

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO



## FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL

---

**Tema: “DISEÑO Y ANÁLISIS DEL PARQUEADERO CENTRAL DE LA CIUDAD DE AMBATO DE HORMIGÓN ARMADO Y ESTRUCTURA METÁLICA CON EL USO DE ELASTÓMEROS EN LA CIMENTACIÓN”**

---

Trabajo de Titulación previo a la obtención del Grado Académico de Magister en Ingeniería Civil con Mención en Estructuras Metálicas

**Modalidad de titulación:** Proyecto de Titulación con componentes de Investigación Aplicada y/o de Desarrollo

**Autora:** Ing. Estefanía Jacqueline Sánchez Tenesaca

**Autora:** Ing. Jéssica Tatiana Fiallos Condo

**Director:** Ing. Diego Sebastián Chérrez Gavilanes, Mg

Ambato – Ecuador

2022

## **APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

A la Unidad de Titulación de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

El Tribunal receptor de la Defensa del Trabajo de Titulación presidido por Ing. Wilson Santiago Medina Robalino, Mg., e integrado por los señores: Ing. Jorge Patricio Guamanquispe Toasa, Mg., e Ing. Alex Xavier Frías Torres , Mg., designados por la Unidad Académica de Titulación de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, para receptor el Trabajo de Titulación con el tema: “DISEÑO Y ANALISIS DEL PARQUEADERO CENTRAL DE LA CIUDAD DE AMBATO DE HORMIGON ARMADO Y ESTRUCTURA METALICA CON EL USO DE ELASTÓMEROS EN LA CIMENTACIÓN” elaborado y presentado por las señoritas, Ingenieras, Estefanía Jacqueline Sánchez Tenesaca, Jessica Tatiana Fiallos Condo para optar por el Grado Académico de Magister en Ingeniería Civil con Mención en Estructuras Metálicas; una vez escuchada la defensa oral del Trabajo de Titulación el Tribunal aprueba y remite el trabajo para uso y custodia en las bibliotecas de la Universidad Técnica de Ambato.

-----  
Ing. Wilson Santiago Medina Robalino, Mg.  
Presidente y Miembro del Tribunal de Defensa

-----  
Ing. Jorge Patricio Guamanquispe Toasa, Mg.  
Miembro del Tribunal de Defensa

-----  
Ing. Alex Xavier Frías Torres, Mg.  
Miembro del Tribunal de Defensa

## **AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

La responsabilidad de las opiniones, comentarios y críticas emitidas en el Trabajo de Titulación presentado con el tema: “DISEÑO Y ANALISIS DEL PARQUEADERO CENTRAL DE LA CIUDAD DE AMBATO DE HORMIGON ARMADO Y ESTRUCTURA METALICA CON EL USO DE ELASTÓMEROS EN LA CIMENTACIÓN”, le corresponde exclusivamente a: Ing. Estefanía Jacqueline Sánchez Tenesaca, Ing. Jessica Tatiana Fiallos Condo, Autoras bajo la Dirección del Ing. Diego Sebastián Chérrez Gavilanes, Mg., Director del Trabajo de Investigación; y el patrimonio intelectual a la Universidad Técnica de Ambato.

-----  
Ing. Estefanía Jacqueline Sánchez Tenesaca

**AUTORA**

-----  
Ing. Jessica Tatiana Fiallos Condo

**AUTORA**

-----  
Ing. Diego Sebastián Chérrez Gavilanes, Mg.

**DIRECTOR**

## **DERECHOS DE AUTOR**

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que el Trabajo de Titulación, sirva como un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedemos los Derechos de nuestro Trabajo de Titulación, con fines de difusión pública, además aprobamos la reproducción de este, dentro de las regulaciones de la Universidad Técnica de Ambato.

-----  
Ing. Estefanía Jacqueline Sánchez Tenesaca  
C.I. 180406734-4

-----  
Ing. Jessica Tatiana Fiallos Condo  
C.I. 180408407-5

## INDICE GENERAL

APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN .....	ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN .....	iii
DERECHOS DE AUTOR.....	iv
INDICE GENERAL.....	v
INDICE DE TABLAS .....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
INDICE DE ECUACIONES.....	x
AGRADECIMIENTO.....	xi
DEDICATORIA .....	xii
RESUMEN EJECUTIVO .....	xiii
EXECUTIVE SUMMARY .....	xv
CAPÍTULO I.....	17
EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	17
1.1 Introducción .....	17
1.2 Justificación.....	18
1.3 Objetivos .....	19
CAPITULO II .....	21
ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS.....	21
2. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS.....	21
2.1 Antecedentes .....	21
2.2 Fundamentación teórica .....	28
2.2.1 Sismos.....	28
2.2.2 Norma Ecuatoriana de la construcción.....	30
2.2.3 Análisis Tiempo-Historia en ETABS.....	34
2.2.4 Visión 2000 .....	38
2.2.5 Desempeño sísmico .....	39
2.2.6 Niveles de desempeño .....	40
2.2.7 Norma ecuatoriana de la construcción .....	41
CAPITULO III .....	43
MARCO METODOLÓGICO .....	43
3.1 Ubicación .....	43
3.2 Equipos y materiales .....	43

3.3	Material Bibliográfico .....	43
3.4	Materiales de oficina .....	44
3.5	Equipos.....	44
3.6	Tipo de investigación .....	44
3.7	Prueba de Hipótesis - pregunta científica – idea a defender .....	45
3.8	Procesamiento de la información y análisis estadístico: .....	46
3.9	Variables respuesta o resultados alcanzados .....	46
CAPÍTULO IV .....		47
4.	Análisis de la memoria de cálculo estructural: .....	47
4.1	Datos de la estructura .....	47
4.1.2	Cargas.....	47
4.1.3	Factor de Zona Sísmica .....	47
4.1.4	Perfil del suelo.....	48
4.1.5	Coefficientes de perfil de suelo .....	48
4.1.6	Amplificación espectral, $\eta$ .....	48
4.1.7	Aceleración Espectral, $S_a$ .....	48
4.2	ANÁLISIS ELÁSTICO DE PRIMER ORDEN DE LA ESTRUCTURA (DINÁMICO ESPECTRAL) .....	49
4.2.1	Asignamos la masa reactiva según lo indicado en la NEC SE DS. ....	49
4.2.3	Cálculo del periodo límite de vibración .....	52
4.2.4	Cálculo de la Aceleración Espectral $S_a$ .....	52
4.2.3	Cálculo del cortante basal de diseño $V$ .....	52
4.2.4	Coefficiente relacionado con el período de vibración de la estructura $T, k$ .....	53
4.2.5	Ajuste del corte basal de los resultados obtenidos por el análisis dinámico .....	57
4.3	ANÁLISIS NO LINEAL ESTÁTICO (PUSHOVER) .....	68
4.4	DISEÑO AISLADORES DE BASE.....	86
4.4.1	Método de reforzamiento estructural propuesto .....	86
4.5	ANÁLISIS TIEMPO HISTORIA .....	107
4.5.1	Resultados obtenidos.....	113
4.6	ANALISIS ECONOMICO .....	119
CAPÍTULO V .....		122
CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES, BIBLIOGRAFÍA Y ANEXOS .....		122
5.2	Bibliografía .....	124
ANEXOS.....		126

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Sismos en Ecuador .....	29
Tabla 2. Tabla derivas de piso recomendadas por el Comité Visión 2000 .....	38
Tabla 3. Parámetros de diseño para espectro de diseño .....	51
Tabla 4. Parámetros para calibrar las fuerzas de cortante basal.....	53
Tabla 5. Fuerzas Dinámicas producidas por el espectro de Diseño en dirección X ..	56
Tabla 6. Fuerzas Dinámicas producidas por el espectro de Diseño en Y .....	57
Tabla 7. Fuerzas Dinámicas calibradas producidas por el espectro de Diseño en dirección X.....	59
Tabla 8. Fuerzas Dinámicas calibradas producidas por el espectro de Diseño en dirección Y .....	60
Tabla 9. Derivas estáticas en dirección X .....	61
Tabla 10. Derivas estáticas en dirección Y .....	62
Tabla 11. Derivas dinámicas en dirección X .....	62
Tabla 12. Derivas dinámicas en dirección Y .....	63
Tabla 13. Casos modales y participación de masa .....	64
Tabla 14. Períodos de retorno y tasa anual de excedencia.....	75
Tabla 15. Parámetros para la obtención del espectro con T=2500 años .....	76
Tabla 16. Período y Aceleración espectral de la curva de peligro sísmico para suelo tipo D en la ciudad de Ambato.....	77
Tabla 17. Datos del desempeño estructural para 475 años en Y.....	82
Tabla 18. Datos del desempeño estructural para 2500 años en Y.....	84
Tabla 19. Factores de reducción espectral en aisladores de base.....	87
Tabla 20. Parámetros de diseño para la obtención de los espectros de diseño y máximos.....	87
Tabla 21. Valores de la tabla eje X T (seg) y Sa (g) .....	88
Tabla 22. Factores de reducción $B_D$ y $B_M$ .....	91
Tabla 23. Centro de gravedad .....	93
Tabla 24. Reacciones con combinaciones de $P_u$ y $P$ servicio en aisladores .....	94
Tabla 25. Reacciones con combinaciones de $P_u$ y $P$ servicio en aisladores .....	95
Tabla 26. Características físicas y mecánicas del aislador calculado .....	99
Tabla 27. Propiedades para ingresar a software.....	100
Tabla 28. Participación de masa en los modos de vibración de la estructura con aisladores.....	103
Tabla 29. Derivas Estáticas $S_x$ en Estructura con aisladores.....	105
Tabla 30. Derivas Estáticas $S_y$ en Estructura con aisladores.....	106
Tabla 31. Derivas Dinámicas Espect. X en Estructura con aisladores.....	106
Tabla 32. Derivas Dinámicas Espect. Y en Estructura con aisladores.....	106
Tabla 33. Características de los sismos a utilizar .....	107
Tabla 34. Presupuesto Estructura Convencional.....	119
Tabla 35. Presupuesto Estructura Convencional más Aisladores de Base.....	119
Tabla 36. Presupuesto Estructura Convencional más Reforzamiento Convencional .....	120

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Sismología .....	34
Figura 2. Espectro de Diseño .....	35
Figura 3. Sismograma .....	36
Figura 4. Acelograma.....	37
Figura 5. Puntos importantes de la curva Esfuerzo-Deformación del Acero.....	39
Figura 6. Ubicación.....	43
Figura 7. Carga reactiva de la Norma NEC SE DS 2015.....	49
Figura 8. Carga reactiva asignada en la modelación.....	49
Figura 9. Modos de carga reactiva asignados .....	50
Figura 10. Espectros de Diseño de la NEC 2015 .....	50
Figura 11. Período de vibración de la estructura modelada .....	51
Figura 12. Propiedades mecánicas y geométricas de la losa deck .....	54
Figura 13. Vista 3D de la Estructura Modelada.....	54
Figura 14. Fuerzas producidas por el cortante basal en $S_x$ y $S_y$ .....	55
Figura 15. Gravedad Calibrada .....	59
Figura 16. Configuraciones principales de diseño .....	65
Figura 17. Diseño demanda capacidad.....	66
Figura 18. Diseño demanda capacidad.....	66
Figura 19. Diseño por capacidad en losa deck y vigas secundarias.....	67
Figura 20. Diseño por capacidad de columnas compuestas.....	68
Figura 21. Definición de rotula paramétrica para columnas compuestas .....	69
Figura 22. Porcentaje de posición de rotulas plásticas en columnas compuestas.....	70
Figura 23. Definición de rotula paramétrica para vigas de acero .....	70
Figura 24. Porcentaje de posición de rotulas plásticas en vigas de acero .....	71
Figura 25. Definición de carga gravitacional no lineal .....	71
Figura 26. Desplazamiento lateral de la estructura en análisis .....	72
Figura 27. Múltiples pasos en la aplicación de carga lateral.....	72
Figura 28. Definición de parámetros no lineales .....	73
Figura 29. Articulaciones plásticas definidas en vigas, columnas de hormigón y acero .....	73
Figura 30. Nivel de desempeño a evaluar en estructuras esenciales.....	74
Figura 31. Curvas de peligro sísmico del cantón Ambato .....	74
Figura 32. Espectro con período de retorno de 2500 años para el cantón Ambato....	76
Figura 33. Curva fuerza vs desplazamiento en dirección X.....	79
Figura 34. Curva fuerza vs desplazamiento en dirección Y.....	79
Figura 35. Desempeño estructural para $T=475$ en X .....	80
Figura 36. Nivel del último paso que alcanza el NSP X $T=475$ Push X. Vista 3D ...	81
Figura 37. Vista en elevación de desempeño estructural más crítico paso 22 Push X $T=475$ .....	81
Figura 38. Desempeño estructural para $T=475$ en Y .....	82
Figura 39. Nivel de desempeño en el paso 35 para $T=475$ Push Y. Vista 3D.....	83
Figura 40. Vista en elevación de desempeño estructural más crítico paso 36 PushY $T=475$ .....	83
Figura 41. Desempeño estructural para $T=2500$ en Y .....	84



Figura 42. Nivel de desempeño en el paso 43 para T=2500 Push Y. Vista 3D .....	85
Figura 43. Vista en elevación de desempeño estructural más crítico paso 48 Push Y T=2500 .....	85
Figura 44. Espectros DBE y MBE para aisladores de base .....	89
Figura 45. Espectro MBE para el diseño lineal de aisladores de base .....	90
Figura 46. Centros de rigidez en vista en planta de una estructura .....	92
Figura 47. Definición de carga última de aisladores .....	93
Figura 48. Combinación de carga de servicio aisladores .....	94
Figura 49. Combinación de carga de servicio aisladores .....	96
Figura 50. Definición del aislador empleado en Software .....	100
Figura 51. Propiedades direccionales Lineales U1 .....	101
Figura 52. Propiedades direccionales No Lineales U2-U3 .....	101
Figura 53. Aisladores asignados al Nivel -3.06 .....	102
Figura 54. Vista 3D de los aisladores asignados al Nivel -3.06 .....	102
Figura 55. Período de vibración de la estructura con aisladores de base .....	104
Figura 56. Desplazamientos modales de la estructura .....	105
Figura 57. Acelerogramas definidos y escalados .....	107
Figura 58. Registro 1 Dirección OE Escalado al Espectro Objetivo de la NEC T=475 .....	108
Figura 59. Registro 1 Dirección NS Escalado al Espectro Objetivo de la NEC T=475 .....	108
Figura 60. Registro 2 Dirección OE Escalado al Espectro Objetivo de la NEC T=475 .....	109
Figura 61. Registro2 Dirección NS Escalado al Espectro Objetivo de la NEC T=475 .....	109
Figura 62. Registro 3 Dirección OE Escalado al Espectro Objetivo de la NEC T=475 .....	110
Figura 63. Registro 3 Dirección NS Escalado al Espectro Objetivo de la NEC T=475 .....	110
Figura 64. Carga gravitacional para análisis tiempo historia no lineal modal .....	111
Figura 65. Datos del acelerograma .....	111
Figura 66. Definición del caso de carga del registro sísmico en dirección X .....	112
Figura 67. Definición del caso de carga del registro sísmico 1 en dirección X .....	112
Figura 68. Desplazamientos en joint de los desplazamientos más críticos .....	113
Figura 69. Desplazamiento del joint en el nivel más crítico 3+06 AMNT .....	114
Figura 70. Aceleración máxima en el joint más crítico 3+06 AMNT .....	114
Figura 71. Aceleración máxima permitida = $0.3(g) = 9.81*(0,3) = 2,943$ .....	115
Figura 72. Resultados no lineales .....	115
Figura 73. Puntos de desempeño .....	116
Figura 74. Puntos de desempeño .....	116
Figura 75. Desplazamientos con Aisladores .....	117
Figura 76. Cortante con Aislador .....	117
Figura 77. Desplazamientos con base fija .....	118
Figura 78. Cortante con base fija .....	118

## INDICE DE ECUACIONES

Ec. 1.....	41
Ec. 2.....	41
Ec. 3.....	41
Ec. 4.....	48
Ec. 5.....	52
Ec. 6.....	52
Ec. 7.....	52
Ec. 8.....	52
Ec. 9.....	52
Ec. 10.....	53
Ec. 11.....	57
Ec. 12.....	58
Ec. 13.....	58
Ec. 14.....	58
Ec. 15.....	60
Ec. 16.....	60
Ec. 17.....	61
Ec. 18.....	64
Ec. 19.....	64
Ec. 20.....	72
Ec. 21.....	90
Ec. 22.....	90
Ec. 23.....	91
Ec. 24.....	91
Ec. 25.....	92
Ec. 26.....	93
Ec. 27.....	93
Ec. 28.....	95
Ec. 29.....	95
Ec. 30.....	96
Ec. 31.....	97
Ec. 32.....	97
Ec. 33.....	97
Ec. 34.....	97
Ec. 35.....	98
Ec. 36.....	98
Ec. 37.....	98
Ec. 38.....	99
Ec. 39.....	99
Ec. 40.....	99
Ec. 41.....	99
Ec. 42.....	103
Ec. 43.....	104
Ec. 44.....	104
Ec. 45.....	105

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por cada aspecto e instante a lo largo de la ejecución de mi proyecto de tesis, gracias a él por ser la base moral, por todos los días en el que me permitió despertar no solo con vida, sino que además me permitió seguir con salud, fuerzas y empeño.

A mis PADRES, Washington y Mery por ser mi pilar fundamental en cada etapa de mi vida por ser mi apoyo incondicional en todo momento, a cada uno de los integrantes de mi familia por estar siempre en los momentos buenos y momentos malos.

A mi TUTOR, Ing. Diego Cherrez por sabernos guiar en el proceso de titulación y motivarnos a ser mejores profesionales.

Al Ing. Andrés Abril por brindarnos su tiempo y conocimientos en el desarrollo del tema de titulación.

Estefanía Sánchez

A Dios por regalarme la oportunidad de estudiar mi maestría y darme una razón para vivir cada día.

A mi Madre por ser paciente, amorosa y un ejemplo a seguir.

A mi Padre porque a pesar de la distancia siempre está pendiente de cada uno de mis pasos.

A mi hijo Samuel que cada día me enseña a ser una mejor persona.

A la Universidad Técnica de Ambato y a mi querida Facultad de Ingeniería Civil por brindarme los conocimientos para ser una gran profesional.

Al Ing. Diego Cherrez por su apoyo en el desarrollo del tema planteado.

Al Ing. Andrés Abril por compartir sus conocimientos estructurales y brindarnos su apoyo.

Tatiana Fiallos

## DEDICATORIA

A mis padres Washington y Mery a mis hermanos Cesar, Ivonne, Ximena, Joselyn, a mis cuñados Paul, Mónica y Roberto, a mis sobrinos Mateo, Jennifer, Juan, Abigail, Andrés, Gabriela, y Emilio por ser mi fuerza y motor para conseguir mis metas porque me han sabido guiar siempre.

Estefanía Sánchez

Al Señor de los Milagros, por guiar mi camino, cuidarme y brindarme la sabiduría para alcanzar con amor, dedicación y esfuerzo mi meta. A mis padres Mario y María que a través de su apoyo y amor supieron guiarme por el camino adecuado, he hicieron de mí una mujer perseverante.

A mi hijo Samuel Ignacio que ha sido una inspiración para poder conseguir una meta más en mi vida. A Juan, que siempre está conmigo en cada recorrido de mi profesión. A mi hermano Mario y mi cuñada Andrea por brindarme su apoyo incondicional. A mis sobrinos Sarita, David y Mario Josué por ser una inspiración diaria para el cumplimiento de mi meta. A la persona que ha permanecido a mi lado ayudándome a continuar creciendo de manera personal y profesional, Alex Patricio.

Tatiana Fiallos

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL CON MENCIÓN EN ESTRUCTURAS**  
**METÁLICAS**

**TEMA: “DISEÑO Y ANALISIS DEL PARQUEADERO CENTRAL DE LA CIUDAD DE AMBATO DE HORMIGON ARMADO Y ESTRUCTURA METALICA CON EL USO DE ELASTÓMEROS EN LA CIMENTACIÓN”**

**AUTORA:** Ing. Estefanía Jacqueline Sánchez Tenesaca

**AUTORA:** Ing. Jessica Tatiana Fiallos Condo

**DIRECTOR:** Ing. Diego Sebastián Chérrez Gavilanes, Mg

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:** Ingeniería, Industria y Construcción.

**FECHA:** 24 de agosto de 2022

**RESUMEN EJECUTIVO**

En el presente trabajo investigativo se toma varios factores para determinar la seguridad sísmica de las edificaciones, se ha utilizado materiales como los elastómeros para una protección estructural. El diseño y análisis del parqueadero central de la ciudad de Ambato de hormigón armado y estructura metálica con el uso de aisladores elastómericos en la cimentación que ayuda a mejorar el comportamiento sísmico. Se realizó un modelamiento mediante software analizando cada uno de los elementos estructurales en especial el comportamiento de la cimentación. El análisis estructural y económico demuestra que una estructura equipada con aisladores elastómericos redujo su inversión inicial en el sistema estructural ya que son estos los encargados de disipar gran parte de la energía que ingresa al sistema por lo cual las secciones de los elementos estructurales se reducen lo que implica un ahorro. Su beneficio viene dado a largo plazo reflejado en el desempeño que puede alcanzar la estructura.

En el análisis se visualizó distorsión torsional, no encontramos el uso de conexiones precalificadas, factor de importancia de la estructura igual a uno, modos de vibración insuficientes para una participación de masa mínima del 90%, por lo que realizamos

una verificación mediante un análisis lineal y un análisis no lineal estático con un factor de importancia  $I=1.5$ , adicionalmente se debe analizar las estructuras esenciales mediante un análisis no lineal para un período de retorno 2500 años tal como estipula la NEC SE DS 15. Por lo que la presente investigación determina el nivel de desempeño estructural, según lo estipulado en la Norma Ecuatoriana de la construcción vigente, en el capítulo de diseño sísmico deduciendo así que se necesitaba implementar un sistema de reforzamiento estructural, que como mínimo permita a la estructura permanecer en un nivel de (Seguridad de Vida) LS que es lo que la norma nos exige.

**Descriptor:** Aisladores de base, Análisis Pushover, Análisis Dinámico, Características del Acero, Características del Concreto, Diseño de Cimientos, Elementos Estructurales, Resistencia Final, Límite de Fluencia, Seguridad Sísmica.

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL CON MENCIÓN EN**  
**ESTRUCTURAS METÁLICAS**

**THEME:**

**“DESIGN AND ANALYSIS OF THE CENTRAL PARKING LOT OF THE CITY OF AMBATO OF REINFORCED CONCRETE AND METAL STRUCTURE WITH THE USE OF ELASTOMERS IN THE FOUNDATION”**

**AUTHOR:** Ing. Estefanía Jacqueline Sánchez Tenesaca

**AUTHOR:** Ing. Jessica Tatiana Fiallos Condo

**DIRECTED BY:** Ing. Diego Sebastián Chérrez Gavilanes, Mg

**LINE OF RESEARCH:** Engineering, Industry and Construction.

**DATE:** August 24, 2022

**EXECUTIVE SUMMARY**

In the present research work several factors are taken to determine the seismic safety of buildings, materials such as elastomers have been used for structural protection. The design and analysis of the central parking lot of the city of Ambato of reinforced concrete and metal structure with the use of elastomeric insulators in the foundation helps to improve seismic behavior. A modeling was carried out using software analyzing each of the structural elements, especially the behavior of the foundation. Structural and economic analysis shows that a structure equipped with elastomeric insulators in the foundation reduces its initial investment in the structural system since these are responsible for dissipating much of the energy that enters the system so the sections of the structural elements are reduced which implies savings. Its benefit is given in the long term reflected in the performance that the structure can achieve.

In the analysis torsional distortion was visualized, we did not find the use of prequalified connections, factor of importance of the structure equal to one, vibration modes insufficient for a minimum mass participation of 90%, so we performed a verification through a linear analysis and a static nonlinear analysis with a factor of importance  $I = 1.5$ , , additionally, we must analyze the essential structures by means of a non-linear analysis for a return period of 2500 years as stipulated in the NEC SE DS 15. Therefore, this research determines the level of structural performance, as stipulated in the Ecuadorian Construction Standard in force, in the chapter of seismic design thus deducing that it was necessary to implement a structural reinforcement system, which at least allows the structure to remain at a level of (Life Safety) LS which is what the standard requires us.

