

**UTMACH**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**Diseño del sistema de control de respuesta sísmica en edificaciones de mediana altura de acero estructural.**

**VALDEZ AGUILAR DANIEL STEEVEN  
INGENIERO CIVIL**

**GARCIA LOAYZA STEEVEN HUMBERTO  
INGENIERO CIVIL**

**MACHALA  
2024**



**UTMACH**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**Diseño del sistema de control de respuesta sísmica en edificaciones  
de mediana altura de acero estructural.**

**VALDEZ AGUILAR DANIEL STEEVEN  
INGENIERO CIVIL**

**GARCIA LOAYZA STEEVEN HUMBERTO  
INGENIERO CIVIL**

**MACHALA  
2024**



**UTMACH**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**PROYECTOS TÉCNICOS**

**Diseño del sistema de control de respuesta sísmica en edificaciones de mediana altura de acero estructural.**

**VALDEZ AGUILAR DANIEL STEEVEN  
INGENIERO CIVIL**

**GARCIA LOAYZA STEEVEN HUMBERTO  
INGENIERO CIVIL**

**ORDOÑEZ FERNANDEZ JOSE LUIS**

**MACHALA  
2024**



# GARCIA - VALDEZ

7%  
Textos sospechosos



4% Similitudes  
< 1% similitudes entre comillas  
< 1% entre las fuentes mencionadas  
3% Idiomas no reconocidos

Nombre del documento: GARCIA - VALDEZ.pdf  
ID del documento: a4d44bc18ba539664ce89465436ec1d5afc5c66f  
Tamaño del documento original: 5,79 MB  
Autores: []

Depositante: JOSE LUIS ORDOÑEZ FERNANDEZ  
Fecha de depósito: 9/2/2025  
Tipo de carga: interface  
fecha de fin de análisis: 9/2/2025

Número de palabras: 49.897  
Número de caracteres: 335.563

Ubicación de las similitudes en el documento:



## Fuentes principales detectadas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	<b>132.248.9.195</b>   Espacios arquitectónicos de la vivienda en la Ciudad de México en los... http://132.248.9.195/ptd2018/mayo/0774254/Index.html 5 fuentes similares	1%		Palabras idénticas: 1% (739 palabras)
2	<b>repositorio.undac.edu.pe</b> http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/3607/1/T026_71239703_T.pdf 4 fuentes similares	1%		Palabras idénticas: 1% (683 palabras)
3	<b>Documento de otro usuario</b> #1b76e8 El documento proviene de otro grupo 5 fuentes similares	1%		Palabras idénticas: 1% (673 palabras)
4	<b>132.248.9.195</b>   Instituto de Ciencias Forenses en Torreón, Coahuila, México http://132.248.9.195/ptd2019/noviembre/0797838/Index.html 4 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (637 palabras)
5	<b>ru.dgb.unam.mx</b> https://ru.dgb.unam.mx/bitstream/20.500.14330/TE501000811788/3/0811788.pdf 5 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (630 palabras)

## Fuentes con similitudes fortuitas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	<b>dx.doi.org</b>   Evaluación de vulnerabilidad sísmica, análisis estructural y diseño de ref... http://dx.doi.org/10.22206/cyap.2022.v5i2.pp63-79	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (34 palabras)
2	<b>TRABAJO DE TITULACIÓN - ALEX JEAMPIERRE SEGOVIA SUÁREZ.docx</b>   AN... #65d4a2 El documento proviene de mi grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (34 palabras)
3	<b>repositorio.upse.edu.ec</b> https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/9205/1/UPSE-TIC-2023-0016.pdf	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (32 palabras)
4	<b>doi.org</b>   Frontiers   Experimental Assessment of the Seismic Response of a Base-Isol... https://doi.org/10.3389/fbuil.2020.00033	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (29 palabras)
5	<b>Documento de otro usuario</b> #13a800 El documento proviene de otro grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (24 palabras)

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

- https://doi.org/10.1016/j.cageo.2012.02.017
- https://doi.org/10.22075/JRCE.2019.16186.1306
- https://doi.org/10.1007/s41062-017-0081
- https://doi.org/10.3390/buildings13061563
- https://doi.org/10.33333/rp.vol50n1.06

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

Los que suscriben, VALDEZ AGUILAR DANIEL STEEVEN y GARCIA LOAYZA STEEVEN HUMBERTO, en calidad de autores del siguiente trabajo escrito titulado Diseño del sistema de control de respuesta sísmica en edificaciones de mediana altura de acero estructural., otorgan 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 tienen potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

Los autores declaran 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.

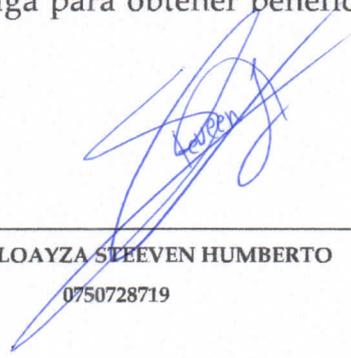
Los autores como garantes de la autoría de la obra y en relación a la misma, declaran que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asumen la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

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.



VALDEZ AGUILAR DANIEL STEEVEN

0750399628



GARCIA LOAYZA STEEVEN HUMBERTO

0750728719

## ÍNDICE GENERAL

<b>ÍNDICE GENERAL</b> .....	<b>2</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>9</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	<b>11</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>15</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>16</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>17</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>19</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>21</b>
<b>CAPÍTULO I</b> .....	<b>23</b>
<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	<b>23</b>
1.1 Antecedentes .....	23
1.1.1 Datos de Población .....	23
1.1.2 Situaciones turísticas y sociales.....	24
1.1.3 Ordenamiento territorial del cantón Machala. ....	26
1.1.4 Topografía.....	30
1.1.5 Uso del suelo.....	34
1.1.6 Geología.....	37
1.1.7 Amenaza sísmica. ....	39
1.1.8 Fallas geológicas.....	40
1.2 Descripción de la situación problemática .....	42
1.3 Formulación del problema .....	44
1.3.1 Problema .....	44
1.3.2 Problemas secundarios.....	44
1.4 Delimitación del objeto de estudio .....	46
1.4.1 De contenido .....	46

1.4.2 Espacial.....	46
1.4.3 Temporal.....	47
1.5 Justificación .....	47
1.6 Objetivos: General y específicos .....	49
1.6.1 Objetivo general.....	49
1.6.2 Objetivos específicos .....	49
<b>CAPITULO II .....</b>	<b>50</b>
<b>MARCO TEORICO .....</b>	<b>50</b>
2.1 Antecedentes contextuales.....	50
2.1.1 Macro .....	50
2.1.2 Meso.....	51
2.1.3 Micro.....	53
2.2 Antecedentes Referenciales .....	55
2.3 Antecedentes Conceptuales .....	59
2.3.1 Vulnerabilidad sísmica de una estructura .....	59
2.3.2 Edificios de acero con marcos sismorresistentes.....	60
2.3.3 Análisis de factores sísmicos .....	60
2.3.4 Curva de capacidad.....	61
2.3.5 Desempeño sísmico .....	61
2.3.6 Clasificación de los sistemas de control en la respuesta sísmica.....	62
2.3.7 Aislamiento sísmico de base.....	62
2.3.8 Sistemas de aislamiento deslizante .....	63
2.3.9 Sistema de aislamiento de base elastómeros.....	63
2.3.10 Método de análisis Lineal en el tiempo .....	63
2.3.11 Registro sísmico.....	64
2.3.12 Ductilidad.....	64
2.3.13 Resistencia estructural .....	65

2.3.14 Sismo máximo esperado .....	65
2.3.15 Sismo de diseño .....	65
2.3.16 Derivas .....	66
2.3.17 Criterio de funcionalidad continua .....	66
2.3.18 Rigidez efectiva .....	67
2.3.19 Espectro de diseño .....	67
2.3.20 Espectro de respuesta.....	68
2.3.21 Amortiguamiento .....	68
<b>CAPITULO III.....</b>	<b>69</b>
<b>METODOLOGÍA.....</b>	<b>69</b>
3.1 Modalidad básica de la investigación .....	69
3.1.1 Investigación de factores primordiales para el análisis del proyecto técnico.....	69
3.1.2 Análisis y Diseño sismorresistente del modelado estructural.....	69
3.1.3 Comparación e interpretación de resultados ante el modelado estructural de base fija y aislada.....	70
3.1.4 Elección técnica del mejor caso evaluado mediante conclusiones y recomendaciones.....	70
3.2 Tipo de investigación.....	70
3.2.1 Modalidad Documental.....	70
3.2.2 Modalidad De campo.....	71
3.2.3 Modalidad Descriptiva.....	71
3.2.4 Modalidad experimental .....	71
3.3 Objetivo de estudio .....	72
3.4 Descripción de la población y muestra .....	72
3.5 Métodos teóricos o empíricos con los materiales utilizados.....	72
3.5.1 Datos de las características de los elementos estructurales .....	73
3.5.2 Diseño y control de los elementos estructurales .....	73
3.5.2 Control de columnas de la edificación.....	74

3.5.3 Control de vigas principales y nervios de la edificación .....	75
3.5.4 Análisis de espectros sísmicos .....	77
3.5.5 Análisis de señales espectrales sísmicas .....	78
3.5.6 Análisis y cálculo del sistema de aislamiento.....	79
<b>CAPITULO IV .....</b>	<b>82</b>
<b>ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....</b>	<b>82</b>
4.1 Diseño de elementos estructurales .....	82
4.1.1 Análisis y diseño de columnas de la edificación .....	82
4.1.2 Análisis y diseño de vigas principales de la edificación.....	89
4.1.3 Análisis y diseño de vigas secundarias o nervios de la edificación.....	94
4.2 Modelación de la Edificación base fija.....	101
4.2.1 Definir la Grilla (GRID) .....	101
4.2.2 Definir cantidad de pisos y su elevación .....	102
4.2.3 Definir las propiedades de los materiales .....	102
4.2.4 Definir las propiedades de las secciones de los elementos estructurales.....	103
4.2.5 Definir Diafragmas .....	103
4.2.6 Definir Mass Source Data (Masa reactiva).....	104
4.2.7 Definir Load Patterns.....	104
4.2.8 Definir Shell Uniform Load Sets .....	105
4.2.9 Definir Load Cases .....	105
4.2.10 Definir combinación de cargas .....	106
4.2.11 Determinación del período de vibración T .....	106
4.3 Espectro elástico e inelástico horizontal de diseño en aceleraciones, para un período de retorno de 475 años .....	107
4.3.1 Obtención de los coeficientes de amplificación de suelo Fa, Fd, Fs. ....	107
4.3.2 Cálculo de To y Tc.....	109
3.5.12.3 Cálculo de Sa .....	109

4.3.4 Cálculo de $S_a$ para modos de vibración distintos al fundamental .....	110
4.3.5 Espectro inelástico horizontal de diseño en aceleraciones .....	110
4.3.6 Definir coeficiente sísmico estático .....	111
4.3.7 Cálculo de $k$ : .....	111
4.3.8 Cálculo de $C$ : .....	112
4.3.9 Ajuste de Cortante .....	113
4.3.10 Comprobación de ajuste de cortante .....	114
4.4 Modelación de la Edificación base Aislada .....	114
4.4.1 Definir la Grilla (GRID) .....	114
4.4.2 Definir cantidad de pisos y su elevación .....	114
4.4.3 Determinación del período de vibración $T$ .....	115
4.5 Espectro elástico horizontal de diseño en aceleraciones para un período de retorno de 2500 años .....	116
4.5.1 Cálculo de factor de zona sísmica para un período de retorno de 2500 años .....	116
4.5.2 Valor PGA de la gráfica de Curvas de Peligro Sísmico para Machala.....	117
Figura 17. Curva de Peligro Sísmico para Machala .....	117
4.5.3 Obtención de los coeficientes de amplificación de suelo $F_a$ , $F_d$ , $F_s$ . .....	117
4.5.4 Cálculo de $T_o$ y $T_c$ .....	119
4.5.5 Cálculo de $S_a$ .....	119
4.5.6 Cálculo de $S_a$ para modos de vibración distintos al fundamental .....	120
4.5.7 Factor de amortiguamiento $B_m$ .....	120
4.5.8 Definir coeficiente sísmico estático .....	121
4.5.9 Cálculo de $k$ : .....	121
4.5.10 Cálculo de $C$ : .....	122
4.5.11 Ajuste de Cortante .....	123
4.5.12 Comprobación de ajuste de cortante .....	124
4.6 Análisis y diseño del sistema de control sísmico (aisladores) en la edificación.	124

4.6.1 Obtención del período objetivo.....	125
4.6.2 Cálculo de rigidez efectiva total del sistema de aislamiento $K_b$ .....	125
4.6.3 Cálculo de constante de amortiguamiento $C_b$ .....	125
4.6.4 Cálculo del desplazamiento traslacional total y de la losa aislada .....	126
4.6.5 Cálculo del desplazamiento total de la losa aislada incluyendo torsión .....	127
4.6.6 Cálculo de las fuerzas cortantes del sistema de aislamiento.....	128
4.6.7 Análisis y cálculo de la respuesta del sistema aislado utilizando el método de dos grados de libertad .....	128
4.7 Análisis e ingreso de señales sísmicas (acelerogramas) al programa de modelado estructural.....	131
4.7.1 Análisis de Señales Sísmicas .....	131
4.7.2 Ingreso de señales al programa de modelación .....	131
4.7.3 Definir factor de escala .....	132
4.7.4 Definir Casos de carga .....	132
4.8 Análisis e interpretación de resultados del modelado de la edificación con base fija, para sismo con período de retorno de 475 años.....	133
4.8.1 Fuerzas cortantes en base al análisis del sismo estático .....	133
4.8.2 Fuerzas cortantes en base al análisis del sismo dinámico.....	134
4.8.3 Distorsiones en base al análisis del sismo estático .....	135
4.8.4 Distorsiones en base al análisis del sismo dinámico.....	136
4.8.5 Derivas en base al análisis del sismo estático.....	137
4.8.6 Derivas en base al análisis del sismo dinámico .....	138
4.8.7 Desplazamientos en base al análisis del sismo estático.....	140
4.8.8 Desplazamientos en base al análisis del sismo dinámico .....	141
4.9 Análisis e interpretación de resultados del modelado de la edificación con base aislada, para sismo con período de retorno de 2500 años.....	143
4.9.1 Fuerzas cortantes en base al análisis del sismo estático .....	143
4.9.2 Fuerzas cortantes en base al análisis del sismo dinámico.....	144

4.9.3 Distorsiones en base al análisis del sismo estático .....	146
4.9.4 Distorsiones en base al análisis del sismo dinámico.....	147
4.9.5 Derivas en base al análisis del sismo estático.....	148
4.9.6 Derivas en base al análisis del sismo dinámico .....	149
4.9.7 Desplazamientos en base al análisis del sismo estático.....	151
4.9.8 Desplazamientos en base al análisis del sismo dinámico .....	152
4.10 Análisis e interpretación de resultados del modelado de la edificación con base aislada mediante la implementación de señales sísmicas, escalado para un sismo de período de retorno de 2500 años.....	153
4.10.1 Desplazamientos en base al análisis de las señales sísmicas .....	154
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>155</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>157</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>158</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>164</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Curva de crecimiento poblacional de la ciudad de Machala en las últimas tres décadas.....	23
<b>Figura 2.</b> Clasificación de las vías de la ciudad de Machala .....	29
<b>Figura 3.</b> Vista satelital de la ciudad de Machala .....	32
<b>Figura 4.</b> Componentes geográficos del cantón Machala.....	33
<b>Figura 5.</b> Límites urbanos en la ciudad de Machala .....	34
<b>Figura 6.</b> Usos del suelo del cantón Machala desde el año 2000 - 2008 .....	35
<b>Figura 7.</b> Mapa de Geomorfología del cantón Machala. ....	38
<b>Figura 8.</b> Mapa de zonificación sísmica del Ecuador .....	40
<b>Figura 9.</b> Mapa de susceptibilidad y movimientos en masa del cantón Machala.....	41
<b>Figura 10.</b> Mapa de susceptibilidad a erosión del Cantón Machala. ....	42
<b>Figura 11.</b> Árbol de problemas (Causas y efectos).....	45
<b>Figura 12.</b> Vista satelital de la ciudad de Machala .....	46
<b>Figura 13.</b> Mapa de zonificación sísmica del Ecuador .....	47
<b>Figura 14.</b> Vista en planta de nervio en el software de modelado estructural .....	95
<b>Figura 15.</b> Tabla de resultados de períodos del edificio con base fija.....	107
<b>Figura 16.</b> Gráfica de espectro de diseño de aceleraciones de Machala Suelo Tipo D, período de retorno de 475 años.....	111
<b>Figura 17.</b> Tabla de resultados de períodos del edificio con base aislada .....	116
<b>Figura 18.</b> Curva de Peligro Sísmico para Machala .....	117
<b>Figura 19.</b> Gráfica de espectro de diseño de aceleraciones de Machala Suelo Tipo D, período de retorno de 2500 años.....	121
<b>Figura 20.</b> Gráfica de cortantes basales en el análisis estático del edificio de base fija	134
<b>Figura 21.</b> Gráfica de cortantes basales en el análisis dinámico del edificio de base fija .....	135
<b>Figura 22.</b> Gráfica de distorsiones en el análisis estático del edificio de base fija.....	136
<b>Figura 23.</b> Gráfica de distorsiones en el análisis estático del edificio de base fija.....	136
<b>Figura 24.</b> Gráfica de derivas en el análisis estático del edificio de base fija .....	138
<b>Figura 25.</b> Gráfica de derivas en el análisis dinámico del edificio de base fija.....	139
<b>Figura 26.</b> Gráfica de desplazamientos en el análisis estático del edificio de base fija	140
<b>Figura 27.</b> Gráfica de desplazamientos en el análisis dinámico del edificio de base fija .....	141

<b>Figura 28.</b> Gráfica de cortantes basales en el análisis estático del edificio de base aislada .....	144
<b>Figura 29.</b> Gráfica de cortantes basales en el análisis dinámico del edificio de base aislada .....	145
<b>Figura 30.</b> Gráfica de distorsiones en el análisis estático del edificio de base aislada. ....	146
<b>Figura 31.</b> Gráfica de distorsiones en el análisis dinámico del edificio de base .....	147
<b>Figura 32.</b> Gráfica de derivas en el análisis estático del edificio de base aislada.....	149
<b>Figura 33.</b> Gráfica de derivas en el análisis dinámico del edificio de base aislada.....	150
<b>Figura 34.</b> Gráfica de desplazamientos en el análisis estático del edificio de base aislada .....	151
<b>Figura 35.</b> Gráfica de desplazamientos en el análisis dinámico del edificio de base aislada .....	152
<b>Figura 36.</b> Gráfica de desplazamientos por señales sísmicas del edificio de base aislada .....	154

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Tasa de crecimiento poblacional en la ciudad de Machala.....	24
<b>Tabla 2.</b> Áreas con mayor ocupación en la ciudad de Machala.....	32
<b>Tabla 3.</b> Usos del suelo del cantón Machala.....	35
<b>Tabla 4.</b> Aptitud del suelo por sistema agrícola en la ciudad de Machala.....	36
<b>Tabla 5.</b> Conflictos del uso del suelo en el cantón Machala.....	37
<b>Tabla 6.</b> Geomorfología del cantón Machala.....	37
<b>Tabla 7.</b> Clasificación del suelo por su taxonomía en la ciudad de Machala .....	39
<b>Tabla 8.</b> Resumen de las propiedades y características de los elementos estructurales	73
<b>Tabla 9.</b> Propiedades y dimensiones de la columna cuadrada tipo.....	82
<b>Tabla 10.</b> Resumen de resultados de los controles hacia las columnas cuadradas y circulares del edificio.....	87
<b>Tabla 11.</b> Propiedades y dimensiones de la viga principal tipo I.....	89
<b>Tabla 12.</b> Propiedades y dimensiones de la viga secundaria o nervio IPE .....	94
<b>Tabla 13.</b> Resumen de resultados de controles hacia vigas principales y nervios.....	99
<b>Tabla 14.</b> Grilla del modelado Eje Horizontal .....	101
<b>Tabla 15.</b> Grilla del modelado Eje vertical .....	101
<b>Tabla 16.</b> Número y elevación de pisos .....	102
<b>Tabla 17.</b> Propiedades de material del hormigón.....	102
<b>Tabla 18.</b> Propiedades de material del acero .....	103
<b>Tabla 19.</b> Tipos de Cargas .....	104
<b>Tabla 20.</b> Cargas Uniformemente distribuidas para pisos y escaleras.....	105
<b>Tabla 21.</b> Casos de Cargas .....	105
<b>Tabla 22.</b> Fa: Coeficiente de amplificación de suelo en la zona de período corto.....	108
<b>Tabla 23.</b> Fd: Amplificación de las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos para diseño en roca .....	108
<b>Tabla 24.</b> Fs: Comportamiento no lineal de los suelos .....	109
<b>Tabla 25.</b> Tabla para determinar el valor de k .....	111
<b>Tabla 26.</b> Detalle de alturas por cada nivel de piso incluyendo base aislada en la edificación.....	115
<b>Tabla 27.</b> Fa: Coeficiente de amplificación de suelo en la zona de período corto.....	118
<b>Tabla 28.</b> Fd: Amplificación de las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos para diseño en roca .....	118
<b>Tabla 29.</b> Fs: Comportamiento no lineal de los suelos .....	118

<b>Tabla 30.</b> Tabla para determinar el valor de k .....	121
<b>Tabla 31.</b> Valores del factor de amortiguamiento BM .....	125
<b>Tabla 32.</b> Cuadro comparativo de los desplazamientos calculados según la ASCE 7	130
<b>Tabla 33.</b> Análisis de Señales Sísmicas .....	131
<b>Tabla 34.</b> Factor de escala para cada periodo de retorno sísmico.....	132
<b>Tabla 35.</b> Tabla de resultados de la cortante basal en el análisis estático del modelado de base fija en el eje x.....	133
<b>Tabla 36.</b> Tabla de resultados de la cortante basal en el análisis estático del modelado de base fija en el eje y.....	133
<b>Tabla 37.</b> Tabla de resultados de la cortante basal en el análisis dinámico del modelado de base fija en el eje x.....	134
<b>Tabla 38.</b> Tabla de resultados de la cortante basal en el análisis dinámico del modelado de base fija en el eje y .....	134
<b>Tabla 39.</b> Tabla de resultados de las distorsiones en el análisis estático del modelado de base fija en el eje x y eje y .....	135
<b>Tabla 40.</b> Tabla de resultados de las distorsiones en el análisis dinámico del modelado de base fija en el eje x y eje y .....	136
<b>Tabla 41.</b> Resumen de distorsiones máximas por cada eje del edificio con base fija..	137
<b>Tabla 42.</b> Resultados de derivas por el sismo estático del modelado de base fija en el eje x .....	137
<b>Tabla 43.</b> Resultados de derivas por el sismo estático del modelado de base fija en el eje y .....	137
<b>Tabla 44.</b> Resultados de las derivas en el análisis dinámico del modelado de base fija en el eje x.....	138
<b>Tabla 45.</b> Resultados de las derivas en el análisis dinámico del modelado de base fija en el eje y.....	138
<b>Tabla 46.</b> Resumen de derivas máximas por cada eje del edificio con base fija .....	139
<b>Tabla 47.</b> Resultados de los desplazamientos en el análisis estático del modelado de base fija en el eje x.....	140
<b>Tabla 48.</b> Resultados de los desplazamientos en el análisis estático del modelado de base fija en el eje y.....	140
<b>Tabla 49.</b> Resultados de los desplazamientos en el análisis dinámico del modelado de base fija en el eje x.....	141

<b>Tabla 50.</b> Resultados de los desplazamientos en el análisis dinámico del modelado de base fija en el eje y.....	141
<b>Tabla 51.</b> Resumen de desplazamientos máximas por cada eje del edificio con base fija .....	142
<b>Tabla 52.</b> Tabla de resultados de la cortante basal en el análisis estático del modelado de base aislada en el eje x.....	143
<b>Tabla 53.</b> Tabla de resultados de la cortante basal en el análisis estático del modelado de base aislada en el eje y.....	143
<b>Tabla 54.</b> Tabla de resultados de la cortante basal en el análisis dinámico del modelado de base aislada en el eje x .....	144
<b>Tabla 55.</b> Tabla de resultados de la cortante basal en el análisis dinámico del modelado de base aislada en el eje y .....	144
<b>Tabla 56.</b> Tabla de resultados de las distorsiones en el análisis estático del modelado de base aislada en el eje x y eje y .....	146
<b>Tabla 57.</b> Tabla de resultados de las distorsiones en el análisis dinámico del modelado de base aislada en el eje x y eje y .....	147
<b>Tabla 58.</b> Resumen de distorsiones máximas por cada eje del edificio con base aislada .....	148
<b>Tabla 59.</b> Resultados de derivas por el sismo estático del modelado de base aislada en el eje x.....	148
<b>Tabla 60.</b> Resultados de derivas por el sismo estático del modelado de base aislada en el eje y.....	148
<b>Tabla 61.</b> Resultados de derivas por el sismo dinámico del modelado de base aislada en el eje x.....	149
<b>Tabla 62.</b> Resultados de derivas por el sismo dinámico del modelado de base aislada en el eje y.....	149
<b>Tabla 63.</b> Resumen de derivas máximas por cada eje del edificio con base aislada ...	150
<b>Tabla 64.</b> Resultados de desplazamientos por el sismo estático del modelado de base aislada en el eje x.....	151
<b>Tabla 65.</b> Resultados de desplazamientos por el sismo estático del modelado de base aislada en el eje y.....	151
<b>Tabla 66.</b> Resultados de desplazamientos por el sismo dinámico del modelado de base aislada en el eje x.....	152

<b>Tabla 67.</b> Resultados de desplazamientos por el sismo dinámico del modelado de base aislada en el eje y .....	152
<b>Tabla 68.</b> Resumen de desplazamientos máximas por cada eje del edificio con base aislada .....	153
<b>Tabla 69.</b> Resultados de desplazamientos por señales sísmicas del modelado de base aislada en el eje x .....	154

## **DEDICATORIA**

Con gratitud y profundo respeto, dedico este trabajo a quienes han sido pilares fundamentales en este camino. A mis padres, por su amor incondicional, apoyo incansable y por enseñarme que el esfuerzo y la perseverancia son la clave del éxito. Sin su guía y sacrificio, este logro no habría sido posible. A mis docentes y mentores, por compartir su conocimiento, inspirarme a seguir adelante y desafiarme a ser mejor cada día. Su enseñanza ha sido una luz en mi formación. A mis amigos y compañeros, por su compañía, palabras de aliento y momentos compartidos. Su apoyo ha hecho que este camino sea más llevadero y enriquecedor. Y, sobre todo, a mí mismo, por la dedicación, la paciencia y la determinación de nunca rendirme ante los desafíos. Este logro es el reflejo del esfuerzo y la pasión por alcanzar mis metas.

Daniel Steeven Valdez Aguilar

Desde el fondo de mi corazón, dedico este trabajo y todo mi esfuerzo durante todo mi período estudiantil a todas las personas leales y de confianza que siempre estuvieron apoyándome desde el inicio hasta el día de hoy, sobre todo a mi familia, mis padres, siendo los pilares vitales de mi vida y los cuales me han enseñado a emprender un gran camino para mi formación como profesional, y sobre los valores de la vida, además del apoyo de mis hermanos, mis familiares más cercanos y mi mejor amigo, gracias a su apoyo y confianza he podido llegar alcanzar grandes metas y éxito en grandes proyectos. De la misma manera, dedico este trabajo hacia los docentes que me han brindado su apoyo, tiempo y enseñanzas para poder salir adelante dentro de mi carrera como profesional y en la vida.

Steeven Humberto García Loayza

## **AGRADECIMIENTOS**

Finalizar esta etapa representa un hito importante en mi vida, un logro que no habría sido posible sin el respaldo, la orientación y el aliento de muchas personas que me han acompañado en este camino. En primer lugar, quiero expresar mi más profundo agradecimiento a mi familia, cuyo amor incondicional, paciencia y apoyo han sido mi mayor fuente de fortaleza. Su confianza en mí ha sido el motor que me ha impulsado a seguir adelante, incluso en los momentos más desafiantes. Asimismo, extendiendo mi gratitud a mis profesores y mentores, quienes con su entrega y conocimiento han enriquecido mi aprendizaje. Sus enseñanzas no solo me han brindado herramientas académicas, sino también valores y principios que serán fundamentales en mi desarrollo profesional. Finalmente, agradezco a mi tutor guía de tesis por la paciencia y apoyo que me ha brindado a lo largo de la elaboración de la documentación de tesis

Daniel Steeven Valdez Aguilar

Es un orgullo y halago haber tenido el apoyo de todas las personas las cuales siempre estuvieron brindándome su tiempo para salir adelante, mismos que me han brindado sus consejos, enseñanzas, y haber compartido grandes momentos que me han ayudado en gran medida a ser la persona que soy a día de hoy, quiero agradecer infinitamente a mis padres, no solo por su apoyo incondicional, sino por aconsejarme y darme grandes enseñanzas de vida que me han ayudado a día de hoy, a mis hermanos, mi familia, mi mejor amigo que siempre ha estado apoyándome en todo momento. Adicionalmente quiero expresar mis agradecimientos a mi tutor, el ingeniero Jose Luis Ordoñez Fernández, por sus instrucciones y enseñanzas a lo largo del tiempo que lo he conocido y en la elaboración de la tesis, además, deseo agradecer a todos los docentes que siempre agregaron su grano de arena en mi formación como estudiante y futuro ingeniero civil.

Steeven Humberto García Loayza

## RESUMEN

El presente documento se enfoca en los sistemas de control sísmicos implementados en edificaciones de media altura de acero estructural, el cual, implementar estos sistemas de control en nuestro país Ecuador es de vital importancia por la presencia de zonas de mayor peligrosidad sísmica, debido a esto, se tiene como objetivo el diseñar un sistema de control sísmico mediante herramientas computacionales y revisión de artículos científicos que permita reducir la demanda sísmica en las edificaciones de mediana altura de la ciudad de Machala ante un sismo severo y extremo. Como metodología para el diseño de los elementos estructurales en función de un diseño sismorresistente se basó en la normativa AISC 360 en paralelo a las normativas nacionales como NEC-Peligro Sísmico, NEC- Riesgo sísmico, y NEC- Estructuras de acero, también se usó la metodología de Análisis No Lineal Tiempo – Historia para implementar el uso de señales sísmicas, en conjunto con espectros de diseño de aceleraciones con sismos de períodos de retorno de 475 años y 2500 años para revisar los controles de derivas, desplazamientos, cortantes y distorsiones que sufre la edificación ante estas excitaciones telúricas. También se usó la metodología de diseño de aisladores para un grado de libertad y dos grados de libertad para la comprobar resultados obtenidos por el software computacional. Los resultados más importantes que se tuvieron fueron los siguientes: Para la edificación de base aislada con la utilización de aisladores elastoméricos con núcleo de plomo LRB (Lead Rubber Bearings) con una rigidez efectiva por aislador de 100 Ton/m con un sismo de período de retorno de 2500 años, se obtuvo una deriva máxima de 0.17% para sismo dinámico comparado con la base fija que se obtuvo una deriva máxima de 0.74% con un sismo con período de retorno de 475 años, estos resultados son para la superestructura, referente a desplazamientos en base aislada evaluándola con el espectro de 2500 años integrando el factor de reducción BM desde el período de torsión en el edificio entrega un máximo desplazamiento en el eje x de 39.18 cm en la base aislada, para el eje y se obtuvo un desplazamiento de 50 cm, mientras que los desplazamientos promedios integrando las 11 señales sísmicas en el modelado estructural aislado incluyendo el espectro de 2500 años con el factor de reducción BM, se alcanza un desplazamiento en la base aislada de 57.92 cm en el eje x, para el eje y se tiene de 64.52 cm. En conclusión, el integrar un sistema de control sísmico contribuye en gran medida a las estructuras de mediana altura de la ciudad de Machala, ya que, es cierto que, aumentan los desplazamientos y cortantes, pero sirve para permanecer fuera del alcance de las aceleraciones máximas que integran al espectro

de diseño de 475 y 2500 años, controlando el período de aislamiento y reduciendo las aceleraciones que pueden afectar a la edificación.

***Palabras clave:*** Sistemas de control sísmico, Aisladores elastoméricos con núcleo de plomo LRB, Factor de reducción BM, señales sísmicas, Espectro de diseño de aceleraciones, Acero estructural, Análisis No Lineal Tiempo – Historia, Derivas, Cortantes, Desplazamientos, Distorsiones.

## ABSTRACT

This document focuses on seismic control systems implemented in medium-rise buildings made of structural steel. Implementing these control systems in our country, Ecuador, is of vital importance due to the presence of areas with greater seismic hazards. For this reason, the objective is to design a seismic control system using computer tools and a review of scientific articles that will reduce seismic demand in medium-rise buildings in the city of Machala in the event of a severe and extreme earthquake. As a methodology for the design of structural elements based on an earthquake-resistant design, it was based on the AISC 360 regulations in parallel with national regulations such as NEC-Seismic Hazard, NEC- Seismic Risk, and NEC- Steel Structures, the Nonlinear Time-History Analysis methodology was also used to implement the use of seismic signals, together with design acceleration spectra with earthquakes with return periods of 475 years and 2500 years to review the controls of drifts, displacements, shears and distortions that the building suffers due to these telluric excitations. The design methodology of isolators for one degree of freedom and two degrees of freedom was also used to check the results obtained by the computer software. The most important results obtained were the following: For the isolated base building using elastomeric isolators with a lead core LRB (Lead Rubber Bearings) with an effective stiffness per isolator of 100 Ton/m with an earthquake return period of 2500 years, a maximum drift of 0.17% was obtained for a dynamic earthquake compared to the fixed base where a maximum drift of 0.74% was obtained with an earthquake return period of 475 years, these results are for the superstructure, referring to displacements in an isolated base evaluating it with the spectrum of 2500 years integrating the reduction factor BM from the torsion period in the building delivers a maximum displacement in the x axis of 39.18 cm in the isolated base, for the y axis a displacement of 50 cm was obtained, while the average displacements integrating the 11 seismic signals in the isolated structural modeling including the spectrum of 2500 years With the reduction factor BM, a displacement of 57.92 cm is achieved in the isolated base on the x axis, for the y axis it is 64.52 cm. In conclusion, integrating a seismic control system contributes greatly to the medium-rise structures of the city of Machala, since it is true that displacements and shears increase, but it serves to remain out of the reach of the maximum accelerations that make up the design spectrum of 475 and 2500 years, controlling the isolation period and reducing the accelerations that may affect the building.

***Keywords:*** Seismic control systems, Lead Rubber Bearings (LRB), BM reduction factor, seismic signals, acceleration design spectrum, structural steel, Nonlinear Time-History Analysis, drifts, shear forces, displacements, distortions.

## INTRODUCCIÓN

### **Importancia del tema**

Realizar el correcto análisis y diseño estructural de cualquier edificación es fundamental para el desarrollo de una sociedad, sobre todo, en el caso de nuestro país, Ecuador, ya que, la nación se encuentra en una de las zonas de mayor peligrosidad sísmica en el mundo, registrando varias catástrofes que quedarán guardadas en la memoria del país, una de las más recordadas es el terremoto del 16 de abril del 2016, del cual, el reconocimiento de los factores sísmicos y desarrollo del criterio y análisis estructural para su posterior diseño son importantes en conjunto con la metodología adecuada. A día de hoy existen varias técnicas y métodos aplicables, los más viables para el desarrollo o construcción de una obra civil para obtener mayor rigidez y estabilidad ante eventos sísmicos, es el uso de marcos sismorresistentes de acero, llevar a cabo el control sísmico de la estructura mediante el Análisis Dinámico de tiempo-historia, integrar el análisis espectral de diseño, para posteriormente analizar los factores sísmicos que aporten en el diseño de un dispositivo que contribuya en el desempeño sísmico de la estructura, como los aisladores y deslizadores sísmicos, integrando los conceptos y guías que nos proporciona las normativas NEC del capítulo de Peligro Sísmico, la cual nos recomienda el análisis que toma la normativa FEMA 450 y los capítulos 13 y 15 del BSSC.

### **Actualidad de la problemática**

Toda estructura tiende a perder su estabilidad o rendimiento en el transcurso del tiempo de su vida útil, en donde, si no se lleva a cabo un correcto mantenimiento o si no se toman en cuenta las condiciones del suelo, los factores sísmicos que caracterizan a la obra, entre otros, pueden ocurrir grandes catástrofes, es por ello, la importancia de integrar criterios y sistemas de control sísmico, para poder disminuir la cantidad de fallos que puede sufrir una estructura, de manera que se pueda salvaguardar la vida de los ocupantes y cumplir con mayor seguridad la filosofía del diseño sismorresistente que indica la normativa NEC, ya que, actualmente en el Ecuador, y sobre todo en la ciudad de Machala, no cuentan con edificaciones que lleven consigo un análisis sísmico para el diseño de dispositivos de control ante eventos sísmicos, es por ello, la importancia de incluir y analizar el diseño estructural de una edificación de mediana altura en base a los factores sísmicos dependiendo de la zona de estudio y el criterio a tomar en cuenta para el diseño de los dispositivos de control sísmico en comparación de los sistemas estructurales tradicionales.

## **Estructura del trabajo**

En el capítulo I se describe el planteamiento del problema, las causas y los efectos que se originan a raíz del problema central, el cual describe la vulnerabilidad que pueden tener ciertas estructuras en la ciudad de Machala ante eventos sísmicos de diseño, además de analizar los datos y características de la zona de estudio, la delimitación del objeto de estudio, relacionándolo con los factores sísmicos que caracterizan a la ciudad de Machala, justificando además la fundamentación y realización de este trabajo ante las condiciones que padece el cantón, relacionándolas además con el objetivo general y específicos, motivos por el cual se lleva a cabo la realización de este proyecto técnico.

En el capítulo II se detalla el marco teórico del proyecto técnico, para el cual, en cada antecedente contextual, conceptual y referencial se describen los conceptos e ideas más importantes que caracterizan el presente trabajo, en relación hacia otros trabajos realizados alrededor del mundo, los conceptos y definiciones tomadas en este capítulo están sustentados por artículos científicos de gran relevancia, tanto a nivel mundial, regional y nacional, describiendo sus trabajos junto a los resultados o conclusiones que obtuvieron gracias a sus investigaciones y trabajos realizados.

En el capítulo III se explicará directamente las distintas metodologías empleadas dentro del proyecto técnico, mismos que contribuyen al análisis, diseño y control de los elementos estructurales y de los dispositivos de control sísmico en la edificación.

En el capítulo IV se detallan todos los procesos calculados y considerados para el control de los elementos estructurales, la integración de las metodologías para el diseño de los espectros sísmicos de 475 y 2500 años para la ciudad de Machala, el análisis e integración de las señales sísmicas mediante la metodología de Análisis Dinámico Tiempo – Historia, para posteriormente realizar el diseño de los dispositivos de control sísmico para el sistema de aislamiento en la edificación, analizando, discutiendo y comparando los resultados obtenidos de la edificación con base fija de la base aislada.

Por último, en el apartado de conclusiones y recomendaciones se recopilan los criterios y pensamientos más importantes en base a los resultados analizados, escogiendo y argumentando que sistema es más conveniente para edificaciones de acero estructural de mediana altura en la ciudad de Machala, adicionalmente se anexan las señales sísmicas y los planos representativos de la edificación en el último apartado.

# CAPÍTULO I

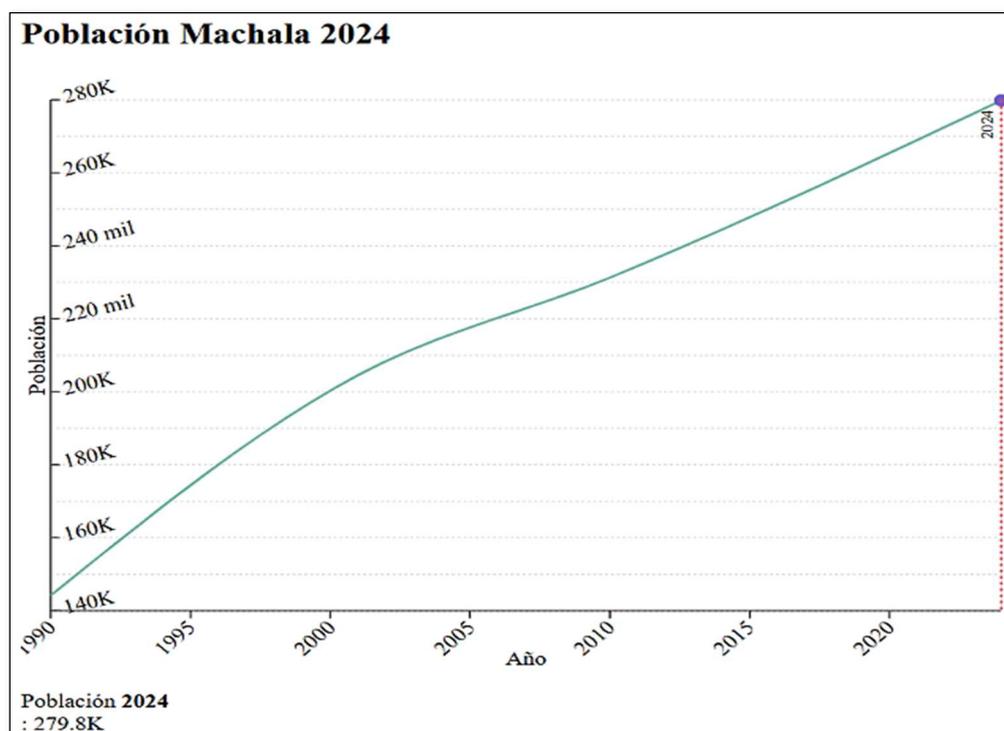
## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1 Antecedentes

#### 1.1.1 Datos de Población

La ciudad de Machala, mejor conocida como la capital del banano del mundo, es una de las ciudades ubicadas en la provincia de El Oro, Ecuador, donde ha sido destacada tanto en su sector agrícola, como una de las ciudades posicionadas en los puertos principales del país, aunque, es una ciudad en donde prospera en gran medida el comercio en los productos como el plátano, café y cacao, sobre todo la exportación del plátano, ya que es una de las actividades comerciales que sostienen la economía de la ciudad, actualmente, la población en la ciudad de Machala se estima de alrededor de 279.847 personas, según la estimación realizada por la World Population Review, el mismo que se sostiene por la estimación analizada desde el año 1990 de los censos realizados en Ecuador hasta el año 2024:

*Figura 1. Curva de crecimiento poblacional de la ciudad de Machala en las últimas tres décadas*



*Fuente: World Population Review - Datos estadísticos de la INEC*

Ha existido un gran crecimiento desde el año 1990, tal como lo demuestra la gráfica presentada previamente, ya que ha pasado de tener 144.197 habitantes en 1990, hasta la actualidad una estimación de 279.847 personas en el 2024, donde también se demuestra

la tasa de crecimiento de los censos realizados en Machala y de las estimaciones llevadas a cabo en los años posteriores:

**Tabla 1.** Tasa de crecimiento poblacional en la ciudad de Machala

<b>Tasa de crecimiento de la ciudad de Machala, El Oro, Ecuador</b>			
<b>Año</b>	<b>Población</b>	<b>Tasa de crecimiento</b>	<b>Población incrementada</b>
<b>1990</b>	144,197	0,00%	-
<b>2001</b>	204,578	3,23%	60,381
<b>2010</b>	231,260	1,37%	26,682
<b>2024</b>	279,847	1,37%	-

*Fuente:* Datos estadísticos de la INEC, curva realizada por la World Population Review

Aunque, la ciudad de Machala, es una de las ciudades en donde la mayor parte de sus habitantes, tienen entre 15 y 64 años, según la estimación realizada hasta la actualidad, se aproxima a que constituyen el 65% de la población total, es decir, 187.942 personas para el año 2022, del cual, 92.242 son hombres, y 95.700 son mujeres, además, de toda la población de Machala del 2024, se estima que el 96% representa a la población del Cantón, y para el área rural lo representa el 4%, donde se encuentran en las parroquias como Machala y El Retiro.

Hablando del sector infantil, se estima que existen 83.851 niños, niñas y adolescentes que tienen entre 0 y 14 años, donde ellos representan el 29% de la población total, y el 6% lo representan los adultos mayores, llegando a ser 17.348 habitantes, ya que sus edades son entre 65 años en adelante.

Adicional a lo expresado anteriormente, Machala es una de las ciudades que tiene una densidad poblacional de 6.700 habitantes por km<sup>2</sup>, dado los datos mostrados anteriormente, podemos ver que Machala es una de las seis ciudades más grandes del Ecuador, después de Guayaquil, Quito y otras ciudades de gran relevancia en el país.

### **1.1.2 Situaciones turísticas y sociales.**

La cultura de los habitantes en la ciudad de Machala se lo categoriza como la concertación ciudadana en los espacios públicos, ya que, la mayor parte de los habitantes pasan sus mejores momentos, reuniones, reencuentros o actividades familiares en los centros de encuentro que se encuentran en toda la ciudad, sobre todo, hace unos años, cerca del 2010 hasta el 2016, en la zona de Puerto Bolívar era uno de los sitios que mayormente visitaban casi todos los habitantes de la ciudad cuando existía alguna festividad, reunión, debido a la cultura que tienen los habitantes con los espacios públicos, sobre todo en el Puerto Bolívar, visitar los paisajes del mar, su gastronomía y conocer las actividades portuarias

y comerciales era uno de las actividades más llevadas a cabo por los habitantes de la ciudad de Machala.

Según datos obtenidos por la INEC en el año 2010, Machala tiene 186 unidades de espacios públicos, todo ese conjunto lo constituyen: canchas deportivas, plazas, parques, entre otros espacios de área urbana, pero a día de hoy, existen muchos parques y zonas nuevas y recreativas, uno de los espacios y áreas que han llevado gran relevancia en las reuniones entre los habitantes de la ciudad de Machala, actualmente es el Parque Zoila Ugarte, ya que contiene grandes áreas verdes y recreativas, es muy utilizado por deportistas, ya que existen áreas para hacer deporte como: Fútbol, básquet, ciclismo y atletismo, además de, según la planificación estratégica para Machala en el 2030, dado por el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Machala, se espera que el 80% del equipamiento y espacios públicos se encuentre en buenas condiciones operativas para que pueda ser aprovechado por la ciudadanía hasta el 2023, además de gestionar y promover la construcción de una vía estratégica desde el parque industrial hasta el Puerto Bolívar hasta el año 2030 al 100%.

A día de hoy hay ciertas áreas de la ciudad en la cual no cuentan con sitios recreativos para las familias machaleñas, representando un desequilibrio en la planificación de aumentar las actividades recreativas en toda la población machaleña.

En el ámbito social también es necesario recalcar que actualmente los habitantes mantienen un perfil de prevención ante cualquier acontecimiento delincuenciales que les pueda ocurrir, ya que, lamentablemente, la ciudad de Machala es una de las ciudades más peligrosas en la provincia de El Oro en los últimos 4 años, y a ser una de las 15 ciudades más peligrosas en el país, llegando a tener una tasa de homicidios de 78.02, por tal motivo, de desorden social ante la delincuencia y situación económica crítica en la ciudad, las áreas recreativas en la ciudad de Machala no son muy usadas actualmente, debido al miedo que tienen los habitantes de salir a las calles o disfrutar de su tiempo en familia en zonas recreativas.

Sin embargo, lo que conforma la estructura social en la ciudad, ha sido categorizada por relaciones generadas por organizaciones ciudadanas, instituciones tanto públicas como privadas, ya sea por fines comunes o específicos, en los últimos años, estas organizaciones sociales han tenido varios cambios, ya sean por las regulaciones que se deben cumplir para poder tener el apoyo, beneficios y oportunidades en diversas

instituciones del Estado, ya que las mismas deben ser legalizadas por instancias públicas, debido a ello, el GAD Municipal de Machala desarrolló procesos para ver el cumplimiento de estas normativas, de las cuales, estas organizaciones fueron clasificadas en el año 2014 de la siguiente forma:

Para el año 2020, se tiene conocimiento que 29 Consejos Barriales se encuentran en vigencia, y la diferencia aún están en funciones prorrogadas, no debemos de olvidar los Consejos Barriales, para luego reconocer legalmente a los Consejos Parroquiales, donde tienen sus representantes y que se encuentren en funciones.

### ***1.1.3 Ordenamiento territorial del cantón Machala.***

Llevar a cabo una planificación y ordenamiento territorial es la base fundamental para implementar estrategias y políticas de intervención, ya que el territorio son todas las dimensiones ambientales, sociales, políticas y económicas que constituyen una región, comprendiendo el espacio para que se ejecuten las actividades del hombre modificando el espacio para instalar nuevas políticas territoriales, el ordenamiento territorial facilita la expresión mucho más equilibrada juntando a varios factores que ayudan en cuidar las aspiraciones, necesidades e intereses de los sectores más vulnerables. Ahora bien, para el presente trabajo de titulación, es importante destacar el ordenamiento territorial del cantón Machala en base a los Asentamientos Humanos y el componente estructural, ya que, tiene varias metas a lograr:

- Hasta el año 2023 se piensa lograr al menos el 75% de los barrios no regenerados del cantón puedan alcanzar su regeneración, determinando las necesidades de regeneración y priorización de la intervención de los barrios.
- La gestión de la construcción de 1700 viviendas dignas de interés social hasta el 2023, impulsando planes de vivienda como principal característica de interés social.
- Ejecutar la construcción del 100% de la obra del Mercado Mayorista hasta el año 2023, usando estrategias del mejoramiento integral comercial y su abastecimiento.
- Ejecutar la construcción de al menos 3 infraestructuras comerciales para el año 2023, y también ejecutar al menos el 70% de las obras prioritarias planificadas hasta el 2023.
- Además, elaborar herramientas metodológicas para la planificación territorial hasta el año 2023.

Todas estas metas se relacionan en gran medida con el trabajo de titulación presente, ya que, la contribución de este trabajo ayuda en la integración de conocimientos y comparación de resultados ante eventos sísmicos en edificaciones de mediana altura de la ciudad de Machala que contiene varias condiciones sísmicas que ayudan en aumentar la vulnerabilidad sísmica que sufren la mayor parte de las infraestructuras en el cantón, ayudando a que el presente trabajo sirva como guía o investigación para el reforzamiento o integración de sistemas de control sísmico para las edificaciones del cantón Machala, ayudando en su sustentabilidad.

***El componente estructural de Machala:*** Viendo la visión hacia medio plazo para Machala en 2030, con un Modelo Territorial deseado en el área urbana ya aprobado, gracias al análisis de relaciones con el modelo territorial del cantón, se pueden establecer interrelaciones y mutuas influencias entre la ciudad de Machala y cualquier región próxima con bases de directrices que deseen generar un modelo urbano más eficiente, incorporando los sistemas articuladores de movilidad, conectividad y energía.

Ahora bien, el ***plan parcial*** que se tiene para el cantón Machala, viendo el desarrollo del acápite del PUGS tomado del estudio de PUGS Machala 2030, se toman en cuenta a los autores del cambio para visualizar un estudio más resumido, estos planes parciales se aplican tanto en suelos urbanos como en rurales de expansión urbana, teniendo como objetivo la regulación urbanística y gestión del suelo para un polígono de intervención, estos factores son aplicados bajo la metodología uniforme de la visión territorial integral del cantón Machala, en conforme con ello, se puede ver que se puede aplicar para diversos asentamientos humanos, tomando en cuenta territorios con legalidad absoluta para cumplir con los requisitos de ordenanza.

Además, es importante trazar los ejes de proyección del Desarrollo a implementarse en el Ordenamiento Territorial, tal como lo son:

- ❖ **Eje 1. Machala productiva y competitiva:** Su objetivo es potenciar el sector productivo para que la ciudad sea industrializada con factores de desarrollo sustentable, aprovechando la presencia del Puerto Bolívar que ayude con potenciar el empleo e incrementando las actividades tanto económicas como portuarias.
- ❖ **Eje 2. Machala equitativa:** Se basa en repartir la igualdad de oportunidades e inclusión para todos los habitantes, asegurando una calidad de vida digna.

- ❖ **Eje 3. Machala ecológicamente equilibrada:** Tiene como propósito la reducción del desperdicio de desechos sólidos y líquidos, es decir, mantener un sistema de reciclaje, reutilización de materiales, ayudando al medio ambiente y manteniendo limpia la ciudad.
- ❖ **Eje 4. Machala resiliente:** Es importante adoptar cambios permanentes que ayuden en la prevención y eliminación de riesgos, para que exista una armonía en todos los espacios públicos y territorios ambientales y sociales de la ciudad.
- ❖ **Eje 5. Machala movilidad sustentable:** Su objetivo principal es promover un ambiente amigable y limpio en la ciudad, promoviendo la eliminación del consumo de carbono, para que los habitantes puedan moverse sin usar de gran medida los vehículos, elevando la calidad de vida urbana y bienestar colectivo.
- ❖ **Eje 6: Machala inteligente:** El GAD Municipal de Machala impulsa un modelo integrador que facilite la planificación y participación de un mejoramiento permanente de la calidad de vida como pilar fundamental del desarrollo de la ciudad.

Uno de los elementos primordiales para llevar a cabo una propuesta de modelo urbano, en este caso, del Ordenamiento Territorial de la ciudad de Machala, es el Plan de Movilidad, el cual fue llevado a cabo en el 2014, donde se estructuró en función de la demanda de viajes bajo el marco teórico de una ciudad concéntrica, diseñando anillos concéntricos y articulando la circulación del tráfico.

Además, se propuso una red vial futura, ya que de esta forma se establecen y proyectan las demandas de viajes, y en el caso del tráfico vehicular, todo ello dependerá del crecimiento del parque automotor, a continuación, se presentarán la clasificación vial principal de Machala, donde se proponen dos vías periféricas, una al norte y otra al sur del cantón:



urbana, se ocupan 3.290 hectáreas, siendo el 55% del área urbana y del área no consolidada del resto, teniendo así 2.643 hectáreas, aunque, el perímetro urbano se define con una prospectiva de 12 años, siendo el que se analiza por áreas finales sobre un perímetro urbano que se pondrá en vigencia según se apruebe el documento de ordenamiento territorial del cantón Machala.

- ❖ **Eje 2. Hacia una ciudad compacta:** Machala tiene una densidad bruta menor a 40 habitantes por hectárea, lo cual la categoriza como ineficiente, es necesario que el perímetro urbano se analice dentro del modelo de la municipalidad que se centre en cambios por no menos de 12 años que se tomen en cuenta con la proyección y elongación del crecimiento territorial para que la ciudad tenga un desarrollo próspero, incrementando la densidad bruta hasta 100 habitantes por hectárea.
- ❖ **Eje 3 y 4. Responder ante los efectos del cambio climático:** Machala tiene condiciones poco favorables en su mancha urbana, ya que tiene muy bajos índices de arborización, sobre todo en los espacios públicos, plazas, calles o en viviendas, el cual, debería ser incrementado, de manera que se incentive la plantación de vegetación para cuidar el medio ambiente, oxigenar el aire, y tener una protección ante efectos de cambios climáticos, incluso, en las zonas de manglares, estas zonas son muy importantes, las cuales deben ser totalmente protegidas por todas las autoridades y ciudadanos, además de que se deben de recuperar las áreas afectadas de forma ilegal por actividades humanas.
- ❖ **Eje 5 y 6. Abrir la ciudad al mar:** Este eje es muy importante, puesto que Machala es una de las ciudades portuarias con grandes movimientos de comercio exterior e interior sobre la pesca y exportación de productos, para el año 2030 se mantiene una visión de que la ciudad tengan un frente al mar, es decir, que los efectos del Modelo de la Ciudad, puedan ser favorables para el desarrollo de la ciudad ante los ejes viales arteriales, teniendo así un mejor sistema de movilidad y caracterización morfológica con el fin de esta nueva zona urbana pero coherente con la actual.

#### ***1.1.4 Topografía***

Machala se encuentra localizada en el sur oeste del país, siendo una de las ciudades más emblemáticas en lo que concierne a su actividad pesquera, ya que se encuentra en la costa ecuatoriana, siendo la ciudad cabecera de la provincia de El Oro, y a su vez, la ciudad

más poblada de esta provincia, además, es cabecera de la provincia debido a su gran relevancia en los sectores tanto administrativo, económico, financiero y comercial.

La ciudad de Machala cuenta con aproximadamente 37.292,38 hectáreas, las cuales, cada año se va ampliando hacia el sector rural, teniendo consigo 7 parroquias urbanas las cuales son: Puerto Bolívar, Jambelí, Machala, Jubones, La Providencia, El Cambio y 9 de Mayo, teniendo solo una parroquia rural, misma que se denomina como El Retiro.

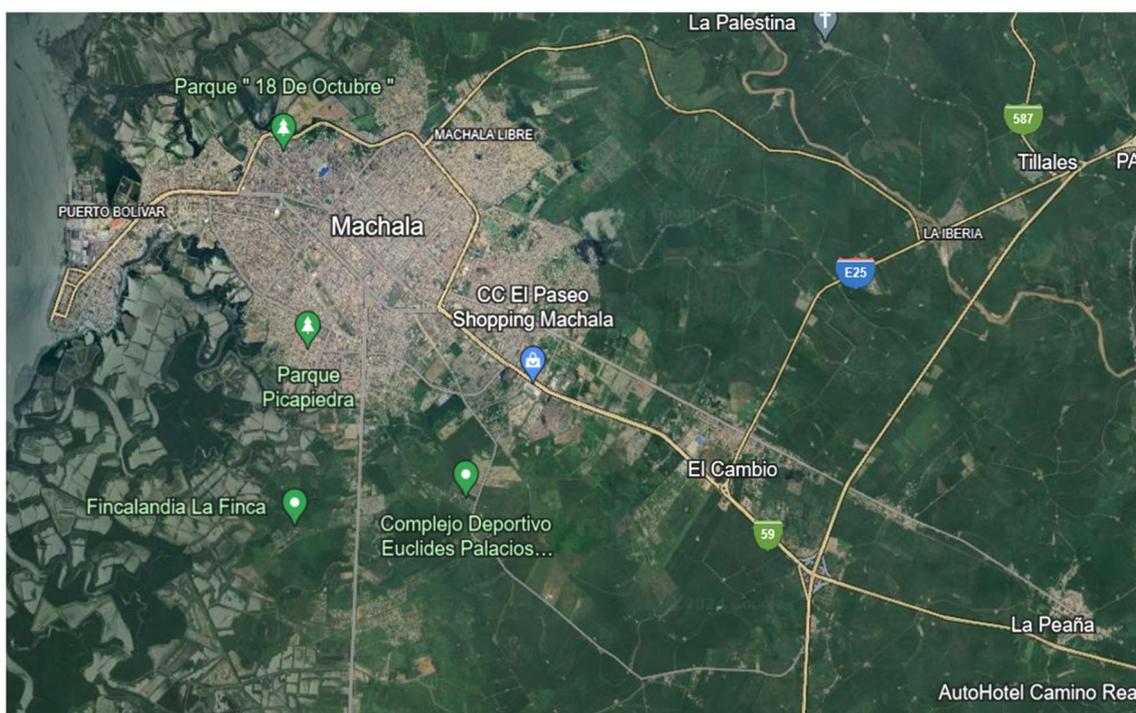
Los orígenes de la ciudad vienen dados desde el año XVIII, aunque, a mediados del siglo XX, por su geografía, es la ciudad con el segundo puerto marítimo más relevante en el Ecuador, mismo que ayuda en el gran crecimiento demográfico hasta poder establecer un poblado urbano.

La ciudad de Machala tiene límites territoriales, mismos que han sido modificados por la PDOT en el año 2012, donde se han fijado los límites en los cantones colindantes de El Guabo, Santa Rosa y Pasaje, ya que, en el caso de El Guabo, las autoridades han definido sus límites territoriales tomando el cauce antiguo del Río Jubones como referencia, aunque, se ha mantenido un error en la cartografía ya que el río en el transcurso de los años ha cambiado su curso.

La ubicación geográfica de la ciudad y su red vial ampliada, contribuye en gran medida a tener una conexión con otras ciudades relevantes en el ámbito comercial y económico del país, siendo las más importantes las ciudades del sur y oeste como Guayaquil con 182 km de distancia, Cuenca con 169 km, Durán con 175 km, Loja con 239 km, Milagro con 163 km, Pasaje con 20 km, Huaquillas con 74 km, y Santa Rosa con 31 km de distancia, de la misma forma, se puede ver la relevancia que tiene con ciudades del norte de Perú.

La parte del conglomerado urbano de Machala se implanta en la parte noroccidental de la ciudad, donde está en una planicie que está ubicada en medio de un sistema de Esteros que pertenecen a la cuenca del Río Jubones, existen varios elementos geográficos que ayudan en la delimitación del territorio de la ciudad, según se puede apreciar en el mapa que se presentará a continuación, la parte de la cuenca del Río Jubones está ubicada al norte del área urbana, también la zona de producción del camarón, se encuentra al lado occidental y norte de la ciudad, limitando el acceso hacia el mar, también la zona productiva del banano que está ubicado en el lado sur y este del cantón:

**Figura 3.** Vista satelital de la ciudad de Machala



*Fuente:* Google Earth Pro

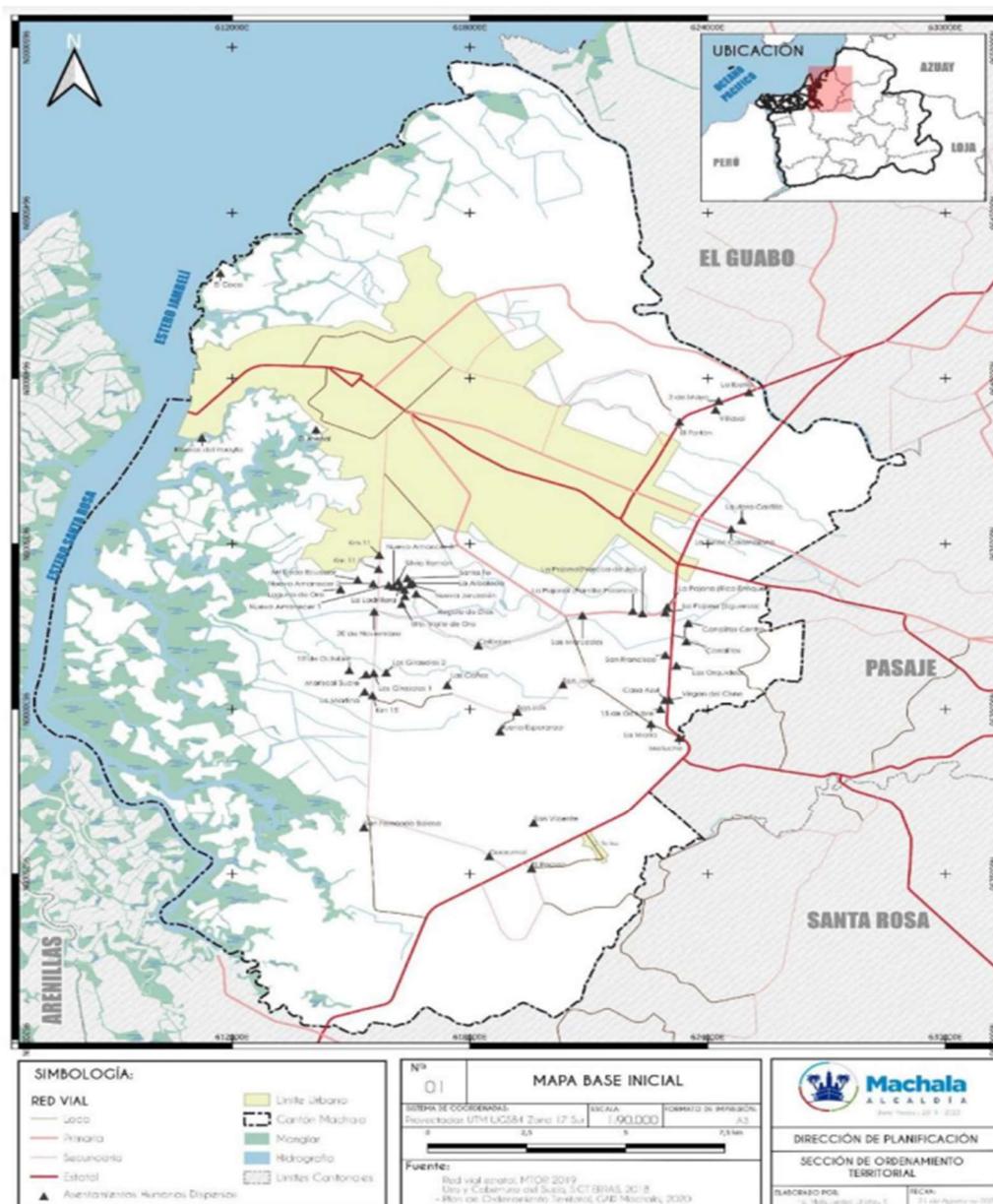
También se puede demostrar como el área urbana se ubica entre dos áreas productivas y que poseen un gran carácter mediterráneo, aunque, en este caso, no se tomaría en cuenta la zona del Puerto Bolívar porque es un área de la costa que se cubre de mangales o de alguna explotación del camarón que se ocupa con la segunda mayor superficie cantonal, a continuación se mostrará la tabla de superficies ocupadas en el cantón Machala según su componente geográfico y el mapa de estos componentes geográficos:

**Tabla 2.** Áreas con mayor ocupación en la ciudad de Machala.

<b>Superficies ocupadas del Cantón Machala, según el tipo de componente geográfico</b>		
<b>Componentes Geográficos</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Proporción</b>
Área de Manglares	599,32	1,61%
Área de Granjas Acuáticas	7.745,43	20,78%
Área de Zonas Productivas	12.254,84	32,87%
Área de Zonas Bosque Nativo	2.904,09	7,79%
Área Urbana, Límite 2012	5.933,81	15,92%
<b>Total Área Cantonal:</b>	<b>37.279,85</b>	<b>100,00%</b>

*Fuente:* PDOT de Machala 2019-2030

Figura 4. Componentes geográficos del cantón Machala.



