísmico frecuente se encuentra habitable la edificación, en el resto de caso resulta necesaria la revisión de la estructura, pero ninguno de ellos ha mostrado signos de colapso.

Además, en base a los datos obtenidos se permite determinar el factor R que se le atribuiría a la estructura dadas las condiciones y características de la misma en base a su capacidad dúctil. El cálculo se lo obtiene relacionando el desplazamiento máximo de la estructura entre el desplazamiento de fluencia de la misma aumentado en un 25%, proporcionando un R equivalente a 1.729 en el eje X, mientras que el eje Y nos otorga un valor de 1,825.

CAPITULO V

5 Conclusiones y Recomendaciones

5.1 Conclusiones

- La estructura analizada presenta diversos problemas dada su composición de diseño, puesto que, la misma muestra irregularidad en planta y elevación, además de que los elementos de importancia (muros) no presentan continuidad en los mismos.
- Los problemas presentados en el diseño de la edificación culminan por generar fragilidad en la estructura limitando su ductilidad por debajo de lo esperado, lo cual es apreciable en los resultados obtenidos dado que el máximo factor de reducción de carga sísmica (R) encontrado es de 1.825 en contraste con lo dispuesta en la NEC que le atribuye un valor de 3 a este tipo de edificaciones.
- El informe presentado muestra la importancia de que un correcto diseño estructural apegado a la normativa permitiría un comportamiento predecible de la estructura siendo capaces de asumir valores dados por la NEC que son generales para un tipo de estructura como propios, lo cual no se presenta en la edificación analizada, por lo que alguno de los valores dados por normativa terminan por no demostrar la naturaleza de la estructura.

5.2 Recomendaciones

- Seguir a rigor lo indicado por normativa con referente a la regularidad de la edificación y sobre todo la continuidad de elementos estructurales, evitando estar asumiendo erróneamente parámetros de diseño que no sean fieles a lo planteado en construcción.
- En caso de contar con una estructura de características irregulares y/o no continuidad de elementos estructurales se aconseja la realización de un análisis no-lineal que permita determinar la capacidad dúctil real de la estructura para un diseño adecuado.
- Por último, se motiva a que se continúe con la línea de investigación en la que se desenvuelve el presente informe, para validar o en dado caso presentar criterios de mejora o adecuación a la normativa que rige el diseño estructural de cada localidad, generando de esta forma que los aportes de la normativa vean posible su uso en cualquier tipo de edificación construida.

6 Referencias Bibliográficas

- Akbar, M., Ali, A., Huali, P., Mohsin, M., Guoqiang, O., Azka, A., & Yousaf, H. (2022). Seismic analysis of lateral force resisting steel frame with honeycombed steel thin plate shear wall. *Journal of Vibroengineering*, 24(2), 357–368. <https://doi.org/10.21595/jve.2021.22171>
- Al Agha, W., & Umamaheswari, N. (2020). Analytical study of irregular reinforced concrete building with shear wall and dual Framed-Shear wall system by using Equivalent Static and Response Spectrum Method. *Materials Today: Proceedings*, 43, 2232–2241. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.12.525>
- Almeida Navarrete, J., Hube, M., & Khorami, M. (2023). Experimental Evaluation of the Seismic Resistance of Reinforced Concrete Walls with Reduced Thickness in Low-rise Residential Buildings. *Revista Politecnica*, 52(2), 29–36. <https://doi.org/10.33333/rp.vol52n2.03>
- Arroba, L. P. V., Coronel, G. D. P., & Amaguaña, J. M. V. (2023). Structural Modeling of Straw Bale Loadbearing Wall. *ESPOCH Congresses: The Ecuadorian Journal of S.T.E.A.M.* <https://doi.org/10.18502/epoch.v3i1.14478>
- Barreto, N. M. G. (2023). Evaluation of Estructural performance using Nonlinear Static Analysis applied in an infrastructure. *Revista Ingenieria de Construccion*, 38(2), 239–254. <https://doi.org/10.7764/RIC.00066.21>
- Caraguay Salinas, P. (2018). Análisis de respuesta sísmica de viviendas de dos pisos, con sistema estructural de pórticos resistentes a momentos versus muros portantes.
- Cesar Morocho-Orellana, J. I., Javier Cornejo-Reyes III, P., & Patricio Mena-Reinoso, Á. I. (2022). Sismic vulnerability in educational buildings of Ecuador evaluated through mathematical models of dynamic analysis Vulnerabilidade sísmica em edifícios educacionais equatorianos avaliada por modelos matemáticos de análise dinâmica *Ciencias Técnicas y Aplicadas Artículo de Revisión*. 7, 2073–2092. <https://doi.org/10.23857/pc.v7i4.3937>

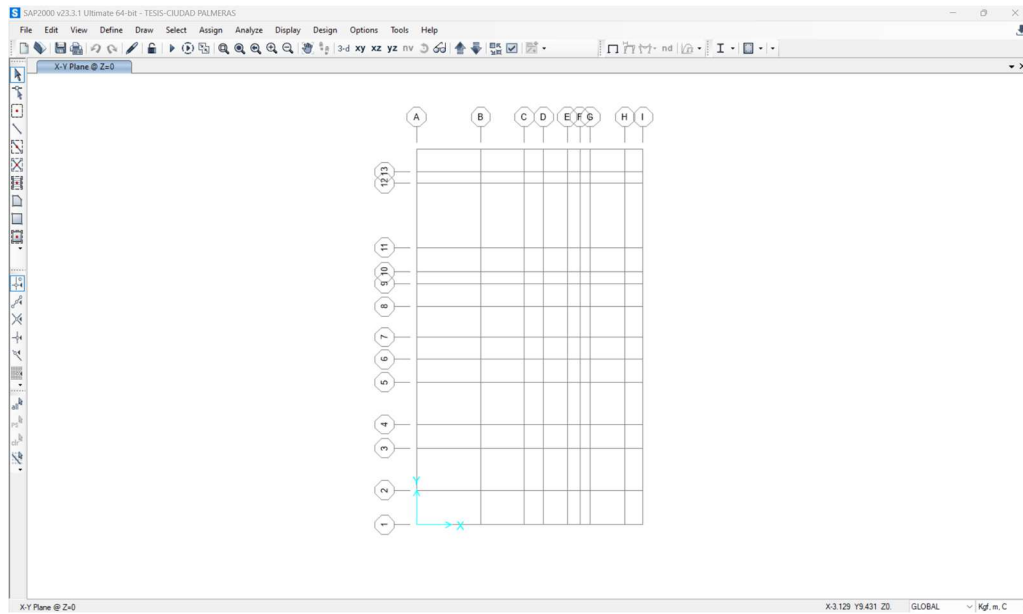
- Chmielewski, R., Baryłka, A., & Obolewicz, J. (2021). Analysis of design solutions for strengthening the load-bearing structure of a building for further safe use. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 104(1), 5–10. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0014.8481>
- Cu, O.-T. C. (2021). Análisis comparativo entre el método estático equivalente y el método de análisis modal en estructuras regulares de muros portantes de hormigón armado. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193966527003>
- Cuesvas Rosero, E. A., Ortega Caraballo, R., Torres Arbeláez, P. S., Marulanda Casas, J., & Thomson Roach, P. (2020). Simulación numérica del comportamiento sísmico de muros de concreto reforzado. *Hormigón y Acero*. <https://doi.org/10.33586/hya.2020.2865>
- Echavarría, L. G., Díaz, J. A., & Ospina Henao, P. A. (2023). Study of the stiffness and lateral displacements of a confined masonry wall using linear static analysis. *Journal of Physics: Conference Series*, 2515(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2515/1/012006>
- Elkabany, S. N., Elkordy, A. M., & Sobh, H. A. (2020). Optimization of load-bearing concrete wall using genetic algorithm to achieve mechanically integrated behavior. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 974(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/974/1/012011>
- Hoogendoorn, A., Kok, A. M., Hartman, E. M. J., De Nisco, G., Casadonte, L., Chiastra, C., Coenen, A., Korteland, S. A., Van der Heiden, K., Gijsen, F. J. H., Duncker, D. J., Van der Steen, A. F. W., & Wentzel, J. J. (2021). Multidirectional wall shear stress promotes advanced coronary plaque development: Comparing five shear stressmetrics. *Cardiovascular Research*, 116(6), 1136–1146. <https://doi.org/10.1093/CVR/CVZ212>
- Huang, H., Zou, C., Lan, Z., & Chen, S. (2021). Analysis of mechanical characteristics of walls of masonry structure house under dynamic load. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 676(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/676/1/012059>

- Hung, C. C., & Hsieh, P. L. (2020). Comparative study on shear failure behavior of squat high-strength steel reinforced concrete shear walls with various high-strength concrete materials. *Structures*, 23, 56–68. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2019.11.002>
- Inozemtseva, O. V., & Inozemtsev, V. K. (2022). Nonlinear and linear analysis of the overall stability of the load-bearing system of a high-rise building with a load-bearing trunk. *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*, 18(2), 93–103. <https://doi.org/10.22363/1815-5235-2022-18-2-93-103>
- Khodjaev, A. A., & Karimjonov, I. S. (2022). INFLUENCE OF THE WEIGHT OF EXTERIOR WALLS ON THE MATERIAL CONSUMPTION OF LOAD-BEARING STRUCTURES OF BUILDINGS CONSTRUCTED IN SEISMIC REGIONS. *Central Asian Research Journal For Interdisciplinary Studies (CARJIS) ISSN*, 2, 2181–2454. <https://doi.org/10.24412/2181-2454-2022-5-47-60>
- Lagos, W. A., Blas, O. E., & Orihuela, J. (2021). Analysis of Soft Story and Torsional Irregularity Factors in the Seismic Performance of Reinforced Concrete Buildings by Nonlinear Static Analysis. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 814(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/814/1/012011>
- Ling, Y., Li, A., & Liu, R. (2019). Analysis of performance-based seismic design method for super high-rise frame-supported shear wall structure. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 304(4). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/304/4/042071>
- Mishra, A. K. (2019). Structural Features for Earthquake-Resistant Load-Bearing Residential Buildings in Nepal. *Journal of Advanced Research in Geo Sciences & Remote Sensing*, 6(1), 1–16. <https://doi.org/10.24321/2455.3190.201901>
- Orellana-Jara, A., & Maldonado-Noboa, J. (2022). Comportamiento estructural de muros portantes Structural behavior of bearing walls Comportamento estrutural das paredes do rolamento *Ciencias Técnicas y Aplicadas Artículo de Investigación*. 70(9), 1630–1652. <https://doi.org/10.23857/pc.v7i8>