**Keywords:** Base Insulators, Pushover Analysis, Dynamic Analysis, Steel Characteristics, Concrete Characteristics, Foundation Design, Structural Elements, Final Strength, Creep Limit, Seismic Safety



## CAPÍTULO I

### EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

#### 1.1 Introducción

En Latinoamérica son pocos los edificios que constan con sistemas de protección sísmica. El país que posee mayor cantidad de edificios con aisladores de base es Chile, en el que las edificaciones presentaron un excelente desempeño estructural durante el terremoto de 2010, según personas que se encontraban en el conjunto residencial Andalucía que sintieron el sismo como un temblor fuerte. [1]

Toda estructura responde dinámicamente ante la acción de cargas o deformaciones, generando fuerzas inerciales iguales a su masa por la aceleración (segunda ley de Newton, ecuación dinámica de equilibrio). Para cargas o deformaciones aplicadas de una manera lenta, que es el caso de cargas muertas y vivas no dinámicas, las fuerzas inerciales pueden despreciarse, lo que hace posible un análisis estático de la estructura. Esta simplificación no es válida cuando la estructura se somete a cargas dinámicas o deformaciones rápidas como las causadas por viento, sismo, y vivas, dinámicas o con impacto, casos en los cuales las fuerzas inerciales no son despreciables y se hace necesario un análisis dinámico. [1]

En el trabajo investigativo se procede a realizar el análisis comportamiento estructural para los con aisladores en la base del Parquadero Central, la estructura está ubicada en la calle 12 de noviembre de la Ciudad de Ambato se define como una estructura de carácter ocupación especial tiene un área de 7400 metros cuadrados de construcción, cuenta con siete niveles, espacio para 275 vehículos y un ascensor para 10 personas.

Se utilizó la metodología tiempo historia no lineal para evaluar el desempeño de cada uno de los sistemas estructurales propuestos para lo cual fue necesario utilizar registros sísmicos que representen las aceleraciones correspondientes al sitio de implantación de la estructura en estudio. Para el diseño de los elementos estructurales, así como para

los sistemas de protección sísmica se emplearon normas nacionales e internacionales como Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC 2015), American Society of Civil Engineers (ASCE 7-16, ASCE 41-13), American Institute of Steel Constructions (AISC 341-16).

Se obtuvieron resultados de desplazamientos, derivas, energía del sistema, comportamientos histeréticos y niveles de desempeño para los diferentes sistemas empleados con la ayuda del software ETABS 2016

## **1.2 Justificación**

Lamentablemente en el Ecuador todavía no se construye con aisladores sísmicos, recién se está empezando, pero en una forma bastante lenta, y esto se debe a que la mayor parte de proyectistas estructurales no conocen como se diseña una estructura con estos dispositivos, por este motivo en el presente trabajo de titulación se detalla el diseño de los aisladores elastómeros en la cimentación. [2]

Los principios en los cuales se basa el funcionamiento de la aislación sísmica son dos: En primer lugar, la flexibilización del sistema estructural o alargamiento del período, y, en segundo lugar, el aumento del amortiguamiento. A la par de la evolución de los sistemas de protección sísmica como los aisladores de base y los disipadores, se han desarrollado también grandes avances en el campo de la Ingeniería Civil referente a las distintas metodologías empleadas en el análisis estructural, pues se requieren de métodos más refinados para determinar el comportamiento dinámico de las estructuras equipadas con este tipo de dispositivos. Aunque las normativas de diseño vigentes en nuestro país permiten efectuar análisis estructural en función de procedimientos estáticos y dinámicos, estos se limitan a consideraciones propias del rango elástico en el cual se estima se encuentre la estructura durante la mayor parte de su vida útil; pero surge la necesidad de evaluar el comportamiento de la estructura en el rango no lineal cuando esta se encuentra sometida a acciones inciertas que pueden repercutir en el daño parcial o total de sus componentes.

El hecho de implementar aisladores elastómeros en la cimentación hace ventajoso el comportamiento de la estructura debido a que evita los efectos más dañinos que se pueden producir en la estructura a causa de los esfuerzos resultantes de los desplazamientos relativos entre pisos. [3]

Al tener presente que existen edificaciones con un grado de importancia superior a cualquier otro debido a los servicios que prestan antes, durante y después de un evento sísmico, es necesario plantear soluciones estructurales que permitan desarrollar construcciones capaces de responder eficazmente a las grandes demandas sísmicas con bajos costos de reparación e inmediata funcionalidad. Por tal razón, la ingeniería sísmica ha buscado durante varios años una solución que permita disminuir la energía que ingresa al sistema estructural o a su vez, tratar de que esta no tenga contacto directo con la estructura, dando lugar así a la implementación de uso de aisladores elastómeros en la cimentación, por lo que la investigación radica en mejorar el comportamiento de una estructura y comparar las diferencias que existen entre las estructuras con y sin aislación.

Este trabajo se considera de carácter social y económico debido a que es un edificio Municipal con inversión pública y con el uso de aisladores se precautela las vidas humanas en caso de un sismo el edificio analizar no sería vulnerable a desplomarse.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 General**

Evaluar el desempeño sísmico del parqueadero central de la ciudad de AMBATO de hormigón armado y estructura metálica con el uso de aisladores elastómeros en la cimentación

### **1.3.2 Específicos**

- Analizar los resultados luego del diseño del parqueadero central de la ciudad de AMBATO de hormigón armado y estructura metálica con el uso de aisladores elastómeros en la cimentación.
- Determinar los principios de Diseño Estructural que se alteran al utilizar aisladores elastómeros en la cimentación.
- Simular el comportamiento de la estructura con el uso de aisladores elastómeros en la cimentación.
- Calcular el costo vs beneficio en la estructura al utilizar aisladores elastómeros en la cimentación del parqueadero central de la ciudad de AMBATO.

## **CAPITULO II**

### **ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS**

#### **2. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS**

##### **2.1 Antecedentes**

La presente información ha sido extraída de las siguientes fuentes, considerando las más importantes de una amplia fuente de información.

Decimos que un material, sección o elemento o edificación trabaja o se desempeña en el rango elástico cuando al aplicarse algún esfuerzo, al retirarlo las deformaciones que surgieron como producto de ellas desaparecen quedando intacto, tal como estaba originalmente.

Según, B. Sanborn [4], en su artículo se realiza un estudio para evaluar la vulnerabilidad y el daño sísmico en edificios de obra de fábrica de ladrillo no reforzada. Se han elegido 3 modelos de edificios representativos del distrito Eixample de Barcelona. El análisis de la vulnerabilidad sísmica se lleva a cabo mediante la metodología Risk-UE. La demanda sísmica se define a partir del espectro de proyecto elástico con 5% de amortiguamiento, definido, en este caso, por el Eurocódigo 8. Las curvas de fragilidad se obtienen a partir de un análisis no lineal, teniendo en cuenta los espectros de capacidad.

El daño sísmico esperado se consigue con las matrices de probabilidad de daño las cuales indican la probabilidad de ocurrencia de un estado de daño para una demanda sísmica específica. La modelización de los edificios se realiza con el programa TreMuri mediante un modelo de macroelementos, el cual representa las paredes de los edificios. Los edificios aquí analizados son reales y se dispuso de planos e informes específicos. Los resultados obtenidos muestran una vulnerabilidad importante en este tipo de edificios, teniendo en cuenta el escenario sísmico considerado el daño sísmico esperado es alto.

Según, A. H. Barbat y otros [5], en su artículo PROBABILISTIC ASSESSMENT OF THE SEISMIC DAMAGE IN REINFORCED CONCRETE BUILDINGS El análisis dinámico incremental es una poderosa herramienta para evaluar la vulnerabilidad y el riesgo sísmico de edificios. Permite calcular el daño global de estructuras para diferentes aceleraciones máximas del terreno y representar este resultado por medio de curvas de daño.

Dichas curvas se utilizan para evaluar el riesgo sísmico a nivel urbano, aunque el uso de este método en un entorno probabilista requiere un considerable esfuerzo computacional, este debe ser el método de referencia para el cálculo de las mencionadas curvas. Sin embargo, resulta de interés práctico disponer de un método más sencillo que utilice, por ejemplo, el análisis estático no lineal incremental (pushover analysis) para evaluar la vulnerabilidad sísmica y el riesgo de los edificios, que permita obtener resultados similares a los obtenidos usando el análisis dinámico incremental.

Haciendo referencia a los métodos basados en la capacidad y la demanda, habitualmente se han utilizado opiniones de expertos para definir los umbrales de los estados de daño a partir del punto de plastificación y del desplazamiento máximo espectral identificado en el espectro de capacidad bilineal. Por lo tanto, en el artículo se propone un nuevo procedimiento para la definición de los umbrales de los estados de daño, con base en la degradación de la rigidez de la estructura.

El problema se aborda mediante un método totalmente probabilista utilizando la simulación por Monte Carlo con el fin de comparar de una manera rigurosa los resultados obtenidos con los proporcionados por el análisis dinámico incremental.

Según, L. Auersch, A. y otros [6], en su artículo RESPUESTA DINÁMICA DE EDIFICACIONES PRODUCIDA POR CAMPOS DE ONDAS INCIDENTES CONSIDERANDO LA INTERACCIÓN SUELO-ESTRUCTURA nos presentan 2 metodologías basadas en las formulaciones del Método de los Elementos de Contorno y del Método de los Elementos Finitos para estudiar el efecto de la interacción suelo-

estructura en el comportamiento dinámico de edificaciones.

Se ha estudiado la respuesta de un edificio de 3 plantas producida por un campo de ondas incidente con los 2 métodos propuestos. Los resultados obtenidos presentan un buen grado de acuerdo entre ellos. A partir de estos resultados se ha validado un modelo aproximado para estudiar este tipo de problemas y se han examinado diferentes tipologías de edificaciones. Las conclusiones alcanzadas muestran que la respuesta global de las estructuras se debe a la deformación de los forjados y depende de su superficie, de las condiciones de apoyo y del acoplamiento con los forjados de la misma planta. Del mismo modo, se ha observado un acoplamiento del comportamiento de pilares y forjados cuando las rigideces de ambos son similares.

Según, A. Durin [7], en su artículo de investigación El refuerzo de estructuras de hormigón armado con laminados de fibras de carbono CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer) se inició en los años ochenta. Actualmente, es una de las tecnologías más prometedoras por las buenas características mecánicas de los laminados y su facilidad de manipulación. Los laminados se adhieren al hormigón mediante resinas de tipo epoxídico.

La capacidad del refuerzo está directamente ligada a la capacidad de anclaje en la interfaz laminado-hormigón. En la medida que el hormigón es capaz de transferir las tensiones al laminado, este entra en carga y colabora en el mecanismo resistente del elemento estructural. Conocer el comportamiento en la interfaz es fundamental para garantizar la seguridad de los refuerzos.

En este trabajo se han realizado un ensayo de corte puro y una simulación tridimensional para comprender mejor el comportamiento en la interfaz entre el laminado y el hormigón.

Según, A. M. Hernández y otros [8], El desarrollo de estrategias de control y aislamiento de vibraciones mecánicas inducidas por impacto ha experimentado un reciente interés, debido al incremento en la demanda de aislamientos vibratorios

extremos. Los ambientes donde los impactos son comunes, por ejemplo, aplicaciones militares, navales, en donde fenómenos como explosiones y choques son usuales. Este trabajo presenta los avances más importantes en el área, considerando enfoques de control de vibraciones basados en elementos no lineales. Se presentan las tendencias que pueden dar al investigador en el área ideas sobre trabajo a futuro en el campo del aislamiento de vibraciones por impacto y se propone un modelo de aislamiento con base en la rigidez no lineal, demostrando teórica y experimentalmente su factibilidad en la reducción de aceleración máxima de sistemas sometidos a impacto.

Según, A. M. Hernández y otros [9], En este artículo se presenta un modelo numérico del comportamiento estructural cíclico, comúnmente utilizadas como una alternativa a las clásicas barras de arriostramiento concéntrico para protección sismorresistente de pórticos de edificios y otras estructuras. Estos dispositivos se componen normalmente de un núcleo de acero esbelto recubierto por una carcasa de mayor rigidez que tiene por objeto impedir su pandeo cuando se encuentra comprimido. La carcasa puede ser de mortero o de acero, y una interfaz de deslizamiento está interpuesta entre el núcleo y la carcasa para evitar la transferencia excesiva de tensiones tangenciales.

El comportamiento del núcleo de acero se describe mediante un modelo de daño y plasticidad, el comportamiento de la carcasa de mortero se describe mediante un modelo de daño isótropo y el comportamiento de la interfaz de deslizamiento se describe mediante un modelo de penalización de contacto. Estos 3 modelos se implementan en el paquete de software siguiendo una formulación explícita. En un artículo previo publicado en una revista de ingeniería sísmica se describió someramente el modelo, se comprobó de forma preliminar su capacidad para reproducir el comportamiento cíclico de barras de pandeo restringido y se compararon satisfactoriamente sus resultados con los de ensayos experimentales; el objetivo de este trabajo es describir el modelo en profundidad y discutir en mayor extensión las valoraciones acerca de su utilidad.

Según, A. M. Hernández y otros [10], El presente artículo plantea el comportamiento de elementos de hormigón armado y pretensado sometidos a cortante ha sido



tradicionalmente objeto de estudio de las denominadas Teorías de Campos de Compresiones. En los últimos años varios autores han modificado parcialmente el modelo mecánico en que se apoyan dichas teorías a fin de incluir el efecto de la tensa rigidez del hormigón (o capacidad del hormigón de resistir tracciones entre fisuras) en la ecuación de comportamiento del acero; el sistema de ecuaciones resultante es altamente no lineal e involucra una gran cantidad de variables.

El presente artículo analiza, a partir de datos experimentales ya existentes, el ajuste del modelo de cortante propuesto por una de estas teorías, usando para ello algoritmos evolutivos. Los algoritmos evolutivos son una rama emergente de la computación natural, cuyo principal objetivo es la resolución de problemas de optimización y búsqueda, computacionalmente costosos, en un tiempo razonable. Estos métodos se caracterizan por la creación de una población que representa posibles soluciones del problema. Los individuos de la población se combinan y compiten entre sí con el fin de buscar el individuo (solución) más apto para el problema tratado. Los resultados numéricos obtenidos presentan un error relativo inferior al 10% respecto a los valores experimentales considerados, validando así la estrategia evolutiva y situándola como una alternativa seria en problemas de ajuste computacionalmente costosos.

Según, G. H. Siqueira y otros [11], En su publicación nos indica el diseño óptimo de estructuras ha estado tradicionalmente orientado a la resolución de problemas de optimización de formas y dimensiones. Sin embargo, más recientemente ha surgido otra rama de investigación que propone modelos que proporcionan soluciones estructurales óptimas y que no requieren la definición previa de la tipología estructural: la optimización topológica de estructuras. Estas formulaciones proporcionan tanto la tipología estructural como la forma y dimensiones óptimas. Las formulaciones más habituales de estos planteamientos pretenden obtener una solución que maximice la rigidez de la estructura dadas unas limitaciones en la cantidad de material a utilizar.

Estas formulaciones han sido ampliamente analizadas y utilizadas en la práctica, pero presentan inconvenientes muy importantes tanto desde un punto de vista numérico como práctico. En este artículo se propone una formulación diferente a la de máxima

rigidez para el problema de optimización topológica de estructuras que minimiza el peso e incorpora restricciones en tensión. Las ventajas de este tipo de planteamientos son muy importantes dado que se minimiza el coste de la solución, que es la situación más habitual en ingeniería, y además se garantiza la validez estructural de la misma. Además, esta formulación permite evitar algunos de los problemas e inestabilidades numéricas que presentan las formulaciones de máxima rigidez. Finalmente, se resuelven algunos ejemplos prácticos para comprobar la validez de los resultados y las ventajas que ofrece la formulación propuesta.

Según, D. Y. Sierra Castellanos y otros [12], En su publicación nos indica que en Latinoamérica son pocos los edificios que constan con sistemas de protección sísmica. El país que posee mayor cantidad de edificios con aisladores de base es Chile, en el que las edificaciones presentaron un excelente desempeño estructural durante el terremoto de 2010, según personas que se encontraban en el conjunto residencial Andalucía que sintieron el sismo como un temblor fuerte.

Según, O. C. Marques y otros [13], El presente artículo fue con el fin de estudiar la respuesta de la estructura ante la imposición de cargas se utiliza un modelo matemático basado en la mecánica newtoniana. Toda estructura responde dinámicamente ante la acción de cargas o deformaciones, generando fuerzas inerciales iguales a su masa por la aceleración (segunda ley de Newton, ecuación dinámica de equilibrio). Para cargas o deformaciones aplicadas de una manera lenta, que es el caso de cargas muertas y vivas no dinámicas, las fuerzas inerciales pueden despreciarse, lo que hace posible un análisis estático de la estructura. Esta simplificación no es válida cuando la estructura se somete a cargas dinámicas o deformaciones rápidas como las causadas por viento, sismo, y vivas, dinámicas o con impacto, casos en los cuales las fuerzas inerciales no son despreciables y se hace necesario un análisis dinámico.

Según, J. Hierro, A. Aznar y otros [14], Tomando en cuenta que la estructura que va a ser sometida al uso de aisladores elastómeros en la cimentación es una estructura mixta se tomara en consideración el comportamiento de la estructura metálica. Las estructuras metálicas normalmente se dimensionaron según criterios resistentes,

quedando a un lado las condiciones de rigidez. Cuando se plantea la rehabilitación del edificio, suelen cambiar las condiciones de uso, y normalmente asociados a ellas, los elementos que apoyan sobre los forjados, como los solados y la tabiquería. En estos casos es usual que aparezcan problemas derivados de la excesiva deformabilidad de los forjados metálicos existentes. El Ecuador se encuentra catalogado como un país de alta peligrosidad sísmica debido a su ubicación cercana al borde de subducción entre la placa de Nazca y la placa Sudamericana, además de contar con diversas fallas geológicas de tipo local que han llegado a originar terremotos de gran magnitud a través de la historia sísmica del país resumida en registros existentes de 460 años de destrucción con altos índices de mortalidad.

Según, M. P. Ferreira y otros [15], En su publicación PUNCHING STRENGTH OF REINFORCED CONCRETE FLAT SLABS WITHOUT SHEAR REINFORCEMENT nos indica el 16 de abril del 2016, la región costera del Ecuador soportó un sismo de magnitud 7.8 en la escala de Richter, el cual cobró la vida de más de 600 personas y produjo daños estructurales y no estructurales en más del 80% de las edificaciones situadas en las Provincias cercanas al epicentro del terremoto, incluyendo hospitales y centros de salud que suspendieron sus servicios e incluso han tenido que ser demolidos por el grado de afectación presentado en los mismos.

Según, Y. F. Vargas y otros [16], En su artículo SEISMIC RISK ASSESSMENT USING STOCHASTIC NONLINEAR MODELS En el diseño y construcción de edificaciones de este tipo se analizará las uniones entre elementos estructurales, la unión entre los elementos es uno de los problemas de más difícil solución y aun cuando no es justo calificar un sistema a partir de este único aspecto, las uniones tienen serias implicaciones en el comportamiento estructural de la edificación, en la producción de los elementos y en el montaje de la obra.

Según, J. Oviedo [17], En su artículo SISTEMAS DE CONTROL DE RESPUESTA SÍSMICA EN EDIFICACIONES Actualmente no se encuentra desarrollado en su totalidad los sistemas de protección sísmica existiendo pocas obras civiles que cuenten con Los materiales elastómericos los cuales se utilizan como materiales de aislamiento

de choque en una variedad de ambientes para amortiguar las vibraciones y/o absorber energía del impacto externo para minimizar la transferencia de energía entre dos objetos o cuerpos. Algunas aplicaciones requieren el aislamiento de choque materiales que se comportan como un filtro mecánico de paso bajo para mitigar la choque/impacto a altas frecuencias, pero transmitir la energía a bajas frecuencias con atenuación mínima.

## 2.2 Fundamentación teórica

Una vez analizado el argumento de diferentes autores es necesario profundizar y detallar ciertos conceptos los cuales nos permiten determinar los elementos importantes para el estudio del presente trabajo.

Debido a la presencia de algunos eventos durante estos años es importante analizar el comportamiento dinámico de las estructuras ya que trae como resultado pérdidas económicas y vidas.

Al enfocarnos en las costas del Pacífico se entienden cuáles fueron las fuerzas dinámicas que hacen que el Ecuador se encuentre en el denominado “Cinturón de Fuego del Pacífico” en donde la Placa Nazca se hunde bajo la placa Sudamericana a una velocidad de 60 mm/año y con una dirección Este-Oeste. La interacción entre las placas hace que se acumule esfuerzos tanto en la zona del contacto como en la parte interna de las placas continental y oceánica.

### 2.2.1 Sismos

Son fenómenos naturales generados por perturbaciones en el interior de la Tierra es decir por el choque de placas tectónicas, dependiendo su magnitud pueden provocar grandes daños en elementos estructurales, así como en vidas humanas. Son el resultado de la ruptura de las rocas, liberando súbitamente energía en un punto determinado de la corteza terrestre. Se transmiten a través de ondas sísmicas que se propagan alejándose de su punto de origen.

Se conoce con Hipocentro al lugar bajo la Tierra en donde se genera el sismo, y epicentro su proyección hacia la superficie.

### **Fallas Geológicas en Ecuador**

Es una fractura en las rocas que por efecto de las grandes fuerzas a la que está sometida, se mueve, provocando sismos. Se caracterizan por su geometría, extensión y tipo de movimiento, son de gran importancia identificarlas para determinar cuáles pueden constituir una amenaza para el Ecuador.

La principal falla activa en el Ecuador es en Pallatanga – Chingual que comienza en el Golfo de Guayaquil pasa por la Isla Puná continua por la zona La Troncal ingresa por la cordillera Bucay y continua por Pallatanga.

### **Sismos en Ecuador**

En el Ecuador el motor de la acumulación de energía para la generación de sismos es la subducción de la placa Nazca con la Sudamericana.

Por su localización y las placas que se encuentran bajo este país, Ecuador es considerado con alto riesgo sísmico. Existe un registro de los fuertes sismos que se han producido los más relevantes son:

**Tabla 1. Sismos en Ecuador**

AÑO	PROVINCIA	MAGNITUD
1797	Riobamba	8.3
1906	Esmeraldas	8.88
1949	Ambato	6.8
2016	Pedernales	7.8

**Fuente:** Elaboración autónoma,2022.

## **Zonas Sísmicas**

En Ecuador existen dos tipos de fuentes sísmicas: El de subducción al que se refiere interplaca e interplaca y las de tipo corticales que son las superficiales.

Los sismos intraplaca tienen una profundidad  $< 40$  km el cual se produce por el roce de la placa Nazca que subduce bajo la placa Sudamericana a lo largo de la zona de convergencia. Cuando existen terremotos de este tipo de gran magnitud y desplazamiento vertical es probablemente que exista un tsunami.

Los sismos intraplaca tienen una profundidad entre 40 y 300 km se localiza dentro de la placa oceánica de Nazca la cual subduce bajo la placa continental Sudamericana y presentan una falla de profundidad intermedia. Se establece que estos sismos han ocasionado mayor daño que los sismos interplaca.

Los sismos Corticales tienen la profundidad  $< 40$  km corresponde a los sismos superficiales los cuales ocurren dentro de la placa Sudamericana.

### **2.2.2 Norma Ecuatoriana de la construcción**

En este trabajo se presenta la metodología del Análisis Tiempo Historia No Lineal y los parámetros que se requieren para el análisis de una estructura se debe aplicar la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015, capítulo de “Peligro Sísmico, diseño sismo-resistente” (NEC-SE-DS) para conocer los principios que deberán cumplir un análisis dinámico estructural.

Conjuntamente, se detallan los parámetros y limitaciones de este análisis, las características de sismos a utilizarse (sismos ocurridos en el país) y los parámetros que se deben realizar en el Software de análisis estructural.

Actualmente el análisis estructural se ha ido revolucionando en los últimos años debido a que alrededor de nuestro planeta las placas tectónicas siempre están en movimiento provocando sismos de grandes magnitudes generando grandes catástrofes y pérdidas humanas por ello cuando las solicitaciones de un sismo de gran intensidad impone en las estructuras con comportamiento elástico son muy elevadas, en general no resulta

económicamente factible diseñar a los edificios con el objeto que resistan sin ningún daño un sismo severo y de baja frecuencia de ocurrencia.

Para brindar una mejor estabilidad estructural es necesario utilizar el método tiempo historia, que tiene la ventaja de ser aplicable a todo tipo de estructuras tanto en el rango lineal como en el no Lineal, pero su desventaja está en la abundante y extensa información proporcionada en el tiempo durante el análisis con este método, y que dificultan su interpretación.

En la actualidad es posible determinar la respuesta no lineal de un modelo matemático

### **Modelamiento No Lineal**

El análisis tiempo historia de respuesta no lineal es la mejor herramienta actualmente disponible para predecir la respuesta de un edificio en variados niveles de intensidad del movimiento del suelo.