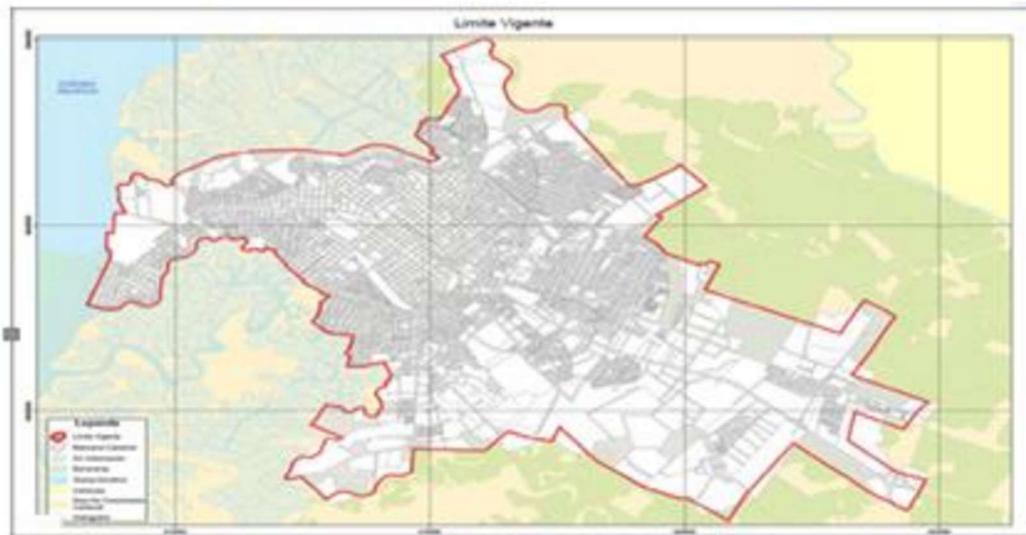
Fuente: GADMM 2020

Como se pudo apreciar en la anterior tabla mostrada, se puede ver el estado de uso del territorio de la ciudad de Machala, donde, el 15,92% del suelo se mantiene en una Zona Urbana, el resto se encuentra delimitada por las líneas de amortiguamiento entre lo urbano-productivo, y productivo-natural, esta información nos indica la relevancia de los factores productivos que se encuentran fuera del área urbana.

Es importante recalcar el límite urbano de la ciudad de Machala, ya que se estableció mediante una ordenada en el 2012, del cual se mantiene por el Artículo 501 del COOTAD, teniendo en sí un área de 5.993,81 hectáreas, abarcando dos áreas importantes: El área

urbana consolidada y la no consolidada, estos límites son resultado de los estudios y análisis llevados por la Actualización del Catastro y Plan de Uso y Gestión del Suelo del Cantón Machala, en el cual, se dispone de un Diagrama Territorial de la actualización del PDOT, planteando así una variante ante el límite urbano y enfocándose en el impacto social:

*Figura 5. Límites urbanos en la ciudad de Machala*



*Fuente: GADMM 2020*

### **1.1.5 Uso del suelo**

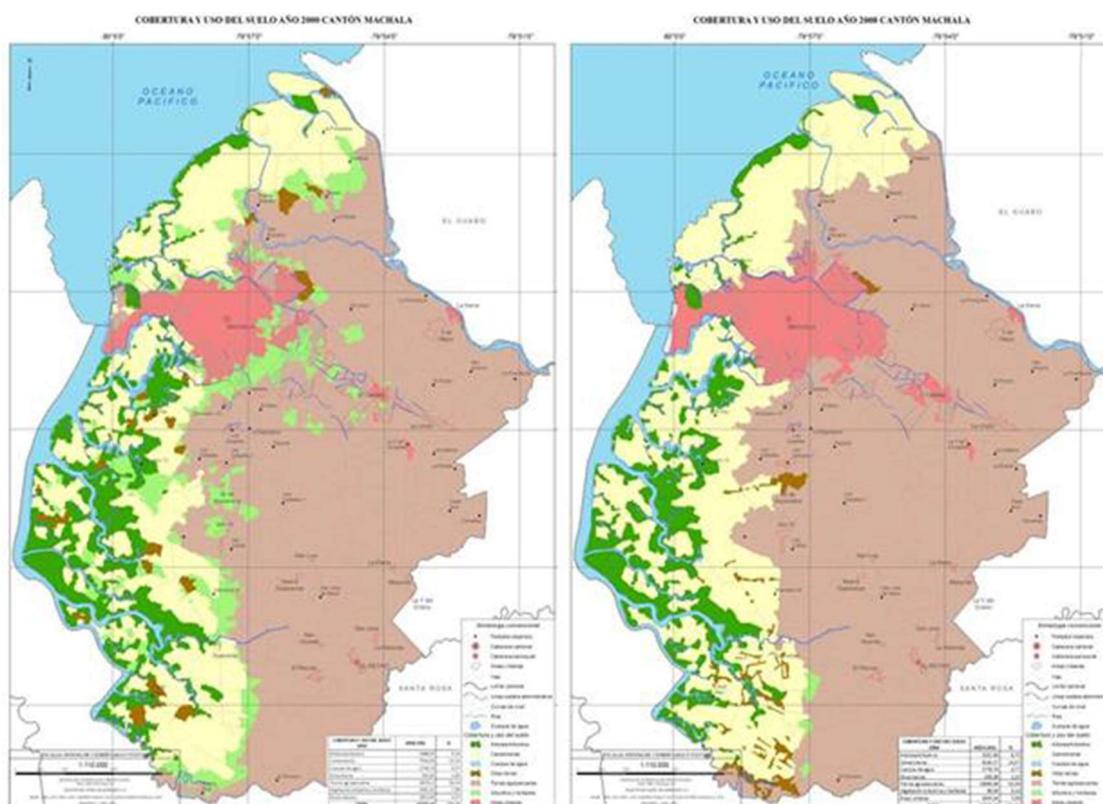
El cantón Machala destina el uso de suelo a la vegetación natural y áreas agropecuarias como cultivos de banano, cacao, frutales y camaroneras. También se mencionan las coberturas vegetales resultado de la acción humana debido a los procesos de reforestación de manglar y de otros tipos realizados por las autoridades competentes del lugar. Otro uso importante que se ha estado dando al suelo es el incremento de áreas urbanas que ha ido aumentando a través del tiempo. A continuación, se presenta una tabla y mapa que muestra las coberturas de hectáreas utilizadas en diferentes campos del uso del suelo a través del tiempo.

**Tabla 3.** Usos del suelo del cantón Machala

COBERTURA Y USO DEL SUELO	2000		2008		2011	
	ÁREA (HA)	%	ÁREA (HA)	%	ÁREA (HA)	%
Arbórea/arbustiva	3.488,03	9,36	3.252,90	8,73	4.011,44	10,8
Camaroneras	7.914,59	21,2	9.160,17	24,6	8.236,66	22,1
Cuerpos de agua	1.778,74	4,77	1.778,74	4,77	1.778,74	4,77
Otras tierras	542,05	1,45	459,09	1,23	0	0
Tierras agropecuarias	18.755,50	50,3	19.890,86	53,4	19.452,81	52,2
Vegetación arbustiva y herbácea	2.943,23	7,9	89,93	0,24	0	0
Áreas urbanas	1.853,09	4,97	2.643,54	7,09	3.795,58	10,2
<b>TOTAL</b>	<b>37.275,23</b>	<b>100</b>	<b>37.275,23</b>	<b>100</b>	<b>37.275,23</b>	<b>100</b>

Fuente: IGM/SIN 2010

**Figura 6.** Usos del suelo del cantón Machala desde el año 2000 - 2008



Fuente: MAE 2000 – MAE 2008 /IGM/SNI 2010

En la tabla se puede observar que desde el año 2000 al 2011 existe incremento del uso del suelo correspondiente a áreas urbanas y esto se ha podido presenciar en la ciudad con las constantes construcciones de urbanizaciones y edificaciones. Para tierras agropecuarias se tiene una pequeña disminución de utilización de hectáreas del año 2008 al 2011 pero es el apartado donde se presenta la mayor cantidad de utilización del suelo que abarca 19890,86 ha de uso de suelo.

Machala el fuerte económico es la red de producción de Banano por el cual es donde más hectáreas de suelo se ocupa para esta actividad comercial. También se poseen actividades acuícolas en donde se usa el suelo para la producción de camarón debido a que la producción de este tipo de comercio genera empleo diverso.

Como se mencionó anteriormente el uso de suelo para actividades agropecuarias ocupa la mayor cantidad de hectáreas en el cantón por lo tanto a continuación se presenta una tabla de la aptitud del suelo por sistema agrícola.

**Tabla 4.** *Aptitud del suelo por sistema agrícola en la ciudad de Machala*

<b>APTITUD AGRÍCOLA</b>	<b>ÁREA (HA)</b>	<b>%</b>
Agricultura con limitaciones ligeras, mecanización y riego muy fáciles	4.450,92	11,94
Agricultura sin limitaciones, mecanización y riego muy fáciles	12.218,60	32,78
Áreas urbanas	3.705,83	9,94
Cuerpos de agua	1.778,75	4,77
Sin uso agropecuario	11.525,79	30,92
Zonas marginales para la agricultura, mejoramiento de pastos naturales existentes, limitaciones importantes	3.595,35	9,65
<b>TOTAL</b>	<b>37.275,23</b>	<b>100</b>

*Fuente: IGM/SIN 2010*

La mayor parte de extensión cantonal para uso de suelo en actividades agrícolas se dan en la parte oriental de cantón desde la Primavera, Los Ceibales, km 15, Motuche, Guarumal hacia el este, en el cual predomina el banano, cacao, arroz y frutales. Las zonas que no existe el uso agropecuario abarcan una extensión de 11.525 ha que corresponde al 30.92% de la superficie del cantón. Estos suelos están en la parte occidental del cantón, en los estuarios de los ríos hacia el Océano Pacífico.

Existe conflicto del uso del suelo debido a actividades en las que no se presenta una buena aptitud en la utilización del suelo, a continuación, se presenta una tabla en el que indica los tipos de conflictos presentes y porcentaje del área total del cantón en el cual abarca cada tipo de conflicto.

**Tabla 5.** Conflictos del uso del suelo en el cantón Machala

CONFLICTOS DE USO DEL SUELO	ÁREA (HA)	%
Área urbana	3.689,75	9,90
Bien utilizado, uso adecuado	5.203,69	13,96
Conflictos por sobreutilización	11.032,35	29,60
Conflictos por subutilización	15.570,71	41,77
Cuerpos de agua	1.778,74	4,77
<b>TOTAL</b>	<b>37.275,23</b>	<b>100</b>

*Fuente:* IGM/SIN 2010

### **1.1.6 Geología.**

En la ciudad de Machala existe un solo tipo de litología el cual corresponde a Arcillas marinas de estuario que proviene del periodo Cuaternario de la Era Cenozoica. Este tipo de litología presente en el territorio cantonal origina suelos que son frágiles, pero con una gran fertilidad debido al transporte de sedimentos y nutrientes, los cuales ayudan a la vegetación ripiara y de manglar como hábitat natural. Para el crecimiento urbano del cantón este tipo geológico descrito como arcillas marinas de estuario no presentan limitaciones o dificultades siempre y cuando se respete las zonas protegidas de vegetación con la finalidad de conservar la biodiversidad del territorio que es la que le da identidad al cantón por su flora y fauna presente. Este tipo de Litología presente en la ciudad de Machala ocasiona inconvenientes si se relaciona a edificaciones debido a que ocasiona efectos sobre las cimentaciones ocasionando hundimientos del suelo no previstos por la hinchazón de la arcilla marina que se produce por los cambios de las condiciones climáticas en el sitio de construcción. A continuación, se presentan la Geomorfología existentes en la ciudad de Machala en proporción a la relación de Área que ocupa.

**Tabla 6.** Geomorfología del cantón Machala

GEOMORFOLOGÍA	ÁREA (HA)	%
Llanuras aluviales de depositación	30.875,31	82,83
Nivel aluvial alto	442,09	1,19
Terraza baja	60,14	0,16
Terraza indiferenciada	424,36	1,14
Zonas urbanas	3.694,59	9,91
Cuerpos de agua	1.778,74	4,77
<b>TOTAL</b>	<b>37.275,23</b>	<b>100</b>

*Fuente:* IGM/SIN 2010



Se ha mencionado la litología, geomorfología y relieves que componen al suelo a la ciudad de Machala, pero también es importante conocer como esta clasifica este tipo de suelo según su taxonomía.

A continuación, se presenta una tabla que detalla la clasificación del suelo por su taxonomía. En los datos mostrados se tiene que el Entisol es la unidad taxonómica más dominante en Machala en el cual se ubica en la parte oriental del cantón, desde la primavera, Los Ceibales, Km, Motuche y Guaramal hacia el este con una extensión de 17.220 ha que corresponden al 46,20% del área total del cantón. Los inceptisoles ocupan una superficie de 5.457 ha con 14,64% área total del cantón y estos tipos de suelo se ubican en diversos sitios de la parte oriental del cantón, como El Cambio, Los Ceibales, Nuevo Pajonal, Cañas Viejas, entre otros. También se menciona una categoría denominada no aplicable, esto se debe porque no se tiene información referente a las características taxonómicas del suelo.

**Tabla 7.** Clasificación del suelo por su taxonomía en la ciudad de Machala

TAXONOMÍA	ÁREA (HA)	%
Entisol	17.220,96	46,20
Inceptisol	5.457,78	14,64
No Aplicable	12.817,75	34,39
Cuerpos de agua	1.778,74	4,77
<b>TOTAL</b>	<b>37.275,23</b>	<b>100</b>

*Fuente: IGM/SIN 2010*

### **1.1.7 Amenaza sísmica.**

La ciudad de Machala está ubicada en la región costa y como describe la NEC Peligro sísmico, el cantón se encuentra en la sexta zona sísmica dando una caracterización del peligro sísmico muy alta

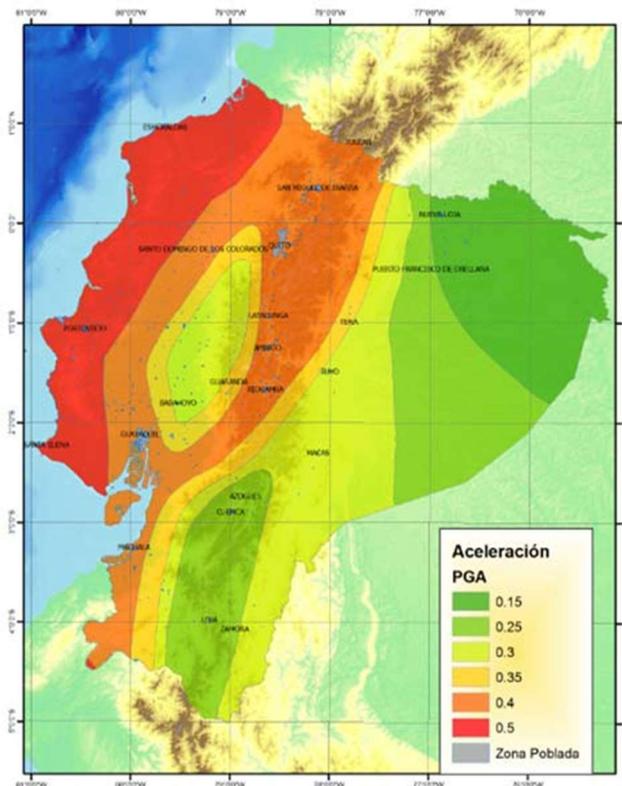
con un valor factor z de 0.50 generando preocupación a los habitantes del cantón Machala en lo que se refiere a seguridad estructural en edificaciones.

El registro más reciente de terremoto severo se registró el 18 de marzo del 2023 con una magnitud de 6,8 sacudió en las regiones costeras del Ecuador, El instituto Geofísico de Ecuador indicó que las ciudades que sufrieron grandes daños además de Manabí fueron Machala, Cuenca y Guayaquil. Las afectaciones al cantón Machala fueron las siguientes:

- Viviendas destruidas y vehículos aplastados en las calles
- 14 personas murieron, entre ellas un infante.
- El muelle de Puerto Bolívar sufrió daños por el terremoto
- Líneas telefónicas fueron caídas y hubo cortes de energía
- Hundimiento del museo en el Puerto Bolívar ubicado sobre el agua

Por esto es importante tener en cuenta que la ciudad de Machala debe tener construcciones estables y resistentes ante estos tipos de terremotos para salvaguardar la vida y calidad humana. A continuación, se presenta un mapa de peligro sísmico del Ecuador en función de las aceleraciones en proporción de la aceleración de la gravedad.

**Figura 8.** Mapa de zonificación sísmica del Ecuador



**Fuente:** Normas Ecuatorianas de la Construcción – Peligro Sísmico

### **1.1.8 Fallas geológicas.**

La ciudad de Machala presenta fallas geológicas de deslizamiento oblicuo debido a la interacción entre placas de Nazca y Sudamérica por subducción por consiguiente se convierte en una zona susceptible a movimientos en masa ocasionando el desplazamiento de porciones o bloques de rocas. Otras de las fallas geológicas que arrastra el cantón desde hace décadas es la fácil filtración de agua lo cual la tierra se moja y comienza a ceder las

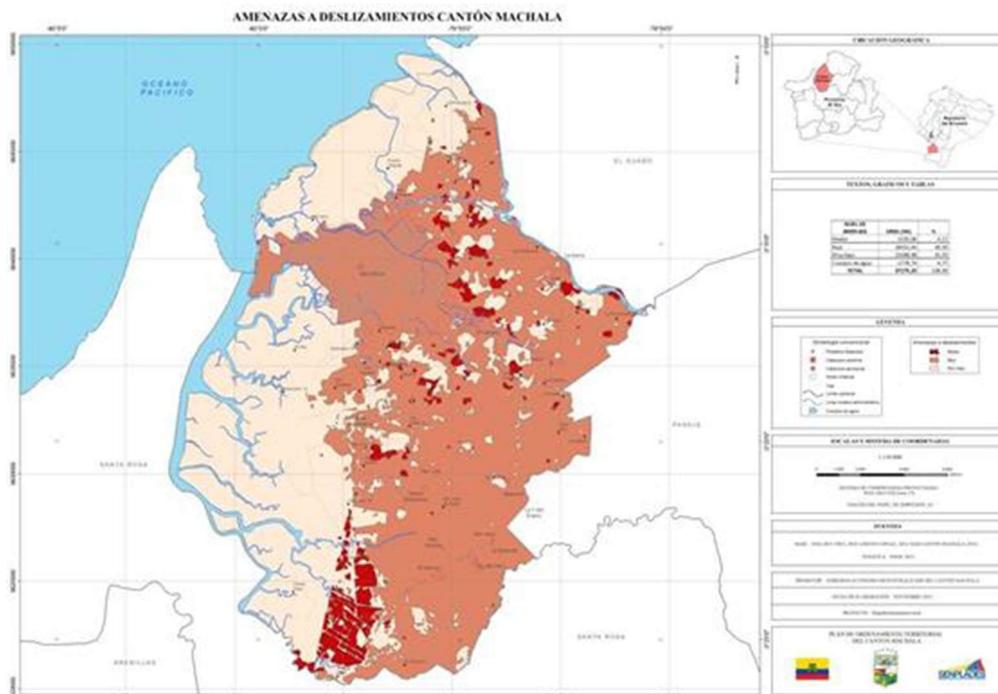
calzadas de las vías del cantón formando inmensas grietas lo que dificulta la normal circulación vehicular, esto se presenta con más intensidad en la etapa de invierno.

Los movimientos de masa se le conoce al desplazamiento de bloques de rocas y flujos detritos provocado por el cambio de humedad del suelo debido a épocas lluviosas o secas, siendo más directos se refiere a derrumbes, despeñaderos, avalanchas o desprendimiento de rocas.

La ubicación de diferentes áreas con susceptibilidad a movimientos de masa en el cantón Machala son las siguientes:

- Con una susceptibilidad baja se ubican en la parte oriental del cantón, desde la Primavera, Parte este de Machala (km 15), Motuche, entre otros.
- Con una susceptibilidad muy baja se ubica en la parte occidental del cantón en donde se encuentran las camaroneras.
- Con una susceptibilidad media se encuentra en el Sur del territorio en los límites con el cantón Santa rosa abarcando un 4.17% del área total del cantón.

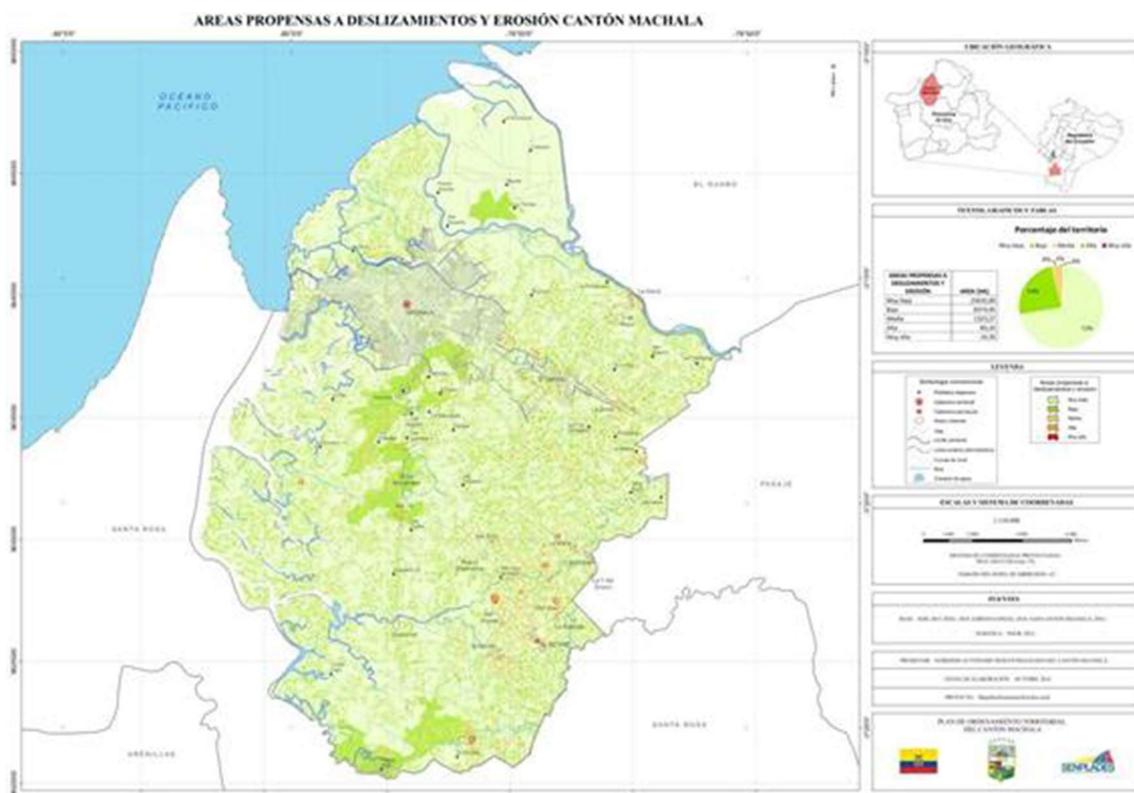
**Figura 9.** Mapa de susceptibilidad y movimientos en masa del cantón Machala.



**Fuente:** IGM/SNI 2010

Las fallas geológicas en el cantón también ocasionan susceptibilidad a la erosión del suelo que afecta a determinadas áreas del cantón que son más propensas a erosionarse. La erosión es un proceso natural que sucede por el arrastre de la parte del suelo de un sitio a otro debido a la dinámica fluvial o viento de arrastre. Los materiales perdidos por la erosión no se pueden recuperar por lo tanto al ser un problema que afecta al suelo. A continuación, se muestra un mapa de la susceptibilidad a erosión del cantón Machala en donde se observa que en la zona centro oriental del cantón se tiene una susceptibilidad baja a la erosión y zonas sin susceptibilidad a la erosión se ubica en la parte oeste a la cercanía con el océano pacífico.

**Figura 10.** Mapa de susceptibilidad a erosión del Cantón Machala.



*Fuente: SNGR 2012*

## 1.2 Descripción de la situación problemática

Los desastres naturales, como los terremotos, han acabado con cientos de miles de vidas humanas a lo largo de la historia, por ello, el diseño estructural sismorresistente es una forma de prevención, preparación, respuesta y recuperación para el ciclo de gestión de desastres provocados por terremotos. Modificar y mejorar las normas de diseño para edificaciones contribuye significativamente a la prevención de desastres, el no realizar un adecuado análisis de estados de cargas y sobreestimando el efecto de ductilidad y rigidez

de los elementos estructurales aumenta la posibilidad de sufrir daños generando grietas en los nudos de conexión viga- columna. El mal diseño favorece a derivas que superan las directrices de diseño que estipulan las normas generando fallas por torsión, flexión y cortante en vigas y columnas, generando mayores deformaciones, lo cual da paso al colapso de los pisos. (Jebelli et al., 2022)

La construcción informal sin la supervisión de un profesional en construcción es algo que está presente en nuestro medio, este tipo de acciones causa que las edificaciones tengan un desempeño sísmico ineficiente a lo solicitado por los registros de movimientos telúricos de la provincia de el Oro. Utilizar normas de construcción ineficientes debido a la construcción informal ocasiona que no se toma en cuenta factores muy importantes como es esbeltez de columnas o problemas de columnas cortas, el cual son riesgos de diseño estructural que pueden causar graves daños a la estructura, en el caso de la esbeltez en columnas se da cuando la sección transversal son pequeñas en relación con su longitud, se la expresa en términos de relación de un factor  $k$  que depende de los vínculos de los extremos de la columna, la longitud entre apoyos y el radio de giro de la sección transversal de la columna, el presentar este tipo condición es susceptible en zonas de alto peligro sísmico y vulnerable a fuerzas de viento ocasionando falla por pandeo, de la misma manera intentar solucionar el problema con la construcción de muros para reducir la longitud efectiva de la columna sin considerar el correcto refuerzo de acero para contrarrestar la combinación de momento y carga axial ocasionado por el muro, también fallará por pandeo. La presencia de estas fallas produce un incontrolable periodo de vibración de las edificaciones, dando derivas que superan el porcentaje límite permitido por la norma NEC y en los peores de los casos en la presencia de terremotos severos las columnas y vigas pueden colapsar por cizallamiento. (Deringöl & Güneyisi, 2023)

En Ecuador hasta el día de hoy no se concibe en la NEC un capítulo de Sistemas de control sísmicos, el no tener esto tipo de subestructura en la presencia de un evento sísmico severo, se reduce la capacidad de trasladar la frecuencia natural de la estructura, por ende, aumentan las vibraciones de la estructura que pueden ocasionar daños estructurales y no estructurales, incluso causando posibles asentamientos que fracturen la cimentación. A día de hoy se han realizado nuevos conceptos de métodos constructivos que promueven la seguridad a los ocupantes debido a la preocupación que genera la incertidumbre de la naturaleza. Por lo tanto, en los últimos años se han desarrollado dispositivos de protección estructural que pueden hacerse cargo de las cargas externas que impactan a la estructura

como puede ser la excitación de aceleraciones de un terremoto, estos dispositivos se los conoce como sistemas de control sísmico y ayuda a aislar la estructura de la cimentación reduciendo los factores sísmicos de las edificaciones. (Kavyashree et al., 2021)

Ecuador es conocido por ser un país de alto riesgo sísmico que debido a la frecuencia y magnitud de eventos telúricos ha provocado un sinnúmero de lesiones a nivel estructural, vidas humanas y pérdidas económicas, esto se debe a la interacción entre placas continentales y oceánicas en la cual existe una zona de subducción que provoca fallas geológicas de deslizamiento oblicuo. Dentro de la provincia el Oro se encuentra la ciudad de Machala, que es una ciudad costera del Ecuador que al estar ubicada en la sexta zona sísmica según la NEC ha sido objeto de eventos sísmicos severos como el ocurrido el 18 de marzo del 2023 de magnitud 6.9 en la escala de magnitud de momento, como consecuencia varias edificaciones de media altura de la ciudad de Machala fueron vulnerables presentando fallas estructurales como no estructurales. Tener conocimiento de la vulnerabilidad sísmica es de mucha importancia en la toma de decisiones para precautelar la seguridad de las comunidades, además de proveer información para la actualización de las normas de construcción. (Loor Loor et al., 2021)

### **1.3 Formulación del problema**

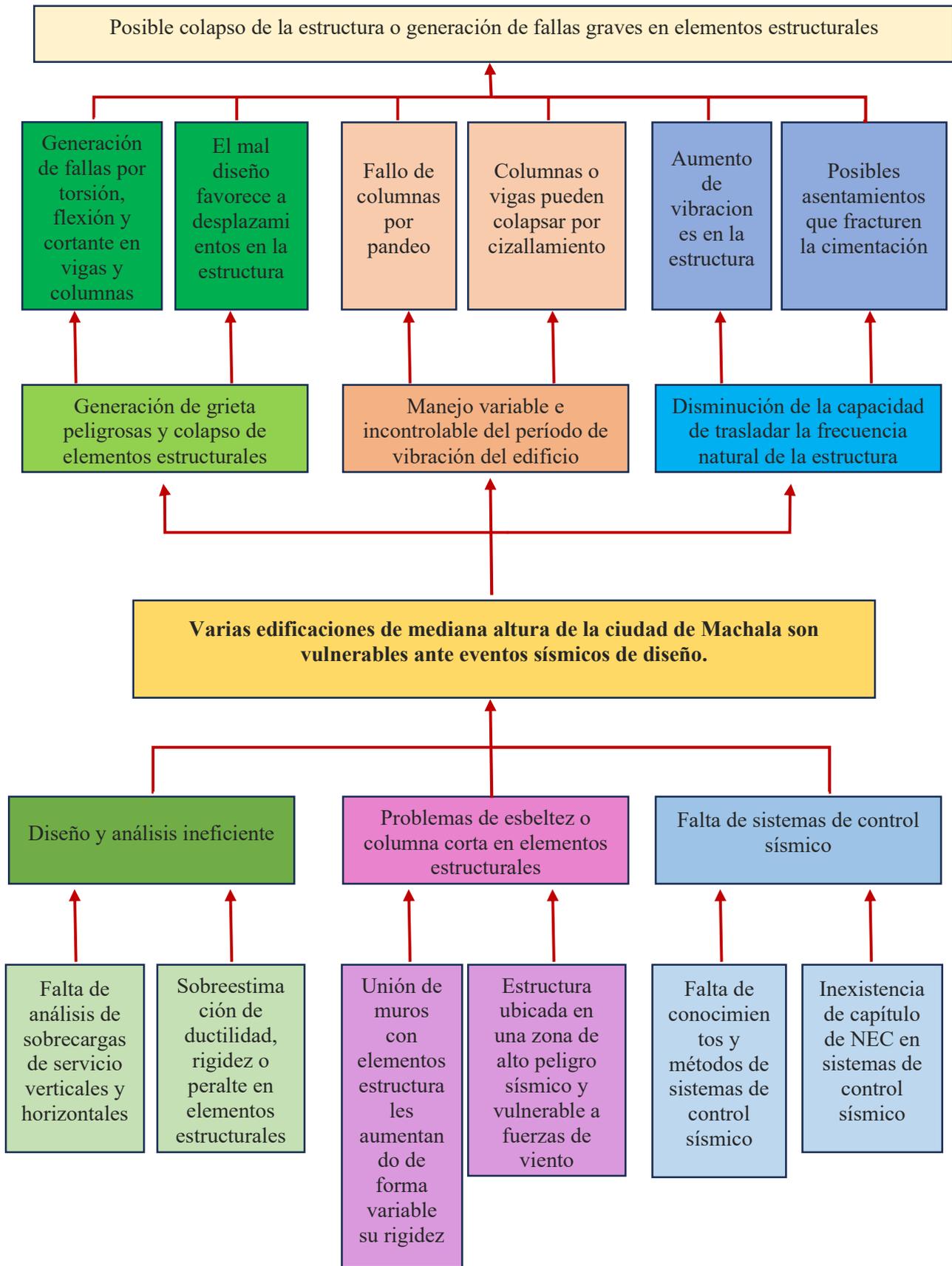
#### ***1.3.1 Problema***

¿Varias edificaciones de mediana altura de la ciudad de Machala son vulnerables ante eventos sísmicos de diseño?

#### ***1.3.2 Problemas secundarios***

- ¿Cuáles son los métodos para realizar un diseño estructural que permita una adecuada resistencia sísmica de diseño para las edificaciones de media altura de la ciudad de Machala?
- ¿Cuál es el desempeño sísmico estructural mediante la implementación de sistemas de control sísmico y base fija para las edificaciones de media altura de la ciudad de Machala?
- ¿Cuáles son las alternativas de sistemas de control sísmico para un correcto desempeño sísmico en las edificaciones de mediana altura de la ciudad de Machala?

Figura 11. Árbol de problemas (Causas y efectos)



Fuente: Autor

## 1.4 Delimitación del objeto de estudio

### 1.4.1 De contenido

**Campo:** Ingeniería Civil.

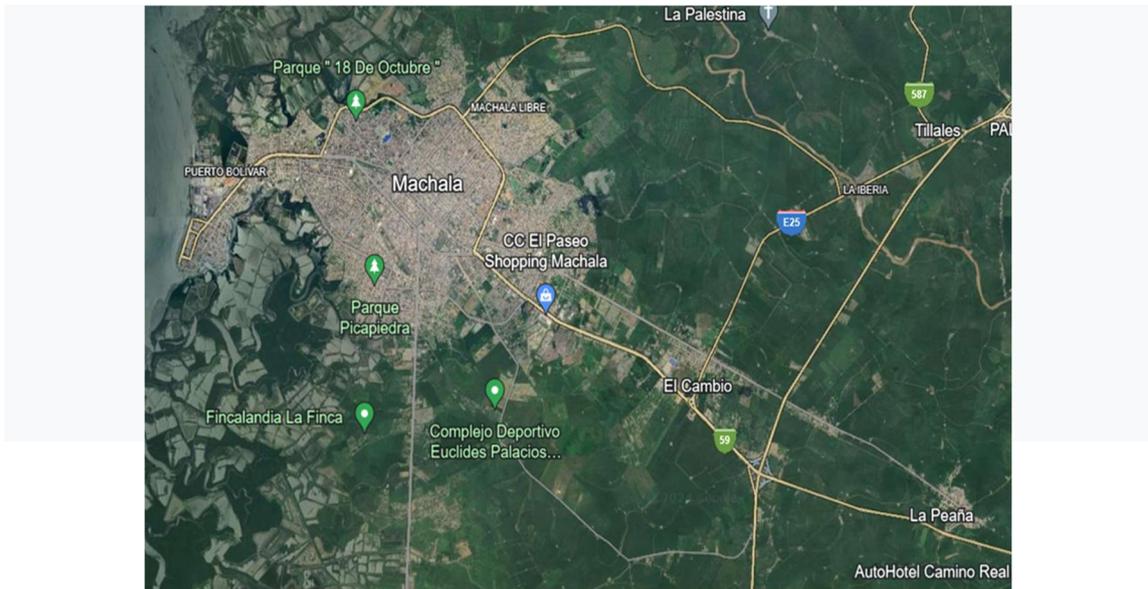
**Área:** Infraestructuras.

**Aspectos:** Análisis y diseño sismorresistente, sistemas de control sísmicos, sustentabilidad y resistencia estructural.

### 1.4.2 Espacial

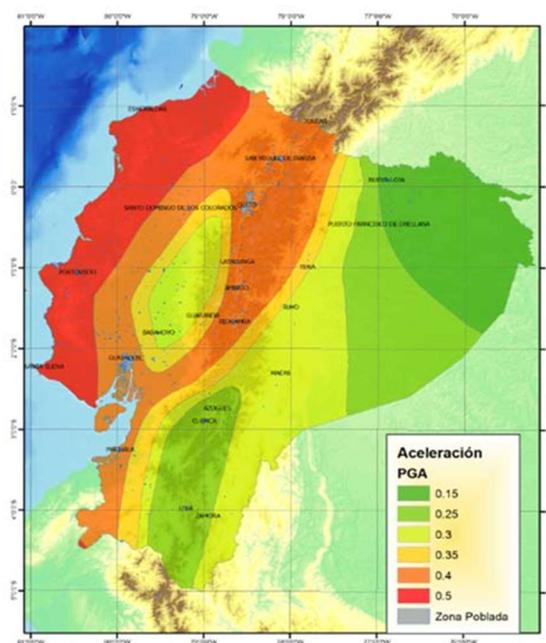
Para el presente trabajo documentado se llevará a cabo el análisis de los métodos, técnicas y sistemas para el control sísmico para las edificaciones de mediana altura construidas en la ciudad de Machala, provincia de El Oro, Ecuador, el objeto de estudio en este caso se remonta en los factores sísmicos que contiene la ciudad de Machala, ya que, al ser un cantón situado en una zona de gran vulnerabilidad sísmica, según el capítulo de Peligro Sísmico de la Norma Ecuatoriana de Construcción (NEC), estas causas afectan de manera significativa a la sustentabilidad, resistencia y durabilidad de la mayor parte de las edificaciones de mediana altura ubicados en la ciudad de Machala, como se puede observar en las siguientes imágenes, tanto de la vista satelital, como la imagen descriptiva de las zonas con mayores aceleraciones en el suelo de la NEC:

*Figura 12. Vista satelital de la ciudad de Machala*



*Fuente: Google Earth Pro*

**Figura 13.** Mapa de zonificación sísmica del Ecuador



**Fuente:** Normas Ecuatorianas de la Construcción – Peligro Sísmico

### 1.4.3 Temporal

El presente documento y trabajo de titulación tendrá su desarrollo en dos fases, tanto en su primera fase, la cual será realizada desde el mes de abril de 2024 hasta agosto de 2024, y para su segunda fase, será llevada a cabo aproximadamente desde el mes de septiembre de 2024 hasta diciembre de 2024.

### 1.5 Justificación

La sustentación del presente trabajo de titulación se basa en la revisión bibliográfica sobre la investigación de artículos científicos relacionados con el tema de control sísmico y sustentar la filosofía del diseño sismorresistente, utilizando argumentos, métodos y técnicas ya utilizados por otros autores donde evalúan las condiciones más severas que pueda presentar cualquier edificación ante eventos sísmicos, por ello, se basa en la conceptualización teórica y analítica del correcto diseño y análisis estructural ya realizados en otros sitios con características similares a las edificaciones de la ciudad de Machala, es importante tomar esto en cuenta debido a que cualquier construcción implica responsabilidad completa en tomar en cuenta todos los factores de complejidad o vulnerabilidad que puedan presentarse en el proyecto, además, es importante llevar a cabo el estudio y análisis de los posibles riesgos estructurales que pueden suscitarse en una obra, sobre todo, para el caso de la ciudad de Machala, los riesgos sísmicos y alteración de los períodos de vibración de una edificación debido a fuerzas de viento o sobrecargas

no consideradas, son unos de los factores que más deben ser atendidos antes y después de la obra, sobre todo porque el cantón es catalogado como zona de alto nivel sísmico según la NEC del capítulo de Peligro Sísmico. (Beirami Shahabi et al., 2020)

El presente trabajo es realizado en función de los riesgos sísmicos que padecen la mayor parte de edificaciones de mediana altura situados en la ciudad de Machala, es importante la correcta ejecución de la investigación de este trabajo de titulación ya que las metas establecidas en el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del GAD del cantón Machala se relacionan con el presente trabajo, debido a que varias metas se basan en la infraestructura y asentamientos humanos, como lo es la regeneración del 75% de los barrios no regenerados de Machala, gestionar y promover la construcción de 1700 viviendas dignas de interés social, construcción de infraestructuras para el desarrollo de la ciudad, por ende, es necesario llevar a cabo la correcta investigación y aporte de información con referencia al tema del trabajo de titulación presente, porque aportará con información y comparación de resultados sobre la filosofía del diseño sismorresistente y el correcto control sísmico para las estructuras del cantón, ya que, uno de los casos que pueden verificar la premisa anteriormente mencionada es el evento sísmico que sucedió en marzo del año 2023, la magnitud del terremoto fue de 6,8, donde, varias estructuras de baja y mediana altura sufrieron graves daños estructurales, tanto fue el caso que hubieron cifras de muchas víctimas por el terremoto, varios heridos, y lamentablemente, número de muertos, claramente es un tema muy importante, ya que, como se describió en el párrafo anterior, considerar las vidas que permanecen dentro de las edificaciones nos lleva a la reflexión a tener en cuenta todos los aspectos que más pueden afectar a cualquier estructura que estemos construyendo o fiscalizando. (Takagi et al., 2023)

El propósito de considerar todos los factores sísmicos fundamentales que inciden en el diseño y análisis sismorresistente en cualquier estructura, sobre todo, en este caso en la ciudad de Machala, es reducir la vulnerabilidad sísmica que padecen los edificios en el cantón, utilizando los sistemas de control sísmico, consideraciones en los efectos de esbeltez, columna corta, evitar que las secciones de las vigas sean mucho más considerables que las columnas, ya que pueden actuar por efecto de cizallamiento, entre otros factores estructurales que contribuyan al aumento de resistencia, sustentabilidad, y que cumpla con la filosofía de diseño estructural establecido en la normativa NEC, además, el presente trabajo de titulación servirá como fines investigativos y académicos para la obtención del Título de tercer nivel de la carrera de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica de Machala. (Furinghetti et al., 2020)

## **1.6 Objetivos: General y específicos**

### ***1.6.1 Objetivo general***

- Diseñar un sistema de control sísmico mediante herramientas computacionales y revisión de artículos científicos que permita reducir la demanda sísmica en las edificaciones de mediana altura de la Ciudad de Machala ante un sismo severo y extremo.

### ***1.6.2 Objetivos específicos***

- Indagar los métodos adecuados para un correcto diseño estructural mediante la revisión de artículos científicos para el análisis de la resistencia sísmica de diseño en las edificaciones de media altura en la ciudad de Machala
- Comparar el desempeño sísmico de la estructura de diseño con la integración de sistemas de control sísmico en la cimentación y con base fija, mediante métodos técnicos aplicables a edificaciones de mediana altura de la ciudad de Machala
- Proponer una alternativa adecuada de sistemas de control sísmico que aporte un correcto desempeño sísmico en las edificaciones de mediana altura de la ciudad de Machala

## CAPITULO II

### MARCO TEORICO

#### 2.1 Antecedentes contextuales

##### *2.1.1 Macro*

A lo largo de la historia, el ser humano ha tenido que utilizar diferentes métodos para evitar desastres en su entorno o vida diaria, ya sea la construcción de tecnología que detecte posibles lluvias torrenciosas en ciertas áreas, detección de huracanes, y para el caso de los sismos, la tecnología no ha avanzado al punto de la detección exacta de un sismo ya sea de gran o poca magnitud, pero ha evolucionado el sistema constructivo para poder evitar desastres en las estructuras, en este caso, los métodos o sistemas de aislamiento sísmico en cualquier edificación, esta tecnología ha sido más utilizada en países con alta peligrosidad sísmica, como lo es Japón. Los autores (Nakamura & Okada, 2019), responsables del análisis y estudio del aislamiento sísmico y métodos de control de respuesta para los edificios en el país de Japón, determinan sus investigaciones mediante modelos estructurales para cada tipo de edificio, los alcances, limitaciones de los esfuerzos y deformaciones en cada caso, monitoreo del análisis de respuesta ante sismos y la aplicación de procesos de optimización del rendimiento ante cada sistema de aislamiento en conjunto con las normativas respectivas de Japón para el análisis sísmico de los dispositivos y métodos convencionales a los cojinetes de goma con capas de láminas de goma delgadas con placas de acero, ya que ayudan en la absorción o transmisión de la energía sísmica hacia los dispositivos, ayudando a reducir las deformaciones más críticas en los edificios, verificando su eficacia y reducción de las deformaciones en gran medida en comparación con los sistemas estructurales convencionales sin aisladores sísmicos.

El autor (De Domenico et al., 2020) llevó a cabo el estudio sobre los dispositivos de aislamiento, y declaran que es un método y sistema factible para poder controlar los movimientos que perjudican a las estructuras en Italia, ya que, ayuda enormemente, sobre todo a estructuras con baja rigidez lateral, en separar el movimiento de la estructura con el evento sísmico que ocurra en ese instante, relacionando a los dispositivos más usados como los cojinetes elastoméricos y cojinetes de deslizamiento con superficie curva, estos dispositivos han sido estudiados y utilizados en gran medida en territorio Norteamericano, además, en el artículo escrito por los autores mencionados anteriormente, estos dispositivos fueron evaluados ante registros de terremotos de diseño y severos, además

de analizarlos con metodologías como el análisis historial de respuesta no lineal, la comparaciones de las simulaciones numéricas sobre el estudio de una base aislada en 3D, todo ello analizado desde la experimentación en una prueba de mesa vibratoria, estos estudios demostraron la eficiencia de la disipación de energía que atribuyeron estos dispositivos en las estructuras de estudio, sobre todo, en el análisis de nuestro trabajo, contribuye en gran medida la información y metodologías aplicadas por los autores citados anteriormente, sustentando su información como una guía para la elaboración de las metodologías en el presente trabajo.

La implementación de normativas para el diseño de edificaciones son importantes para poder guiarnos en estudios, análisis y métodos verificados por institutos especializados en esta rama de la ingeniería, por lo cual, los estudios y análisis realizados por el autor (Dushimimana et al., 2023) dictamina que el Code for Design of Civil Building (Código de Diseño de Edificios Civiles) es una guía para examinar los efectos sísmicos en edificaciones, del cual, dependiendo no solo de su altura, es decir, ya no solo tomar en cuenta los factores sísmicos más comunes de escuchar como la rigidez o su período de vibración, adjuntando a ello, se agrega la esbeltez de los elementos, para este artículo científico referenciado de los autores anteriores mencionados, realizaron el estudio del comportamiento de edificios de 5, 10 y de 15 pisos en China, conformados con los cojinetes de caucho con núcleo de plomo (LCRB), mediante análisis histórico-temporal en un modelado de construcción de varios pisos aislados con estos dispositivos, además del análisis de las deformaciones de corte del elastómero, todos estos estudios mostraron grandes resultados ante fuerzas de cizallamiento ante eventos sísmicos, disminuyendo los valores de desplazamientos de base, las aceleraciones, las derivas y mejorando el comportamiento histórico con una fuerza máxima de aislador y una capacidad de disipación de energía (EDC) favorable.

### ***2.1.2 Meso***

El estudio realizado por el autor (Guerrero Bobadilla et al., 2022), en el país de México en la zona del Lago de la Ciudad de México, ha denotado una alternativa factible en utilizar aislamiento de base en suelos muy blandos, suelos que tienen la característica de que los periodos de vibración ante un evento sísmico sean de larga duración, por ende, se propuso la utilización de aisladores de péndulos de fricción (APF) en edificaciones de mediana y baja altura, los análisis y estudios de este artículo se llevaron a cabo mediante la comparación de los factores sísmicos de los 12 registros sísmicos sintéticos, e

incluyendo 2 históricos para la zona de estudio con su respectivo período de vibración cercano a los 2 segundos, llegando incluso a realizar análisis dinámico incremental (ADI). Los APF son dispositivos normalmente de acero, que se compone de una articulación deslizante y una superficie de deslizamiento cóncava, tiene la función de aprovechar las propiedades de un péndulo simple, para así aumentar el periodo de vibración de la estructura. La utilización de este sistema de control sísmica ayuda a que la ciudad mejore la resiliencia sísmica. Como resultado se obtuvo que la probabilidad de colapso estimada para modelos de tres, seis y nueve niveles equipados con APF, dada una intensidad sísmica, esta resulto significativamente menor a la estimada para edificaciones convencionales sin estos sistemas de control sísmico.

En el país de Perú, específicamente la ciudad de Lima, los autores (Saldaña Vasquez & Scaletti Farina, 2022) se ha realizado estudios de disipadores de energía en la respuesta sísmica de las edificaciones, tanto de fluidos viscosos como histerético. El caso de estudio fue el edificio principal del aeropuerto de Lima haciendo un análisis de la historia del tiempo con la aplicación de método simplificado y el método tridimensional, los principales parámetros de estudio que se considero fue el periodo fundamental de vibración de la estructura sin dispositivo de control sísmico y con dispositivo de amortiguadores histeréticos que se incorporaron a la edificación. Comparando los resultados se concluyó una predicción rápida y aceptable de los niveles de reducción de la respuesta sísmica en edificaciones que incorporaron disipadores de energía.

Así mismo en Perú, se realizó un análisis comparativo estructural de una edificación de cuatro niveles con base fija y base aislada. Se considero una estructura convencional con un sistema sismorresistente en pórticos de concreto y albañilería confinada perteneciente al Centro de Salud I-3 Andrés Araujo Moran en la Región Tumbes. Se propuso dispositivos de alto amortiguamiento con núcleo de plomo LRB con un factor de amortiguamiento crítico del 15 %. Se obtuvo como resultado que el periodo fundamental de vibración de la estructura incremento el doble en comparación de la estructura convencional y la deriva de piso de redujo el doble, con lo cual se concluye que la estructura se encuentre dentro de la funcionalidad continua de acuerdo a la Norma E.031 de Aislamiento sísmico. (Niquen et al., 2023)

En Perú se encuentra en zona de alta intensidad sísmica, por lo cual cuenta con la Norma E.031 de Aislamiento sísmico, es una norma moderna y que se encuentra en constante

desarrollo, es probable que existan varias modificaciones y actualizaciones a ser implementadas en la norma por el constante desarrollo de la tecnología e investigación sobre estos sistemas de aislamiento sísmico. Ecuador también se encuentra en una zona de alta intensidad sísmica, pero a diferencia de Perú, no contempla un capítulo de sistema de control sísmico en la NEC (Norma Ecuatoriana de la Construcción). (Guzmán & Angulo, 2022)

En el siguiente artículo científico que aporta información y relevancia en la elaboración del presente documento, se basa en los estudios por los autores (Cunalata & Caiza, 2022), en Ecuador, ya que, se lleva el análisis de la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones debido a la microplaca llamada “Bloque Andino” que pertenece a la placa Sudamericana y al sur del Ecuador, la cual tiene interacción con la placa de Sudamérica y Nazca, esto ha desarrollado un sistema de fallas que combinado con la subducción que se presenta en la costa del país, es participe de fuentes principales que generan movimientos sísmicos. En los últimos 460 años, Ecuador ha tenido sismos de magnitud considerable. Se ha realizado un análisis del Estado del Arte de Estudios de Vulnerabilidad Sísmica en Ecuador haciendo uso del proyecto SARA, aplicando metodologías como la FEMA P-154, FEMA 310, Benedetti-Petrini, NEC-15, además de la FUNVISIS, en el cual está enfocado en estimar el riesgo físico ante un sismo, donde clasifica a Ecuador como un país multiamenazas, por el cual está expuesto a sufrir las consecuencias de eventos sísmicos, incitando a proponer planes de reforzamiento para aquellas estructuras que lo requieran para alcanzar un comportamiento aceptable ante un evento sísmico.

### **2.1.3 Micro**

El estudio llevado a cabo por el autor (Bungacho et al., 2022) , en su trabajo “*Evaluación de vulnerabilidad sísmica, análisis estructural y diseño de reforzamiento de una vivienda en Quito-Ecuador*” menciona que varias viviendas de Quito tienen una vulnerabilidad sísmica alta, careciendo de buen comportamiento dinámico, debido que a que las viviendas se construyen de manera informal sin la supervisión de un profesional en construcción, para el cual, llevaron a cabo el análisis de los estudios respectivos mediante la evaluación de los parámetros estructurales de las viviendas de estudio por las normas NEC-15 y ASCE 41-17, estudiando el análisis del comportamiento dinámico y desempeño de la edificación en el rango no lineal, del cual, los autores proponen dos alternativas de reforzamiento para la sustentabilidad y soporte de la estructura ante eventos sísmicos importantes, estas alternativas se basan en el enchapado de paredes y

encamisado de columnas. Referente a lo mencionado anteriormente, en la ciudad de Machala también se ha presenciado que edificaciones de baja y media altura presentan vulnerabilidad sísmica por daños estructurales y no estructurales, debido a los constantes movimientos telúricos por ser una ciudad costera de alta peligrosidad sísmica, por lo que conlleva a que se procure corregir estas deficiencias dando alternativas de reforzamiento estructural o sistemas de control sísmico para disminuir la vulnerabilidad sísmica presente en la ciudad de Machala.

En la ciudad de Loja, se realizó un trabajo por el autor (Duque Yaguache et al., 2022) en el que se menciona que varias edificaciones de mediana y baja altura son construidas de manera informal de hormigón armado y con ampliaciones verticales de acero, en el cual se realizó un análisis del desempeño sísmico y mencionan que gran parte del conjunto de edificaciones analizadas no son capaces de resistir el sismo de diseño. En base a lo mencionado anteriormente, la ciudad de Machala cada vez es más común la construcción informal, lo que conlleva a que el sector de la construcción no se siga los parámetros de diseño que garantice una edificación sismorresistente regulados por la NEC de peligro sísmico.

Según el autor (Morales Luis Wladimir et al., 2020), mencionan que el país de Ecuador, presenta alta peligrosidad sísmica, dicho esto la ciudad de Machala pertenece al país de Ecuador lo que conlleva a la presencia de movimientos telúricos como el que se vivió en Manabí en el 2016, dejando grandes afectaciones, consecuente a esto la NEC no dispone de un capítulo específico para sistemas de control sísmico como si lo dispone Perú en la Norma E.031 de Aislamiento Sísmico, la buena implementación de sistemas de control sísmico ayuda a reducir la demanda sísmica, derivas y minimiza los daños en elementos estructurales y no estructurales lo que ayuda a proteger la estructura de un colapso, permitiendo que siga siendo funcional ante un evento sísmico de diseño, el objetivo de este artículo se basa en el diseño y fabricación de un hormigón estructural con EPS de gran densidad, reemplazando al agregado grueso.

## 2.2 Antecedentes Referenciales

En el presente trabajo, se utilizarán metodologías, técnicas, guías y recomendaciones de diferentes autores de artículos científicos relacionados directamente con el tema, llevando así un análisis y uso de metodologías de fuentes importantes, como lo es el estudio llevado a cabo por el autor (Peng et al., 2019) del artículo *Experimental Study of Sliding Hydromagnetic Isolators for Seismic Protection*, analizando y sometiendo a prueba un nuevo sistema de aislamiento de base en estructuras donde usan aisladores con cojinetes hidromagnéticos deslizantes, los cuales, sirven para minimizar los desplazamientos de los rodamientos, teniendo consigo una fuerza de recuperación y restricción ante tal deslizamiento, usando un análisis teórico de las fuerzas repulsivas, histogramas, análisis de los coeficientes de fricción en este tipo de sistemas de control sísmico, teniendo resultados favorables para poder aplicar estos sistemas en estructuras que presenten problemas ante actividades sísmicas.

Actualmente existen varios sistemas estructurales en los elementos que pueden variar según su forma o la consideración del diseñador, aunque, en el transcurso del tiempo, varios autores alrededor del mundo, tienen una visión más inclinada y positiva en el uso del acero en las estructuras, esta postura, lo tiene la autora (Costanzo, 2023), del artículo científico *State of the Art on Seismic Design of Steel Buildings in Europe*, ya que no solo explica los beneficios del uso del acero en base a sus propiedades físicas y químicas como su alta resistencia o ductilidad, además de su trabajabilidad en el ámbito de la construcción, refutando su premisa en el aporte de rigidez y sustentabilidad ante riesgos sísmicos de alta peligrosidad, expresando que los Marcos Resistentes a Momentos (MRF), tienen grandes ventajas, empezando por la resistencia ante fuerzas sísmicas, comportándose de forma flexible y disipativa, donde, el autor explica que si se requiere asegurar una ductilidad global, es necesario que las columnas se las diseñe de tal manera que tengan la suficiente resistencia excesiva para que puedan resistir la peor condición que se le pueda presentar a la estructura tanto en momento de flexión como en fuerzas axiales, este artículo nos ayuda a definir los tipos de modelos de estructuras de acero y sus soluciones para reducir el riesgo sísmico en zonas de alta peligrosidad sísmica como lo es en nuestro país.

Como ya hemos visto anteriormente en el presente trabajo, existen varios tipos de sistemas de aislamiento sísmico, existen tanto lineales como no lineales, en el caso de los sistemas de aislamiento lineal se clasifican en dos grupos dependiendo de su aplicación,

ya sea la base de la estructura (cimentación), o entre plantas, así mismo, existen sistemas de aislamiento sísmico no lineales, el aporte de estos análisis y estudios para el presente trabajo son llevados a cabo por el autor (Zhu et al., 2023), donde su objetivo principal es estudiar el comportamiento de los sistemas de aislamiento lineales y no lineales ante varias estructuras, comparando el comportamiento de estos sistemas en varios casos ya utilizados en la historia, donde, concluyen que los sistemas de aislamiento no lineales son la mejor opción ante fallas cercanas o lejanas en base al aislamiento sísmico, además de recomendar la aplicación de estos sistemas de aislamiento en la ingeniería actual y futura.

El uso y comparación de registros sísmicos contribuyen en gran medida al estudio de diferentes técnicas o metodologías para minimizar los efectos sísmicos en las estructuras, el autor (Salaas et al., 2023) evaluó la efectividad de los sistemas de aislamiento de base relacionado a un amortiguador de columna de líquido sintonizado pasivo, es decir un TLCD, estudiar el trabajo realizado por los autores descritos anteriormente contribuye enormemente en el desarrollo del presente trabajo ya que, la metodología del uso de 44 registros sísmicos que aplican los autores en el artículo citado para comparar los resultados del comportamiento de una estructura con aislamiento de base se relaciona con la metodología que se aplicará en este trabajo, en donde, los autores concluyen de forma favorable ante el uso de los sistemas TLCD ya que protegen en gran medida los subsistemas de aislamiento de base, disminuyendo los desplazamientos ante el límite máximo que se permite, además de reducir las excitaciones sísmicas, la frecuencia natural de la estructura y las respuestas de la edificación en todos los casos puestos a prueba.

Así como el artículo citado anteriormente, el uso de los registros sísmicos para la evaluación del desempeño estructural en cualquier edificación contribuye en gran medida a obtener todas las observaciones primordiales para averiguar si existen ciertas falencias al momento de realizar el diseño de la estructura, de la misma forma, esta metodología la aplica el autor (Kote et al., 2022), investigador afiliado al Departamento de Ingeniería Civil en Pune, India, en donde, en su investigación, proponen un método para poder analizar la más alta respuesta resultante en base a un sistema que se compone en dos direcciones con un solo grado de libertad, de la cual, someten a la edificación de estudio a fuerzas en sus dos componentes horizontales, a su vez, utilizan espectros de respuesta críticas en tres divisiones variadas a los movimientos del suelo registrados, mismo que ayuda a tener una respuesta máxima mucho más aproximada a la realidad que se encuentre ante una excitación de varios componentes sin tener que calcular ángulos de

incidencia críticos, llegando así a tener como resultado final la comparación de las soluciones del tiempo-historia, el trabajo realizado por los autores citados nos demuestra una metodología mucho más comprensible del uso de registros sísmicos para evaluar cualquier edificación que dispongamos a evaluar.

Los autores (Late & Nair, 2023) llevaron a cabo el análisis y estudio del desempeño sísmico de varios marcos en una edificación con una geometría en forma de “L”, Plus (es decir en cruz), y de geometría común (cuadrada), de la cual, compara el estudio realizado con la aplicación del Análisis Dinámico de Historia Tiempo estudiando la variación de la aceleración y desplazamiento de los distintos tipos de edificios utilizando los registros sísmicos de El Centro (1940) y Bhuj (2001), utilizando el software ETABS para revisar el comportamiento de estas edificaciones, los autores demostraron que los marcos asimétricos son más vulnerables ante eventos sísmicos, es decir, que las edificaciones con geometría simétrica o sin demasiadas variaciones en su geometría tiende a soportar y resistir de mejor forma las fuerzas sísmicas y sufrir en menor medida fallas en su estructura, agregando a ello, los autores demuestran y comentan la importancia de tener una geometría simétrica en edificaciones que se encuentran en zonas sísmicas altas.

El autor (Furinghetti, 2022) analiza y propone distintas técnicas o procesos mucho más directos para el diseño de dispositivos de aislamiento para las estructuras, donde, toma en cuenta los sistemas de aislamiento más comunes como: Los rodamiento de caucho, de plomo y los deslizadores de superficie curva, el autor explica que el enfoque hacia un diseño rápido y eficaz para estos sistemas se basan primordialmente en las propiedades geométricas y mecánicas de los dispositivos de aislamiento que usaremos, además, como información previa de la estructura, necesitamos *el punto de rendimiento* del dispositivo, el cual se relaciona con el período de diseño  $T_d$ , y del diseño equivalente de amortiguación viscosa del sistema de aislamiento, en donde, en su investigación, concluye que el análisis de estos parámetros sometiéndolos a prueba en varios casos comparando a los sistemas de aislamiento más usados en general , demuestran resultados favorables ante los excesivos desplazamientos máximos en los aisladores como respuestas ante el cizallamiento, en la base de la estructura, considerando los cálculos y análisis de la respuesta sísmica de las estructuras gracias al Análisis del Historial de Tiempo No Lineal, este artículo tiene gran aporte en el presente trabajo, ya que indica que parámetros, procesos y metodologías aplicar para un correcto y rápido diseño de los dispositivos de

aislamiento que requerimos en nuestra estructura, sobre todo si se encuentra en una zona de alta peligrosidad sísmica.

El autor (Magisano et al., 2022) propone en su trabajo un espacio modal el cual ayuda en la reducción de vulnerabilidad sísmica, realizando un análisis sísmico dinámico no lineal para edificaciones con marcos 3D elastoplásticos, además de analizar las fuerzas internas para poder evaluar de forma completa al modelo, de esta forma se puede garantizar resultados mucho más precisos ante las leyes constitutivas, proyectando también las ecuaciones de movimiento ante el espacio modal, llevándolo a un esquema de aceleración promedio de Newmark, proponiendo también la evaluación de las formas modales en base a los modos elásticos lineales dependiendo de la relación rigidez/masa lineal, aplicando también el método de reducción reforzando a la edificación con variaciones en el contenido de la dirección del sismo, amplitud, y la frecuencia que alcanza la edificación, enfatizando la incorporación de modos plásticos para poder evaluar la dinámica estructural mucho más a fondo, sobre todo cuando se evalúan los eventos sísmicos, el autor verificó en los resultados obtenidos la confiabilidad del análisis aplicado, mejorando la eficiencia computacional, validando la precisión y robustez del método de reducción, además de recalcar la inclusión de los modos plásticos para tener una mayor precisión en los resultados de la dinámica estructural ante eventos sísmicos.

El análisis y valorización de los estudios ante la reducción de los impactos sísmicos en las estructuras contribuye en gran medida para moldear y perfeccionar un modelo estructural sismorresistente ante estas fuerzas, por ende, el uso de aisladores de base en edificaciones como los amortiguadores de masa, varios amortiguadores de masa sintonizada (MTD) en el último piso de la edificación, y este último tipo de amortiguador pero en varios pisos de la edificación, contribuyen en la disminución de los impactos sísmicos en cualquier estructura, ahora bien, la ejecución del análisis de este tipo de amortiguadores en un edificio de estudio es apoyado por el autor (Stanikzai et al., 2020) donde, en su trabajo de investigación formularon un enfoque numérico basándose en la integración de Newmark, analizando los movimientos más gobernantes para edificaciones que poseen entre 5 a 10 pisos, del cual, usaron 40 registros de movimientos sísmicos, escalándolos 80 veces para evaluar 3200 movimientos del suelo, teniendo así un análisis dinámico incremental que sirve para poder realizar las curvas de fragilidad basándose en el desplazamiento máximo del aislador que se está estudiando, llegan a la conclusión que este tipo de aisladores ayudan a disminuir los desplazamientos mucho

más críticos ante una estructura, minorizando la aceleración de los últimos pisos y a su vez, las fuerzas de cizallamiento.

Los autores (Eka Saputra & Priastiwi, 2023) llevan a cabo varias metodologías para el uso del análisis estructural en el software SAP2000, los cuales son: Enfoque cuantitativo, aplicación del modelado estructural en base a la integración de métodos de diseño espectral de historia-tiempo, los cuales se catalogan en el Espectro de Respuesta (RS), los Espectros de Respuestas Emparejados (RSM), Espectros de Historia-Tiempo (TH) y los Historia-Tiempo Emparejado (THM), de esta forma, comparan las estructuras en base al modelado de la misma ante las cargas sísmicas agregadas para evaluar los períodos de vibración natural, de qué forma participa la masa, las derivas que tendrá la edificación en cada nivel, comparando además los desplazamientos y las fuerzas de cizallamiento en su cimentación, encontrando en sus resultados que el rango del período de vibración natural alcanzó entre los 1.054 hasta 1.476 segundos para todos los métodos aplicados cumpliendo con las especificaciones dadas por la SIN 1726:2019, cumpliendo con las disposiciones iniciales dadas, en donde la participación masiva fue mayor al 90%, argumentando también la importancia de considerar la cantidad de niveles en una estructura, ya que el período natural de vibración aumenta mientras más pisos posea la estructura, y por último, analizando el desplazamiento de la estructura, concluye que los mayores desplazamientos con la metodología THM fue de 41.945 mm en la dirección en x, y para la dirección en y con la metodología TH fue de 57.33 mm.

## **2.3 Antecedentes Conceptuales**

### ***2.3.1 Vulnerabilidad sísmica de una estructura***

El autor (Moposita Romero et al., 2021), en su trabajo “*Vulnerabilidad sísmica del edificio ciencias de la salud y del ser humano*” menciona que la vulnerabilidad sísmica de una estructura se debe a una predisposición intrínseca a sufrir daños ante un evento sísmico, está relacionado directamente a las características físicas estructurales de las construcciones, esta vulnerabilidad está asociado a una acción física que pueden sufrir los elementos estructurales y no estructurales de las edificaciones, por ello estudiar estos riesgos en los que se encuentra expuestas las estructuras ayuda a futuro minimizar la vulnerabilidad ante un movimiento telúrico, la vulnerabilidad se asocia al riesgo sísmico, debido a que los desastres naturales pueden ocurrir en cualquier momento, los movimientos telúricos son los que ocasionan que las edificaciones sean vulnerables si estas no están apropiadamente construidas para enfrentar estos fenómenos de la

naturaleza. El método que utiliza el presente trabajo mencionado anteriormente es de la observación directa, desarrollándose en el campo al lugar de estudio aplicando la matriz de “Metodología del Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo”, una metodología aprobada por la Secretaria Nacional de Gestión de Riesgos de Ecuador , con el objetivo de tomar variables de las características físicas de la edificación para calcular el índice de vulnerabilidad física, en el cual se clasifica en: 1 bajo, 5 medio, 10 alto, con el fin de sumar los valores obtenidos en campo para determinar el nivel de vulnerabilidad del edificio.