- Portugal Quevedo, V. H. (2017). Non-linear modelling of a geomesh-reinforced earthen wall subjected to dynamic loading (MSc. Thesis). The University of Sheffield Department of Civil and Structural Engineering. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.31423.20641>
- Tamásco Sandoval, J. C., Estrada Mejía, M., & Linero Segrera, D. L. (2023). Implementation of a smeared crack model in the finite element method and its application to two-dimensional nonlinear analysis of concrete beams. *Revista Ingeniería de Construcción RIC*. <https://doi.org/10.7764/RIC.00103.21>
- To, Q. B., Shin, J., Kim, S. J., Kim, H. W., & Lee, K. (2024). Effective Prediction of Concrete Constitutive Models for Reinforced Concrete Shear Walls under Cyclic Loading. *Materials*, 17(8). <https://doi.org/10.3390/ma17081877>
- Valencia Chuquimarca, A. M. (2020). Edificios de baja altura con sistemas estructurales de ductilidad limitada, tipo paredes portantes ante acciones sísmicas altas.
- Zevallos-Ludeña, I., Zevallos-Mendoza, I., & Zevallos-Loor, M. (2022). Características estructurales que brinda una vivienda construida con muros portantes de hormigón armado: comparación respecto al método tradicional. *Revista Científica “INGENIAR”*: Ingeniería, Tecnología e Investigación, 5. <https://doi.org/10.46296/ig.v5i10edespoc.0071>
- Zhu, L., Kong, L., & Zhang, C. (2020). Numerical study on hysteretic behaviour of horizontal-connection and energy-dissipation structures developed for prefabricated shear walls. *Applied Sciences (Switzerland)*, 10(4). <https://doi.org/10.3390/app10041240>

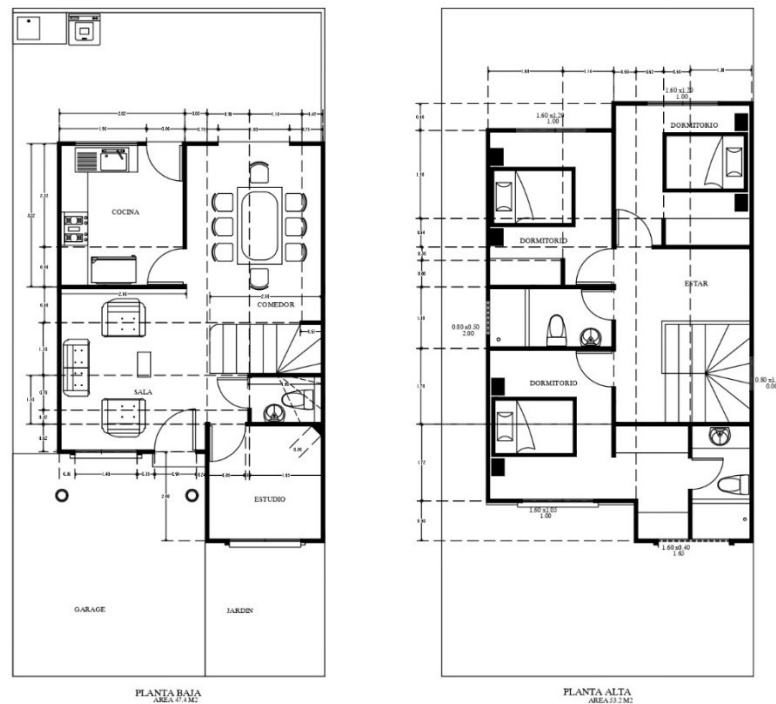
ANEXOS

Anexo 1: Delimitación de grilla



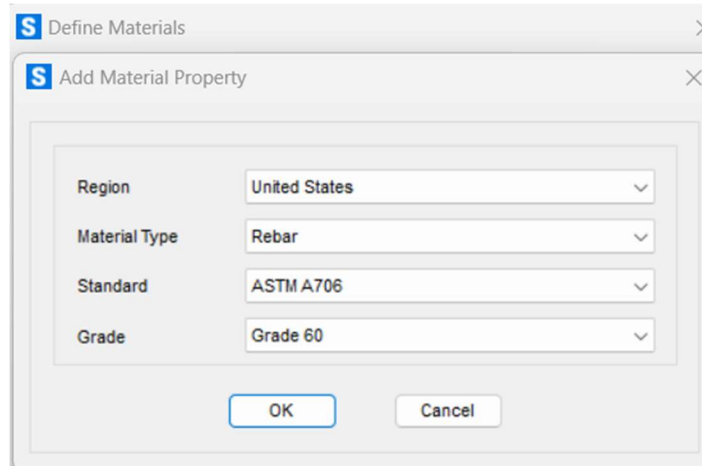
Fuente: Autor

Anexo 2: Planos Arquitectónicos



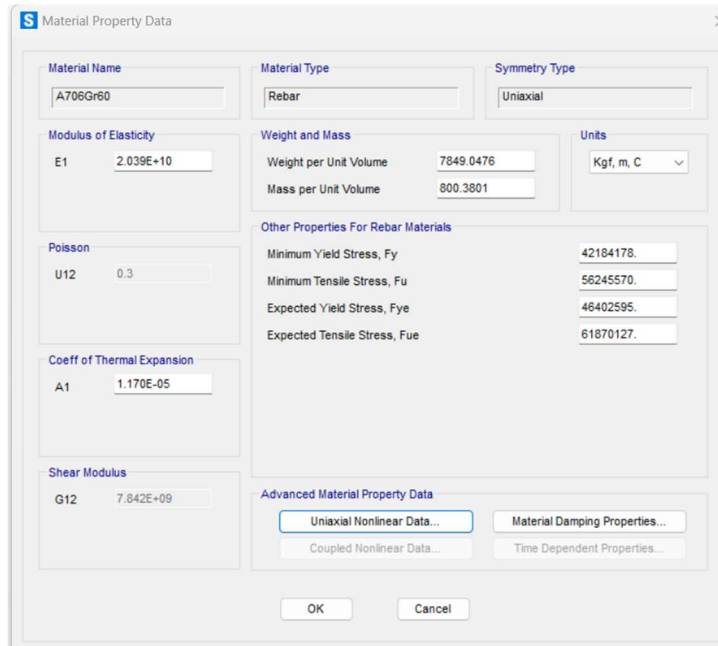
Fuente: Autor

Anexo 3: Adición del acero.



Fuente: Autor

Anexo 4: Propiedades del acero.



Fuente: Autor

Anexo 5: Propiedades de no-linealidad.

S Uniaxial Nonlinear Material Data

Edit

Material Name: A706Gr60 Material Type: Rebar

Hysteresis Type: Kinematic

Drucker-Prager Parameters: Friction Angle: Dilatational Angle: Units: Kgf, m, C

Stress-Strain Curve Definition Options: Parametric (Park) User Defined

Acceptance Criteria Strains:

	Tension	Compression
IO	0.01	-5.000E-03
LS	0.02	-0.01
CP	0.05	-0.02

Parametric Strain Data:

Strain At Onset of Strain Hardening: 0.011

Ultimate Strain Capacity: 0.11

Final Slope (Multiplier on E): -0.1

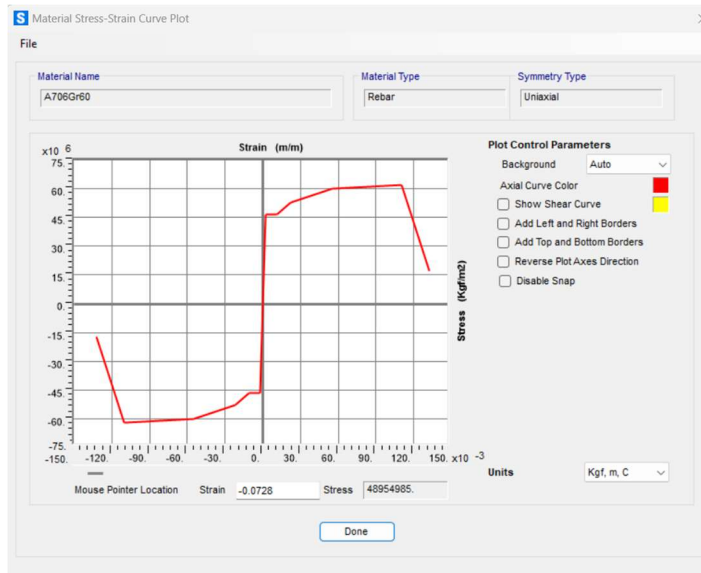
Use Caltrans Default Controlling Strain Values (Bar Size Dependent)

Show Stress-Strain Plot...

OK Cancel

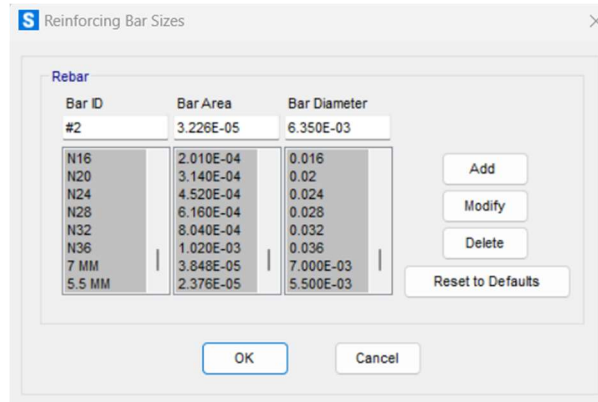
Fuente: Autor

Anexo 6: Curva Esfuerzo-Tensión.



Fuente: Autor

Anexo 7: Adición de secciones de acero de refuerzo.



Fuente: Autor

Anexo 8: Módulo de elasticidad del concreto.

$$E_c = 4.7 + \sqrt{f'_c}$$

Dónde:

E_c Módulo de elasticidad para el hormigón (GPa)

f'_c Resistencia a la compresión del hormigón (MPa)

Fuente: Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-2015).

Anexo 9: Peso Unitario del concreto.

Material	Peso Unitario kN/m ³
A. Rocas	
Basalto	29.0 - 30.0
Granito	26.0 - 28.0
Andesita	26.0 - 28.0
Sienita	27.0 - 29.0
Pórfido	26.0 - 27.0
Gabro	29.0 - 31.0
Arenisca	26.0 - 27.5
Calizas compactas y mármoles	27.0 - 28.0
Pizarra para tejados	28.0
B. Piedras artificiales	
Adobe	16.0
Amianto-cemento	20.0
Baldosa cerámica	18.0
Baldosa de gres	19.0
Hormigón simple	22.0
Hormigón armado	24.0

Fuente: Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-2015).