### **Análisis Dinámico No Lineal**

El análisis de respuesta no lineal tiene como objetivo simular todos los modos significantes de deformación y deterioro en la estructura, desde el inicio del daño hasta el colapso, de un sistema estructural sujeto a acciones dinámicas, debido al desarrollo de diferentes procedimientos de análisis estructural. La concordancia de la respuesta calculada de esta manera con el verdadero comportamiento de la estructura durante un sismo dependerá básicamente de la calidad de la idealización estructural o modelo matemático elegido y del procedimiento de análisis utilizado.

El análisis paso a paso en el tiempo constituye un análisis de la respuesta dinámica de la estructura en cada incremento de tiempo, cuando la base de la misma está sujeta a un acelerograma específico.

El análisis tiempo-historia no lineal permite estudiar el comportamiento de la estructura considerando la respuesta no lineal de los disipadores ADAS (no linealidad local). Este análisis considera que la estructura tiene un amortiguamiento del 5% y el

amortiguamiento adicional proporcionado por los dispositivos se genera por su trabajo no lineal durante el evento sísmico.

El análisis tiempo historia no lineal se realiza con el fin de justificar un diseño estructural que no pueda ser justificado con el método de diseño estático o lineal espectral, por ello se deberá realizar una revisión del diseño de la estructura mediante los métodos de análisis sísmicos inelásticos.

Los análisis no lineales paso a paso en el tiempo deberán cumplir con los principios establecidos por la dinámica estructural.

Las capacidades y las características de los elementos estructurales no lineales deberán modelarse de manera consistente con datos experimentales o mediante análisis adecuadamente sustentados.

La respuesta máxima inelástica en desplazamientos y la estimación de fuerzas no deberán ser reducidas y cumplirán con los requisitos establecidos en el capítulo de la NEC Peligro Sísmico.

En el código ASCE 7-10, dependiendo de la cantidad de registros sísmicos disponibles para el análisis de respuesta en el tiempo, se aplican diferentes criterios de parámetros a utilizar para diseñar:

Los 3 registros de movimiento del terreno, se toma la respuesta máxima del parámetro de interés.

Los 7 registros de movimiento del terreno, se toma el valor promedio de cada parámetro.

Tipos de modelos para el análisis dinámico no lineal tiempo-historia

El análisis no lineal puede agruparse en tres categorías, dependiendo el nivel al que se considera las no linealidades. En el comportamiento no lineal es indispensable realizar el análisis en tres categorías como son:



1. Las rigideces laterales de entrepiso de cada marco.
2. Las relaciones momento-curvatura para los elementos de cada marco.
3. Las ecuaciones de equilibrio y compatibilidad y las leyes constitutivas de cada material a nivel diferencial.

El primer grupo corresponde a las vigas de corte. Para sistemas de un grado de libertad, las mismas ideas pueden aplicar para un sistema con  $n$  grados de libertad.

Sus principales desventajas están en las dificultades para estimar apropiadamente las rigideces de entrepiso y que por lo general no es fácil de determinar con precisión los efectos a nivel local.

El segundo grupo corresponde una serie de modelos de rotula plástica. Cuando las relaciones momento-curvatura se suponen elastoplásticas, las secciones que alcanza el momento de fluencia no son capaces de soportar momentos adicionales, entonces para cualquier incremento de cargas como si se tratara de rotulas. Los modelos de este pueden ser mejorados considerando para los elementos el diagrama momento-curvatura bolinéales (por ejemplo, lograrse superponiendo un comportamiento lineal a otro elastoplástico) o eventualmente multilínea les. Este tipo de modelo se puede realizarse para un análisis tridimensional.

En el tercer grupo podría incluirse diversos modelos de fibras. Los elementos se dividen en segmento, para cada uno de los cuales pueden suponerse interpolaciones polinómicas de los desplazamientos. Puede admitirse que las secciones planas antes de la deformación siguen siendo planas después de ésta. En consecuencia, conociendo los desplazamientos en los nudos pueden obtenerse (en forma aproximada) las deformaciones de cada material, para obtener módulos tangentes o esfuerzos y a partir de estos resultados las flexibilidades y rigideces o las fuerzas desequilibradas, según sea necesario para el algoritmo utilizado en la solución.

### 2.2.3 Análisis Tiempo-Historia en ETABS

El programa ETABS permite realizar dos tipos diferentes de análisis tiempo-historia.

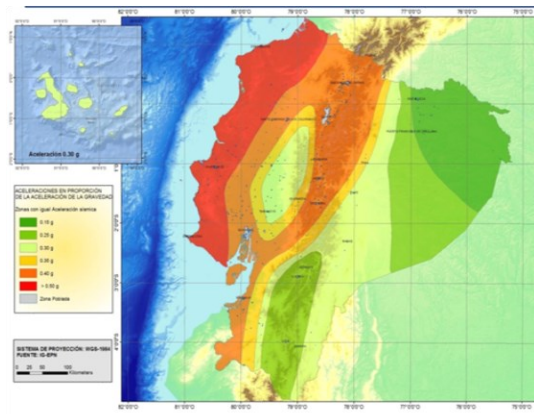
El primero corresponde al caso de un edificio sometido a una aceleración en su base, mientras que el segundo caso es el de un edificio, con base fija, sometido a un conjunto de cargas que varían en el tiempo, como sucede en el caso de un edificio ante la acción de ráfagas de viento.

## FUNDAMENTOS DEL ANÁLISIS TIEMPO HISTORIA LINEAL SISMOLOGÍA

Los terremotos se originan en los límites de las placas tectónicas que son un producto de la acumulación de energía.

En la norma ecuatoriana define 6 tipos de suelo los cuales utilizados en la clasificación a los superiores a 30m y se clasifican en perfiles tipo A, B, C, D y E; y también los  $\Delta p$  y  $\Delta e$  según la geometría de la estructura.

**Figura 1. Sismología**



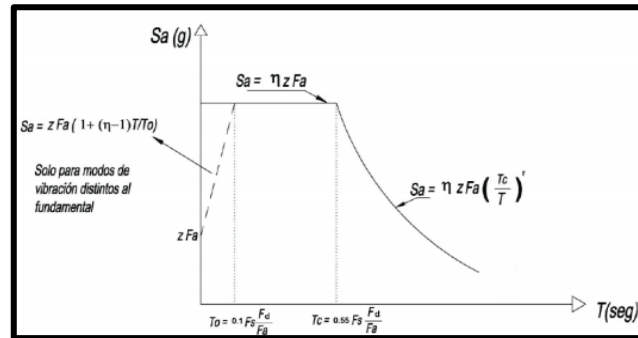
**Fuente:** NORMA ECUATORIANA(FOTOGRAFIA)

[https://www.researchgate.net/figure/Figura-51-Zonificacion-Sismica-del-Ecuador-Fuente-NEC-11-Es-importante-tener-presente\\_fig3\\_303256522](https://www.researchgate.net/figure/Figura-51-Zonificacion-Sismica-del-Ecuador-Fuente-NEC-11-Es-importante-tener-presente_fig3_303256522)

## ESPECTRO DE DISEÑO

- Los espectros de diseño se obtienen generalmente mediante procedimientos estadísticos.
- El espectro de respuesta se obtiene para un terremoto dado.

**Figura 2. Espectro de Diseño**



**Fuente:** Espectro de Diseño (FOTOGRAFIA) [https://www.researchgate.net/figure/Figura-51-Zonificacion-Sismica-del-Ecuador-Fuente-NEC-11-Es-importante-tener-presente\\_fig3\\_303256522](https://www.researchgate.net/figure/Figura-51-Zonificacion-Sismica-del-Ecuador-Fuente-NEC-11-Es-importante-tener-presente_fig3_303256522)

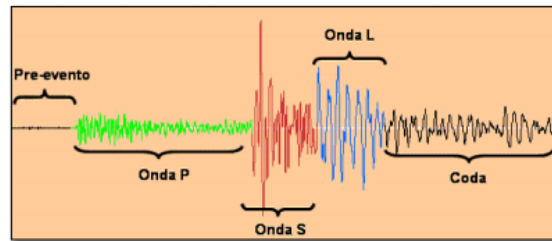
## SISMÓGRAFO

Un sismógrafo es un instrumento usado para medir la intensidad de las ondas sísmicas, se basa en el principio de inercia de los cuerpos, como sabemos este principio nos dice que todos los cuerpos tienen una resistencia al movimiento o variar su velocidad.

Así el movimiento del suelo puede ser medido con respecto a la posición de una masa suspendida por un elemento que permita permanecer en reposo por algún instante con respecto al suelo.

Uno de los instrumentos empleados en sismología es el sismógrafo, el cual es adecuado para registrar sismos que ocurre a distancias apreciables, inclusive de miles de kilómetros. Los sismógrafos, en general, se salen de rango de medición cuando el sismo ocurre cerca de su localización. El registro obtenido por este instrumento se denomina sismograma.

**Figura 3. Sismograma**



**Fuente:** Sismograma (FOTOGRAFIA) [https://www.researchgate.net/figure/Figura-51-Zonificacion-Sismica-del-Ecuador-Fuente-NEC-11-Es-importante-tener-presente\\_fig3\\_303256522](https://www.researchgate.net/figure/Figura-51-Zonificacion-Sismica-del-Ecuador-Fuente-NEC-11-Es-importante-tener-presente_fig3_303256522)

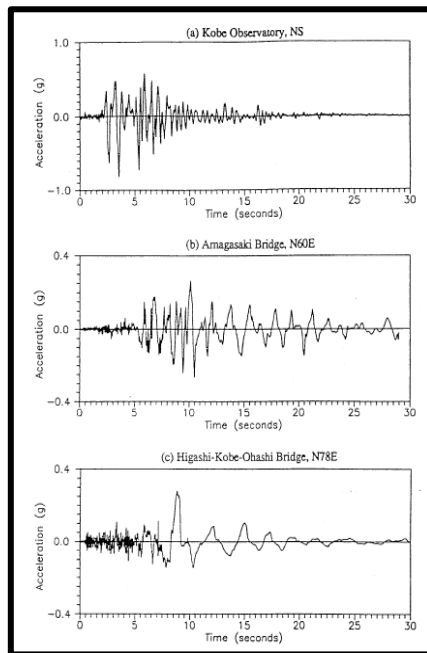
## ACELEROGRAMA

Un acelerograma es una representación temporal de la aceleración que experimenta el suelo en un determinado punto durante un terremoto.

Los valores de la aceleración se obtienen mediante unos instrumentos llamados acelerógrafos, que registran la aceleración del suelo según tres direcciones perpendiculares; dos horizontales y una vertical. Debido a que la variación de la aceleración es muy irregular en el tiempo, es necesario que la toma de datos se realice en intervalos muy pequeños de tiempo, utilizándose generalmente valores de 0.01 o 0.02 s.

Es recomendable configurar los acelerogramas debido a que el tipo de terreno existente entre el epicentro y el punto de observación es diferente y se obtiene resultados como se presenta en el siguiente gráfico.

**Figura 4. Acelograma**



**Fuente:** NEC [18] [https://www.researchgate.net/figure/Figura-51-Zonificacion-Sismica-del-Ecuador-Fuente-NEC-11-Es-importante-tener-presente\\_fig3\\_303256522](https://www.researchgate.net/figure/Figura-51-Zonificacion-Sismica-del-Ecuador-Fuente-NEC-11-Es-importante-tener-presente_fig3_303256522)

## ACELEROGRAMAS ARTIFICIALES

Cuando no se disponga de al menos 3 eventos sísmicos, se utilizarán acelerogramas artificiales apropiadamente simulados para generar el número de registros y de componentes requeridos.

Los componentes de los acelerogramas:

- Para cada par de componentes horizontales de los acelerogramas, debe construirse la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de los espectros característicos del sitio, para una fracción del amortiguamiento respecto al crítico de 5,00%.
- Los acelerogramas deben ser escalados de tal forma que el valor promedio de los espectros provenientes de la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de los espectros

de los registros no se encuentre por debajo del espectro de aceleraciones amortiguado al 5% del sismo de diseño para períodos entre 0.2 T y 1.5 T.

- Los componentes de los acelerogramas deben aplicarse simultáneamente al modelo, a fin de considerar efectos torsionales. Los parámetros de interés deben calcularse para cada paso de tiempo del registro dato.

#### 2.2.4 Visión 2000

Unos de los parámetros que mejor correlacionan el daño esperado en una estructura es la deriva máxima de piso. De ahí que la mayoría de las normativas sísmicas establecen un tope máximo de la deriva de piso. De acuerdo al desempeño que se espera de la estructura. El comité VISIÓN 2000 de los Estados Unidos establece los límites que se indican en la tabla siguiente:

**Tabla 2. Tabla derivas de piso recomendadas por el Comité Visión 2000**

Nivel de Desempeño Según el Comité Visión 2000	
Operacional	<0,2% +/-
Inmediata Operacional	<0,5% +/-
Seguridad de vida	<1,5% +/-
Prevención al colapso	<2,5% +/-
Colapso	>2,5% +/-

**Fuente:** Elaboración autónoma,2022.

Acero Estructural: El comportamiento mecánico del acero se analiza a través de ensayos de tracción. Esto no significa que el acero tenga un comportamiento diferente a la compresión. Lo que ocurre es que debido a que la esbeltez de las probetas las hace muy sensibles al fenómeno de pandeo reduciendo su resistencia, lo que llevaría a incrementar las secciones de las probetas.

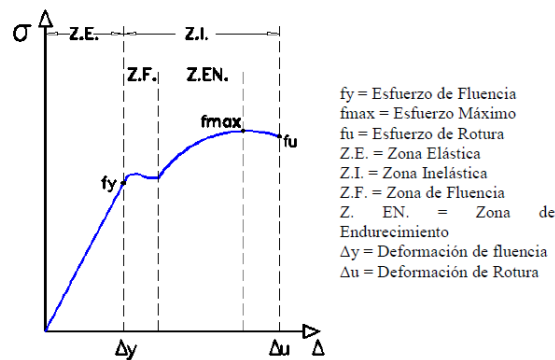
La forma del diagrama de tensiones-deformaciones del acero presenta un período elástico en el cual las tensiones son proporcionales a las deformaciones específicas. El

Módulo de Elasticidad que es una constante para todos los tipos de acero es  $E = 2.100.000 \text{ Kg/cm}^2$ , salvo para el acero inoxidable.

Si aumentan las cargas se produce un efecto denominado fluencia por el cual crecen las deformaciones específicas sin incremento de tensiones. Es decir, la recta cambia bruscamente de dirección y sigue una trayectoria prácticamente horizontal.

Concluido este período existe un rango de grandes deformaciones plásticas, previas a la rotura. En el diagrama de tensión-deformación del acero tampoco se produce la rotura con una tensión máxima, pero esto se debe a que con anterioridad a la rotura se produce una reducción de la sección de la barra.

**Figura 5. Puntos importantes de la curva Esfuerzo-Deformación del Acero**



**Fuente:** A Elaboración autónoma,2022.

### 2.2.5 Desempeño sísmico

Es el comportamiento de una estructura ante la excitación sísmica. El diseño basado en el desempeño sísmico consiste en la selección de esquemas de evaluación apropiados que permitan el dimensionado y detalle de los componentes estructurales, no estructurales y contenidos, de manera que, para unos niveles de movimiento del terreno determinados y con ciertos niveles de fiabilidad, los daños en la estructura no deberán superar ciertos estados límite.

A lo largo de los años varios han sido los investigadores que han presentado sus hipótesis acerca de esta nueva filosofía de diseño sismo resistente. Un importante

avance consistió en identificar que una estructura aporricada podría comportarse mejor ante una acción sísmica si pudiera garantizarse que las rótulas plásticas se formen en las vigas, y no en las columnas (mecanismo de viga débil – columna fuerte), y si la resistencia de cortante de los miembros excediera la correspondiente resistencia a flexión.

Estos dos aspectos pueden ser considerados como el inicio de la nueva filosofía de diseño basada en el desempeño, por medio de la cual es posible controlar y predecir tanto el comportamiento de la estructura como el potencial daño. (SUAREZ, V 2008).

#### 2.2.6 Niveles de desempeño

El nivel de desempeño describe un estado límite de daño discreto. Representa una condición límite o tolerable establecida en función de tres aspectos fundamentales: 1) los posibles daños físicos sobre los componentes estructurales y no estructurales, 2) la amenaza sobre la seguridad de los ocupantes de la edificación, inducida por estos daños y 3) la funcionalidad de la edificación posterior al terremoto (SEAOC VISION 2000 Committee, 1995). A continuación, se presenta una descripción detallada de los niveles establecidos por el comité VISION 2000.

**Totalmente Operacional:** Corresponde a un nivel en el cual no ocurre esencialmente daño. La edificación permanece completamente segura para sus ocupantes. Todo el contenido y los servicios de la edificación permanecen funcionales y disponibles para su uso. En general no requieren reparaciones.

**Operacional:** En este nivel se presentan daños moderados en los elementos no estructurales y en el contenido de la edificación e incluso algunos daños leves en los elementos estructurales. El daño es limitado y no compromete la seguridad de la estructura para continuar siendo ocupada inmediatamente después del sismo, no obstante, los daños en algunos contenidos y componentes no estructurales pueden interrumpir parcialmente algunas funciones normales. En general se requieren algunas reparaciones menores.

**Seguridad de Vida:** Está asociado a la ocurrencia de daños moderados en elementos estructurales y no estructurales, así como en algunos contenidos de la construcción. La



rigidez lateral de la estructura y la capacidad de resistir carga lateral adicionales, se ven reducidas, posiblemente en un gran porcentaje, sin embargo, aún permanece un margen de seguridad frente al colapso. Los daños producidos pueden impedir que la estructura sea ocupada inmediatamente después del sismo, con lo cual es probable que sea necesario proceder a su rehabilitación, siempre y cuando sea viable y se justifique desde un punto de vista económico y el ultimo que es PROXIMO AL COLAPSO.

### 2.2.7 Norma ecuatoriana de la construcción

Según el apartado 3.3.1. Espectro elástico horizontal de la carga sísmica: espectros elásticos de diseño, establecido en la (NEC-15) [3] se debe desarrollar el espectro de respuesta elástico de aceleraciones  $S_a$ , mediante la siguiente expresión:

Únicamente para modos distintos al fundamental:

$$S_a = z * F_a * \left( 1 + \frac{(\eta - 1)T}{T_o} \right) \quad \text{Ec. 1}$$

Ecuación 1. Espectro de Respuesta Elástico (Para modos distintos al fundamental)

Para  $0 \leq T \leq T_c$

$$S_a = \eta * Z * F_a \quad \text{Ec. 2}$$

Ecuación 2. Espectro de Respuesta Elástico (Para  $0 \leq T \leq T_c$ )

Para  $T > T_c$

$$S_a = \eta * Z * F_a * \left( \frac{T_c}{T} \right)^r \quad \text{Ec. 3}$$

Ecuación 3. Espectro de Respuesta Elástico ( $T > T_c$ )

Donde:

- $\eta$ : Razón entre la aceleración espectral  $S_a$  ( $T = 0.1$  s) y el PGA para el período de retorno seleccionado.
- Fa: Coeficiente de amplificación de suelo en la zona de período cortó. Amplifica las ordenadas del espectro elástico de respuesta de aceleraciones para diseño en roca, considerando los efectos de sitio
- Fd: Coeficiente de amplificación de suelo. Amplifica las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos para diseño en roca, considerando los efectos de sitio
- Fs: Coeficiente de amplificación de suelo. Considera el comportamiento no lineal de los suelos, la degradación del período del sitio que depende de la intensidad y contenido de frecuencia de la excitación sísmica y los desplazamientos relativos del suelo, para los espectros de aceleraciones y desplazamientos
- Sa: Espectro de respuesta elástico de aceleraciones (expresado como fracción de la aceleración de la gravedad  $g$ ). Depende del período o modo de vibración de la estructura.
- T: Período fundamental de vibración de la estructura.
- T0: Período límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño.
- TC: Período límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño.
- Z: Aceleración máxima en roca esperada para el sismo de diseño, expresada como fracción de la aceleración de la gravedad  $g$

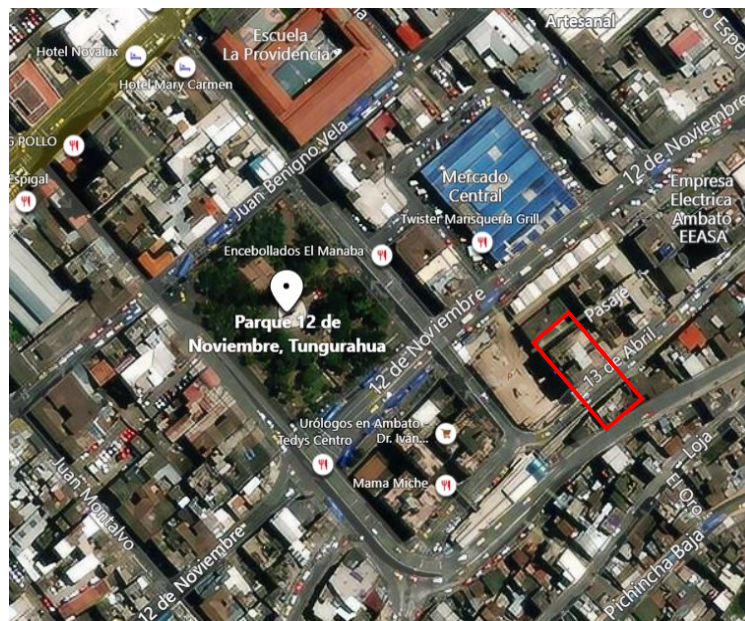
## CAPITULO III

### MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1 Ubicación

La investigación necesaria para el estudio se realizará en software y en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, Campus Huachi Chico, así como en la estructura analizada ubicada en la calle 12 de noviembre donde se encuentra el parqueadero central a estudiarse.

**Figura 6. Ubicación**



**Fuente:** Elaboración autónoma, 2022.

#### 3.2 Equipos y materiales

Para la presente investigación se detalla a continuación los materiales y equipos necesarios.

#### 3.3 Material Bibliográfico

Artículos científicos, Revistas, Papper, publicaciones científicas, en bases de datos.

### **3.4 Materiales de oficina**

Papel, bolígrafos, textos, fotos.

### **3.5 Equipos**

Computadora, impresora, cámara, PC con software ETABS Material Elastómero, Poliuretanos y Elastómeros

### **3.6 Tipo de investigación**

#### **EXPLORATORIO**

La primera etapa que se efectuó en el presente trabajo investigativo fue de carácter exploratorio, pues se obtuvo toda la información necesaria para detallar cada uno de los componentes y procesos indispensables para el desarrollo del tema propuesto tratando así de solucionar el problema propuesto. La modalidad básica que se aplicó para investigar fue del tipo Bibliográfico para contextualizar y como guía de estudio mediante libros, tesis, publicaciones, normas, internet, no solamente para la investigación de las propiedades mecánicas de los elementos sino también para comparar datos y ampliar los conocimientos.

#### **EXPERIMENTAL**

La investigación experimental es indispensable en este proyecto puesto que para el desarrollo del trabajo se analizó y evaluó la fiabilidad de nuestro proyecto.

#### **DESCRIPTIVO**

Se puede decir que el proyecto cumplió con las necesidades que este sector requiere en especial para las futuras construcciones de gran importancia que deben resguardar la vida de las personas y el buen desenvolvimiento sísmico.

## **EXPLICATIVO**

Una vez realizado el diseño de los aisladores en la cimentación, incorporándolos a una estructura de tipo esencial se realizará una comparación de los resultados obtenidos por medio de los métodos descritos anteriormente para establecer diferencias en el comportamiento que presenta el sistema estructural equipado con los sistemas de protección sísmica propuestos en este estudio, definiéndose así la influencia directa que estos llegan a tener en el costo final de la edificación.

### **3.7 Prueba de Hipótesis - pregunta científica – idea a defender**

La implementación del uso de aisladores elastómeros en la cimentación mejorara el desempeño estructural en el parqueadero central de la ciudad de AMBATO influyendo directamente en la relación costo/beneficio.

#### **Población o muestra:**

El universo está conformado por la edificación de cinco plantas de tipo esencial destinada a ser utilizada como parqueadero central en la ciudad de Ambato, en Tungurahua.

De todos los componentes de la edificación se estudiará el comportamiento de la estructura con el uso de aisladores elastómeros en la cimentación

#### **Recolección de información**

Para el presente proyecto de titulación se obtendrá la documentación bibliográfica de trabajos realizados a nivel académico, y documental, que corresponde a los estudios previos y ante proyectos elaborados para la construcción del parqueadero central de la ciudad de AMBATO realizado por el GADMA.