### ***2.3.2 Edificios de acero con marcos sismorresistentes***

En el trabajo llevado a cabo por el autor (Malhotra et al., 2020), indica la importancia de utilizar estructuras metálicas con marcos sismorresistentes para edificaciones ubicadas en zonas de alto peligro sísmico, ya que, estos marcos se caracterizan por tener resistencia a momentos adyacentes, aunque, también existen estructuras de este tipo incluyendo un arriostramiento que se conecta dinámicamente a diferentes pisos ante condiciones de una correlación de peligro múltiple ante eventos sísmicos o de viento, estos problemas se suscitan en gran medida en edificaciones de gran altura, por ello, el autor hace mención de la importancia de este tipo de estructuras y su modelado matemático ante los N-pisos dinámicamente conectados y similares a varias configuraciones, del cual, en el artículo citado en este apartado, verifican la eficacia de estos marcos en edificios con pisos dinámicamente similares y conectados ante movimientos o comportamientos sísmicos y de viento con un riesgo alto, dependiendo de las condiciones y a que cargas se le atribuyan gravitacionalmente, este tipo de trabajos contribuye a la guía y elección de sistemas estructurales de acero para el diseño sismorresistente para una edificación que se requiera aumentar su desempeño sísmico controlando en gran medida los factores sísmicos que perjudican a la estabilidad y resistencia de una estructura, sobre todo si esta se encuentra en una zona con alta peligrosidad sísmica o vulnerable a fuertes vientos, como lo son las estructuras con muchos pisos o edificaciones de mediana y gran altura.

### ***2.3.3 Análisis de factores sísmicos***

En el trabajo realizado por el autor (Flores Vega, 2021), menciona el estudio de los factores sísmicos más relevantes en una estructura aplicando metodologías, como el Método Pushover, el autor lleva a cabo un estudio de los factores más importantes que intervienen en el análisis estructural y sísmico para una estructura, llevándolo a los límites, es decir, llevando la estructura al colapso, como resultado se obtiene la curva de

capacidad. Para aplicar este método primero se determina los parámetros teóricos y normativos del estudio de caso, en el cual se define las siguientes variables: Estado inicial, Deformación incremental, Grafica de capacidad. Para el estado inicial se transforma la estructura a un elemento de un grado de libertad, representada por medio de un resorte y una bola, el resorte representa la rigidez y la bola la masa, este sistema de un grado de libertad se lo simula con espectros de respuesta en aceleración, lo que genera que el sistema presente deformación lateral generando cargas y deformaciones cada vez más grandes hasta llegar al punto donde la estructura colapsa, generando una nube de puntos que dan como resultado una gráfica de curva de capacidad, donde el eje X se tendrá las deformaciones o desplazamientos y en el eje Y se obtendrán las fuerzas que comúnmente se las menciona en nuestro medio como cortantes basales. Obtenido estos datos, se procede a la creación del Espectro de Diseño, para realizar este grafico se deben simular varias estructuras de un grado de libertad con diferentes modos de vibración, esto se logra que cada estructura de un grado de libertad tenga una altura distinta a la otra, generando modos de vibración a una misma acción sísmica, las gráficas que se obtienen se llaman los acelerómetros, de estas graficas se extraen los valores máximos absolutos y se los apila en un solo grafico llamado espectro de respuesta, esta corrección es el llamado Espectro de Diseño que tiene un periodo de retorno de 475 años y es el periodo de diseño que también trabaja la NEC (Norma Ecuatoriana de la Construcción) en el capítulo de peligro sísmico, a través de este espectro de diseño se obtienen los desplazamientos en el estado elástico e inelástico y derivas de pisos.

#### ***2.3.4 Curva de capacidad***

La curva de capacidad hace representación a la resistencia que opone la estructura a las fuerzas laterales correlacionado con el desplazamiento lateral máximo, por lo general se puede apreciar más a fondo cuando se analiza un gráfico de fuerza-deflexión, en el eje Y se tiene la cortante en la base y en el eje X el desplazamiento en la última planta de un estudio caso, ya que, esta curva de capacidad comúnmente se la realiza cuando se hace un análisis estático Lineal o no Lineal. (Tene González et al., 2023)

#### ***2.3.5 Desempeño sísmico***

El desempeño sísmico se define como la capacidad que tiene la estructura para mantener sus funciones de seguridad y servicio, durante y después de un evento sísmico. En el trabajo “*Propuesta para la futura norma de asilamiento sísmico de edificaciones en Colombia*” menciona que el desempeño sísmico se cumple cuando la estructura sigue los

requisitos consagrados en las normas que regulen las construcciones Sismo Resistentes, para poder resistir fuerzas externas como son los movimientos telúricos de poca intensidad a alta intensidad, evitando daño estructural para sismo moderado y evitando el colapso para sismo de diseño. (Piscal Arévalo & López Almansa, 2018)

### ***2.3.6 Clasificación de los sistemas de control en la respuesta sísmica***

Según los autores (Tornello & Gioacchini, 2018), los sistemas de control sísmico se pueden clasificar en sistemas activos, semiactivos y pasivos. Los sistemas activos son complejos, ya que incorporan sensores de movimiento, sistemas de control y procesamiento de datos y actuadoras dinámicos. Los sistemas semiactivos poseen un mecanismo de monitoreo en tiempo real de la respuesta estructural, en el cual disipan la energía en tiempo real ante un movimiento telúrico, los dispositivos que se utilizan son fluidos electro o magneto-reológicos. Los sistemas pasivos son los que permiten aislar la estructura de la cimentación, estos dispositivos ayudan a reducir la respuesta dinámica, la base teórica de estos tipos de aisladores de base es la representación de una masa que se encuentra soportada por un dispositivo de baja rigidez a los desplazamientos horizontales, donde cumple la función de aislar esa masa de excitaciones de suelo.

### ***2.3.7 Aislamiento sísmico de base***

Según los autores (Piscal Arevalo & Lopez Almansa, 2022), definen al aislamiento sísmico de base como aquel que se incorpora o se instala entre el suelo de cimentación y la estructura con una serie de dispositivos como son los aisladores que son altamente flexibles en dirección horizontal pero rígidos en la dirección vertical, este sistema de aislamiento implementado en edificaciones se ha reportado como satisfactorio en eventos sísmicos severos. También da a conocer que el desempeño sísmico esperado en edificaciones con aislamiento de base según la ASCE 7 se muestra en la tabla (1) en el cual define para edificaciones con aislamiento de base como “a” y edificaciones con base fija como “f”.

En el trabajo llevado a cabo por el autor (Ismail, 2018) menciona que desacoplar la estructura de los componentes horizontales de un evento sísmico, la frecuencia fundamental de la estructura es mucho más baja que la frecuencia fundamental si la estructura es de base fija, lo que permite amortiguación adicional para controlar deflexiones y derivas de piso. También menciona que estos sistemas de aislamiento no

tienen la capacidad de absorber la energía de un movimiento telúrico en cambio su propósito es desviar estos movimientos a través de la dinámica del sistema.

### ***2.3.8 Sistemas de aislamiento deslizante***

En el artículo llevado a cabo por el autor (Calvi et al., 2017), analiza el sistema de aislamiento deslizante de base plana y curva, todo ello mediante el análisis no lineal de la historia del tiempo usando softwares personalizados ante cada estructura como estudio de caso, del cual, el autor menciona que el dispositivo está compuesto o se caracteriza por ser de fricción variable y constante, representándolos como una mejora significativa para la reducción de deformaciones o movimientos sísmicos hacia la estructura, ayudando en la absorción de la energía, estos dispositivos se basan en la rigidez que imponen ante las fuerzas cortantes que actúan menor que el peso de la propia estructura, de esta forma multiplican el coeficiente de fricción hacia una superficie deslizante, de esta forma la rigidez tangencial ayuda a reducir la relación que existe entre el peso soportado con el radio de curvatura de la superficie de deslizamiento.

### ***2.3.9 Sistema de aislamiento de base elastómeros***

En el trabajo llevado a cabo por los autores (Guerra-Valladares & Guerra-Avendaño, 2023), menciona que los sistemas de aislamiento de base elastómeros son ampliamente utilizados para aislar una edificación de las fuerzas laterales provocados por movimientos de suelo mediante la utilización de elementos estructurales de baja rigidez horizontal entre la estructura y la cimentación. Esta capa genera a la estructura una frecuencia fundamental muy baja en comparación con las frecuencias fundamentales fijas y dominantes del movimiento del suelo. Los más mencionados son los aisladores elastoméricos de baja amortiguación (LDRB) y los aisladores elastoméricos con núcleo de plomo (LRB). En el presente trabajo utiliza la normativa ASCE7-16 para la implementación de sistemas de aislamiento ya que esta norma menciona los parámetros a seguir para determinar las características principales del sistema de aislación.

### ***2.3.10 Método de análisis Lineal en el tiempo***

Según el autor (Deulofeu et al., 2022) menciona que el método de análisis lineal en el tiempo es muy útil para realizar una validación del diseño estructural y tener una aproximación al real comportamiento sísmico del edificio, el cual se utilizan acelerogramas escalados de espectro-compatibles, donde primero se realiza un escalado del sismo en distintas magnitudes, considerando como magnitud máxima la más reciente

sismicidad histórica presente en la región, después se aplican estos acelerogramas escalados a la estructura en las 3 direcciones principales del sismo, con la finalidad de obtener la respuesta en el tiempo del elemento crítico seleccionado de la variante relacionada a los pisos.

### ***2.3.11 Registro sísmico***

También conocidos como registros acelerográficos, se caracterizan por ser la información de los movimientos que tuvo un suelo al experimentar un evento sísmico, del cual, para obtener estos registros se deben utilizar unos dispositivos denominados *acelerómetros*, al obtener la información, los datos se caracterizan por poseer tres componentes, tanto vertical, como Norte-Sur y Este-Oeste, ya que el acelerómetro posee tres sensores ortogonales, estos registros son muy importantes tomarlos en cuenta para cualquier estudio estructural, geotécnico o para cualquier aplicación de la ingeniería civil, ya que, contribuye la información recopilada de sus registros y así podemos obtener o analizar los valores de aceleración de los picos más altos (aceleración máxima), como a su vez, el período o el rango de tiempo del cual el suelo experimentó grandes excitaciones, estos datos aportan en gran medida para solucionar los problemas sísmicos y estructurales que pueda sufrir cualquier edificación que se desee llevar a cabo en el suelo estudiado.(Adelfio et al., 2012)

### ***2.3.12 Ductilidad***

Se la define como la propiedad de la deformación, la cual caracteriza a la mayor parte de materiales que tienen una composición metálica o también asfálticas, ciertos materiales de ejemplo se pueden pensar como el alambre o aceros de diferente grosor, ahora bien, esta propiedad se la conoce debido al comportamiento que produce el material al estar sometido a una o varias fuerzas que deformen el elemento de forma plástica antes de llegar a romperse, en este estado se lo considera un estado ideal, pero también ocurre la ductilidad hasta el estado de rotura, este último punto sucede cuando el material sufrió grandes deformaciones, el cual se lo considera como el peor de los casos, ya que en el ámbito estructural, lo que el diseñador mantiene la idea y metodología de diseño de construir elementos estructurales que mantengan una ductilidad adecuada, es importante recordar que el material pasa por el límite o rango elástico, ya que al pasar por el rango plástico el material no llega a romperse pero tampoco puede regresar a su forma original como sucede en el rango elástico, así como existen elementos con propiedades de ductilidad, también existen elementos que no contienen esta propiedad, denominados

*materiales frágiles*. Otra definición de la ductilidad en los elementos es en base a la relación del alargamiento longitudinal que se produce por la tracción o intervención de fuerzas externas que contribuyen en la reducción de la sección transversal. (Velarde Cruz et al., 2022)

### ***2.3.13 Resistencia estructural***

Uno de los términos más utilizados hasta la actualidad en el ámbito de la ingeniería civil es la resistencia estructural, ya que es el factor que mayor importancia debe tener cualquier profesional del área de la ingeniería civil debe tener en cuenta para la construcción de cualquier edificación u obra civil, ya que, se lo conoce como la capacidad que tienen los elementos para soportar todo tipo de esfuerzos o cargas que sometan al sistema estructural a diferentes condiciones sin llegar al estado de rotura, este término es tomado en cuenta en varios códigos o normativas de construcción, incluyendo la Norma Ecuatoriana de Construcción (NEC), el factor de resistencia estructural depende netamente de las características o propiedades del sistema estructural diseñado o llevado a cabo, ya que de la variación de sus criterios se basa en la elección de los materiales utilizados, la geometría de la obra, las conexiones entre los elementos, refuerzos o implementación de sistemas que contribuyan al aumento de la resistencia estructural.(Pineda; Sofía et al., 2023)

### ***2.3.14 Sismo máximo esperado***

El autor (Gandelli et al., 2020), menciona que este tipo de sismo se caracteriza por tener la probabilidad de suceder de forma anual con una excedencia del 2% en 50 años, o también se lo identifica por su período de retorno de 2475 años, este tipo de sismo corresponde a la categoría de demanda sísmica, ya que, este tipo de sismos producen grandes deformaciones a cualquier estructura, manteniéndola en un comportamiento de tipo inelástico, por ello, si se desea estimar en alguna edificación un sismo máximo esperado, se puede dimensionar las secciones o tipos de elementos ante la capacidad de ductilidad y disipación de energía que caracterice a la estructura que soporte un sismo de tal magnitud, evitando su colapso o futuros daños irreparables.

### ***2.3.15 Sismo de diseño***

Pertenece a la misma categoría del sismo máximo esperado, ya que estos tipos de sismos tienen una probabilidad anual de excedencia de un 10% en 50 años, del cual, también se lo puede identificar por su período de retorno, a diferencia del sismo máximo esperado,

el sismo de diseño por lo general tiene su período de retorno de 475 años, este tipo de sismos son los más utilizados para la construcción de los espectros de diseño ante las normativas o códigos de construcción de cada región. (Saracco et al., 2023)

### ***2.3.16 Derivas***

En el ámbito estructural, las derivas se las consideran como los desplazamientos horizontales relativos que existen entre dos puntos situados en la misma línea vertical, ya sea en dos niveles consecutivos de una estructura, es uno de los factores más importantes a considerar ya que para llevar consigo el análisis y diseño de una estructura, necesitamos tener la información de los estudios de los desplazamientos horizontales que se pueden suscitar en la estructura, existen diferentes tipos de derivas, la deriva más importante en calcular es la deriva máxima, la cual, en la Norma Ecuatoriana de Construcción 15 (NEC-15) dictamina que su valor sea del 2%, aunque, el autor que se cita en este párrafo, en su investigación, denotó que el terremoto que sacudió al Ecuador en el año 2016, se obtuvieron derivas un poco por encima del 2% en ciertas estructuras, donde, varios elementos estructurales, sobre todo las columnas, sufrieron severos daños, para estudios estructurales de edificaciones que han tenido pérdidas de fracciones de elementos estructurales es importante obtener a que deriva llegó, de esta manera se puede estimar una reparación en el reforzamiento y a su vez decidir con los propietarios de la obra para estimar los costos necesarios. (Aguilar & Del Castillo, 2019)

### ***2.3.17 Criterio de funcionalidad continua***

La definición para este criterio puede variar para cada autor o diseñador, pero en general, se refiere al pensamiento, generación de ideas, recomendaciones, sugerencias, soluciones y prevenciones ante cualquier problema que se pueda presentar a futuro y pueda ser solucionado de manera continua a través de la metodología aplicada por el diseñador, logrando así el diseño y construcción de una estructura que cumpla con el objetivo de la filosofía del diseño sismorresistente, ya sea para edificaciones de tipo acero u hormigón, o a su vez, mixto, manteniendo un margen de seguridad y funcionalidad ante los riesgos más graves que se puedan presentar en una edificación, sobre todo, en zonas de alto riesgo sísmico, otro criterio que se adentra en el criterio de funcionalidad es la elección de los costos, confiabilidad y condiciones a las que estará sometida la estructura, todo esto se refuerza y argumenta del análisis y diseño estructural llevado a cabo por el profesional a cargo, además, el sistema estructural debe ser correctamente elegido para el tipo del suelo y su zona sísmica respectiva, tomando en cuenta los conceptos más importantes de las

estructuras, como la resistencia, sustentabilidad, deformación controlada, además de que sus condiciones de regularidad se rigen por la geometría y distribución de las cargas en la estructura. (Jing et al., 2020)

### ***2.3.18 Rigidez efectiva***

Es entendido por varios autores como la herramienta para el uso del análisis dinámico no lineal para ciertas estructuras, ya sean de acero o de hormigón armado, considerando la rigidez de ciertas secciones se pueden considerar la rigidez efectiva como *la fracción empírica de la rigidez bruta* de los elementos, además, tiene gran importancia en el ámbito estructural, ya que, se vincula principalmente con la respuesta estructural, el autor del artículo citado en esta sección se refiere al término rigidez efectiva como las características de la rigidez que influyen en el reparto de las fuerzas internas que se distribuyen en toda la estructura, además de los períodos de vibración, los desplazamientos controlados, considerando varios esfuerzos como cortantes, momentos, la relación e importancia de las cargas gravitacionales, la capacidad de la deformación y disipación de la energía en la edificación, es necesario considerar este componente estructural en cualquier obra civil, ya que, podemos tener una visión mucha más clara del posible comportamiento sísmico que pueda tener la estructura de diseño. (Esposito et al., 2023)

### ***2.3.19 Espectro de diseño***

También conocidos como *espectros* regionales, existen varios tipos de espectros correspondientes al diseño que propone el calculista o profesional a cargo de estudiar las fuerzas que intervienen en la estructura, llevando consigo un análisis dinámico estructural, todos los espectros se relacionan en una palabra: Son analizados de la misma zona de estudio, es decir, se calculan con respecto para el sitio donde se ejecutará una obra civil o por motivos investigativos de estudio del comportamiento del suelo, representando estos valores a su vez la respuesta que tendrá el suelo hacia la estructura, siempre y cuando sea sometido a fuerzas sísmicas, ciertos espectros de diseño se categorizan primordialmente por considerar un amortiguamiento menor o igual al 5%, otros autores consideran otras condiciones o límites, además, estos espectros se caracterizan por tener curvas envolventes resultado de la respuesta sísmica de dicha zona, este tipo de espectros son considerados en los capítulos de Peligro Sísmico en varias normativas a nivel mundial, como sucede en nuestra región, Ecuador, se posee un capítulo

NEC-Peligro Sísmico relacionado a todo tipo de espectros, incluyendo el espectro de diseño.(Vijayanarayanan et al., 2022)

### ***2.3.20 Espectro de respuesta***

Antes de obtener un espectro de respuesta, se debe llevar a cabo el estudio y análisis del registro sísmico y el comportamiento de la estructura o zona de estudio, como se mencionó anteriormente en este trabajo, se utilizan los acelerogramas para obtener y representar las variaciones de las aceleraciones que sufrió el sitio ante un sismo, los espectros de respuesta son los valores de medición de la reacción o comportamiento de la estructura ante una o varias vibraciones que tuvo el suelo, existen varios espectros de respuesta en la ingeniería sísmica, tales como: Espectro de respuesta de aceleración, de velocidad, deformación, entre otros, en tal caso, para el estudio sísmico de una estructura, el espectro de respuesta de aceleración o elástico nos indica la aceleración máxima absoluta que tuvo la estructura ante las vibraciones que interactuaron con la composición tanto del suelo como de la edificación, y dependen de los períodos de vibración natural de la estructura.(Pavese et al., 2019)

### ***2.3.21 Amortiguamiento***

La definición de amortiguación a nivel general se refiere a la capacidad que tiene un sistema o una masa en poder disipar toda la energía cinética hacia otro tipo de energía, por lo general, suelen disiparlo en energía térmica o plástica, en resumen, un amortiguador o el efecto del amortiguamiento es de absorber y mitigar la fuerza que interactúa con el objeto o la masa, entregando como resultado una fuerza inicial con menor magnitud, ciertos autores conceptualizan al amortiguamiento estructural con ciertas variaciones en su definición, en general, denominan amortiguación estructural como el proceso de disminución constante de la amplitud de vibración, existen varios tipos de amortiguamiento, si se requiere determinar el amortiguamiento con respecto al crítico, se pueden utilizar varios métodos, el más usado es el método de decremento logarítmico, el cual, se expresa como la relación que existe entre la variación que se generan por los dos picos sucesivos que corresponden a una vibración libre amortiguada con la fracción de amortiguamiento. (Sharma & Soni, 2022)

## **CAPITULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1 Modalidad básica de la investigación**

Para el presente trabajo, es necesario la descripción de la metodología que será llevada a cabo a lo largo de todo el proceso de análisis, realización y discusión de resultados del proyecto técnico.

##### ***3.1.1 Investigación de factores primordiales para el análisis del proyecto técnico.***

Tomando en cuenta varios aspectos para llevar consigo un correcto análisis, diseño y manejo de datos que se obtenga aplicando varios factores cruciales, para ello, se ejecutaron distintos tipos de investigaciones, tanto en el ámbito cualitativo y cuantitativo, analizando además las normativas nacionales, como la Normativa Ecuatoriana de Construcción (NEC) para el correcto análisis y diseño sismorresistente de la estructura de mediana altura, así mismo, considerando las normativas internacionales, tales como la normativa ASCI 360, FEMA, y para el diseño de aisladores elastoméricos y deslizadores se utilizará la relación entre la normativa peruana E.030 Y E.31, así mismo la norma ASCE-7, conociendo las características geotécnicas del sitio, es decir, de la ciudad de Machala, recopilando además las características que tendrá el edificio, el área distribuida por cada nivel, la ocupación que tendrá cada área en la edificación, entre otros.

##### ***3.1.2 Análisis y Diseño sismorresistente del modelado estructural.***

Luego de tener claro las características principales del sitio y de la edificación, se lleva el manejo de los datos mediante las normativas descritas anteriormente, realizando una evaluación y análisis de los factores más importantes en un software computacional para la evaluación del edificio, modelando la estructura de mediana altura junto a todas sus especificaciones técnicas, tanto en sus áreas por planta, como en las alturas, secciones de elementos, entre otros, teniendo en cuenta estas mismas características estructurales tanto para el modelado del edificio con base fija y también para la base aislada (es decir, considerando los aisladores elastoméricos), complementando el software Excel para la introducción de datos como el Espectro inelástico en la ciudad de Machala, El Oro, Ecuador, además de utilizar hojas programables para la verificación del diseño sismorresistente de los elementos estructurales y compararlos con los datos entregados por el software.

### ***3.1.3 Comparación e interpretación de resultados ante el modelado estructural de base fija y aislada.***

Al realizar los modelados correspondientes y verificar el peso de la estructura, cumplimiento de las derivas máximas en cada dirección, período de vibración, entre otros factores sísmicos y estructurales que indican las normativas, junto a ello, se lleva consigo un análisis y comparativa entre las ventajas, controles y consideraciones que se deben de tomar en cuenta para una estructura de mediana altura con base o cimentación fija, y la misma estructura con las mismas especificaciones y características de la edificación de base fija, con una diferencia en su cimentación, ya que, estará integrado por una base aislada por el diseño previo de los aisladores elastoméricos elegidos de los catálogos comerciales

### ***3.1.4 Elección técnica del mejor caso evaluado mediante conclusiones y recomendaciones.***

En el presente apartado, se realiza una evaluación de la situación en cada caso, para posteriormente definir la opción que ofrezca mayor control de los desplazamientos y derivas, así mismo, el control de demanda y capacidad de los elementos, tanto como la verificación de ductilidad, deflexiones máximas, entre otras, considerando todas las ventajas que genere el mejor caso, sobre todo, para que sea ejecutado en un sitio con características geotécnicas parecidas al proyecto, así mismo, con las mismas especificaciones técnicas de la edificación y objeto de estudio del caso que tenga mayores controles ante factores estructurales, en este caso, al ser evaluado en un sitio de altas características sísmicas, contribuye en gran medida para el uso del mejor caso para el análisis, diseño y construcción de obras civiles que compartan las mismas características descritas anteriormente mediante los resultados demostrativos, a continuación, se detallarán los distintos tipos de investigación, población de estudio, métodos y técnicas considerados a lo largo de todo el proceso de elaboración y finalización del presente proyecto técnico.

## **3.2 Tipo de investigación**

### ***3.2.1 Modalidad Documental***

El presente trabajo de investigación tiene como primera parte la búsqueda de información mediante artículos científicos, normativas nacionales e internacionales, repositorios y trabajos de posgrados para tener referencias de diseño de estructuras en edificaciones que

cumplan un código de diseño sismorresistente y metodologías a utilizar para el diseño de aisladores elastómericos.

### ***3.2.2 Modalidad de campo***

Para el presente trabajo de titulación, se utilizará un software computacional orientado a los modelados estructurales, el cual se necesitan una recopilación de datos que se deberán ingresar al software como condiciones o variables, con el objeto de tener todas las herramientas a disposición para tener un modelado estructural que este idealizado y condicionado al tema del presente trabajo para determinar un diseño óptimo de aislador elastómero para la estructura propuesta.

### ***3.2.3 Modalidad Descriptiva***

Haciendo uso de la información obtenida en el apartado de la investigación de campo, se realizará el diseño del sistema de control sísmico (aislador elastómerico), pero también se tendrá un segundo modelado de la misma estructura, en este caso, con base fija, para realizar las respectivas comparaciones de resultados. En el trabajo, como punto de partida se utilizará un espectro de diseño de la zona de estudio aplicando el código de diseño espectral dada por la Norma Ecuatoria de la Construcción en el capítulo de peligro sísmico, para luego tener un modelado dinámico espectral.

Después, se tendrá la respuesta dinámica de la estructura, en el cual, se tendrá resultados de esfuerzos máximos en elementos estructurales y derivas máximas de piso que ayudará a verificar que el modelado de la estructura con base fija cumpla con los códigos de diseño sismorresistente por las normativas anteriormente mencionados. Para el modelado estructural con la implementación de aisladores elastómericos se utilizará las metodologías de análisis sísmico estático lineal, análisis dinámico espectral y análisis no lineal Tiempo-Historia en el que se aplicaran 11 señales sísmicas de la zona de estudio, con el objetivo de tener respuestas de la estructura en cada análisis realizado para determinar si la implementación de sistemas de control sísmico es una opción viable para futuras construcciones en el apartado de edificaciones.

### ***3.2.4 Modalidad experimental***

En este apartado se utilizará un software computacional de modelado estructural conocido alrededor del mundo como medio de modalidad experimental, debido a que es de utilidad para simular un modelado estructural en las diferentes condiciones y variables que se

requiera con el objeto de experimentar con estos resultados, con la finalidad de llegar a un diseño óptimo en el presente trabajo de titulación.

### **3.3 Objetivo de estudio**

La estructura que se implementará un sistema de control sísmico será una edificación de mediana altura, constituida de material de acero estructural, es de ocupación residencial, el cual, será ubicado en la Provincia del Oro, Ciudad Machala, con el objetivo de analizar si el uso de aisladores de base es una opción que ofrezca mejor seguridad ante un sismo severo y extremo en comparación con base fija ante las características geotécnicas y sísmicas que tiene Machala.

### **3.4 Descripción de la población y muestra**

En la realización del presente trabajo, se ha decidido que los datos de estudio y los controles que serán analizados para toda la estructura serán evaluados en el Ecuador, provincia de El Oro, dentro del cantón de Machala, es decir, el uso de las señales de sismos es tomado de los registros telúricos de los últimos acontecimientos sísmicos en el cantón, de tal manera que, las características que tendrá la estructura, y todo el trabajo en cuestión, sirva para futuros proyectos constructivos, de los cuales, deseen implementar los sistemas de control sísmico, ya que, la ciudad de Machala se encuentra en una región de alta peligrosidad sísmica, considerando además las características del perfil de suelo que tiene la ciudad y como puede influir el uso del presente trabajo para los planes territoriales que tenga el cantón o algún otro sitio en cuestión para el desarrollo de la sociedad.

### **3.5 Métodos teóricos o empíricos con los materiales utilizados**

En el presente proyecto técnico se abordarán datos tanto de las características principales del modelado estructural, como también de los distintos datos geotécnicos de la zona de estudio Machala, El Oro, Ecuador, como también de las características sísmicas de las señales sismológicas de la zona de estudio, además de utilizar los datos de las características de los aisladores y deslizadores sísmicos para el modelado estructural aislado, con ello, se realizarán los controles respectivos de los elementos estructurales y también, averiguar, que tipo de sistema estructural es más beneficioso para las edificaciones residenciales con sistemas porticados de acero estructural de mediana altura en ciudades con características similares a la ciudad de Machala, El Oro, Ecuador.

### 3.5.1 Datos de las características de los elementos estructurales

En este caso, se detallarán las dimensiones, características y controles realizados a los distintos elementos estructurales colocados en el modelado estructural, del cual, en primera instancia se detallarán el resumen de las propiedades de los materiales utilizados en cada elemento estructural que conforma el modelado de la edificación:

*Tabla 8. Resumen de las propiedades y características de los elementos estructurales*

<b>Propiedades de los materiales utilizados en Columnas:</b>	
<b>Esfuerzo del acero de grado 50 (ASTM A572-GD50):</b>	3515 kg/cm <sup>2</sup>
<b>Esfuerzo del concreto (f'c):</b>	240 kg/cm <sup>2</sup>
<b>Módulo de Elasticidad del acero (Es):</b>	2040000 kg/cm <sup>2</sup>
<b>Módulo de Elasticidad del concreto (Ec):</b>	$15100 * \sqrt{f'c} = 232379,0008$ kg/cm <sup>2</sup>
<b>Propiedades de los materiales utilizados en Vigas principales:</b>	
<b>Esfuerzo del acero de grado 50 (ASTM A572-GD50):</b>	3515 kg/cm <sup>2</sup>
<b>Módulo de Elasticidad del acero (Es):</b>	2040000 kg/cm <sup>2</sup>
<b>Factor de Fluencia (Ry):</b>	1,10
<b>Factor de Tensión Probable (Rt):</b>	1,25
<b>Propiedades de los materiales utilizados en Vigas secundarias (Nervios):</b>	
<b>Esfuerzo del acero de grado 36 (ASTM A572-GD36):</b>	2530 kg/cm <sup>2</sup>
<b>Módulo de Elasticidad del acero (Es):</b>	2040000 kg/cm <sup>2</sup>
<b>Factor de Fluencia (Ry):</b>	1,30
<b>Factor de Tensión Probable (Rt):</b>	1,15

*Fuente: Autor*

### 3.5.2 Diseño y control de los elementos estructurales

Para el análisis de los elementos estructurales, en el caso del presente edificio de mediana altura, se consideran tanto la geometría de la figura como de los materiales que conformarán el elemento estructural, en este caso, se tendrá el análisis de tres tipos de columnas distintos:

- Columnas cuadradas de 90 cm x 90 cm con 4 cm de espesor (Piso 1 – 2)
- Columnas circulares de 90 cm con 3 cm de espesor (Piso 1 – 2)
- Columnas cuadradas de 80 cm x 80 cm con 3 cm de espesor (Piso 3 – Piso 13)

Y para las vigas principales se considerará una viga Tipo I armada con una altura del alma de 60 cm, 20 cm para el ancho del patín y con espesores de patines de 2 cm, la cual sus características geométricas y de los materiales, así como los cálculos para su control se mostrarán en el próximo capítulo, y para los nervios se tienen vigas I tipo IPE laminada en caliente, la cual, así como las vigas principales y columnas se describirán más a detalle en el siguiente capítulo.

A continuación, se detallarán los respectivos controles que se realizó a cada tipo de elemento estructural para su posterior diseño y ejecución en el modelado estructural:

### 3.5.2 Control de columnas de la edificación

Para el análisis y control que se llevará a cabo en todas las columnas que conformarán la edificación, se basan en el control de los materiales que conforman el elemento estructural, en este caso en la columna, analizando el tipo y grado de acero utilizado, la cantidad de esfuerzo o características principales tanto del acero como del concreto, mismas que fueron detalladas anteriormente, en conjunto con ello se espera llevar el análisis y control de:

- ✓ *Análisis a la resistencia de la compresión disponible en los elementos compuestos doblemente simétricos cargados axialmente:*

$$P_{no} = f_y * A_s + C_2 * f'_c * A_c$$

- ✓ *Análisis y control de la rigidez efectiva de la sección compuesta:*

$$C_3 = 0,45 + 3 \left( \frac{A_s}{A_g} \right) \leq 0,9$$

$$E_{eff} = E_s * I_s + C_3 * E_c * I_c$$

- ✓ *Control del pandeo elástico de Euler:*

$$P_e = \frac{\pi^2 * E_{eff}}{(KL)^2}$$

En caso de que la columna presente una relación entre  $P_{no}/P_e \leq 2.25$  se considera que la columna presenta un pandeo inelástico, caso contrario, la columna presenta un pandeo elástico.

- ✓ *Análisis de la carga axial última que llega a la columna:*

$$P_n = P_{no} * \left( 0,658 \left( \frac{P_{no}}{P_e} \right) \right)$$

- ✓ *Determinación del radio de giro efectivo de la sección compuesta:*

$$\eta = \frac{E_c}{E_s}$$

$$I_{eff} = I_s + C3 * I_c * \eta$$

$$A_{eff} = A_s + C3 * A_c * \eta$$

$$r_{eff} = \sqrt{\frac{I_{eff}}{A_{eff}}}$$

- ✓ *Verificación de la compacidad de las columnas:*

$$\frac{b}{t} \leq 2,26 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

- ✓ *Verificación de la ductilidad de las columnas:*

$$\frac{b}{t} \leq 1,4 \sqrt{\frac{E}{f_y * R_y}}$$

- ✓ *Y, por último, verificación ante Demanda y Capacidad (D/C):*

$$0,10 \leq R\left(\frac{D}{C}\right) \leq 0,35$$

### **3.5.3 Control de vigas principales y nervios de la edificación**

Para el caso de las vigas principales y nervios se utiliza un control distinto, donde se analizan, además de los materiales, las cargas que se distribuyen de manera longitudinal y por área en cada viga y nervio que se encuentra en la edificación, por ello, se analizan los elementos estructurales más críticos para poder llevar el control más seguro y conveniente que pueda tener una edificación, empezando por:

- ✓ *Análisis y control de las cargas gravitacionales en las vigas y nervios (Incluye cargas vivas y muertas)*
- ✓ *Análisis y control de los momentos máximos por cada estado de carga (Carga Viva y Muerta) analizando el elemento como una viga simplemente apoyada*

$$M_{max} = \frac{wL^2}{8}$$

Utilizando las siguientes combinaciones de cargas:

<b>Mu1= 1.4MD</b>
<b>Mu2= 1.2MD+1.6ML</b>

Eligiendo la combinación de cargas que mayor gobierne o entregue mayor demanda.

- ✓ *Control de la sección Tipo según el grado de acero*

$$Sx = \frac{My}{0,9 * fy}$$

- ✓ *Control y análisis de la deflexión en las vigas o nervios*

$$\delta = \frac{5}{384} * \frac{wL^4}{EI}$$

$$\delta \leq \frac{L}{960} \leq \frac{L}{480} \leq \frac{L}{360}$$

- ✓ *Comprobación de la compacidad en el patín de la viga o nervio*

$$\frac{b}{f} \leq 0,38 \sqrt{\frac{E}{Fy}} \leq 0,48 \sqrt{\frac{E}{Ry * Fy}}$$

- ✓ *Comprobación de la compacidad para el alma de la viga o nervio*

$$\frac{h}{w} \leq 3,78 \sqrt{\frac{E}{Fy}} \leq 5,76 \sqrt{\frac{E}{Fy}}$$

- ✓ *Comprobación de Símicamente compacta y ductilidad para el patín de la viga secundaria*

$$\frac{b}{f} \leq 0,30 \sqrt{\frac{E}{Ry * Fy}} \leq 0,38 \sqrt{\frac{E}{Ry * Fy}}$$

- ✓ *Comprobación de Símicamente compacta y ductilidad para el patín de la viga secundaria*

$$\frac{h}{w} \leq 2,5 * (1 - a^{2,3}) * \sqrt{\frac{E}{Ry * Fy}} \leq 5,4 * (1 - a^{2,3}) * \sqrt{\frac{E}{Ry * Fy}}$$

- ✓ *Por último, se realiza el análisis de los momentos por flexión plástica y relación de la Demanda/Capacidad de la viga o nervio:*

$$M_p = Z_x * 0.9 * f_y$$

$$Z_x = A_f * h_f + A_w * \frac{h_i}{4}$$

$$A_f = b * b_w$$

$$h_i = h - 2b_w$$

$$h_f = h - b_w$$

$$A_w = h_i * b_a$$

$$0,70 \leq R\left(\frac{D}{C}\right) \leq 0,90$$

#### ***3.5.4 Análisis de espectros sísmicos***

En este apartado es importante indicar que se realizarán los análisis y cálculos correspondientes ante los espectros sísmicos con las características de la zona, la cual se sitúa en la ciudad de Machala, manteniendo los siguientes factores:

- $Z= 0.4$
- Tipo de perfil del subsuelo= D
- $F_a= 1.2$
- $F_d= 1.19$
- $F_s= 1.28$
- $n= 1.80$  para provincias de la Costa (excepto Esmeraldas)
- $r= 1$  para todos los suelos, excepción del suelo tipo E
- Factor de importancia (I)= 1

Lo cual, la creación de los espectros se expresará más adelante para el espectro de diseño de 475 años, y para el espectro muy severo de 2500 años, utilizando las curvas de peligro sísmico de la ciudad de Machala indicadas por las normativas, para lo cual, la construcción del espectro en la ciudad de Machala de 475 años se utilizarán los siguientes valores:

Factor  $\phi_p= 0.9$

Factor  $\phi_c= 0.9$

Factor  $R= 6$

Y para el espectro de 2500 años utilizando también un factor de amortiguamiento para el período rotacional de la estructura se construye con los mismos datos previamente mencionados considerando estos cambios:

Factor  $\emptyset_p = 1$

Factor  $\emptyset_c = 1$

Factor  $R = 1$

Factor de amortiguamiento  $BM = 1.41$  (Indicado por la normativa ASCE 7)

Es importante recalcar que no se debe utilizar el mismo factor  $Z$ , ya que debe ser analizado según el valor de la aceleración  $S_a$  determinado por la curva de Peligro Sísmico de la ciudad de Machala considerando para un sismo Muy raro, considerado extremo del 2% de probabilidad de excedencia en 50 años, teniendo consigo un valor de  $S_a = 306.207 \text{ cm/s}^2$  ya que se analiza según el período de la estructura aislada, el cual fue de 3.01 segundos, en consecuencia al cambio del valor de  $Z$  con el factor  $S_a$ , obtenemos un valor de  $n = 1.77$  resultado de la división entre estos dos factores según lo estipulado en la normativa NEC de Peligro Sísmico

Su análisis y construcción por espectro utilizado será detallado en el siguiente capítulo.

### ***3.5.5 Análisis de señales espectrales sísmicas***

Para el análisis y sistematización de los datos por cada señal sísmica se utilizó un software para poder conocer la aceleración máxima que se obtiene por cada señal en la dirección Norte y el Este, para su respectivo período en donde se encuentra dicha aceleración máxima.

La distribución de los datos se llevó a cabo con el software para la interpretación de estos valores según el período significativo, para luego importarlo en un software especializado en el análisis de estructuras, mismo que ha sido utilizado para el modelado estructural del presente proyecto técnico, digitándolo como un análisis de Tiempo – Historia, cargando cada dirección del acelerograma, designando consigo las señales en cada dirección, como es necesario utilizar y analizar sobre todo las direcciones traslacionales (Eje X- X; Eje Y- Y) se las analiza entre los ejes:

Señal en el Eje X-X

Señal en el Eje Y-Y

Donde se considera el 100% para la gravedad en la dirección de mayor impacto, y el 30% para la gravedad en la otra dirección, para luego escalarlo según los valores del factor sísmico de sitio (Z) utilizados para el análisis de los espectros de 2500 años y 475 años, los cálculos, resultados y gráficas se detallarán en el siguiente capítulo.

### ***3.5.6 Análisis y cálculo del sistema de aislamiento***

Para llevar consigo este análisis es importante recordar que ya debió ser evaluado y analizado por el software computacional de análisis y modelado estructural la edificación del proyecto técnico, ya que, se necesitan de la verificación de todos los controles de los elementos estructurales, considerando así los resultados principales: Desplazamientos, cortantes, derivas y distorsiones, mismos que serán comparados con la estructura en conjunto con el sistema de aislamiento la cual se describirá brevemente en este capítulo pero en el siguiente capítulo se describirán tanto el proceso como los resultados de la elección del sistema de aislamiento.

Para empezar, es necesario saber o conocer el mayor período de la base fija, que a su vez, se necesita obtener una relación entre la base fija y aislada, de esa manera se predispone un período de base aislada ( $T_b$ ), mismo que será útil para el cálculo de la rigidez total efectiva para todo el sistema de aislamiento de la edificación, en conjunto con los datos del factor de amortiguamiento y la masa de la superestructura (Toda la estructura fija) + la masa del nivel de la base (El peso del nivel en donde se encuentran todos los aisladores), de esta manera, se obtiene la rigidez total efectiva:

$$K_b = \left( \frac{m_s + m_b}{\left(\frac{T_b}{2\pi}\right)^2} \right)$$

Se analizan los factores de amortiguamiento como la constante de amortiguamiento ( $C_b$ ):

$$C_b = 2\xi_b \sqrt{(m_s + m_b) * K_b}$$

El cual dependerá del análisis del factor de amortiguamiento, la masa de la superestructura incluyendo la masa del nivel de la base que contiene a los aisladores, y la rigidez total obtenida que necesita toda la estructura, luego se obtendrá la rigidez efectiva y constante de amortiguamiento por cada dispositivo, del cual, dependerá de la cantidad de aisladores que se colocarán, en el proyecto se consta de 34 cimientos, es decir, se colocarán aisladores en toda la cimentación:

$$K_{bi} = \frac{K_b}{N}$$

$$C_{bi} = \frac{C_b}{N}$$

Utilizando el método estático se analizan los desplazamientos traslacionales que tendrá toda la edificación, en conjunto con la relación entre el período de base aislada ( $T_b$ ) sobre el período rotacional (TL), y con ello, obtener el desplazamiento total máximo de la losa aislada (D'M):

$$D'_M = \frac{D_M}{\sqrt{1 + \left(\frac{T}{T_b}\right)^2}}$$

Utilizando las propiedades nominales de los aisladores, es decir, además de sus características de los materiales o estructura, es importante conocer las características del nivel o losa que mantiene a los aisladores conectado a la superestructura, conociendo todo ello podemos obtener un desplazamiento total incluyendo torsión (DTM) y obtener un porcentaje de diferencia ante el desplazamiento total hacia el eje traslacional ( $\Delta DM$ ):

$$D_{TM} = D_M * \left[ 1 + \left( \frac{y}{P_T^2} \right) * \left( \frac{12e}{b^2 + d^2} \right) \right]$$

Luego se obtiene la fuerza cortante del sistema de aislamiento y de la superestructura:

$$V_b = K_M * D_M$$

Y con ello, obtenemos la fuerza cortante no reducida ( $V_{st}$ ):

$$V_{st} = V_b * \left( \frac{P_s}{P} \right)^{(1-2.5\beta M)}$$

Para luego, se necesita verificar o comparar con el método del cálculo de la respuesta del sistema de aislamiento utilizando un modelo de dos grados de libertad:

$$\gamma = \frac{m_s}{m_s + m_b}$$

$$\epsilon = \left( \frac{\omega_b}{\omega_s} \right)^2 = \left( \frac{T_f}{T_b} \right)^2$$

Con ello, obtenemos el período del primer modo de participación:

$$T_1 = T_b * \frac{1}{\sqrt{1 - (\epsilon * \gamma)}}$$

$$\frac{L_1}{M_1} = 1 - (\epsilon * \gamma)$$

$$\xi_1 = \xi_b * \left[ 1 - \frac{3}{2}(\epsilon * \gamma) \right]$$

Y para el segundo modo de participación tenemos las siguientes fórmulas:

$$T_2 = T_{fija} * \sqrt{\frac{1 - \gamma}{1 + (\epsilon * \gamma)}}$$

$$\frac{L_2}{M_2} = (\epsilon * \gamma)$$

$$\xi_2 = \frac{1}{\sqrt{1 - \gamma}} * \left[ \xi_s + \left( \epsilon^{\frac{1}{2}} * \gamma \right) * \xi_s \right] * \left( 1 - \frac{\gamma}{2} \right)$$

Por último, se obtiene la respuesta espectral del modelo estructural mediante dos grados de libertad utilizando el espectro de respuesta de la norma, es decir, las características de aceleración y análisis de los períodos tanto de base fija como de base aislada, obteniendo así el desplazamiento de base aislada (DM), el desplazamiento de la superestructura, y el desplazamiento desde la base aislada hasta la superestructura, es decir el desplazamiento Total (D Total):

$$D_M = \frac{S_{aM}}{\omega^2 * B_M} * \frac{L_1}{M_1}$$

$$D_{superestructura} = D_M * \epsilon$$

$$D_{Total} = D_M + D_{superestructura}$$

Estos métodos nos ayudan a obtener valores que se comparan entre sí, de esta manera podemos analizar mediante dos métodos con distinto proceso el comportamiento de la estructura con base aislada utilizando la metodología otorgada por la normativa ASCE 7, y comparando los resultados que nos entrega el software computacional de modelado estructural.

## CAPITULO IV

### ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En el presente capítulo se condensará el detalle de todos los procesos y resultados obtenidos de los análisis ante los cálculos realizados en el control y diseño de los elementos estructurales que conforman la estructura del proyecto, asegurando la factibilidad, seguridad y calidad de los materiales y elementos ante el objetivo principal de la edificación, además del análisis y diseño del espectro de diseño de 475 años, de 2500 años con el factor de amortiguamiento, y para el análisis de las señales sísmicas introducidas en el modelado estructural, en conjunto con el sistema de aislamiento el cual fue analizado, diseñado y ubicado en cada punto de la cimentación con el criterio de seguridad estructural ante las exigencias que tiene la edificación, comprobando así los desplazamientos objetivos en alcanzar en el proyecto, comprobando así las hipótesis planteadas en el inicio del proyecto.

A continuación, se presentarán a detalle todos los procesos de análisis y cálculo con sus respectivos resultados, empezando por el análisis, diseño y control de los elementos estructurales:

#### 4.1 Diseño de elementos estructurales

##### *4.1.1 Análisis y diseño de columnas de la edificación*

Para el diseño de las columnas, se tuvieron que realizar distintos controles, ya sean en la verificación de la resistencia a la compresión, análisis de la rigidez efectiva de la sección compuesta, verificación del pandeo elástico de Euler, análisis de la carga axial última, determinación del radio de giro efectivo de la sección compuesta, entre otros, por lo cual, se detallan en los siguientes controles y análisis como ejemplo de cálculo el diseño de la columna tipo cuadrada de los dos primeros niveles:

Resumen de los datos principales para su posterior diseño:

*Tabla 9. Propiedades y dimensiones de la columna cuadrada tipo*

<b>Columna cuadrada de acero con relleno de hormigón para el piso 1 hasta el piso 2</b>	
<b>Dimensiones respectivas:</b>	
<b>Base (b):</b>	90 cm
<b>Altura (h):</b>	90 cm

<b>Espesor de acero (e):</b>	40 mm
<b>Factor K:</b>	1
<b>Longitud de columna:</b>	320 cm
<b>Propiedades De la columna:</b>	
<b>Esfuerzo del acero (fy):</b>	3515 kg/cm <sup>2</sup>
<b>Esfuerzo del concreto (f'c):</b>	240 kg/cm <sup>2</sup>
<b>Área del acero (As):</b>	1376 cm <sup>2</sup>
<b>Área del concreto (Ac):</b>	6724 cm <sup>2</sup>
<b>Módulo de elasticidad del acero (Es):</b>	2040000 kg/cm <sup>2</sup>
<b>Módulo de elasticidad del concreto (Ec):</b>	232379,0008 kg/cm <sup>2</sup>
<b>Inercia del acero (Is):</b>	1699818,67 cm <sup>4</sup>
<b>Inercia del concreto (Ic):</b>	3767681,33 cm <sup>4</sup>
<b>Factor C2:</b>	0,85

*Fuente: Autor*

Como primer análisis de la sección de la columna, debemos de saber que, la columna es una sección rellena de hormigón, el cual, en este caso, se obviará el análisis y cálculo del área del acero e inercia de las varillas de acero para el hormigón, entonces, empezando por el análisis de la resistencia a la compresión disponible para los elementos compuestos doblemente simétricos cargados de forma axialmente, tenemos:

$$P_{no} = f_y * A_s + C_2 * f'c * A_c$$

$$P_{no} = 3515 \frac{kg}{cm^2} * 1376 cm^2 + 0.85 * 240 \frac{kg}{cm^2} * 6724 cm^2$$

$$P_{no} = 6208,336 Ton$$

Proseguimos analizando la rigidez efectiva de la sección compuesta, pero antes, necesitamos analizar los valores de C3, El módulo de elasticidad efectivo (E<sub>eff</sub>):

$$C_3 = 0,45 + 3 \left( \frac{A_s}{A_g} \right) \leq 0,9$$

$$C_3 = 0,45 + 3 \left( \frac{1376 cm^2}{6724 + 1376 cm^2} \right) \leq 0,9$$

$$C_3 = 0,9596 \leq 0,9$$

Como C3 es mayor que 0.9, por lo tanto: **C3= 0.90**

Ahora bien, se necesita calcular el módulo de elasticidad por la Inercia Efectiva (E<sub>eff</sub>):

$$E_{eff} = E_s * I_s + C_3 * E_c * I_c$$

$$E_{eff} = 2040000 \frac{kg}{cm^2} * 1699818,67 cm^4 + 0.9 * 232379,0008 \frac{kg}{cm^2} * 3767681,33 cm^4$$

$$E_{eff} = 4,256 * 10^{12} \text{ kg} * \text{cm}^2$$

Luego de ello, debemos de analizar el pandeo elástico de Euler, el cual se lo determina de la siguiente forma:

$$P_e = \frac{\pi^2 * E_{eff}}{(KL)^2}$$

$$P_e = \frac{\pi^2 * 4,256 * 10^{12} \text{ kgf} * \text{cm}^2}{(1 * 320 \text{ cm})^2}$$

$$P_e = 410167,56 \text{ Ton}$$

Ahora bien, en este punto realizamos el primer control, en donde:

$$\frac{P_{no}}{P_e} \leq 2.25 \text{ La columna tiene pandeo inelastico}$$

Además, en caso de no cumplir con esta condición, debemos de usar la siguiente fórmula para calcular la carga axial última (Pn):

$$P_n = 0.877 * P_e$$

En caso de que cumpla con la condición, como lo fue en este caso, ya que:

$$\frac{P_{no}}{P_e} = \frac{6208,336 \text{ Ton}}{410167,56 \text{ Ton}} \leq 2.25$$

$$0.015 \leq 2.25 \text{ La columna tiene pandeo inelastico}$$

Entonces, debemos de utilizar la siguiente fórmula para obtener el valor de Pn:

$$P_n = P_{no} * (0,658^{\left(\frac{P_{no}}{P_e}\right)})$$

$$P_n = 6208,336 \text{ Ton} * (0,658^{\left(\frac{6208,336 \text{ Ton}}{410167,56 \text{ Ton}}\right)})$$

$$P_n = 6169,129 \text{ Ton}$$

Donde, debemos de multiplicarlo para un factor de reducción ( $\emptyset$ ) el cual es igual a 0.75 para el control de cargas axiales, es decir, para columnas:

$$\emptyset * P_n = 0.75 * 6169,129 \text{ Ton}$$

$$\emptyset P_n = 4626,847 \text{ Ton}$$

Prosiguiendo con el análisis para la columna, se debe llevar a cabo la determinación del radio de giro efectivo para obtener y verificar la esbeltez, compacidad y ductilidad en la columna:

Empezando por el análisis del factor  $\eta$ :

$$\eta = \frac{Ec}{Es}$$

$$\eta = \frac{232379.0008 \text{ kg/cm}^2}{2040000 \text{ kg/cm}^2} = \mathbf{0.114}$$

Donde, debemos de obtener la Inercia Efectiva y el Área efectiva:

$$I_{eff} = I_s + C3 * I_c * \eta$$

$$I_{eff} = 1699818,67 \text{ cm}^4 + 0.90 * 3767681,33 \text{ cm}^4 * 0.114$$

$$I_{eff} = \mathbf{2068081,915 \text{ cm}^4}$$

Y para el Área Efectiva:

$$A_{eff} = A_s + C3 * A_c * \eta$$

$$A_{eff} = 1376 \text{ cm}^2 + 0.9 * 6724 * 0.114$$

$$A_{eff} = \mathbf{2065,345 \text{ cm}^2}$$

Ahora bien, debemos de obtener el radio de giro efectivo:

$$r_{eff} = \sqrt{\frac{I_{eff}}{A_{eff}}}$$

$$r_{eff} = \sqrt{\frac{2068081,915 \text{ cm}^4}{2065,345 \text{ cm}^2}} = \mathbf{31,781 \text{ cm}}$$

Ahora bien, necesitamos analizar la verificación de esbeltez, compacidad y ductilidad:

$$\frac{KL}{r} \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{fy}} \leq 200$$

$$\frac{1 * 320 \text{ cm}}{31,781 \text{ cm}} \leq 4,71 \sqrt{\frac{2040000 \text{ kg/cm}^2}{3515 \text{ kg/cm}^2}} \leq 200$$

$$\mathbf{10,069 \leq 113.468 \leq 200; Si cumple}$$

Ahora bien, analizamos la verificación de compacidad:

$$\frac{b}{t} \leq 2,26 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$\frac{90 \text{ cm} - 2(4)}{4 \text{ cm}} \leq 2,26 \sqrt{\frac{2040000 \text{ kg/cm}^2}{3515 \text{ kg/cm}^2}}$$

**20,50 ≤ 54,45 ; Si cumple, por lo tanto es compacta.**

Por último, verificamos por ductilidad:

**Factor de fluencia probable (Ry) para el grado A50= 1.1**

$$\frac{b}{t} \leq 1,4 \sqrt{\frac{E}{f_y * R_y}}$$

$$\frac{90 \text{ cm} - 2(4)}{4 \text{ cm}} \leq 1,4 \sqrt{\frac{2040000 \text{ kg/cm}^2}{3515 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 1,1}}$$

**20,50 ≤ 32,16 ; Si cumple, por lo tanto es Altamente ductil.**

Verificamos la Demanda/ Capacidad que caracteriza a la columna con los cálculos realizados y detallados por el ETABS luego del análisis estructural y modelado de la estructura, para este caso, la demanda que entregó el reporte del software ETABS fue de 512400,42 kgf= 512,40 Ton, este registro se logró identificar en la columna más crítica de la edificación, la cual se encuentra en el piso 1, su identificación es C16, y se encuentra en los ejes horizontales 1 y el eje vertical D, la cual, entregó el valor mostrado anteriormente del análisis realizado por el software con el combo 14=ENVOLVENTE, con ello se adjunta el análisis de los esfuerzos (Momento, Axial y Cortante) :

$$R\left(\frac{D}{C}\right) = \frac{512,40 \text{ Ton}}{4626.847 \text{ Ton}} = 0,11 \text{ Ton}$$

$$0,10 \leq R\left(\frac{D}{C}\right) \leq 0,35$$

**0,10 ≤ 0,11 Ton ≤ 0,35 ; Si cumple**

En la hoja próxima se detalla el resumen de los datos más importantes para cada tipo de columna ya que mantienen el mismo procedimiento descrito previamente:

**Tabla 10. Resumen de resultados de los controles hacia las columnas cuadradas y circulares del edificio**

<b>Columna cuadrada de acero con relleno de hormigón para el piso 1 hasta el piso 2</b>	
<b>Dimensiones respectivas:</b>	
<b>Base (b):</b>	90 cm
<b>Altura (h):</b>	90 cm
<b>Espesor de acero (e):</b>	40 mm
<b>Factor K:</b>	1
<b>Longitud de columna:</b>	320 cm
<b>Propiedades De la columna:</b>	
<b>Esfuerzo del acero (fy):</b>	3515 kg/cm <sup>2</sup>
<b>Esfuerzo del concreto (f'c):</b>	240 kg/cm <sup>2</sup>
<b>Área del acero (As):</b>	1376 cm <sup>2</sup>
<b>Área del concreto (Ac):</b>	6724 cm <sup>2</sup>
<b>Módulo de elasticidad del acero (Es):</b>	2040000 kg/cm <sup>2</sup>
<b>Módulo de elasticidad del concreto (Ec):</b>	232379,0008 kg/cm <sup>2</sup>
<b>Inercia del acero (Is):</b>	1699818,67 cm <sup>4</sup>
<b>Inercia del concreto (Ic):</b>	3767681,33 cm <sup>4</sup>
<b>Pandeo elástico de Euler (Pe):</b>	410167,56 Ton
<b>Verificación de esbeltez:</b>	
10,069	≤ 113,468 ≤ 200
<b>Verificación de compacidad:</b>	
20,50 ≤	54,445 <b>Compacta</b>
<b>Verificación de Ductilidad:</b>	
20,50 ≤	32,158 <b>Altamente Dúctil</b>
<b>Verificación de Demanda/Capacidad</b>	
<b>Carga que demanda la columna crítica:</b>	512,40 Ton
<b>Capacidad de la columna de diseño que tiende a soportar:</b>	4626,847 Ton
<b>Relación Demanda/Capacidad:</b>	<b>0,11</b>

<b>Columna cuadrada de acero con relleno de hormigón para el piso 3 hasta el ultimo nivel</b>	
<b>Dimensiones respectivas:</b>	
<b>Base (b):</b>	80 cm
<b>Altura (h):</b>	80 cm
<b>Espesor de acero (e):</b>	30 mm
<b>Factor K:</b>	1
<b>Longitud de columna:</b>	320 cm
<b>Propiedades De la columna:</b>	
<b>Esfuerzo del acero (fy):</b>	3515 kg/cm <sup>2</sup>
<b>Esfuerzo del concreto (f'c):</b>	240 kg/cm <sup>2</sup>
<b>Área del acero (As):</b>	924 cm <sup>2</sup>
<b>Área del concreto (Ac):</b>	5476 cm <sup>2</sup>
<b>Módulo de elasticidad del acero (Es):</b>	2040000 kg/cm <sup>2</sup>
<b>Módulo de elasticidad del concreto (Ec):</b>	232379,0008 kg/cm <sup>2</sup>
<b>Inercia del acero (Is):</b>	914452 cm <sup>4</sup>
<b>Inercia del concreto (Ic):</b>	2498881,33 cm <sup>4</sup>
<b>Pandeo elástico de Euler (Pe):</b>	229227,52 Ton
<b>Verificación de esbeltez:</b>	
11,382	≤ 113,468 ≤ 200
<b>Verificación de compacidad:</b>	
24,667 ≤	54,445 <b>Compacta</b>
<b>Verificación de Ductilidad:</b>	
24,667 ≤	32,158 <b>Altamente Dúctil</b>
<b>Verificación de Demanda/Capacidad</b>	
<b>Carga que demanda la columna crítica:</b>	408,20 Ton
<b>Capacidad de la columna de diseño que tiende a soportar:</b>	3247,735 Ton
<b>Relación Demanda/Capacidad:</b>	<b>0,13</b>

Fuente: Autor

<b>Columna circular de acero con relleno de hormigón para el piso 1 hasta el último piso</b>		
<b>Dimensiones respectivas:</b>		
<b>Base (b):</b>	90 cm	
<b>Espesor de acero (e):</b>	30 mm	
<b>Factor K:</b>	1	
<b>Longitud de columna:</b>	320 cm	
<b>Factor K*L:</b>	320 cm	
<b>Propiedades De la columna:</b>		
<b>Esfuerzo del acero (fy):</b>	3515 kg/cm <sup>2</sup>	
<b>Esfuerzo del concreto (f'c):</b>	240 kg/cm <sup>2</sup>	
<b>Área del acero (As):</b>	819.96 cm <sup>2</sup>	
<b>Área del concreto (Ac):</b>	5541.77 cm <sup>2</sup>	
<b>Módulo de elasticidad del acero (Es):</b>	2040000 kg/cm <sup>2</sup>	
<b>Módulo de elasticidad del concreto (Ec):</b>	232379,0008 kg/cm <sup>2</sup>	
<b>Inercia del acero (Is):</b>	776703.02 cm <sup>4</sup>	
<b>Inercia del concreto (Ic):</b>	2443920.32 cm <sup>4</sup>	
<b>Factor C2:</b>	0,95	
<b>Pandeo elástico de Euler (Pe):</b>	410167.56 Ton	
<b>Verificación de esbeltez:</b>		
11.693	≤ 113.468 ≤	200
<b>Verificación de compacidad:</b>		
28	≤ 54.445	<b>Compacta</b>
<b>Verificación de Ductilidad:</b>		
28	≤ 32.158	<b>Altamente Dúctil</b>
<b>Verificación de Demanda/Capacidad:</b>		
<b>Carga que demanda la columna crítica:</b>	478.17 Ton	
<b>Capacidad de la columna de diseño que tiende a soportar:</b>	3082.203 Ton	
<b>Relación Demanda/Capacidad:</b>	<b>0.16</b>	

*Fuente: Autor*

#### 4.1.2 Análisis y diseño de vigas principales de la edificación

En este caso, para el análisis y diseño de las vigas principales necesitamos predimensionar unas dimensiones que pueda cumplir con todas las especificaciones acordadas por las normativas, empezando por las dimensiones y propiedades de la viga, para las vigas principales, se consideró como viga armada:

*Tabla 11. Propiedades y dimensiones de la viga principal tipo I*

<b>VIGA PRINCIPAL TIPO</b>	
<b>DIMENSIONES Y PROPIEDADES</b>	
<b>Ancho del patín (a):</b>	20 cm
<b>Altura de la viga (h):</b>	60 cm
<b>Espesor del patín (f):</b>	2,00 cm
<b>Espesor del alma (w):</b>	2,00 cm
<b>Inercia en x (Ix):</b>	96576,00 cm <sup>4</sup>
<b>Inercia en y (Iy):</b>	2704,00 cm <sup>4</sup>
<b>Área gruesa (Ag):</b>	192,00 cm <sup>2</sup>
<b>Grado de acero (fy) Grado 50:</b>	3515 kg/cm <sup>2</sup>
<b>Módulo de elasticidad del acero (E):</b>	2040000 kg/cm <sup>2</sup>
<b>Factor de Fluencia Ry:</b>	1,10
<b>Factor de Tensión Probable (Rt):</b>	1,25

*Fuente: Autor*

Para el análisis de las cargas gravitacionales o sobre todo el esfuerzo de momentos que actúan en las vigas principales, se ha determinado y elegido el esfuerzo del momento más demandante en la viga principal, el cual fue elegida la viga B03 del piso 4, del software de modelado estructural, ubicada en el eje horizontal 2 y 3, y en el eje vertical A, el cual, fue llevado a cabo un momento demandante de 61184.81 kg\*m, del cual, fue analizado y sobrellevado por la envolvente, por ello, el momento que gobierna en la viga crítica es de: **61.185 Ton\*m**

Ahora bien, debemos de analizar el módulo de la sección elástico Sx1 y Sx2 para calcular y controlar las deflexiones en la viga, en este caso, el análisis de los momentos para carga muerta y viva, se refiere a las cargas de servicio las cuales fueron agregadas y detalladas al inicio de esta sección, para este caso de las vigas principales, debemos de obtener la

carga distribuida tanto para la carga muerta como carga viva en toda la longitud de la viga, del cual:

Área tributaria en el paño de losa que acoge a la viga	
Largo de viga=	4.5 m
Ancho de paño=	2.00 m
Carga Muerta=	600 kgf/m <sup>2</sup>
Carga Viva=	350 kgf/m <sup>2</sup>

$$WCarga Muerta = \frac{Carga Muerta * Largo * Ancho}{Largo} = \frac{600 \frac{kgf}{m^2} * 4.5m * 2m}{4.5 m}$$

$$WCarga Muerta = 1200 \frac{kgf}{m} = 1.2 \frac{Ton}{m}$$

$$WCarga Viva = \frac{Carga Viva * Largo * Ancho}{Largo} = \frac{350 \frac{kgf}{m^2} * 4.5m * 2m}{4.5 m}$$

$$WCarga Viva = 700 \frac{kgf}{m} = 0.70 \frac{Ton}{m}$$

Obteniendo las cargas distribuidas, es momento de realizar el análisis del Momento máximo para cada estado de cargas, utilizando la siguiente fórmula:

$$Mmax = \frac{WL^2}{8}$$

$$Mmax Muerta = \frac{1.2Ton}{m} (4.5m)^2}{8} = 3.04 Ton * m$$

$$Mmax Viva = \frac{0.70 Ton}{m} (4.5m)^2}{8} = 1.77 Ton * m$$

Ahora, necesitamos realizar la combinación de cargas que involucran tanto a la carga Muerta como a la carga viva según lo indicado por la normativa NEC:

$$MU1 = 1.4 Mmax Muerta = 1.4 * 3.04 Ton * m = 4.25 Ton * m$$

$$MU2 = 1.2 Mmax Muerta + 1.6 Mmax Viva$$

$$MU2 = 1.2 * 3.04 Ton * m + 1.6 * 1.77 = 6.48 Ton * m$$

Por lo tanto, debemos de utilizar el Momento más demandante o el que mayor gobierna de la combinación de cargas calculados anteriormente, para este caso, vemos que el

MU2= 6.48 Ton\*m es superior a la combinación de cargas MU1=4.25 Ton\*m, por el cual, seleccionamos este valor de momento para el análisis de las deflexiones que sufre la viga principal, esta metodología debemos de considerarla para el análisis y cálculo en las vigas secundarias, ahora bien, prosiguiendo con el análisis del módulo de la sección elástico Sx1 y Sx2:

$$Sx1 = \frac{My}{0,9 * fy}$$

$$Sx1 = \frac{6.48 \text{ Ton} * m \left( \frac{1000 \text{ kgf}}{1 \text{ Ton}} \right) * \left( \frac{100 \text{ cm}}{1 \text{ m}} \right)}{0,9 * 3515 \text{ kgf/cm}^2} = 204,84 \text{ cm}^3$$

$$Sx2 = \frac{I}{c} = \frac{96576 \text{ cm}^4}{60 \text{ cm}/2} = 3219,20 \text{ cm}^3$$

En donde se debe de cumplir que Sx2 > Sx1, en este caso:

$$Sx2 > Sx1$$

$$3219,20 \text{ cm}^3 > 204,84 \text{ cm}^3; \text{ Si cumple}$$

Ahora bien, en el análisis de las deflexiones, obtenemos la deflexión para la viga tanto para carga muerta como carga viva:

$$\delta \text{ Viva} = \frac{5}{384} * \frac{(WL)L^4}{EI} = \frac{5}{384} * \frac{0,7 \frac{\text{Ton}}{\text{m}} * \left( \frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}} \right) * (450 \text{ cm})^4}{\frac{2040 \text{ Ton}}{\text{cm}^2} * 96576 \text{ cm}^4} = 0.019 \text{ cm}$$

$$\delta \text{ Muerta} = \frac{5}{384} * \frac{(WD)L^4}{EI} = \frac{5}{384} * \frac{1,2 \frac{\text{Ton}}{\text{m}} * \left( \frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}} \right) * (450 \text{ cm})^4}{\frac{2040 \text{ Ton}}{\text{cm}^2} * 96576 \text{ cm}^4} = 0.0325 \text{ cm}$$

Para ello, se realizó la comparación para todas las deflexiones, tanto para cargas muertas, vivas y de volado, es decir, tomar el control de todas las especificaciones para asegurarnos de la sección de la viga:

$$\delta \leq \frac{L}{960} \leq \frac{L}{480} \leq \frac{L}{360}$$

$$\text{Deformación de Cargas Muertas} = 0.0325 \leq \frac{360 \text{ cm}}{960} \leq \frac{360 \text{ cm}}{480} \leq \frac{360 \text{ cm}}{360}$$

$$0.0325 \leq 0.47 \text{ cm} \leq 0.94 \text{ cm} \leq 1.25 \text{ cm}; \text{ Por lo tanto, Si cumple}$$

$$\text{Deformación de Cargas Vivas} = 0.019 \leq \frac{360 \text{ cm}}{960} \leq \frac{360 \text{ cm}}{480} \leq \frac{360 \text{ cm}}{360}$$

$$0.019 \leq 0.47 \text{ cm} \leq 0.94 \text{ cm} \leq 1.25 \text{ cm}; \text{ Por lo tanto, Si cumple}$$

Por último, realizamos la comprobación por compacidad y ductilidad tanto en el patín como en el alma de la viga principal, para ello, necesitamos verificar primero por compacidad en el patín:

$$\frac{b}{f} \leq 0,38 \sqrt{\frac{E}{Fy}}$$

$$\frac{20 \text{ cm}/2}{2.0 \text{ cm}} \leq 0,38 \sqrt{\frac{2040000 \text{ kg/cm}^2}{3515 \text{ kg/cm}^2}}$$

$$5,00 \leq 9.15; \text{ Si cumple, por lo tanto es compacta}$$

Comprobación de compacidad para el alma de la viga principal:

$$\frac{h}{w} \leq 3,78 \sqrt{\frac{E}{Fy}}$$

$$\frac{60 - (2 * 2.0) \text{ cm}}{2 \text{ cm}} \leq 3,78 \sqrt{\frac{2040000 \text{ kg/cm}^2}{3515 \text{ kg/cm}^2}}$$

$$28 \leq 91.06; \text{ Si cumple, por lo tanto es compacta}$$

Ahora bien, necesitamos verificar por ductilidad y comprobar si la sección es sísmicamente compacta, para el caso del patín tenemos este análisis:

$$\frac{b}{f} \leq 0,30 \sqrt{\frac{E}{Ry * Fy}}$$

$$\frac{20 \text{ cm}/2}{2.0 \text{ cm}} \leq 0,30 \sqrt{\frac{2040000 \text{ kg/cm}^2}{1.1 * 3515 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}}}$$

$$5,00 \leq 6,89$$

*Si cumple, por lo tanto es sísmicamente compacta y altamente dúctil*

Comprobación en el alma para determinar si es sísmicamente compacta y con alta ductilidad:

$$\frac{h}{w} \leq 2,5 * (1 - a^{2,3}) * \sqrt{\frac{E}{Ry * Fy}}^b$$

Donde a= 0, y b=1:

$$\frac{60 \text{ cm} - (2 * 2.0 \text{ cm})}{2.0 \text{ cm}} \leq 2,5 * (1 - 0^{2,3}) * \sqrt{\frac{2040000 \text{ kg/cm}^2}{1.1 * 3515 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}}}$$

$$28 \leq 57.42$$

*Si cumple, por lo tanto es sísmicamente compacta y altamente dúctil*

Ahora bien, realizamos el análisis y revisión de momentos por flexión plástica, para luego verificar el análisis de la relación Demanda/Capacidad (D/C):

$$Mp = Zx * 0.9 * fy$$

$$Zx = Af * hf + Aw * \frac{hi}{4}$$

$$Af = b * bw = 20 \text{ cm} * 2.0 \text{ cm} = 40 \text{ cm}^2$$

$$hi = h - 2bw = 60 \text{ cm} - (2 * 2.0 \text{ cm}) = 56 \text{ cm}$$

$$hf = h - bw = 60 \text{ cm} - 2.5 \text{ cm} = 58 \text{ cm}$$

$$Aw = hi * ba = 56 \text{ cm} * 2.0 \text{ cm} = 112 \text{ cm}^2$$

$$Zx = (40 \text{ cm}^2 * 58 \text{ cm}) + 112 \text{ cm}^2 * \frac{56 \text{ cm}}{4} = 3888 \text{ cm}^3$$

$$Mp = 3888 \text{ cm}^3 * 0.9 * 3515 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} = 12299688 \text{ kgf} * \text{cm}$$

$$Mp = 122996.88 \text{ kgf} * \text{m}$$

Ahora bien, recordemos que el momento más demandante en la viga B106 es: Demanda de momento ultimo= 61184.81 kg\*m=61.18 Ton\*m:

$$\text{Relacion } \frac{D}{C} = \frac{\text{Demandante}}{\text{Capacidad}} = \frac{61184.81 \text{ kgf} * \text{m}}{122996.88 \text{ kgf} * \text{m}} = 0.50$$

Para el análisis de relación demanda/capacidad, en las vigas, tanto principales como secundarias, se debe comparar entre un rango de 0.7 hasta 0.9:

$$0.70 \leq 0.50 \leq 0.90; \text{ No cumple pero resiste la demanda de momento.}$$

En la elaboración del modelado del edificio, los elementos estructurales se basan también en el diseño y control de las aceleraciones máximas del espectro de diseño del sitio, en este caso de la ciudad de Machala, por el cual, al no cumplir con la normativa de la relación demanda/capacidad no quiere decir que el diseño se encuentra incorrecto, solamente que la capacidad del diseño de la viga es más superior de la demanda que ofrece la edificación, además, se analizó de esta manera a la viga para alcanzar los períodos correspondientes a obtener unos períodos cercanos a las aceleraciones máximas del espectro de diseño de 475 años en la ciudad de Machala.