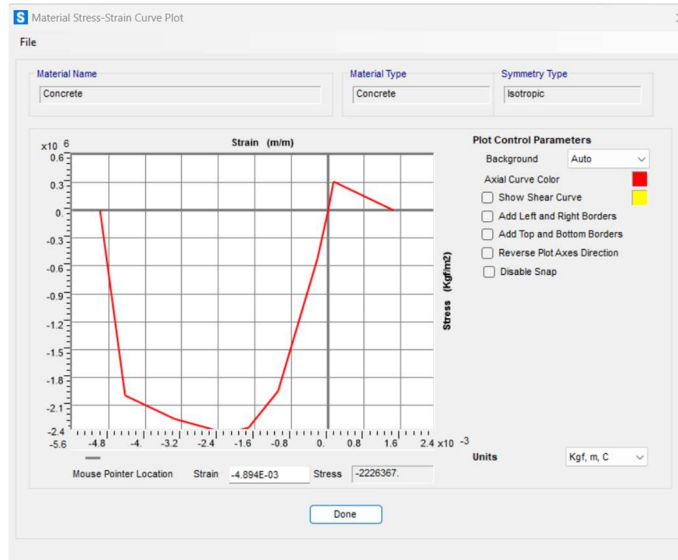
Anexo 10: Propiedades del concreto.

Fuente: Autor

Anexo 11: Propiedades de no-linealidad del concreto.

Fuente: Autor

Anexo 12: Curva de Esfuerzo Tensión.

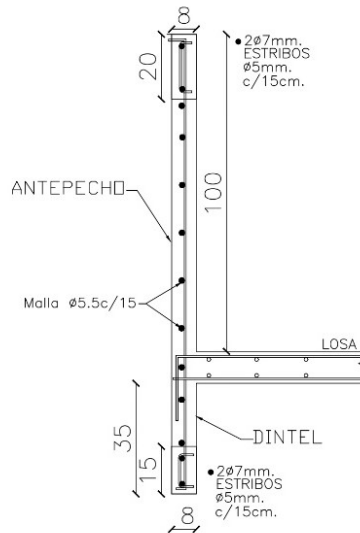


Fuente: Autor

Anexo 13: Antepecho y Dintel.

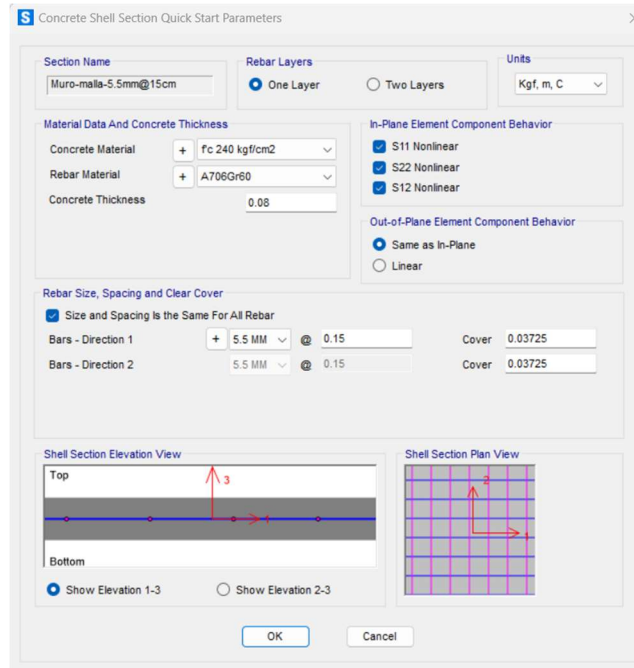
DETALLE DE ANTEPECHO Y DINTEL

ESCALA 1:10



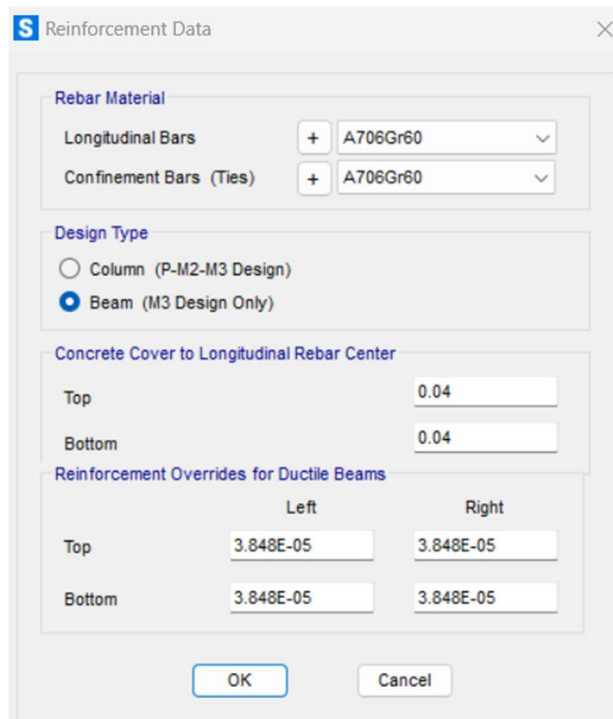
Fuente: Autor

Anexo 14: Disposición de mallado en muros.



Fuente: Autor

Anexo 15: Viga dintel.



Fuente: Autor

Anexo 16: Viga de antepecho.

Reinforcement Data

Rebar Material

Longitudinal Bars + A706Gr60

Confinement Bars (Ties) + A706Gr60

Design Type

Column (P-M2-M3 Design)

Beam (M3 Design Only)

Concrete Cover to Longitudinal Rebar Center

Top 0.04

Bottom 0.04

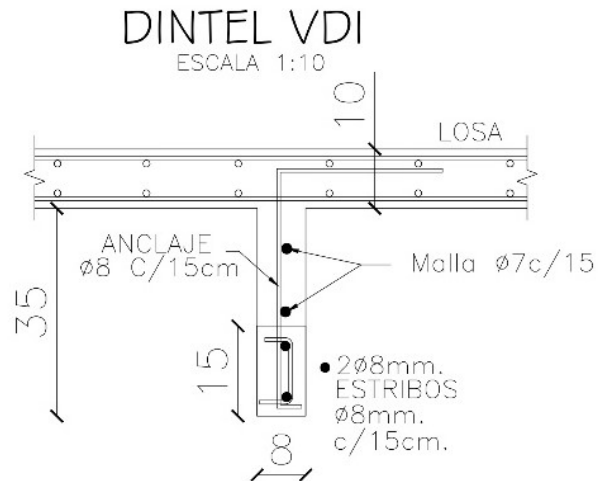
Reinforcement Overrides for Ductile Beams

	Left	Right
Top	0.0003848451001	.00003848451001
Bottom	.00003848451001	.00003848451001

OK Cancel

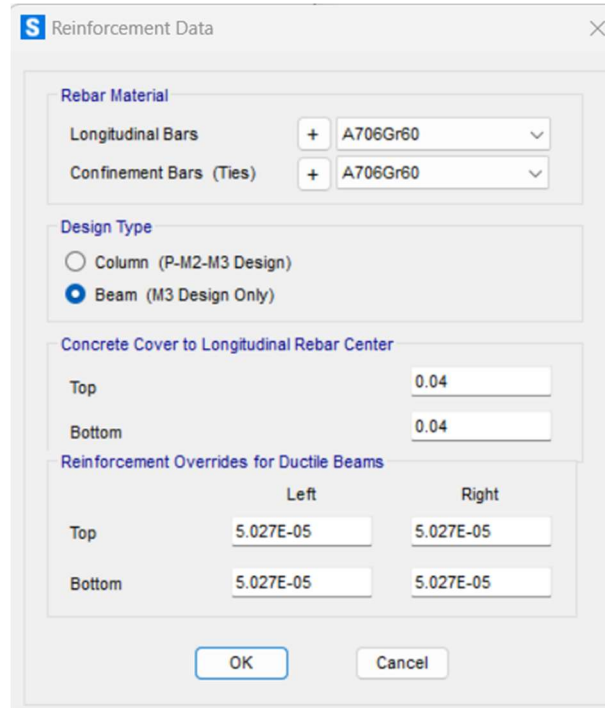
Fuente: Autor

Anexo 17: Viga Dintel (puertas de planta baja).



Fuente: Autor

Anexo 18: Definición de la sección dintel de planta baja.

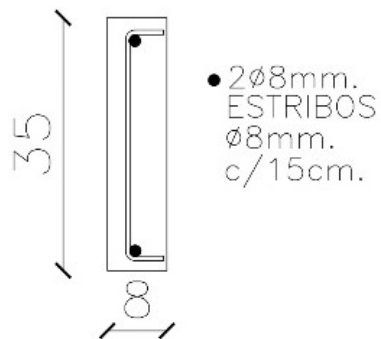


Fuente: Autor

Anexo 19: Viga dintel (puertas planta alta)

DINTEL VD

ESC. 1:10



Fuente: Autor

Anexo 20: Definición de vigas dintel planta alta.

S Reinforcement Data

Rebar Material

Longitudinal Bars + A706Gr60

Confinement Bars (Ties) + A706Gr60

Design Type

Column (P-M2-M3 Design)

Beam (M3 Design Only)

Concrete Cover to Longitudinal Rebar Center

Top 0.04

Bottom 0.04

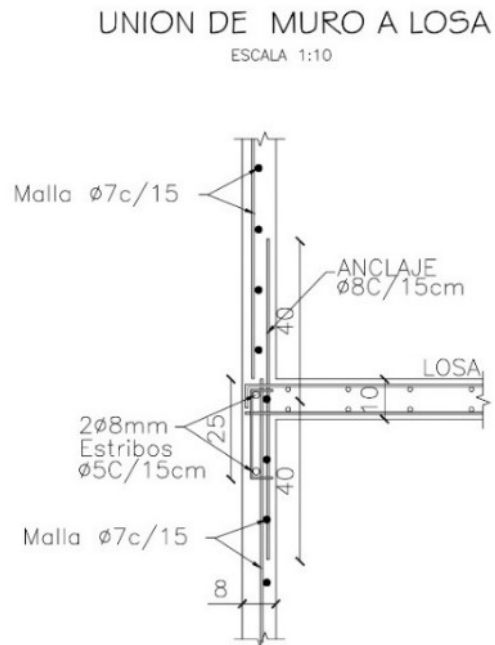
Reinforcement Overrides for Ductile Beams

	Left	Right
Top	0.0000502654824	.00005026548246
Bottom	.00005026548246	.00005026548246

OK Cancel

Fuente: Autor

Anexo 21: Detalle de unión muro-losa.



Fuente: Autor

Anexo 22: Asignación de acero un muros.