Se procederá a hacer el cálculo y simulaciones correspondientes de acuerdo a la norma vigente para determinar el comportamiento de la cimentación con aisladores elastómeros.

### **3.8 Procesamiento de la información y análisis estadístico:**

El presente proyecto al no ser experimental el procesamiento de datos se da conforme a los documentos descritos a continuación resultado de un estudio de campo por parte del GAD MUNICIPALIDAD DE AMBATO.

- PLANOS ARQUITECTONICOS
- PLANOS ESTRUCTURALES
- ESTUDIO DE SUELOS

### **3.9 Variables respuesta o resultados alcanzados**

Consideraremos la variable de respuesta después de haber realizado el análisis y procesamiento de datos de las estructuras utilizando el aislador sísmico más apto y disipador de energía, lo que nos dará una idea general para poder determinar con el análisis estructural a realizar, los desplazamientos y el comportamiento estructural del proyecto planteado.

## CAPÍTULO IV

### 4. Análisis de la memoria de cálculo estructural:

Se establecerá los criterios requeridos por las normativas AISC 360, AISC 358, NEC SE DS, NEC AC, AISC 341.

#### 4.1 Datos de la estructura.

- **Acero Estructura**= 572 Gr 50 (Edificio en Estructura Metálica)
- **Hormigón  $f'_c$** =240 kg/cm<sup>2</sup> (De acuerdo con la NEC-15, numeral 3.3.1. Resistencia a la compresión, literal a. Generalidades)
- **Acero en barras  $f_y$**  = 4200 kg/cm<sup>2</sup> (De conformidad con lo establecido en el ACI318-14 la sección 25.4.4.1, literal (b), en concordancia con la NEC-15, numeral 3.3.2. Resistencia a la fluencia)
- **Peso Específico del Hormigón  $W_c$** = 2400 kg/m<sup>3</sup> (Código ACI318-14 numeral 8.5.1)
- **Módulo de Poisson del Hormigón**= 0.2
- **Módulo de Poisson del Acero** = 0.3

#### 4.1.2 Cargas

- Adicional de Carga muerta: 204 kg/m<sup>2</sup> del 1 al 5 piso
- Carga Viva parqueadero: 250 kg/m<sup>2</sup> del 1 al 5 piso
- Carga Viva Cubierta: 70 kg/m<sup>2</sup>
- Carga Muerta: Peso propio de la estructura

#### 4.1.3 Factor de Zona Sísmica

En la NEC-15, PELIGRO SÍSMICO, DISEÑO SISMO RESISTENTE, se encuentran las zonificaciones de ciertas poblaciones del Ecuador, en el numeral 10.2. para Tungurahua, la norma recomienda utilizar el valor del factor Z de 0.40. Este valor representa la aceleración máxima en roca para el sismo de diseño.

#### 4.1.4 Perfil del suelo

Según la sección 3.2.1. Tipos de perfiles de suelos para el diseño sísmico, se adoptó un perfil tipo D.

Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o Perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones.

#### 4.1.5 Coeficientes de perfil de suelo

Coeficiente de amplificación de suelo en la zona de periodo corto.

En la sección 3.2.2. Coeficientes de perfil de suelo  $F_a$ ,  $F_d$  y  $F_s$ , se determinaron en función de las tablas de dicha sección.

#### 4.1.6 Amplificación espectral, $\eta$

De acuerdo con la NEC-15, la relación de amplificación espectral,  $\eta$  ( $S_a/Z$ , en roca), dependen de la región del Ecuador, cuyos valores son los siguientes:

$\eta = 1.80$ : Provincias de la Costa (excepto Esmeraldas),

$\eta = 2.48$ : Provincias de la Sierra, Esmeraldas y Galápagos

$\eta = 2.60$ : Provincias del Oriente

#### 4.1.7 Aceleración Espectral, $S_a$

$$S_a = Z * F_a * \eta \quad \text{Ec. 4}$$

$$S_a = 0.4 * 1.2 * 2.48$$

$$S_a = 1.1904$$



## 4.2 ANÁLISIS ELÁSTICO DE PRIMER ORDEN DE LA ESTRUCTURA (DINÁMICO ESPECTRAL).

Consideraciones iniciales:

### 4.2.1 Asignamos la masa reactiva según lo indicado en la NEC SE DS. Sección 6.1.7.

**Figura 7. Carga reactiva de la Norma NEC SE DS 2015**

#### 6.1.7. Carga sísmica reactiva $W$

La carga sísmica  $W$  representa la carga reactiva por sismo.

Independientemente del método de análisis descrito en la sección 6.2 se usara la siguiente carga sísmica reactiva  $W$ .

#### Caso general

$W=D$
Dónde
$D$ Carga muerta total de la estructura

**Fuente:** NEC SE DS [18]

**Figura 8. Carga reactiva asignada en la modelación**

Mass Source Name: MsSrc1

Mass Source

- Element Self Mass
- Additional Mass
- Specified Load Patterns
- Adjust Diaphragm Lateral Mass to Move Mass Centroid by:
  - This Ratio of Diaphragm Width in X Direction:
  - This Ratio of Diaphragm Width in Y Direction:

Mass Multipliers for Load Patterns

Load Pattern	Multiplier
ACM	1
ACM	1

Buttons: Add, Modify, Delete

Mass Options

- Include Lateral Mass
- Include Vertical Mass
- Lump Lateral Mass at Story Levels

**Fuente:** Elaboración autónoma,2022.

1. Debido a que los muros o diafragmas verticales asumen gran participación de masa asignamos el número de modos de vibración para que la participación de masa reactiva

en los modos de vibración sea igual o mayor al 90%. Por lo que se añadirá 55 modos de vibración.

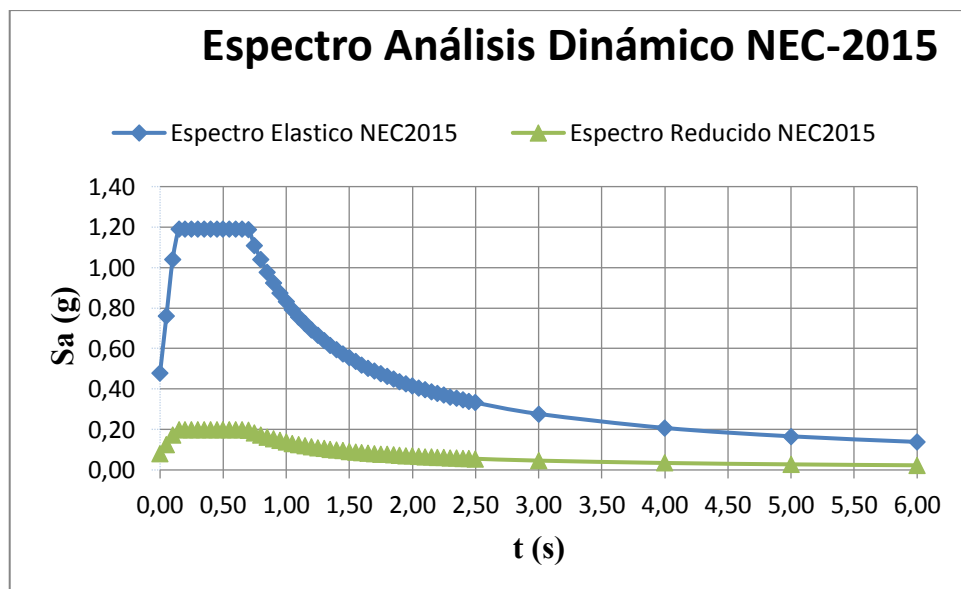
**Figura 9. Modos de carga reactiva asignados**



**Fuente:** Elaboración autónoma,2022.

2. Se ingresará el espectro de la Figura 3 correspondiente a  $I=1.0$  con los parámetros descritos en la Tabla N.7. A continuación se visualizan los espectros de diseño tanto el elástico de 475 años como el inelástico.

**Figura 10. Espectros de Diseño de la NEC 2015**



**Fuente:** Elaboración autónoma,2022.

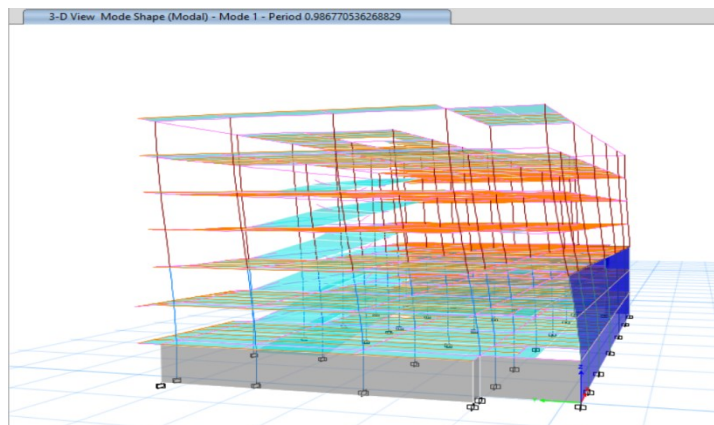
**Tabla 3. Parámetros de diseño para espectro de diseño**

			Capítulo	Página
Factor de importancia	I=	1,000	4.1	39
Categoría Sísmica	Zona Sísmica=	V	3.1.1	27
Valor de factor Z	Z=	0,400	3.1.1	27
Perfil del Suelo	Suelo Tipo=	D	3.2.1	29
Amplificación del suelo en la zona de periodo corto	Fa=	1,200	3.2.2 a)	31
Coef. Amplificación de las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos para diseño en roca	Fd=	1,190	3.2.2 b)	31
Comportamiento no lineal de los suelos	Fs=	1,280	3.2.2 c)	32
Factor usado en el espectro de diseño elástico	r=	1,000	3.5.1	34
relación de amplificación espectral	$\eta$ =	2,480	3.5.1	34
Altura de la edificación en metros	hn=	22,820		
Tipo Estructura	De Acero sin arriostramientos			
Coficiente que depende del tipo de edificio	Ct=	0,072	6.3.3	62
	$\alpha$ =	0,800	6.3.3	62
Periodo de Vibracion Metodo 1	Ta CODIGO=	0,879	6.3.3 a)	62
Periodo de Vibracion Metodo 2	1.5 * Ta Codigo	1,143	6.3.3 b)	63
Periodo Límite de Vibración	To=	0,127	5.5	55
Periodo de Vibración	Ta=	0,879	6.3.3 a)	62
Período límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño	Tc=	0,698	3.5.1	34
Coficiente relacionado con el período de vibración de la estructura T	k=	1,189	6.3.5	67
Aceleración Espectral	Sa(Ta)=	0,945	3.5.1	34
Coficiente de Reduccion de Respuesta Estructural	R=	6	6.3.4 b)	64-65
Irregularidad en planta	$\Phi_P$ =	1,000	5.2	48-52
Irregularidad en elevación	$\Phi_E$ =	1,000	5.2	48-52
	V=	0,158	6.3.2	61

**Fuente:** Elaboración autónoma,2022.

3. Se realizó un cálculo de valores para la asignación de fuerzas de cortante basal según la normativa NEC SE DS

**Figura 11. Período de vibración de la estructura modelada**



**Fuente:** Elaboración autónoma,2022.

#### 4.2.3 Cálculo del periodo límite de vibración

$$T_c = 0.55 * F_s \frac{F_d}{F_a} \quad \text{Ec. 5}$$

$$T_c = 0.55 * 1.28 \frac{1.19}{1.2}$$

$$T_c = 0,698 \text{ s.}$$

Fa, Fs y Fd, se determinan según tablas de la NEC SE DS que están en función de mediante la categoría sísmica Z y el tipo de suelo: I, II, III, IV, V.

$$\text{Si } T \geq T_c \quad \text{Ec. 6}$$

To, es el período de la edificación modelada.

$$T = 0.98 \text{ s.} \quad \text{Ec. 7}$$

#### 4.2.4 Cálculo de la Aceleración Espectral Sa

$$S_a = n * Z * F_a \left[ \frac{T_c}{T} \right]^r \quad \text{Ec. 8}$$

$$S_a (T_a) = 2.48 * 0.4 * 1.2 * \left[ \frac{0.698}{0.98} \right]^{1.00}$$

$$S_a (T_a) = 1.19$$

#### 4.2.3 Cálculo del cortante basal de diseño V

$$V = \frac{I S_a (T_a)}{R * \phi_p * \phi_e} \quad \text{Ec. 9}$$

$$V = \frac{1.0 * 0.945}{8 * 1 * 1}$$

$$V = 0.118$$

#### 4.2.4 Coeficiente relacionado con el período de vibración de la estructura T, k

Para determinar k depende del periodo de vibración, T, como se indica en la sección 6.3.5 el coeficiente k se determina de acuerdo a la siguiente expresión:

Si  $T < 2.5$

$$K = 0.75 + 0.5 * T \quad \text{Ec. 10}$$

$$K = 0.75 + 0.5 * (0.98)$$

$$K = 1.240$$

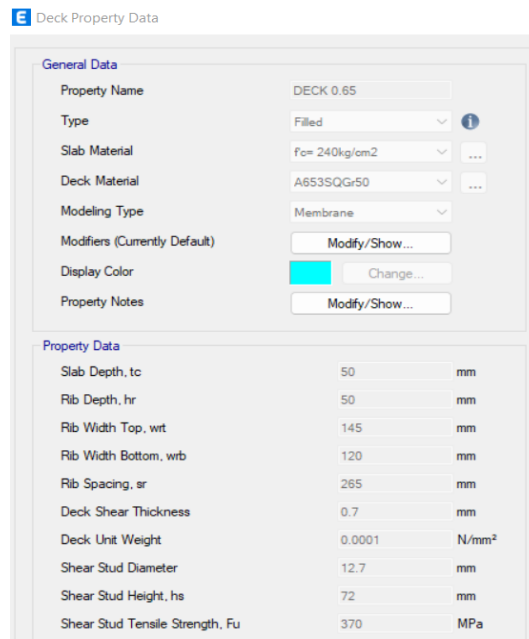
**Tabla 4. Parámetros para calibrar las fuerzas de cortante basal**

Cotante Basal Periodo NEC		Cotante Basal Periodo Máximo		Cotante Basal Periodo Software	
T	0.8790	Tmax (1.3T)	1.143	Tmodal (s)	0.980
Sa (T)	0.9455	Sa (Tmax)	0.7273	Sa (Tmodal)	0.8480
V	0.9455	V (Tmax)	0.1818	V (Tmodal)	0.212
k	1.189	k(max)	1.321	k(modal)	1.240
Wr	217.653	V min	36.91		

**Fuente:** Elaboración autónoma, 2022.

1. Se modelo una losa deck tipo membrane según las consideraciones especificaciones en el plano estructural. Cabe destacar que no se puede modificar para losa deck un tipo de elemento finito diferente a membrane. El material es acero forjado en frío Grado 50.

**Figura 12. Propiedades mecánicas y geométricas de la losa deck.**

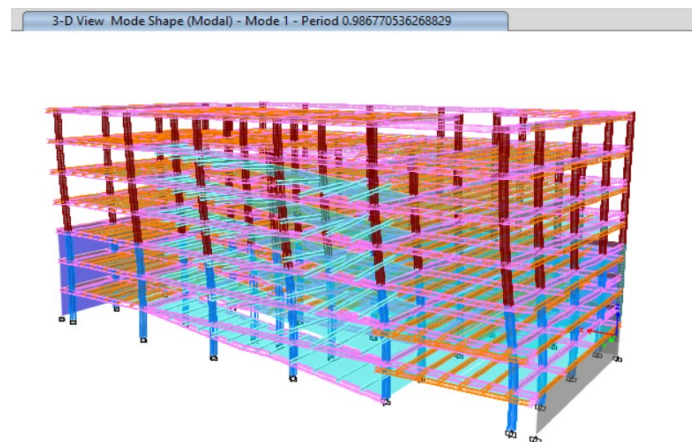


**Fuente:** Elaboración autónoma,2022.

Dichas asignaciones solo garantizan un correcto análisis estructural no garantizan un diseño que supla la demanda capacidad mucho menos otras consideraciones sísmicas.

Vista de la estructura modelada

**Figura 13. Vista 3D de la Estructura Modelada**



**Fuente:** Elaboración autónoma,2022.

2. Validación del estado dinámico.

**Figura 14. Fuerzas producidas por el cortante basal en Sx y Sy**

Story	Elevation	Location	X-Dir	Y-Dir
	m		kgf	Kgf
19+36	21.42	Top	0	-0.02
		Bottom	0	-0.02
15+30	18.36	Top	0	-0.02
		Bottom	0	-0.02
12+24	15.3	Top	0	-0.01
		Bottom	0	-0.01
9+18	12.24	Top	-183056.87	-0.01
		Bottom	-183056.87	-0.01
6+12	9.18	Top	-311471.57	-0.02
		Bottom	-311471.57	-0.02
3+06	6.12	Top	-372528.69	-0.02
		Bottom	-372528.69	-0.02
0+00	3.06	Top	-372528.69	-0.02
		Bottom	-372528.69	-0.02
-3.06	0	Top	0	0
		Bottom	0	0

**Fuente:** Elaboración autónoma,2022.

Se determinó que el máximo valor es 372528.69 kg. Para Sx y Sx

**Tabla 5. Fuerzas Dinámicas producidas por el espectro de Diseño en dirección X**

<b>TABLE: Story Response Espect X</b>				
<b>Story</b>	<b>Elevation</b>	<b>Location</b>	<b>X-Dir</b>	<b>Y-Dir</b>
	m		kgf	kgf
19+36	21.42	Top	31805.68	20833.42
		Bottom	31805.68	20833.42
15+30	18.36	Top	116405.45	70400.63
		Bottom	116405.45	70400.63
12+24	15.3	Top	181087.45	104984.5
		Bottom	181087.45	104984.5
9+18	12.24	Top	218115.62	125100.83
		Bottom	218115.62	125100.83
6+12	9.18	Top	234592.93	133048.65
		Bottom	234592.93	133048.65
3+06	6.12	Top	250836.74	139918.09
		Bottom	250836.74	139918.09
0+00	3.06	Top	263203.82	143825.23
		Bottom	263203.82	143825.23
-3.06	0	Top	0	0
		Bottom	0	0

**Fuente:** Elaboración autónoma,2022.

La fuerza máxima de diseño 263203.82 kg producido por el cortante basal en dirección X.



**Tabla 6. Fuerzas Dinámicas producidas por el espectro de Diseño en Y**

TABLE: Story Response Espect Y				
Story	Elevation	Location	X-Dir	Y-Dir
	m		kgf	kgf
19+36	21.42	Top	20973.24	28147.06
		Bottom	20973.24	28147.06
15+30	18.36	Top	57251.77	98330.05
		Bottom	57251.77	98330.05
12+24	15.3	Top	86903.15	153553.48
		Bottom	86903.15	153553.48
9+18	12.24	Top	108585.15	190993.51
		Bottom	108585.15	190993.51
6+12	9.18	Top	124944.3	216981.95
		Bottom	124944.3	216981.95
3+06	6.12	Top	138399.3	237641.54
		Bottom	138399.3	237641.54
0+00	3.06	Top	143825.13	247256.33
		Bottom	143825.13	247256.33
-3.06	0	Top	0	0

**Fuente:** Fuente: Elaboración autónoma,2022.

#### 4.2.5 Ajuste del corte basal de los resultados obtenidos por el análisis dinámico

De acuerdo a la NEC-15, se indica que el cortante basal dinámico no debe ser:

- < 80% del cortante basal V para estructuras regulares.
- < 85% del cortante basal V para estructuras irregulares.

Se determinó que el máximo valor es 247256.33 kg. Para Sx y Sy  
Dirección X

$$\frac{V_{x\text{ DINÁMICO}}}{V_{x\text{ ESTÁTICO}}} \geq 80\% \quad \text{Ec. 11}$$

$$\frac{263203.82}{372528.69} \geq 80\%$$

$$70.65\% \geq 80\%$$

NO CUMPLE

Dirección Y

$$\frac{V_{Y \text{ DINÁMICO}}}{V_{Y \text{ ESTÁTICO}}} \geq 80\%$$

**Ec. 12**

$$\frac{247256.33}{372528.69} \geq 80\%$$

$$66.37\% \geq 80\%$$

NO CUMPLE

Se procede a aumentar el valor de la gravedad.

$$(p) \frac{V_{Y \text{ DINÁMICO}}}{V_{Y \text{ ESTÁTICO}}} \geq 81\%$$

**Ec. 13**

$$(p) \geq 81\% \frac{372528.69}{247256.33}$$

$$(p) \geq 1.22$$

Donde:

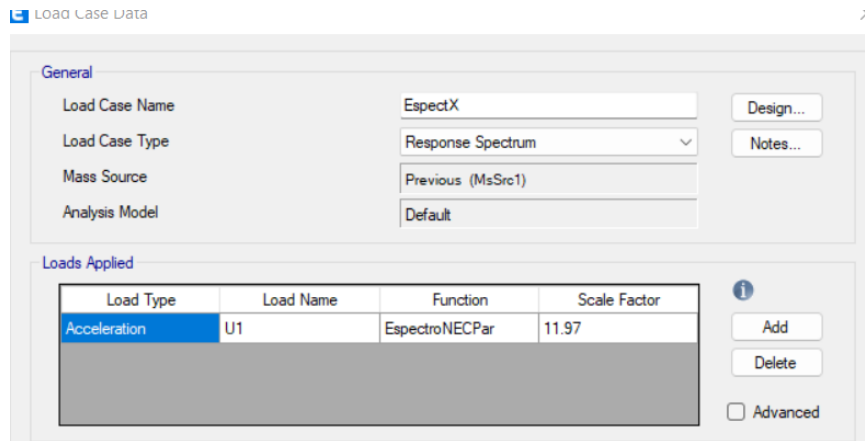
p = Factor de calibración de la gravedad.

$$\text{Gravedad calibrada} = 9,81 * 1.22$$

**Ec. 14**

$$\text{Gravedad calibrada} = 11.97$$

**Figura 15. Gravedad Calibrada**



**Fuente:** Elaboración autónoma,2022.

**Tabla 7. Fuerzas Dinámicas calibradas producidas por el espectro de Diseño en dirección X**

<b>TABLE: Story Response</b>				
<b>Story</b>	<b>Elevation</b>	<b>Location</b>	<b>X-Dir</b>	<b>Y-Dir</b>
	<b>m</b>		<b>kgf</b>	<b>kgf</b>
19+36	21.42	Top	38822.02	25429.28
		Bottom	38822.02	25429.28
15+30	18.36	Top	142084.52	85931.02
		Bottom	142084.52	85931.02
12+24	15.3	Top	221035.4	128144.11
		Bottom	221035.4	128144.11
9+18	12.24	Top	266231.99	152698.1
		Bottom	266231.99	152698.1
6+12	9.18	Top	286344.2	162399.22
		Bottom	286344.2	162399.22
3+06	6.12	Top	306171.39	170784.05
		Bottom	306171.39	170784.05
0+00	3.06	Top	321266.66	175553.12
		Bottom	321266.66	175553.12
-3.06	0	Top	0	0
		Bottom	0	0

**Fuente:** Elaboración autónoma,2022.

**Tabla 8. Fuerzas Dinámicas calibradas producidas por el espectro de Diseño en dirección Y**

TABLE: Story Response				
Story	Elevation	Location	X-Dir	Y-Dir
	m		kgf	kgf
19+36	21.42	Top	25599.94	34356.32
		Bottom	25599.94	34356.32
15+30	18.36	Top	69881.53	120021.69
		Bottom	69881.53	120021.69
12+24	15.3	Top	106074.01	187427.42
		Bottom	106074.01	187427.42
9+18	12.24	Top	132539.06	233126.74
		Bottom	132539.06	233126.74
6+12	9.18	Top	152507.04	264848.23
		Bottom	152507.04	264848.23
3+06	6.12	Top	168930.22	290065.33
		Bottom	168930.22	290065.33
0+00	3.06	Top	175553	301801.14
		Bottom	175553	301801.14
-3.06	0	Top	0	0
		Bottom	0	0

**Fuente:** Elaboración autónoma,2022.

Dirección X

$$\frac{V_{X \text{ DINÁMICO}}}{V_{X \text{ ESTÁTICO}}} \geq 80\% \quad \text{Ec. 15}$$

$$\frac{321266.66}{372528.69} \geq 80\%$$

$$86.24\% \geq 80\%$$

OK

Dirección Y

$$\frac{V_{Y \text{ DINÁMICO}}}{V_{Y \text{ ESTÁTICO}}} \geq 80\% \quad \text{Ec. 16}$$

$$\frac{301801.14}{372528.69} \geq 80\%$$

$$81.01\% \geq 80\%$$

OK

### 3. Derivas de piso

Se aplicará la siguiente fórmula.

$$\Delta_{inelast} = 0.75 * R * \Delta_{elast}$$

Ec. 17

El factor de respuesta estructural es igual a 6

**Tabla 9. Derivas estáticas en dirección X**

Derivas Sx Base Fija					
Story	Elevation	Location	X-Dir	Y-Dir	Der. Inelast.
	cm				
19+36	2142	Top	0,000142	0,000084	0,085%
15+30	1836	Top	0,000315	0,000144	0,189%
12+24	1530	Top	0,000834	0,000382	0,500%
9+18	1224	Top	0,001592	0,00113	0,955%
6+12	918	Top	0,00165	0,0019	1,140%
3+06	612	Top	0,001412	0,00169	1,014%
0+00	306	Top	0,00032	0,000194	0,192%
-3,06	0	Top	0	0	0,000%

**Fuente:** Elaboración autónoma,2022.

**Tabla 10. Derivas estáticas en dirección Y**

Derivas Sy Base Fija					
Story	Elevation	Location	X-Dir	Y-Dir	Der. Inelast.
	cm				
19+36	2142	Top	0,00005	0,000335	0,201%
15+30	1836	Top	0,000104	0,000489	0,293%
12+24	1530	Top	0,000303	0,001116	0,670%
9+18	1224	Top	0,000723	0,002355	1,413%
6+12	918	Top	0,001319	0,003025	1,815%
3+06	612	Top	0,001264	0,002367	1,420%
0+00	306	Top	0,000362	0,000345	0,217%
-3,06	0	Top	0	0	0,000%

**Fuente:** Elaboración autónoma,2022.

**Tabla 11. Derivas dinámicas en dirección X**

Derivas Espect X Base Fija					
Story	Elevation	Location	X-Dir	Y-Dir	Der. Inelast.
	cm				
19+36	2142	Top	0,00199	0,002085	1,251%
15+30	1836	Top	0,002639	0,003218	1,931%
12+24	1530	Top	0,003305	0,003898	2,339%
9+18	1224	Top	0,002784	0,003207	1,924%
6+12	918	Top	0,002023	0,00242	1,452%
3+06	612	Top	0,001366	0,00179	1,074%
0+00	306	Top	0,000299	0,000217	0,179%
-3,06	0	Top	0	0	0,000%

**Fuente:** Elaboración autónoma,2022.

**Tabla 12. Derivas dinámicas en dirección Y**

Derivas Espect Y Base Fija					
Story	Elevation	Location	X-Dir	Y-Dir	Der. Inelast.
	cm				
19+36	2142	Top	0,001823	0,002761	1,657%
15+30	1836	Top	0,002147	0,003696	2,218%
12+24	1530	Top	0,002689	0,004883	2,930%
9+18	1224	Top	0,002863	0,005465	3,279%
6+12	918	Top	0,002858	0,005128	3,077%
3+06	612	Top	0,002399	0,003624	2,174%
0+00	306	Top	0,00057	0,000452	0,342%
-3,06	0	Top	0	0	0,000%

**Fuente:** Elaboración autónoma,2022.

El chequeo de derivas es correcto

Se establece que la estructura cumple con las derivas mínimas menores al 2% las derivas con la estructura realizando las modificaciones.