#### **4.1.3 Análisis y diseño de vigas secundarias o nervios de la edificación**

Para este caso, tomamos en cuenta la sección de esta viga, ya que ayuda a cumplir las derivas, disminuir el período de la estructura, además, con las dimensiones y propiedades propuestas, soporta en gran cantidad de momento crítico, siendo fundamental para futuras construcciones en la edificación en caso de que se desee ampliar su estructura, teniendo así las siguientes dimensiones y características:

**Tabla 12.** *Propiedades y dimensiones de la viga secundaria o nervio IPE*

<b>VIGAS SECUNDARIAS EN EDIFICIO TIPO</b>	
<b>DIMENSIONES Y PROPIEDADES</b>	
<b>Ancho del patín (a):</b>	10 cm
<b>Altura de la viga (h):</b>	20 cm
<b>Espesor del patín (f):</b>	0.850 cm
<b>Espesor del alma (w):</b>	0.560 cm
<b>Radio de giro (R):</b>	0.9 cm
<b>Inercia en x (Ix):</b>	1940 cm <sup>4</sup>
<b>Área gruesa (Ag):</b>	28.50 cm <sup>2</sup>
<b>Grado de acero (fy) Grado 36:</b>	2530 kg/cm <sup>2</sup>
<b>Módulo de elasticidad del acero (E):</b>	2040000 kg/cm <sup>2</sup>
<b>Factor de Fluencia Ry:</b>	1,30
<b>Factor de Tensión Probable (Rt):</b>	1,15

*Fuente: Autor*

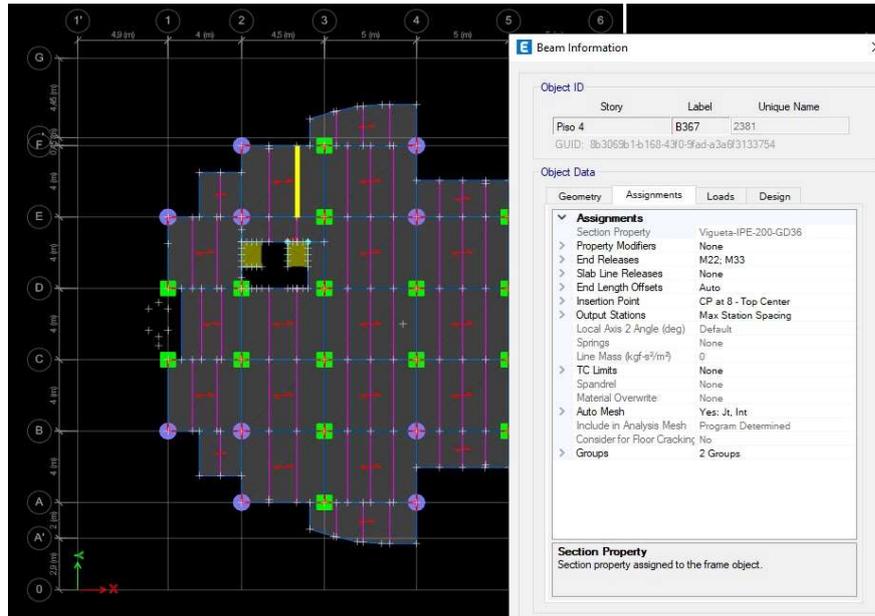
Empezamos analizando las cargas gravitacionales para la viga secundaria, es decir, los nervios que ayudan a soportar la losa Deck, por lo cual, para este caso, consideramos las cargas definidas en la primera parte de esta sección:

**Sobrecargas (Carga Viva WL) = 350 kg/cm<sup>2</sup>**

**Carga Muerta Total (CM) = 600 kg/m<sup>2</sup>**

Ahora bien, analizamos el área tributaria que llega a la viga secundaria, por lo tanto, debemos describir el paño crítico que sufre la edificación:

**Figura 14.** Vista en planta de nervio en el software de modelado estructural



*Fuente: Autor*

Del cual, así como vemos en el software de modelado estructural, tenemos que tomar en cuenta la dirección de las vigas secundarias o nervios, las cuales van en sentido y dirección vertical, como lo podemos apreciar. Siendo la viga B367, se encuentra entre los ejes 2 y 3, y en los ejes verticales E y F, esta viga se dirige de manera vertical, teniendo una longitud de 4 m, considerando un ancho 1.5 m, ya que se considera la mitad de cada mini-paño administrado para las vigas secundarias, en este caso, tiene 1.5 m por cada lado, pero considerando la mitad de cada lado  $1.5/2=0.75$  m, es decir:  $0.75+0.75=1.5$  m, por lo tanto, las dimensiones para el área tributaria de la viga secundaria o nervio más crítica es:

<b>Área Tributaria - dada por losa</b>		
<b>Para carga Viva</b>		
<b>Largo=</b>	<b>4</b>	<b>m</b>
<b>Ancho=</b>	<b>1,50</b>	<b>m</b>
<b>Sobrecargas=</b>	<b>350</b>	<b>Kg/m2</b>
<b>Carga Viva distribuida WL=</b>	<b>0,525</b>	<b>T/m</b>
<b>Para carga Muerta</b>		
<b>Largo=</b>	<b>4</b>	<b>m</b>

Ancho=	1,50	m
Carga Muerta escogida=	600	Kg/m <sup>2</sup>
Carga muerta distribuida WD=	0,90	T/m

Ahora, procedemos a calcular el momento máximo para cada estado de carga, analizando la fórmula del momento máximo para una viga simplemente apoyada:

$$M_{max} = \frac{wL^2}{8}$$

$$M_{max Viva} = \frac{wD * L^2}{8} = \frac{0.525 \frac{Ton}{m} * (4m)^2}{8} = 1.05 Ton * m$$

$$M_{max Muerta} = \frac{wL * L^2}{8} = \frac{0.90 \frac{Ton}{m} * (4m)^2}{8} = 1.80 Ton * m$$

Del cual, necesitamos obtener las combinaciones de cargas para cada estado de carga, en este caso consideramos dos combos de la NEC:

$$Mu1 = 1.4MD = 1.4 * 1.80 = 2.52 Ton * m$$

$$Mu2 = 1.2MD + 1.6ML = 1.2 * 1.80 + 1.6 * 1.05 = 3.84 Ton * m$$

Combinación de Cargas	
Mu1= 1.4MD	2.52 Ton*m
Mu2= 1.2MD+1.6ML	3.84 Ton*m
Gobierna	<b>3.84 Ton*m</b>

Ahora, al obtener el momento más demandante de la combinación de cargas, podemos analizar los módulos de la sección elástico Sx1 y Sx2 y compararlos:

$$Sx = \frac{My}{0,9 * fy}$$

$$Sx1 = \frac{384000 kgf * cm}{0,9 * 2530 kgf/cm^2} = 168.64 cm^3$$

$$Sx2 = \frac{I}{c} = \frac{1940 cm^4}{\frac{20}{2} cm} = 194 cm^3$$

$$Sx2 > Sx1$$

$$194 cm^3 > 168.64 cm^3; Si cumple$$

Necesitamos ahora analizar la deflexión que sufriría el nervio más crítico, por lo tanto, debemos de determinar la deflexión que genera la carga muerta y la carga viva:

$$\delta = \frac{5}{384} * \frac{wL^4}{EI}$$

$$\delta M = \frac{5}{384} * \frac{\frac{9 \text{ kgf}}{\text{cm}} (400 \text{ cm})^4}{\frac{2040000 \text{ kgf}}{\text{cm}^2} * 1940 \text{ cm}^4} = 0.758 \text{ cm}$$

$$\delta L = \frac{5}{384} * \frac{\frac{5.25 \text{ kgf}}{\text{cm}} (400 \text{ cm})^4}{\frac{2040000 \text{ kgf}}{\text{cm}^2} * 1940 \text{ cm}^4} = 0.442 \text{ cm}$$

Donde, debe de cumplir el control de las deflexiones para carga muerta y para carga viva:

$$\delta \text{ Muerta} \leq \frac{L}{960} \leq \frac{L}{480} \leq \frac{L}{360}$$

$$0.758 \text{ cm} \leq \frac{890 \text{ cm}}{960} \leq \frac{890 \text{ cm}}{480} \leq \frac{890 \text{ cm}}{360}$$

$$0.758 \text{ cm} \leq 0.42 \leq 0.83 \leq 1.11 \text{ cm}$$

Si cumple para todos los casos de carga a excepción de las deflexiones para carga muerta

$$\delta \text{ Viva} \leq \frac{L}{960} \leq \frac{L}{480} \leq \frac{L}{360}$$

$$0.442 \text{ cm} \leq \frac{890 \text{ cm}}{960} \leq \frac{890 \text{ cm}}{480} \leq \frac{890 \text{ cm}}{360}$$

$$0.442 \text{ cm} \leq 0.42 \leq 0.83 \leq 1.11 \text{ cm}$$

Si cumple para todos los casos de carga a excepción de las deflexiones para carga muerta

Ahora bien, necesitamos comprobar por compacidad tanto en el patín como en el alma del nervio, para la comprobación de compacidad en el patín tenemos:

$$\frac{b}{f} \leq 0,38 \sqrt{\frac{E}{Fy}}$$

$$\frac{10 \text{ cm}/2}{0.85 \text{ cm}} \leq 0,38 \sqrt{\frac{2040000 \text{ kg/cm}^2}{2530 \text{ kg/cm}^2}}$$

$$5.88 \leq 10.79 ; \text{ Si cumple, por lo tanto es compacta}$$

Comprobación de compacidad para el alma de la viga secundaria o nervio:

$$\frac{h}{w} \leq 3,76 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\frac{20 - (2 * 0.85)cm}{0.56 cm} \leq 3,76 \sqrt{\frac{2040000 kg/cm^2}{2530 kg/cm^2}}$$

**32.68 ≤ 106,77 ; Si cumple, por lo tanto es compacta**

Ahora bien, necesitamos verificar por ductilidad y comprobar si la sección es sísmicamente compacta, para el caso del patín tenemos este análisis:

$$\frac{b}{f} \leq 0,30 \sqrt{\frac{E}{R_y * F_y}}$$

$$\frac{10 cm/2}{0.85 cm} \leq 0,30 \sqrt{\frac{2040000 kg/cm^2}{1.3 * 2530 \frac{kg}{cm^2}}}$$

$$5.88 \leq 7,47$$

**Si cumple, por lo tanto es sísmicamente compacta y altamente dúctil**

Comprobación en el alma para determinar si es sísmicamente compacta y con alta ductilidad:

$$\frac{h}{w} \leq 2,5 * (1 - a^{2,3}) * \sqrt{\frac{E}{R_y * F_y}}^b$$

Donde a= 0, y b=1:

$$\frac{20 cm - (2 * 0.85cm)}{0.56 cm} \leq 2,5 * (1 - 0^{2,3}) * \sqrt{\frac{2040000 kg/cm^2}{1.3 * 2530 \frac{kg}{cm^2}}}$$

$$32.68 \leq 62,26$$

**Si cumple, por lo tanto es sísmicamente compacta y altamente dúctil**

Por último, necesitamos verificar la revisión de Momentos por límite de fluencia y flexión plástica, es decir, análisis de la Relación Demanda/Capacidad (D/C):

En primera instancia, así como obtuvimos un factor  $Z_x$  para el análisis plástico, para el análisis elástico, en vigas secundarias o nervios, es necesario obtener el Momento de límite de fluencia ( $M_y$ ) mediante la obtención del factor plástico  $S_x$ :

$$S_x = \frac{I}{c} = \frac{I}{\frac{h}{2}}$$

$$S_x = \frac{1940 \text{ cm}^4}{\frac{20 \text{ cm}}{2}} = 194 \text{ cm}^3$$

Y para la obtención del Momento de límite de fluencia Elástico ( $M_y$ ):

$$M_y = S_x * 0.9 * f_y$$

$$M_y = 194 \text{ cm}^3 * 0.9 * 2530 \text{ kgf/cm}^2$$

$$M_y = 441738 \text{ kgf} * \text{cm} = \mathbf{4417.38 \text{ kgf} * \text{m}}$$

Para el cual, en el software de modelación estructural, tenemos el análisis de la viga secundaria (nervio) más crítica, la cuál se trata de la viga B367, ubicada en el Piso 4, ubicada entre los ejes horizontales 2 y 3, y entre los ejes verticales E y F, mismo elemento descrito y ubicado en esta misma sección anteriormente, teniendo como el análisis del uso del combo: ENVOLVENTE, los siguientes valores:

Donde, como podemos observar, el momento que mayor demanda en la viga secundaria, es de 3830.29 kgf\*m, teniendo así la relación demanda capacidad de:

$$\text{Relacion } \frac{D}{C} = \frac{\text{Demandante}}{\text{Capacidad}} = \frac{3830.29 \text{ kgf} * \text{m}}{4417.38 \text{ kgf} * \text{m}} = \mathbf{0.87}$$

Para el análisis de relación demanda/capacidad, en las vigas, tanto principales como secundarias, se debe comparar entre un rango de 0.7 hasta 0.9:

$$\mathbf{0.70 \leq 0.87 \leq 0.90}$$

***Si cumple, soporta la demanda del momento crítico.***

A continuación, se detallarán las tablas de resúmenes de los controles realizados tanto para las vigas principales como también para los nervios (vigas secundarias) los cuales fueron analizados y diseñados previamente:

**Tabla 13.** Resumen de resultados de controles hacia vigas principales y nervios

<b>Viga principal Tipo I</b>			
<b>Dimensiones respectivas:</b>			
Ancho del patín:	20 cm		
Altura de la viga:	60 cm		
Espesor del patín:	2 cm		
Espesor del alma:	2 cm		
Selección de Grado de Acero:	Acero Grado 50 KSI		
<b>Propiedades de la viga principal:</b>			
Esfuerzo del acero (fy):	3515 kg/cm <sup>2</sup>		
Inercia del acero (Is):	96576.00 cm <sup>4</sup>		
Área del acero (As):	192 cm <sup>2</sup>		
Módulo de elasticidad del acero:	2040000 kg/cm <sup>2</sup>		
Largo de viga:	4.50 m		
Ancho de paño crítico:	2 m		
Momento demandante:	6.48 Ton*m		
<b>Verificación de módulo de sección Sx:</b>			
3219.20 cm <sup>3</sup> ≥	204.84 cm <sup>3</sup>		
<b>Verificación de deflexiones para carga muerta:</b>			
0.019 cm ≤	0.47 cm ≤	0.94 cm ≤	1.25 cm
<b>Verificación de deflexiones para carga viva:</b>			
0.033 cm ≤	0.47 cm ≤	0.94 cm ≤	1.25 cm
<b>Verificación de compacidad del patín:</b>			
5.00 ≤	9.15 ≤	11.56	Compacta
<b>Verificación de compacidad y ductilidad del patín:</b>			
5.00 ≤	6.89 ≤	8.73	Alta dúctil y compacta
<b>Verificación de compacidad del alma:</b>			
28.00 ≤	91.06 ≤	138.76	Compacta
<b>Verificación de compacidad y ductilidad del alma:</b>			
28.00 ≤	57.42 ≤	124.04	Alta dúctil y compacta
<b>Verificación de Demanda/Capacidad</b>			
Carga que demanda la viga crítica:	61184.81 kg*m		
Capacidad de la viga de diseño que tiende a soportar:	122996.88 kg*m		
Relación Demanda/Capacidad:	<b>0,50</b>		

<b>Vigas secundarias o nervios Tipo I</b>			
<b>Dimensiones respectivas:</b>			
Ancho del patín:	10 cm		
Altura de la viga:	20 cm		
Espesor del patín:	0.85 cm		
Espesor del alma:	0.56 cm		
Selección de Grado de Acero:	Acero Grado 36 KSI		
<b>Propiedades de la viga secundaria o nervio:</b>			
Esfuerzo del acero (fy):	2530 kg/cm <sup>2</sup>		
Inercia del acero (Is):	1940.00 cm <sup>4</sup>		
Área del acero (As):	28.50 cm <sup>2</sup>		
Módulo de elasticidad del acero:	2040000 kg/cm <sup>2</sup>		
Largo del nervio:	4.00 m		
Ancho de paño crítico:	1.5 m		
Momento demandante:	3.84 Ton*m		
<b>Verificación de módulo de sección Sx:</b>			
194 cm <sup>3</sup> ≥	168.64 cm <sup>3</sup>		
<b>Verificación de deflexiones para carga muerta:</b>			
0.442 cm ≤	0.42 cm ≤	0.83 cm ≤	1.11 cm
<b>Verificación de deflexiones para carga viva:</b>			
0.758 cm ≤	0.42 cm ≤	0.83 cm ≤	1.11 cm
<b>Verificación de compacidad del patín:</b>			
5.88 ≤	10.79 ≤	13.63	Compacta
<b>Verificación de compacidad y ductilidad del patín:</b>			
5.88 ≤	7.47 ≤	9.46	Alta dúctil y compacta
<b>Verificación de compacidad del alma:</b>			
32.68 ≤	106.77 ≤	163.56	Compacta
<b>Verificación de compacidad y ductilidad del alma:</b>			
32.68 ≤	62.26 ≤	134.49	Alta dúctil y compacta
<b>Verificación de Demanda/Capacidad</b>			
Carga que demanda la viga crítica:	3830.29 kg*m		
Capacidad de la viga de diseño que tiende a soportar:	4417.38 kg*m		
Relación Demanda/Capacidad:	<b>0,87</b>		

Fuente: Autor

## 4.2 Modelación de la Edificación base fija

### 4.2.1 Definir la Grilla (GRID)

Para definir los ejes verticales y horizontales en el cual se utilizará para el modelado de la estructura se usa la opción de “Grid System Data”. Los ejes definidos son los siguientes:

#### Eje Horizontal

Tabla 14. Grilla del modelado Eje Horizontal

X Grid Data			
Grid ID	X Ordinate (m)	Visible	Bubble Loc
1'	0	Yes	End
1	4,9	Yes	End
2	8,9	Yes	End
3	13,4	Yes	End
4	18,4	Yes	End
5	23,4	Yes	End
6	28,4	Yes	End
7	33,4	Yes	End
8	38,4	Yes	End
9	43,4	Yes	End
10	48,4	Yes	End
11	53,4	Yes	End
12	59,8	Yes	End

Fuente: Autor

#### Eje Vertical

Tabla 15. Grilla del modelado Eje vertical

Y Grid Data			
Grid ID	Y Ordinate (m)	Visible	Bubble Loc
0	0	Yes	Start
A'	2,9	Yes	Start
A	4,9	Yes	Start
B	8,9	Yes	Start
C	12,9	Yes	Start
D	16,9	Yes	Start
E	20,9	Yes	Start
F	24,9	Yes	Start
F'	25,35	Yes	Start
G	29,8	Yes	Start

Fuente: Autor

#### 4.2.2 Definir cantidad de pisos y su elevación

En la vista en planta se realiza clic derecho y se ingresa a la opción de modificar grilla y después en Story Data. En este apartado se puede crear la cantidad de pisos que se desee y la elevación por piso.

**Tabla 16.** Número y elevación de pisos

Story	Height (m)	Elevation (m)	Master Story	Similar To
Planta Maquinaria	2	40,4	Yes	None
Piso 12	3,2	38,4	Yes	None
Piso 11	3,2	35,2	Yes	None
Piso 10	3,2	32	No	Piso 8
Piso 9	3,2	28,8	No	Piso 8
Piso 8	3,2	25,6	Yes	None
Piso 7	3,2	22,4	No	Piso 6
Piso 6	3,2	19,2	Yes	None
Piso 5	3,2	16	No	Piso 4
Piso 4	3,2	12,8	Yes	None
Piso 3	3,2	9,6	No	Piso 2
Piso 2	3,2	6,4	Yes	None
Piso 1	3,2	3,2	No	None
Subterráneo (Estacionamiento)		0		

*Fuente: Autor*

#### 4.2.3 Definir las propiedades de los materiales

Para el proyecto se usó las siguientes propiedades de materiales para los elementos estructurales del modelado. Para  $f'_c$  del hormigón se tiene los siguientes datos:

**Tabla 17.** Propiedades de material del hormigón

General Data	
Material Name	Concreto $f'_c= 240$
Material Type	Concrete
Directional Symmetry Type	Isotropic
Material Weight and Mass	
Weight per Unit Volume	2400 kgf/m <sup>3</sup>
Mass per Unit Volume	244,732 kgf-s <sup>2</sup> /m <sup>4</sup>
Mechanical Property Data	
Modulus of Elasticity, E	2323790008 kgf/m <sup>2</sup>
Poisson's Ratio, U	0,2
Coefficient of Thermal Expansion, A	0,0000099 1/C
Shear Modulus, G	968245836,55 kgf/m <sup>2</sup>
Material Property Design Data	
Grade	$f'_c=240$
Design Properties for Concrete Materials	
Specified Concrete Compressive Strength, $f'_c$	2400000 kgf/m <sup>2</sup>

*Fuente: Autor*

Para Acero estructural fy se tiene los siguientes datos:

*Tabla 18. Propiedades de material del acero*

General Data		General Data	
Material Name	ASTM-572-GD50	Material Name	ASTM-36-GD36
Material Type	Steel	Material Type	Steel
Directional Symmetry Type	Isotropic	Directional Symmetry Type	Isotropic
Material Weight and Mass		Material Weight and Mass	
Weight per Unit Volume	7850 kgf/m <sup>3</sup>	Weight per Unit Volume	7850 kgf/m <sup>3</sup>
Mass per Unit Volume	800,477 kgf-s <sup>2</sup> /m <sup>4</sup>	Mass per Unit Volume	800,477 kgf-s <sup>2</sup> /m <sup>4</sup>
Mechanical Property Data		Mechanical Property Data	
Modulus of Elasticity, E	20400000000 kgf/m <sup>2</sup>	Modulus of Elasticity, E	20400000000 kgf/m <sup>2</sup>
Poisson's Ratio, U	0,3	Poisson's Ratio, U	0,3
Coefficient of Thermal Expansion, A	0,0000117 1/C	Coefficient of Thermal Expansion, A	0,0000117 1/C
Shear Modulus, G	7846153846,00 kgf/m <sup>2</sup>	Shear Modulus, G	7846153846,00 kgf/m <sup>2</sup>
Material Property Design Data		Material Property Design Data	
Grade	Grade 50	Grade	Grade 36
Design Properties for Concrete Materials		Design Properties for Concrete Materials	
Minimum Yield Stress, fy	35150000 kgf/m <sup>2</sup>	Minimum Yield Stress, fy	25310506,54 kgf/m <sup>2</sup>
Minimum Tensile Strength, fu	45699500 kgf/m <sup>2</sup>	Minimum Tensile Strength, fu	40778038,32 kgf/m <sup>2</sup>
Expected Yield Stress, fye	3515000 kgf/m <sup>2</sup>	Expected Yield Stress, fye	37965759,81 kgf/m <sup>2</sup>
Effective Tensile Strength, fue	45699500 kgf/m <sup>2</sup>	Effective Tensile Strength, fue	44855842,15 kgf/m <sup>2</sup>

*Fuente: Autor*

#### **4.2.4 Definir las propiedades de las secciones de los elementos estructurales**

En este apartado se utiliza los datos obtenidos del diseño de los elementos estructurales que se detallara más adelante, lo que se hace es crear nuevas capas de propiedades de secciones en el programa y digitar las características de las secciones que se obtuvieron en el diseño, tanto para vigas, columnas, losas y nervios (viguetas). Una vez creada las secciones se procede a dibujar la estructura en el programa con todas las características mencionadas anteriormente.

#### **4.2.5 Definir Diafragmas**

Los diafragmas nos ayudan a que los pisos actúen de manera

Se definió un diafragma rígido para cada piso:

- D1= Rígido
- D2= Rígido
- D3= Rígido
- D4= Rígido
- D5= Rígido
- D6= Rígido

- D7= Rígido
- D8= Rígido
- D9= Rígido
- D10= Rígido
- D11= Rígido
- D12= Rígido
- D13= Rígido

#### 4.2.6 Definir Mass Source Data (Masa reactiva)

Para la definición de carga reactiva “W” se utilizó la NEC de Peligro Sísmico del capítulo 6.1.7, en cual nos detalla lo siguiente:

$$W= D + 0.25L_i$$

Donde:

D= Carga muerta total de la estructura

$L_i$ = Carga viva del piso i

Esto quiere decir que la carga reactiva por sismo se usara el 100% de la carga muerta total de la estructura y el 25% de la carga viva del piso i.

#### 4.2.7 Definir Load Patterns

Para evaluar el comportamiento de una estructura es necesario primero definir que cargas van a actuar en dicha estructura para obtener resultados que se asemejen a la realidad, las cargas definidas son las siguientes:

*Tabla 19. Tipos de Cargas*

Load	Type	Self Weight Multiplier	Auto Lateral Load
CM	Dead	1	
CL	Live	0	
SC	Super Dead	0	
Sx	Seismic	0	User Coefficient
Sy	Seismic	0	User Coefficient

*Fuente: Autor*

Donde:

CM= Carga muerta

CL= Carga viva

SC= Sobrecarga de Obras de Ingeniería

Sx= Sismo estático en la dirección “x”

Sy= Sismo estático en la dirección “y”

#### 4.2.8 Definir Shell Uniform Load Sets

Para este caso se creó cargas uniformemente distribuidas para los pisos del modelado:

*Tabla 20. Cargas Uniformemente distribuidas para pisos y escaleras*

Carga escalera		Carga piso 1-4		Carga piso 5-11		Carga piso 12-13	
Load Pattern	Load Value (kgf/m <sup>2</sup> )	Load Pattern	Load Value (kgf/m <sup>2</sup> )	Load Pattern	Load Value (kgf/m <sup>2</sup> )	Load Pattern	Load Value (kgf/m <sup>2</sup> )
SC	100	SC	350	SC	350	SC	150
CL	480	CL	250	CL	200	CL	100

*Fuente: Autor*

#### 4.2.9 Definir Load Cases

Al definir las cargas que van a actuar en el modelado es necesario definir el tipo de caso de carga que se desea analizar.

*Tabla 21. Casos de Cargas*

Load Case Name	Load Case Type
Dead	Linear Static
Live	Linear Static
Modal	Modal - Eigen
SC	Linear Static
SDx	Response Spectrum
SDy	Response Spectrum
Sx	Linear Static
Sy	Linear Static

*Fuente: Autor*

Donde:

SDx= Sismo dinámico en la dirección “x”

SDy= Sismo dinámico en la dirección “y”

#### ***4.2.10 Definir combinación de cargas***

Debido a que la base del proyecto técnico se basa en el análisis de los sistemas de control sísmico, se utilizaron combinaciones de cargas dinámicas y no estáticas, ya que es requerido para el diseño de los elementos estructurales en el cual, se utiliza los máximos esfuerzos que sufren los elementos, estas combinaciones nos ayudan a abarcar lo que puede suceder en la realidad, porque en un caso real actúan muchas cargas al mismo tiempo. Las combinaciones son las siguientes:

- $0.9D+SD_x$
- $0.9D+SD_x-SD_y$
- $0.9D+SD_y$
- $0.9D-SD_x$
- $0.9D-SD_y$
- $1.2(CM+SC)+1.6CL$
- $1.2D+CL+SD_x$
- $1.2D+CL+SD_y$
- $1.2D+CL-SD_x$
- $1.2D+CL-SD_y$
- $1.4D$
- $D+CL$
- $D+SC$
- ENVOLVENTE

#### ***4.2.11 Determinación del período de vibración $T$***

Para la determinar el período de vibración de la estructura se utilizó un análisis modal para obtener dicho valor que es respaldado por la NEC de peligro sísmico en la sección 6.3.3 en el apartado de método 2.

$$T_x = 0.75 \text{ (seg)}$$

$$T_y = 0.73 \text{ (seg)}$$

Donde:

$T_x$ = Período fundamental de la estructura en la dirección de análisis “x”

$T_y$ = Período fundamental de la estructura en la dirección de análisis “y”

**Figura 15. Tabla de resultados de periodos del edificio con base fija**

Case	Mode	Period sec	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX
Modal	1	0,75	0,6465	0,0706	0	0,6465	0,0706	0	0,0325
Modal	2	0,73	0,0785	0,61	0	0,725	0,6807	0	0,2718
Modal	3	0,636	0,0005	0,0435	0	0,7256	0,7242	0	0,0045
Modal	4	0,244	0,1212	0,0056	0	0,8467	0,7298	0	0,016
Modal	5	0,24	0,0048	0,1014	0	0,8516	0,8311	0	0,2661
Modal	6	0,221	0,0007	0,0204	0	0,8523	0,8516	0	0,097
Modal	7	0,13	0,0519	0,0014	0	0,9042	0,853	0	0,0021
Modal	8	0,126	0,0011	0,0479	0	0,9053	0,9009	0	0,0726
Modal	9	0,12	0,0002	0,0071	0	0,9055	0,9079	0	0,008
Modal	10	0,093	0,0001	0,0001	0	0,9056	0,908	0	0,0003
Modal	11	0,082	0,0281	0,0006	0	0,9337	0,9086	0	0,0015
Modal	12	0,079	0,0007	0,0251	0	0,9345	0,9337	0	0,0664
Modal	13	0,078	2,98E-06	0,004	0	0,9345	0,9378	0	0,0082
Modal	14	0,068	0,0001	2,707E-05	0	0,9345	0,9378	0	0,0001
Modal	15	0,059	0,0143	0,0006	0	0,9488	0,9383	0	0,0012

*Fuente: Software de modelación estructural*

### 4.3 Espectro elástico e inelástico horizontal de diseño en aceleraciones, para un período de retorno de 475 años

El espectro de respuesta elástico de aceleraciones ( $S_a$ ), es utilizado para analizar las derivas de piso o desplazamientos máximos que va a sufrir una estructura ante un sismo. Para el cálculo de este espectro según la NEC del capítulo de peligro sísmico en la sección 3.3.1.

**Se necesitan los siguientes datos:**

$Z$ = Factor de zona sísmica

$F_a, F_d, F_s$ = Consideración de valores de coeficientes de amplificación del suelo

$S_a$ = Espectro de respuesta elástico de aceleraciones

$T$ = Período fundamental de vibración de la estructura

$T_o$ = Período límite de vibración

$T_c$ = Período límite de vibración

$n$ = Razón de amplificación espectral dependiendo de la región del Ecuador

#### 4.3.1 Obtención de los coeficientes de amplificación de suelo $F_a, F_d, F_s$ .

Los datos que se tienen son los siguientes:

➤  $Z = 0.4$

➤ Tipo de perfil del subsuelo= D

Para  $F_a = 1.2$

**Tabla 22.**  $F_a$ : Coeficiente de amplificación de suelo en la zona de período corto

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	$\geq 0.5$
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 <a href="#">Tabla 2</a> : Clasificación de los perfiles de suelo y la sección <a href="#">10.5.4</a>					

**Fuente:** NEC del capítulo de peligro sísmico en la sección 3.2.1

Para  $F_d = 1.19$

**Tabla 23.**  $F_d$ : Amplificación de las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos para diseño en roca

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	$\geq 0.5$
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 <a href="#">Tabla 2</a> : Clasificación de los perfiles de suelo y 10.6.4					

**Fuente:** NEC del capítulo de peligro sísmico en la sección 3.2.1

Para  $F_s = 1.28$

**Tabla 24.** *F<sub>s</sub>: Comportamiento no lineal de los suelos*

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 <a href="#">Tabla 2</a> : Clasificación de los perfiles de suelo y 10.6.4					

*Fuente:* NEC del capítulo de peligro sísmico en la sección 3.2.1

#### 4.3.2 Cálculo de $T_o$ y $T_c$

Para el valor de  $T_o$  y  $T_c$  se utiliza la siguiente ecuación:

$$T_o = 0.1 * F_s * \frac{F_d}{F_a}$$

$$T_o = 0.1 * 1.28 * \frac{1.19}{1.2} = 0.13 \text{ seg}$$

$$T_c = 0.65 * F_s * \frac{F_d}{F_a}$$

$$T_c = 0.65 * 1.28 * \frac{1.19}{1.2} = 0.70 \text{ seg}$$

#### 3.5.12.3 Cálculo de $S_a$

Para determinar “ $S_a$ ” se usa la siguiente ecuación:

Para  $T > T_c$

$$S_a = n * z * F_a * \left( \frac{T_c^r}{T} \right)$$

**Donde:**

$r= 1$  para todos los suelos, excepción del suelo tipo E

$n= 1.80$  para provincias de la Costa (excepto Esmeraldas)

$$Sax = 1.8 * 0.4 * 1.2 * \left( \frac{0.70^1}{0.75} \right) = 0.166$$

$$Say = 1.8 * 0.4 * 1.2 * \left( \frac{0.70^1}{0.73} \right) = 0.170$$

**Donde:**

Sax = Espectro de respuesta elástico de aceleraciones para Tx

Say = Espectro de respuesta elástico de aceleraciones para Ty

#### ***4.3.4 Cálculo de Sa para modos de vibración distintos al fundamental***

$$Sa = z * Fa * \left( 1 + (n - 1) * \frac{T}{T_0} \right)$$

Se utilizará esta ecuación para hallar las aceleraciones donde el período de vibración es menor que To.

#### ***4.3.5 Espectro inelástico horizontal de diseño en aceleraciones***

Una vez obtenido los resultados de Espectro de respuesta elástico de aceleraciones, se necesita convertir estos valores en Espectro de respuesta inelástico de aceleraciones, el cual con esos datos obtenidos servirán para ingresar al programa de modelación estructural. Se usará la siguiente ecuación:

$$C = \frac{I * Sa(Ta)}{R * \phi_p * \phi_E}$$

Esta ecuación viene de la NEC en el capítulo de peligro sísmico, en la sección 6.3.2. donde la fórmula de la cortante basal “V” no se toma en cuenta la variable “W” masa reactiva.

**Donde:**

Sa(Ta)= Espectro de respuesta elástico de aceleraciones

$\phi_p$  y  $\phi_E$ = Coeficientes de configuración n planta y elevación, se usará un valor de 0.9

I= Coeficiente de Importancia, dada en la NEC en el capítulo de peligro sísmico, en la sección 4.1. se utilizará un coeficiente de importancia de 1.0, porque pertenece a la categoría de Otras estructuras por ser una edificación.

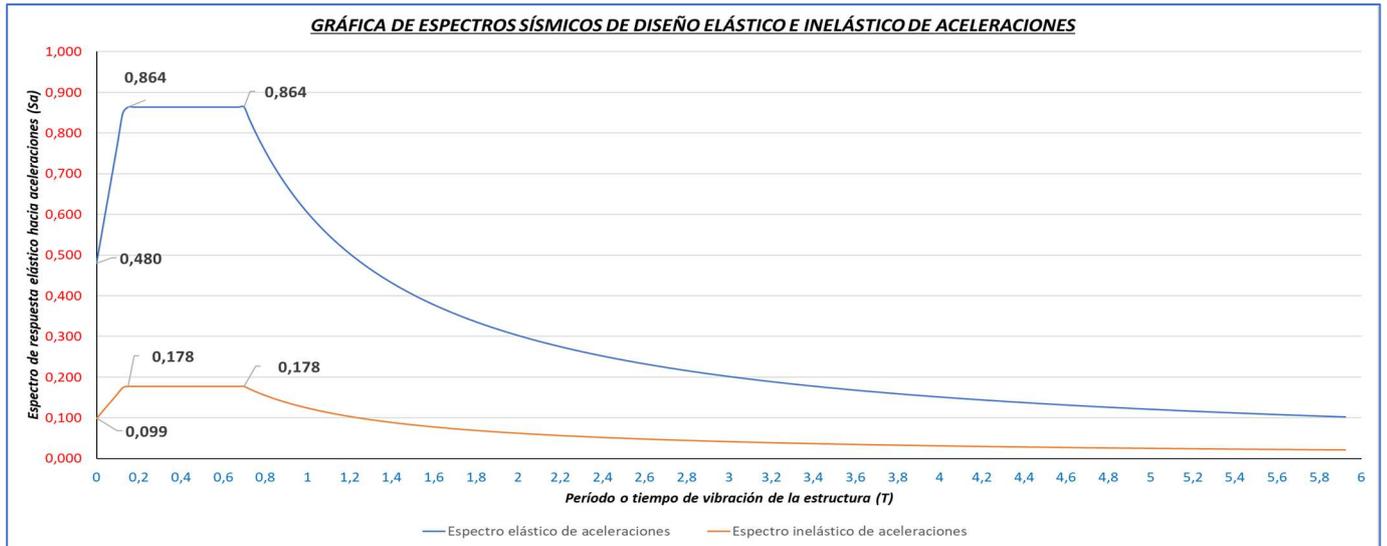
R= Factor de reducción de resistencia sísmica, se usará un valor de 6

C= Coeficiente sísmico

Ta= Período de vibración

Los datos que se obtengan del espectro de respuesta inelástico de aceleraciones para n valores de T se pasarán a un blog de notas, el cual será ingresado al modelado estructural en el apartado Espectro de respuesta.

**Figura 16.** Gráfica de espectro de diseño de aceleraciones de Machala Suelo Tipo D, periodo de retorno de 475 años



Fuente: Autor

#### 4.3.6 Definir coeficiente sísmico estático

En este apartado los datos que se deben ingresar es el valor K y C, donde:

K= Coeficiente relacionado con el periodo de vibración de la estructura T

C= Coeficiente sísmico

#### 4.3.7 Cálculo de k:

Para la determinación de k, la NEC en el capítulo de peligro sísmico, en la sección 6.3.5. establece lo siguiente:

**Tabla 25.** Tabla para determinar el valor de k

Valores de T (S)	k
$\leq 0,5$	1
$0,5 > T \leq 2,5$	$0,75 + 0,50 T$
$> 2,5$	2

Fuente: NEC del capítulo de peligro sísmico en la sección 6.3.5

Como datos se tiene que el período fundamental de la estructura son las siguientes:

$$T_x = 0.75 \text{ (seg)}$$

$$T_y = 0.73 \text{ (seg)}$$

**Donde:**

$T_x$  = Período fundamental de la estructura en la dirección de análisis “x”

$T_y$  = Período fundamental de la estructura en la dirección de análisis “y”

Como se puede observar que el periodo fundamental de la estructura en ambas direcciones es mayor a 0.5 y menores a 2.5 se usara la ecuación  $0.75 + 0.50 T$ .

$$k_x = 0.75 + 0.50(0.75) = 1.13$$

$$k_y = 0.75 + 0.50(0.73) = 1.12$$

**Donde:**

$k_x$  = Valor de k en dirección de análisis “x”

$k_y$  = Valor de k en dirección de análisis “y”

#### **4.3.8 Cálculo de C:**

Para la determinación de C, la NEC en el capítulo de peligro sísmico, en la sección 6.3.2. establece lo siguiente:

$$V = \frac{I * S_a(T_a)}{R * \phi_p * \phi_E} * W$$

El cual para obtener la fórmula de coeficiente sísmico no se toma en cuenta la carga o masa reactiva de la estructura “W” quedando la ecuación de la siguiente manera:

$$C = \frac{I * S_a(T_a)}{R * \phi_p * \phi_E}$$

**Donde:**

$S_a(T_a)$  = Espectro de diseño en aceleración

$\phi_p$  y  $\phi_E$  = Coeficientes de configuración n planta y elevación

I = Coeficiente de Importancia

R = Factor de reducción de resistencia sísmica

C= Coeficiente sísmico

Ta= Período de vibración

$$C_x = \frac{1 * 0.806}{6 * 0.9 * 0.9} = 0.166$$

$$C_y = \frac{1 * 0.828}{6 * 0.9 * 0.9} = 0.17$$

**Donde:**

Cx= Coeficiente sísmico en dirección de análisis “x”

Cy= Coeficiente sísmico en dirección de análisis “y”

#### ***4.3.9 Ajuste de Cortante***

En el apartado de casos de carga, se asigna el caso de sismo dinámico en las dos direcciones de análisis “x” y “y”. Este caso de carga se le asigna un espectro de respuestas de aceleraciones en el cual se tiene como factor de escala la gravedad  $9.80 \text{ cm/s}^2$ . Este factor de escala se debe ajustar con los sismos estáticos en ambas direcciones para que su similitud en cortante basal en edificaciones irregulares sean del 85%. Para realizar este ajuste se tiene la siguiente ecuación.

$$\text{factor de ajuste} = 0.85 * \left( \frac{\text{Cortante Sismo Estático}}{\text{Cortante Sismo Dinámico}} \right) * 9.8067$$

Datos obtenidos del programa de modelación estructural:

- Cortante sismo estático en x = 1070083,13
- Cortante sismo estático en y = 1095867,93
- Cortante sismo dinámico en x= 791241,78
- Cortante sismo dinámico en y= 777895,3

Factor de ajuste para dirección de análisis de “x”

$$\text{factor de ajuste} = 0.85 * \left( \frac{1070083,13}{791241,78} \right) * 9.8067 = 11.2733$$

Factor de ajuste para dirección de análisis de “y”

$$\text{factor de ajuste} = 0.85 * \left( \frac{1095867,93}{777895,3} \right) * 9.8067 = 11.743$$

Estos factores de ajuste se ingresan a los casos de cargas SDx y SDy en el apartado de factor de escala.

#### **4.3.10 Comprobación de ajuste de cortante**

Para comprobar si la cortante basal en ambas direcciones cumplen con la similitud de relación entre sismo estático y sismo dinámico se utiliza la siguiente fórmula:

$$\text{Comprobación factor de ajuste} = \left( \frac{\text{Cortante Sismo Dinámico}}{\text{Cortante Sismo Estático}} \right) * 100$$

Datos obtenidos del programa de modelación estructural después se aplicar factor de ajuste:

- Cortante sismo estático en x = 1070260,84
- Cortante sismo estático en y = 1096049,92
- Cortante sismo dinámico en x= 909577,25
- Cortante sismo dinámico en y= 931492,84

Comprobación de Factor de ajuste para dirección de análisis de “x”

$$\text{Comprobación factor de ajuste} = \left( \frac{909577,25}{1070260,84} \right) * 100 = 85\%$$

Comprobación de Factor de ajuste para dirección de análisis de “y”

$$\text{Comprobación factor de ajuste} = \left( \frac{931492,84}{1096049,92} \right) * 100 = 85\%$$

En la comprobación de factor de ajuste en las dos direcciones de análisis, debe salir un porcentaje del 85% debido a que la edificación presenta irregularidad en planta y elevación.

### **4.4 Modelación de la Edificación base Aislada**

#### **4.4.1 Definir la Grilla (GRID)**

Se usará la misma grilla de la modelación de la edificación de base fija.

#### **4.4.2 Definir cantidad de pisos y su elevación**

En la vista en planta se realiza clic derecho y se ingresa a la opción de modificar grilla y después en Story Data. En este apartado se puede crear la cantidad de pisos que se desee y la elevación por piso. En este caso es la misma distribución de pisos y elevación del modelado de base fija, pero implementando la base aislada con su respectiva elevación

**Tabla 26.** Detalle de alturas por cada nivel de piso incluyendo base aislada en la edificación

Story	Height (m)	Elevation (m)	Master Story	Similar To
CUB. MAQ. 13	2	40,4	Yes	None
AZOTEA 12	3,2	38,4	Yes	None
N11	3,2	35,2	Yes	None
N10	3,2	32	No	N8
N9	3,2	28,8	No	N8
N8	3,2	25,6	Yes	None
N7	3,2	22,4	No	N6
N6	3,2	19,2	Yes	None
N5	3,2	16	No	N4
N4	3,2	12,8	Yes	None
N3	3,2	9,6	No	N2
N2	3,2	6,4	Yes	None
N1	3,2	3,2	No	None
B. AISL.	1,3	0	No	None
SUELO		-1,3		

*Fuente: Autor*

#### **4.4.3 Determinación del período de vibración $T$**

Para la determinar el período de vibración de la estructura se utilizó un análisis modal para obtener dicho valor que es respaldado por la NEC de peligro sísmico en la sección 6.3.3 en el apartado de método 2.

$$T_x = 2.984 \text{ (seg)}$$

$$T_y = 3.012 \text{ (seg)}$$

**Donde:**

$T_x$ = Período fundamental de la estructura en la dirección de análisis “x”

$T_y$ = Período fundamental de la estructura en la dirección de análisis “y”

Es importante recordar que los resultados obtenidos del presente modelado estructural son obtenidos gracias a la elección del aislador con rigidez de  $k=100 \text{ Ton/m}$  colocado en los 34 puntos de la cimentación que conforman la edificación.

**Figura 17. Tabla de resultados de periodos del edificio con base aislada**

Case	Mode	Period sec	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX	RY	RZ
Modal	1	3,012	0,0019	0,9233	0	0,0019	0,9233	0	0,0056	2,29E-06	0,0741
Modal	2	2,984	0,9969	0,0017	0	0,9988	0,925	0	8,99E-06	0,0018	0,0002
Modal	3	2,594	3,704E-06	0,074	0	0,9988	0,999	0	0,0144	8,19E-06	0,9247
Modal	4	0,452	0,0011	3,534E-05	0	0,9999	0,999	0	0,0308	0,9546	5,878E-07
Modal	5	0,442	2,576E-05	0,0008	0	0,9999	0,9998	0	0,7402	0,0239	0,0002
Modal	6	0,404	4,976E-06	0,0001	0	0,9999	0,9999	0	0,194	0,0075	0,0008
Modal	7	0,206	0,0001	2,046E-06	0	1	0,9999	0	0,0001	0,0026	0
Modal	8	0,203	1,593E-06	4,446E-05	0	1	1	0	0,0049	0,0001	2,097E-05
Modal	9	0,185	0	1,037E-05	0	1	1	0	4,029E-05	1,446E-05	4,453E-05
Modal	10	0,122	9,293E-06	0	0	1	1	0	0,0001	0,0089	0
Modal	11	0,118	0	7,497E-06	0	1	1	0	0,0077	0,0001	2,092E-06
Modal	12	0,112	0	6,302E-07	0	1	1	0	0,0013	4,279E-05	8,569E-06
Modal	13	0,081	1,599E-06	0	0	1	1	0	0	1,899E-05	0
Modal	14	0,077	0	1,368E-06	0	1	1	0	3,885E-05	6,183E-07	0
Modal	15	0,076	0	0	0	1	1	0	0,0001	0	1,906E-06

*Fuente: Software de modelación estructural*

#### **4.5 Espectro elástico horizontal de diseño en aceleraciones para un período de retorno de 2500 años**

El espectro de respuesta elástico de aceleraciones ( $S_a$ ), es utilizado para analizar las derivas de piso o desplazamientos máximos que va a sufrir una estructura ante un sismo. Para el cálculo de este espectro según la NEC del capítulo de peligro sísmico en la sección 3.3.1.

Se necesitan los siguientes datos:

$Z$ = Factor de zona sísmica

$F_a, F_d, F_s$ = Consideración de valores de coeficientes de amplificación del suelo

$S_a$ = Espectro de respuesta elástico de aceleraciones

$T$ = Período fundamental de vibración de la estructura

$T_o$ = Período límite de vibración

$T_c$ = Período límite de vibración

$n$ = Razón de amplificación espectral dependiendo de la región del Ecuador

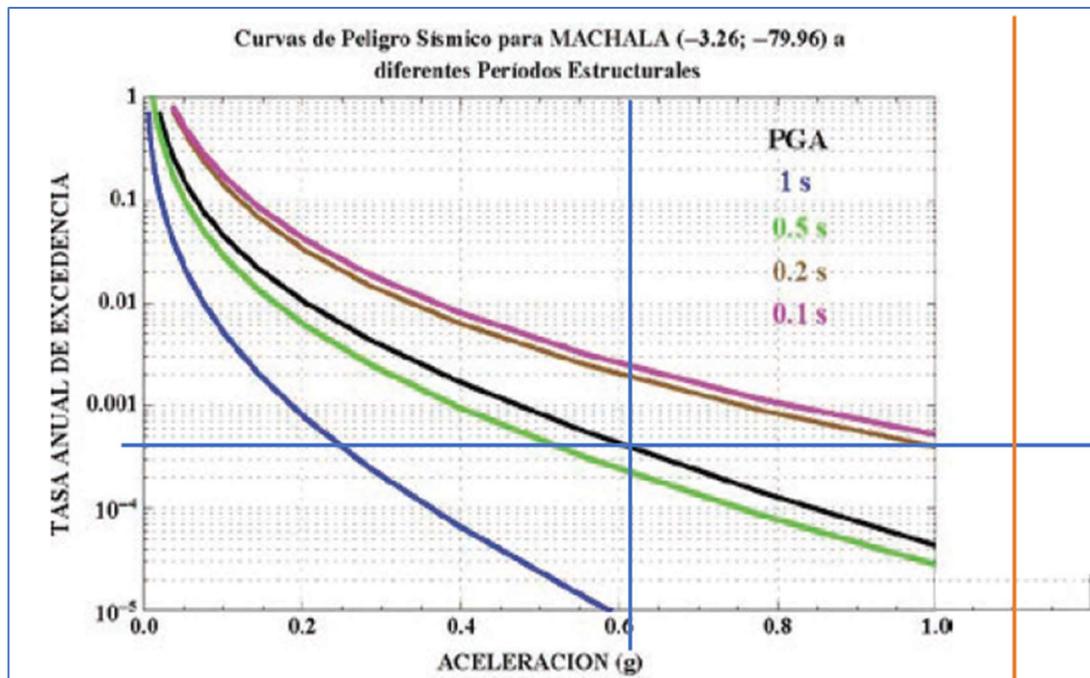
##### **4.5.1 Cálculo de factor de zona sísmica para un período de retorno de 2500 años**

En la NEC del capítulo de peligro sísmico en la sección 4.3.1. menciona una tasa de excedencia para un sismo extremo siendo este de 0.00040.

#### 4.5.2 Valor PGA de la gráfica de Curvas de Peligro Sísmico para Machala

Se utilizó la curva antes mencionada para calcular el valor de PGA de 1 segundo y 0.1 segundos para una tasa anual de excedencia de 0.00040.

Figura 18. Curva de Peligro Sísmico para Machala



Fuente: NEC del capítulo de peligro sísmico en la sección 10.2.

Obteniendo los siguientes datos:

- PGA (Z)= 0.62g
- Sa (0,1 seg) = 1.1g

#### 4.5.3 Obtención de los coeficientes de amplificación de suelo Fa, Fd, Fs.

Los datos que se tienen son los siguientes:

- Z= 0.62
- Tipo de perfil del subsuelo= D

Para Fa= 1.12

**Tabla 27.** Fa: Coeficiente de amplificación de suelo en la zona de período corto

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 <a href="#">Tabla 2</a> : Clasificación de los perfiles de suelo y la sección <a href="#">10.5.4</a>					

**Fuente:** NEC del capítulo de peligro sísmico en la sección 3.2.1

Para  $F_d = 1.11$

**Tabla 28.** Fd: Amplificación de las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos para diseño en roca

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 <a href="#">Tabla 2</a> : Clasificación de los perfiles de suelo y 10.6.4					

**Fuente:** NEC del capítulo de peligro sísmico en la sección 3.2.1

Para  $F_s = 1.24$

**Tabla 29.** Fs: Comportamiento no lineal de los suelos

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 <a href="#">Tabla 2</a> : Clasificación de los perfiles de suelo y 10.6.4					

**Fuente:** NEC del capítulo de peligro sísmico en la sección 3.2.1

#### 4.5.4 Cálculo de $T_o$ y $T_c$

Para el valor de  $T_o$  y  $T_c$  se utiliza la siguiente ecuación:

$$T_o = 0.1 * F_s * \frac{F_d}{F_a}$$

$$T_o = 0.1 * 1.28 * \frac{1.11}{1.12} = 0.139 \text{ seg}$$

$$T_c = 0.65 * F_s * \frac{F_d}{F_a}$$

$$T_c = 0.65 * 1.28 * \frac{1.1}{1.12} = 0.763 \text{ seg}$$

#### 4.5.5 Cálculo de $S_a$

Para determinar “ $S_a$ ” se usa la siguiente ecuación:

Para  $T > T_c$

$$S_a = n * z * F_a * \left( \frac{T_c^r}{T} \right)$$

**Donde:**

$r=1$  para todos los suelos, excepción del suelo tipo E

$n$ = Razón entre la aceleración espectral  $S_a$  ( $T = 0.1$  s) y el PGA para el período de retorno seleccionado.

$$n = \frac{\text{PGA}(Z)}{S_a(0,1 \text{ seg})}$$

$$n = \frac{0.62}{1.1} = 1.774$$

$$S_{ax} = 1.774 * 0.62 * 1.12 * \left( \frac{0.763^1}{2.984} \right) = 0.313$$

$$S_{ay} = 1.774 * 0.62 * 1.12 * \left( \frac{0.763^1}{3.012} \right) = 0.310$$

**Donde:**

$S_{ax}$  = Espectro de respuesta elástico de aceleraciones para  $T_x$

$S_{ay}$  = Espectro de respuesta elástico de aceleraciones para  $T_y$

#### 4.5.6 Cálculo de Sa para modos de vibración distintos al fundamental

$$Sa = z * Fa * (1 + (n - 1) * \frac{T}{T_0})$$

Se utilizará esta ecuación para hallar las aceleraciones donde el período de vibración es menor que  $T_0$ .

Para realizar el gráfico del espectro elástico de aceleraciones se necesitan los siguientes datos.

#### Donde:

$Sa(T_a)$ = Espectro de respuesta elástico de aceleraciones

$\phi_p$  y  $\phi_E$ = Coeficientes de configuración n planta y elevación, se usará un valor de 1

I= Coeficiente de Importancia, dada en la NEC en el capítulo de peligro sísmico, en la sección 4.1. se utilizará un coeficiente de importancia de 1.0, porque pertenece a la categoría de Otras estructuras por ser una edificación.

R= Factor de reducción de resistencia sísmica, se usará un valor de 1

C= Coeficiente sísmico

$T_a$ = Período de vibración

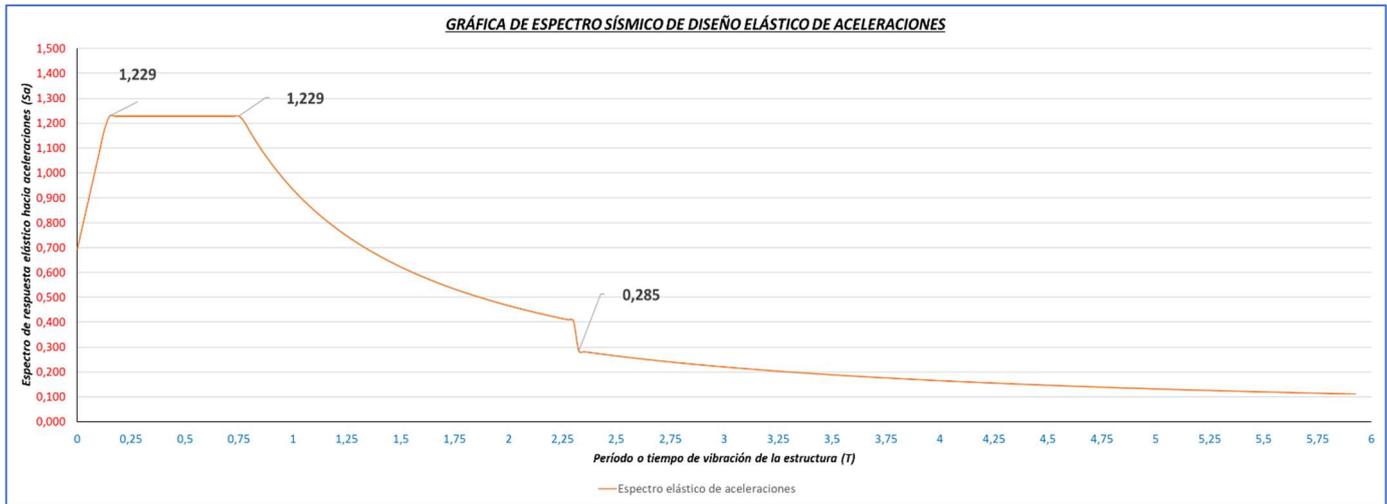
Los datos que se obtengan del espectro de respuesta inelástico de aceleraciones para n valores de T se pasarán a un blog de notas, el cual será ingresado al modelado estructural en el apartado Espectro de respuesta.

#### 4.5.7 Factor de amortiguamiento $B_M$

El factor de amortiguación  $B_M$  se calculó en la metodología de cálculo de aisladores, en el cual dio un valor de 1.41, este factor nos sirve para reducir el espectro en el período de análisis a evaluar en este caso se utiliza como período objetivo el torsional con un valor de 2.594 segundos para comenzar la reducción. Para reducir el espectro se inició desde el período torsional menos 0.25 segundos, dando como resultado 2.34 segundos. Entonces la fórmula para reducir el espectro a partir de 2.34 segundos es el siguiente:

$$\frac{Sa}{B_M} = \frac{0.402}{1.41} = 0.285$$

**Figura 19.** Gráfica de espectro de diseño de aceleraciones de Machala Suelo Tipo D, periodo de retorno de 2500 años



*Fuente: Autor*

#### 4.5.8 Definir coeficiente sísmico estático

En este apartado los datos que se deben ingresar es el valor K y C, donde:

K= Coeficiente relacionado con el período de vibración de la estructura T

C= Coeficiente sísmico

#### 4.5.9 Cálculo de k:

Para la determinación de k, la NEC en el capítulo de peligro sísmico, en la sección 6.3.5. establece lo siguiente:

*Tabla 30. Tabla para determinar el valor de k*

Valores de T (S)	k
$\leq 0,5$	1
$0,5 > T \leq 2,5$	$0,75 + 0,50 T$
$> 2,5$	2

*Fuente: NEC del capítulo de peligro sísmico en la sección 6.3.5*

Como datos se tiene que el período fundamental de la estructura son las siguientes:

$T_x = 2.984$  (seg)

$T_y = 3.012$  (seg)

**Donde:**

$T_x$ = Período fundamental de la estructura en la dirección de análisis “x”

Ty= Período fundamental de la estructura en la dirección de análisis “y”

Como se puede observar que el periodo fundamental de la estructura en ambas direcciones es mayor a 0.5 y menores a 2.5 se usará la ecuación  $0.75 + 0.50 T$ .

$$kx = 0.75 + 0.50(2.984) = 2$$

$$ky = 0.75 + 0.50(3.012) = 2$$

**Donde:**

kx= Valor de k en dirección de análisis “x”

ky= Valor de k en dirección de análisis “y”

#### **4.5.10 Cálculo de C:**

Para la determinación de C, la NEC en el capítulo de peligro sísmico, en la sección 6.3.2. establece lo siguiente:

$$V = \frac{I * Sa(Ta)}{R * \phi p * \phi E} * W$$

El cual para obtener la fórmula de coeficiente sísmico no se toma en cuenta la carga o masa reactiva de la estructura “W” quedando la ecuación de la siguiente manera:

$$C = \frac{I * Sa(Ta)}{R * \phi p * \phi E}$$

**Donde:**

Sa(Ta)= Espectro de diseño en aceleración

$\phi p$  y  $\phi E$ = Coeficientes de configuración n planta y elevación

I= Coeficiente de Importancia

R= Factor de reducción de resistencia sísmica

C= Coeficiente sísmico

Ta= Período de vibración

$$Cx = \frac{1 * \frac{0.313}{1.41}}{1 * 1 * 1} = 0.222$$

$$C_y = \frac{1 * \frac{0.310}{1.41}}{1 * 1 * 1} = 0.220$$

**Donde:**

C<sub>x</sub>= Coeficiente sísmico en dirección de análisis “x”

C<sub>y</sub>= Coeficiente sísmico en dirección de análisis “y”

En este caso el sa se dividió para el factor de amortiguamiento B<sub>m</sub> mencionado anteriormente debido a que se encuentra en el rango de reducción objetivo.

#### ***4.5.11 Ajuste de Cortante***

En el apartado de casos de carga, se asigna el caso de sismo dinámico en las dos direcciones de análisis “x” y “y”. Este caso de carga se le asigna un espectro de respuestas de aceleraciones en el cual se tiene como factor de escala la gravedad 9.80 cm/s<sup>2</sup>. Este factor de escala se debe ajustar con los sismos estáticos en ambas direcciones para que su similitud en cortante basal en edificaciones irregulares sean del 85%. Para realizar este ajuste se tiene la siguiente ecuación.

$$factor\ de\ ajuste = 0.85 * \left( \frac{Cortante\ Sismo\ Estático}{Cortante\ Sismo\ Dinámico} \right) * 9.8067$$

Datos obtenidos del programa de modelación estructural:

- Cortante sismo estático en x = 1555,594
- Cortante sismo estático en y = 1541,5717
- Cortante sismo dinámico en x= 1555,8802
- Cortante sismo dinámico en y= 1472,5773

Factor de ajuste para dirección de análisis de “x”

$$factor\ de\ ajuste = 0.85 * \left( \frac{1555,594}{1555,8802} \right) * 9.8067 = 8.3342$$

Factor de ajuste para dirección de análisis de “y”

$$factor\ de\ ajuste = 0.85 * \left( \frac{1541,5717}{1472,5773} \right) * 9.8067 = 8.7262$$

Estos factores de ajuste se ingresan a los casos de cargas SD<sub>x</sub> y SD<sub>y</sub> en el apartado de factor de escala.