Concrete Shell Section Quick Start Parameters

Section Name: Muro-malla-7mm@15cm

Rebar Layers: One Layer Two Layers

Units: Kgf, m, C

Material Data And Concrete Thickness

Concrete Material: + fc 240 kgf/cm2

Rebar Material: + A706Gr60

Concrete Thickness: 0.08

In-Plane Element Component Behavior

S11 Nonlinear

S22 Nonlinear

S12 Nonlinear

Out-of-Plane Element Component Behavior

Same as In-Plane

Linear

Rebar Size, Spacing and Clear Cover

Size and Spacing is the Same For All Rebar

Bars - Direction 1: + 7 MM @ 0.15 Cover: 0.0365

Bars - Direction 2: 7 MM @ 0.15 Cover: 0.0365

Shell Section Elevation View

Top

Bottom

Show Elevation 1-3 Show Elevation 2-3

Shell Section Plan View

OK Cancel

Fuente: Autor

Anexo 23: Viga de unión de muros en elevación.

Reinforcement Data

Rebar Material

Longitudinal Bars: + A706Gr60

Confinement Bars (Ties): + A706Gr60

Design Type

Column (P-M2-M3 Design)

Beam (M3 Design Only)

Concrete Cover to Longitudinal Rebar Center

Top: 0.02

Bottom: 0.02

Reinforcement Overrides for Ductile Beams

	Left	Right
Top	5.027E-05	5.027E-05
Bottom	5.027E-05	5.027E-05

OK Cancel

Fuente: Autor

Anexo 24: Viga de escalera.



Fuente: Autor

Anexo 25: Definición de la viga de escalera.

S Reinforcement Data ×

Rebar Material

Longitudinal Bars + A706Gr60 v

Confinement Bars (Ties) + A706Gr60 v

Design Type

Column (P-M2-M3 Design)

Beam (M3 Design Only)

Concrete Cover to Longitudinal Rebar Center

Top 0.01

Bottom 0.01

Reinforcement Overrides for Ductile Beams

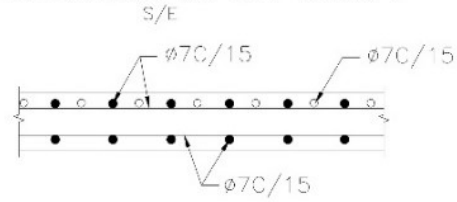
	Left	Right
Top	1.005E-04	1.005E-04
Bottom	1.005E-04	1.005E-04

OK Cancel

Fuente: Autor

Anexo 26: Losa maciza.

DETALLE ACERO EN LOSA



Fuente: Autor

Anexo 27: Definición de la losa.

Concrete Shell Section Quick Start Parameters

Section Name: Losa maciza 10cm

Rebar Layers: One Layer Two Layers

Units: Kgf, m, C

Material Data And Concrete Thickness

Concrete Material: + Fc 240 kgf/cm2

Rebar Material: + A706Gr60

Concrete Thickness: 0.10

In-Plane Element Component Behavior

S11 Nonlinear

S22 Nonlinear

S12 Nonlinear

Out-of-Plane Element Component Behavior

Same as In-Plane

Linear

Rebar Size, Spacing and Clear Cover

Size and Spacing Is the Same For All Rebar

Direction	Size	Spacing	Cover
Top Bars - Direction 1	7 MM	@ 0.075	0.02
Top Bars - Direction 2	7 MM	@ 0.075	0.02
Bottom Bars - Direction 1	7 MM	@ 0.15	0.02
Bottom Bars - Direction 2	7 MM	@ 0.15	0.02

Shell Section Elevation View

Top

Bottom

Show Elevation 1-3 Show Elevation 2-3

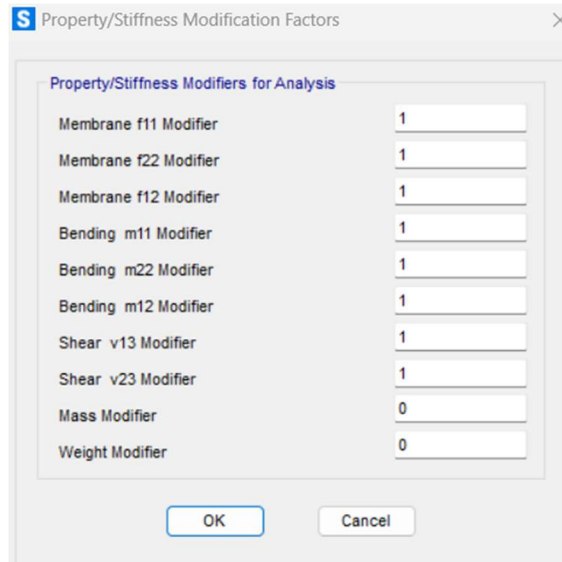
Shell Section Plan View

Top Bot

OK Cancel

Fuente: Autor

Anexo 28: Propiedades de rigidez de la cubierta.



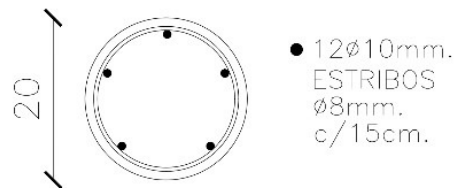
Property/Stiffness Modifiers for Analysis	
Membrane f11 Modifier	1
Membrane f22 Modifier	1
Membrane f12 Modifier	1
Bending m11 Modifier	1
Bending m22 Modifier	1
Bending m12 Modifier	1
Shear v13 Modifier	1
Shear v23 Modifier	1
Mass Modifier	0
Weight Modifier	0

Fuente: Autor

Anexo 29: Columnas de fachada.

COLUMNAS EN FACHADA

ESCALA 1:10



Fuente: Autor

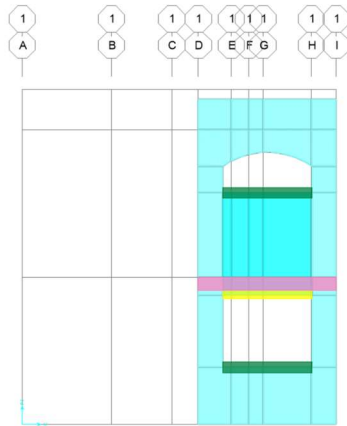
Anexo 30: Definición de columnas de fachada.

Fuente: Autor

Anexo 31: Mallado elementos.

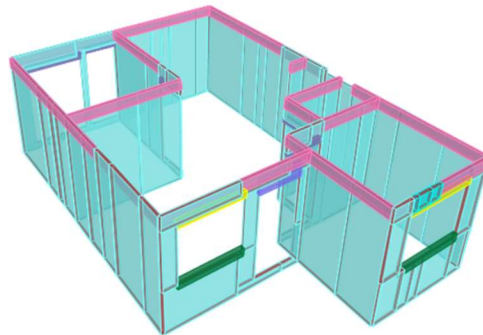
Fuente: Autor

Anexo 32: Sección compuesta de la estructura.



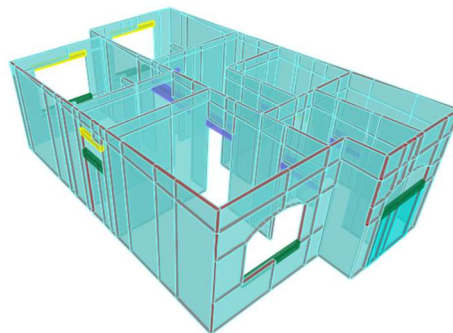
Fuente: Autor

Anexo 33: Modelo planta baja



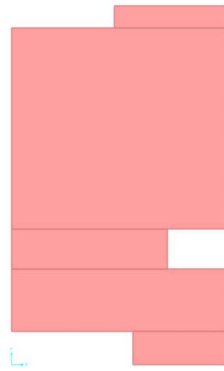
Fuente: Autor

Anexo 34: Modelo planta alta.



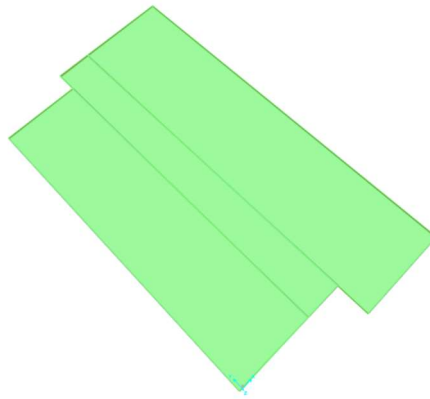
Fuente: Autor

Anexo 35: Modelo losa.



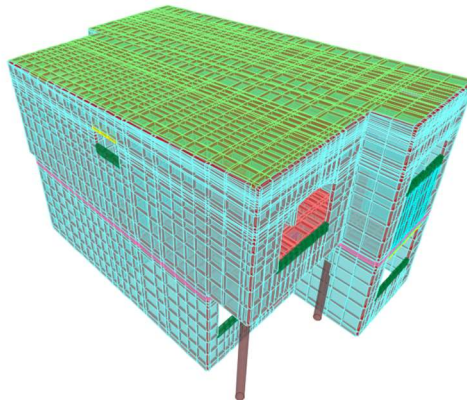
Fuente: Autor

Anexo 36: Modelo de cubierta.



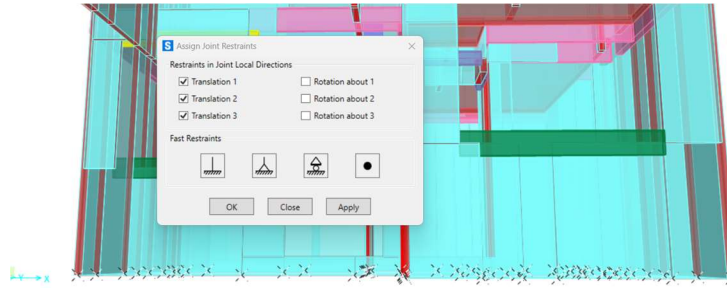
Fuente: Autor

Anexo 37: Modelo definitivo.



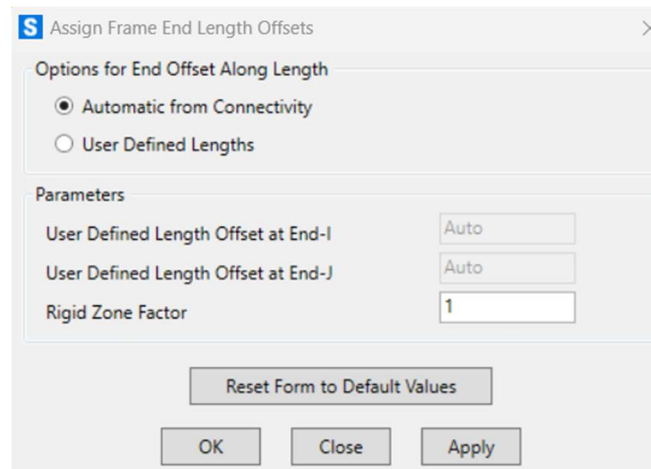
Fuente: Autor

Anexo 38: Asignación de condiciones de apoyo.