#### 4. Forma de desplazamiento de la estructura

Se verificará el desplazamiento de la estructura esta puede ser rotacional o traslacional.

Diversos autores establecen que la estructura para considerarse un desplazamiento traslacional debe ser menor al 30%, 25%, 20% e incluso al 15%.

Sin embargo, todos los investigadores coinciden que pasado el 35% se trata de una estructura con inestabilidad torsional.

**Tabla 13. Casos modales y participación de masa**

TABLE: Modal Participating Mass Ratios									
Case	Mode	Period	UX	UY	SumUX	SumUY	RX	RY	RZ
		sec							
Modal	1	0.987	0.0764	0.4168	0.0764	0.4168	0.3337	0.0428	0.136
Modal	2	0.664	0.2181	0.0939	0.2944	0.5107	0.1839	0.2371	0.1258
Modal	3	0.582	0.172	0.0027	0.4664	0.5133	0.0074	0.2634	0.1654
Modal	4	0.469	0	0.0029	0.4664	0.5162	0.0045	0.000006308	0.000007906
Modal	5	0.459	0.00001313	0.0038	0.4664	0.52	0.0028	0.0002	0.0001
Modal	6	0.458	0.000002617	0.0011	0.4665	0.5211	0.0006	0.00002914	0.00001573
Modal	7	0.457	0	0.0005	0.4665	0.5217	0.0007	0.000002875	0
Modal	8	0.456	0.000005604	0.00003826	0.4665	0.5217	0.0017	0.000003039	0.0001
Modal	9	0.326	0.0003	0.0065	0.4668	0.5282	0.0034	0.0024	0.0005
Modal	10	0.308	0.0139	0.0814	0.4807	0.6095	0.09	0.0465	0.0234
Modal	11	0.208	0.0712	0.0324	0.5519	0.6419	0.002	0.022	0.0162
Modal	12	0.173	0.0059	0.016	0.5578	0.6579	0.0152	0.0007	0.0358
Modal	13	0.164	0.0218	0.0389	0.5796	0.6968	0.0156	0.0042	0.0092
Modal	14	0.144	0.0222	0.0001	0.6018	0.6969	0.0018	0.0128	0.0112
Modal	15	0.133	0.0489	0.0411	0.6507	0.738	0.0193	0.0121	0.0005
Modal	16	0.125	0.0409	0.0321	0.6916	0.7701	0.0124	0.0244	0.0098
Modal	17	0.114	0.0228	0.0067	0.7144	0.7768	0.0091	0.0109	0.0007
Modal	18	0.108	0.004	0.0283	0.7183	0.8051	0.0397	0.0006	0.0008
Modal	19	0.106	0.0207	0.001	0.739	0.8061	0.0047	0.0258	0.0051
Modal	20	0.099	0.017	0.00004553	0.756	0.8061	0.001	0.019	0.0016
Modal	21	0.098	0.0109	0.0004	0.767	0.8065	0.0022	0.0133	0.001
Modal	22	0.097	0.0031	0.002	0.77	0.8086	0.0001	0.0021	0.034
Modal	23	0.096	0.0053	0.0005	0.7753	0.8091	0.0009	0.0027	0.0011
Modal	24	0.091	0.0002	0.0039	0.7755	0.8129	0.0022	0.0001	0.0005
Modal	25	0.09	0.004	0.0031	0.7796	0.816	0.0034	0.0044	0.0015
Modal	26	0.088	0.007	0.0028	0.7866	0.8188	0.0116	0.0008	0.0011
Modal	27	0.084	0.0023	0.0019	0.7889	0.8208	0.0004	0.0071	0.00001539
Modal	28	0.083	0.0001	0.001	0.789	0.8218	0.0113	0.0001	0.0106
Modal	29	0.08	0.0341	0.007	0.8231	0.8287	0.0045	0.0272	0.0032
Modal	30	0.078	0.0005	0.0158	0.8236	0.8445	0.0101	0.0072	0.0014
Modal	31	0.074	0.0098	0.00001858	0.8334	0.8446	0.0005	0.005	0.0042
Modal	32	0.071	0.0009	0.0008	0.8343	0.8454	0.0024	0.0065	0.001
Modal	33	0.07	0.0043	0.0056	0.8387	0.8509	0.0037	0.0021	0.002
Modal	34	0.068	0.0047	0.0079	0.8434	0.8588	0.0086	0.0137	0.0093
Modal	35	0.066	0.0008	0.0048	0.8442	0.8636	0.0077	0.0017	0.000001771
Modal	36	0.065	0.0000365	0.004	0.8443	0.8676	0.0147	0.0022	0.0093
Modal	37	0.064	0.0084	0.0068	0.8527	0.8744	0.0027	0.0101	0.0188
Modal	38	0.062	0.0006	0.0003	0.8533	0.8747	0.0006	0.0012	0.001
Modal	39	0.062	0.0042	0.00003326	0.8574	0.8747	0.00001183	0.0102	0.0024
Modal	40	0.062	0.0002	0.00003344	0.8576	0.8748	0.0001	0.0007	0
Modal	41	0.061	0.0014	0.0003	0.859	0.875	0	0.0023	0.0015
Modal	42	0.06	0.004	0.0128	0.863	0.8878	0.01	0.0011	0.0142
Modal	43	0.059	0.00001028	0.0001	0.863	0.8879	0.00002489	0.001	0.0133
Modal	44	0.058	0.0083	0.0014	0.8714	0.8894	0.0008	0.0138	0.0031
Modal	45	0.056	0.0001	0.00001569	0.8715	0.8894	0.0001	0.0006	0.0047
Modal	46	0.056	0.0000331	0.0115	0.8715	0.9009	0.0278	0.0004	0

**Fuente:** Elaboración autónoma,2022.

Modo 1

$$\frac{Rz}{Uy} \leq 30\% \quad \text{Ec. 18}$$

$$\frac{0.1341}{0.4168} = 32.63\% \text{ REDISEÑO}$$

Modo 2

$$\frac{Rz}{Ux} \leq 30\% \quad \text{Ec. 19}$$

$$\frac{0.1258}{0.2181} = 57.58\% \text{ REDISEÑO}$$



5. Diseño de las vigas principales

**Figura 16. Configuraciones principales de diseño**

Steel Frame Design Preferences for AISC 360-16

Item	Value
01 Design Code	AISC 360-16
02 Multi-Response Case Design	Step-by-Step - All
03 Framing Type	SCBF
04 Seismic Design Category	D
05 Importance Factor	1
06 Design System Rho	1
07 Design System Sds	0
08 Design System R	6
09 Design System Omega0	3
10 Design System Cd	5.5
11 Design Provision	LRFD
12 Analysis Method	Direct Analysis
13 Second Order Method	General 2nd Order
14 Stiffness Reduction Method	Tau-b Fixed
15 Add Notional load cases into seismic combos?	No
16 Beta Factor	1.3
17 BetaOmega Factor	1.6
18 Phi(Bending)	0.9

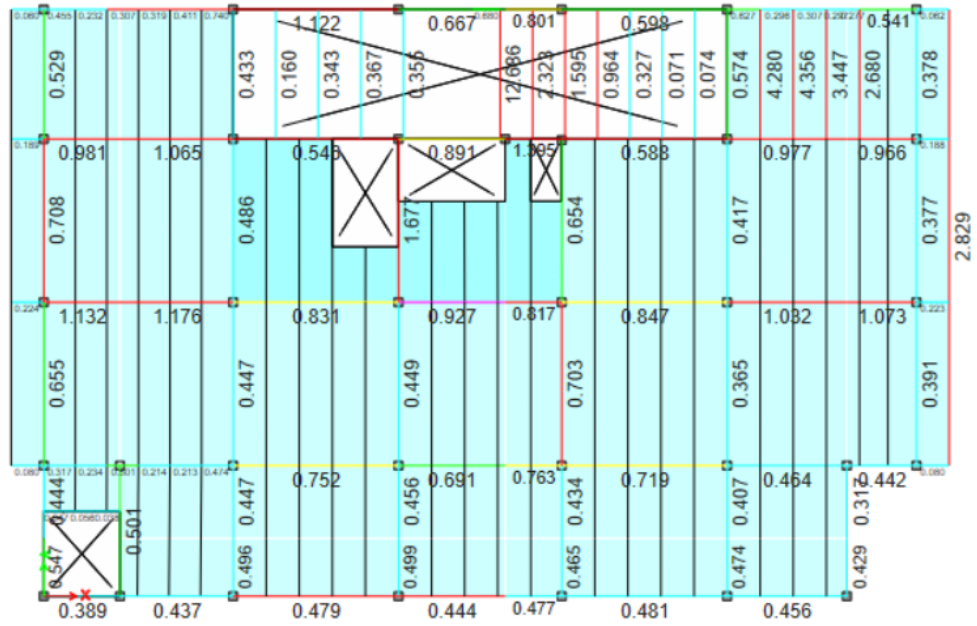
**Item Description**  
Deflection limitation for total load. Inputting 240 means that the limit is L/240. Inputting zero is special, since it means no check has to be made for this item.

**Explanation of Color Coding for Values**  
**Blue:** Default Value  
**Black:** Not a Default Value  
**Red:** Value that has changed during the current session

Set To Default Values: All Items, Selected Items  
 Reset To Previous Values: All Items, Selected Items  
 OK, Cancel

**Fuente:** Elaboración autónoma,2022.

**Figura 17. Diseño demanda capacidad**

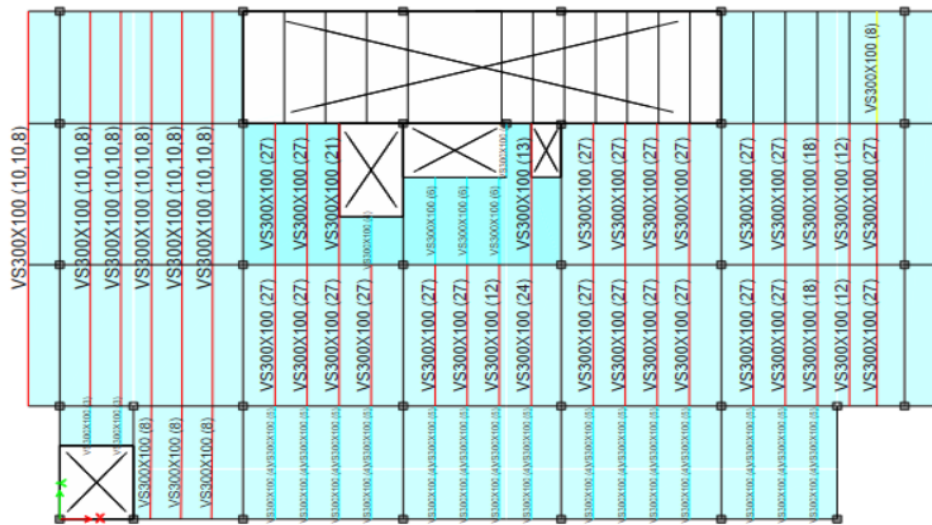


**Fuente:** Elaboración autónoma,2022.

Ciertas vigas superan el radio de tolerancia aceptable de demanda capacidad, el cual deberá ser inferior a uno

6. Diseño de las vigas secundarias y losa deck

**Figura 18. Diseño demanda capacidad**



**Fuente:** Elaboración autónoma,2022.

El diseño necesario de conectores de corte dados para la losa deck es sobre elevado ya que el espesor de la placa es insuficiente en ciertas secciones. Por lo que se debería haber diseñado de otra manera. Las vigas secundarias por su parte actúan como un sistema colaborante con los conectores de corte y en ciertos casos dado la longitud mínima de espaciamiento resulta insuficiente.

**Figura 19. Diseño por capacidad en losa deck y vigas secundarias**

	Actual	Allowable	Ratio
<b>Shear Studs Distribution</b>	<b>29</b>	<b>27</b>	<b>1.074</b>
Pre-composite Defl. (m)	0.01562	No Limit	N/A
Post-composite Defl. (m)	0.01551	0.03125	0.496
Live Load Defl. (m)	0.00854	0.02083	0.410
Total Defl. (m)	0.03113	0.03125	0.996
<b>Walking Acceleration ap/g</b>	<b>0.005408</b>	<b>0.005</b>	<b>1.082</b>

Temporary      Show Details

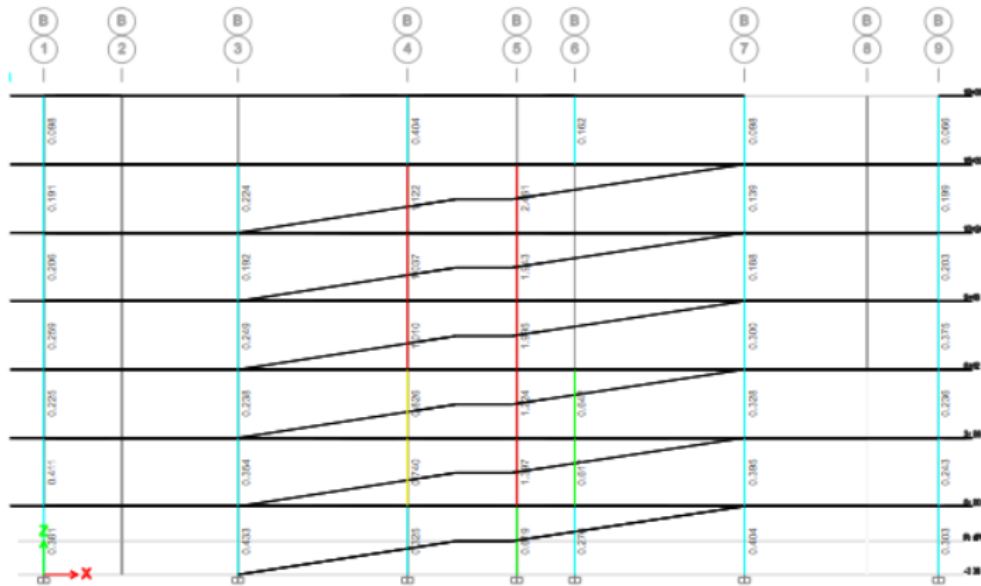
Combos...      Diagrams...      Report...

**Fuente:** Elaboración autónoma, 2022.

## 7. Diseño de columnas compuestas

En la mayoría de ejes se tiene un diseño de columnas adecuado según los parámetros de AISC 341-16. Sin embargo, en el eje B4 y B5. Las columnas sobrepasan el radio de demanda capacidad.

**Figura 20. Diseño por capacidad de columnas compuestas**



**Fuente:** Elaboración autónoma,2022.

Debido al primer análisis lineal en el que se visualiza que no se cumple con lo dispuesto por la NEC SE DS, AISC 360; lo que se procederá hacer es a realizar un **análisis no lineal estático** donde se procederá a evaluar el desempeño estructural según lo dispuesto por la NEC SE DS 15, para una estructura esencial con 2500 años y 475 años.

### 4.3 ANÁLISIS NO LINEAL ESTÁTICO (PUSHOVER)

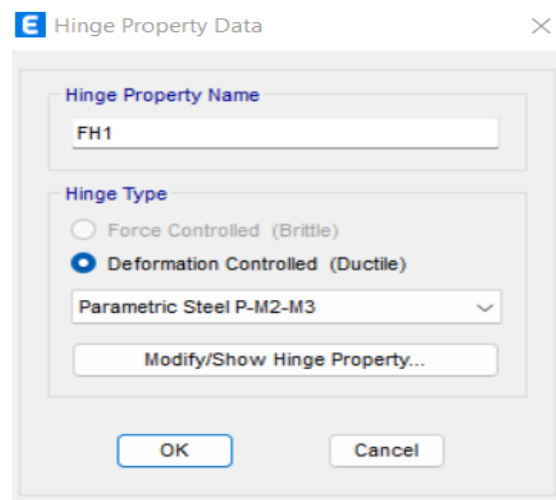
Se parte de una simplificación de la estructura eliminando elementos estructurales secundarios. Se describe el proceso de un análisis no lineal estático a continuación:

1. Eliminar elementos estructurales secundarios (Muros, Rampa Escaleras).
2. Crear un caso de carga gravitacional no lineal estático.
3. Crear un caso de carga no lineal en dirección X con aplicación de una fuerza lateral entre el 4-6% de la altura total de la estructura considerando múltiples pasos.
4. Crear un caso de carga no lineal en dirección Y con aplicación de una fuerza lateral entre el 4-6% de la altura total de la estructura considerando múltiples pasos.

5. Asignar rótulas plásticas según el tipo de elemento estructural, sus límites de tolerancia según los distintos niveles de desempeño: IO, LS, CP. Dichos niveles están en columnas y vigas de hormigón, y vigas de acero ya preestablecidos por el ASCE 7-16.
6. Asignar rotulas plásticas paramétricas para las columnas compuestas ya que para estas no existen tablas pre establecidas.
7. Ingresar el espectro con el cual se evaluará el nivel de desempeño.
8. Correr todas las cargas lineales.
9. Correr las cargas no lineales.
10. Realizar una metodología para la evaluación del desempeño estructural.
11. Determinar puntos y niveles de desempeño y evaluar el comportamiento de la estructura.

## COLUMNAS

**Figura 21. Definición de rotula paramétrica para columnas compuestas**



**Fuente:** Elaboración autónoma,2022.

**Figura 22. Porcentaje de posición de rotulas plásticas en columnas compuestas**

Hinge Property	Location Type	Relative Distance	Distance from End m
FH1Steel	Relative to clear length	0.9	
FH1Steel	Relative to clear length	0.1	
FH1Steel	Relative to clear length	0.9	

**Fuente:** Elaboración autónoma,2022.

**Figura 23. Definición de rotula paramétrica para vigas de acero**

Auto Hinge Type: From Tables In ASCE 41-17

Select a Hinge Table: Table 9-7.1 (Steel Beams - Flexure)

Degree of Freedom:  M2,  M3

Hysteresis Type: Isotropic

Deformation Controlled Hinge Load Carrying Capacity:  Drops Load After Point E,  Is Extrapolated After Point E

**Fuente:** Elaboración autónoma,2022.

**Figura 24. Porcentaje de posición de rotulas plásticas en vigas de acero**

**E** Frame Assignment - Hinges

Frame Hinge Assignment Data

Hinge Property	Location Type	Relative Distance	Distance from End m
Auto	Relative to clear length	0.95	
Auto M3	Relative to clear length	0.05	
Auto M3	Relative to clear length	0.95	

Buttons: Add, Modify, Delete

Auto Hinge Assignment Data

Type: From Tables In ASCE 41-17  
 Table: Table 9-7.1 (Steel Beams - Flexure)  
 DOF: M3, Isotropic hysteresis

Modify/Show Auto Hinge Assignment Data...

Buttons: OK, Cancel

**Fuente:** Elaboración autónoma,2022.

**Figura 25. Definición de carga gravitacional no lineal**

General

Load Case Name: GRAVITACIONAL [Design...]

Load Case Type: Nonlinear Static [Notes...]