#### 4.5.12 Comprobación de ajuste de cortante

Para comprobar si la cortante basal en ambas direcciones cumplen con la similitud de relación entre sismo estático y sismo dinámico se utiliza la siguiente fórmula:

$$\text{Comprobación factor de ajuste} = \left( \frac{\text{Cortante Sismo Dinámico}}{\text{Cortante Sismo Estático}} \right) * 100$$

Datos obtenidos del programa de modelación estructural después se aplicar factor de ajuste:

- Cortante sismo estático en x = 1555,5939
- Cortante sismo estático en y = 1541,5717
- Cortante sismo dinámico en x= 1322,2677
- Cortante sismo dinámico en y= 1310,3356

Comprobación de Factor de ajuste para dirección de análisis de “x”

$$\text{Comprobación factor de ajuste} = \left( \frac{1322,2677}{1555,5939} \right) * 100 = 85\%$$

Comprobación de Factor de ajuste para dirección de análisis de “y”

$$\text{Comprobación factor de ajuste} = \left( \frac{1310,3356}{1541,5717} \right) * 100 = 85\%$$

En la comprobación de factor de ajuste en las dos direcciones de análisis, debe salir un porcentaje del 85% debido a que la edificación presenta irregularidad en planta y elevación.

#### 4.6 Análisis y diseño del sistema de control sísmico (aisladores) en la edificación

Para comprobar si una infraestructura tiene ventajas ante el control sísmico en zonas donde se las cataloga de gran peligro sísmico, es importante definir varios conceptos importantes, como lo es:

- Período de base fija: Es el máximo período que encontramos en el análisis y diseño sismorresistente de la infraestructura con base fija.
- Período objetivo: Es el período que se espera llegar a tener en la misma infraestructura, pero con una base de aislamiento sísmico.

El proceso para encontrar y comparar los resultados tanto computacionales, mismos que son entregados gracias a softwares de modelamiento estructural, hacia los cálculos y procedimientos que nos indica la normativa ASCE 7:

#### 4.6.1 Obtención del período objetivo

En el presente proyecto se asumió e indicó unas propiedades de catálogo iniciales, las cuales se basa en que cada aislador tendrá una rigidez efectiva de 100 Ton/m, al ingresarlo en el software computacional, encontramos un período objetivo ( $T_b$ ) de 3.012 segundos, el cual, realizando una relación entre el período de base fija y aislada tenemos:

$$Relación = \frac{T_b}{T_{fija}} = \frac{3,012 \text{ segs}}{0,73 \text{ segs}} = 4,126$$

#### 4.6.2 Cálculo de rigidez efectiva total del sistema de aislamiento $K_b$

Para el siguiente paso, es importante tener en cuenta la masa total de toda la estructura, y también la masa del nivel de base, es decir, la masa del nivel en donde se encuentran los aisladores, prosiguiendo con ello obtenemos la rigidez total efectiva del sistema de aislamiento de la siguiente manera:

Masa del edificio o superestructura ( $m_s$ )= 655.31 Ton\*s<sup>2</sup>/m

Masa del nivel de base o aislamiento ( $m_b$ )= 57.20 Ton\*s<sup>2</sup>/m

$$K_b = \left( \frac{m_s + m_b}{\left(\frac{T_b}{2\pi}\right)^2} \right)$$

$$K_b = \left( \frac{655,31 \text{ Ton} * \frac{s^2}{m} + 57,20 \text{ Ton} * \frac{s^2}{m}}{\left(\frac{3,012 \text{ segs}}{2\pi}\right)^2} \right) = 3100,56 \text{ Ton/m}$$

#### 4.6.3 Cálculo de constante de amortiguamiento $C_b$

En este punto, es importante dejar claro el factor de amortiguamiento que será utilizado durante todo el análisis del edificio con sistema de aislamiento, por lo general y en este caso, se usará un porcentaje de amortiguamiento del 17% según la normativa ASCE 7:

Tabla 31. Valores del factor de amortiguamiento BM

Factor de amortiguamiento BM	
Porcentaje de amortiguamiento critico efectivo BM:	Factor BM:
≤2	0,8
5	1
10	1,2
20	1,5
30	1,7

Fuente: Normativa ASCE 7

En este caso, se interpreta una interpolación para obtener el factor de amortiguamiento BM, teniendo así un valor de: BM= 1.41

Con ello se puede analizar la constante de amortiguamiento (Cb):

$$C_b = 2\xi_b\sqrt{(m_s + m_b) * K_b}$$

$$C_b = 2 * 0,17 \sqrt{\left(655,31 \text{ Ton} * \frac{s^2}{m} + 57,20 \text{ Ton} * \frac{s^2}{m}\right) * 3100,56 \frac{\text{Ton}}{m}} = 505,35 \text{ Ton} * \frac{s}{m}$$

#### 4.6.4 Cálculo del desplazamiento traslacional total y de la losa aislada

Prosiguiendo con la metodología del sistema de aislamiento según la ASCE 7, se considera el período rotacional de la estructura aislada, en este caso es de 2.594 segundos, con ello, servirá para futuros cálculos, usando el período de aislamiento de 3.012 segundos obtenemos el valor de la aceleración (Sa) mediante el análisis de las curvas de Peligro Sísmico de la ciudad de Machala:

**Sa en función del período de aislamiento de 3.012 segs= 306.106 cm/s<sup>2</sup>**

Luego de ello, obtenemos un valor de velocidad angular:

$$\omega = \frac{2 * \pi}{T_b} = \frac{2 * \pi}{3,012 \text{ segundos}} = 2,086 \text{ rad/seg}$$

Ahora, con el uso del método estático podemos analizar el desplazamiento traslacional que tendrá todo el edificio, considerando el desplazamiento de la base aislada:

$$D_M = \frac{S a_M}{\omega * B_M}$$

$$D_M = \frac{306,106 \text{ cm/s}^2}{(2,086 \frac{\text{rad}}{\text{seg}})^2 * 1,41} = 49,89 \text{ cm}$$

Teniendo una relación entre el período de aislamiento traslacional y el período de aislamiento rotacional, tenemos:

$$P_T = \frac{T_b}{T_{rotacional}} = \frac{3,012 \text{ segundos}}{2,594 \text{ segundos}} = 1,16$$

Y con ello, el desplazamiento total que tiene la losa aislada (D'M):

$$D'_M = \frac{D_M}{\sqrt{1 + \left(\frac{T}{T_b}\right)^2}}$$

$$D'_M = \frac{49,89 \text{ cm}}{\sqrt{1 + \left(\frac{0,73 \text{ segs}}{3,012 \text{ segs}}\right)^2}} = 48,49 \text{ cm}$$

Es decir, el nivel o losa de aislamiento, tenderá a moverse **48,49 cm**.

#### 4.6.5 Cálculo del desplazamiento total de la losa aislada incluyendo torsión

En este paso es importante tener los datos o características de la losa aislada, es decir, conocer tanto su ancho, largo, como el centroide de la misma, de esta manera podemos calcular el desplazamiento total que tendrá dicha losa considerando la torsión generada en el edificio aislado (DTM), para luego establecer un porcentaje de diferencia ante el desplazamiento que tiene toda la estructura con torsión y sin torsión ( $\Delta DM$ ):

$$D_{TM} = D_M * \left[ 1 + \left( \frac{y}{P_T^2} \right) * \left( \frac{12e}{b^2 + d^2} \right) \right]$$

Donde:

**Ancho de la base aislada (b):** 20.00 m

**Largo de la base aislada (d):** 28.50 m

**Centroide del nivel de la base aislada (y):** 14.88 m

**Porcentaje de análisis de aislamiento (e):** Se considerará del adicional al 5%= 1.05

$$D_{TM} = 49,89 \text{ cm} * \left[ 1 + \left( \frac{14,88 \text{ m}}{(1,16)^2} \right) * \left( \frac{12 * 1,05}{(20\text{m})^2 + (28,50)^2} \right) \right] = 55,62 \text{ cm}$$

Se establece que la edificación, al considerar la torsión según el análisis del espectro de respuesta sísmica de 2500 años que se puede visualizar en el punto 4.5 del presente trabajo, la base del sistema de aislamiento del edificio de mediana altura tenderá a moverse 55.62 cm.

Y podemos evaluar el porcentaje de la diferencia entre el desplazamiento total que tiene el edificio sin considerar torsión e incluyendo torsión:

$$\Delta DM = \frac{(DTM - DM) * 100}{D'_M} = \frac{(55,62 \text{ cm} - 49,89 \text{ cm}) * 100}{48,49 \text{ cm}} = 12\%$$

Es decir, si consideramos la torsión en la base aislada, tal cual como se lo ha demostrado en el análisis y diseño del espectro de respuesta sísmica de 2500 años incluyendo el factor de reducción de amortiguamiento BM, se diferencia un 12% del total de sus desplazamientos.

#### **4.6.6 Cálculo de las fuerzas cortantes del sistema de aislamiento**

Para ello, se consideran los factores de aislamiento sísmico encontrados previamente:

$$V_b = K_M * D_M$$

$$V_b = 3100,56 \frac{\text{Ton}}{\text{m}} * 0,4989 \text{ m} = 1546,87 \text{ Ton}$$

Luego de obtener la cortante en función de la interfaz del sistema de aislamiento, procedemos a calcular la fuerza cortante no reducida ( $V_{st}$ ):

$$V_{st} = V_b * \left(\frac{P_s}{P}\right)^{(1-2.5\beta M)}$$

$$V_{st} = 1546,87 \text{ Ton} * \left(\frac{655,31 \text{ Ton} * \frac{\text{S}}{\text{m}}}{712,51 \text{ Ton} * \frac{\text{S}}{\text{m}}}\right)^{(1-2.5*0,17)} = 1474,20 \text{ Ton}$$

Como hemos podido observar, podemos declarar que, mientras mayor sea el factor de amortiguamiento considerado en una superestructura, mayor será la fuerza cortante hacia la edificación, ya que, en caso de no considerar el factor de amortiguamiento, obtenemos un valor de cortante de 1546.87 Ton, mientras que al aplicar el factor de amortiguamiento obtenemos un valor de 1474.20 Ton, el incremento de fuerza cortante entre ambos es del 5%.

#### **4.6.7 Análisis y cálculo de la respuesta del sistema aislado utilizando el método de dos grados de libertad**

En el anterior método, se aplicó el análisis considerando un grado de libertad, para tener un valor mucho más claro, comparar con varios métodos y de esta manera, verificar que los cálculos realizados previamente son correctos, debemos de utilizar el análisis de la respuesta del sistema de aislamiento utilizando un modelo de dos grados de libertad:

$$\gamma = \frac{m_s}{m_s + m_b}$$

$$\gamma = \frac{655,31 \text{ Ton} * \frac{\text{S}}{\text{m}}}{655,31 \text{ Ton} * \frac{\text{S}}{\text{m}} + 57,20 \text{ Ton} * \frac{\text{S}}{\text{m}}} = 0,92$$

$$\epsilon = \left(\frac{\omega_b}{\omega_s}\right)^2 = \left(\frac{T_f}{T_b}\right)^2$$

$$\epsilon = \left(\frac{0,73 \text{ seg}}{3,012 \text{ seg}}\right)^2 = 0,059$$

Con ello, obtenemos el período del primer modo de participación:

$$T_1 = T_b * \frac{1}{\sqrt{1 - (\epsilon * \gamma)}}$$

$$T_1 = 3,012 \text{ seg} * \frac{1}{\sqrt{1 - (0,059 * 0,92)}} = 3,10 \text{ segundos}$$

$$\frac{L_1}{M_1} = 1 - (\epsilon * \gamma)$$

$$\frac{L_1}{M_1} = 1 - (0,059 * 0,92) = 0,946$$

$$\xi_1 = \xi_b * \left[1 - \frac{3}{2}(\epsilon * \gamma)\right]$$

$$\xi_1 = 17\% * \left[1 - \frac{3}{2}(0,059 * 0,92)\right] = 0,1561 = 15,61\%$$

Ahora debemos de llevar el análisis para el segundo modo de participación, donde tenemos las siguientes fórmulas:

$$T_2 = T_{fija} * \sqrt{\frac{1 - \gamma}{1 + (\epsilon * \gamma)}}$$

$$T_2 = 0,73 \text{ seg} * \sqrt{\frac{1 - 0,92}{1 + (0,059 * 0,92)}} = 0,201 \text{ seg}$$

$$\frac{L_2}{M_2} = (\epsilon * \gamma)$$

$$\frac{L_2}{M_2} = (0,059 * 0,92) = 0,054$$

$$\xi_2 = \frac{1}{\sqrt{1 - \gamma}} * \left[\xi_s + \left(\epsilon^{\frac{1}{2}} * \gamma\right) * \xi_s\right] * \left(1 - \frac{\gamma}{2}\right)$$

$$\xi_2 = \frac{1}{\sqrt{1-0,92}} * \left[ 15,60\% + \left( (0,059)^{\frac{1}{2}} * 0,92 \right) * 17\% \right] * \left( 1 - \frac{0,92}{2} \right) = 0,37$$

Por último, debemos de analizar el factor de aceleración SaM, mismo que será analizado considerando el período más alto de vibración, en este caso, del período de 3,10 segundos, incluso, este período tiene mayor relación con el período mayor de la edificación en el eje Y-Y con el sistema de aislamiento, entonces, así como en el método de un grado de libertad, se obtiene un una velocidad angular  $\omega$ , y el desplazamiento de la losa aislada y de la superestructura total, aunque, la velocidad angular utiliza el análisis del período de aislamiento, por lo cual, al ser el mismo período, el valor de velocidad angular será igual:

**SaM en función del período 3.10 seg= 297.417 cm/s<sup>2</sup>**

$$D_M = \frac{S_{aM}}{\omega^2 * B_M} * \frac{L_1}{M_1}$$

$$D_M = \frac{297,417 \text{ cm/s}^2}{(2,027 \text{ rad/seg})^2 * 1,41} * 0,946 = 48,57 \text{ cm}$$

El desplazamiento que tendrá la superestructura, es decir, solamente el edificio sin considerar la losa de aislamiento es:

$$D_{superestructura} = D_M * \epsilon$$

$$D_{superestructura} = 48,57 \text{ cm} * 0,059 = 2,87 \text{ cm}$$

Y, por último, obtenemos el valor del desplazamiento total que tendrá toda la estructura, considerando la losa de aislamiento:

$$D_{Total} = D_M + D_{superestructura}$$

$$D_{Total} = 48,57 \text{ cm} + 2,87 \text{ cm} = 51,44 \text{ cm}$$

Como método de verificación, es importante comparar los dos métodos ejecutados para el análisis de los desplazamientos de la base aislada, teniendo un cuadro comparativo:

*Tabla 32. Cuadro comparativo de los desplazamientos calculados según la ASCE 7*

<b>Cuadro comparativo de desplazamientos por varios métodos</b>	
<b>Desplazamiento de losa aislada con el método de un grado de libertad</b>	<b>Desplazamiento de losa aislada con el método de dos grados de libertad</b>
<b>48,49 cm</b>	<b>48,57 cm</b>

Fuente: Autor

## 4.7 Análisis e ingreso de señales sísmicas (acelerogramas) al programa de modelado estructural

### 4.7.1 Análisis de Señales Sísmicas

Para la metodología de análisis Tiempo Historia – No lineal se utilizó 11 señales sísmicas proporcionada por el Tutor guía, para la cual, se realizó un cuadro resumen en el cual se define la aceleración máxima de cada señal en la dirección Norte y Este, el tiempo máximo de aceleración y la duración significativa el cual es de vital importancia para analizar con el programa de modelado estructural.

Se utiliza la duración significa, debido a que es el período donde se concentra la mayor excitación telúrica que está dentro del rango del 5% al 95% de la duración del acelerograma. La duración significativa se va analizar cada 0.01 segundos, por lo tanto, se estableció pasos Este y pasos Norte en donde se divide la duración significativa para 0.01 segundos. El cuadro resumen es el siguiente:

*Tabla 33. Análisis de Señales Sísmicas*

N°	SEÑAL	Aceleración (g)		Tiempo máximo de aceleración		Duración significativa		PASOS ESTE	PASO NORTE
		ESTE	NORTE	ESTE	NORTE	ESTE	NORTE		
1	ALPHA	0,33	0,4	41,98	42,9	56	51	5600	5100
2	BETA	0,357	0,346	84,6	50,9	99	100	9900	10000
3	DELTA	0,399	0,335	34,41	37,82	71	71	7100	7100
4	EPSILON	0,374	0,375	13,3	10,96	46	43	4600	4300
5	ETA	0,371	0,417	46,08	46,06	72	66	7200	6600
6	GAMMA	0,375	0,438	19,71	34,02	59	67	5900	6700
7	IOTA	0,306	0,417	41,47	46,06	87	66	8700	6600
8	KAPPA	0,373	0,337	7,34	14,55	37	44	3700	4400
9	LAMBDA	0,381	0,356	40,72	41,17	63	55	6300	5500
10	THETA	0,344	0,353	42,32	43,2	62	56	6200	5600
11	ZETA	0,358	0,347	49,62	43,19	75	76	7500	7600

*Fuente: Autor*

### 4.7.2 Ingreso de señales al programa de modelación

Para el ingreso de las señales se realizó los siguientes pasos:

- Se ingresa a definir en el apartado Tiempo Historia.
- Se ingresa la señal en formato texto y se le da un nombre a la señal.
- Se especifica que los valores a evaluar son valores de tiempo y función.
- Se hace clic en Ok para crear la señal, con el objetivo de ingresar la señal al programa.

#### 4.7.3 Definir factor de escala

Para crear los casos de carga en el programa antes mencionado es importante escalar las señales en función de la gravedad, en este caso las señales están en función de “g”, para escalar se debe ingresar el valor de la gravedad. El factor de escala depende del período de retorno sísmico a evaluar, si es sismo de diseño de 475 años se usa la gravedad, pero si es sismo extremo de 2500 años hay que multiplicar el valor de la gravedad por un factor de escala. En este caso se presenta el cálculo del factor de escala para los dos períodos de diseño.

**Tabla 34.** Factor de escala para cada periodo de retorno sísmico

Periodo de retorno 475 años		Periodo de retomo T, (años)	EXCEDENCIA	Z(acceleracion)	Factor de escala para 2500	Periodo de retorno 2500 años	
GRAVEDAD (m/s <sup>2</sup> )	30%GRA VEDAD (m/s <sup>2</sup> )	475	0,002105263	0,4	1,55	GRAVEDAD (m/s <sup>2</sup> )	30%GRAVED AD(m/s <sup>2</sup> )
9,81	2,943	2500	0,0004	0,62		15,2055	4,56165

*Fuente: Autor*

Como se puede observar en la tabla se menciona un porcentaje del 30 % de la gravedad esto se debe a que, al definir los casos de carga en el programa, las señales tienen dirección Norte y Este, entonces cada señal tiene dos acelerogramas en las direcciones antes mencionada y por lo tanto en cada caso de carga se ingresa dos señales una en dirección X-X y la otra en dirección Y-Y. En la dirección de análisis se debe usar el 100% de la gravedad y en la otra dirección solo el 30 por ciento de la gravedad.

#### 4.7.4 Definir Casos de carga

Como se mencionó anteriormente en los casos de carga cada señal sísmica tiene dos acelerogramas en dos direcciones distintas. Como ya se ingresó las señales en el apartado tiempo Historia, ahora se debe crear los casos de carga para cada señal. El proceso que se siguió fue el siguiente.

- Ir a definir y seleccionar casos de carga.
- Agregar Nuevo caso.
- Dar nombre al caso.
- Seleccionar el tipo de caso: Tiempo Historia – No lineal (FNA).
- Seleccionar tipo de carga: Aceleración.
- Se analiza en dirección U1= X y U2=Y.

- Ingresar el factor de escala descrito anteriormente dependiendo de la dirección que se quiera analizar y que período retorno también se desea analizar.
- Numero de pasos de tiempo de salida, se ingresa el número de pasos que se calculó en análisis de señales sísmicas.
- Tamaño del paso del tiempo de salida, se usará 0.01 segundos.
- Clic en Ok para crear el caso de carga.

#### 4.8 Análisis e interpretación de resultados del modelado de la edificación con base fija, para sismo con período de retorno de 475 años

A continuación, se presentarán los resultados obtenidos por el software computacional, donde, gracias a la metodología, análisis, criterio e interpretación de datos anteriormente considerados, se lograron obtener los resultados cuantitativos de las fuerzas cortantes, distorsiones, derivas y desplazamientos por cada nivel de piso que constituye a la edificación:

##### 4.8.1 Fuerzas cortantes en base al análisis del sismo estático

*Tabla 35. Tabla de resultados de la cortante basal en el análisis estático del modelado de base fija en el eje x*

CORTANTE BASAL SX		
PISO	ELEVACION	FUERZA (Kg)
Planta Maquinaria	40,4	8796,56
Piso 12	38,4	35265,39
Piso 11	35,2	176215,86
Piso 10	32	337220,3
Piso 9	28,8	481911,49
Piso 8	25,6	608571,56
Piso 7	22,4	723681,27
Piso 6	19,2	821501,27
Piso 5	16	905933,65
Piso 4	12,8	972882,33
Piso 3	9,6	1022467,03
Piso 2	6,4	1055353,18
Piso1	3,2	1070083,12
Subterráneo (Estacionamiento)	0	0

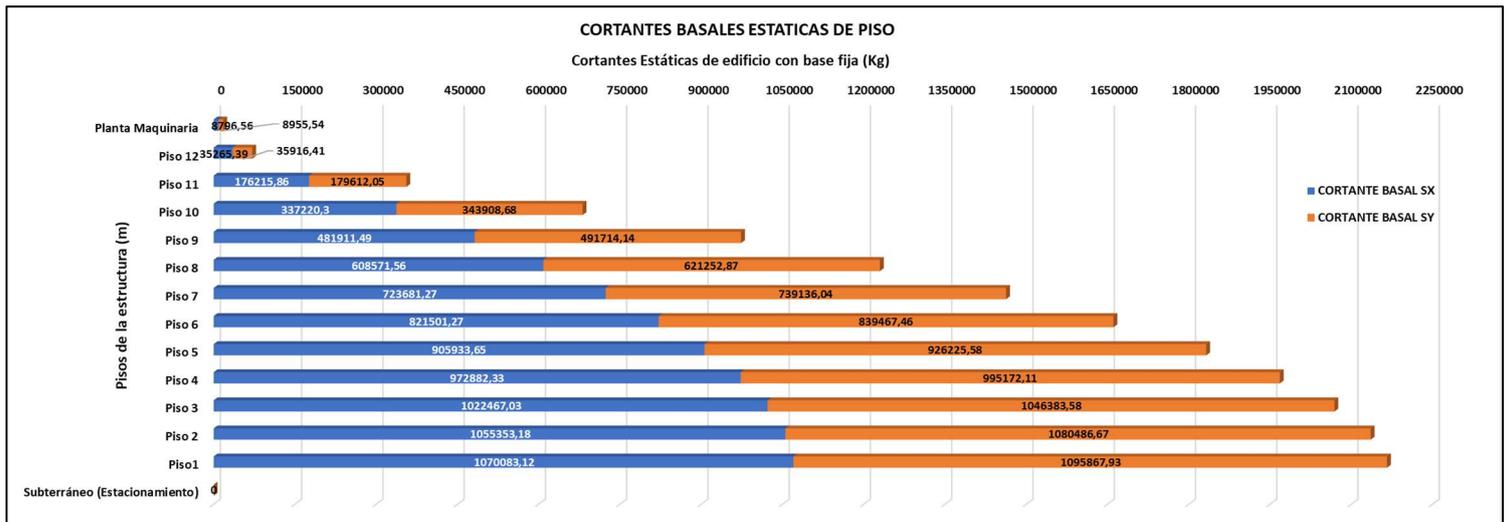
Fuente: Autor

*Tabla 36. Tabla de resultados de la cortante basal en el análisis estático del modelado de base fija en el eje y*

CORTANTE BASAL SY		
PISO	ELEVACION	FUERZA (Kg)
Planta Maquinaria	40,4	8955,54
Piso 12	38,4	35916,41
Piso 11	35,2	179612,05
Piso 10	32	343908,68
Piso 9	28,8	491714,14
Piso 8	25,6	621252,87
Piso 7	22,4	739136,04
Piso 6	19,2	839467,46
Piso 5	16	926225,58
Piso 4	12,8	995172,11
Piso 3	9,6	1046383,58
Piso 2	6,4	1080486,67
Piso1	3,2	1095867,93
Subterráneo (Estacionamiento)	0	0

Fuente: Autor

Figura 20. Gráfica de cortantes basales en el análisis estático del edificio de base fija



Fuente: Autor

#### 4.8.2 Fuerzas cortantes en base al análisis del sismo dinámico

Tabla 37. Tabla de resultados de la cortante basal en el análisis dinámico del modelado de base fija en el eje x

CORTANTE BASAL SDX		
PISO	ELEVACION	FUERZA (Kg)
Planta Maquinaria	40,4	9113,58
Piso 12	38,4	33526,52
Piso 11	35,2	153242,36
Piso 10	32	287257,21
Piso 9	28,8	407218,72
Piso 8	25,6	513030,23
Piso 7	22,4	610669,74
Piso 6	19,2	695086,32
Piso 5	16	769134,79
Piso 4	12,8	828538,59
Piso 3	9,6	872213,73
Piso 2	6,4	899534,42
Piso 1	3,2	909560,75
Subterráneo (Estacionamiento)	0	0

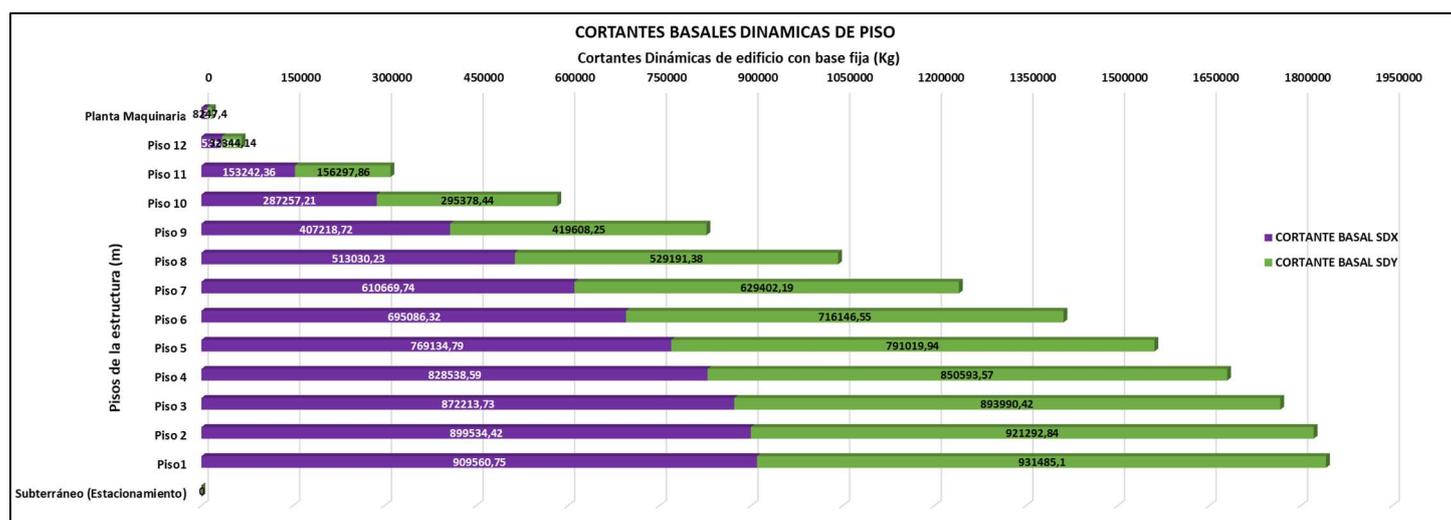
Fuente: Autor

Tabla 38. Tabla de resultados de la cortante basal en el análisis dinámico del modelado de base fija en el eje y

CORTANTE BASAL SDY		
PISO	ELEVACION	FUERZA (Kg)
Planta Maquinaria	40,4	8247,4
Piso 12	38,4	32344,14
Piso 11	35,2	156297,86
Piso 10	32	295378,44
Piso 9	28,8	419608,25
Piso 8	25,6	529191,38
Piso 7	22,4	629402,19
Piso 6	19,2	716146,55
Piso 5	16	791019,94
Piso 4	12,8	850593,57
Piso 3	9,6	893990,42
Piso 2	6,4	921292,84
Piso 1	3,2	931485,1
Subterráneo (Estacionamiento)	0	0

Fuente: Autor

Figura 21. Gráfica de cortantes basales en el análisis dinámico del edificio de base fija



Fuente: Autor

Los valores de cortante basal en el sismo estático son mayores que los resultados del modelado estructural ante el análisis del sismo dinámico, para el eje X solamente la cortante basal del piso de la maquinaria en el análisis de la cortante basal dinámica es superior que la estática, a diferencia del resto de niveles, el modelado estructural en base al análisis estático es superior que el dinámico en el resto de los niveles, y para el eje Y, todos las cortantes basales en el análisis estático son superiores que el dinámico, también, podemos apreciar que las cortantes basales máximas se encuentran en el piso 1:

**En el cortante basal estático en el eje X= 1070083.12 Ton**

**En el cortante basal estático en el eje Y= 1095867.93 Ton**

**En el cortante basal dinámico en el eje X= 909560.75 Ton**

**En el cortante basal dinámico en el eje Y= 931485.1 Ton**

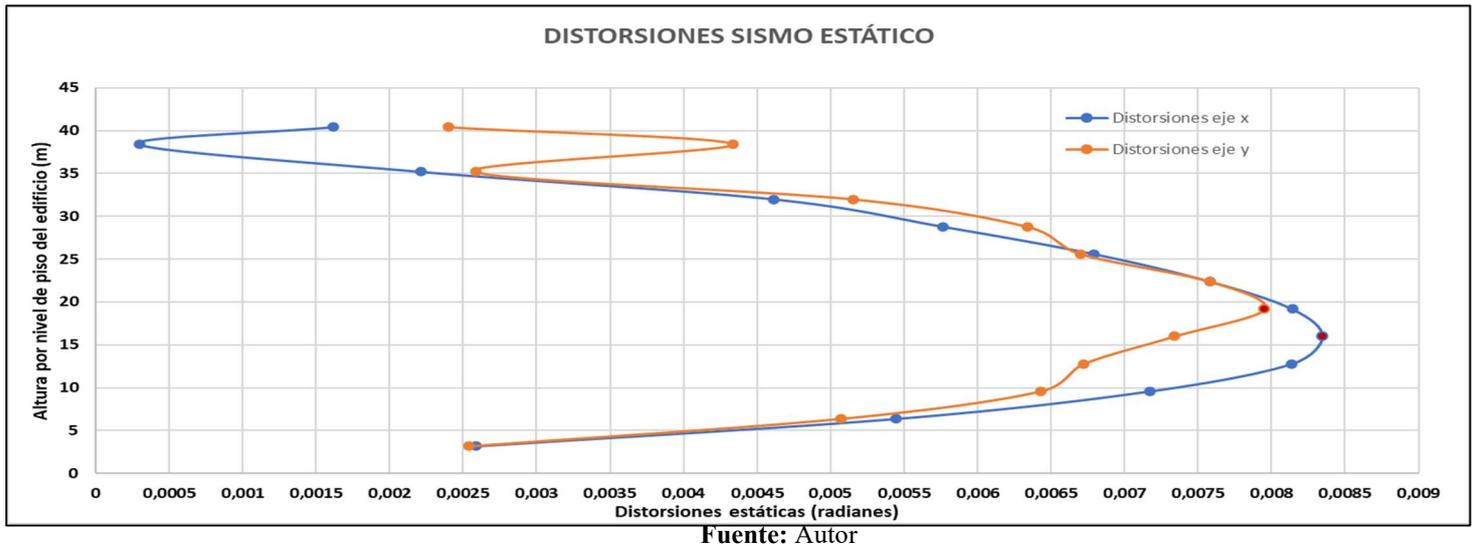
#### 4.8.3 Distorsiones en base al análisis del sismo estático

Tabla 39. Tabla de resultados de las distorsiones en el análisis estático del modelado de base fija en el eje x y eje y

Piso	Altura acumulada:	Altura Hi	Desplamientos Acumulados		Desplamientos por Piso		Factor		Desplazamiento Real		Distorsión (radianes)	
	m		Dx (m)	Dy (m)	Dx (m)	Dy (m)	0,75	R	Amp Dx	Amp Dy	X	Y
Planta Maquinaria	40,4	2	0,046996	0,041657	0,000718	0,001066	0,75	6	0,003231	0,004797	0,0016155	0,0023985
Piso 12	38,4	3,2	0,047714	0,042723	0,000211	0,003082	0,75	6	0,0009495	0,013869	0,00029672	0,00433406
Piso 11	35,2	3,2	0,047503	0,045805	0,001572	0,001839	0,75	6	0,007074	0,0082755	0,00221063	0,00258609
Piso 10	32	3,2	0,045931	0,043966	0,003279	0,003663	0,75	6	0,0147555	0,0164835	0,00461109	0,00515109
Piso 9	28,8	3,2	0,042652	0,040303	0,004099	0,004506	0,75	6	0,0184455	0,020277	0,00576422	0,00633656
Piso 8	25,6	3,2	0,038553	0,035797	0,004831	0,004766	0,75	6	0,0217395	0,021447	0,00679359	0,00670219
Piso 7	22,4	3,2	0,033722	0,031031	0,005392	0,005391	0,75	6	0,024264	0,0242595	0,0075825	0,00758109
Piso 6	19,2	3,2	0,02833	0,02564	0,005789	0,005657	0,75	6	0,0260505	0,0254565	0,00814078	0,00795516
Piso 5	16	3,2	0,022541	0,019983	0,005937	0,00522	0,75	6	0,0267165	0,02349	0,00834891	0,00734063
Piso 4	12,8	3,2	0,016604	0,014763	0,005788	0,00478	0,75	6	0,026046	0,02151	0,00813938	0,00672188
Piso 3	9,6	3,2	0,010816	0,009983	0,0051	0,004572	0,75	6	0,02295	0,020574	0,00717188	0,00642938
Piso 2	6,4	3,2	0,005716	0,005411	0,003874	0,003604	0,75	6	0,017433	0,016218	0,00544781	0,00506813
Piso 1	3,2	3,2	0,001842	0,001807	0,001842	0,001807	0,75	6	0,008289	0,0081315	0,00259031	0,00254109

Fuente: Autor

Figura 22. Gráfica de distorsiones en el análisis estático del edificio de base fija



Fuente: Autor

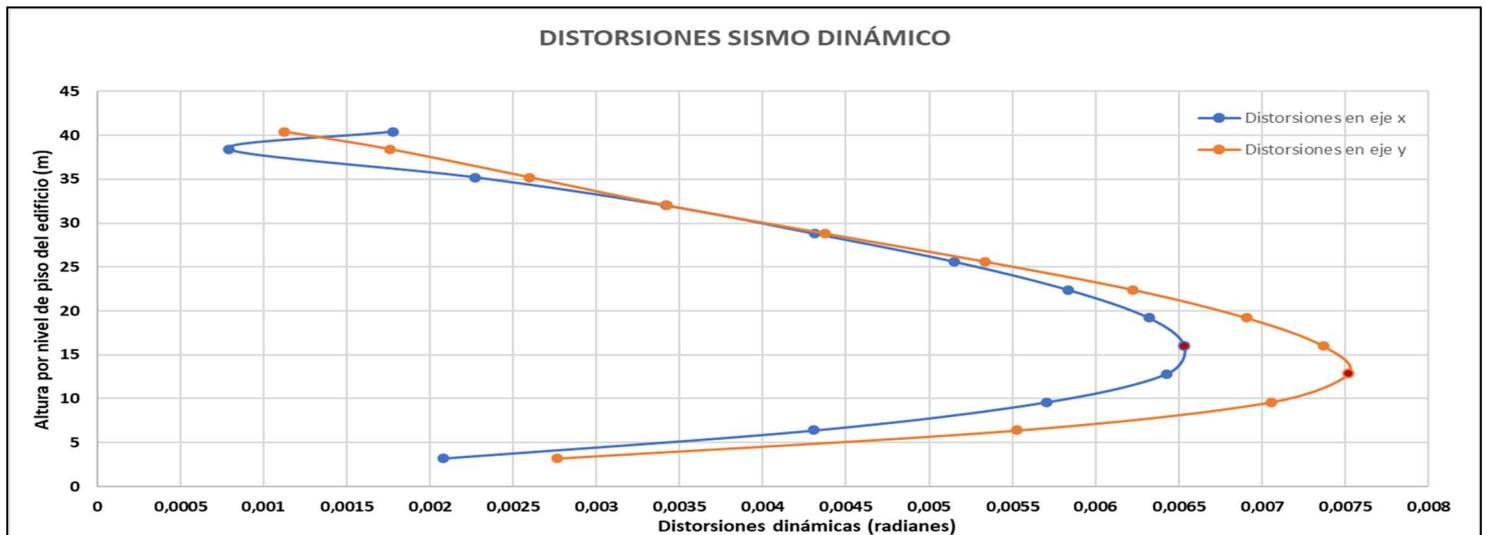
#### 4.8.4 Distorsiones en base al análisis del sismo dinámico

Tabla 40. Tabla de resultados de las distorsiones en el análisis dinámico del modelado de base fija en el eje x y eje y

Piso	Altura acumulada:	Altura Hi	Desplamiento Acumulado		Desplamiento por Piso		Factor		Desplazamiento Real		Distorsión (radianes)	
	m		m	Dx (m)	Dy (m)	Dx (m)	Dy (m)	0,75	R	Amp Dx	Amp Dy	X
Planta Maquinaria	40,4	2	0,038591	0,04378	0,00079	0,000501	0,75	6	0,003555	0,0022545	0,0017775	0,00112725
Piso 12	38,4	3,2	0,037801	0,043279	0,000564	0,001253	0,75	6	0,002538	0,0056385	0,00079313	0,00176203
Piso 11	35,2	3,2	0,037237	0,042026	0,001616	0,001849	0,75	6	0,007272	0,0083205	0,0022725	0,00260016
Piso 10	32	3,2	0,035621	0,040177	0,00243	0,002434	0,75	6	0,010935	0,010953	0,00341719	0,00342281
Piso 9	28,8	3,2	0,033191	0,037743	0,003065	0,003111	0,75	6	0,0137925	0,0139995	0,00431016	0,00437484
Piso 8	25,6	3,2	0,030126	0,034632	0,003663	0,003794	0,75	6	0,0164835	0,017073	0,00515109	0,00533531
Piso 7	22,4	3,2	0,026463	0,030838	0,004149	0,004425	0,75	6	0,0186705	0,0199125	0,00583453	0,00622266
Piso 6	19,2	3,2	0,022314	0,026413	0,004496	0,004911	0,75	6	0,020232	0,0220995	0,0063225	0,00690609
Piso 5	16	3,2	0,017818	0,021502	0,004648	0,00524	0,75	6	0,020916	0,02358	0,00653625	0,00736875
Piso 4	12,8	3,2	0,01317	0,016262	0,00457	0,005347	0,75	6	0,020565	0,0240615	0,00642656	0,00751922
Piso 3	9,6	3,2	0,0086	0,010915	0,004058	0,005017	0,75	6	0,018261	0,0225765	0,00570656	0,00705516
Piso 2	6,4	3,2	0,004542	0,005898	0,003064	0,003932	0,75	6	0,013788	0,017694	0,00430875	0,00552938
Piso 1	3,2	3,2	0,001478	0,001966	0,001478	0,001966	0,75	6	0,006651	0,008847	0,00207844	0,00276469

Fuente: Autor

Figura 23. Gráfica de distorsiones en el análisis estático del edificio de base fija



Fuente: Autor

Como podemos apreciar en las gráficas de distorsiones, el comportamiento que tiene la edificación ante el análisis de sismo estático es muy variable, ya que surgen ciertos relieves y curvas que incrementan y disminuyen consecutivamente, en cambio, analizando las distorsiones dinámicas, tiene un ascendencia y disminución de resultados de manera constante, y observando los resultados, podemos apreciar que las mayores distorsiones se generan en los niveles 4, 5 y 6, precisamente:

**Tabla 41.** Resumen de distorsiones máximas por cada eje del edificio con base fija

Distorsiones máximas del edificio de base fija		
Distorsiones máximas por eje:	Valor de la distorsión:	Piso
Distorsión máxima estática en el eje X	0,008349 radianes	5
Distorsión máxima estática en el eje Y	0,007955 radianes	6
Distorsión máxima dinámica en el eje X	0,006536 radianes	5
Distorsión máxima dinámica en el eje Y	0,0075192 radianes	4

Fuente: Autor

Como podemos apreciar, en el eje x la distorsión máxima estática es superior a la distorsión máxima dinámica, para el eje y, la distorsión máxima estática es superior que la distorsión máxima dinámica, eso quiere decir que el edificio tiene un comportamiento mucho más notable comprobando las distorsiones en el análisis del sismo estático en el piso 5 y en el piso 6, y por último, las distorsiones en el eje x, desde el nivel 1 hasta el nivel 10 la distorsión estática es superior que la dinámica, en el eje y, las distorsiones dinámicas son superiores desde el nivel 1 hasta el nivel 5.

#### 4.8.5 Derivas en base al análisis del sismo estático

**Tabla 42.** Resultados de derivas por el sismo estático del modelado de base fija en el eje x

Derivas Sismo Estatico x				
Story	Elevation	Location	X-Dir	Derivas
	m			%
Planta Maquinaria	40,4	Top	0,000491	0,22095
Piso 12	38,4	Top	0,000587	0,26415
Piso 11	35,2	Top	0,000775	0,34875
Piso 10	32	Top	0,001002	0,4509
Piso 9	28,8	Top	0,001253	0,56385
Piso 8	25,6	Top	0,001478	0,6651
Piso 7	22,4	Top	0,001651	0,74295
Piso 6	19,2	Top	0,001773	0,79785
Piso 5	16	Top	0,001819	0,81855
Piso 4	12,8	Top	0,001775	0,79875
Piso 3	9,6	Top	0,001566	0,7047
Piso 2	6,4	Top	0,001179	0,53055
Piso 1	3,2	Top	0,000576	0,2592
Subterráneo (Estacionamiento)	0	Top	0	0

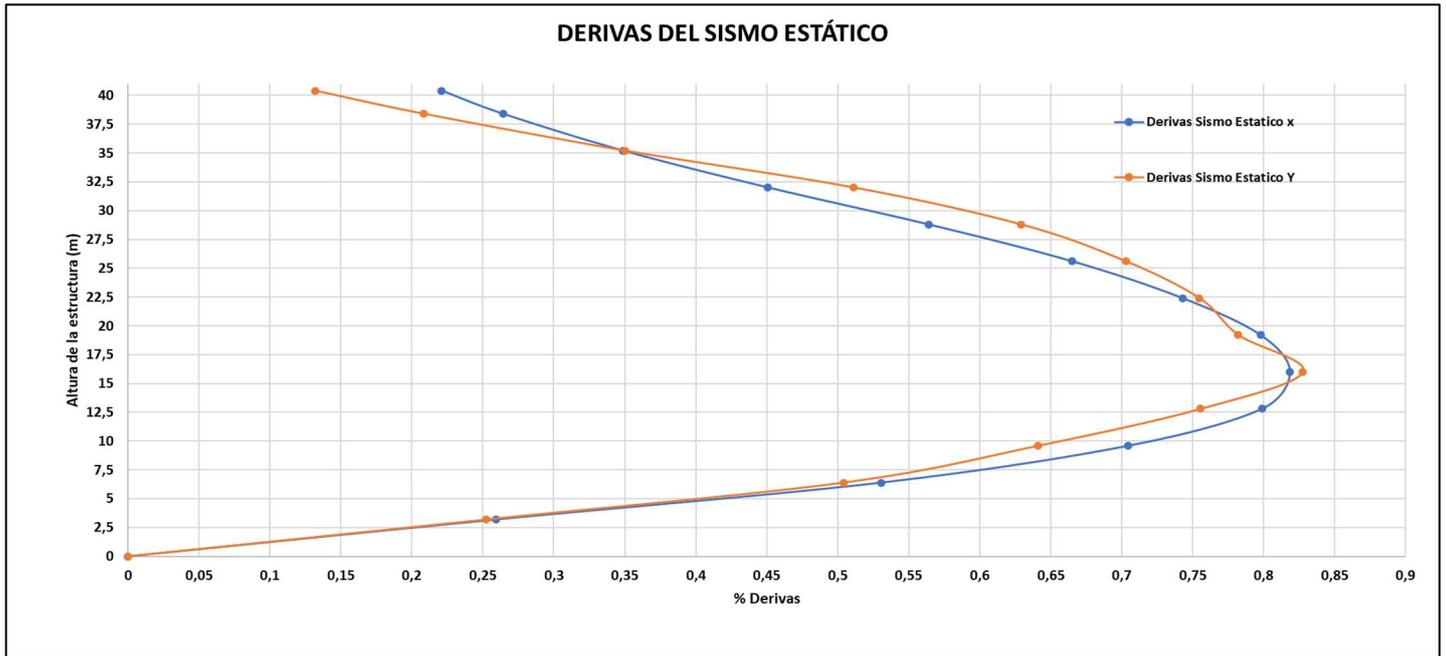
Fuente: Autor

**Tabla 43.** Resultados de derivas por el sismo estático del modelado de base fija en el eje y

Derivas Sismo Estatico Y				
Story	Elevation	Location	Y-Dir	Derivas
	m			%
Planta Maquinaria	40,4	Top	0,000293	0,13185
Piso 12	38,4	Top	0,000463	0,20835
Piso 11	35,2	Top	0,000778	0,3501
Piso 10	32	Top	0,001136	0,5112
Piso 9	28,8	Top	0,001398	0,6291
Piso 8	25,6	Top	0,001562	0,7029
Piso 7	22,4	Top	0,001677	0,75465
Piso 6	19,2	Top	0,001738	0,7821
Piso 5	16	Top	0,001839	0,82755
Piso 4	12,8	Top	0,001679	0,75555
Piso 3	9,6	Top	0,001425	0,64125
Piso 2	6,4	Top	0,00112	0,504
Piso 1	3,2	Top	0,000561	0,25245
Subterráneo (Estacionamiento)	0	Top	0	0

Fuente: Autor

Figura 24. Gráfica de derivas en el análisis estático del edificio de base fija



Fuente: Autor

#### 4.8.6 Derivas en base al análisis del sismo dinámico

Tabla 44. Resultados de las derivas en el análisis dinámico del modelado de base fija en el eje x

Derivas Sismo Dinámico x				
Story	Elevation	Location	X-Dir	Derivas
	m			%
Planta Maquinaria	40,4	Top	0,000414	0,1863
Piso 12	38,4	Top	0,000483	0,21735
Piso 11	35,2	Top	0,000609	0,27405
Piso 10	32	Top	0,000781	0,35145
Piso 9	28,8	Top	0,000977	0,43965
Piso 8	25,6	Top	0,001159	0,52155
Piso 7	22,4	Top	0,001304	0,5868
Piso 6	19,2	Top	0,001406	0,6327
Piso 5	16	Top	0,001448	0,6516
Piso 4	12,8	Top	0,001421	0,63945
Piso 3	9,6	Top	0,00126	0,567
Piso 2	6,4	Top	0,000949	0,42705
Piso1	3,2	Top	0,000462	0,2079
Subterráneo (Estacionamiento)	0	Top	0	0

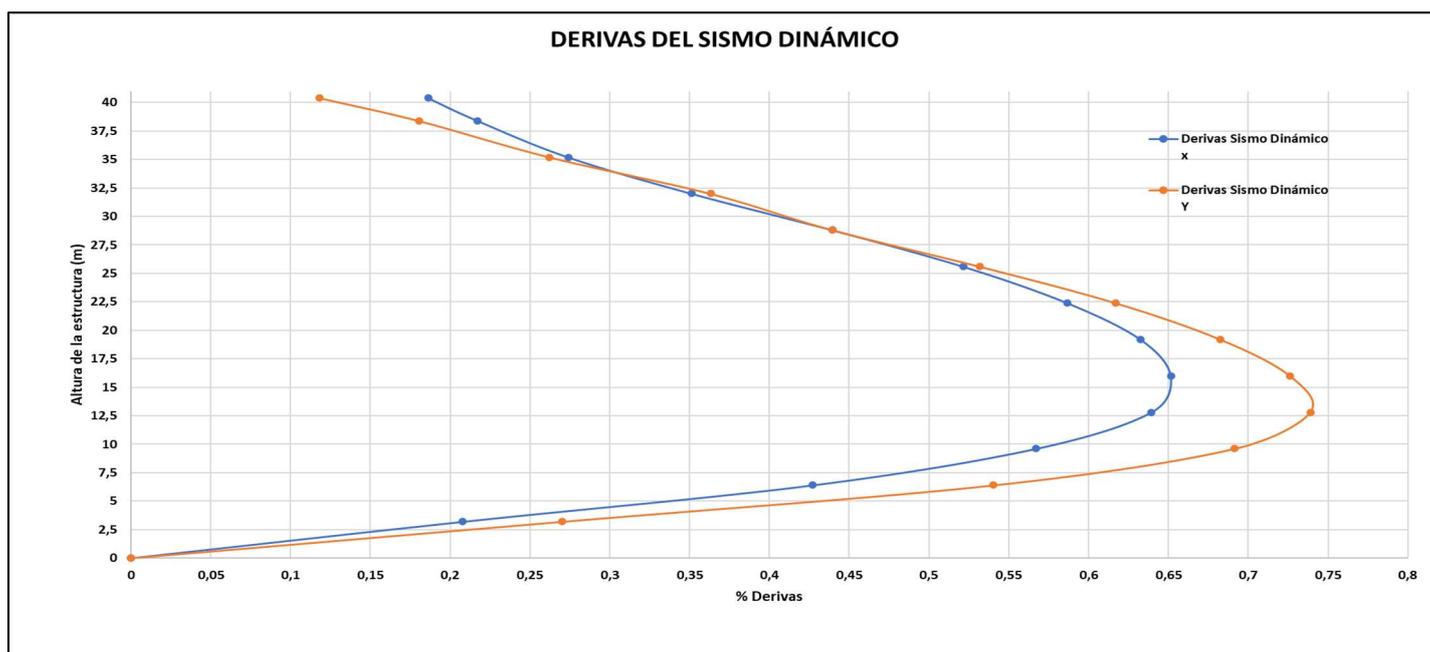
Fuente: Autor

Tabla 45. Resultados de las derivas en el análisis dinámico del modelado de base fija en el eje y

Derivas Sismo Dinámico Y				
Story	Elevation	Location	Y-Dir	Derivas
	m			%
Planta Maquinaria	40,4	Top	0,000263	0,11835
Piso 12	38,4	Top	0,000401	0,18045
Piso 11	35,2	Top	0,000583	0,26235
Piso 10	32	Top	0,000807	0,36315
Piso 9	28,8	Top	0,000977	0,43965
Piso 8	25,6	Top	0,001182	0,5319
Piso 7	22,4	Top	0,001371	0,61695
Piso 6	19,2	Top	0,001517	0,68265
Piso 5	16	Top	0,001614	0,7263
Piso 4	12,8	Top	0,001642	0,7389
Piso 3	9,6	Top	0,001536	0,6912
Piso 2	6,4	Top	0,001201	0,54045
Piso1	3,2	Top	0,0006	0,27
Subterráneo (Estacionamiento)	0	Top	0	0

Fuente: Autor

Figura 25. Gráfica de derivas en el análisis dinámico del edificio de base fija



Fuente: Autor

En el caso del análisis de los resultados para las derivas tanto estáticas como dinámicas, si podemos apreciar, tienen casi la misma figura que las distorsiones, ahora bien, analizando los resultados de las derivas con el sismo estático, presenta ciertas variabilidad en su figura, mientras que las derivas del sismo dinámico mantienen una secuencia constante, y en base a la parte numérica, encontramos que las derivas en el eje X son mayores evaluando el sismo estático, mientras que las derivas del sismo dinámico son mayores en el piso de la planta maquinaria y del piso 12, mientras que desde el piso 1 hasta el piso 11 son superiores las derivas estáticas, por lo cual, se resume las derivas máximas y en que piso se encuentran tanto en el análisis de las derivas estáticas como dinámicas:

Tabla 46. Resumen de derivas máximas por cada eje del edificio con base fija

Derivas máximas del edificio de base fija		
Derivas máximas por eje:	Valor de la deriva (%):	Piso
Deriva máxima estática en el eje X	0,8186%	5
Deriva máxima estática en el eje Y	0,8276%	5
Deriva máxima dinámica en el eje X	0,6516%	5
Deriva máxima dinámica en el eje Y	0,7389%	4

Fuente: Autor

#### 4.8.7 Desplazamientos en base al análisis del sismo estático

**Tabla 47.** Resultados de los desplazamientos en el análisis estático del modelado de base fija en el eje x

Desplazamiento SX		
PISO	ELEVACION	m
Planta Maquinaria	40,4	0,046996
Piso 12	38,4	0,047714
Piso 11	35,2	0,047503
Piso 10	32	0,045931
Piso 9	28,8	0,042652
Piso 8	25,6	0,038553
Piso 7	22,4	0,033722
Piso 6	19,2	0,02833
Piso 5	16	0,022541
Piso 4	12,8	0,016604
Piso 3	9,6	0,010816
Piso 2	6,4	0,005716
Piso1	3,2	0,001842
Subterráneo (Estacionamiento)	0	0,001584

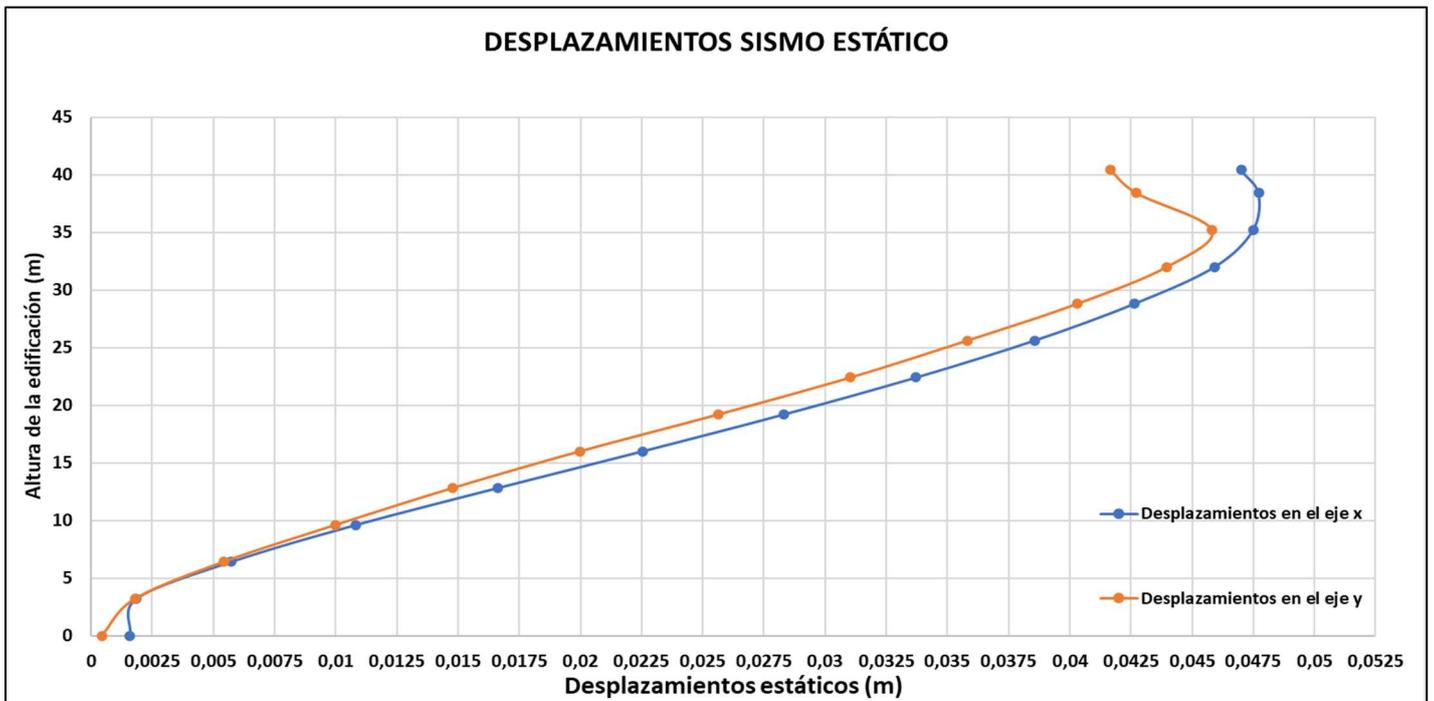
Fuente: Autor

**Tabla 48.** Resultados de los desplazamientos en el análisis estático del modelado de base fija en el eje y

Desplazamiento SY		
PISO	ELEVACION	m
Planta Maquinaria	40,4	0,041657
Piso 12	38,4	0,042723
Piso 11	35,2	0,045805
Piso 10	32	0,043966
Piso 9	28,8	0,040303
Piso 8	25,6	0,035797
Piso 7	22,4	0,031031
Piso 6	19,2	0,02564
Piso 5	16	0,019983
Piso 4	12,8	0,014763
Piso 3	9,6	0,009983
Piso 2	6,4	0,005411
Piso1	3,2	0,001807
Subterráneo (Estacionamiento)	0	0,000442

Fuente: Autor

**Figura 26.** Gráfica de desplazamientos en el análisis estático del edificio de base fija



Fuente: Autor

#### 4.8.8 Desplazamientos en base al análisis del sismo dinámico

**Tabla 49.** Resultados de los desplazamientos en el análisis dinámico del modelado de base fija en el eje x

Desplazamiento SDX		
PISO	ELEVACION	m
Planta Maquinaria	40,4	0,038591
Piso 12	38,4	0,037801
Piso 11	35,2	0,037237
Piso 10	32	0,035621
Piso 9	28,8	0,033191
Piso 8	25,6	0,030126
Piso 7	22,4	0,026463
Piso 6	19,2	0,022314
Piso 5	16	0,017818
Piso 4	12,8	0,01317
Piso 3	9,6	0,0086
Piso 2	6,4	0,004542
Piso1	3,2	0,001478
Subterráneo (Estacionamiento)	0	0,001289

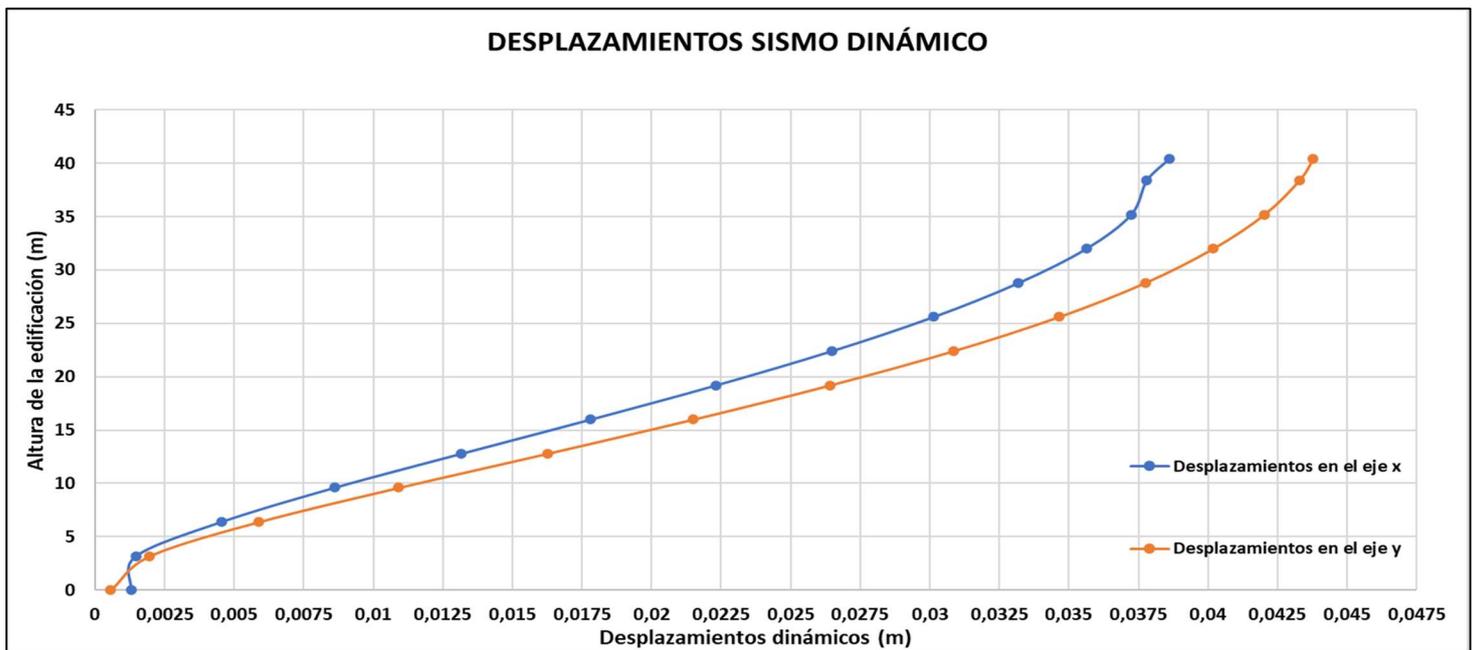
Fuente: Autor

**Tabla 50.** Resultados de los desplazamientos en el análisis dinámico del modelado de base fija en el eje y

Desplazamiento SDY		
PISO	ELEVACION	m
Planta Maquinaria	40,4	0,04378
Piso 12	38,4	0,043279
Piso 11	35,2	0,042026
Piso 10	32	0,040177
Piso 9	28,8	0,037743
Piso 8	25,6	0,034632
Piso 7	22,4	0,030838
Piso 6	19,2	0,026413
Piso 5	16	0,021502
Piso 4	12,8	0,016262
Piso 3	9,6	0,010915
Piso 2	6,4	0,005898
Piso1	3,2	0,001966
Subterráneo (Estacionamiento)	0	0,000556

Fuente: Autor

**Figura 27.** Gráfica de desplazamientos en el análisis dinámico del edificio de base fija



Fuente: Autor

Como podemos analizar los análisis tanto estático como dinámico, la edificación tiene un comportamiento muy variado, ya que, según los resultados obtenidos por el software computacional, se puede denotar que en el eje x, todos los desplazamientos estáticos son

mayores que los desplazamientos del análisis dinámico, lo cual, ocurre muy distinto para el eje y, ya que, los desplazamientos estáticos son mayores que los dinámicos desde el piso 7 hasta el piso 10, mientras que el resto de pisos el mayor es el desplazamiento dinámico, por último, es importante aclarar que el objetivo del proyecto técnico presente es poder integrar un sistema de control sísmico el cual entregue una eficacia en la rigidez, control de aceleraciones y cumplimiento de la filosofía del diseño sismorresistente, además, se requiere que cuando se evalúen los resultados de la edificación con la integración de los aisladores de  $K=100$  Ton/m (edificio con base aislada) alcanzar desplazamientos cercanos a los 60 cm, e incluso tengan cierta relación el análisis y cálculo de la metodología otorgada por la ASCE 7 con dichos resultados obtenidos por las señales sísmicas en el modelado estructural, a continuación se presentarán los desplazamientos máximos tanto estáticos como dinámicos por cada eje:

*Tabla 51. Resumen de desplazamientos máximas por cada eje del edificio con base fija*

<b>Derivas máximas del edificio de base fija</b>		
<b>Desplazamientos máximos por eje:</b>	<b>Valor del desplazamiento (m):</b>	<b>Piso</b>
<b>Desplazamiento máximo estático en el eje X</b>	0,0477 m	12
<b>Desplazamiento máximo estático en el eje Y</b>	0,04581 m	11
<b>Desplazamiento máximo dinámico en el eje X</b>	0,03859 m	Planta maquinaria
<b>Desplazamiento máximo dinámico en el eje Y</b>	0,04378 m	Planta maquinaria

**Fuente:** Autor

#### 4.9 Análisis e interpretación de resultados del modelado de la edificación con base aislada, para sismo con período de retorno de 2500 años

A continuación, se presentarán los resultados obtenidos con la implementación de sismo extremo (2500 años) por el software computacional, donde, gracias a la metodología, análisis, criterio e interpretación de datos anteriormente considerados, se lograron obtener los resultados cuantitativos de las fuerzas cortantes, distorsiones, derivas y desplazamientos por cada nivel de piso que constituye a la edificación:

##### 4.9.1 Fuerzas cortantes en base al análisis del sismo estático

**Tabla 52.** Tabla de resultados de la cortante basal en el análisis estático del modelado de base aislada en el eje x

CORTANTE BASAL SX			
PISO	ELEVACION	FUERZA (Ton)	FUERZA (Ton)
CUB. MAQ. 13	40,4	-19,0367	19,0367
AZOTEA 12	38,4	-74,0208	74,0208
Piso 11	35,2	-347,0917	347,0917
Piso 10	32	-636,2417	636,2417
Piso 9	28,8	-875,3959	875,3959
Piso 8	25,6	-1066,4029	1066,4029
Piso 7	22,4	-1223,0942	1223,0942
Piso 6	19,2	-1341,6769	1341,6769
Piso 5	16	-1431,2467	1431,2467
Piso 4	12,8	-1491,955	1491,955
Piso 3	9,6	-1529,1473	1529,1473
Piso 2	6,4	-1548,6113	1548,6113
Piso1	3,2	-1555,128	1555,128
B. AISL.	0	-1555,5939	1555,5939
SUELO	-1,3	0	0