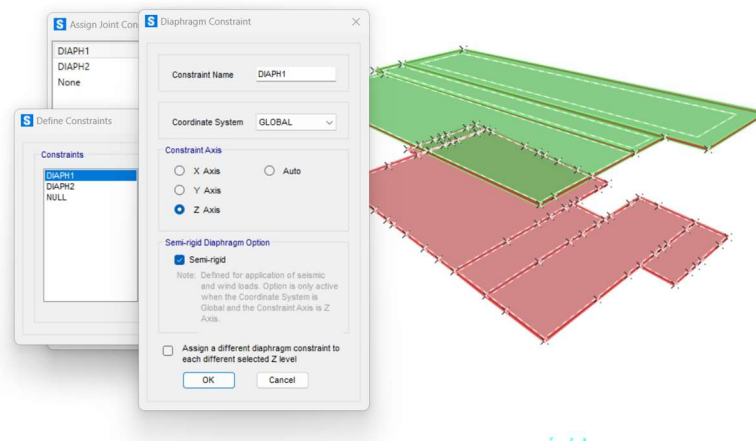
Fuente: Autor

Anexo 39: Nudos rígidos.



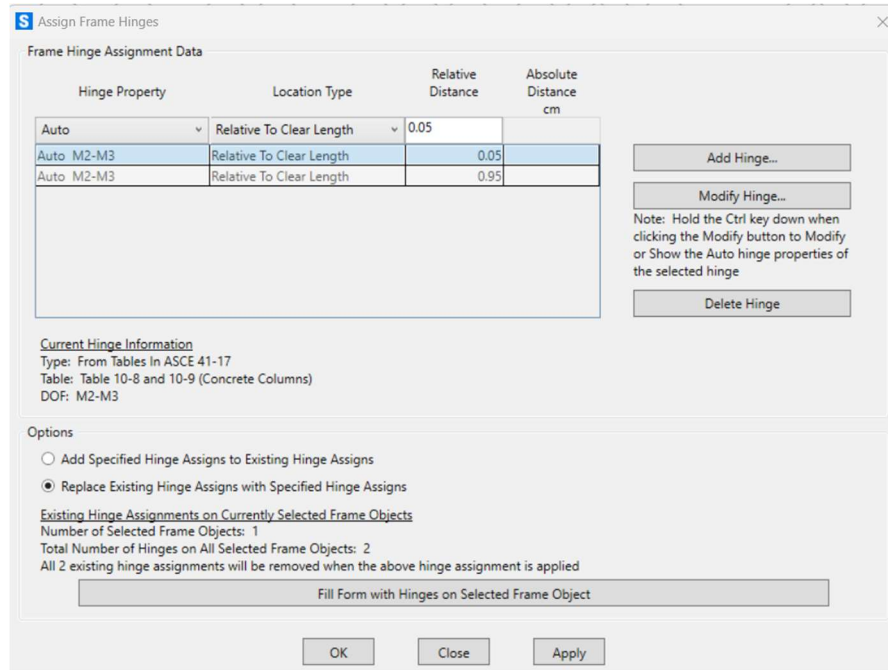
Fuente: Autor

Anexo 40: Asignación de diafragmas.



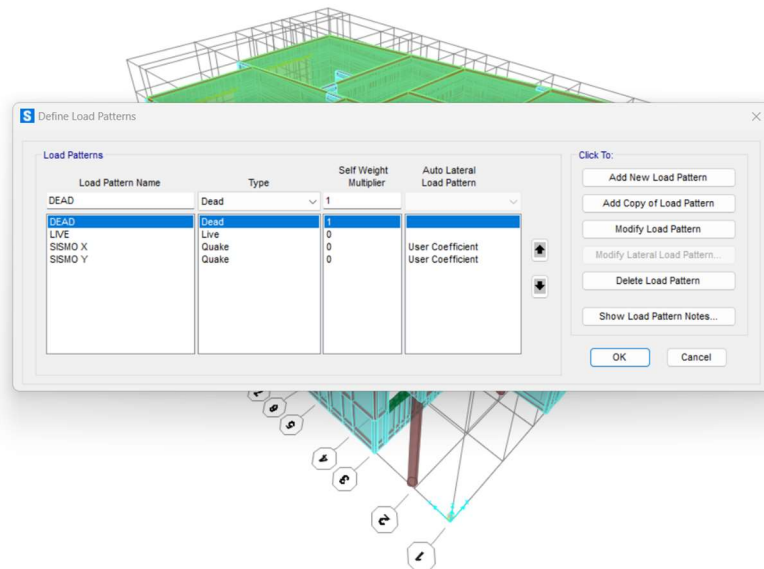
Fuente: Autor

Anexo 41: Rótulas plásticas.



Fuente: Autor

Anexo 42: Ingresar patrones de carga.



Fuente: Autor

Anexo 43: Peso unitario de cubierta.

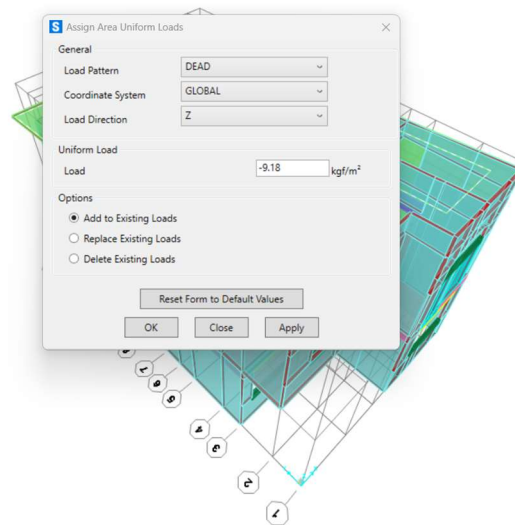
H. Cielorrasos y Cubiertas	kN/m ²
De yeso sobre listones de madera (incluidos los listones)	0.20
De mortero de cemento compuesto de cal y arena	0.55

23

Material	Peso Unitario kN/m ³
Plancha ondulada de fibrocemento: de 8 mm de espesor	0.20
de 6 mm de espesor	0.15
Chapa ondulada de acero galvanizado: de 0,5 mm de espesor	0.07
de 0.8 mm de espesor	0.09
de 1.3 mm de espesor	0.14
Teja de barro cocido sin mortero	0.50
Teja plana con mortero de cemento	0.85
Teja de hormigón con mortero	1.15

Fuente: Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-2015).

Anexo 44: Asignación de carga muerta en cubierta.



Fuente: Autor

Anexo 45: Carga viva de cubierta.

Ocupación o Uso	Carga uniforme (kN/m ²)	Carga concentrada (kN)
Cubiertas		
Cubiertas planas, inclinadas y curvas	0.70	
Cubiertas destinadas para áreas de paseo	3.00	
Cubiertas destinadas en jardinería o patios de reunión.	4.80	
Cubiertas destinadas para propósitos especiales		

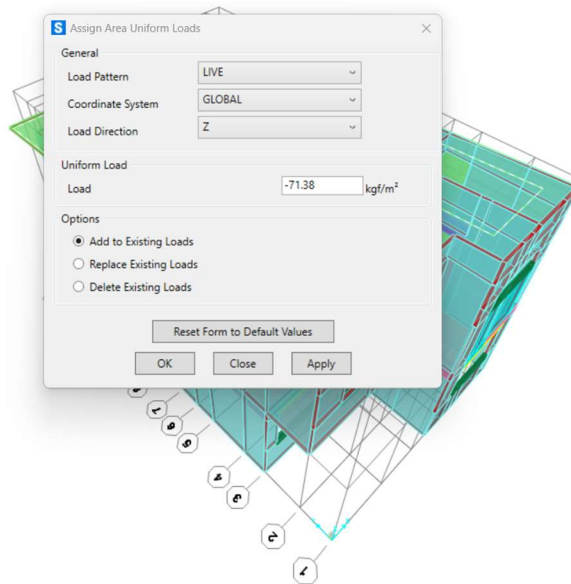
Fuente: Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-2015).

Anexo 46: Carga viva de losa.

Residencias		
Viviendas (unifamiliares y bifamiliares)	2.00	
Hoteles y residencias multifamiliares	2.00	
Habitaciones	4.80	
Salones de uso público y sus corredores		

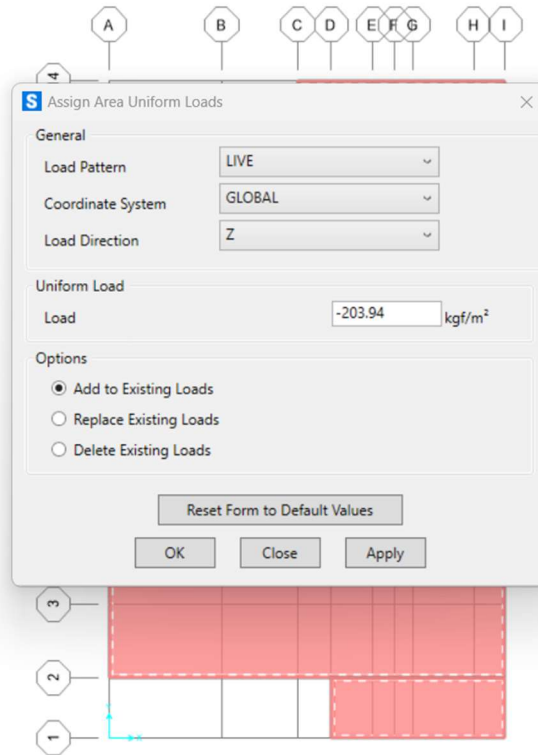
Fuente: Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-2015).

Anexo 47: Asignación de carga viva de cubierta.



Fuente: Autor

Anexo 48: Asignación de carga viva de losa.



Fuente: Autor

Anexo 49: Carga sísmica reactiva W .