Mass Source: Previous

Analysis Model: Default

Initial Conditions

Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State

Continue from State at End of Nonlinear Case (Loads at End of Case ARE Included)

Nonlinear Case: [ ]

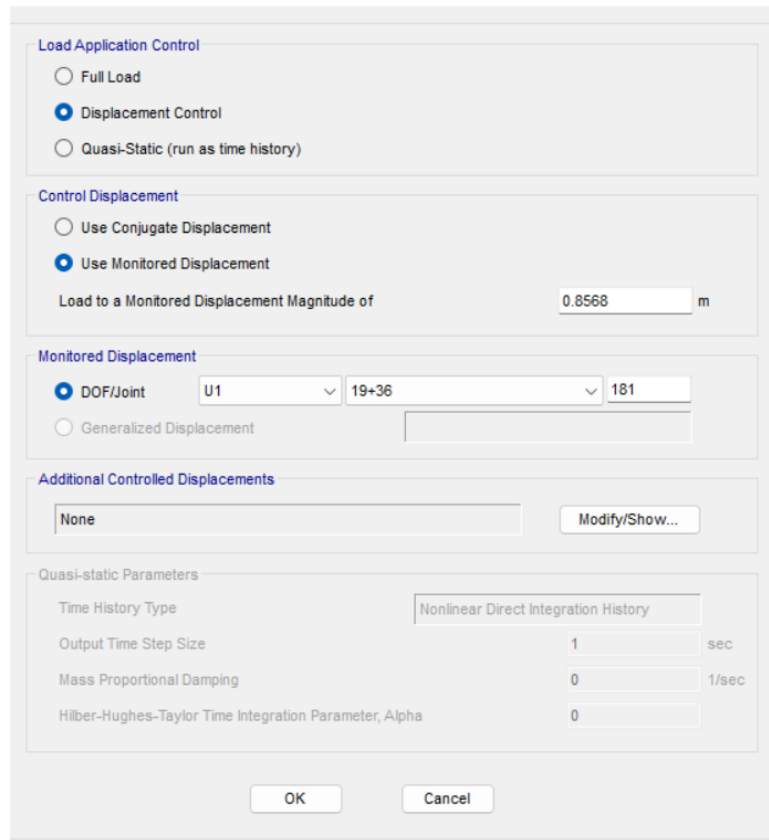
Loads Applied

Load Type	Load Name	Scale Factor
Load Pattern	Dead	1
Load Pattern	ACM	1
Load Pattern	Live	0.25

Buttons: Add, Delete

**Fuente:** Elaboración autónoma,2022.

**Figura 26. Desplazamiento lateral de la estructura en análisis**



**Fuente:** Elaboración autónoma,2022.

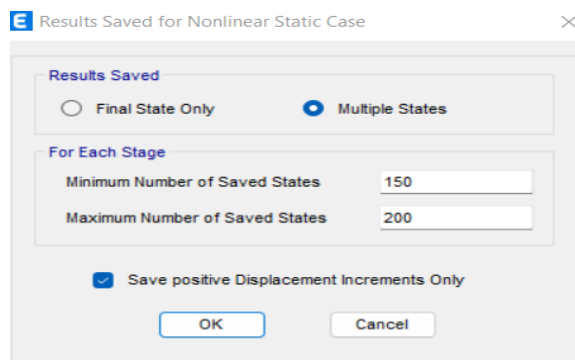
*Desplazamiento de la estructura = 0,04 \*Altura total de la estructura*

*Desplazamiento de la estructura = 0,04 \*21.42*

**Ec. 20**

*Desplazamiento de la estructura = 0,8568*

**Figura 27. Múltiples pasos en la aplicación de carga lateral**



**Fuente:** Elaboración autónoma,2022.



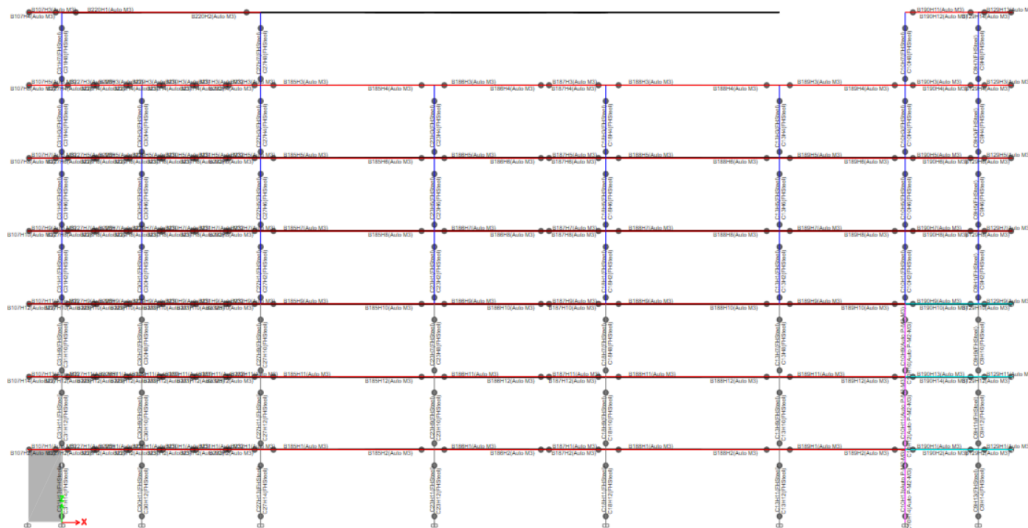
**Figura 28. Definición de parámetros no lineales**

Nonlinear Parameters

Solution Control	
Solution Scheme	Iterative Event-to-Event
Maximum Total Steps (Static Only)	300
Maximum Null Steps (Static Only)	300
Maximum Constant-Stiffness Iterations	10
Maximum Newton-Raphson Iterations	40
Iteration Convergence Tolerance (Relative)	0.0001
Event Lumping Tolerance (Relative)	0.01
Maximum Events per Step	24

**Fuente:** Elaboración autónoma,2022.

**Figura 29. Articulaciones plásticas definidas en vigas, columnas de hormigón y acero**



**Fuente:** Elaboración autónoma,2022.

Para el análisis no lineal se ingresará el espectro elástico de la figura N.4. De la presente investigación para un período de retorno de 475 años.

### Figura 30. Nivel de desempeño a evaluar en estructuras esenciales

#### 4.3.4. Objetivos y niveles de desempeño sísmico

##### a. Estructuras de ocupación especial

Se deberá verificar un correcto desempeño sísmico en el rango inelástico para:

- No-colapso (nivel de prevención de colapso) ante un terremoto de 2500 años de periodo de retorno (probabilidad anual de excedencia 0.00004).

##### b. Estructuras esenciales

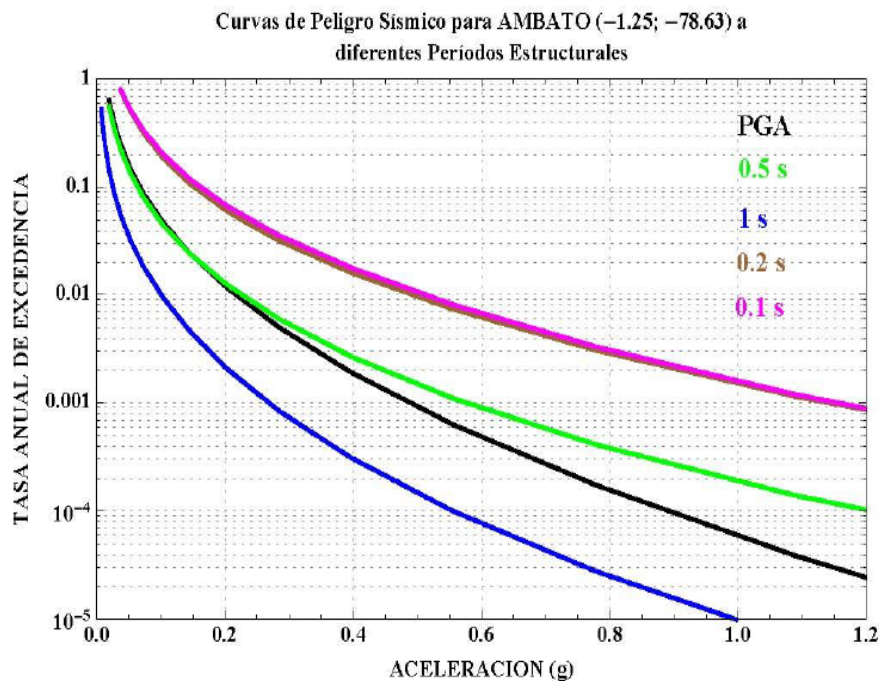
Para las estructuras esenciales, se deberá verificar un correcto desempeño sísmico en el rango inelástico para:

- Limitación de daño (nivel de seguridad de vida) ante un terremoto de 475 años de periodo de retorno (probabilidad anual de excedencia 0.00211)
- No-colapso (nivel de prevención de colapso) ante un terremoto de 2500 años de periodo de retorno (probabilidad anual de excedencia 0.00004).

**Fuente:** NEC SE DS

Para estructuras de ocupación especial se determinará un espectro con periodo de retorno de 2500 años determinado según los parámetros de la NEC SE DS.

### Figura 31. Curvas de peligro sísmico del cantón Ambato



**Fuente:** NEC-SE-DS, 2015, pág. 112. [18]

**Tabla 14. Períodos de retorno y tasa anual de excedencia**

	N. Línea	Tasa Anual de excedencia	Período de retorno AÑOS
<b>0,1-1</b>	9	1.00	1.0
	8	0.89	1.1
	7	0.78	1.3
	6	0.67	1.5
	5	0.56	1.8
	4	0.44	2.2
	3	0.33	3.0
	2	0.22	4.5
	1	0.100	10.0
<b>0,01-0,1</b>	9	0.090	11.1
	8	0.080	12.5
	7	0.070	14.3
	6	0.060	16.7
	5	0.050	20.0
	4	0.040	25.0
	3	0.030	33.3
	2	0.020	50.0
	1	0.010	100.0
<b>0,001-0,01</b>	9	0.009	111.1
	8	0.008	125.0
	7	0.007	142.9
	6	0.006	166.7
	5	0.005	200.0
	4	0.004	250.0
	3	0.003	333.3
	2	0.002	500.0
	1	0.001	1000.0
<b>10<sup>-4</sup>-0,001</b>	9	0.0009	1111.1
	8	0.0008	1250.0
	7	0.0007	1428.6
	6	0.0006	1666.7
	5	0.0005	2000.0
	4	0.0004	2500.0
	3	0.0003	3333.3
	2	0.0002	5000.0
	1	0.0001	10000.0

**Fuente:** Elaboración autónoma,2022.

**Tabla N. 20 Parámetros obtenidos de la tasa anual de excedencia**

T = 2500	
pga	0.66
Sa (0,1s)	1.4

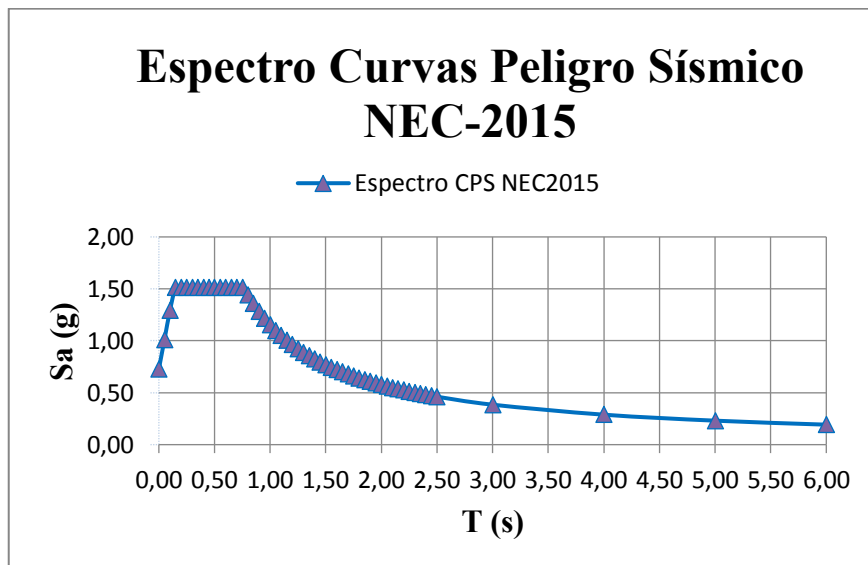
**Fuente:** Elaboración autónoma,2022.

**Tabla 15. Parámetros para la obtención del espectro con T=2500 años**

ESPECTRO DE RESPUESTA CON CURVAS DE PELIGRO SÍSMICO DIFERENTES 475 AÑOS NEC 2015		Ing. Mg. Andrés Abril Camino		
	DATOS A INGRESAR			
	DATOS CALCULADOS			
	DATOS TABLAS Fa, Fd, Fs			
			Capitulo	Pagina
Factor de importancia	I=	1.000	4.1	39
PGA peak ground acceleration factor Z	PGA - Z=	0.650	3.1.2	29
Aceleración espectral de 0,1s	Sa(0,1 seg) =	1.350	10.4	110-121
Coef. Amplificación del suelo en la zona de periodo corto	Fa=	1.120	3.2.2 a)	31
elastico de respuesta de desplazamientos para diseno en roca	Fd=	1.110	3.2.2 b)	31
Comportamiento no lineal de los suelos	Fs=	1.400	3.2.2 c)	32
Factor usado en el espectro de diseño elástico	r=	1.000	3.3.1	34
relación de amplificación espectral	$\eta$ =	2.077	3.3.1	34
Altura de la edificación en metros	hn=	29.000		
Tipo Estructura	De Acero sin arriostamientos			
Coeficiente que depende del tipo de edificio	Ct=	0.072	6.3.3	62
	$\alpha$ =	0.800	6.3.3	62
Periodo de Vibracion Metodo 1	Ta CODIGO=	1.065	6.3.3 a)	62
Periodo de Vibracion Metodo 2	1.3 * Ta Codigo	1.384	6.3.3 b)	63
Periodo Límite de Vibración	To=	0.139	3.3	35
Periodo de Vibración	Ta=	1.065	6.3.3 a)	62
Periodo límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño	Tc=	0.763	3.3.1	34
Coeficiente relacionado con el periodode vibración de la estructura T	k=	1.282	6.3.5	67
Aceleracion Espectral	Sa(Ta)=	1.084	3.3.1	34
Coeficiente de Reduccion de Respuesta Estructural	R=	1	6.3.4 b)	64-65
Irregularidad en planta	$\Phi_P$ =	1.000	5.2	48-52
Irregularidad en elevacion	$\Phi_E$ =	1.000	5.2	48-52
	V=	1.084	6.3.2	61

Fuente: Elaboración autónoma,2022.

**Figura 32. Espectro con período de retorno de 2500 años para el cantón Ambato**



Fuente: Elaboración autónoma,2022.

**Tabla 16. Período y Aceleración espectral de la curva de peligro sísmico para suelo tipo D en la ciudad de Ambato.**

ESPECTRO n AÑOS ANÁLISIS DINÁMICO		
T	Sa	CPS
seg.	(g)	(g)
0.000	0.728	0.728
0.050	1.011	1.011
0.100	1.293	1.293
0.150	1.512	1.512
0.200	1.512	1.512
0.250	1.512	1.512
0.300	1.512	1.512
0.350	1.512	1.512
0.400	1.512	1.512
0.450	1.512	1.512
0.500	1.512	1.512
0.550	1.512	1.512
0.600	1.512	1.512
0.650	1.512	1.512
0.700	1.512	1.512
0.750	1.512	1.512
0.800	1.442	1.442
0.850	1.357	1.357
0.900	1.282	1.282
0.950	1.215	1.215
1.000	1.154	1.154
1.050	1.099	1.099
1.100	1.049	1.049
1.150	1.003	1.003
1.200	0.962	0.962
1.250	0.923	0.923
1.300	0.888	0.888
1.350	0.855	0.855
1.400	0.824	0.824
1.450	0.796	0.796
1.500	0.769	0.769
1.550	0.744	0.744
1.600	0.721	0.721
1.650	0.699	0.699
1.700	0.679	0.679
1.750	0.659	0.659
1.800	0.641	0.641
1.850	0.624	0.624
1.900	0.607	0.607
1.950	0.592	0.592
2.000	0.577	0.577
2.050	0.563	0.563
2.100	0.549	0.549
2.150	0.537	0.537
2.200	0.524	0.524
2.250	0.513	0.513
2.300	0.502	0.502
2.350	0.491	0.491
2.400	0.481	0.481
2.450	0.471	0.471
2.500	0.462	0.462
3.000	0.385	0.385
4.000	0.288	0.288
5.000	0.231	0.231
6.000	0.192	0.192

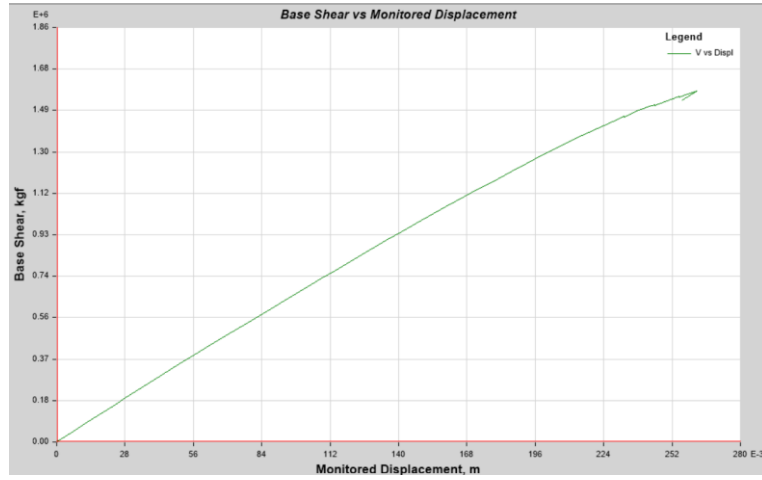
**Fuente:** Elaboración autónoma,2022.

Determinación del espectro de diseño a partir de las curvas de peligro:

- Se selecciona la curva de peligro sísmico de la NEC SE DS 2015, según la ciudad del asentamiento del proyecto.
- En la 4 línea del eje Y (Tasa Anual de Excedencia de  $10^{-4}$  y 0.001 y se traza una línea perpendicular a este eje, la cual interceptará entre la línea negra del PGA y la línea rosada del período con 0.1 seg.
- Se trazará una línea perpendicular a la línea trazada que intercepta con el eje de las X, Se toma dichos valores
- El valor del PGA es igual al valor de Z y con el en 0.1 , se determinará el Sa. El valor Z se interpolará según el tipo de suelo.
- La interpolación recalcula los factores de Fa, Fd, y Fs.
- Con estos nuevos factores se calcula los nuevos valores tal cual la NEC SE DS para el espectro implícito de diseño.

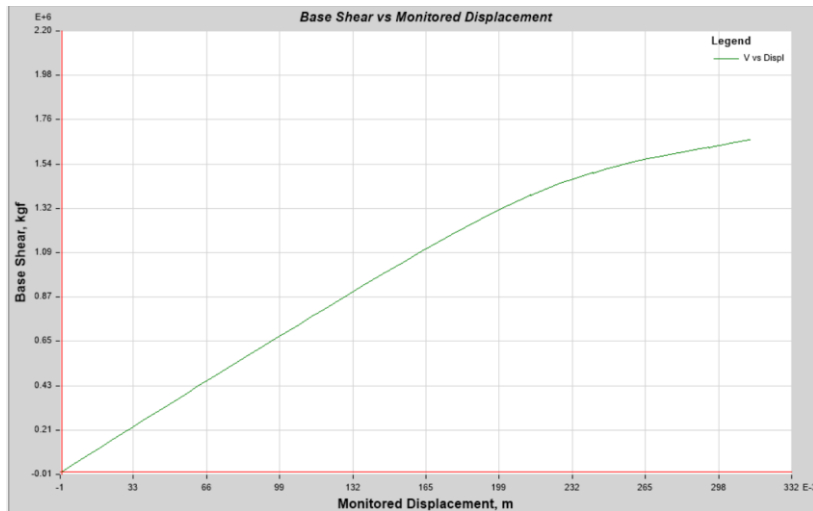
Se mostrará las curvas fuerza vs desplazamiento del cortante aplicado

**Figura 33. Curva fuerza vs desplazamiento en dirección X**



**Fuente:** Elaboración autónoma,2022.

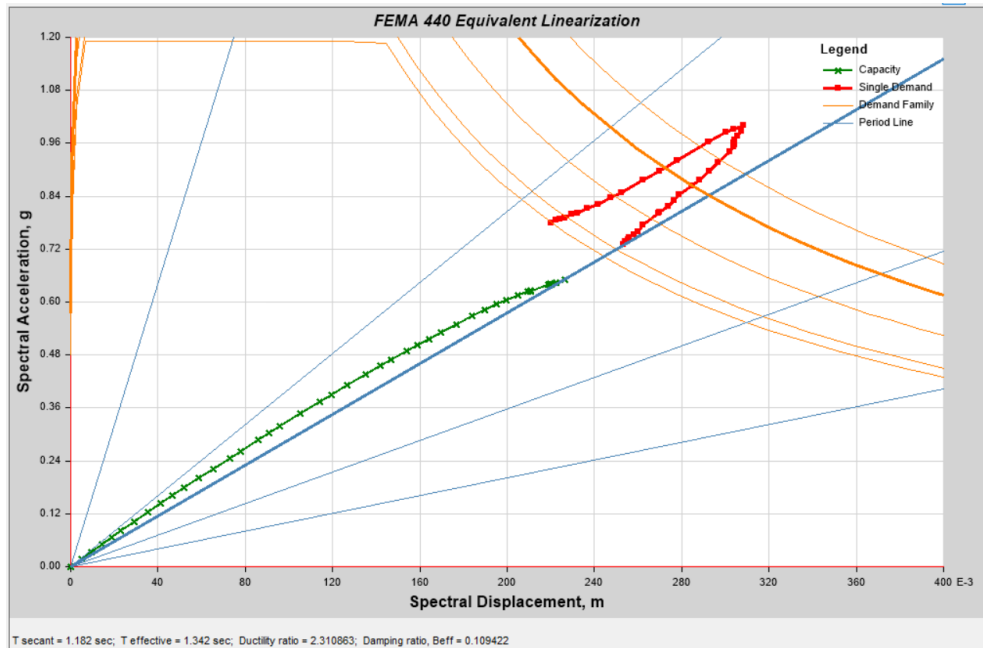
**Figura 34. Curva fuerza vs desplazamiento en dirección Y**



**Fuente:** Elaboración autónoma,2022.

A partir de estas curvas se determinará el desempeño estructural a partir de la metodología del FEMA 440, con linealización equivalente Push X 475 años.

**Figura 35. Desempeño estructural para T=475 en X**

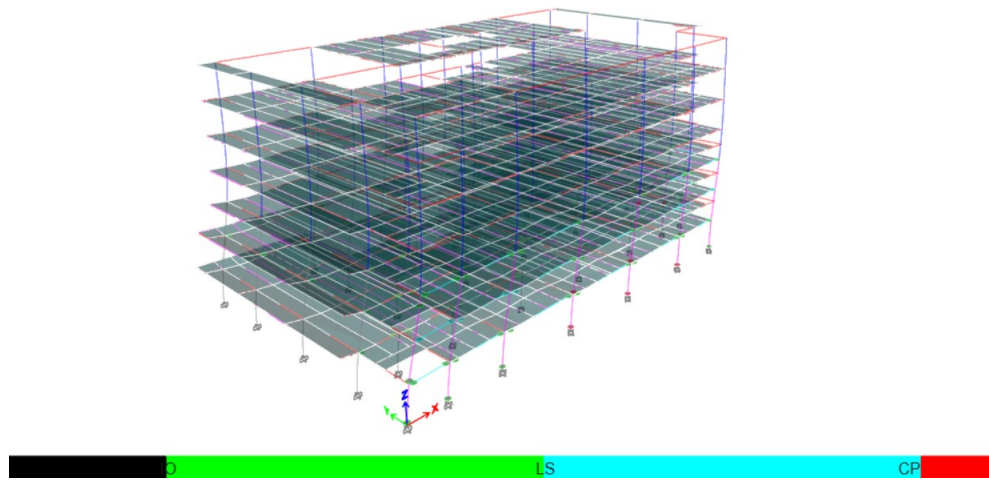


**Fuente:** Elaboración autónoma,2022.

No se encuentra punto de desempeño la capacidad de la estructura es ser sometida a una fuerza de empuje en dirección X, colapsa previamente a la demanda del espectro con período de retorno por lo que la estructura en el estado actual no es capaz de disipar energía sísmica para 475 años, por lo que tampoco será para 2500 años en dirección X, esto indica que la estructura requiere un reforzamiento estructural.

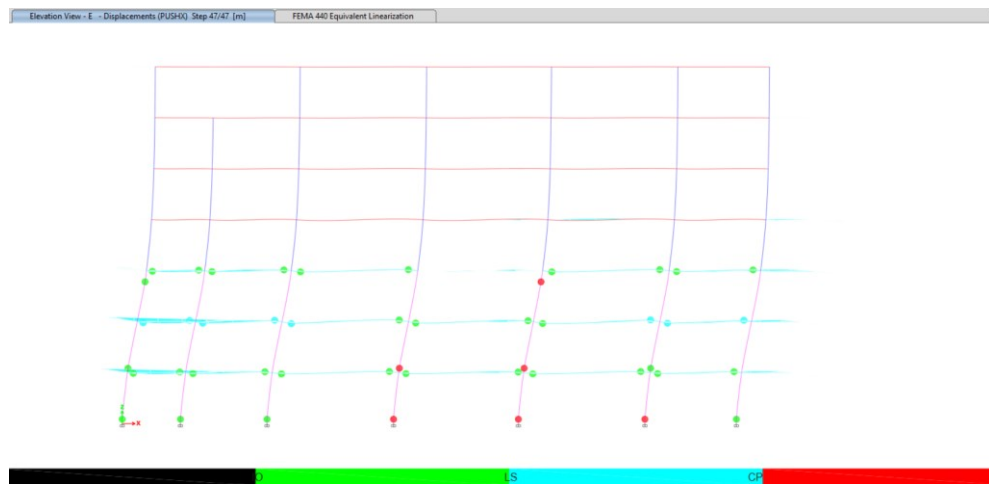


**Figura 36. Nivel del último paso que alcanza el NSP X T=475 Push X. Vista 3D**



**Fuente:** Elaboración autónoma,2022.

**Figura 37. Vista en elevación de desempeño estructural más crítico paso 22 Push X T=475**

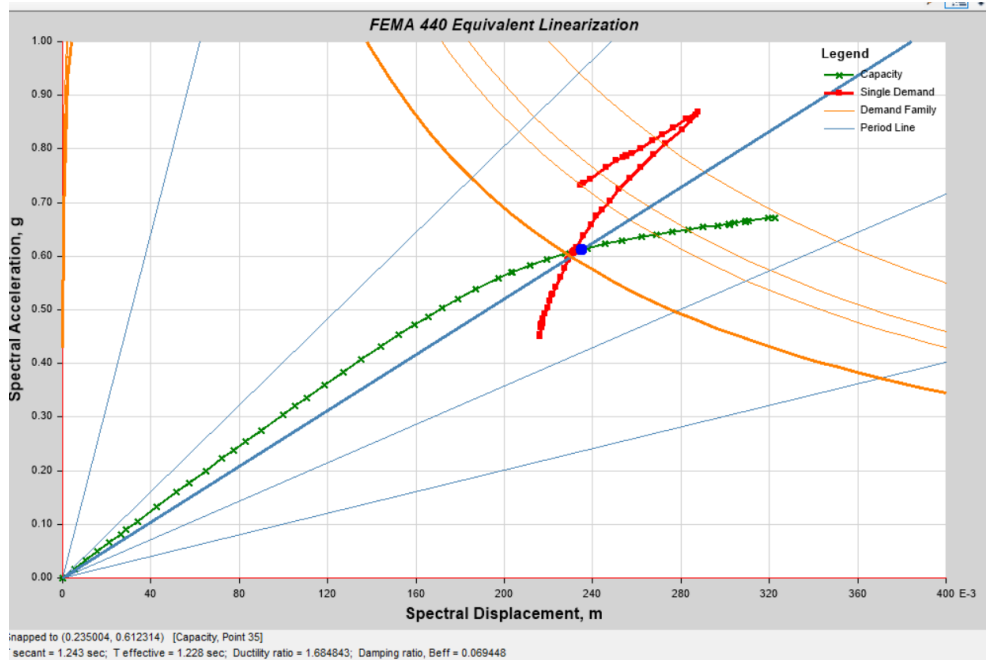


**Fuente:** Elaboración autónoma,2022.

La estructura se encuentra en próxima al colapso por lo que ya incumple con lo establecido en la NEC SE DS.