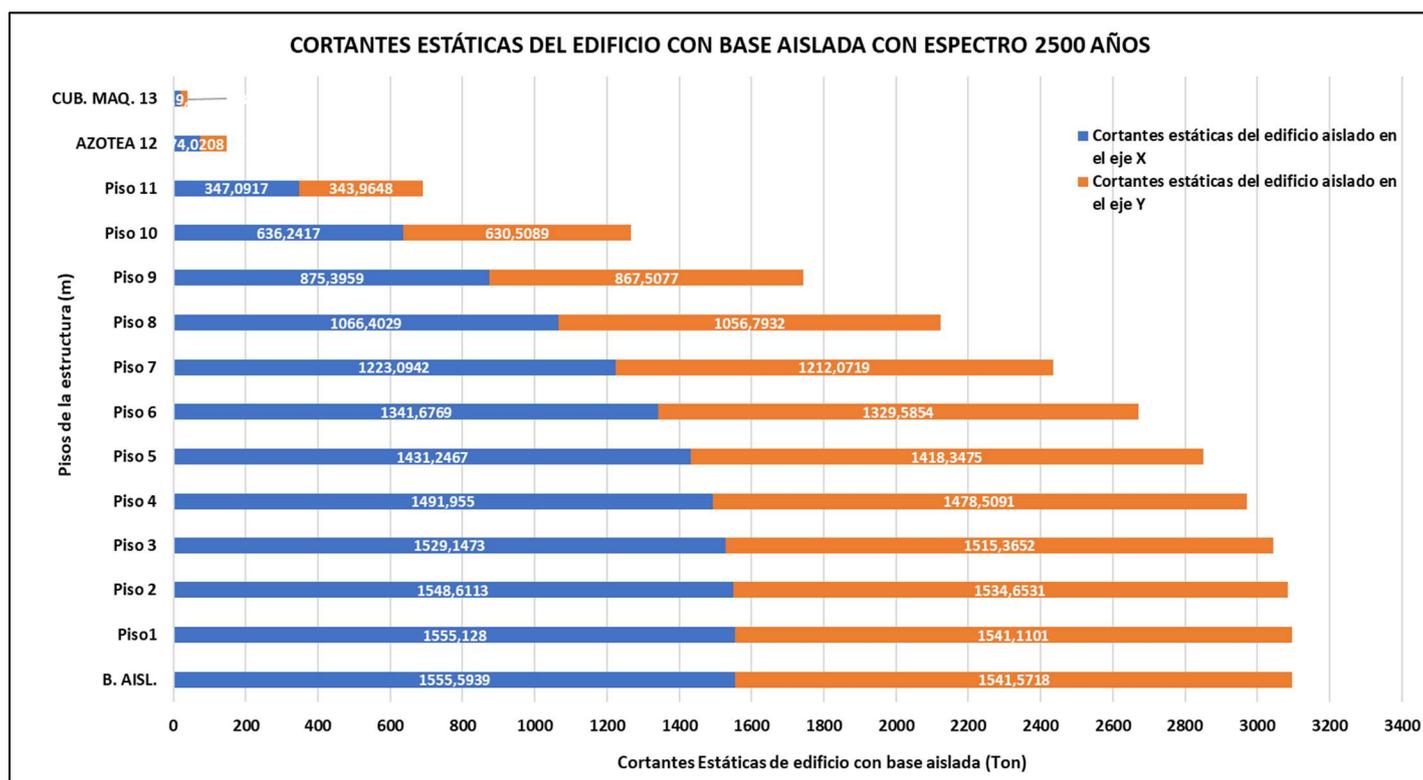
Fuente: Autor

**Tabla 53.** Tabla de resultados de la cortante basal en el análisis estático del modelado de base aislada en el eje y

CORTANTE BASAL SY			
PISO	ELEVACION	FUERZA (Ton)	FUERZA (Ton)
CUB. MAQ. 13	40,4	-18,8652	18,8652
AZOTEA 12	38,4	-73,354	73,354
N11	35,2	-343,9648	343,9648
N10	32	-630,5089	630,5089
N9	28,8	-867,5077	867,5077
N8	25,6	-1056,7932	1056,7932
N7	22,4	-1212,0719	1212,0719
N6	19,2	-1329,5854	1329,5854
N5	16	-1418,3475	1418,3475
N4	12,8	-1478,5091	1478,5091
N3	9,6	-1515,3652	1515,3652
N2	6,4	-1534,6531	1534,6531
N1	3,2	-1541,1101	1541,1101
B. AISL.	0	-1541,5718	1541,5718
SUELO	-1,3	0	0

Fuente: Autor

Figura 28. Gráfica de cortantes basales en el análisis estático del edificio de base aislada



Fuente: Autor

#### 4.9.2 Fuerzas cortantes en base al análisis del sismo dinámico

Tabla 54. Tabla de resultados de la cortante basal en el análisis dinámico del modelado de base aislada en el eje x

CORTANTE BASAL SDX			
PISO	ELEVACION	FUERZA (Ton)	FUERZA (Ton)
CUB. MAQ. 13	40,4	4,6652	4,6652
AZOTEA 12	38,4	19,4142	19,4142
Piso 11	35,2	105,0346	105,0346
Piso 10	32	212,4671	212,4671
Piso 9	28,8	319,5182	319,5182
Piso 8	25,6	424,7311	424,7311
Piso 7	22,4	533,9746	533,9746
Piso 6	19,2	642,6235	642,6235
Piso 5	16	756,1081	756,1081
Piso 4	12,8	870,3757	870,3757
Piso 3	9,6	986,1788	986,1788
Piso 2	6,4	1106,4167	1106,4167
Piso1	3,2	1223,2042	1223,2042
B. AISL.	0	1322,2677	1322,2677
SUELO	-1,3	0	0

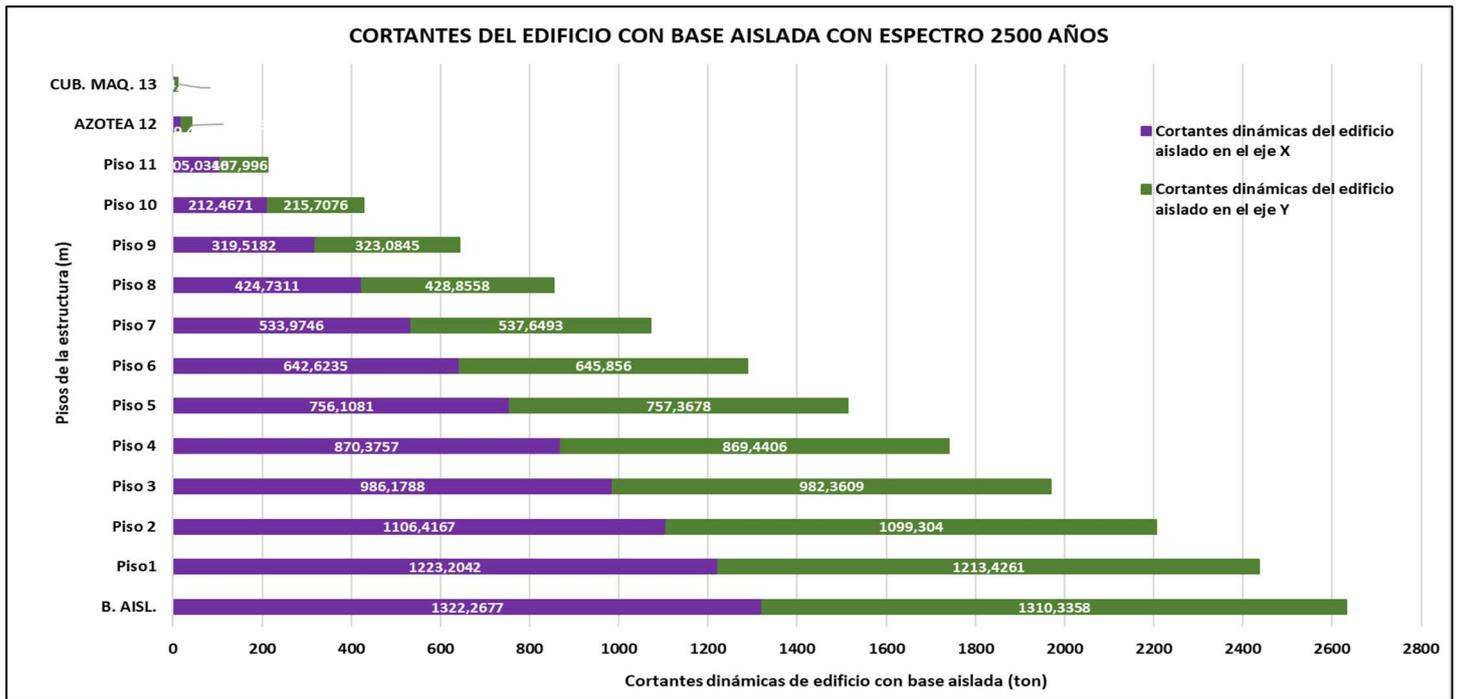
Fuente: Autor

Tabla 55. Tabla de resultados de la cortante basal en el análisis dinámico del modelado de base aislada en el eje y

CORTANTE BASAL SDY			
PISO	ELEVACION	FUERZA (Ton)	FUERZA (Ton)
CUB. MAQ. 13	40,4	5,3506	5,3506
AZOTEA 12	38,4	21,5616	21,5616
Piso 11	35,2	107,9962	107,9962
Piso 10	32	215,7076	215,7076
Piso 9	28,8	323,0845	323,0845
Piso 8	25,6	428,8558	428,8558
Piso 7	22,4	537,6493	537,6493
Piso 6	19,2	645,856	645,856
Piso 5	16	757,3678	757,3678
Piso 4	12,8	869,4406	869,4406
Piso 3	9,6	982,3609	982,3609
Piso 2	6,4	1099,304	1099,304
Piso1	3,2	1213,4261	1213,4261
B. AISL.	0	1310,3358	1310,3358
SUELO	-1,3	0	0

Fuente: Autor

Figura 29. Gráfica de cortantes basales en el análisis dinámico del edificio de base aislada



Fuente: Autor

Los valores de cortante basal en el sismo estático son mayores que los resultados del modelado estructural ante el análisis del sismo dinámico y para el eje Y, todos las cortantes basales en el análisis estático son superiores que el dinámico, también, podemos apreciar que las cortantes basales máximas se encuentran en el piso 1:

**En el cortante basal estático en el eje X= 1555,5939 Ton**

**En el cortante basal estático en el eje Y= 1541,5718 Ton**

**En el cortante basal dinámico en el eje X= 1322,2677 Ton**

**En el cortante basal dinámico en el eje Y= 1310,3358 Ton**

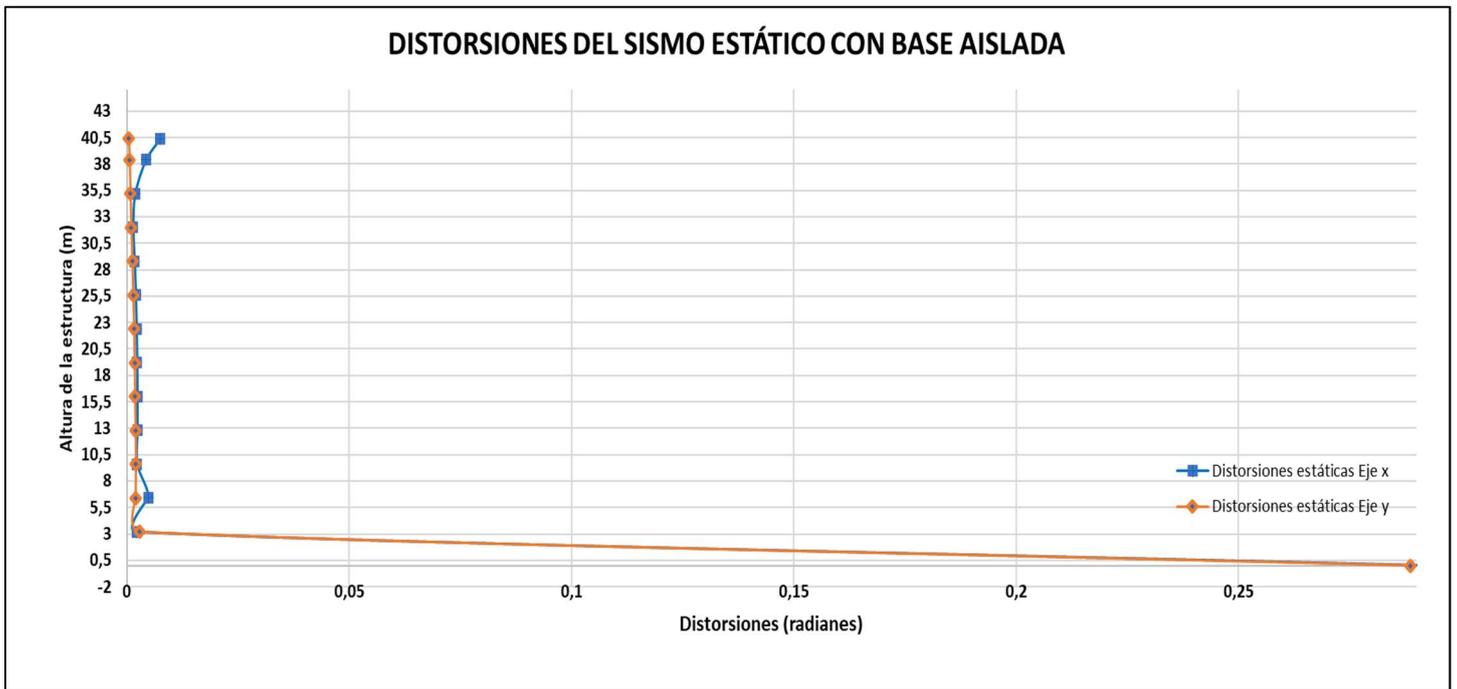
### 4.9.3 Distorsiones en base al análisis del sismo estático

Tabla 56. Tabla de resultados de las distorsiones en el análisis estático del modelado de base aislada en el eje x y eje y

Piso	Altura acumulada:	Altura Hi	Desplamientos Acumulados		Desplamientos por Piso		Factor		Desplazamiento Real		Distorsión (radianes)	
	m	m	Dx (m)	Dy (m)	Dx (m)	Dy (m)	0,75	R	Amp Dx	Amp Dy	X	Y
CUB. MAQ. 13	40,4	2	0,560807	0,581161	0,019862	0,001064	0,75	1	0,0148965	0,000798	0,00744825	0,000399
AZOTEA 12	38,4	3,2	0,580669	0,580097	0,018118	0,002434	0,75	1	0,0135885	0,0018255	0,00424641	0,00057047
N11	35,2	3,2	0,598787	0,577663	0,007751	0,003272	0,75	1	0,00581325	0,002454	0,00181664	0,00076688
N10	32	3,2	0,606538	0,574391	0,005993	0,004093	0,75	1	0,00449475	0,00306975	0,00140461	0,0009593
N9	28,8	3,2	0,600545	0,570298	0,007324	0,005006	0,75	1	0,005493	0,0037545	0,00171656	0,00117328
N8	25,6	3,2	0,593221	0,565292	0,008421	0,00591	0,75	1	0,00631575	0,0044325	0,00197367	0,00138516
N7	22,4	3,2	0,5848	0,559382	0,009177	0,006734	0,75	1	0,00688275	0,0050505	0,00215086	0,00157828
N6	19,2	3,2	0,575623	0,552648	0,009687	0,007291	0,75	1	0,00726525	0,00546825	0,00227039	0,00170883
N5	16	3,2	0,565936	0,545357	0,009898	0,007718	0,75	1	0,0074235	0,0057885	0,00231984	0,00180891
N4	12,8	3,2	0,556038	0,537639	0,009922	0,008121	0,75	1	0,0074415	0,00609075	0,00232547	0,00190336
N3	9,6	3,2	0,546116	0,529518	0,009718	0,008446	0,75	1	0,0072885	0,0063345	0,00227766	0,00197953
N2	6,4	3,2	0,536398	0,521072	0,02031	0,008414	0,75	1	0,0152325	0,0063105	0,00476016	0,00197203
N1	3,2	3,2	0,516088	0,512658	0,009331	0,012174	0,75	1	0,00699825	0,0091305	0,00218695	0,00285328
B. AISL.	1,3	1,3	0,506757	0,500484	0,506757	0,500484	0,75	1	0,38006775	0,375363	0,29235981	0,28874077
SUELO		0										

Fuente: Autor

Figura 30. Gráfica de distorsiones en el análisis estático del edificio de base aislada



Fuente: Autor

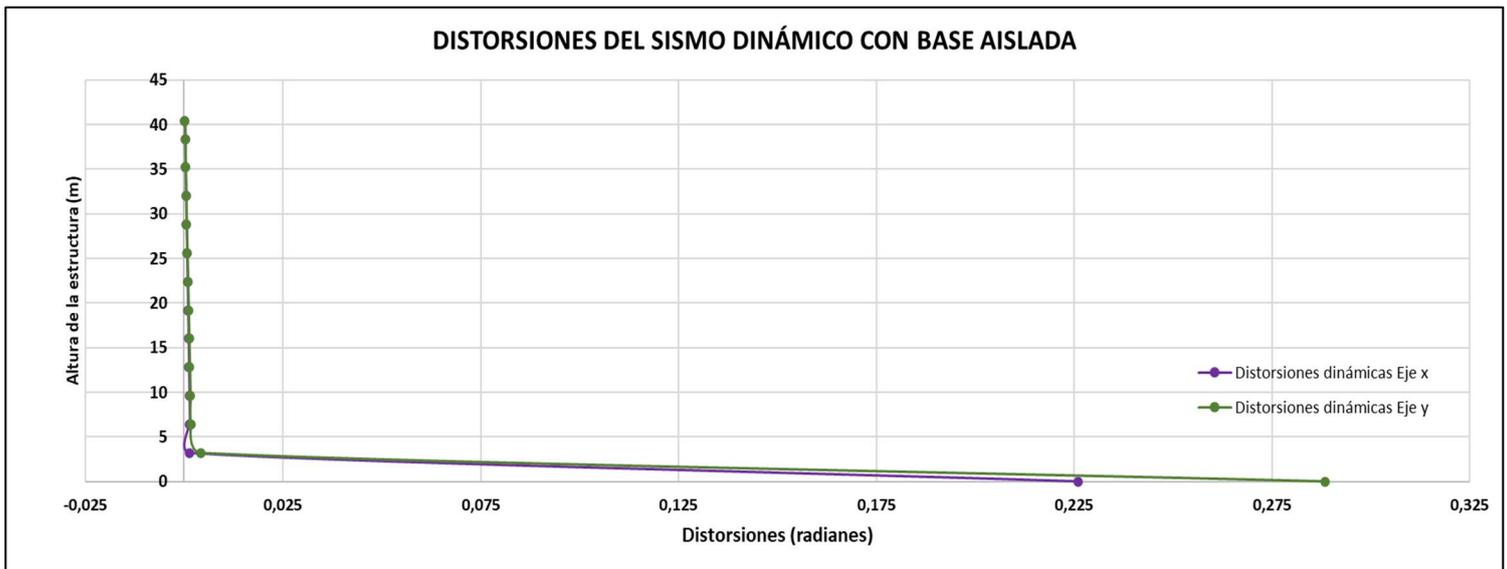
#### 4.9.4 Distorsiones en base al análisis del sismo dinámico

Tabla 57. Tabla de resultados de las distorsiones en el análisis dinámico del modelado de base aislada en el eje x y eje y

Piso	Altura acumulada:	Altura Hi	Desplamientos Acumulados		Desplamientos por Piso		Factor		Desplamiento Real		Distorsión (radianes)	
	m	m	Dx (m)	Dy (m)	Dx (m)	Dy (m)	0,75	R	Amp Dx	Amp Dy	X	Y
CUB. MAQ. 13	40,4	2	0,438125	0,563581	0,000564	0,000388	0,75	1	0,000423	0,000291	0,0002115	0,0001455
AZOTEA 12	38,4	3,2	0,437561	0,563193	0,001075	0,001041	0,75	1	0,00080625	0,00078075	0,00025195	0,00024398
N11	35,2	3,2	0,436486	0,562152	0,001421	0,001597	0,75	1	0,00106575	0,00119775	0,00033305	0,0003743
N10	32	3,2	0,435065	0,560555	0,001936	0,002115	0,75	1	0,001452	0,00158625	0,00045375	0,0004957
N9	28,8	3,2	0,433129	0,55844	0,00249	0,002743	0,75	1	0,0018675	0,00205725	0,00058359	0,00064289
N8	25,6	3,2	0,430639	0,555697	0,003076	0,003422	0,75	1	0,002307	0,0025665	0,00072094	0,00080203
N7	22,4	3,2	0,427563	0,552275	0,003647	0,004121	0,75	1	0,00273525	0,00309075	0,00085477	0,00096586
N6	19,2	3,2	0,423916	0,548154	0,004189	0,004786	0,75	1	0,00314175	0,0035895	0,0009818	0,00112172
N5	16	3,2	0,419727	0,543368	0,004693	0,005436	0,75	1	0,00351975	0,004077	0,00109992	0,00127406
N4	12,8	3,2	0,415034	0,537932	0,005188	0,006105	0,75	1	0,003891	0,00457875	0,00121594	0,00143086
N3	9,6	3,2	0,409846	0,531827	0,005631	0,006735	0,75	1	0,00422325	0,00505125	0,00131977	0,00157852
N2	6,4	3,2	0,404215	0,525092	0,00613	0,007147	0,75	1	0,0045975	0,00536025	0,00143672	0,00167508
N1	3,2	3,2	0,398085	0,517945	0,006245	0,017899	0,75	1	0,00468375	0,01342425	0,00146367	0,00419508
B. AISL.	1,3	1,3	0,39184	0,500046	0,39184	0,500046	0,75	1	0,29388	0,3750345	0,22606154	0,28848808
SUELO		0										

Fuente: Autor

Figura 31. Gráfica de distorsiones en el análisis dinámico del edificio de base



Fuente: Autor

Como podemos apreciar en las gráficas de distorsiones, el comportamiento que tiene la edificación ante el análisis de sismo estático es muy variable, ya que surgen ciertos relieves y curvas que incrementan y disminuyen consecutivamente, en cambio, analizando las distorsiones dinámicas, tiene un ascendencia y disminución de resultados de manera constante, y observando los resultados, podemos apreciar que las mayores distorsiones se generan en los niveles 1 y cubículo de máquina del nivel 13 de la superestructura precisamente:

**Tabla 58.** Resumen de distorsiones máximas por cada eje del edificio con base aislada

Distorsiones máximas del edificio de base aislada		
Distorsiones máximas por eje:	Valor de la distorsión:	Piso
Distorsión máxima estática en el eje X	0,292359808 radianes	Base Aisl.
Distorsión máxima estática en el eje Y	0,288740769 radianes	Base Aisl.
Distorsión máxima dinámica en el eje X	0,226061538 radianes	Base Aisl.
Distorsión máxima dinámica en el eje Y	0,288488077 radianes	Base Aisl.

Fuente: Autor

Como podemos apreciar para la superestructura, en el eje x la distorsión máxima estática es superior a la distorsión máxima dinámica, para el eje y, la distorsión máxima estática es superior que la distorsión máxima dinámica, eso quiere decir que el edificio tiene un comportamiento mucho más notable comprobando las distorsiones en el análisis del sismo estático en el piso 13 y en el piso 1, y por último, las distorsiones en el eje x, desde el nivel 1 hasta el nivel 13 la distorsión estática es superior que la dinámica, en el eje y ocurre lo mismo.

#### 4.9.5 Derivas en base al análisis del sismo estático

**Tabla 59.** Resultados de derivas por el sismo estático del modelado de base aislada en el eje x

Sismo Estático x				
Story	Elevation	Location	X-Dir	Derivas
	m			%
CUB. MAQ. 13	40,4	Top	0,00094	0,0705
AZOTEA 12	38,4	Top	0,001113	0,083475
N11	35,2	Top	0,001443	0,108225
N10	32	Top	0,001832	0,1374
N9	28,8	Top	0,002238	0,16785
N8	25,6	Top	0,002576	0,1932
N7	22,4	Top	0,00281	0,21075
N6	19,2	Top	0,002968	0,2226
N5	16	Top	0,003034	0,22755
N4	12,8	Top	0,003045	0,228375
N3	9,6	Top	0,002987	0,224025
N2	6,4	Top	0,00291	0,21825
N1	3,2	Top	0,002916	0,2187
B. AISL.	1,3	Top	0,389813	29,235975
SUELO	0	Top	0	0

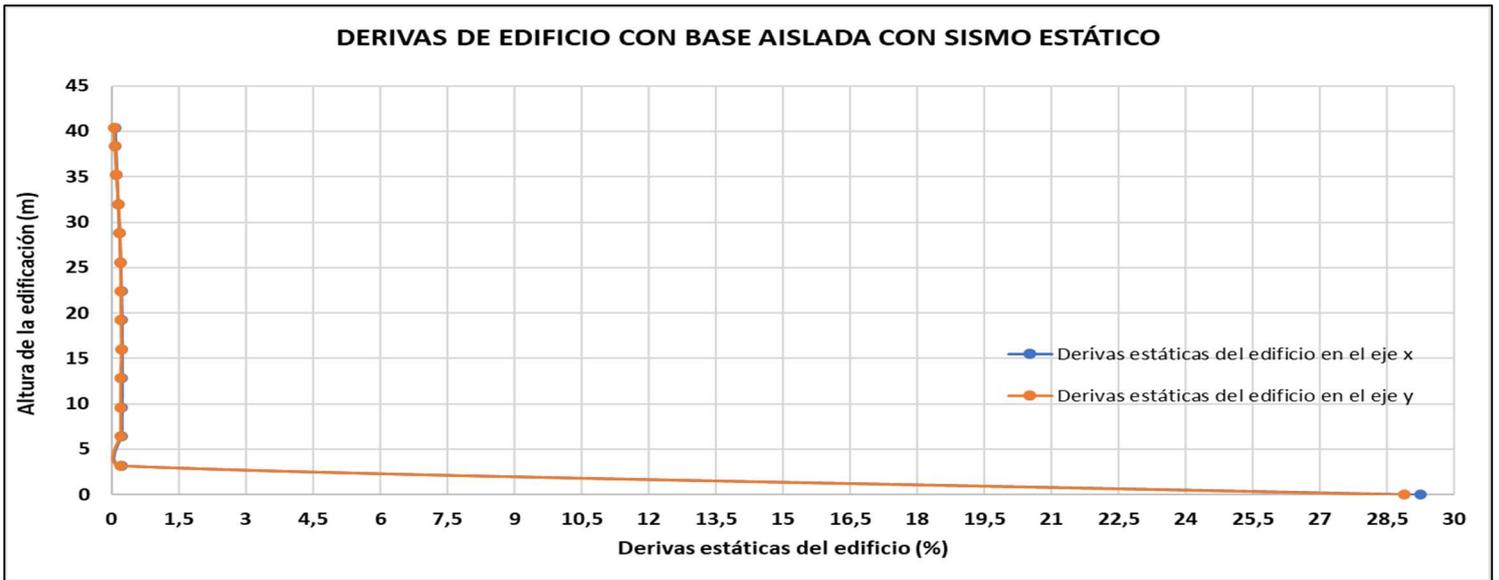
Fuente: Autor

**Tabla 60.** Resultados de derivas por el sismo estático del modelado de base aislada en el eje y

Sismo Estático y				
Story	Elevation	Location	Y-Dir	Derivas
	m			%
CUB. MAQ. 13	40,4	Top	0,00056	0,042
AZOTEA 12	38,4	Top	0,000857	0,064275
N11	35,2	Top	0,001384	0,1038
N10	32	Top	0,001974	0,14805
N9	28,8	Top	0,00238	0,1785
N8	25,6	Top	0,002595	0,194625
N7	22,4	Top	0,002699	0,202425
N6	19,2	Top	0,002749	0,206175
N5	16	Top	0,002851	0,213825
N4	12,8	Top	0,002656	0,1992
N3	9,6	Top	0,002628	0,1971
N2	6,4	Top	0,002612	0,1959
N1	3,2	Top	0,002646	0,19845
B. AISL.	1,3	Top	0,384988	28,8741
SUELO	0	Top	0	0

Fuente: Autor

Figura 32. Gráfica de derivas en el análisis estático del edificio de base aislada



Fuente: Autor

#### 4.9.6 Derivas en base al análisis del sismo dinámico

Tabla 61. Resultados de derivas por el sismo dinámico del modelado de base aislada en el eje x

Sismo Dinámico x				
Story	Elevation	Location	X-Dir	Derivas
	m			%
CUB. MAQ. 13	40,4	Top	0,000343	0,025725
AZOTEA 12	38,4	Top	0,000394	0,02955
N11	35,2	Top	0,00049	0,03675
N10	32	Top	0,000637	0,047775
N9	28,8	Top	0,00082	0,0615
N8	25,6	Top	0,001012	0,0759
N7	22,4	Top	0,001197	0,089775
N6	19,2	Top	0,001371	0,102825
N5	16	Top	0,001531	0,114825
N4	12,8	Top	0,001686	0,12645
N3	9,6	Top	0,001822	0,13665
N2	6,4	Top	0,001913	0,143475
N1	3,2	Top	0,002001	0,150075
B. AISL.	0	Top	0,301415	22,606125
SUELO	-1,3	Top	0	0

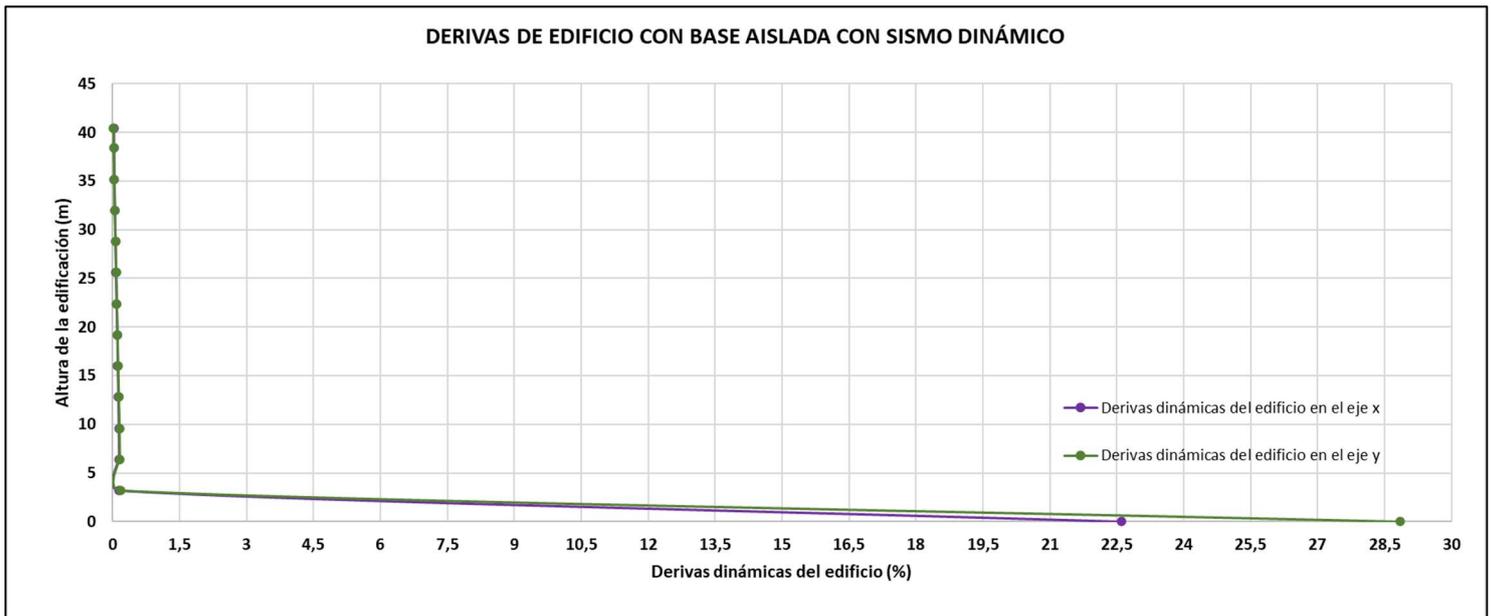
Fuente: Autor

Tabla 62. Resultados de derivas por el sismo dinámico del modelado de base aislada en el eje y

Sismo Dinámico y				
Story	Elevation	Location	Y-Dir	Derivas
	m			%
CUB. MAQ. 13	40,4	Top	0,000197	0,014775
AZOTEA 12	38,4	Top	0,000326	0,02445
N11	35,2	Top	0,000497	0,037275
N10	32	Top	0,000659	0,049425
N9	28,8	Top	0,000853	0,063975
N8	25,6	Top	0,001061	0,079575
N7	22,4	Top	0,001274	0,09555
N6	19,2	Top	0,001477	0,110775
N5	16	Top	0,001675	0,125625
N4	12,8	Top	0,001876	0,1407
N3	9,6	Top	0,002065	0,154875
N2	6,4	Top	0,002188	0,1641
N1	3,2	Top	0,002314	0,17355
B. AISL.	0	Top	0,384651	28,848825
SUELO	-1,3	Top	0	0

Fuente: Autor

**Figura 33.** Gráfica de derivas en el análisis dinámico del edificio de base aislada



Fuente: Autor

En el caso del análisis de los resultados para las derivas tanto estáticas como dinámicas, si podemos apreciar, tienen cierta similitud con las figuras de las distorsiones, ahora bien, analizando los resultados de las derivas con el sismo estático, presenta ciertas variabilidad en su figura, mientras que las derivas del sismo dinámico mantienen una secuencia constante, y en base a la parte numérica, encontramos que las derivas en el eje “x” y eje “y” son mayores en el sismo estático comparado con el sismo dinámico, se resume las derivas máximas y en que piso se encuentran tanto en el análisis de las derivas estáticas como dinámicas:

**Tabla 63.** Resumen de derivas máximas por cada eje del edificio con base aislada

Derivas máximas del edificio de base aislada		
Derivas máximas por eje:	Valor de la deriva (%):	Piso
Deriva máxima estática en el eje X	29,235975%	Base Aisl.
Deriva máxima estática en el eje Y	28,8741%	Base Aisl.
Deriva máxima dinámica en el eje X	22,606125%	Base Aisl.
Deriva máxima dinámica en el eje Y	28,848825%	Base Aisl.

Fuente: Autor

#### 4.9.7 Desplazamientos en base al análisis del sismo estático

**Tabla 64.** Resultados de desplazamientos por el sismo estático del modelado de base aislada en el eje x

Desplazamiento SX			
PISO	ELEVACION	m	cm
CUB. MAQ. 13	40,4	0,560807	56,0807
AZOTEA 12	38,4	0,580669	58,0669
N11	35,2	0,598787	59,8787
N10	32	0,606538	60,6538
N9	28,8	0,600545	60,0545
N8	25,6	0,593221	59,3221
N7	22,4	0,5848	58,48
N6	19,2	0,575623	57,5623
N5	16	0,565936	56,5936
N4	12,8	0,556038	55,6038
N3	9,6	0,546116	54,6116
N2	6,4	0,536398	53,6398
N1	3,2	0,516088	51,6088
B. AISL.	0	0,506757	50,6757
SUELO	-1,3	0	0

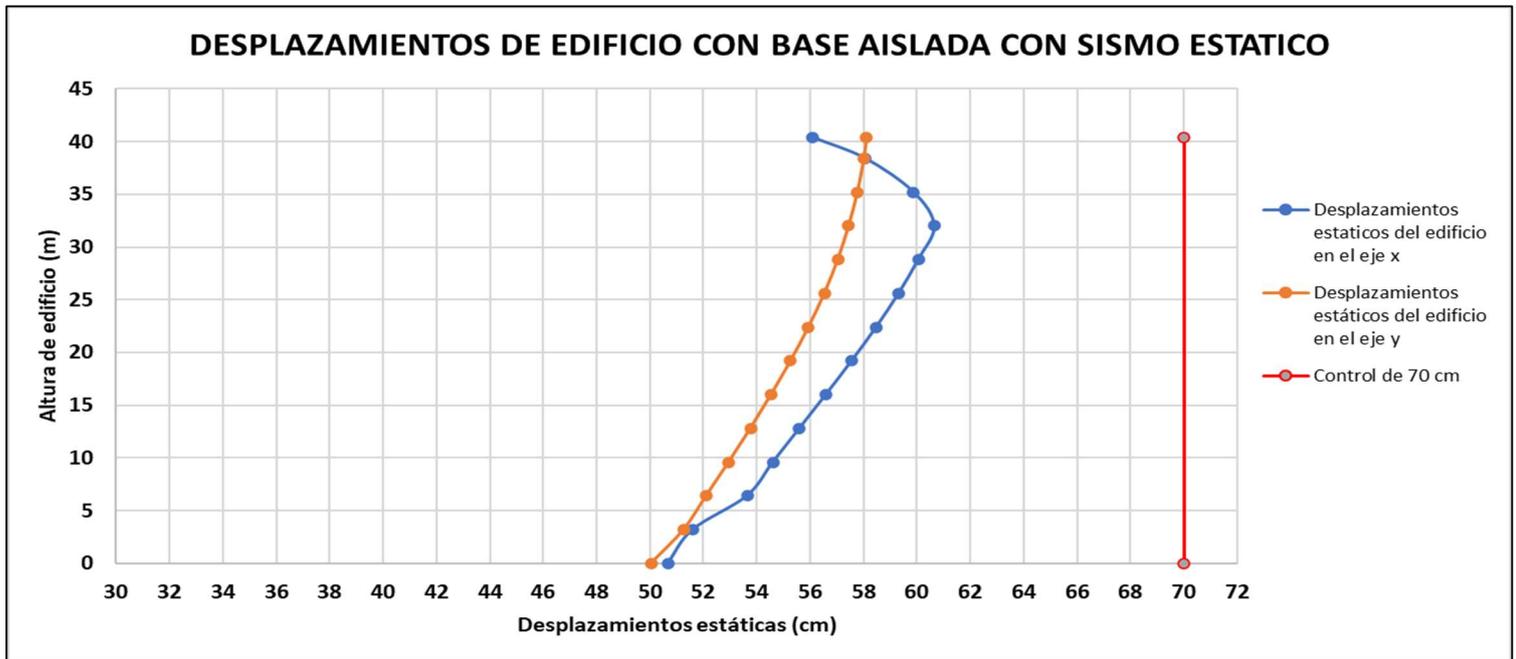
Fuente: Autor

**Tabla 65.** Resultados de desplazamientos por el sismo estático del modelado de base aislada en el eje y

Desplazamiento Sy			
PISO	ELEVACION	m	cm
CUB. MAQ. 13	40,4	0,581161	58,1161
AZOTEA 12	38,4	0,580097	58,0097
N11	35,2	0,577663	57,7663
N10	32	0,574391	57,4391
N9	28,8	0,570298	57,0298
N8	25,6	0,565292	56,5292
N7	22,4	0,559382	55,9382
N6	19,2	0,552648	55,2648
N5	16	0,545357	54,5357
N4	12,8	0,537639	53,7639
N3	9,6	0,529518	52,9518
N2	6,4	0,521072	52,1072
N1	3,2	0,512658	51,2658
B. AISL.	0	0,500484	50,0484
SUELO	-1,3	0	0

Fuente: Autor

**Figura 34.** Gráfica de desplazamientos en el análisis estático del edificio de base aislada



Fuente: Autor

#### 4.9.8 Desplazamientos en base al análisis del sismo dinámico

**Tabla 66.** Resultados de desplazamientos por el sismo dinámico del modelado de base aislada en el eje x

Desplazamiento SDx			
PISO	ELEVACION	m	cm
CUB. MAQ. 13	40,4	0,438125	43,8125
AZOTEA 12	38,4	0,437561	43,7561
N11	35,2	0,436486	43,6486
N10	32	0,435065	43,5065
N9	28,8	0,433129	43,3129
N8	25,6	0,430639	43,0639
N7	22,4	0,427563	42,7563
N6	19,2	0,423916	42,3916
N5	16	0,419727	41,9727
N4	12,8	0,415034	41,5034
N3	9,6	0,409846	40,9846
N2	6,4	0,404215	40,4215
N1	3,2	0,398085	39,8085
B. AISL.	0	0,39184	39,184
SUELO	-1,3	0	0

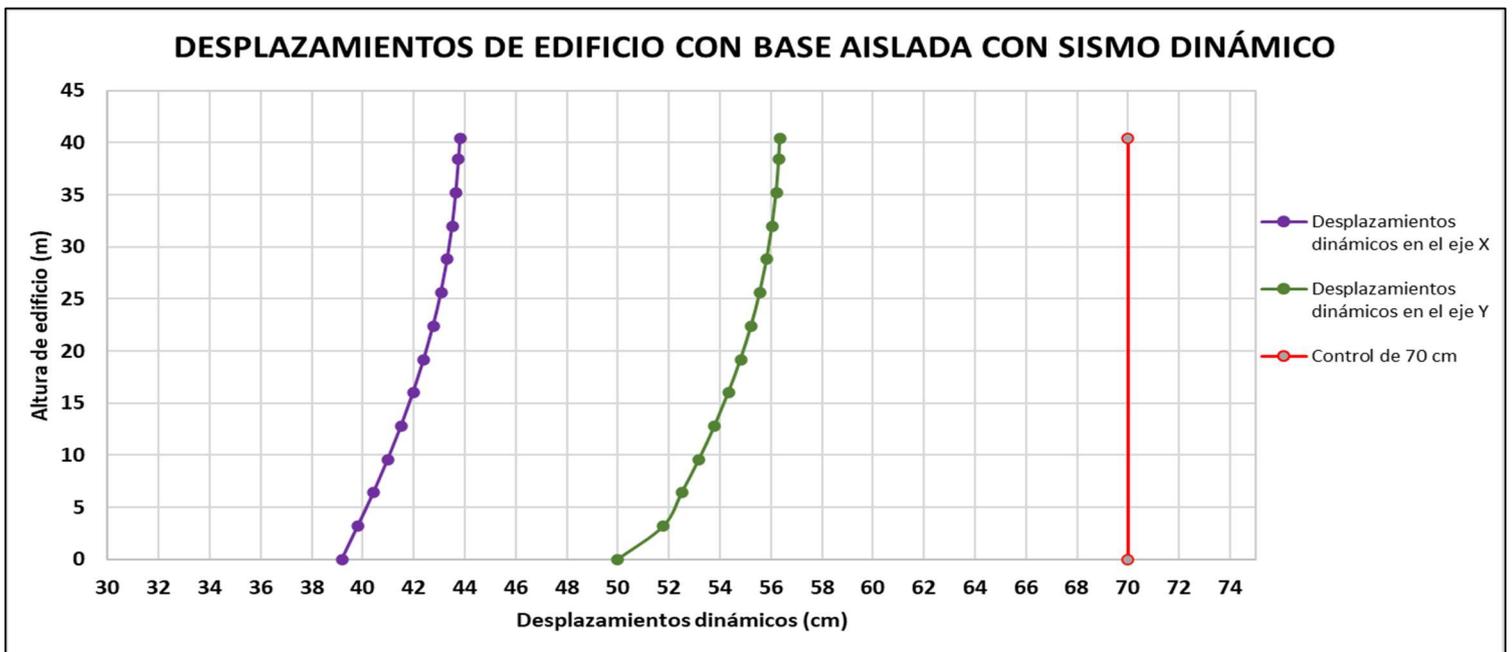
Fuente: Autor

**Tabla 67.** Resultados de desplazamientos por el sismo dinámico del modelado de base aislada en el eje y

Desplazamiento SDy			
PISO	ELEVACION	m	cm
CUB. MAQ. 13	40,4	0,563581	56,3581
AZOTEA 12	38,4	0,563193	56,3193
N11	35,2	0,562152	56,2152
N10	32	0,560555	56,0555
N9	28,8	0,55844	55,844
N8	25,6	0,555697	55,5697
N7	22,4	0,552275	55,2275
N6	19,2	0,548154	54,8154
N5	16	0,543368	54,3368
N4	12,8	0,537932	53,7932
N3	9,6	0,531827	53,1827
N2	6,4	0,525092	52,5092
N1	3,2	0,517945	51,7945
B. AISL.	0	0,500046	50,0046
SUELO	-1,3	0	0

Fuente: Autor

**Figura 35.** Gráfica de desplazamientos en el análisis dinámico del edificio de base aislada



Fuente: Autor

Como podemos analizar los análisis tanto estático como dinámico, la edificación tiene un comportamiento muy variado, ya que, según los resultados obtenidos por el software computacional, se puede denotar que en el eje x, todos los desplazamientos estáticos son mayores que los desplazamientos del análisis dinámico, lo cual, ocurre muy distinto para el eje y, ya que, los desplazamientos estáticos son mayores que los dinámicos desde el piso 5 hasta el piso 13, mientras que el resto de pisos el mayor es el desplazamiento dinámico. Estos resultados fueron obtenidos aplicando aisladores de  $K=100$  Ton/m (edificio con base aislada) y se puede observar el desplazamiento de base aislada en la dirección de análisis en el eje y se tiene un desplazamiento de 50 cm, a continuación, se presentarán los desplazamientos máximos tanto estáticos como dinámicos por cada eje:

*Tabla 68. Resumen de desplazamientos máximas por cada eje del edificio con base aislada*

<b>Derivas máximas del edificio de base aislada</b>		
<b>Desplazamientos máximos por eje:</b>	<b>Valor del desplazamiento (cm):</b>	<b>Piso</b>
<b>Desplazamiento máximo estático en el eje X</b>	60,6538 cm	10
<b>Desplazamiento máximo estático en el eje Y</b>	58,1161 cm	13
<b>Desplazamiento máximo dinámico en el eje X</b>	43,8125 cm	13
<b>Desplazamiento máximo dinámico en el eje Y</b>	56,3581 cm	13

Fuente: Autor

#### **4.10 Análisis e interpretación de resultados del modelado de la edificación con base aislada mediante la implementación de señales sísmicas, escalado para un sismo de período de retorno de 2500 años.**

A continuación, se presentarán los resultados obtenidos con la implementación de señales sísmicas por el software computacional, donde, gracias a la metodología, análisis, criterio e interpretación de datos anteriormente considerados, se lograron obtener los resultados cuantitativos de los desplazamientos por cada nivel de piso, en el cual se realizó un promedio de las 11 señales sísmicas.

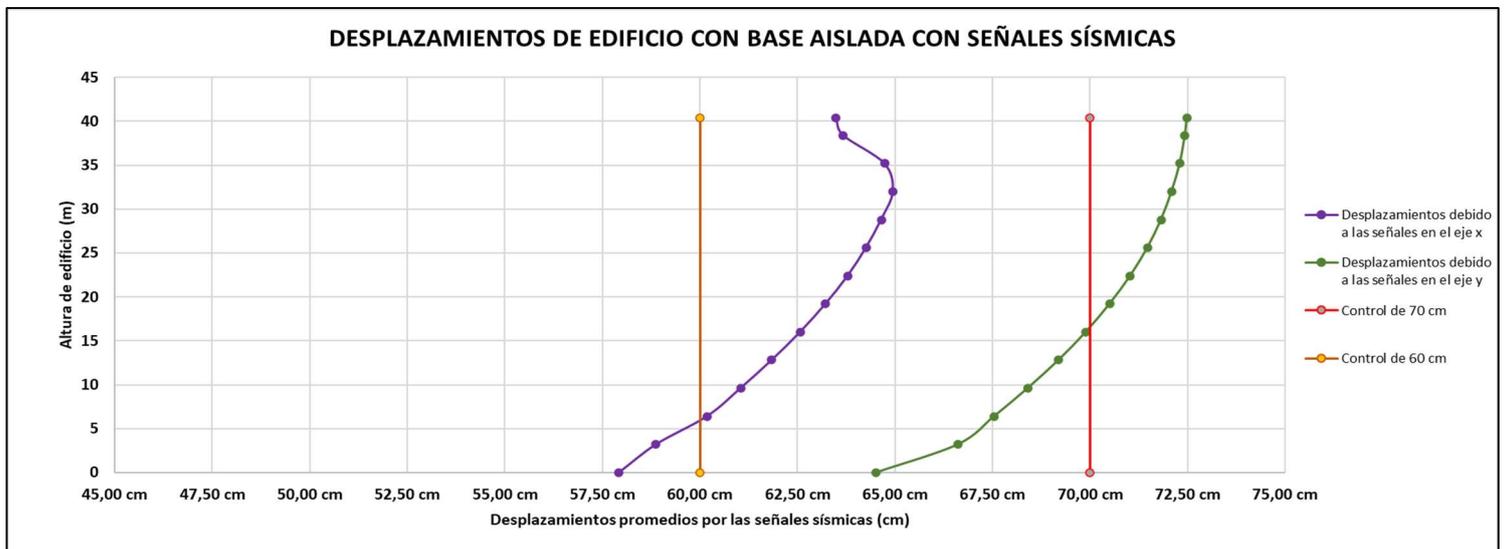
#### 4.10.1 Desplazamientos en base al análisis de las señales sísmicas.

Tabla 69. Resultados de desplazamientos por señales sísmicas del modelado de base aislada en el eje x

PISO	Promedio de desplazamiento en eje X-X	Promedio de desplazamiento en eje Y-Y
<b>CUB. MAQ. 13</b>	<b>63,49 cm</b>	<b>72,48 cm</b>
AZOTEA 12	63,67 cm	72,43 cm
N11	64,73 cm	72,30 cm
N10	64,95 cm	72,09 cm
N9	64,65 cm	71,82 cm
N8	64,26 cm	71,47 cm
N7	63,79 cm	71,03 cm
N6	63,22 cm	70,50 cm
N5	62,57 cm	69,89 cm
N4	61,84 cm	69,19 cm
N3	61,04 cm	68,40 cm
N2	60,18 cm	67,54 cm
N1	58,87 cm	66,61 cm
<b>B. AISL.</b>	<b>57,92 cm</b>	<b>64,52 cm</b>

Fuente: Autor

Figura 36. Gráfica de desplazamientos por señales sísmicas del edificio de base aislada



Fuente: Autor

Como se puede observar en la gráfica los desplazamientos se obtuvieron al promediar todos los resultados de las 11 señales sísmicas en la dirección Norte y Este, en el cual, el desplazamiento de la base aislada en la dirección de análisis del eje “y” es de 64.52 cm y el máximo desplazamiento de la superestructura es de 72.48 cm.

## CONCLUSIONES

Las infraestructuras que se encuentran en la ciudad de Machala tienen una gran posibilidad de presenciar un evento sísmico, debido a que la zona de estudio se encuentra dentro de los rangos sísmicos más elevados a nivel nacional y mundial, por ello, es importante determinar metodologías directas y concretas que ayuden a determinar los controles necesarios para el análisis, evaluación y diseño de los elementos estructurales, como lo es la normativa AISC 360 y NEC- Estructuras de acero, el análisis y construcción de los espectros sísmicos de diseño tanto elásticos como inelásticos, utilizando las indicaciones dadas por las normativas nacionales tales como NEC-Peligro Sísmico y NEC- Riesgo sísmico, además de la implementación de señales sísmicas, mismas que fueron recopiladas como registros sísmicos, utilizando la metodología de Análisis No Lineal Tiempo – Historia, y por último, el uso de la teoría de aislamiento sísmico dada por la norma ASCE 7, donde se puede denotar una comprobación de resultados de rigidez, desplazamiento y factores sísmicos debido a la comparación entre las metodologías sobre el análisis de los modos del edificio aislado mediante un modelo de un grado de libertad y de dos grados de libertad, ayudándonos a verificar con los resultados obtenidos por el software computacional.

La integración de un sistema de control sísmico dentro de una edificación contribuye a controlar los factores sísmicos que pueden afectar al comportamiento de la estructura, pero a su vez pueden entregar grandes desplazamientos hacia el nivel de losa donde se colocará el sistema de aislamiento, en este caso, al utilizar aisladores elastoméricos con núcleo de plomo LRB (Lead Rubber Bearings) con una rigidez efectiva por aislador de 100 Ton/m, se requería obtener un rango efectivo de desplazamiento entre 50 cm a 70 cm, los resultados demuestran que la estructura aislada evaluándola con el espectro de 2500 años integrando el factor de reducción BM desde el período de torsión en el edificio entrega un máximo desplazamiento en el eje x de 39.18 cm en la base aislada, para el eje y se obtuvo un desplazamiento de 50 cm en la base aislada, mientras que los desplazamientos promedios integrando las 11 señales sísmicas en el modelado estructural aislado incluyendo el espectro de 2500 años con el factor de reducción BM, se alcanza un desplazamiento en la base aislada de 57.92 cm en el eje x, para el eje y se tiene de 64.52 cm, mientras que la metodología de aislamiento sísmico del análisis de la respuesta espectral del modelo con un grado de libertad utilizando una rigidez efectiva por aislador de 100 Ton/m se obtuvo un desplazamiento traslacional de la base aislada de 48.49 cm, y

el desplazamiento total incluyendo torsión de 55.62 cm, comparándolo con el análisis de los resultados de la respuesta espectral del modelo de dos grados de libertad usando una rigidez efectiva por aislador de 100 Ton/m se obtuvo un desplazamiento de la base aislada de 48.57 cm y el desplazamiento total de la estructura es de 51.44 cm, verificando así la gran relación entre las metodologías realizadas manualmente y computacional, autentificando la veracidad de los resultados. Para el caso de la edificación de base fija evaluándola con el espectro de 475 años se obtiene un desplazamiento máximo que se obtuvo en el eje x es de 3.86 cm y en el eje y de 4.38 cm, teniendo como resultados desplazamientos menores en comparación a la edificación de base aislada.

Dadas las conclusiones y resultados previamente vistos, la alternativa de integrar un sistema de aislamiento sísmico contribuye en gran medida a las estructuras de mediana altura de la ciudad de Machala, ya que, es cierto que los desplazamientos y cortantes son mayores en comparación de los resultados de la edificación con base fija, pero la integración de un sistema de aislamiento sísmico nos ayuda a estar fuera del alcance de las aceleraciones máximas que integran al espectro de diseño de 475 y 2500 años, controlando las derivas y el período de aislamiento y reduciendo las aceleraciones que pueden afectar a la edificación, donde se obtuvo para la edificación de base aislada una deriva máxima de 0.17% para sismo dinámico con análisis de sismo con período de retorno de 2500 años comparado con la base fija que se obtuvo una deriva máxima de 0.74% con un sismo con período de retorno de 475 años, verificando la hipótesis inicial del beneficio de utilizar un sistema de control sísmico adecuado de aisladores elastoméricos de medio amortiguamiento LRB con una rigidez efectiva de 100 Ton/m por aislador, que reservan el mayor trabajo de control de aceleraciones ante un posible evento sísmico.

## RECOMENDACIONES

Para el desarrollo de cualquier análisis, evaluación o diseño sismorresistente de una infraestructura existente o por construir, es importante recopilar y utilizar todas las metodologías pertinentes que contribuyan en la obtención de una perspectiva mucho más clara y precisa sobre las condiciones, factores, y características tanto estructurales como sísmicas necesarias a considerar al momento de sobrellevar un proyecto de gran importancia, asegurando la veracidad de los resultados implementando los procesos o metodologías que entregan las normas NEC de nuestro país, normas extranjeras como E.031 de sistema de aislamiento sísmico del Perú, o para el diseño y control de elementos estructurales de acero como la AISC 360, entre otros, de manera que se pueda justificar con metodologías certificadas que los resultados obtenidos son los correctos y apropiados para dimensionar las especificaciones técnicas y memoria de cálculo del proyecto.

El uso de sistemas de aislamiento sísmico ha sido de gran ayuda en varios lugares alrededor del mundo, donde han ayudado a tener una mayor rigidez y sostenibilidad ante eventos sísmicos de pequeña y gran magnitud, considerándolo una mejor opción de sistema de cimentación para minimizar costos de reparación en caso de algún colapso en la infraestructura, además, como lo fue en este caso, al integrar este sistema de aislamiento se pudo denotar una ventaja en el control de las aceleraciones con respecto al espectro de diseño de dicho sitio, en comparación con los sistemas de cimentación comunes en el Ecuador, es decir, con base fija, siendo estos últimos, sistemas muy ineficientes en caso de realizarlos de manera informal y sin considerar los factores sísmicos tan relevantes, sobre todo en una ciudad como Machala, la cual cuenta con grandes índices de peligrosidad sísmica.

La integración de un sistema de aislamiento de base en una infraestructura de mediana altura ubicada en un sitio de gran peligrosidad sísmica, como lo es la ciudad de Machala, en la provincia de El Oro, Ecuador, genera grandes ventajas, considerando la rigidez efectiva por aislador, sus propiedades físicas y mecánicas, ayudando a mejorar las derivas en cada nivel de la estructura, mejorando el comportamiento del edificio y condensando todos los desplazamientos máximos en el nivel aislado de la superestructura, disminuyendo las afectaciones que pueden generar eventos sísmicos de gran magnitud en la edificación, evitando consecuencias catastróficas, tales como las que ocurrieron en varios eventos sísmicos memorables en el Ecuador, así como el sismo del 16 de abril del 2016, o el sismo del 18 de marzo del 2023 en la ciudad de Machala.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adelfio, G., Chiodi, M., D'Alessandro, A., Luzio, D., D'Anna, G., & Mangano, G. (2012). Simultaneous seismic wave clustering and registration. *Computers and Geosciences*, 44, 60–69. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2012.02.017>
- Aguiar, R., & Del Castillo, F. (2019). WHAT AN INELASTIC FLAT DERIVA SLIGHTLY HIGHER THAN TWO PERCENT MEANS QUE SIGNIFICA UNA DERIVA DE PISO INELÁSTICA LIGERAMENTE SUPERIOR AL DOS POR CIENTO RESUMEN. *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras*, 24(1), 109–121. <https://doi.org/https://doi.org/10.24133/riie.v24i1.1168>
- Beirami Shahabi, A., Ahari, G. Z., & Barghian, M. (2020). Base isolation systems-a state of the art review according to their mechanism. *Journal of Rehabilitation in Civil Engineering*, 8(2), 37–61. <https://doi.org/10.22075/JRCE.2019.16186.1306>
- Bungacho, J., Baquero, R., & Hernandez, L. (2022). Evaluación de vulnerabilidad sísmica, análisis estructural y diseño de reforzamiento de una vivienda en Quito–Ecuador. *Ciencia, Ingenierías y Aplicaciones*, 5(2), 63–79. <https://doi.org/10.22206/cyap.2022.v5i2.pp63-79>
- Calvi, G. M., Calvi, P. M., & Moratti, M. (2017). Seismic isolation of buildings using devices based on sliding between surfaces with variable friction coefficient. *Innovative Infrastructure Solutions*, 2(1). <https://doi.org/10.1007/s41062-017-0081-8>
- Costanzo, S. (2023). State of the Art on Seismic Design of Steel Buildings in Europe. In *Buildings* (Vol. 13, Issue 6). MDPI. <https://doi.org/10.3390/buildings13061563>
- Cunalata, F., & Caiza, P. (2022). State of the Art of Seismic Vulnerability Studies in Ecuador. *Revista Politecnica*, 50(1), 55–64. <https://doi.org/10.33333/rp.vol50n1.06>
- De Domenico, D., Gandelli, E., & Quaglini, V. (2020). Effective base isolation combining low-friction curved surface sliders and hysteretic gap dampers. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 130. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2019.105989>
- Deringöl, A. H., & Güneyisi, E. M. (2023). Enhancing the seismic performance of high-rise buildings with lead rubber bearing isolators. *Turkish Journal of Engineering*, 7(2), 99–107. <https://doi.org/10.31127/tuje.1026994>

- Deulofeu, E. R. Á., Alonso, F. L., & Chang, S. L. (2022). Earthquake resistant design process for residential buildings with reinforced masonry for zones of high seismic hazard. *Informes de La Construcción*, 74(566). <https://doi.org/10.3989/ic.85554>
- Duque Yaguache, E. P., Quiñonez Riofrío, C. F., & Cueva Oviedo, J. D. (2022). Evaluación del comportamiento dinámico en edificaciones de baja altura en la ciudad de Loja-Ecuador. *CEDAMAZ*, 12(1), 59–67. <https://doi.org/10.54753/cedamaz.v12i1.1320>
- Dushimimana, A., Dushimimana, C., Mbereyaho, L., & Niyonsenga, A. A. (2023). Effects of Building Height and Seismic Load on the Optimal Performance of Base Isolation System. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 48(10), 13283–13302. <https://doi.org/10.1007/s13369-023-07660-9>
- Eka Saputra, N., & Priastiwi, Y. A. (2023). Comparative Study Of Dynamic Earthquake Analysis With Spectral Design And Time History Methods. *Jurnal Indonesia Sosial Teknologi*, 4(8), 1223–1234. <https://doi.org/10.59141/jist.v4i8.700>
- Esposito, F., Argenziano, M., Faiella, D., & Mele, E. (2023). Intermediate Isolation System with Nonlinear Lower Structure and Isolation System. *Applied Sciences (Switzerland)*, 13(7). <https://doi.org/10.3390/app13074590>
- Flores Vega, E. M. (2021). Evaluación del desempeño sismorresistente de una edificación mediante Análisis Estático No lineal Pushover: Estudio de caso. *Journal Boliviano de Ciencias*, 17(50), 56–90. <https://doi.org/10.52428/20758944.v17i50.20>
- Furinghetti, M. (2022). Definition and Validation of Fast Design Procedures for Seismic Isolation Systems. *Vibration*, 5(2), 290–305. <https://doi.org/10.3390/vibration5020017>
- Furinghetti, M., Lanese, I., & Pavese, A. (2020). Experimental Assessment of the Seismic Response of a Base-Isolated Building Through a Hybrid Simulation Technique. *Frontiers in Built Environment*, 6. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2020.00033>
- Gandelli, E., De Domenico, D., Dubini, P., Besio, M., Bruschi, E., & Quaglini, V. (2020). Influence of the breakaway friction on the seismic response of buildings isolated with curved surface sliders: Parametric study and design recommendations. *Structures*, 27, 788–812. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2020.06.035>

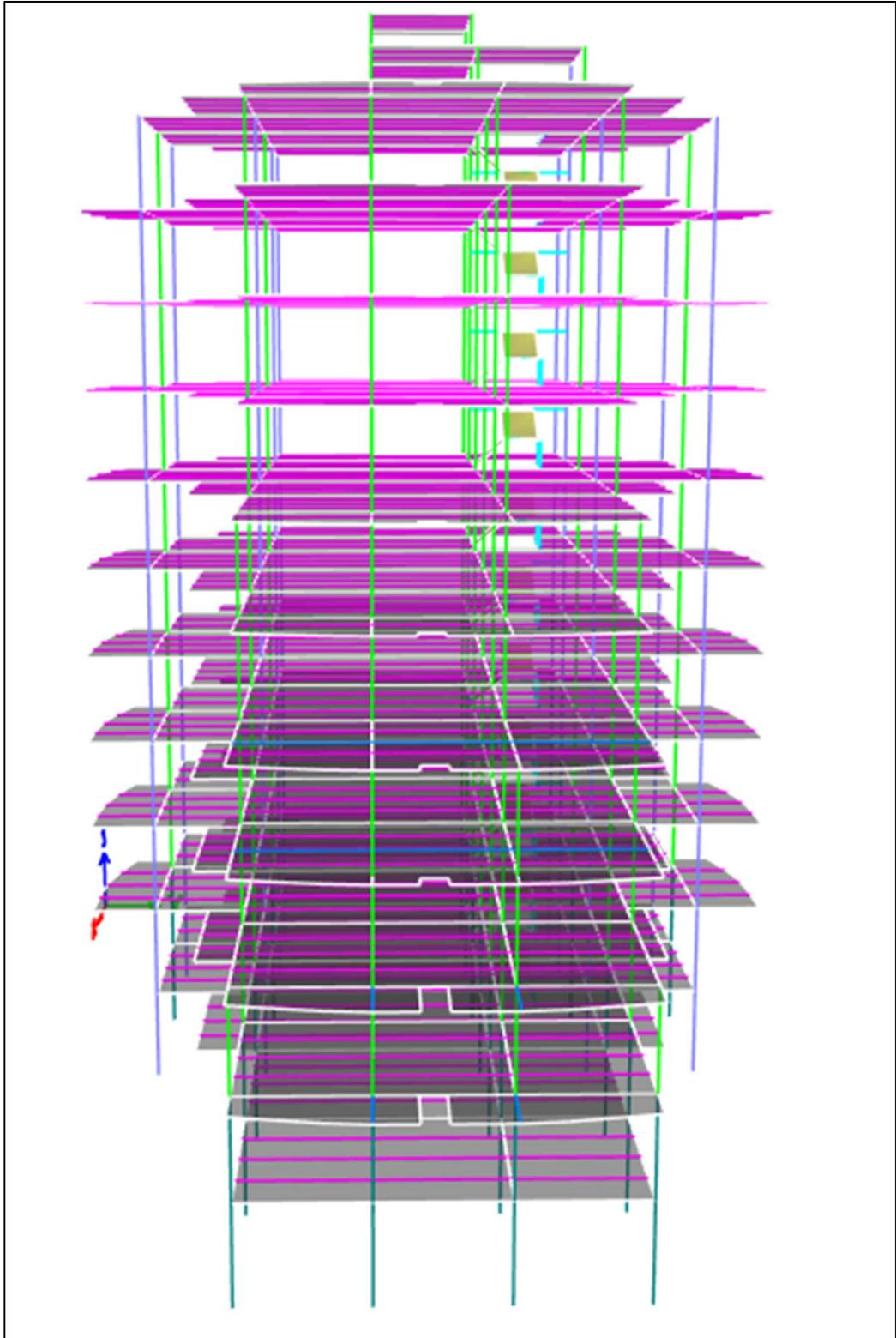
- Guerra-Valladares, M. D., & Guerra-Avenidaño, O. M. (2023). Influencia de muros estructurales en edificios de baja y mediana altura de hormigón armado con sistemas de aisladores elastoméricos. *MQRInvestigar*, 7(2), 1062–1085. <https://doi.org/10.56048/mqr20225.7.2.2023.1062-1085>
- Guerrero Bobadilla, H., Aguilar Hernández, J., & Sámano Brito, O. (2022). COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE EDIFICIOS CON AISLADORES DE PÉNDULO DE FRICCIÓN EN LA ZONA DEL LAGO DE LA CIUDAD DE MÉXICO. *Revista de Ingeniería Sísmica*, 107, 1–21. <https://doi.org/10.18867/ris.107.584>
- Guzmán, R. C., & Angulo, M. H. F. (2022). Evaluación de la metodología de análisis y diseño para edificios aporticados de hormigón armado con la implementación de disipadores viscosos. *Brazilian Journal of Development*, 59457–59477. <https://doi.org/10.34117/bjdv8n8-297>
- Ismail, M. (2018). Seismic isolation of structures. Part I: Concept, review and a recent development. *Hormigón y Acero*, 69(285), 147–161. <https://doi.org/10.1016/j.hya.2017.10.002>
- Jebelli, S. T., Behnam, B., & Tehrani, P. (2022). Seismic design of setback irregular steel structures based on life cycle cost. *Scientific Reports*, 12(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-21247-8>
- Jing, J., Clifton, G. C., Roy, K., & Lim, J. B. P. (2020). Seismic protection of modular buildings with bonded rubber unit sliders: Experimental study. *Thin-Walled Structures*, 154. <https://doi.org/10.1016/j.tws.2020.106790>
- Kavyashree, B., Patil, S., & Rao, V. S. (2021). Review on vibration control in tall buildings: from the perspective of devices and applications. In *International Journal of Dynamics and Control* (Vol. 9, Issue 3, pp. 1316–1331). Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. <https://doi.org/10.1007/s40435-020-00728-6>
- Kote, P. B., Madhekar, S. N., & Gupta, I. D. (2022). Use of critical response spectrum for design of multi-story steel buildings under multi-component seismic excitation. *ASPS Conference Proceedings*, 1(1), 749–758. <https://doi.org/10.38208/acp.v1.577>
- Late, Ms. K. K., & Nair, Prof. V. V. (2023). Time History Analysis of Various Shapes of Building Frame. *International Journal for Research in Applied Science and*