Caso general

$$W=D$$

Dónde

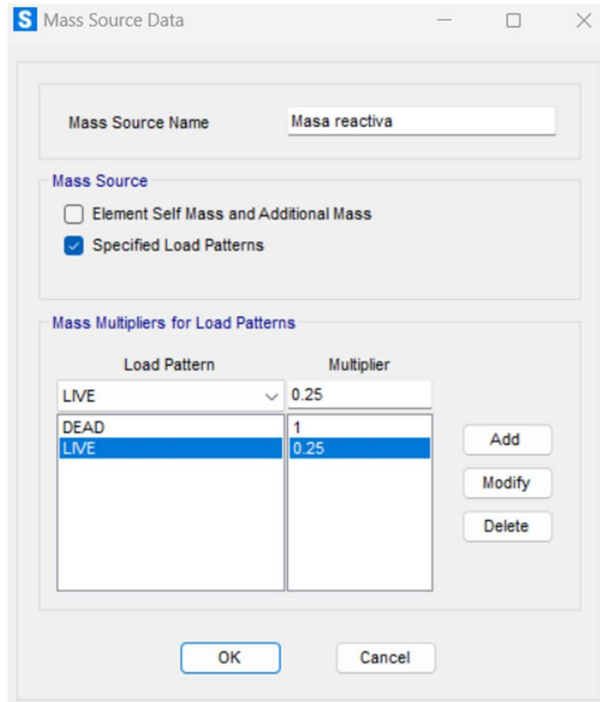
D Carga muerta total de la estructura

Casos especiales: bodegas y almacenaje

$$W=D+0.25L_1$$

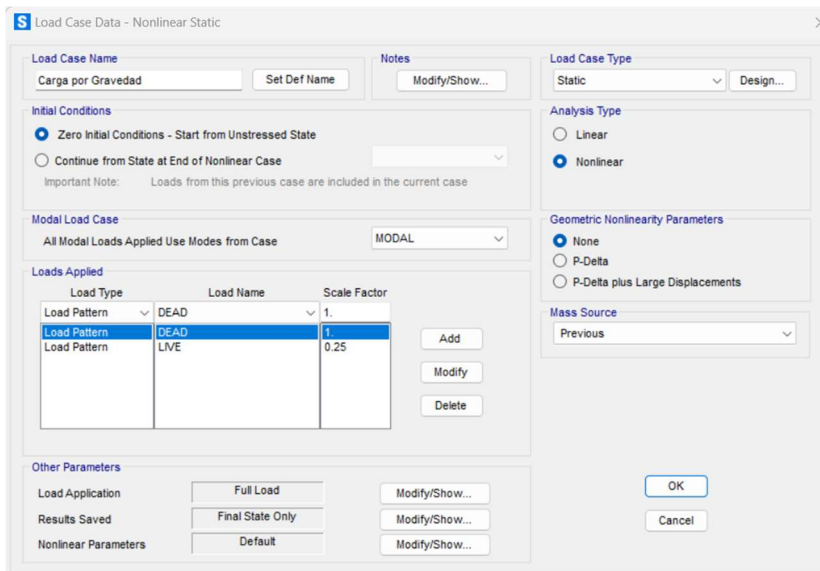
Fuente: Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-2015).

Anexo 50: Asignación de masa reactiva.



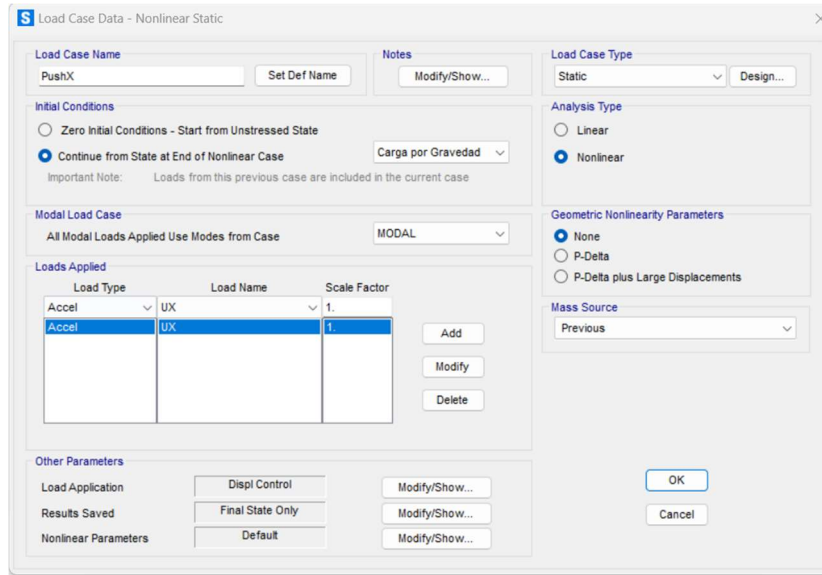
Fuente: Autor

Anexo 51: Caso de carga por gravedad.



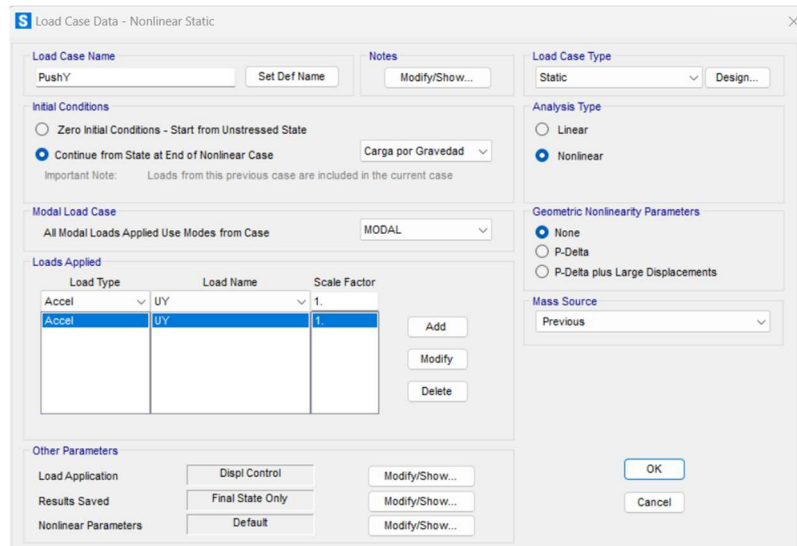
Fuente: Autor

Anexo 52: Pushover en el eje X.



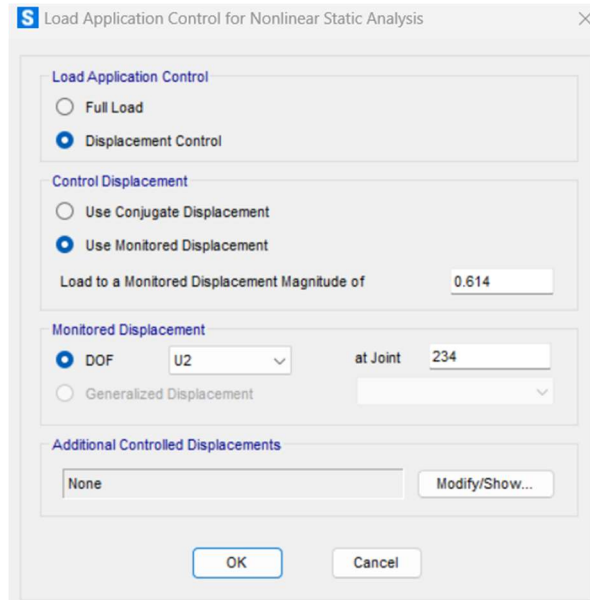
Fuente: Autor

Anexo 53: Pushover en el eje Y.



Fuente: Autor

Anexo 54: Asignación control de desplazamiento.



Fuente: Autor

Anexo 55: Factor de Importancia de edificaciones.

Categoría	Tipo de uso, destino e importancia	Coficiente 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

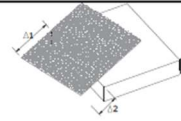
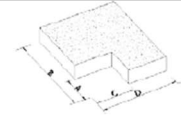
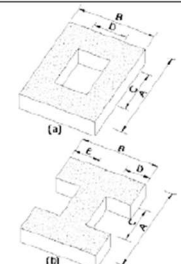
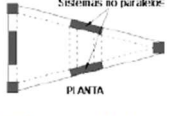
Fuente: Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-2015).

Anexo 56: Factor de reducción de carga sísmica.

Sistemas Estructurales de Ductilidad Limitada		R
Pórticos resistentes a momento		
Hormigón Armado con secciones de dimensión menor a la especificada en la NEC-SE-HM , limitados a viviendas de hasta 2 pisos con luces de hasta 5 metros.		3
Hormigón Armado con secciones de dimensión menor a la especificada en la NEC-SE-HM con armadura electrosoldada de alta resistencia		2.5
Estructuras de acero conformado en frío, aluminio, madera, limitados a 2 pisos.		2.5
Muros estructurales portantes		
Mampostería no reforzada, limitada a un piso.		1
Mampostería reforzada, limitada a 2 pisos.		3
Mampostería confinada, limitada a 2 pisos.		3
Muros de hormigón armado, limitados a 4 pisos.		3

Fuente: Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-2015).

Anexo 57: Tipos de irregularidades en planta.

<p>Tipo 1 - Irregularidad torsional $\phi_{PT}=0.9$ $\Delta > 1.2 \frac{(\Delta 1 + \Delta 2)}{2}$</p> <p>Existe irregularidad por torsión, cuando la máxima deriva de piso de un extremo de la estructura calculada incluyendo la torsión accidental y medida perpendicularmente a un eje determinado, es mayor que 1,2 veces la deriva promedio de los extremos de la estructura con respecto al mismo eje de referencia. La torsión accidental se define en el numeral 6.4.2 del presente código.</p>	
<p>Tipo 2 - Retrocesos excesivos en las esquinas $\phi_{PT}=0.9$ $A > 0.15B$ y $C > 0.15D$</p> <p>La configuración de una estructura se considera irregular cuando presenta entrantes excesivos en sus esquinas. Un entrante en una esquina se considera excesivo cuando las proyecciones de la estructura, a ambos lados del entrante, son mayores que el 15% de la dimensión de la planta de la estructura en la dirección del entrante.</p>	
<p>Tipo 3 - Discontinuidades en el sistema de piso $\phi_{PT}=0.9$ a) $C \times D > 0.5A \times B$ b) $[C \times D + C \times E] > 0.5A \times B$</p> <p>La configuración de la estructura se considera irregular cuando el sistema de piso tiene discontinuidades apreciables o variaciones significativas en su rigidez, incluyendo las causadas por aberturas, entrantes o huecos, con áreas mayores al 50% del área total del piso o con cambios en la rigidez en el plano del sistema de piso de más del 50% entre niveles consecutivos.</p>	
<p>Tipo 4 - Ejes estructurales no paralelos $\phi_{PT}=0.9$</p> <p>La estructura se considera irregular cuando los ejes estructurales no son paralelos o simétricos con respecto a los ejes ortogonales principales de la estructura.</p>	
<p>Nota: La descripción de estas irregularidades no faculta al calculista o diseñador a considerarlas como normales, por lo tanto la presencia de estas irregularidades requiere revisiones estructurales adicionales que garanticen el buen comportamiento local y global de la edificación.</p>	

Fuente: Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-2015).