Push Y 475 años

**Figura 38. Desempeño estructural para T=475 en Y**



**Fuente:** Elaboración autónoma,2022.

**Tabla 17. Datos del desempeño estructural para 475 años en Y**

Performance Point	
Point Found	Yes
Shear (kgf)	1476195.63
Displacement (m)	0.236215
Sa (g)	0.608295
Sd (m)	0.23133
T secant (sec)	1.237
T effective (sec)	1.229
Ductility Ratio	1.688509
Damping Ratio, Beff	0.0696
Modification Factor, M	0.986524

**Fuente:** Elaboración autónoma,2022.

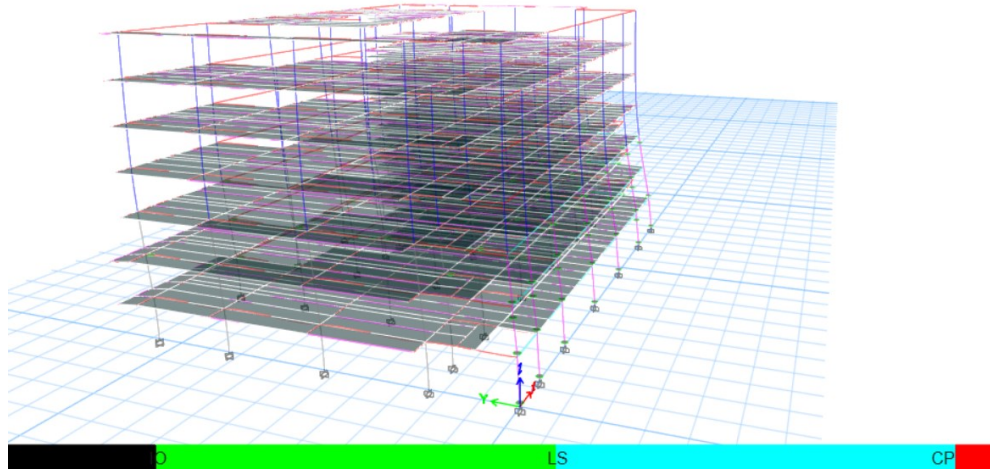
El punto de desempeño se encuentra en el paso 35.

En la tabla 18 se visualiza que se tiene un desplazamiento de 0,23 metros con una aceleración espectral de 0.6 (g), un desplazamiento espectral de 0.23 metros un período secante de 1.23(sec) un período efectivo de 1.23 (sec) un radio de ductilidad de 1.68, un amortiguamiento efectivo de la estructura de 0.061 y un factor de modificación de

1. En corte de la estructura en el punto de desempeño encontrado Producido es de 1476.2 (Tonf)

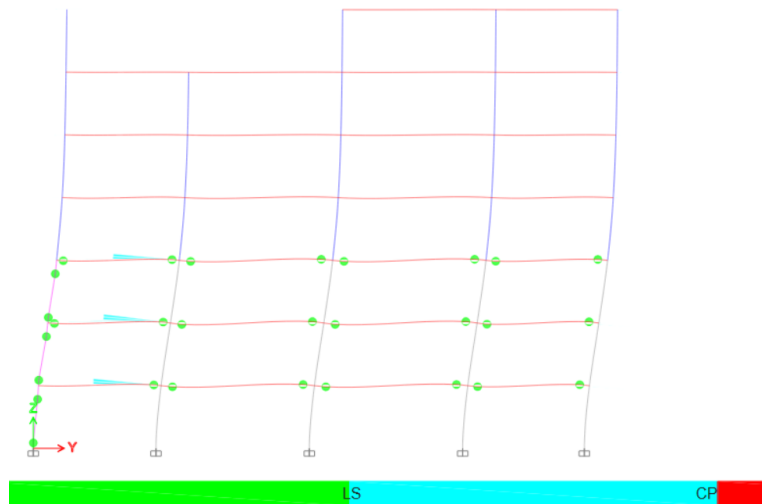
### PUSH OVER Y

**Figura 39. Nivel de desempeño en el paso 35 para T=475 Push Y. Vista 3D**



**Fuente:** Elaboración autónoma,2022.

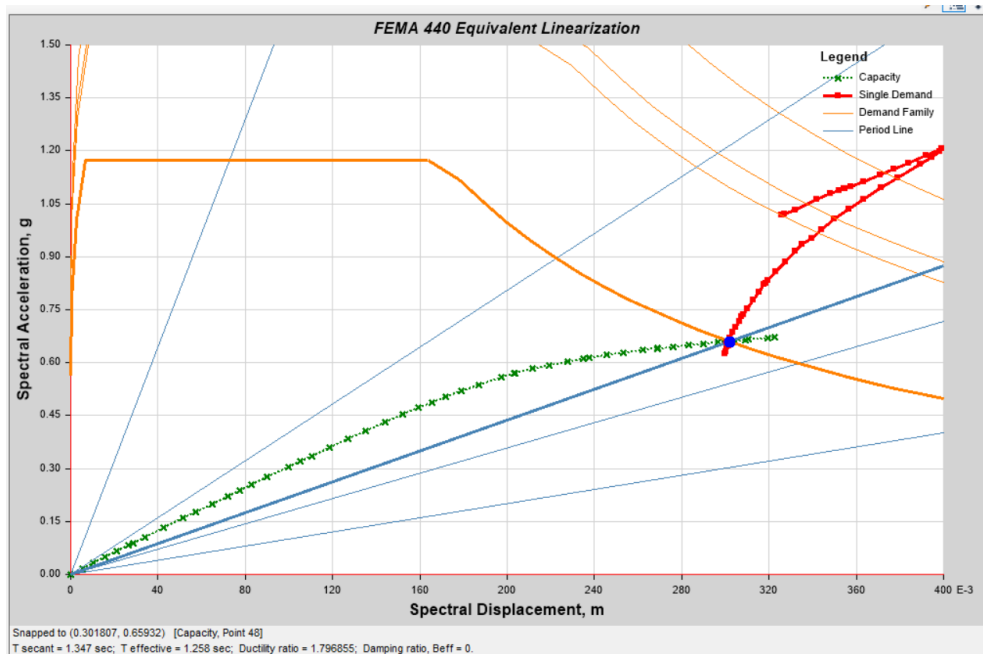
**Figura 40. Vista en elevación de desempeño estructural más crítico paso 36  
PushY T=475**



**Fuente:** Elaboración autónoma,2022.

Se observa ya la formación de rótulas plásticas que incursionan en próximo al colapso PUSH Y 2500 AÑOS

**Figura 41. Desempeño estructural para T=2500 en Y**



**Fuente:** Elaboración autónoma,2022.

**Tabla 18. Datos del desempeño estructural para 2500 años en Y**

Performance Point	
Point Found	Yes
Shear (kgf)	1620001.07
Displacement (m)	0.29365
Sa (g)	0.65976
Sd (m)	0.301188
T secant (sec)	1.356
T effective (sec)	1.261
Ductility Ratio	1.809902
Damping Ratio, Beff	0.0763
Modification Factor, M	0.865681

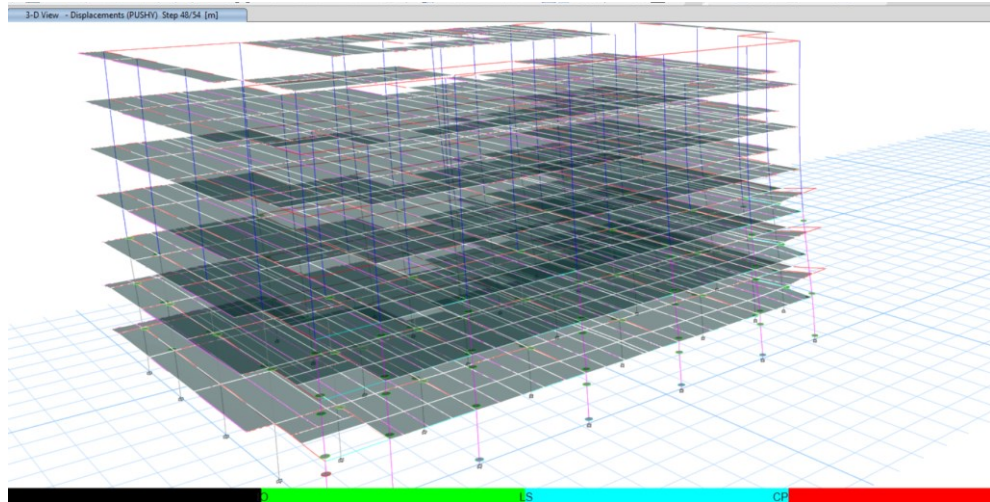
**Fuente:** Elaboración autónoma,2022.

El punto de desempeño se encuentra en el paso 48.

En la tabla 25 se visualiza que se tiene un desplazamiento de 0,28 metros con una aceleración espectral de 1.9 (g), un desplazamiento espectral de 0.19 metros un período secante de 0,63 (sec) un período efectivo de 0,63 (sec) un radio de ductilidad de 1.760,

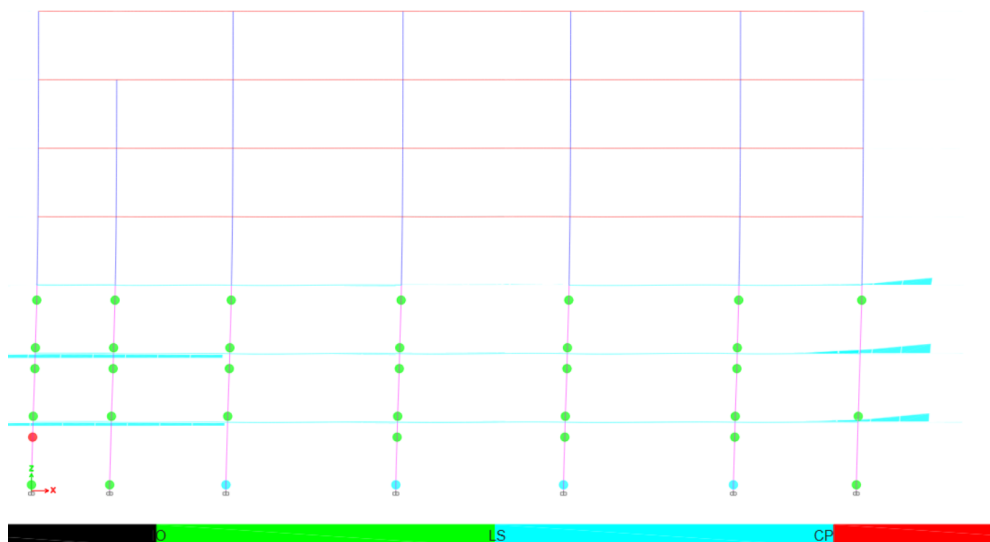
un amortiguamiento efectivo de la estructura de 0.07 y un factor de modificación de 0.96. En cortante de la estructura en el punto de desempeño encontrado Producido es de 6499,75 (Tonf)

**Figura 42. Nivel de desempeño en el paso 43 para T=2500 Push Y. Vista 3D**



**Fuente:** Elaboración autónoma,2022.

**Figura 43. Vista en elevación de desempeño estructural más crítico paso 48 Push Y T=2500**



**Fuente:** Elaboración autónoma,2022.

Se observa mayor número de rótulas plásticas en toda la estructura y con rótulas próximas al colapso la estructura no cumple con lo establecido en la NEC SE DS 2015.

## **4.4 DISEÑO AISLADORES DE BASE**

### **4.4.1 Método de reforzamiento estructural propuesto**

Debido a la innovación estructural planteada, diariamente se ha establecido la necesidad de establecer un método de reforzamiento conforme a la innovación estructural presente por lo que realizando una descarga de las columnas y un proceso de apuntalamiento se ha previsto colocar aisladores de base elastómericos con núcleo de plomo desde el nivel 0+00, es decir dejando la estructura del subsuelo libre. Pues las cargas sísmicas intervienen netamente desde el nivel sobre el suelo. Mientras que debajo de él lo que producen es desplazamientos y presiones activas y pasivas.

Procedimiento de diseño de los aisladores de base elastómericos:

- Diseñar la estructura sin aisladores de base.
- Obtener las reacciones en el nivel a diseñar para una carga de diseño determinada
- Definir nuevos espectros de diseño DBE y mayorado MBE.
- Definir el tipo de aisladores a emplear.
- Diseñar los aisladores según el tipo de aislador necesario.
- Definir el amortiguamiento a emplear.
- Verificar la compatibilidad de las propiedades de diseño del aislador según una ficha técnica o catálogo de aisladores.
- Realizar un análisis lineal considerando el espectro DBE; tiempo historia; donde se chequeará para los parámetros aisladores de base.
- Comprobar el desempeño estructural mediante un análisis no lineal.

**Tabla 19. Factores de reducción espectral en aisladores de base**

AMORTIGUAMIENTO EQUIVALENTE $\xi_{eq}(\%)$	FACTOR DE REDUCCIÓN ESPECTRAL $R_d$
$\leq 2$	1.25
5	1.00
10	0.83
20	0.66
30	0.59
40	0.52
$\geq 50$	0.50

Fuente: FEMA 450

**Tabla 20. Parámetros de diseño para la obtención de los espectros de diseño y máximos**

Tipo de Suelo	D			
Z=	0.4	(Factor de Zonificación)		
Fa=	1.2	(Factor de Sitio)		
Fd=	1.19	(Factor de Sitio)		
Fs=	1.28	(Factor de comportamiento inelástico del suelo)		
$\eta$ =	2.48	(Relación de amplificación espectral)		
T0=	0.13			
Tc=	0.70	$\phi_p =$	1	$V = \frac{I S_a}{R \phi_p \phi_E} W$
r=	1.5	$\phi_E =$	1	
l=	1	CS=	1.1904	Coficiente sísmico
R=	1	F.E.=	9.81	Factor de escala

Fuente: Autor

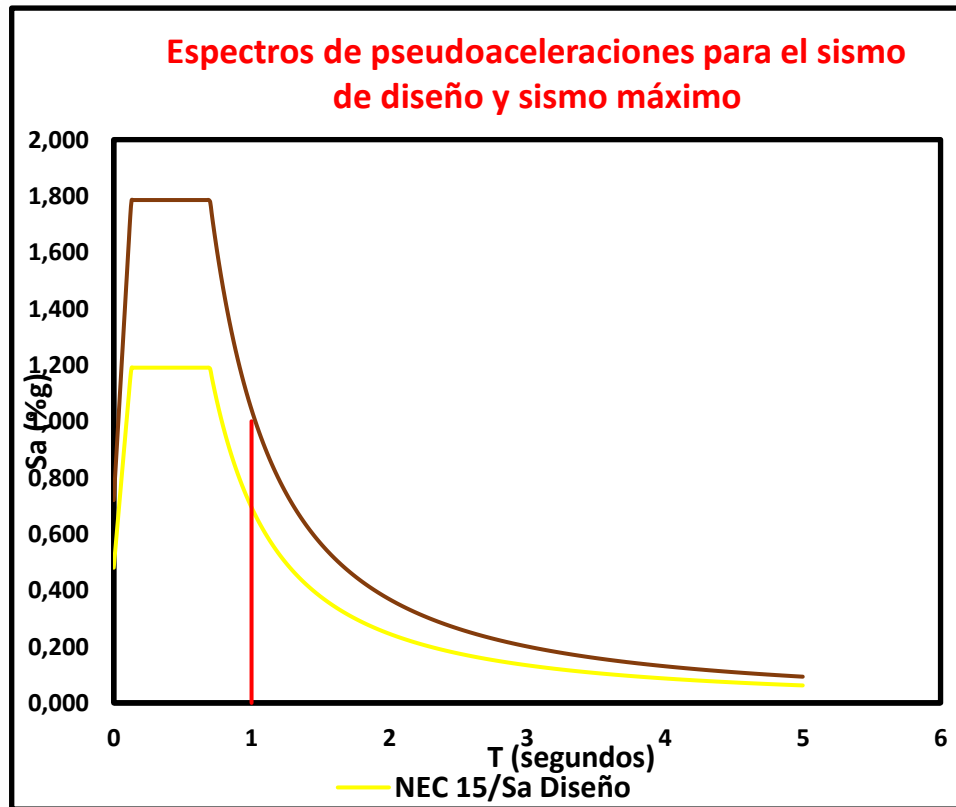
Se han tomado los datos de diseño planteados por el calculista, el factor de reducción espectral R para aisladores de base es igual a 1. Para el cálculo de derivas inelásticas será el establecido un R en la Tabla N. 26.

**Tabla 21. Valores de la tabla eje X T (seg) y Sa (g)**

T (seg)	DBE Sa (g)	MCE Sa (g)	T (seg)	DBE Sa (g)	MCE Sa (g)	T (seg)	DBE Sa (g)	MCE Sa (g)	T (seg)	DBE Sa (g)	MCE Sa (g)	T (seg)	DBE Sa (g)	MCE Sa (g)
0	0.48	0.72	1.01	0.68409816	1.02614723	2.01	0.24367243	0.36550864	3.01	0.1329691	0.19945365	4.01	0.08647368	0.12971051
0.01	0.53596639	0.80394958	1.02	0.67406259	1.01109388	2.02	0.24186522	0.36279783	3.02	0.13230921	0.19846881	4.02	0.08615121	0.12922682
0.02	0.59193277	0.88789916	1.03	0.66427001	0.99640501	2.03	0.24008024	0.36012037	3.03	0.13165475	0.19748213	4.03	0.08583075	0.12874613
0.03	0.64789916	0.97184874	1.04	0.65471226	0.98206838	2.04	0.23831711	0.35747567	3.04	0.13100567	0.19658051	4.04	0.08551227	0.12826864
0.04	0.70386555	1.05579832	1.05	0.64538153	0.96807229	2.05	0.23657546	0.35486319	3.05	0.13036191	0.19554287	4.05	0.08519575	0.12779363
0.05	0.75983193	1.1397479	1.06	0.63627034	0.95440552	2.06	0.23485491	0.35228237	3.06	0.12972341	0.19455811	4.06	0.08488118	0.12732178
0.06	0.81579832	1.22369748	1.07	0.62737154	0.94105731	2.07	0.23315512	0.34973268	3.07	0.12909009	0.19363514	4.07	0.08456855	0.12685282
0.07	0.87176471	1.30764706	1.08	0.61867825	0.92801737	2.08	0.23147574	0.34721361	3.08	0.12846192	0.19269288	4.08	0.08425782	0.12638673
0.08	0.92773109	1.39159664	1.09	0.61018388	0.91527583	2.09	0.22981642	0.34472463	3.09	0.12783882	0.19175823	4.09	0.083949	0.1259235
0.09	0.98369748	1.47554622	1.1	0.60188213	0.9028232	2.1	0.22817683	0.34226524	3.1	0.12722075	0.19083112	4.1	0.08364206	0.12546308
0.1	1.03966387	1.5594958	1.11	0.59376694	0.89065041	2.11	0.22655664	0.33983496	3.11	0.12660764	0.18991145	4.11	0.08333698	0.12500547
0.11	1.09563025	1.64344538	1.12	0.58583248	0.87874872	2.12	0.22495554	0.33743331	3.12	0.12599443	0.18899915	4.12	0.08303375	0.12455063
0.12	1.15159664	1.72739496	1.13	0.57807317	0.86710976	2.13	0.2233732	0.33505981	3.13	0.12539608	0.18809413	4.13	0.08273236	0.12409854
0.13	1.1904	1.7856	1.14	0.57048365	0.85572548	2.14	0.22180934	0.332714	3.14	0.12479754	0.1871963	4.14	0.08243278	0.12364918
0.14	1.1904	1.7856	1.15	0.56305876	0.84458814	2.15	0.22026363	0.33039544	3.15	0.12420373	0.1863056	4.15	0.08213501	0.12320252
0.15	1.1904	1.7856	1.16	0.55579354	0.83369031	2.16	0.21873579	0.32810369	3.16	0.12361463	0.18542194	4.16	0.08183903	0.12275855
0.16	1.1904	1.7856	1.17	0.54868323	0.82302485	2.17	0.21722554	0.32583831	3.17	0.12303016	0.18454524	4.17	0.08154247	0.12231724
0.17	1.1904	1.7856	1.18	0.54172324	0.81258486	2.18	0.21573258	0.32359887	3.18	0.12245028	0.18367543	4.18	0.08125237	0.12187856
0.18	1.1904	1.7856	1.19	0.53490916	0.80236375	2.19	0.21425665	0.32138497	3.19	0.12187495	0.18281243	4.19	0.08096162	0.12144265
0.19	1.1904	1.7856	1.2	0.52823675	0.79235512	2.2	0.21279747	0.3191962	3.2	0.12130411	0.18195616	4.2	0.08067269	0.12100904
0.2	1.1904	1.7856	1.21	0.52170191	0.78255286	2.21	0.21135478	0.31703217	3.21	0.12073771	0.18110656	4.21	0.08038543	0.12057814
0.21	1.1904	1.7856	1.22	0.5153007	0.77295105	2.22	0.20992831	0.31489247	3.22	0.1201757	0.18026355	4.22	0.08009987	0.12014798
0.22	1.1904	1.7856	1.23	0.50902934	0.76354401	2.23	0.20851282	0.31277674	3.23	0.11961804	0.17942707	4.23	0.07981599	0.11972399
0.23	1.1904	1.7856	1.24	0.50288416	0.75432623	2.24	0.20712306	0.31068459	3.24	0.11906468	0.17859703	4.24	0.07953379	0.11930069
0.24	1.1904	1.7856	1.25	0.49686163	0.74529245	2.25	0.20574377	0.30861566	3.25	0.11851558	0.17777337	4.25	0.07925235	0.11887988
0.25	1.1904	1.7856	1.26	0.49095836	0.73643754	2.26	0.20437973	0.3065696	3.26	0.11797068	0.17695602	4.26	0.07897435	0.11846153
0.26	1.1904	1.7856	1.27	0.48517107	0.72775661	2.27	0.20303069	0.30454604	3.27	0.11742994	0.17614491	4.27	0.07869709	0.11804563
0.27	1.1904	1.7856	1.28	0.47949659	0.71924489	2.28	0.20169643	0.30254464	3.28	0.11689333	0.17533999	4.28	0.07842144	0.11763216
0.28	1.1904	1.7856	1.29	0.47393187	0.71089781	2.29	0.20037672	0.30056508	3.29	0.11636078	0.17454117	4.29	0.07814474	0.1172211
0.29	1.1904	1.7856	1.3	0.46847396	0.70271093	2.3	0.19907133	0.298607	3.3	0.11583227	0.17374841	4.3	0.07787495	0.11682423
0.3	1.1904	1.7856	1.31	0.46312	0.69468	2.31	0.19778006	0.29667009	3.31	0.11530775	0.17296162	4.31	0.07760408	0.11640613
0.31	1.1904	1.7856	1.32	0.45786725	0.68680088	2.32	0.19650269	0.29475404	3.32	0.11478717	0.17218076	4.32	0.07733478	0.11600217
0.32	1.1904	1.7856	1.33	0.45271305	0.67906958	2.33	0.19523901	0.29285852	3.33	0.1142705	0.17140575	4.33	0.07706703	0.11560055
0.33	1.1904	1.7856	1.34	0.44765484	0.67148226	2.34	0.19398882	0.29098322	3.34	0.11375769	0.17063654	4.34	0.07680083	0.11520124
0.34	1.1904	1.7856	1.35	0.44269012	0.66403518	2.35	0.19275191	0.28912786	3.35	0.11324871	0.16987307	4.35	0.07653615	0.11480422
0.35	1.1904	1.7856	1.36	0.43781649	0.65672474	2.36	0.19152809	0.28729213	3.36	0.11274351	0.16911527	4.36	0.07627299	0.11440948
0.36	1.1904	1.7856	1.37	0.43303164	0.64954746	2.37	0.19031717	0.28547575	3.37	0.11224206	0.16836309	4.37	0.07601133	0.11401669
0.37	1.1904	1.7856	1.38	0.42833331	0.64249997	2.38	0.18911895	0.28367842	3.38	0.11174431	0.16761647	4.38	0.07575116	0.11362675
0.38	1.1904	1.7856	1.39	0.42371933	0.635579	2.39	0.1879325	0.28189988	3.39	0.11125023	0.16687535	4.39	0.07549248	0.11323872
0.39	1.1904	1.7856	1.4	0.4191876	0.6287814	2.4	0.18675989	0.28013984	3.4	0.11075979	0.16613968	4.4	0.07523527	0.1128529
0.4	1.1904	1.7856	1.41	0.41473607	0.62210411	2.41	0.18559869	0.27839804	3.41	0.11027293	0.16540939	4.41	0.07497951	0.11246629
0.41	1.1904	1.7856	1.42	0.41032678	0.61554417	2.42	0.18444948	0.27667422	3.42	0.10978963	0.16468444	4.42	0.07472722	0.1120878
0.42	1.1904	1.7856	1.43	0.40606581	0.60909871	2.43	0.18331207	0.27496811	3.43	0.10930985	0.16396478	4.43	0.07447232	0.11170848
0.43	1.1904	1.7856	1.44	0.40184331	0.60276496	2.44	0.18218631	0.27327947	3.44	0.10883356	0.16325033	4.44	0.07422087	0.1113313
0.44	1.1904	1.7856	1.45	0.39769349	0.59654023	2.45	0.18107202	0.27160803	3.45	0.10836071	0.16254106	4.45	0.07397083	0.11095624
0.45	1.1904	1.7856	1.46	0.3936146	0.5904219	2.46	0.17996050	0.26995357	3.46	0.10789128	0.16183691	4.46	0.07372128	0.11058328
0.46	1.1904	1.7856	1.47	0.38960496	0.58440744	2.47	0.17887723	0.26831584	3.47	0.10742522	0.16113784	4.47	0.07347493	0.11021224
0.47	1.1904	1.7856	1.48	0.38566294	0.57849441	2.48	0.1777964	0.2666946	3.48	0.10696252	0.16044378	4.48	0.07322906	0.10984353
0.48	1.1904	1.7856	1.49	0.38178695	0.57268042	2.49	0.17672641	0.26508962	3.49	0.10650312	0.15975468	4.49	0.07298456	0.10947683
0.49	1.1904	1.7856	1.5	0.37797545	0.56696317	2.5	0.17566711	0.26350067	3.5	0.10604701	0.15907051	4.5	0.07274141	0.10911211
0.5	1.1904	1.7856	1.51	0.37422695	0.56134042	2.51	0.17461836	0.26192754	3.51	0.10559414	0.15839912	4.51	0.07249691	0.10874941
0.51	1.1904	1.7856	1.52	0.37054	0.55581	2.52	0.17357999	0.26036999	3.52	0.10514448	0.15771672	4.52	0.07225195	0.10838872
0.52	1.1904	1.7856	1.53	0.3669132	0.55036998	2.53	0.17255188	0.25882782	3.53	0.10469801	0.15704701	4.53	0.07200201	0.10803007
0.53	1.1904	1.7856	1.54	0.36334518	0.54501776	2.54	0.17153388	0.25730082	3.54	0.10425469	0.15638203	4.54	0.07175219	0.10767328
0.54	1.1904	1.7856	1.55	0.35983461	0.53975191	2.55	0.17052584	0.25578877	3.55	0.10381448	0.15572173	4.55	0.07150457	0.10731851
0.55	1.1904	1.7856	1.56	0.35638021	0.53457032	2.56	0.16952765	0.25429147	3.56	0.10337377	0.15506606	4.56	0.07125714	0.10696568
0.56	1.1904	1.7856	1.57	0.35298073	0.52947111	2.57	0.16853915	0.25280872	3.57	0.10294332	0.15441497	4.57	0.07101052	0.10661479
0.57	1.1904	1.7856	1.58	0.34963496	0.52445244	2.58	0.16757602	0.25134033	3.58	0.10251229	0.15376844	4.58	0.07076487	0.10626568
0.58	1.1904	1.7856	1.59	0.34634171	0.51951256	2.59	0.16665973	0.2498861	3.59	0.10208427	0.1531264	4.59	0.07051928	0.10591872
0.59	1.1904	1.7856	1.6	0.34309983	0.51464975	2.6	0.16580356	0.24844583	3.6	0.10165921	0.15248881	4.6	0.07027364	0.10557352
0.6	1.1904	1.7856	1.61	0.33990822	0.50986233	2.61	0.16496757	0.24701935	3.61	0.10123713	0.15185564	4.61	0.07002816	0.10523019
0.61	1.1904	1.7856	1.62	0.33676578	0.50514867	2.62	0.16413765	0.24560647	3.62	0.10081789	0.15122684	4.62	0.06978298	0.10488872
0.62	1.1904	1.7856	1.63	0.33367147	0.5005702	2.63	0.16330467	0.244207	3.63	0.10040158	0.15060237	4.63	0.06953839	0.10454909