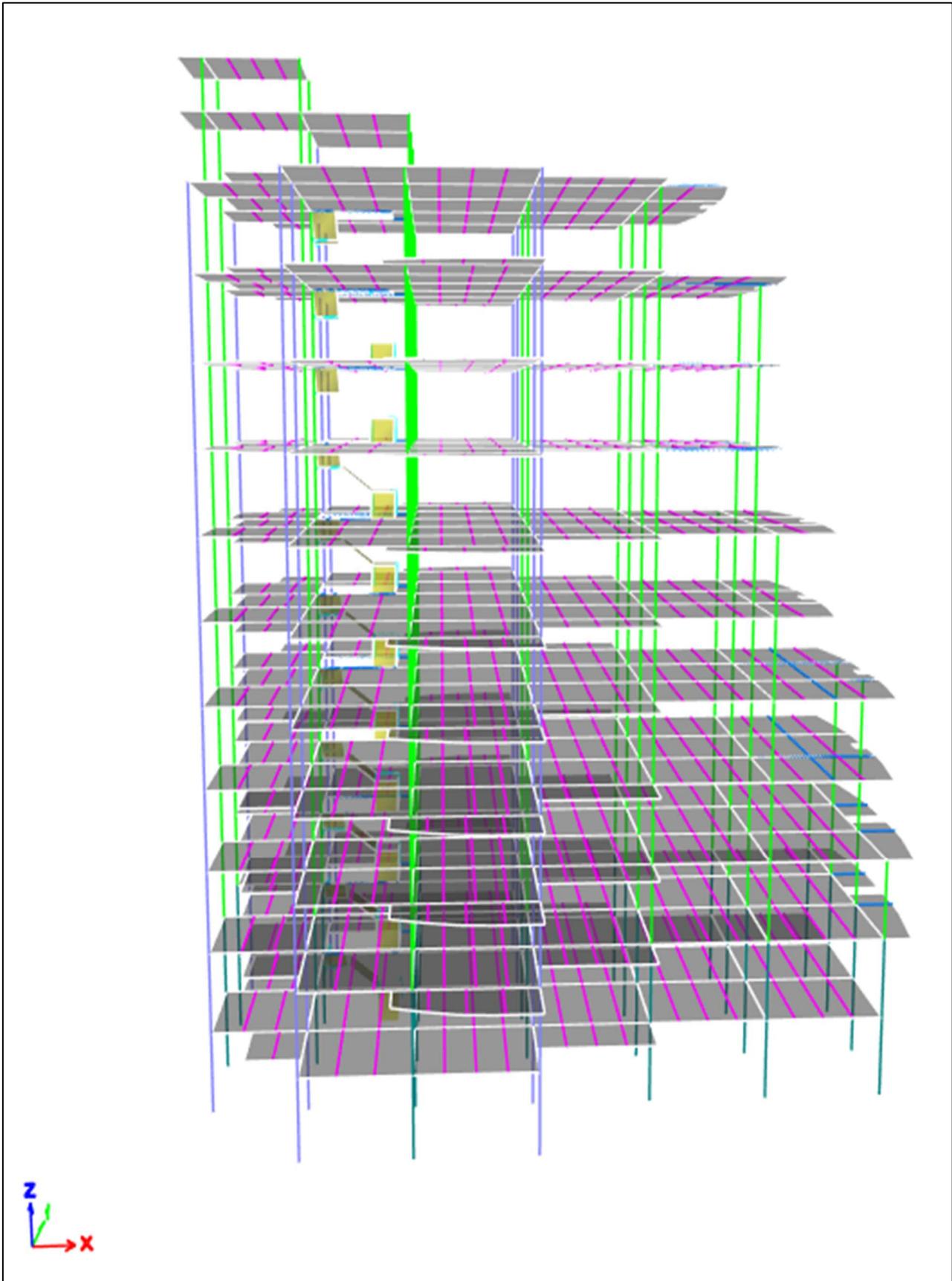
- Engineering Technology*, 11(10), 532–535.  
<https://doi.org/10.22214/ijraset.2023.55586>
- Loor Loor, E., Palma-Zambrano, W., & García-Vinces, L. (2021). Vulnerabilidad sísmica en viviendas de zona rural: el caso Santa Marianita – Manta – Ecuador. *Revista Científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología e Investigación*, 4(7), 2–16.  
<https://doi.org/10.46296/ig.v4i7.0018>
- Magisano, D., Corrado, A., Madeo, A., & Garcea, G. (2022). Nonlinear time history seismic analysis of inelastic 3D frame buildings in a reduced modal space. *Procedia Structural Integrity*, 44, 456–463. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2023.01.060>
- Malhotra, A., Roy, T., & Matsagar, V. (2020). Effectiveness of Friction Dampers in Seismic and Wind Response Control of Connected Adjacent Steel Buildings. *Shock and Vibration*, 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/8304359>
- Moposita Romero, E. J., Guaranga Bayas, C. L., Mas Camacho, M. R., & Noboa Flores, G. A. (2021). VULNERABILIDAD SÍSMICA DEL EDIFICIO CIENCIAS DE LA SALUD Y DEL SER HUMANO. UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR - 2019. *Revista de Investigación Talentos*, 8(1), 27–35.  
<https://doi.org/10.33789/talentos.8.1.141>
- Morales Luis Wladimir, Recalde Diego, & Ruiz Alex. (2020). Incidencia del hormigón ligero y flexible en la optimización de secciones, ductilidad y desempeño estructural. *Revista Cumbres*, 6(1), 67–78.  
[https://www.researchgate.net/publication/348731339\\_Incidencia\\_del\\_hormigon\\_ligero\\_y\\_flexible\\_en\\_la\\_optimizacion\\_de\\_secciones\\_ductilidad\\_y\\_desempeno\\_estructural](https://www.researchgate.net/publication/348731339_Incidencia_del_hormigon_ligero_y_flexible_en_la_optimizacion_de_secciones_ductilidad_y_desempeno_estructural)
- Nakamura, Y., & Okada, K. (2019). Review on seismic isolation and response control methods of buildings in Japan. *Geoenvironmental Disasters*, 6(1).  
<https://doi.org/10.1186/s40677-019-0123-y>
- Niquen, K., Villarreal, G., & Niquen, V. (2023). Análisis comparativo del comportamiento estructural de una edificación de cuatro niveles con base fija y base aislada. *Memoria Investigaciones En Ingeniería*, 25.  
<https://doi.org/10.36561/ing.25.8>

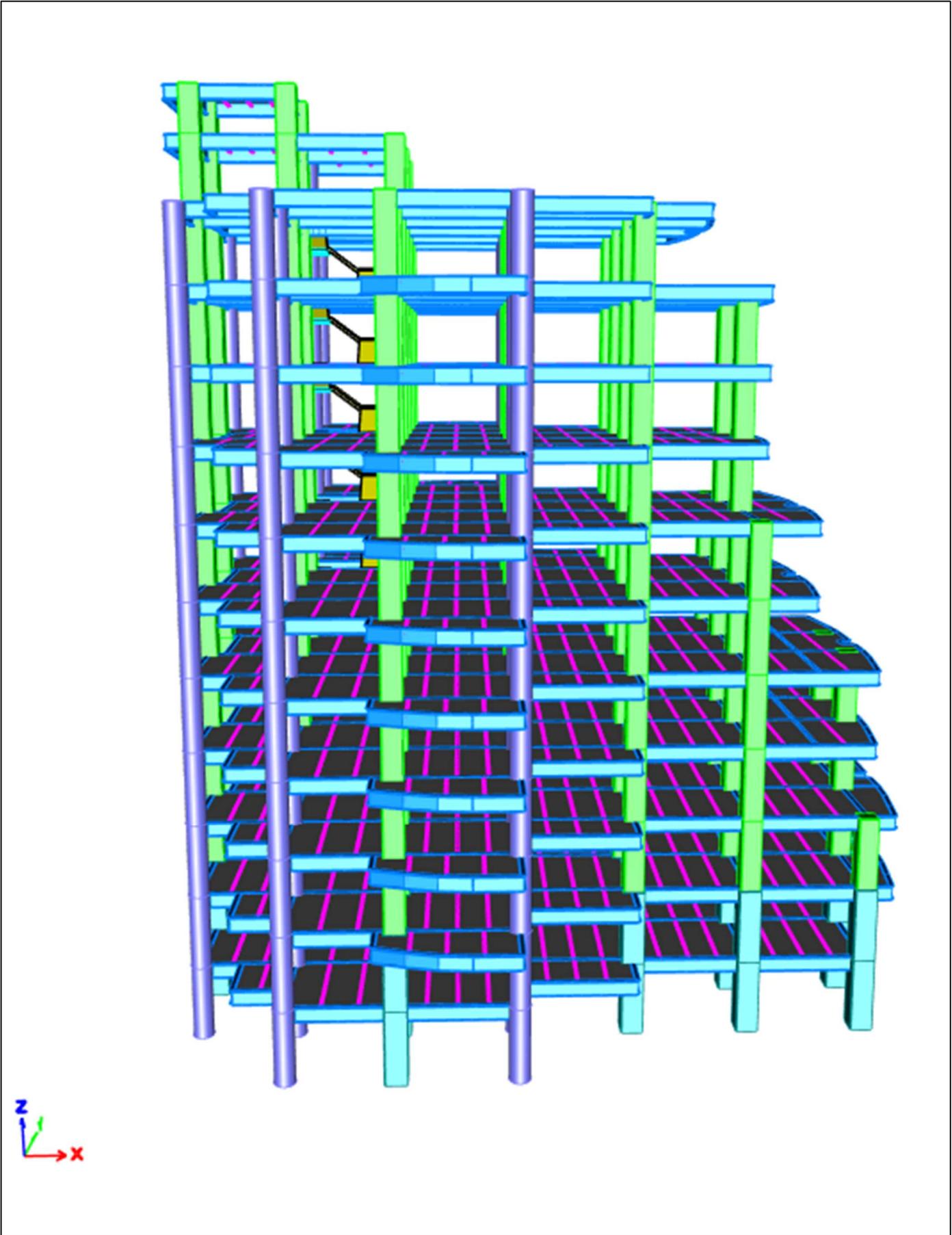
- Pavese, A., Furinghetti, M., & Casarotti, C. (2019). Investigation of the Consequences of Mounting Laying Defects for Curved Surface Slider Devices under General Seismic Input. *Journal of Earthquake Engineering*, 23(3), 377–403. <https://doi.org/10.1080/13632469.2017.1323046>
- Peng, Y., Ding, L., Chen, J., & Villaverde, R. (2019). Experimental Study of Sliding Hydromagnetic Isolators for Seismic Protection. *Journal of Structural Engineering*, 145(5). [https://doi.org/10.1061/\(asce\)st.1943-541x.0002300](https://doi.org/10.1061/(asce)st.1943-541x.0002300)
- Pineda; Sofía, Villafuerte; Sebastián, Belén Correa; María, Machado; Alejandro, & Hernández; Luis. (2023). Influencia en el diseño estructural del acero de refuerzo grado 80 y hormigón de alta resistencia (55 MPa) frente al acero de refuerzo convencional grado 60 y hormigónf 'c 28MPa en un edificio de hormigón. *INGENIO*, 6(1), 93–106. <https://doi.org/https://doi.org/10.29166/ingenio.v6i1.4229>
- Piscal Arévalo, C. M., & López Almansa, F. (2018). Proposal for the future design code for seismic isolation of buildings in Colombia. *DYNA (Colombia)*, 85(207), 306–315. <https://doi.org/10.15446/dyna.v85n207.72296>
- Piscal Arevalo, C. M., & Lopez Almansa, F. (2022). Comparación de las dos metodologías de análisis y diseño más recientes de ASCE 7, para el análisis de su posible empleo en edificaciones con aislamiento sísmico de base en Colombia. *Ingeniería y Desarrollo*, 37(01), 57–70. <https://doi.org/10.14482/inde.37.1.624.2>
- Salaas, B., Bekdaş, G., Ibrahim, Y. E., Nigdeli, S. M., Ezzat, M., Nawar, M., & Kayabekir, A. E. (2023). Design Optimization of a Hybrid Vibration Control System for Buildings. *Buildings*, 13(4). <https://doi.org/10.3390/buildings13040934>
- Saldaña Vasquez, K. Y., & Scaletti Farina, H. V. L. (2022). Efficiency of energy dissipators in the seismic response of buildings. *TECNIA*, 32(2), 127–137. <https://doi.org/10.21754/tecnia.v32i2.1379>
- Saracco, U., Meglio, E., & Formisano, A. (2023). Seismic-Energy Combined Retrofit Systems of Historical Buildings. *Technical Annals*, 1(3). <https://doi.org/10.12681/ta.34801>
- Sharma, A., & Soni, S. (2022). Seismic Performance of Irregular Building with different Variable sliding isolators and Semi active Dampers. *ASPS Conference Proceedings*, 1(1), 659–671. <https://doi.org/10.38208/acp.v1.567>

- Stanikzai, M. H., Elias, S., & Rupakhety, R. (2020). Seismic response mitigation of base-isolated buildings. *Applied Sciences (Switzerland)*, 10(4). <https://doi.org/10.3390/app10041230>
- Takagi, J., Hayashi, A., Saito, K., & Ohsaki, M. (2023). Relationships between seismic design conditions and superior design solutions of steel buildings. *JAPAN ARCHITECTURAL REVIEW*, 6(1). <https://doi.org/10.1002/2475-8876.12367>
- Tene González, A., Maldonado Noboa, J., & González Maldonado, M. (2023). Evaluación probabilística de fragilidad sísmica para las estructuras de HA, en los barrios periféricos occidentales de la ciudad de Loja. *MQRInvestigar*, 7(1), 2404–2430. <https://doi.org/10.56048/mqr20225.7.1.2023.2404-2430>
- Tornello, M. E., & Gioacchini, G. (2018). *Seismic isolation. An efficient strategy for change of paradigm in earthquake resistant structural engineering.*
- Velarde Cruz, F., Bojórquez Mora, J., & Bojórquez Mora, E. (2022). CONFIABILIDAD ESTRUCTURAL DE EDIFICIOS DE CONCRETO REFORZADO Y SISTEMA DUAL. *Revista de Ingeniería Sísmica*, 107, 74–90. <https://doi.org/10.18867/ris.107.626>
- Vijayanarayanan, A. R., Goswami, R., & Murty, C. V. R. (2022). A METHOD FOR SEISMIC DESIGN OF RC FRAME BUILDINGS USING FUNDAMENTAL MODE AND PLASTIC ROTATION CAPACITY. In *Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering* (Vol. 55, Issue 2).
- Zhu, Y. P., Lang, Z. Q., Fujita, K., & Takewaki, I. (2023). Analysis and design of non-linear seismic isolation systems for building structures—An overview. In *Frontiers in Built Environment* (Vol. 8). Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2022.1084081>

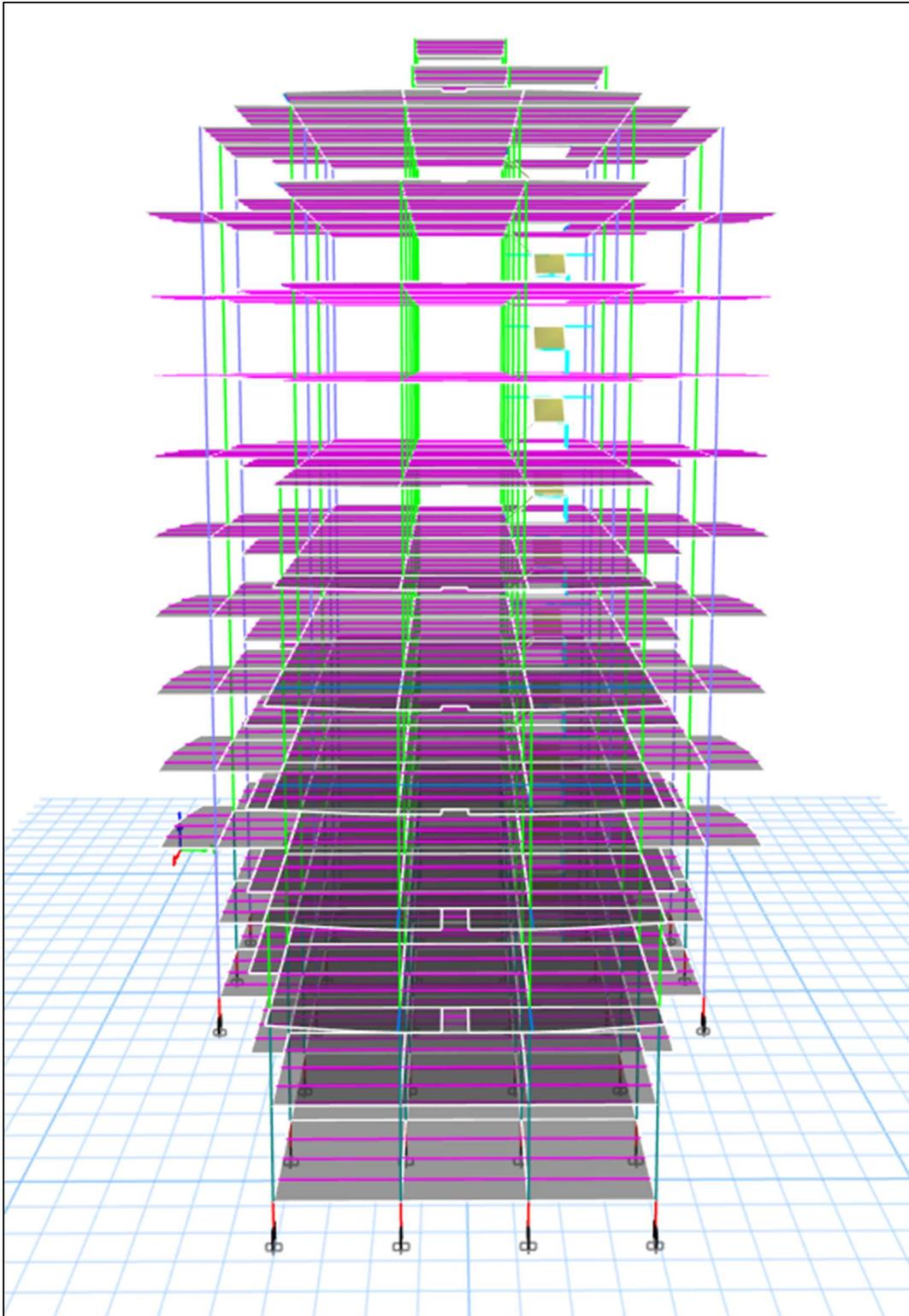
**ANEXOS**  
**MODELADO ESTRUCTURAL DE BASE FIJA**

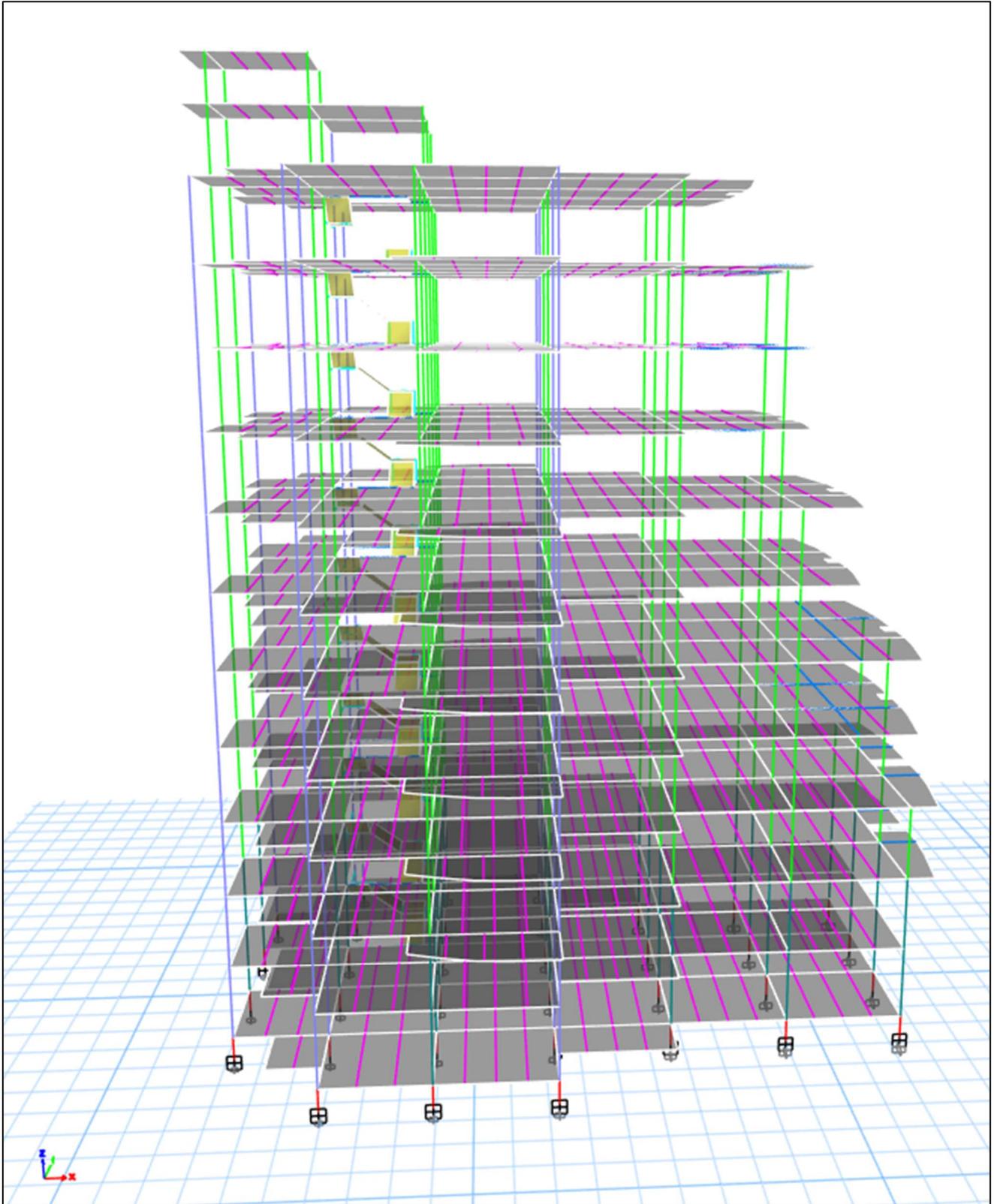


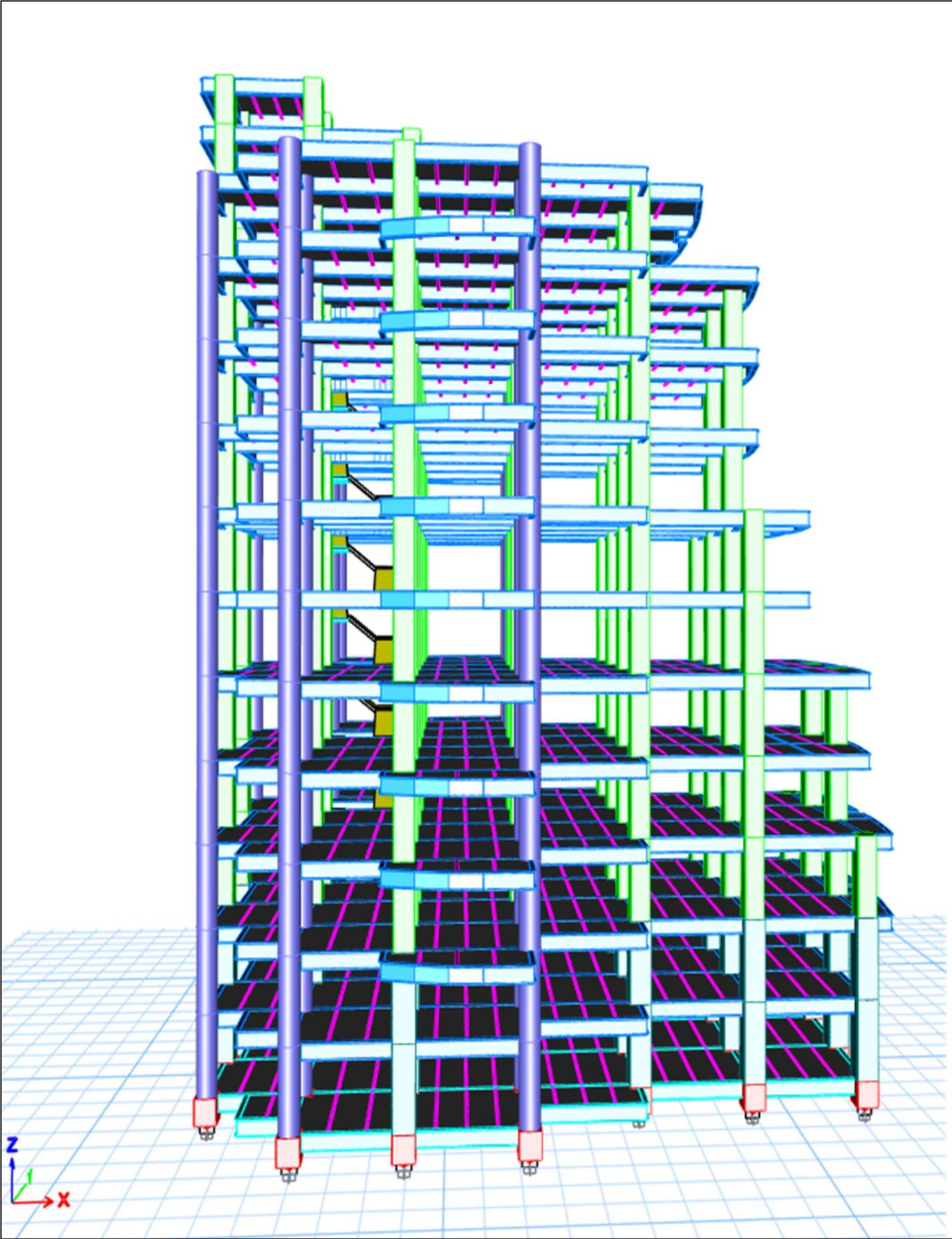




## MODELADO ESTRUCTURAL DE BASE AISLADA

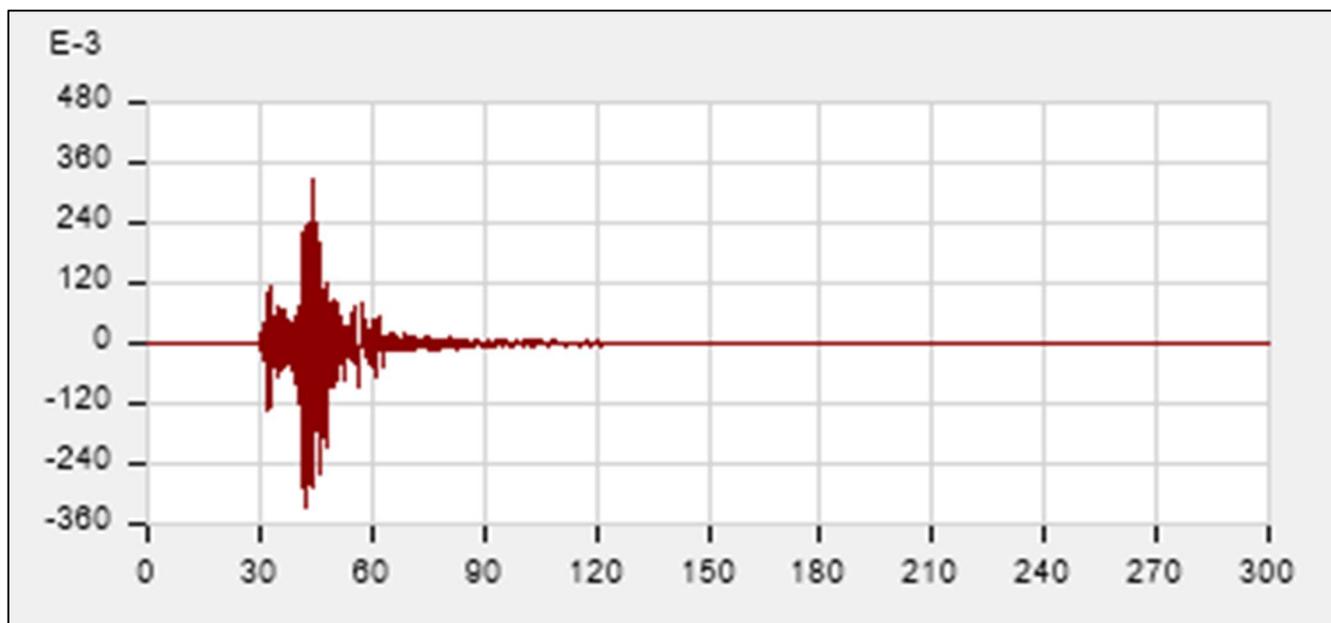






# SEÑALES SÍSMICAS

## SEÑAL ALFA



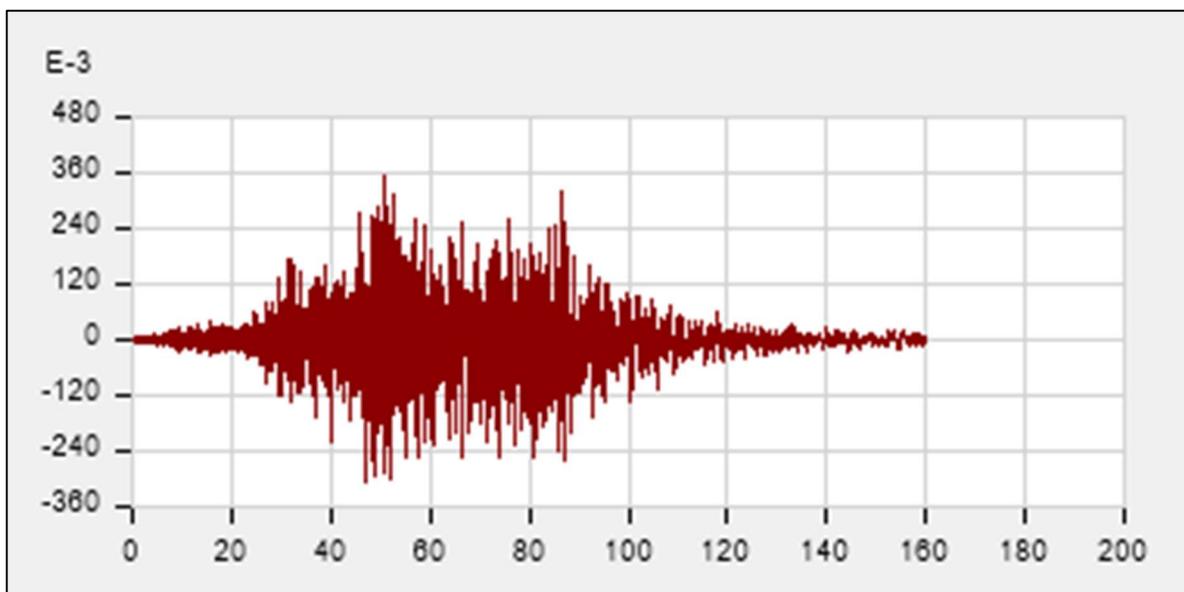
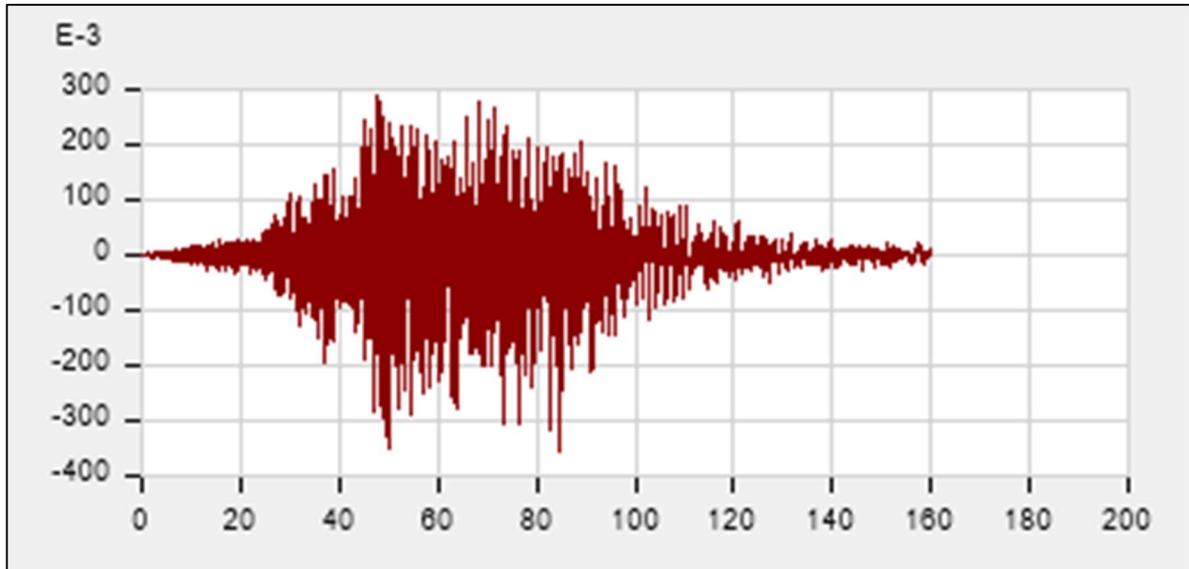
Este



Norte

## SEÑAL BETA

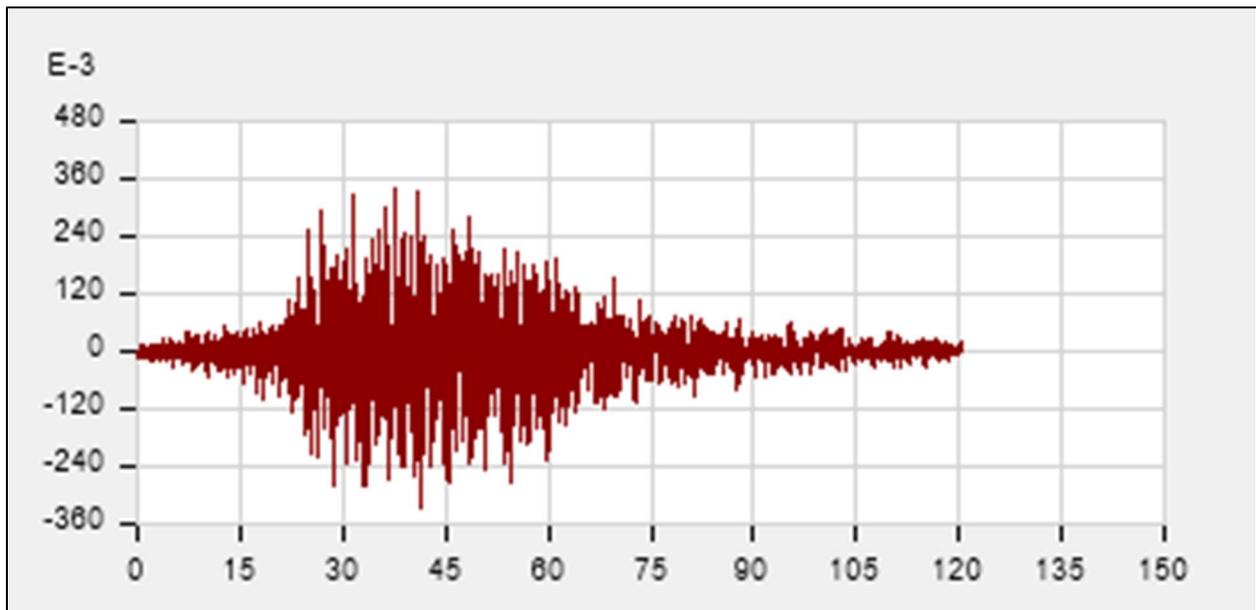
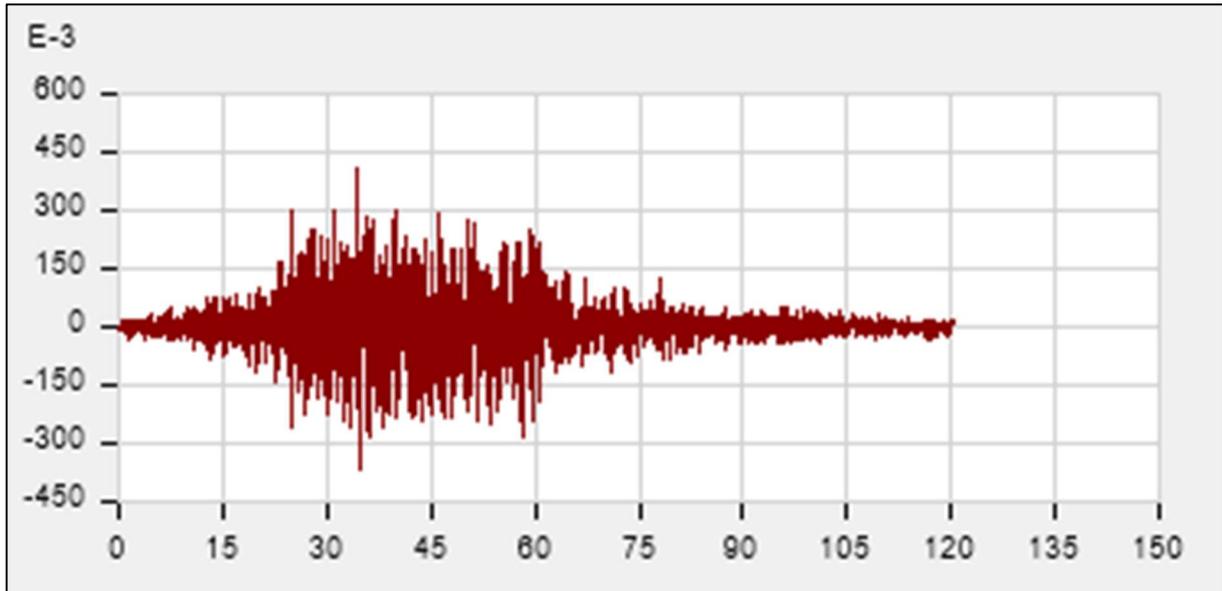
Este