Anexo 58: Coeficiente de irregularidad en planta.

$O_F = O_{FA} \times O_{FB}$	
Dónde	
O_F	Coeficiente de regularidad en planta
O_{FA}	Mínimo valor O_{Fi} de cada piso i de la estructura en el caso de irregularidades tipo 1, 2 y/o 3
O_{FB}	Mínimo valor O_{Fi} de cada piso i de la estructura en el caso de irregularidades tipo 4
O_{Fi}	Coeficiente de configuración en planta

Fuente: Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-2015).

Anexo 59: Tipos de irregularidades en elevación.

<p>Tipo 1 - Piso flexible $\phi_{li}=0.9$ Rigidez $K_c < 0.70$ Rigidez K_0 $Rigidez < 0.80 \frac{(K_D + K_E + K_F)}{3}$</p> <p>La estructura se considera irregular cuando la rigidez lateral de un piso es menor que el 70% de la rigidez lateral del piso superior o menor que el 80 % del promedio de la rigidez lateral de los tres pisos superiores.</p>	
<p>Tipo 2 - Distribución de masa $\phi_{li}=0.9$ $m_D > 1.50 m_E$ ó $m_D > 1.50 m_C$</p> <p>La estructura se considera irregular cuando la masa de cualquier piso es mayor que 1,5 veces la masa de uno de los pisos adyacentes, con excepción del piso de cubierta que sea más liviano que el piso inferior.</p>	
<p>Tipo 3 - Irregularidad geométrica $\phi_{li}=0.9$ $a > 1.3 b$</p> <p>La estructura se considera irregular cuando la dimensión en planta del sistema resistente en cualquier piso es mayor que 1,3 veces la misma dimensión en un piso adyacente, exceptuando el caso de los altillos de un solo piso.</p>	
<p>Nota: La descripción de estas irregularidades no faculta al calculista o diseñador a considerarlas como normales, por lo tanto la presencia de estas irregularidades requiere revisiones estructurales adicionales que garanticen el buen comportamiento local y global de la edificación.</p>	

Fuente: Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-2015).

Anexo 60: Coeficiente de irregularidad en elevación.

$O_E = O_{EA} \times O_{EB}$	
Dónde:	
O_E	Coeficiente de regularidad en elevación
O_{EA}	Mínimo valor O_{Ei} de cada piso i de la estructura, en el caso de irregularidades tipo 1; O_{Ei} en cada piso se calcula como el mínimo valor expresado por la tabla para la irregularidad tipo 1
O_{EB}	Mínimo valor O_{Ei} de cada piso i de la estructura, en el caso de irregularidades tipo 1; O_{Ei} en cada piso se calcula como el mínimo valor expresado por la tabla para la irregularidad tipo 2 y/o 3
O_{Ei}	Coeficiente de configuración en elevación

Fuente: Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-2015).

Anexo 61: Factor K.

Valores de T (s)	k
≤ 0.5	1
$0.5 < T \leq 2.5$	$0.75 + 0.50 T$
> 2.5	2

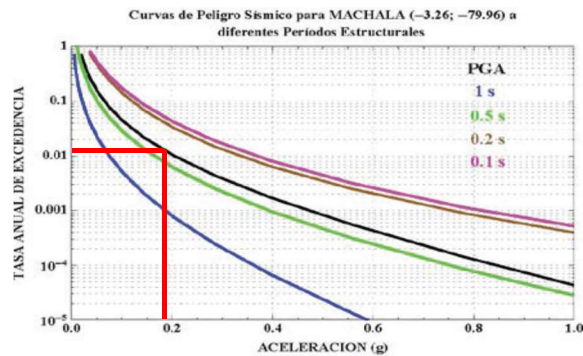
Fuente: Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-2015).

Anexo 62: Nivel de amenaza sísmica.

Nivel de sismo	Sismo	Probabilidad de excedencia en 50 años	Periodo 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

Fuente: Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-2015).

Anexo 63: Factor Z para el sismo Frecuente.



Fuente: Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-2015).

Anexo 64: Factor de sitio Fa.

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					

Fuente: Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-2015).

Anexo 65: Factor de sitio F_d .

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					

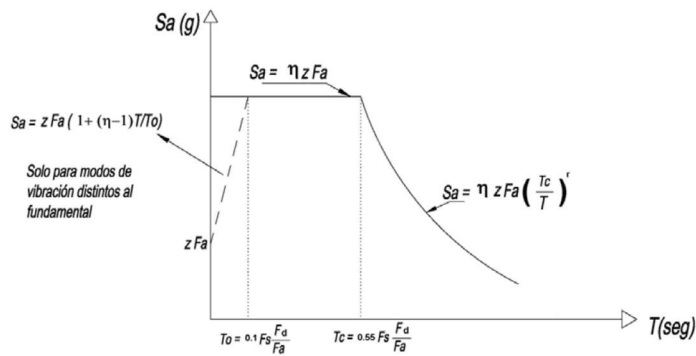
Fuente: Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-2015).

Anexo 66: Factor de comportamiento inelástico del suelo F_s .

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					

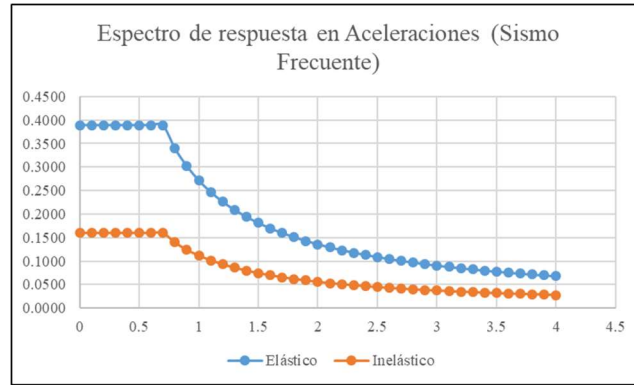
Fuente: Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-2015).

Anexo 67: Espectro elástico horizontal en aceleraciones.



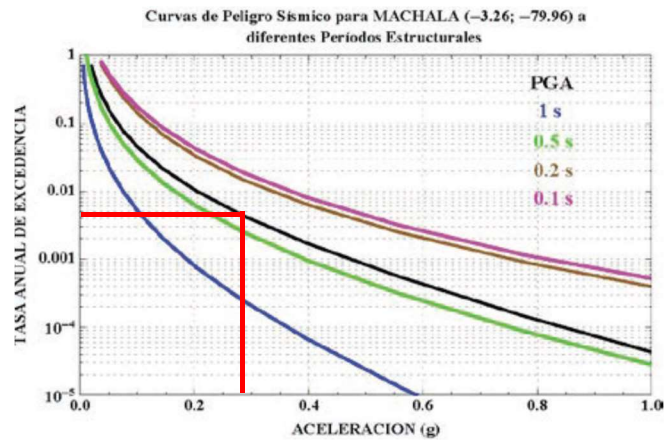
Fuente: Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-2015).

Anexo 68: Comparativa entre espectros de respuesta en aceleraciones elástico e inelástico ante el sismo Frecuente.



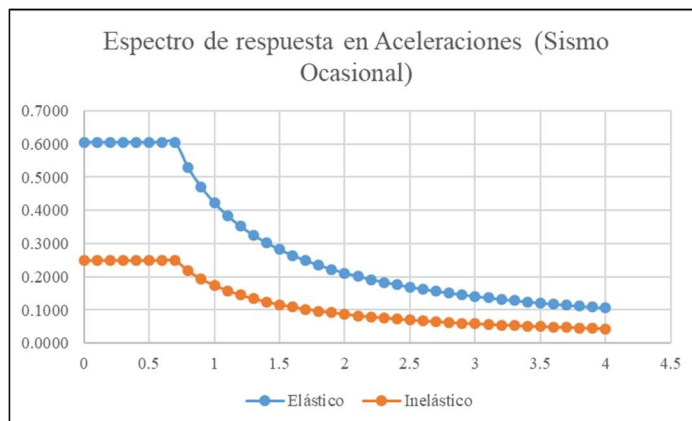
Fuente: Autor

Anexo 69: Factor Z para el sismo Ocasional.



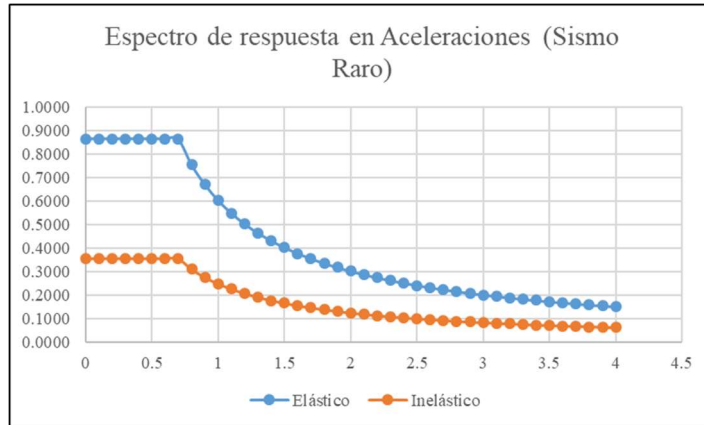
Fuente: Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-2015).

Anexo 70: Comparación entre espectros de respuesta en aceleraciones elástico e inelástico ante el sismo Ocasional.



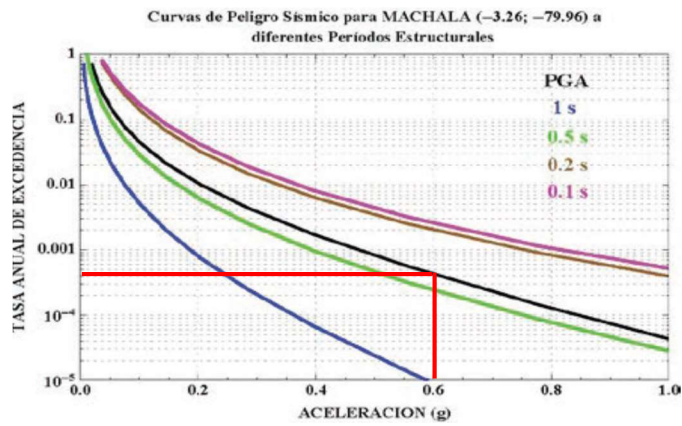
Fuente: Autor

Anexo 71: Comparación entre espectros de respuesta en aceleraciones elástico e inelástico ante el sismo Raro.