Norte

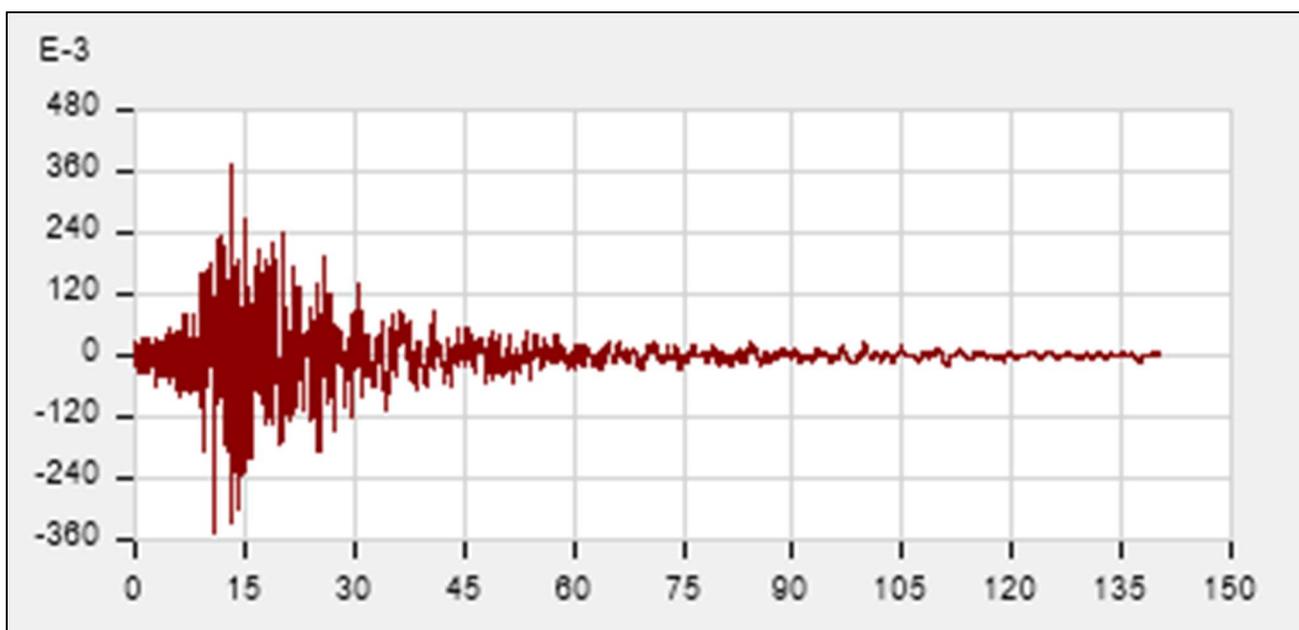
# SEÑAL DELTA

Este

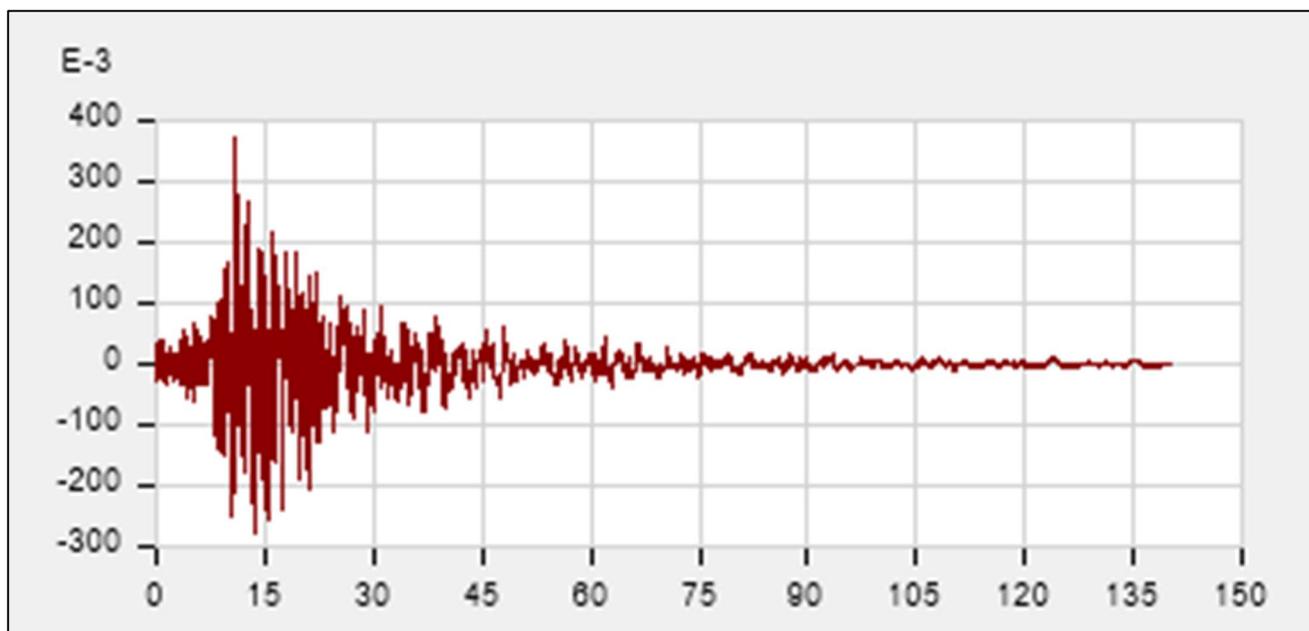


Norte

## SEÑAL EPSILON

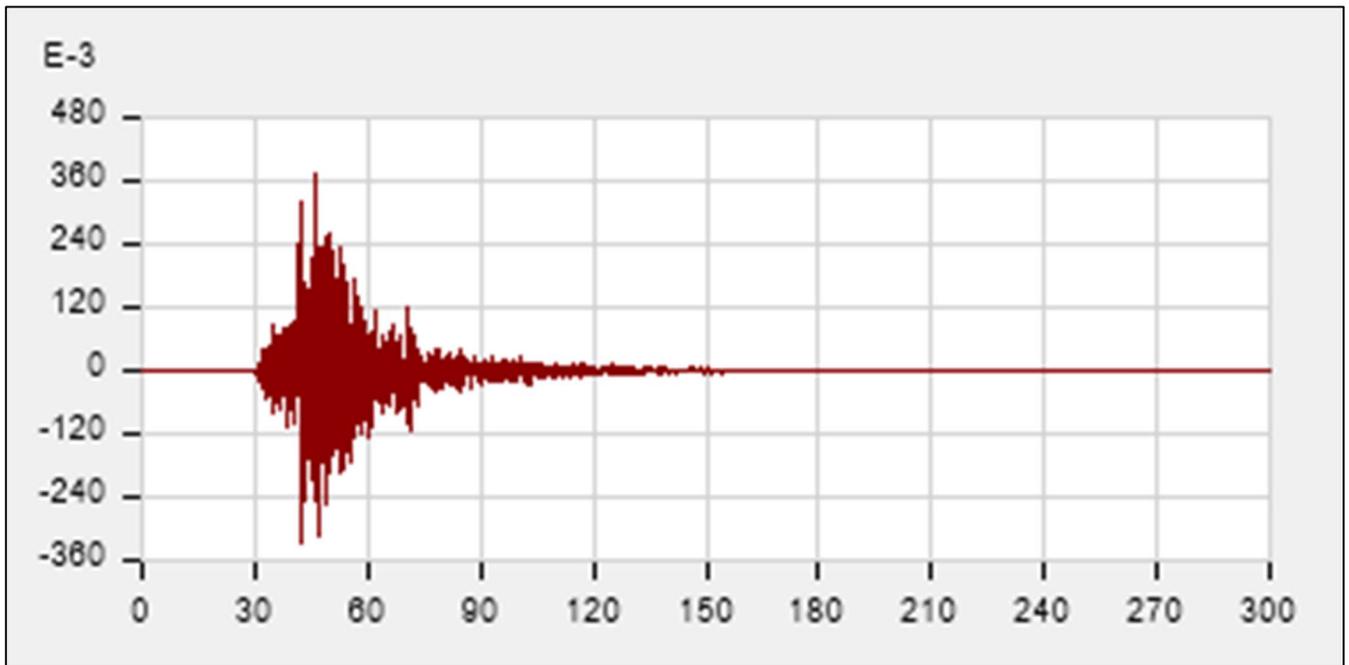


Este

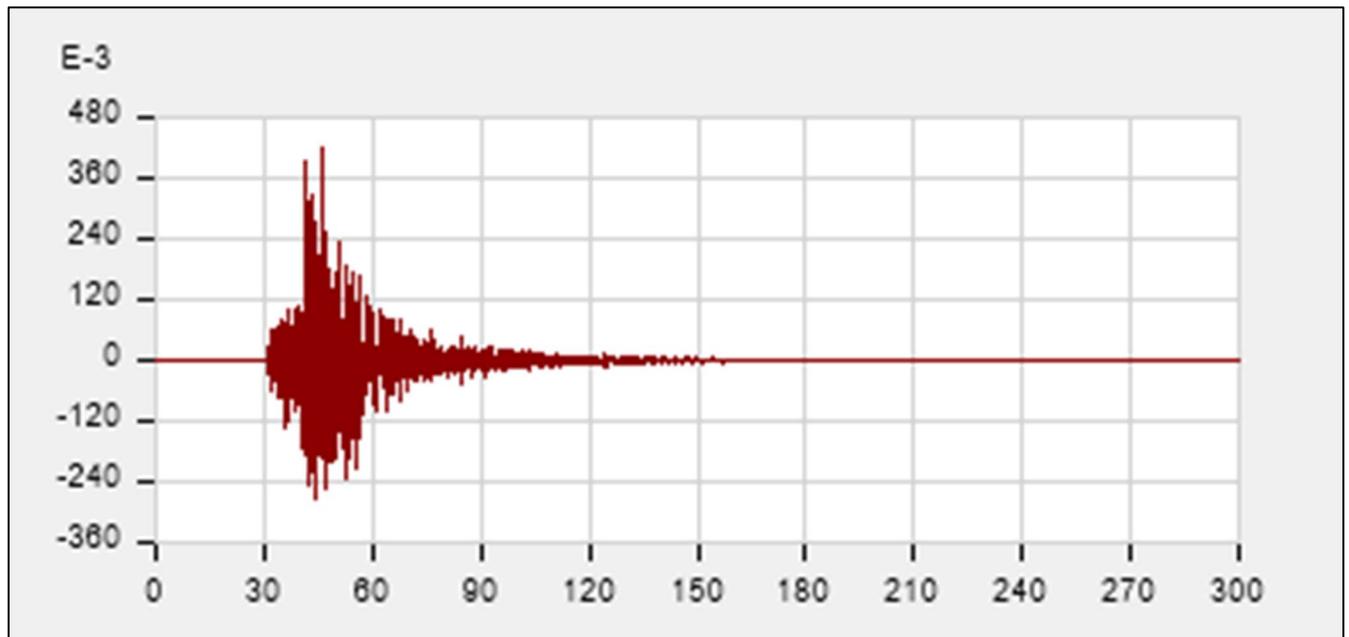


Norte

# SEÑAL ETA

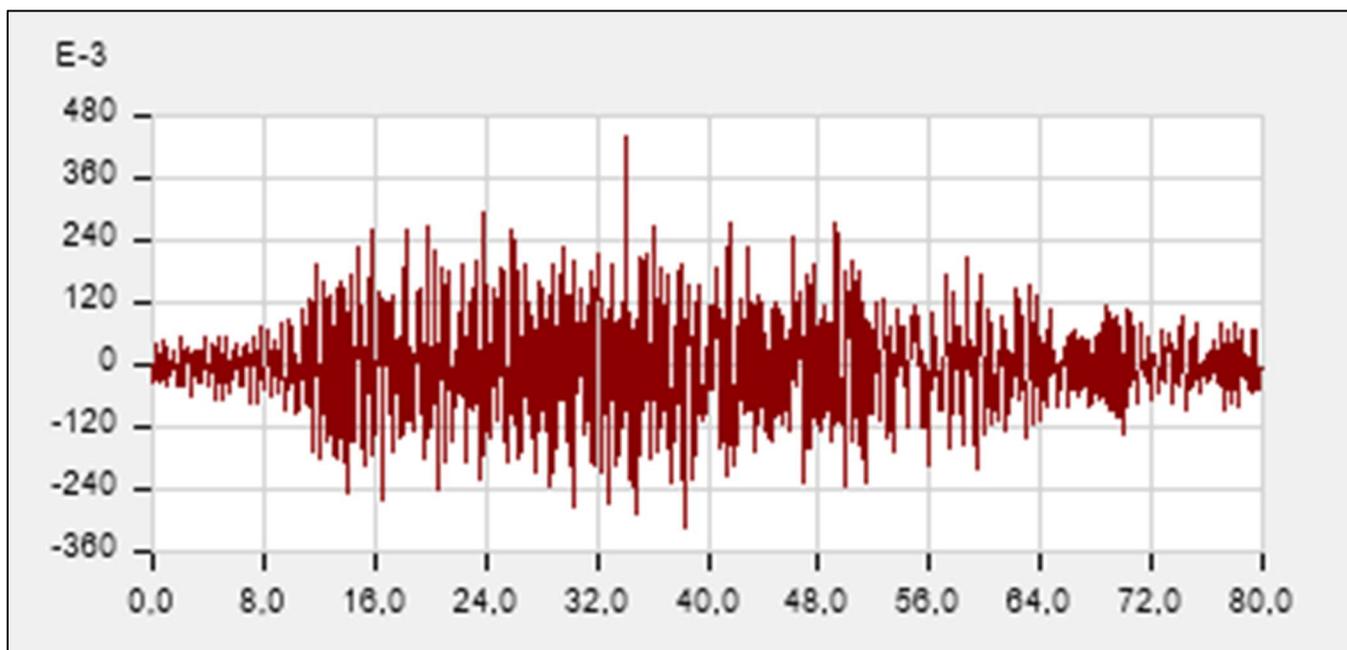


Este

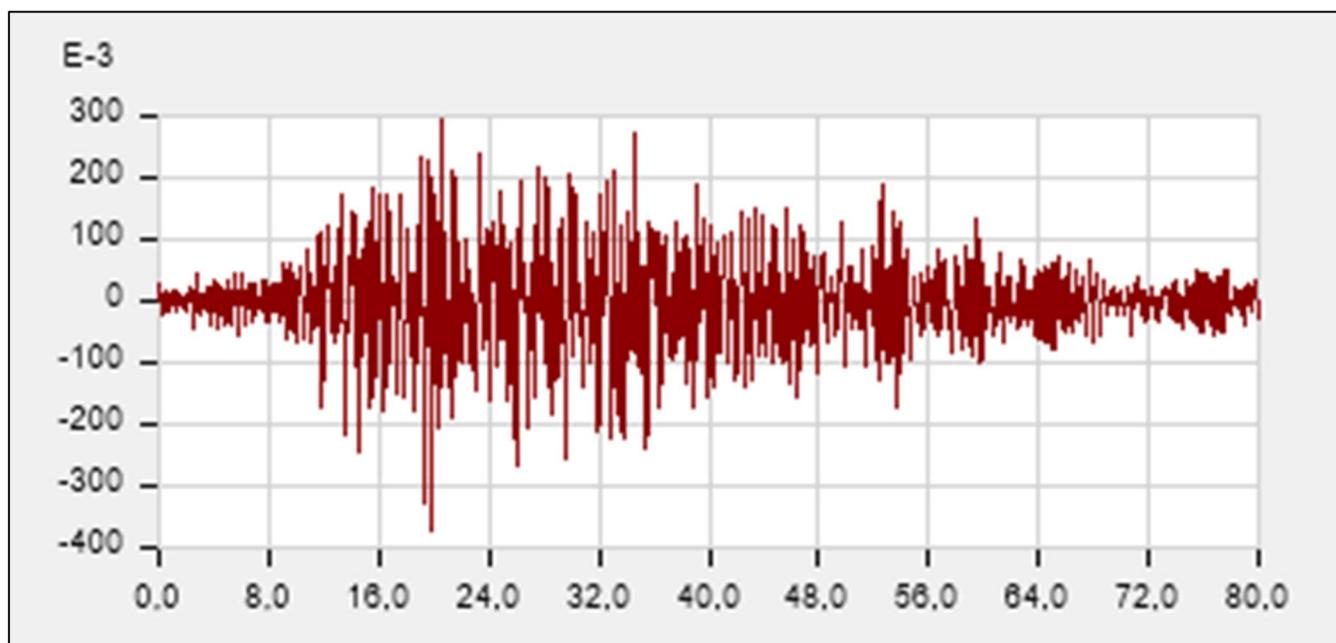


Norte

## SEÑAL GAMMA

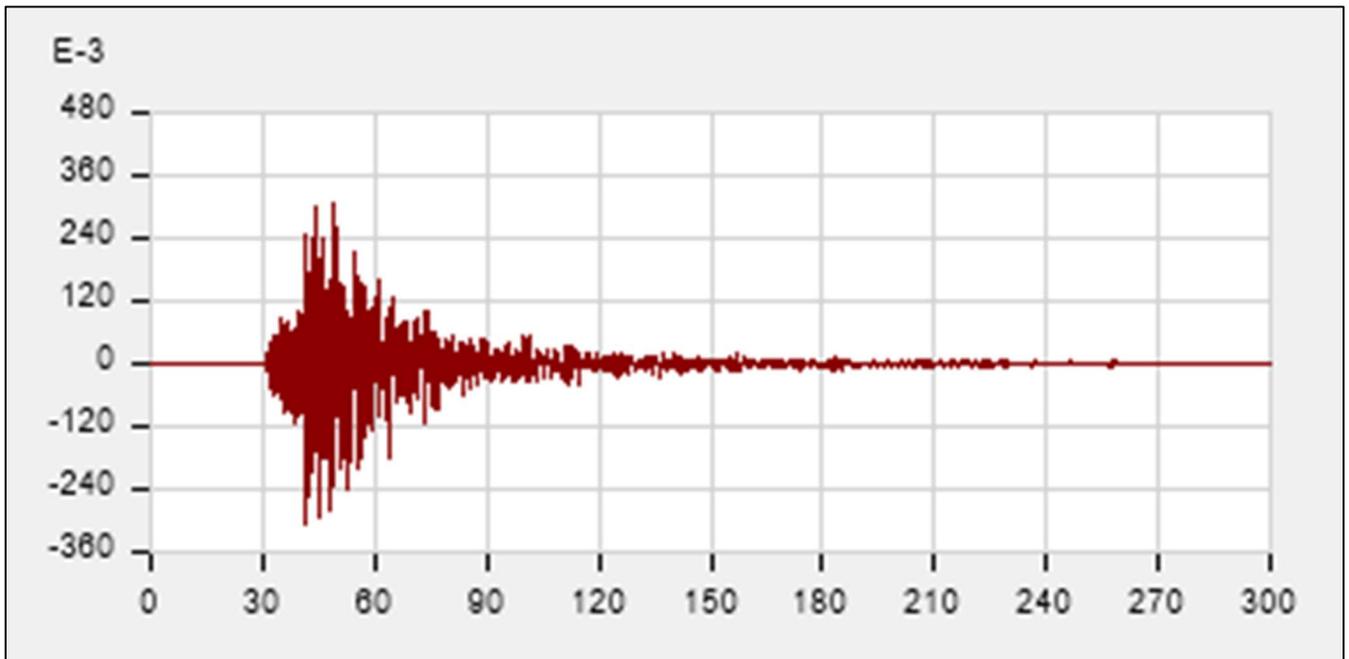


Este

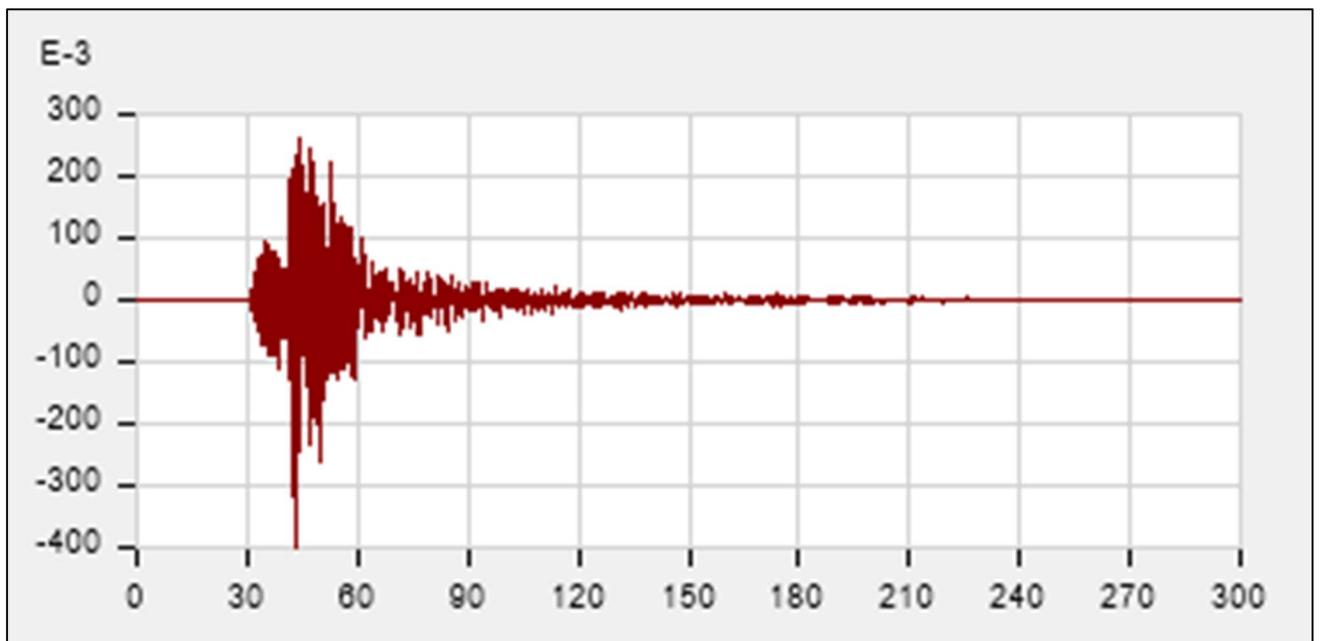


Norte

## SEÑAL IOTA

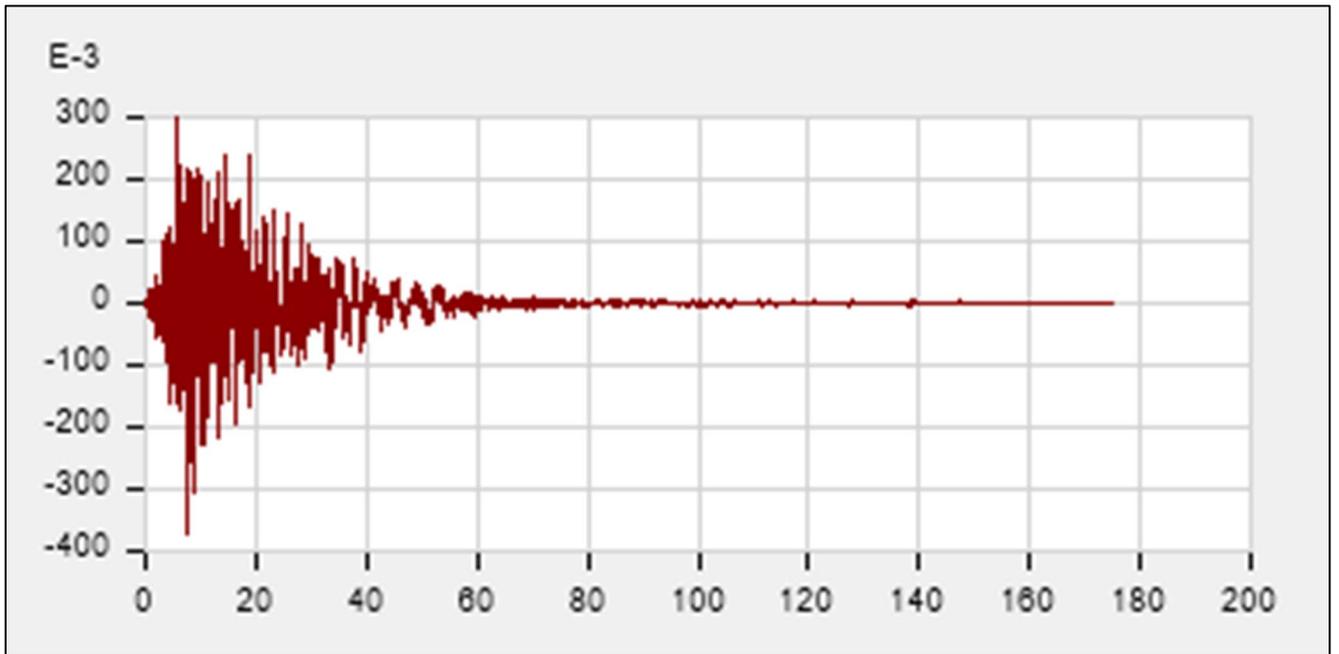


Este

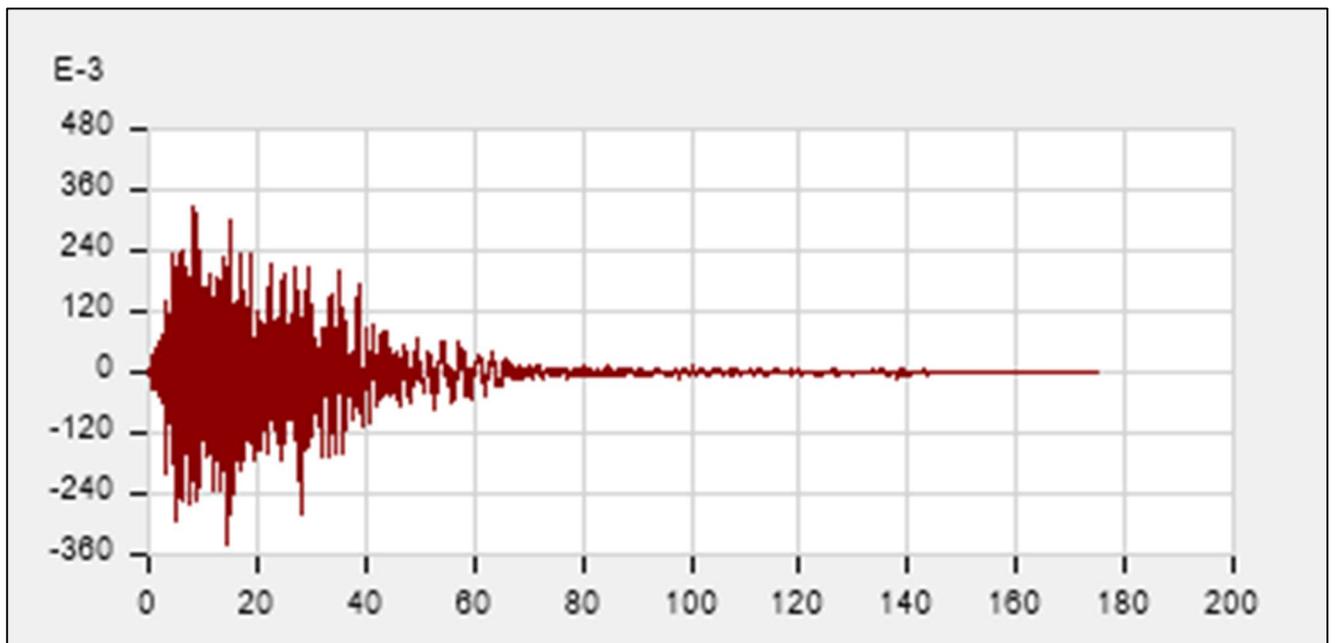


Norte

## SEÑAL KAPPA

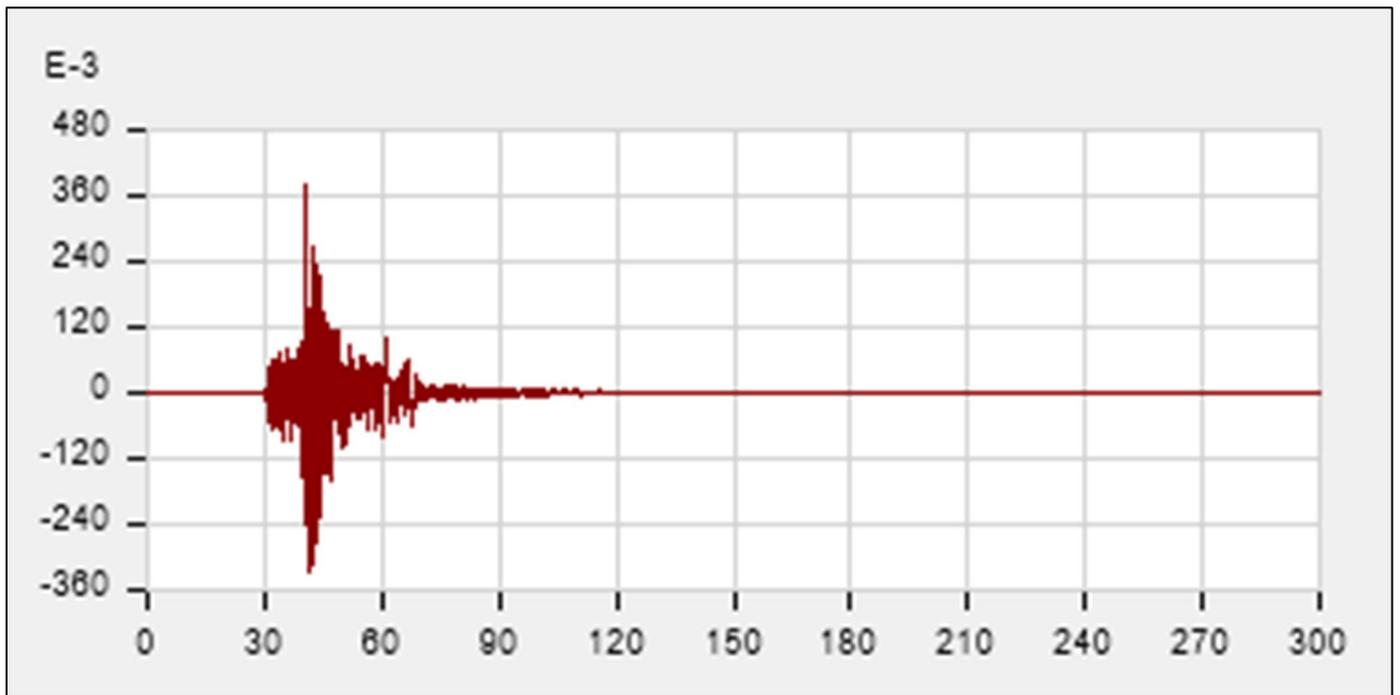


Este

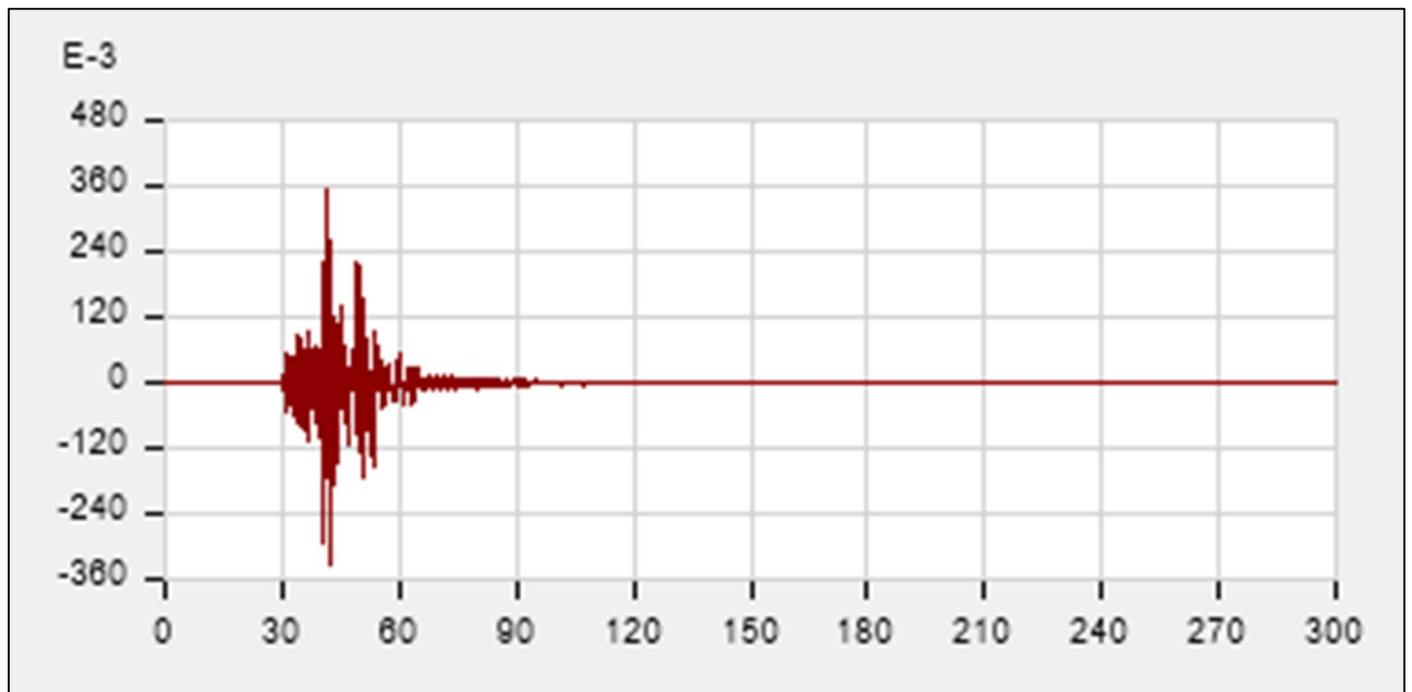


Norte

# SEÑAL LAMBDA

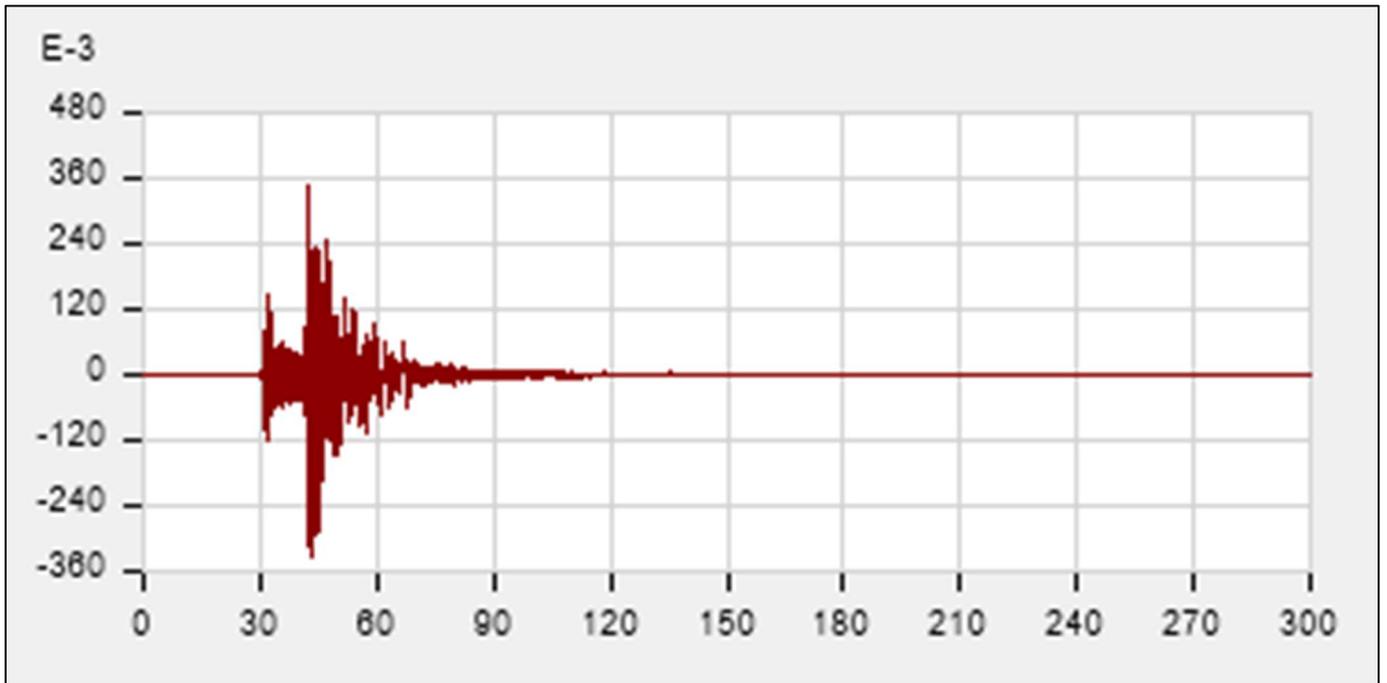


Este

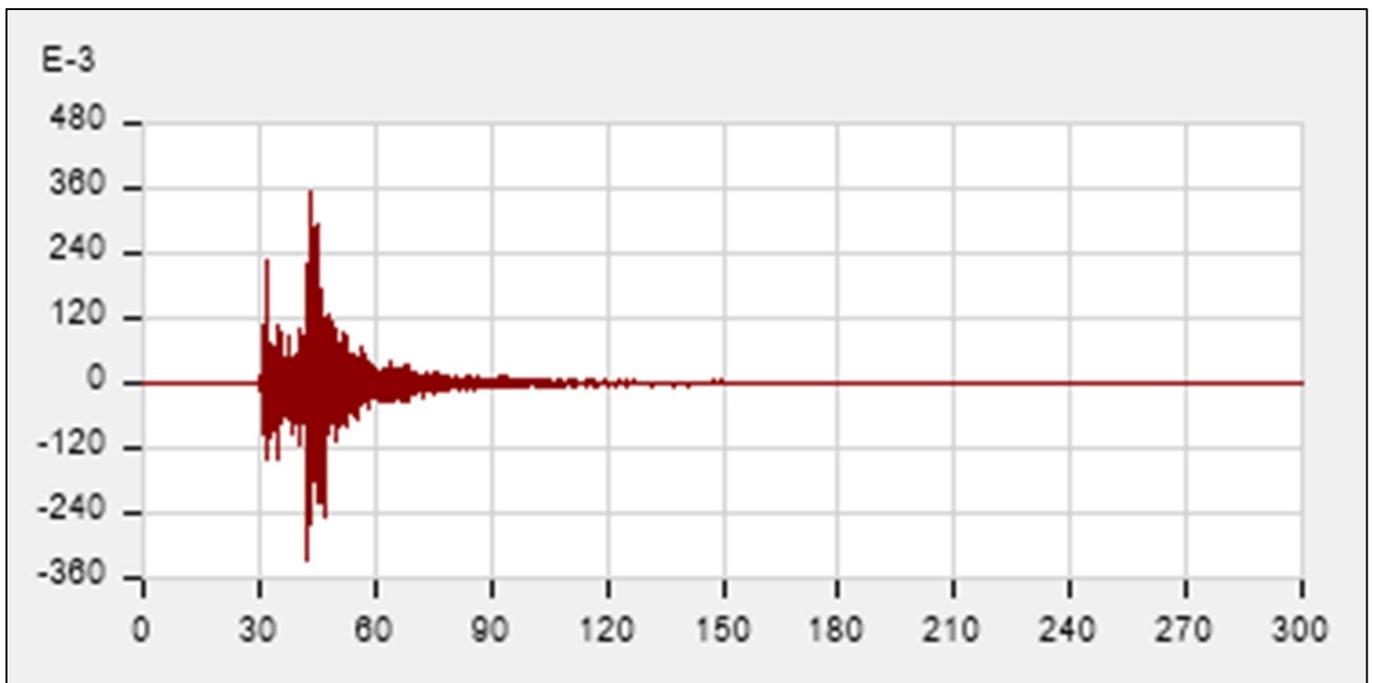


Norte

## SEÑAL THETA

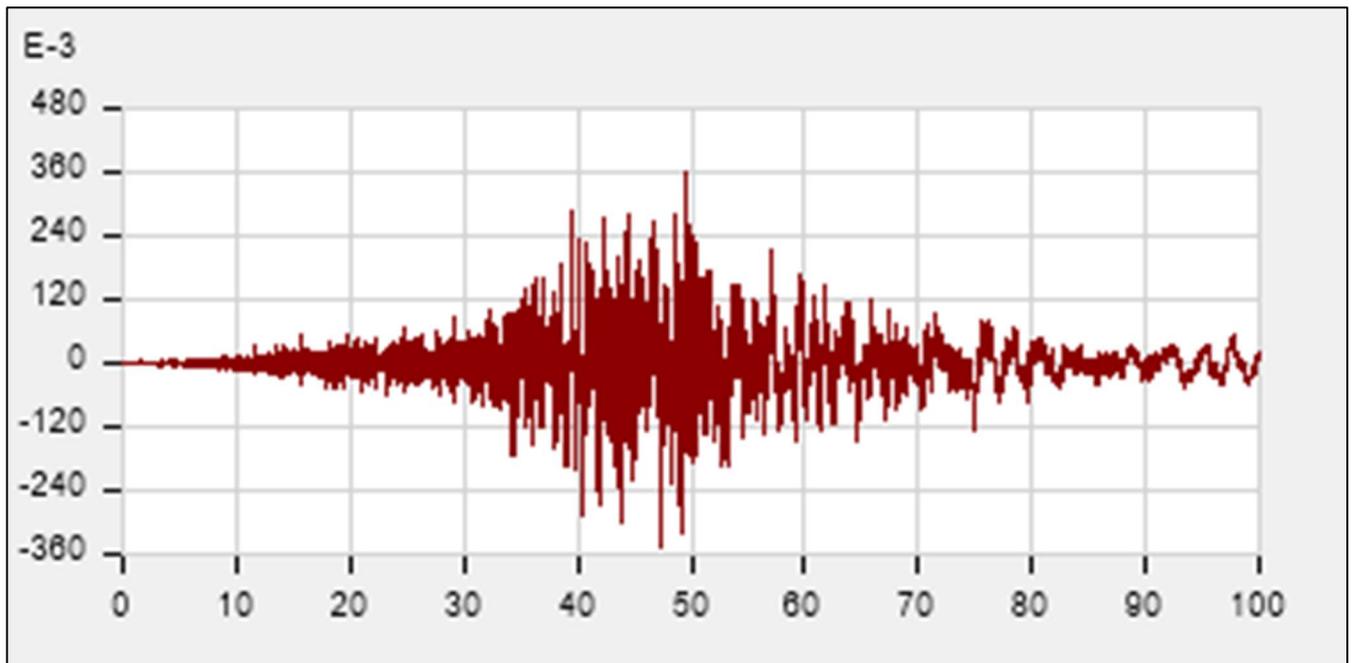


Este

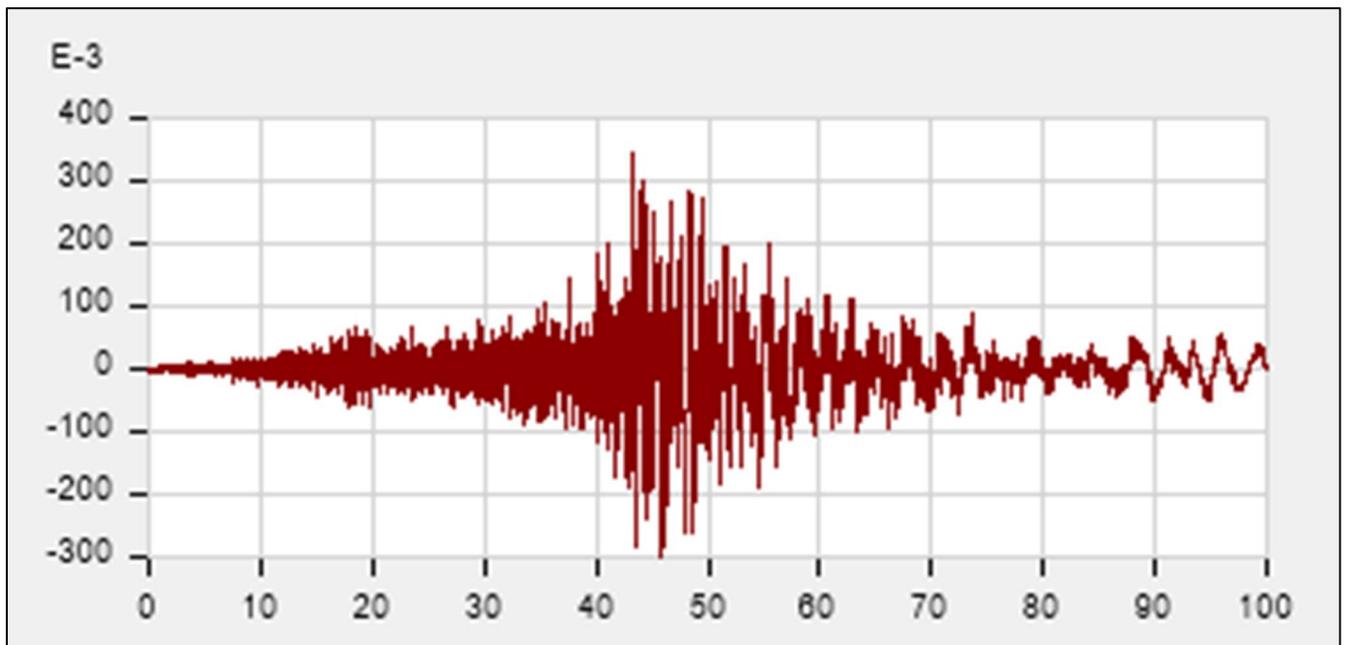


Norte

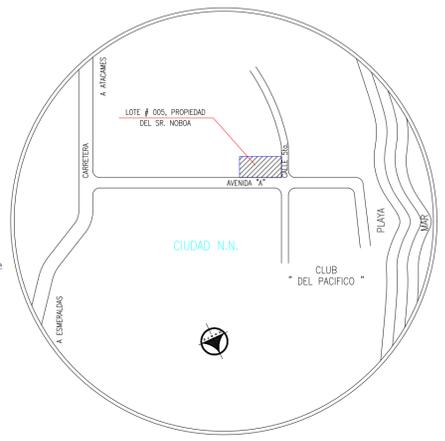
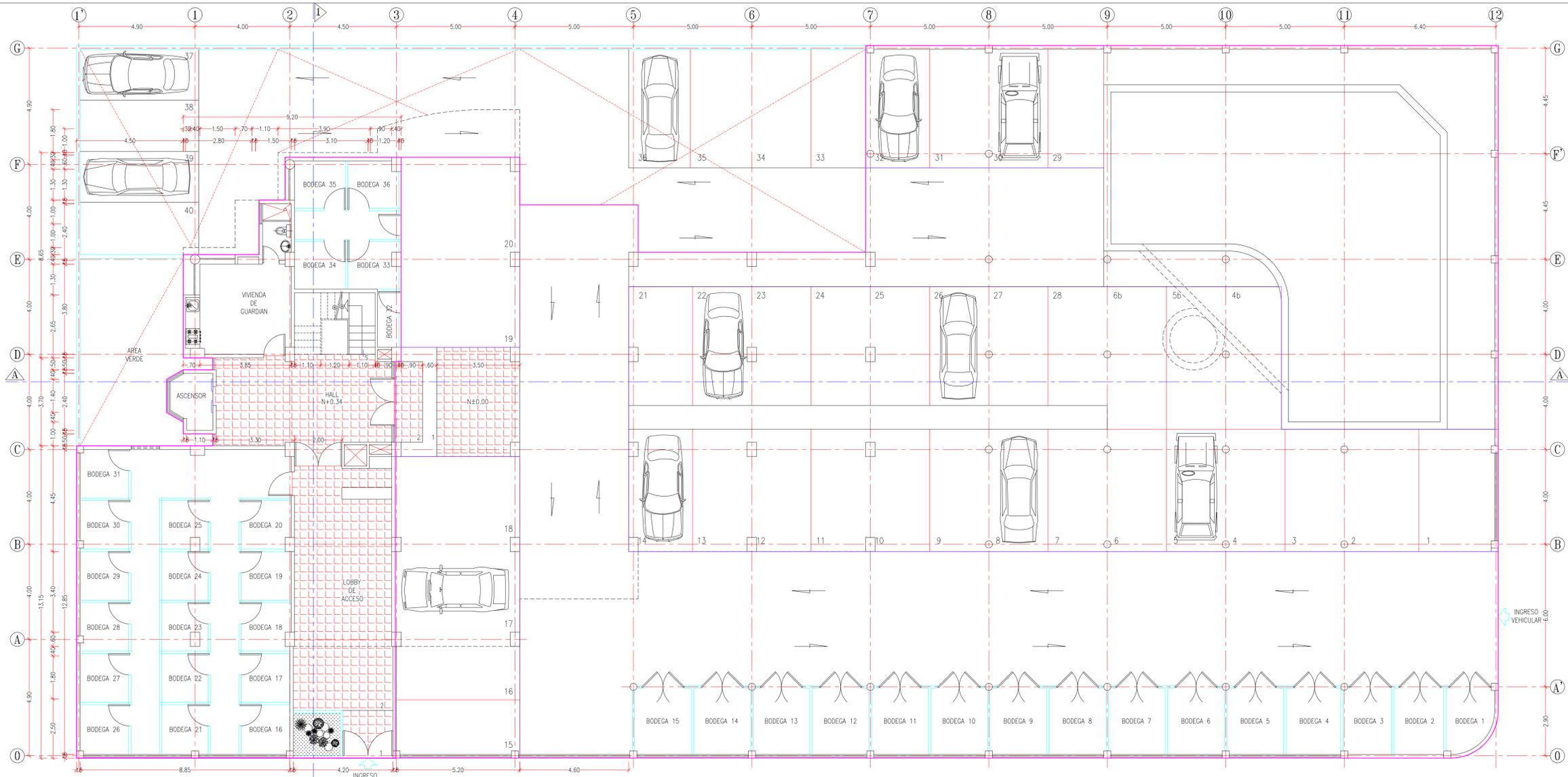
## SEÑAL ZETA



Este



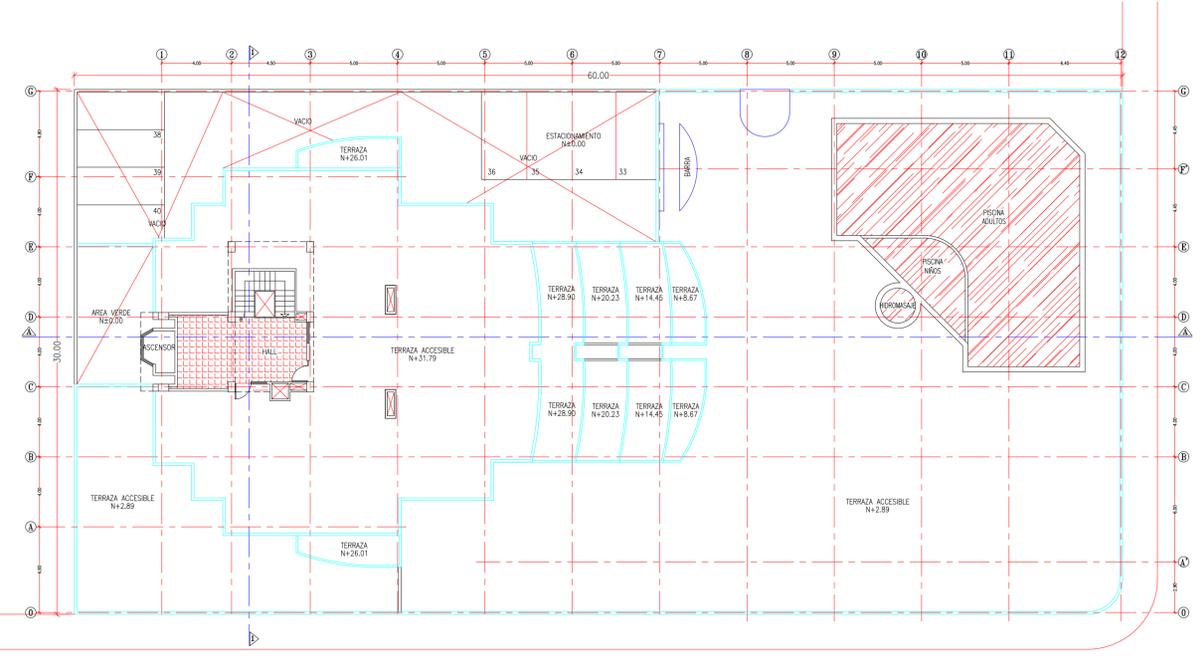
Norte



UBICACION GEOGRAFICA  
ESCALA 1:500 S/E

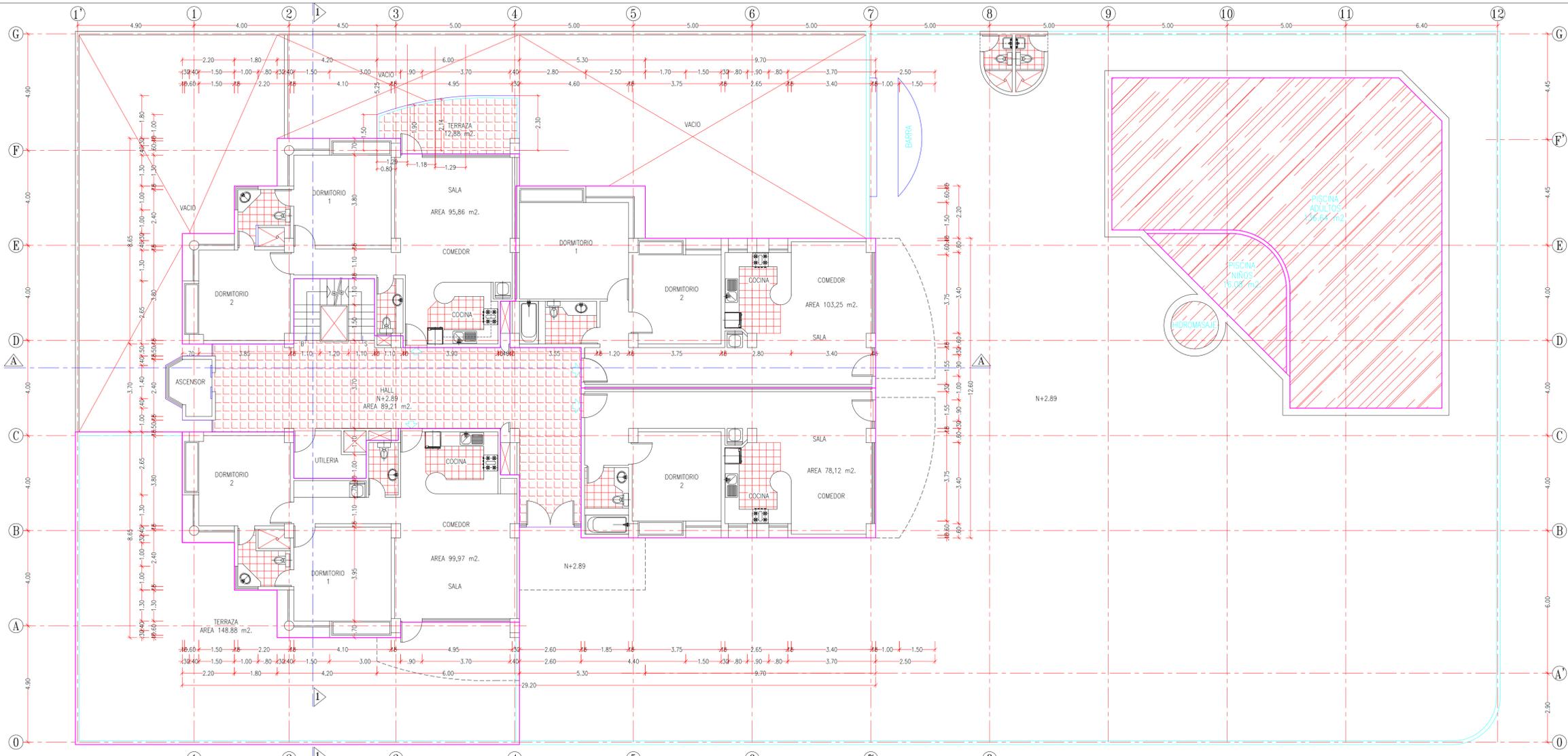
PLANTA BAJA N±0.00, N+0.34  
ESCALA 1:100

CUADRO DE AREAS						
ZONIFICACION:		AREA DE TERRENO: 1.800,00 M <sup>2</sup> .		DENSIDAD NETA		
COS P.B. 15,15 %		C.O.S. O.P. 197,96 %		Hab./Ha.		
PISO	NIVEL	AREA BRUTA	AREA NO COMPUTABLE		AREA UTIL	
			ESTACIONAMIENTOS	OTROS/CIRCULACIONES	PLANTA BAJA	PLANTA ALTA
PLANTA BAJA	40 ESTAC	N±0.00,+0.34	1.524,47 M <sup>2</sup> .	512,75 M <sup>2</sup> .	739,05 M <sup>2</sup> .	272,67 M <sup>2</sup> .
1o PISO ALTO	4 DPTOS.	N+2,89	466,41 M <sup>2</sup> .		89,21 M <sup>2</sup> .	377,20 M <sup>2</sup> .
2o PISO ALTO	4 DPTOS.	N+5,78	479,24 M <sup>2</sup> .		77,64 M <sup>2</sup> .	401,60 M <sup>2</sup> .
3o PISO ALTO	4 DPTOS.	N+8,67	479,24 M <sup>2</sup> .		77,64 M <sup>2</sup> .	401,60 M <sup>2</sup> .
4o PISO ALTO	4 DPTOS.	N+11,56	447,74 M <sup>2</sup> .		74,24 M <sup>2</sup> .	373,50 M <sup>2</sup> .
5o PISO ALTO	4 DPTOS.	N+14,45	447,74 M <sup>2</sup> .		74,24 M <sup>2</sup> .	373,50 M <sup>2</sup> .
6o PISO ALTO	4 DPTOS.	N+17,34	416,24 M <sup>2</sup> .		74,24 M <sup>2</sup> .	342,00 M <sup>2</sup> .
7o PISO ALTO	4 DPTOS.	N+20,23	416,24 M <sup>2</sup> .		74,24 M <sup>2</sup> .	342,00 M <sup>2</sup> .
8o PISO ALTO	3 DPTOS.	N+23,12	384,74 M <sup>2</sup> .		67,44 M <sup>2</sup> .	317,30 M <sup>2</sup> .
9o PISO ALTO	3 DPTOS.	N+26,01	384,74 M <sup>2</sup> .		67,44 M <sup>2</sup> .	317,30 M <sup>2</sup> .
10o PISO ALTO	3 DPTOS.	N+28,90	384,74 M <sup>2</sup> .		67,44 M <sup>2</sup> .	317,30 M <sup>2</sup> .
TERRAZA		N+31,79	49,66 M <sup>2</sup> .		49,66 M <sup>2</sup> .	
SUBTOTAL			5.881,20 M <sup>2</sup> .	512,75 M <sup>2</sup> .	1.532,48 M <sup>2</sup> .	272,67 M <sup>2</sup> .
37 DPTOS. 40 ESTAC. 36 BODEGAS		TOTAL	5.881,20 M <sup>2</sup> .	TOTAL AREA NO COMPUTABLE 2.045,23 M <sup>2</sup> .		3.835,97 M <sup>2</sup> . CUS. 213,11 %

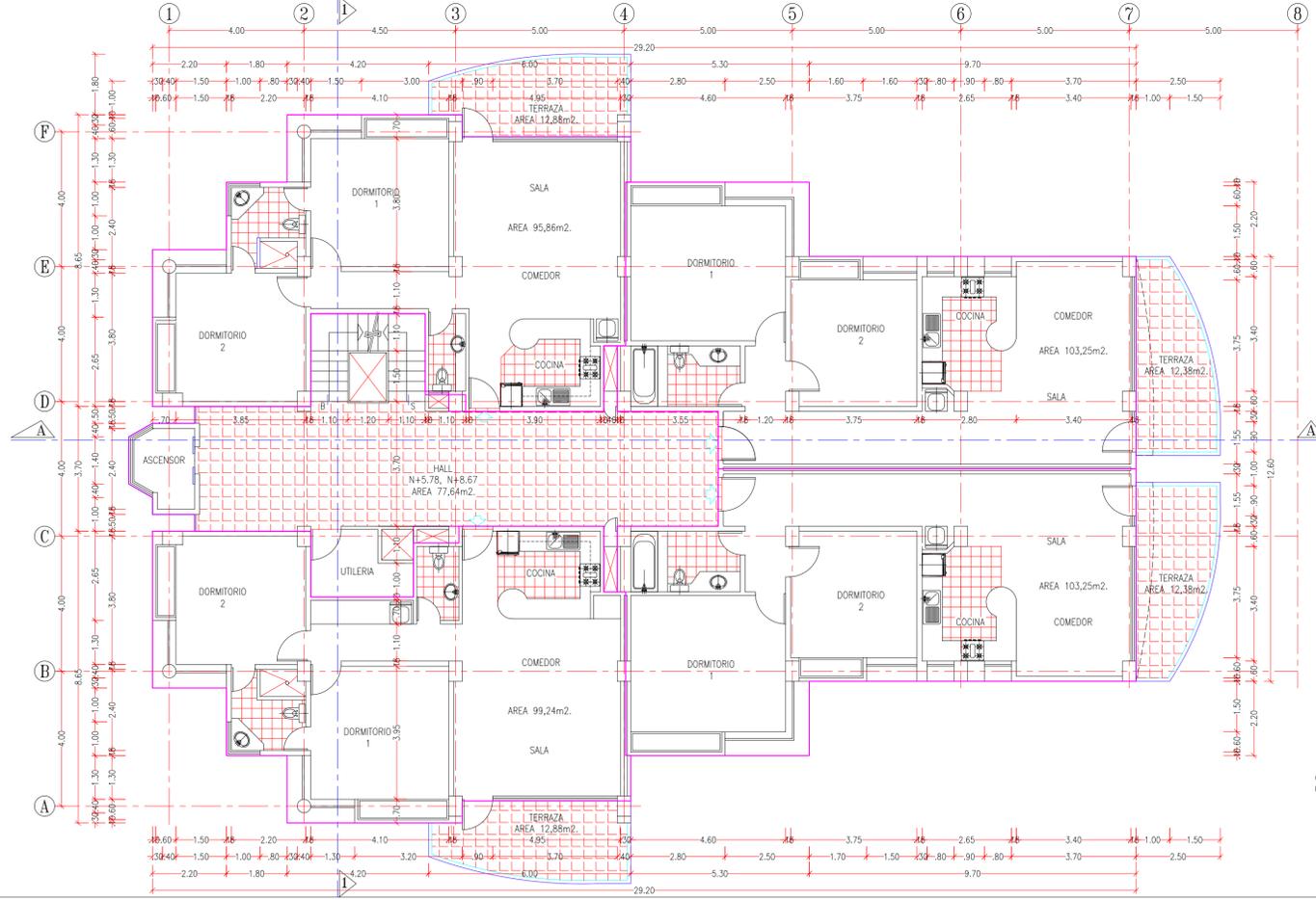


IMPLANTACION GENERAL  
ESCALA 1:200

PROYECTO :	
PLANIFICACION :	SELLOS MUNICIPALES :
PROPIETARIOS :	
CONTIENE : PLANTA BAJA N±0.00, +0.34 IMPLANTACION GENERAL CUADRO DE AREAS UBICACION GEOGRAFICA UBICACION :	
ESCALA :	FECHA :
CODIGO CATASTRAL :	
LAMINA 'ARQ 1 de 7	

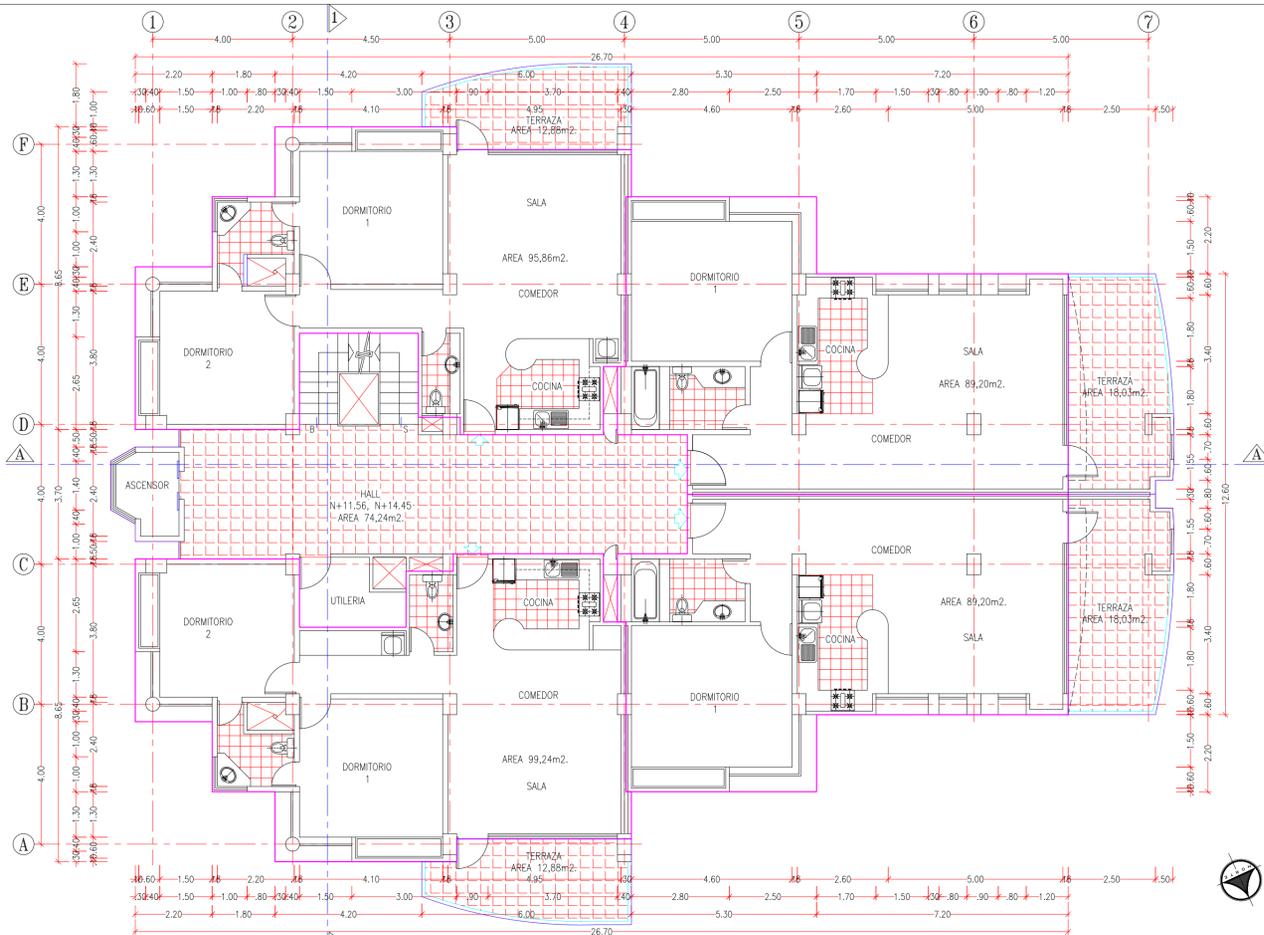


PRIMERA PLANTA ALTA N+2.89  
ESCALA 1:100

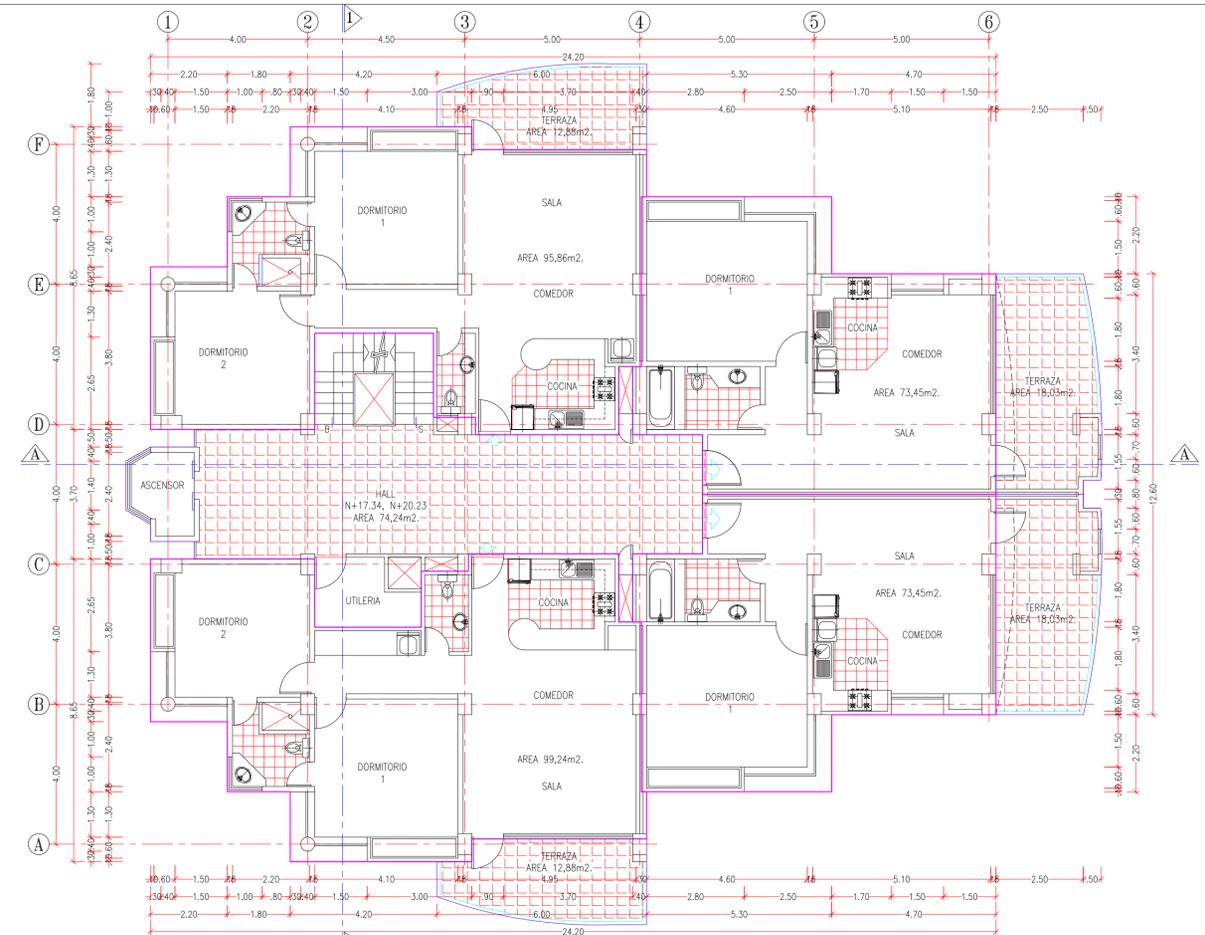


SEGUNDA Y TERCERA PLANTAS ALTAS  
N+5.78, N+8.67  
ESCALA 1:100

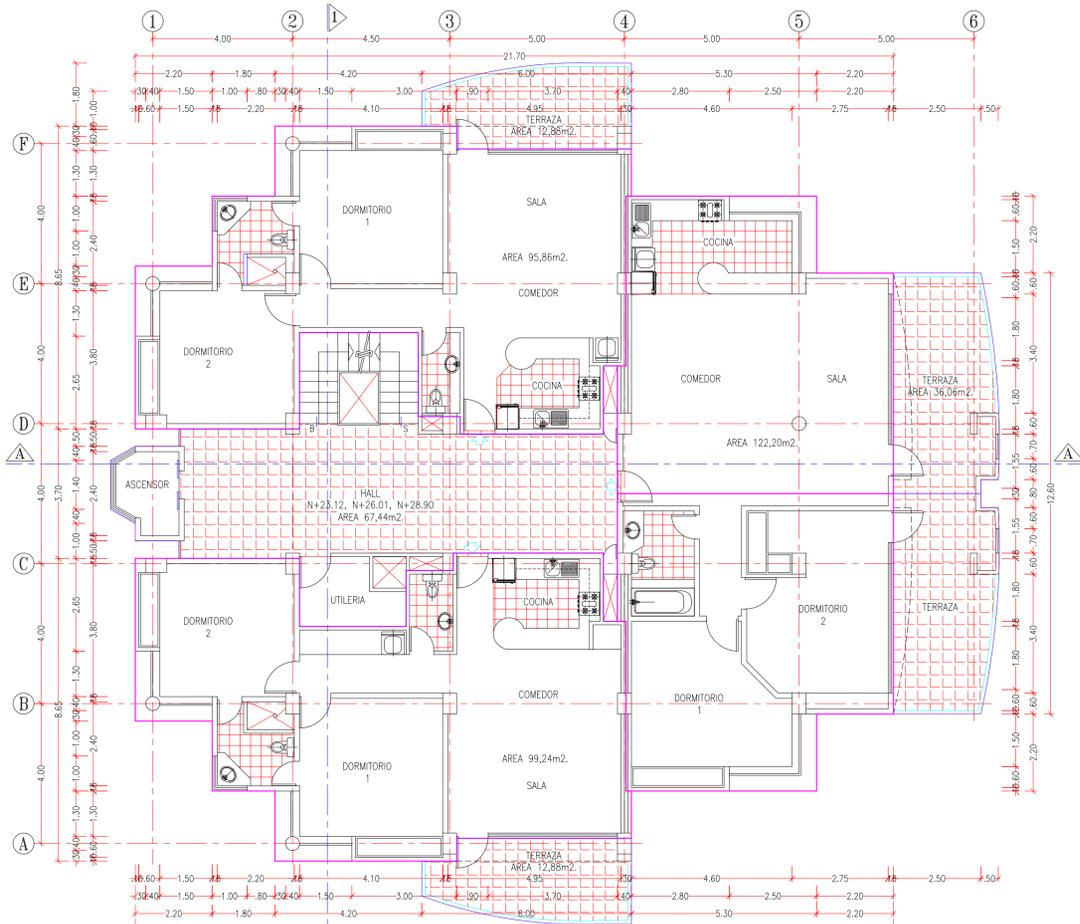
PROYECTO :	
PLANIFICACION :	SELLOS MUNICIPALES :
PROPIETARIOS :	
CONTIENE : 1a. PLANTA ALTA N+3.06 2da. Y 3ra. PLANTAS ALTAS N+5.78, N+8.50	
UBICACION :	
ESCALA :	FECHA :
CODIGO CATASTRAL :	
LAMINA : ARQ	
2 de 7	



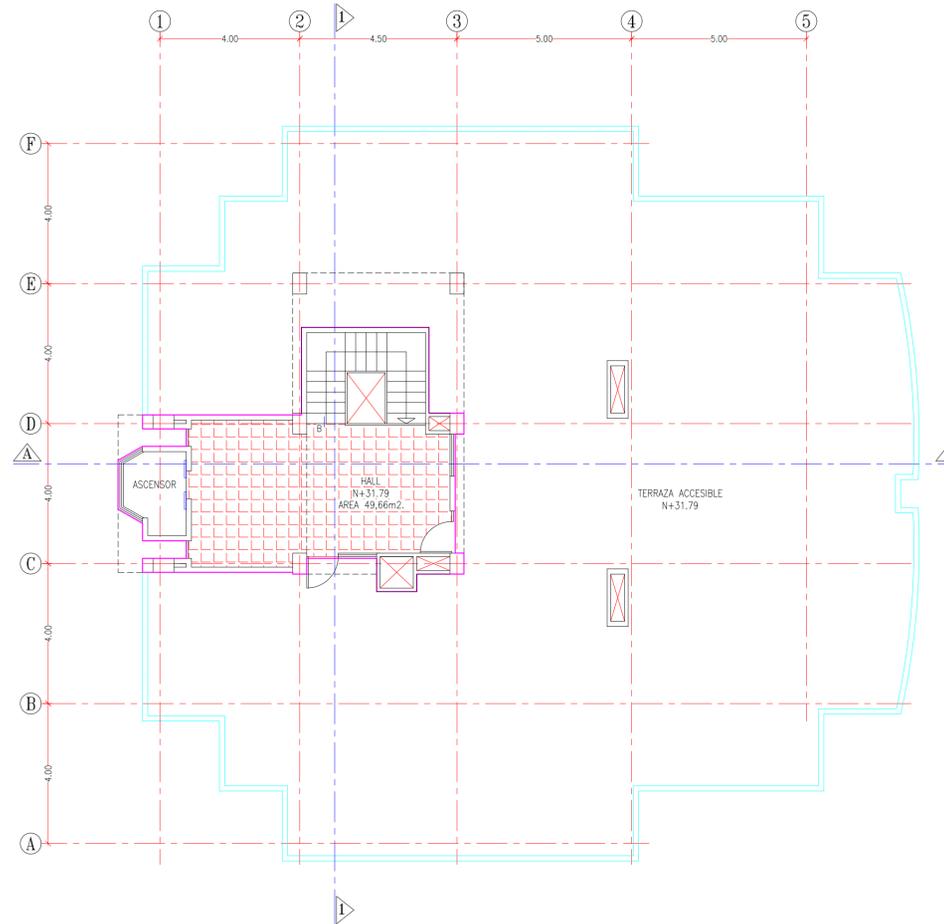
CUARTA Y QUINTA PLANTAS ALTAS  
N+11.56, N+14.45  
ESCALA 1:100



SEXTA Y SEPTIMA PLANTAS ALTAS  
N+17.34, N+20.23  
ESCALA 1:100



OCTAVA, NOVENA Y DECIMA PLANTAS ALTAS  
N+23.12, N+26.01, N+28.90  
ESCALA 1:100



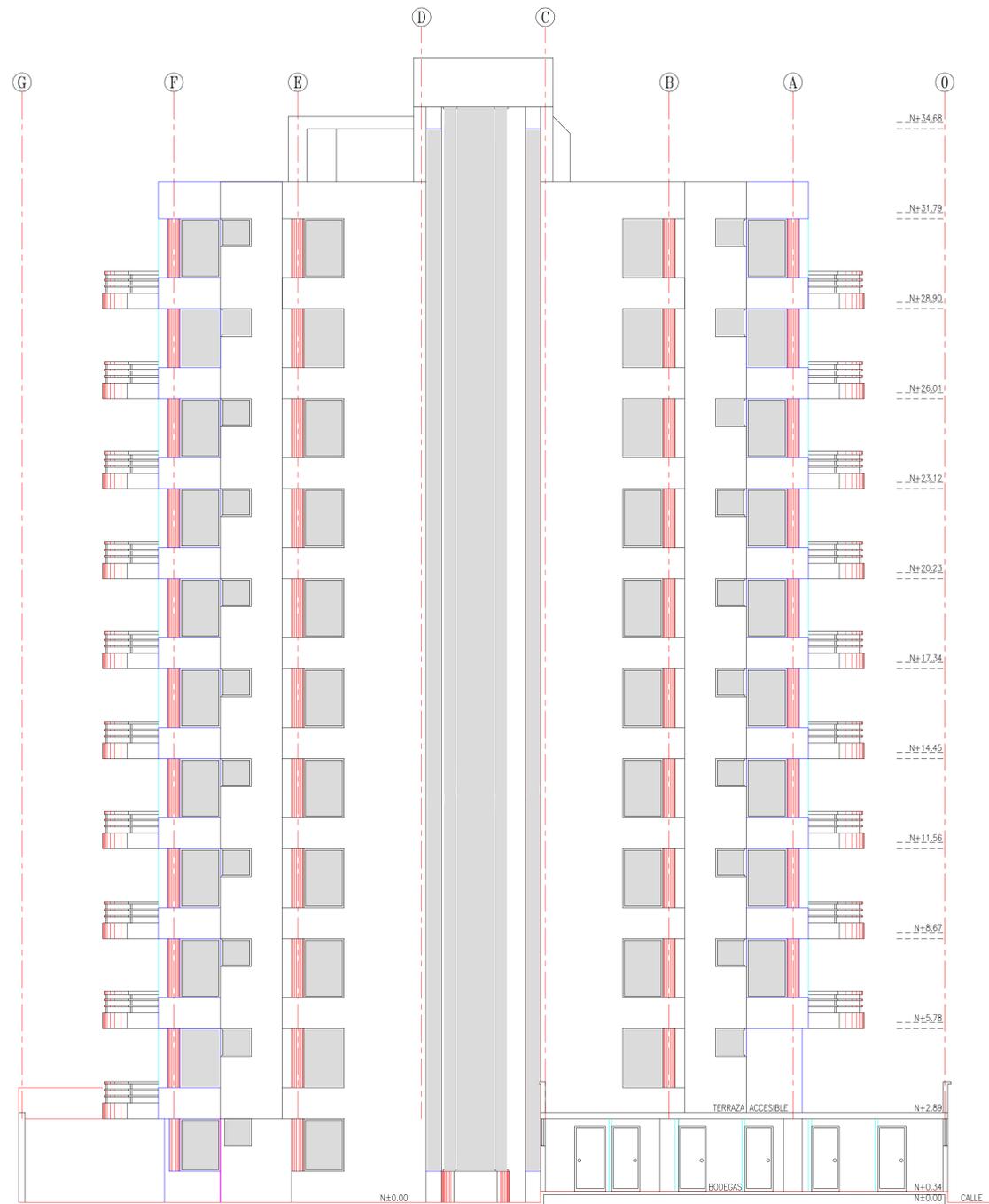
PLANTA DE TERRAZA  
N+31.79  
ESCALA 1:100

PROYECTO :	
PLANIFICACION :	SELLOS MUNICIPALES :
PROPIETARIOS :	
CONTIENE : 4o, 5o PA. N+11.22, +13.94 6o, 7o PA. N+16.66, +19.38 8o, 9o PA. N+22.10, +24.82 PLANTA TERRAZA N+27.54	
UBICACION :	
ESCALA :	FECHA :
CODIGO CATASTRAL :	
LAMINA 'ARQ 3 de 7	



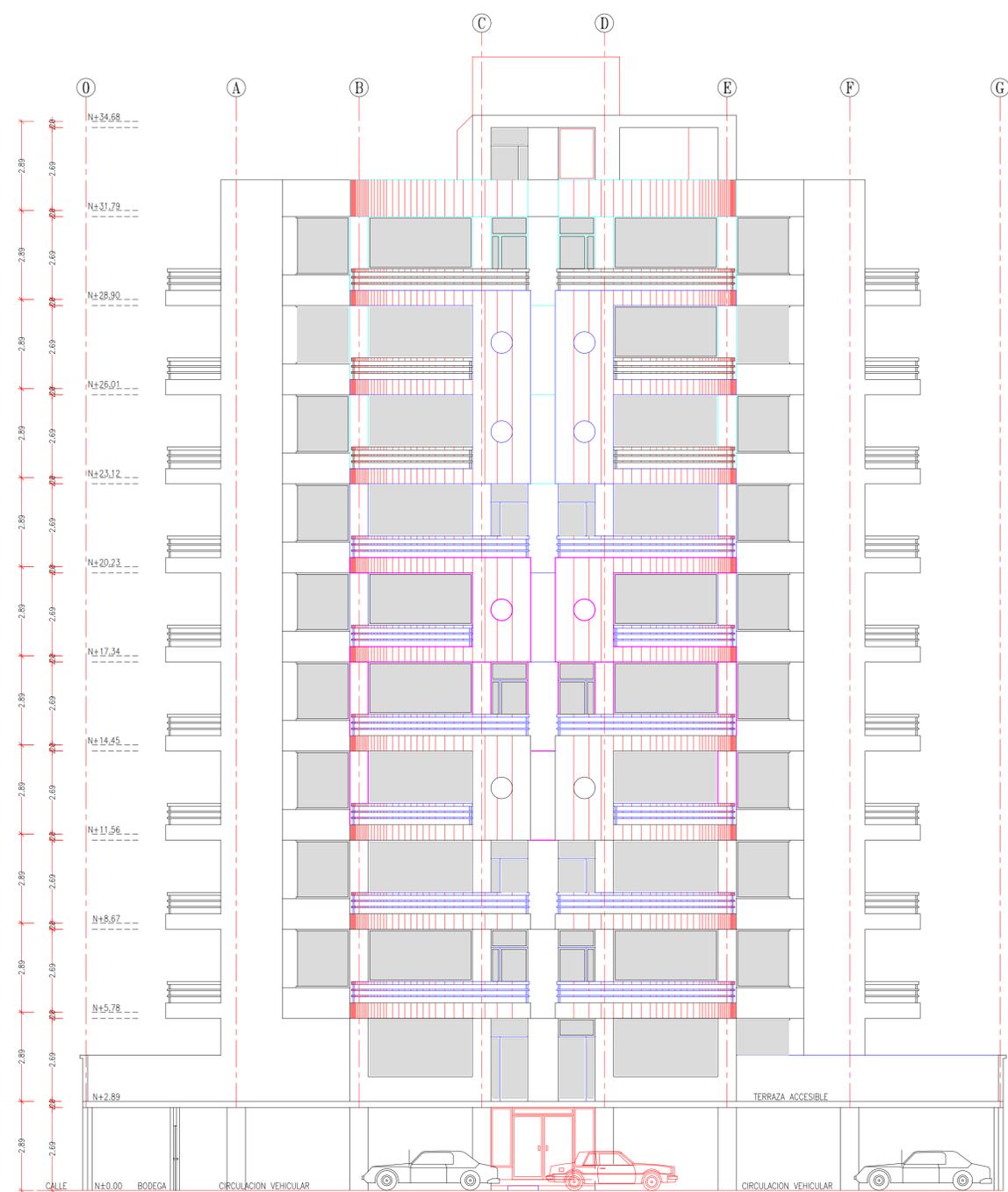
FACHADA FRONTAL NORTE  
 ESCALA 1:100

PROYECTO :	
PLANIFICACION :	SELLOS MUNICIPALES :
PROPIETARIOS :	
CONTIENE :	
FACHADA FRONTAL NORTE	
UBICACION :	
ESCALA :	FECHA :
CODIGO CATASTRAL :	
-	
LAMINA 'ARQ	
5 de 7	



FACHADA LATERAL IZQUIERDA ESTE

ESCALA 1:100



FACHADA LATERAL DERECHA OESTE

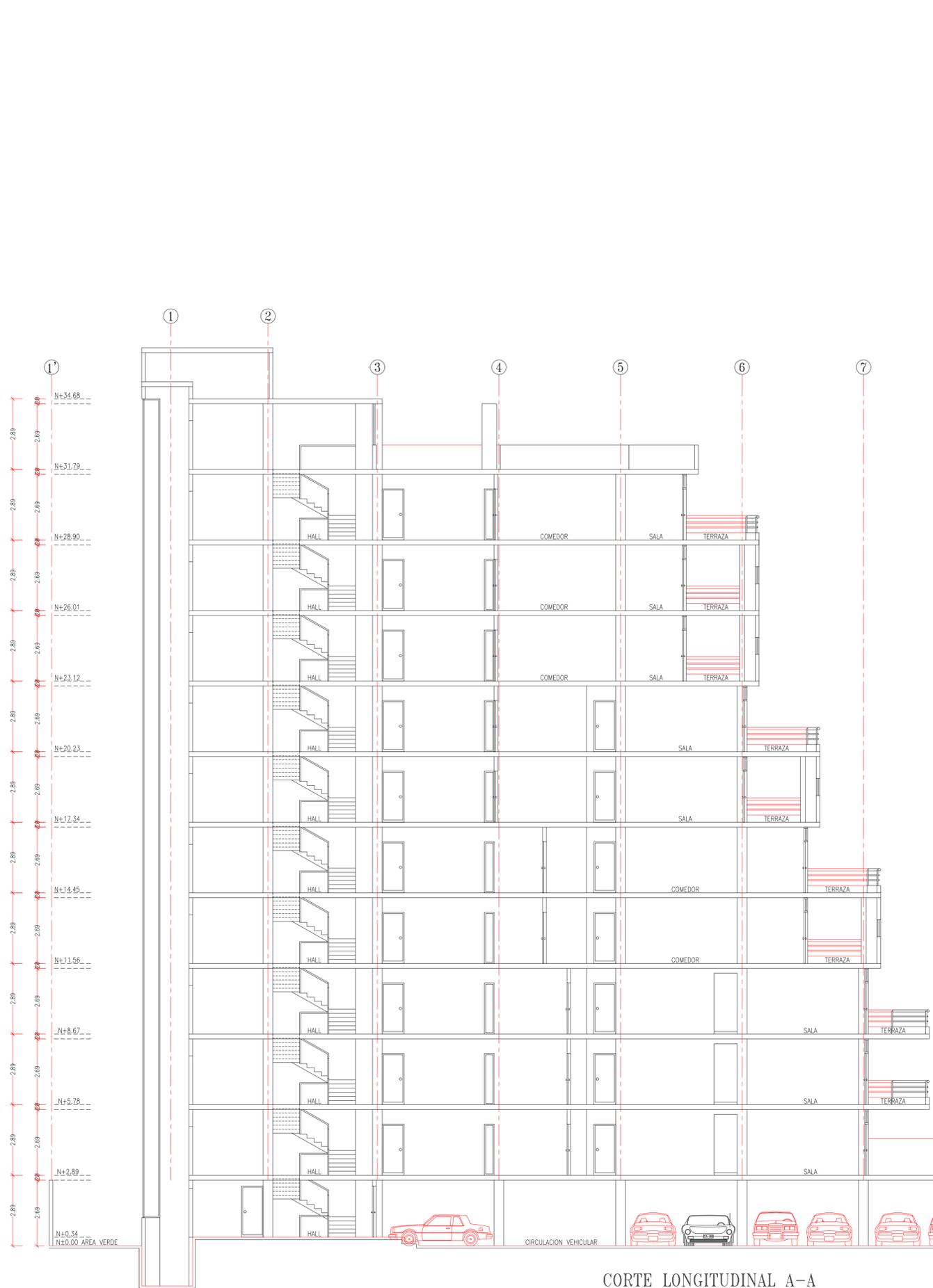
ESCALA 1:100

PROYECTO :	
PLANIFICACION :	SELLOS MUNICIPALES :
PROPIETARIOS :	
CONTIENE : - FACHADA LATERAL IZQUIERDA ESTE - FACHADA LATERAL DERECHA OESTE UBICACION :	
ESCALA :	FECHA :
CODIGO CATASTRAL :	
LAMINA 'ARQ 6 de 7	

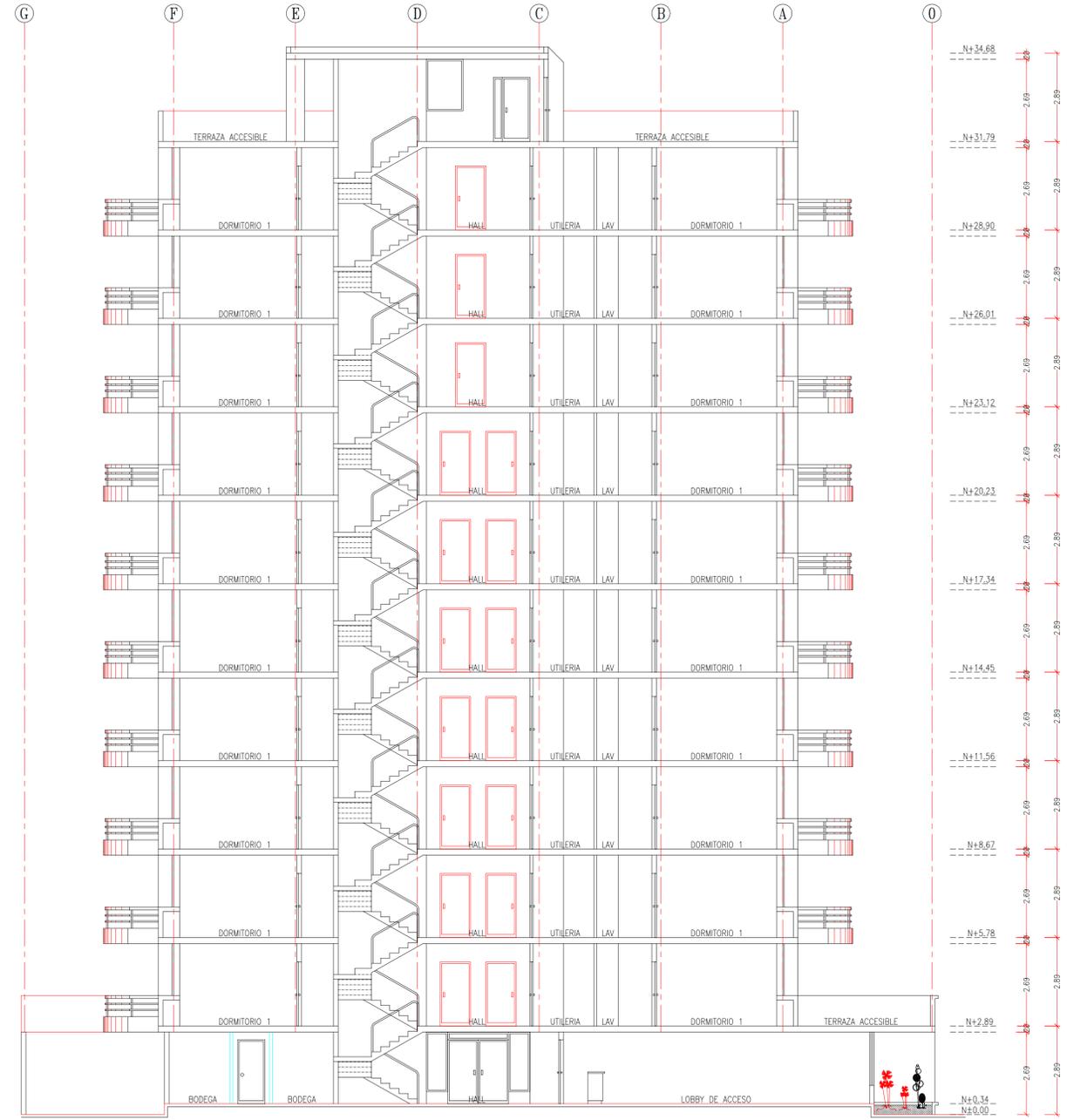


FACHADA POSTERIOR SUR  
 ESCALA 1:100

PROYECTO :		EDIFICIO " EPSILON "	
PLANIFICACION :	SELLOS MUNICIPALES :		
PROPIETARIOS :			
CONTIENE :	FACHADA POSTERIOR SUR		
UBICACION :			
ESCALA :	FECHA :		
CODIGO CATASTRAL :			
LAMINA :	ARQ 4 de 7		



CORTE LONGITUDINAL A-A  
ESCALA 1:100



CORTE TRANSVERSAL 1-1  
ESCALA 1:100

PROYECTO :		EDIFICIO " EPSILON "	
PLANIFICACION :	SELLOS MUNICIPALES :		
PROPIETARIOS :			
CONTIENE :	CORTE TRANSVERSAL 1-1 CORTE LONGITUDINAL A-A		
UBICACION :			
ESCALA :	FECHA :		
INDICADA :	ABRIL 2024		
CODIGO CATASTRAL :			
LAMINA ' ARQ 7 de 7			