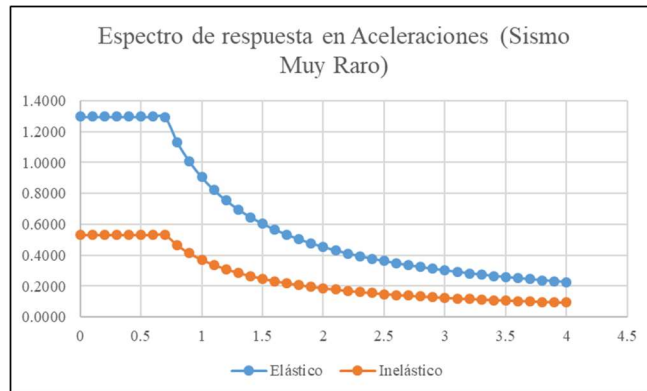
Fuente: Autor

Anexo 72: Factor Z para el sismo Muy Raro.



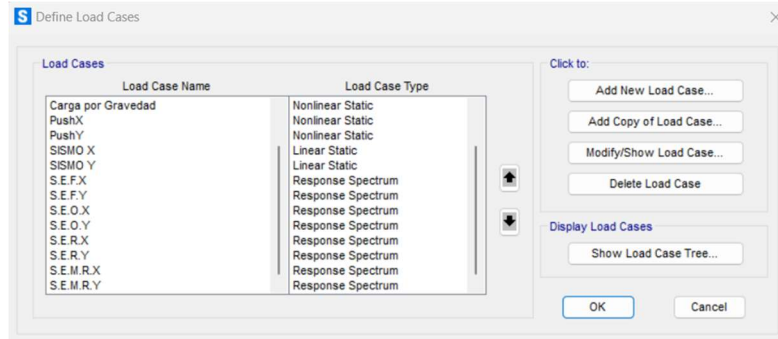
Fuente: Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-2015).

Anexo 73: Comparación entre espectros de respuesta en aceleraciones elástico e inelástico ante el sismo Muy Raro.



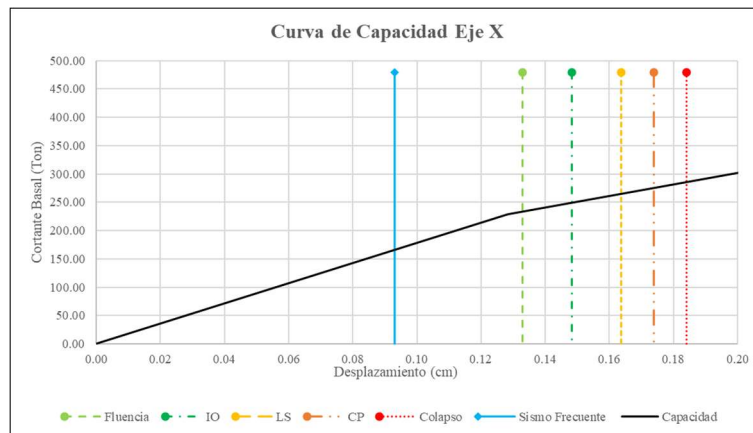
Fuente: Autor

Anexo 74: Ingreso de espectros elásticos de respuesta en Aceleraciones.



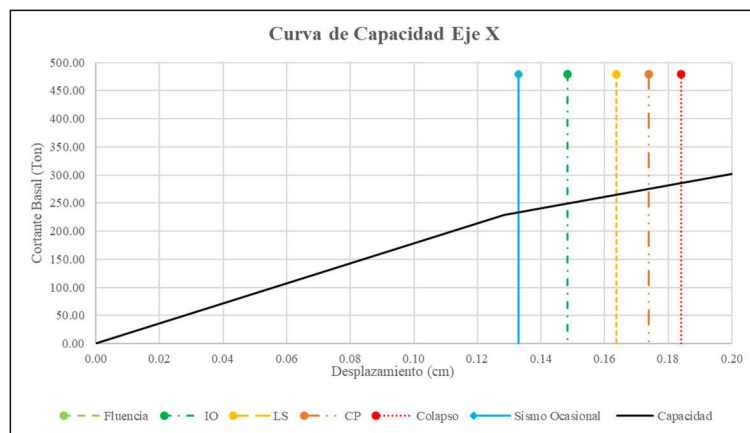
Fuente: Autor

Anexo 75: Nivel de desempeño sísmico para el Sismo Frecuente en el eje X.



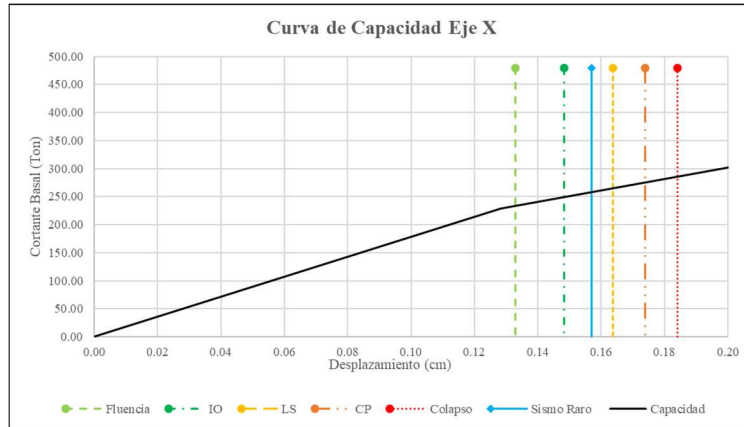
Fuente: Autor

Anexo 76: Nivel de desempeño sísmico para el Sismo Ocasional en el eje X.



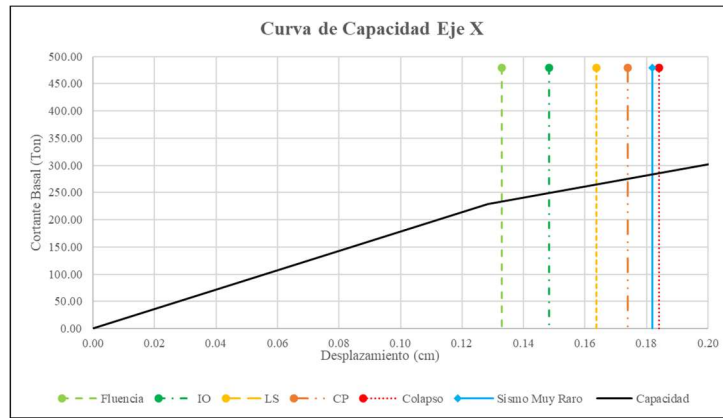
Fuente: Autor

Anexo 77: Nivel de desempeño sísmico para el Sismo Raro en el eje X.



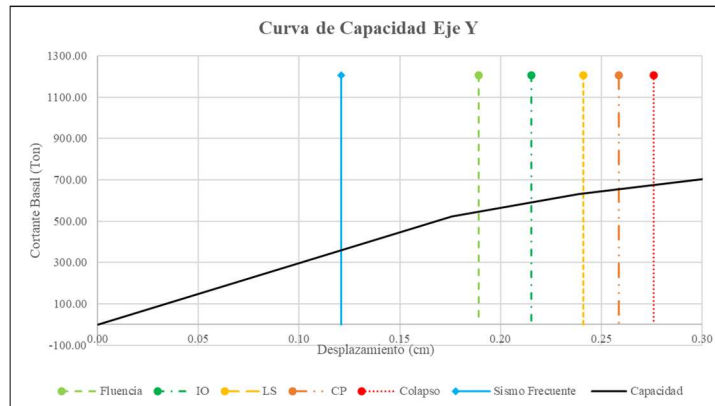
Fuente: Autor

Anexo 78: Nivel de desempeño sísmico para el Sismo Muy Raro en el eje X.



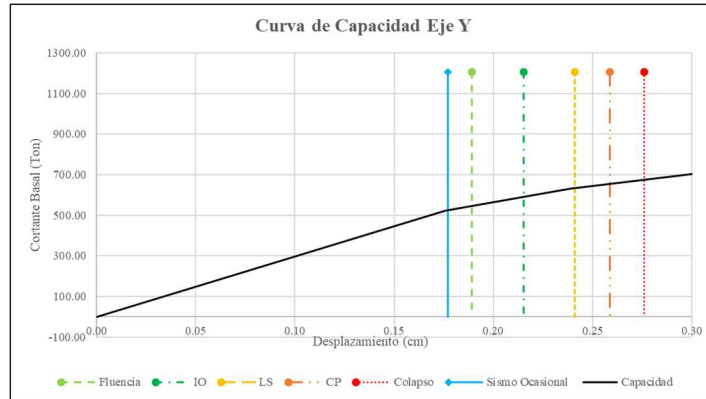
Fuente: Autor

Anexo 79: Nivel de desempeño sísmico para el Sismo Frecuente en el eje Y.



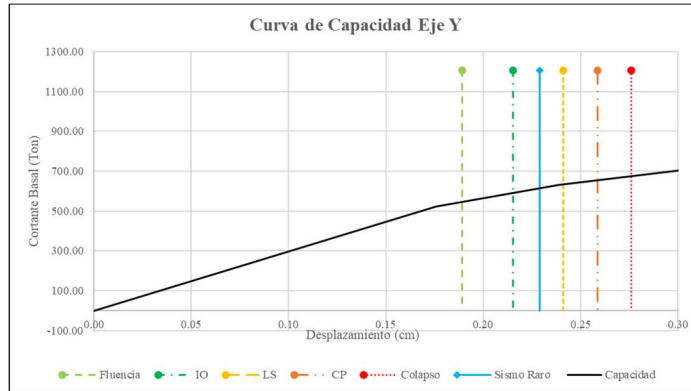
Fuente: Autor

Anexo 80: Nivel de desempeño sísmico para el Sismo Ocasional en el eje Y.



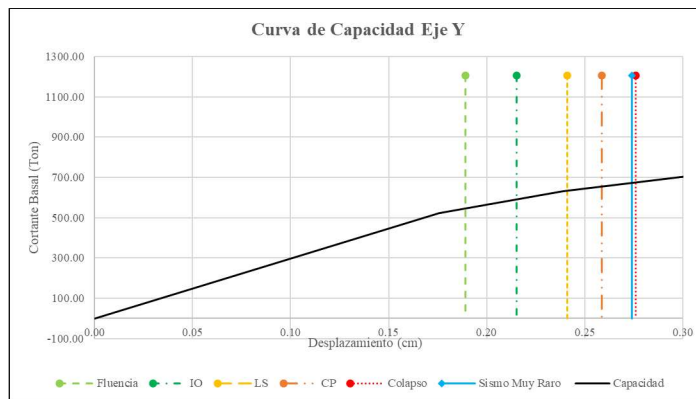
Fuente: Autor

Anexo 81: Nivel de desempeño sísmico para el Sismo Raro en el eje Y.



Fuente: Autor

Anexo 82: Nivel de desempeño sísmico para el Sismo Muy Raro en el eje Y.



Fuente: Autor