Figura 44. Espectros DBE y MBE para aisladores de base

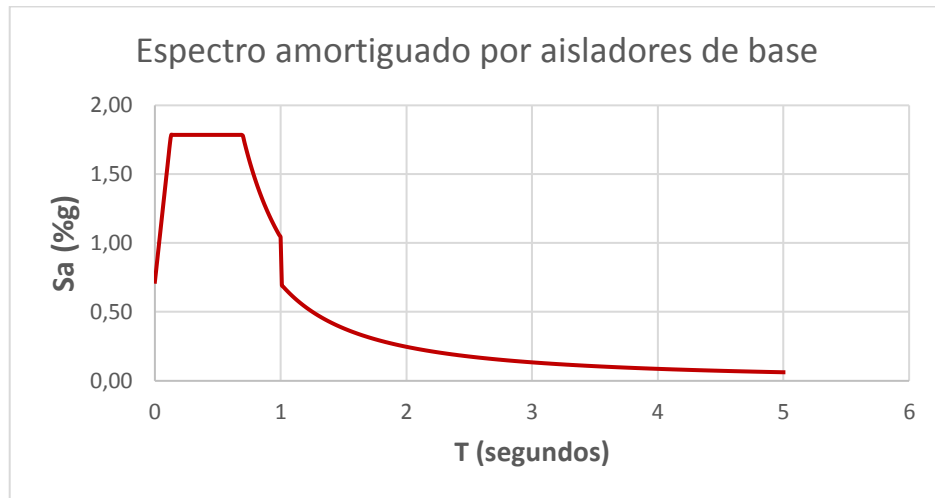


Fuente: Elaboración autónoma,2022.

Se considero un amortiguamiento en el diseño de aisladores de base, con una aceleración espectral máxima para un segundo y un 5% de amortiguamiento el espectro máximo se ve reducido, este parámetro se lo aplica indistintamente del tipo de disipadores.

Los valores para determinar el espectro de diseño y el espectro máximo de diseño se han determinado mediante las características propias de la estructura y la ubicación del proyecto.

**Figura 45. Espectro MBE para el diseño lineal de aisladores de base**



**Fuente:** Elaboración autónoma,2022.

Diseño de aisladores de base con núcleo de plomo. LRB

$$Z_{DBE}=Z$$

**Ec. 21**

$$Z_{DBE}=0.4 \text{ g}$$

$$Z_{MCE}=1.5 * Z_{DBE}$$

$$Z_{MCE}=0.6 \text{ g}$$

$$3.5(\text{seg}) \geq T_M \geq 2.5 (\text{seg})$$

Asumimos:

**Ec. 22**

$$T_M=2.5$$

$$B_m=15\%$$

**Tabla 22. Factores de reducción B<sub>D</sub> y B<sub>M</sub>**

TABLA 4.7. FACTORES DE REDUCCIÓN DE RESPUESTA, B<sub>D</sub> Y B<sub>M</sub>

Amortiguamiento efectivo, β <sub>D</sub> y β <sub>M</sub>	Factores B <sub>D</sub> y B <sub>M</sub>	
	Villagomez	ASCE 7
≤ 2%	0.80	0.80
5 %	1.00	1.00
10%	1.25	1.20
20%	1.70	1.50
30%	2.10	1.70
40%	2.45	1.90
≥50%	2.75	2.00

**Fuente:** ASCE 7-16 [18]

Interpolando

$$y = y_1 + ((x - x_1) / (x_2 - x_1)) * (y_2 - y_1) \quad \text{Ec. 23}$$

Entre X=10 y Y=20

Si X =15% Y = 1.35

$$B_M = 1.35$$

Cálculo de desplazamiento máximo lateral:

$$D_M = \frac{g S_{M1} T_M}{4\pi^2 B_M} \quad \text{Ec. 24}$$

Donde:

T<sub>M</sub>: Periodo efectivo de la estructura aislada

g: Gravedad

B<sub>M</sub>: Amortiguamiento efectivo inicial

S<sub>M1</sub>: Aceleración máxima espectral para T=1seg y 5% amortiguamiento = 1.0416

Tabla N.27 desplazamiento lateral máximo se definen estos valores en función a determinar la aceleración espectral máxima en un segundo con un 5 % de amortiguamiento

0.4793 m

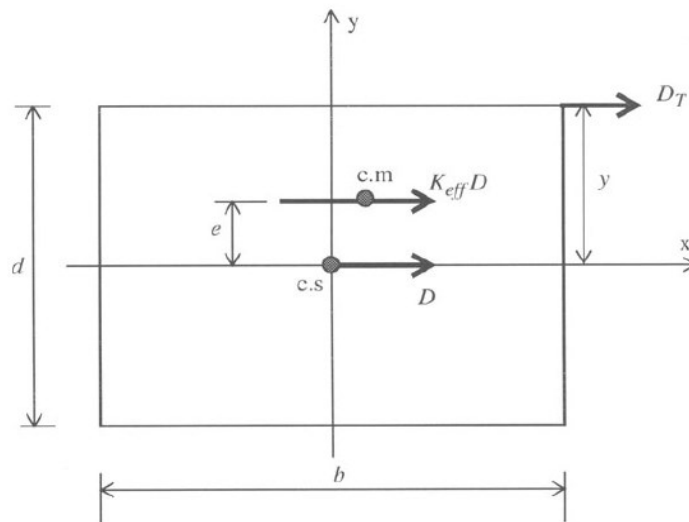
479.31 mm

91

Cálculo del desplazamiento máximo total

$$D_{TM} = D_M \left[ 1 + y \frac{12e}{b^2 + d^2} \right] \quad \text{Ec. 25}$$

**Figura 46. Centros de rigidez en vista en planta de una estructura**



**Fuente:** Elaboración autónoma,2022.

Donde:

$y$ : distancia entre el CR del sistema de aisladores y el elemento de interés (aislador más alejado) medido perpendicularmente a la dirección del sismo considerado.

$b$ : dimensión corta en planta de la estructura

$d$ : dimensión larga en planta de la estructura

$e$ : excentricidad actual más accidental

**Tabla 23. Centro de gravedad**

Dirección X:			Dirección Y:		
y=	20.05	m		y=	13.475 m
e=	2.01	m		e=	1.3475 m
b=	26.95	m		b=	26.95 m
d=	40.1	m		d=	40.1 m
D <sub>TM</sub> =	0.58	m		D <sub>TM</sub> =	0.52405 m
D <sub>TM</sub> =	578.36	mm		D <sub>TM</sub> =	524.05 mm
		D <sub>TM</sub> =	0.5241 m		
	D <sub>TM</sub> ≤ 1,1D <sub>M</sub>				
D <sub>TM</sub> =	0.5241	m			
<b>D<sub>TM</sub>=</b>	<b>524.05</b>	<b>mm</b>	<b>ok</b>		

**Fuente:** Elaboración autónoma,2022.

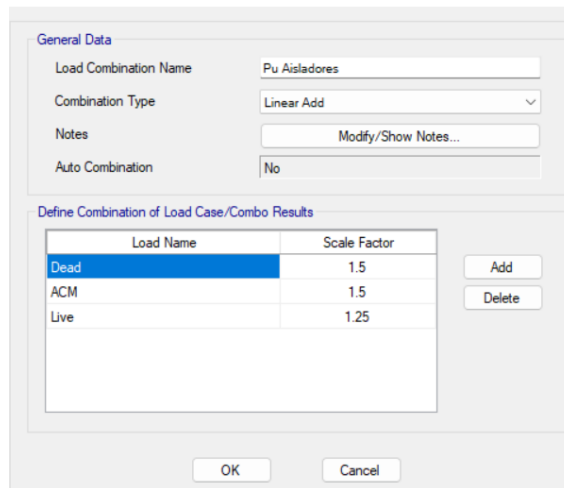
4. Cálculo de la carga axial última

$$P_{u\max} = 1.25CM + 1.25CV + SISMO \quad \text{Ec. 26}$$

0

$$P_{u\max} = 1.5CM + 1.25CV$$

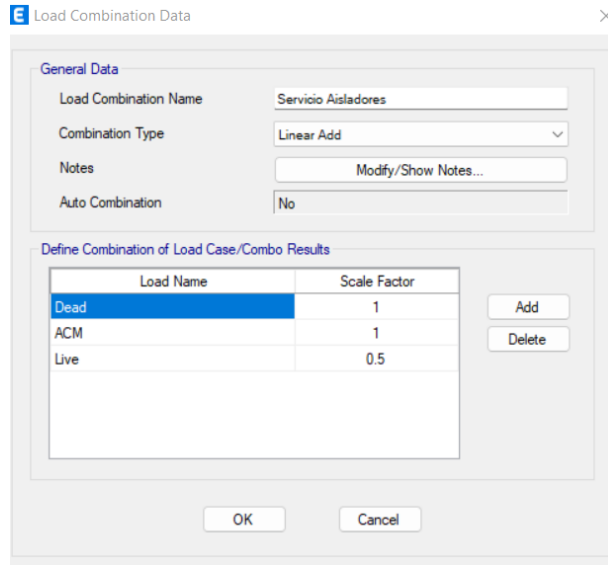
**Figura 47. Definición de carga última de aisladores**



**Fuente:** Elaboración autónoma,2022.

$$P_{SERVICIO} = CM + 0.5CV \quad \text{Ec. 27}$$

**Figura 48. Combinación de carga de servicio aisladores**



**Fuente:** Elaboración autónoma,2022.

**Tabla 24. Reacciones con combinaciones de Pu y P servicio en aisladores**

Reacciones en los apoyos			
Story	Label	FZ tonf	
		Pu aisladores	P servicio
0+00	57	247.41282	144.665
0+00	180	101.92327	60.6678
0+00	181	306.98565	178.595
0+00	182	276.45174	161.8107
0+00	183	166.00495	98.1122
0+00	184	98.49328	59.1138
0+00	185	243.64534	142.05
0+00	187	119.22307	71.3337
0+00	188	65.00928	39.816
0+00	189	361.2848	210.5016
0+00	190	191.52283	112.5207
0+00	193	226.84881	132.841
0+00	194	113.5199	67.2315
0+00	196	251.31455	147.059
0+00	197	138.74978	81.6322
0+00	198	91.10631	54.6178
0+00	199	-39.67449	-19.4385
0+00	201	443.89343	274.3154
0+00	205	159.37077	93.4802

**Fuente:** Elaboración autónoma,2022.

**Tabla 25. Reacciones con combinaciones de Pu y P servicio en aisladores**

0+00	206	154.25065	91.6386
0+00	208	285.96638	166.9254
0+00	210	257.15353	150.305
0+00	211	382.02973	222.4178
0+00	213	298.91889	173.9914
0+00	214	308.88059	180.2852
0+00	219	300.67174	174.9946
0+00	220	335.07398	195.4286
0+00	222	263.30981	153.4528
0+00	223	365.02101	212.4948
0+00	224	66.61883	39.5932
0+00	225	107.74086	63.8274
0+00	227	112.99527	66.9188
0+00	228	88.4995	52.6045
0+00	229	36.39958	21.8701
0+00	230	271.55123	174.7581
0+00	237	192.75357	122.8955
0+00	239	32.55568	21.2333
0+00	240	133.32476	86.8844
0+00	241	40.0951	25.2745

**Fuente:** Elaboración autónoma,2022.

Se selecciona la combinación de carga más crítica. Pu = 443.89 Tonf. Se asumirá como 444 Tonf.

Cálculo del diámetro del aislador

Se selecciona el máximo valor entre:

$$D_I = 1.5 D_{TM} \quad \text{Ec. 28}$$

$$D_I = 0.786 \quad \text{m}$$

$$D_I = 786.08 \quad \text{mm}$$

$$D_I = \sqrt{\frac{4 P_{umax}}{\pi \sigma_{max perm}}} \quad \text{Ec. 29}$$

$$D_I = 0.832 \quad \text{m}$$

$$D_I = 0.832 \quad \text{m}$$

$$D_I = 832.46 \quad \text{mm}$$

Se selecciona un tipo de aislador, del catálogo según el diámetro calculado.

Figura 49. Combinación de carga de servicio aisladores

**DYNAMIC ISOLATION SYSTEMS**  
 Isolator Engineering Properties

### Metric Units

DEVICE SIZE				MOUNTING PLATE DIMENSIONS					
Isolator Diameter, D <sub>i</sub> (mm)	Isolator Height, H (mm)	Number of Rubber Layers, N	Lead Diameter D <sub>l</sub> (mm)	L (mm)	t (mm)	Hole Qty.	Hole Ø (mm)	A (mm)	B (mm)
305	125-280	4-14	0-100	355	25	4	27	50	-
355	150-305	5-16	0-100	405	25	4	27	50	-
405	175-330	6-20	0-125	455	25	4	27	50	-
455	175-355	6-20	0-125	510	25	4	27	50	-
520	205-380	8-24	0-180	570	25	8	27	50	50
570	205-380	8-24	0-180	620	25	8	27	50	50
650	205-380	8-24	0-205	700	32	8	27	50	50
700	205-430	8-30	0-205	750	32	8	33	65	75
750	230-455	8-30	0-230	800	32	8	33	65	75
800	230-510	8-33	0-230	850	32	8	33	65	75
850	230-535	8-35	0-255	900	38	12	33	65	95
900	255-560	9-37	0-255	955	38	12	33	65	95
950	255-585	10-40	0-280	1005	38	12	33	65	95
1000	280-635	11-40	0-280	1055	38	12	40	75	115
1050	305-660	12-45	0-305	1105	44	12	40	75	115
1160	330-760	14-45	0-330	1205	44	12	40	75	115
1260	355-760	16-45	0-355	1335	44	16	40	75	115
1360	405-760	18-45	0-380	1435	51	16	40	75	115
1450	430-760	20-45	0-405	1525	51	20	40	75	115
1550	455-760	22-45	0-405	1625	51	20	40	75	115

(1) The axial load capacities provided correspond to maximum displacements based on design limits of 250% rubber shear strain or 2/3 the isolator diameter. An isolator's actual displacement and load capacity are dependent on the rubber modulus and number of rubber layers.

(2) Rubber Shear Moduli (G) are available from 0,38 N/mm<sup>2</sup> to 0,70 N/mm<sup>2</sup>.

(3) Elastic Stiffness (Ke) for analytical modeling may be taken as 10-times the yielded stiffness (Kd).

(4) Kd range shown in table is typical for most projects. If needed for specific projects, Kd values up to three times the maximum shown in the range can be achieved by limiting the displacement capacity to 2/3 of the shown value.

Isolator Diameter, D <sub>i</sub> (mm)	DESIGN PROPERTIES			Maximum Displacement, D <sub>max</sub> (mm)	Axial Load Capacity P <sub>max</sub> (kN)
	Yielded Stiffness, K <sub>y</sub> (kN/mm)	Characteristic Strength, Q <sub>d</sub> (kN)	Compression Stiffness, K <sub>c</sub> (kN/mm)		
305	0.2-0.4	0-65	>50	150	450
355	0.2-0.4	0-65	>100	150	700
405	0.3-0.5	0-110	>100	200	900
455	0.3-0.7	0-110	>100	250	1,150
520	0.4-0.7	0-180	>200	300	1,350
570	0.5-0.9	0-180	>500	360	1,800
650	0.5-1.1	0-220	>700	410	2,700
700	0.5-1.4	0-220	>800	460	3,100
750	0.7-1.6	0-265	>900	460	3,600
800	0.7-1.6	0-265	>1,000	510	4,000
850	0.7-1.8	0-355	>1,200	560	4,900
900	0.7-1.9	0-355	>1,400	560	5,800
950	0.7-2.0	0-490	>1,800	610	6,700
1000	0.8-2.0	0-490	>1,900	660	7,600
1050	0.9-2.1	0-580	>2,100	710	8,500
1160	1.1-2.1	0-665	>2,800	760	13,800
1260	1.2-2.3	0-755	>3,700	810	20,500
1360	1.4-2.5	0-890	>5,100	860	27,600
1450	1.6-2.5	0-1,025	>5,300	910	33,400
1550	1.8-2.5	0-1,025	>6,500	910	40,000

Fuente: Dynamic Isolation Systems

Se selecciona un aisladore de 900 mm

Cálculo del Qd.

$$\frac{Q_d}{W} = (3\% @ 10\%)$$

Ec. 30

$$Q_d = 0.06 * W$$



Donde

$W$  = Carga de servicio de la carga Pu.

$$\begin{aligned} W &= 275 & \text{T} \\ Q_d &= 16.50 & \text{T} \end{aligned}$$

Cálculo de diámetro de núcleo de plomo

$$A_{plomo} = Fy / \sigma_y \text{ (10MPa ó 1500 psi)} \quad \text{Ec. 31}$$

$$Fy = 1.10Q_d$$

$$D_L = \sqrt{\frac{4}{\pi} * \frac{1.10Q_d}{\sigma_y}} \quad \text{Ec. 32}$$

$$\sigma_y = 10 \text{MPa}$$

$$\sigma_y = 1019,71 \text{ T/m}^2$$

$$\begin{aligned} F_y &= 18.15 & \text{T} \\ D_L &= 0.151 & \text{m} \\ \mathbf{D_L} &= \mathbf{150.54} & \mathbf{mm} \end{aligned}$$

Sí  $D_L < D_{plomo}$  catálogo OK

El diseño es adecuado.

Cálculo de la altura de aislador sin planchas

$$H_I = D_{TM} / 2.50 \quad \text{Ec. 33}$$

$$\begin{aligned} H_I &= 0.2096 \text{ m} \\ H_I &= 209.62 \text{ mm} \end{aligned}$$

Cálculo de  $K_d$  o  $K_2$

$G = 0,4$  a  $0,7 \text{MPa}$

Ec. 34

$G = 40,78 \text{T/m}^2$

$$K_d = \frac{\pi}{4} * \frac{(D_i^2 - D_L^2) * G}{H_i}$$

$$K_d = 102.42 \text{ T/m}$$

Cálculo de rigidez efectiva  $K_{eff}$

$$K_{eff} = \frac{Q_d}{D_{TM}} + K_d \quad \text{Ec. 35}$$

$$K_{eff} = 133.91 \text{ T/m}$$

Cálculo de amortiguamiento efectivo

$$\beta_{eff} = \frac{4Q_d(D_{TM} - F_y/10K_d)}{2\pi * K_{eff \max} D_{TM}^2} \quad \text{Ec. 36}$$

$$\beta_{eff} = 0.145$$

$$\beta_{eff} = 14.46 \%$$

Cálculo de la Rigidez vertical

$$E_c = \frac{6GS^2 K}{6GS^2 + K} \quad \text{Ec. 37}$$

Donde:

$E_c$  = Módulo de elasticidad del conjunto de las láminas de caucho y acero.

$G$  = Módulo de corte del caucho. Se supone entre 0,38 MPa a 0,70 MPa.

$S$  = Factor de forma, que resulta de dividir el diámetro del aislador  $D$  entre cuatro veces el espesor de una lámina de caucho  $t$ .

$K$  = Módulo de compresibilidad del caucho, el cual se considera igual a 2000 MPa.

$$G = 50,985 \text{ T/m}^2$$

$$K = 2000 \text{ MPa} = 203943,24 \text{ T/m}^2$$

$$S = \frac{D_I}{4 * t} \quad \text{Ec. 38}$$

t = Espesor de las láminas de caucho en mm. = 8mm.

$$S = 26.01$$

Cálculo de Ec.

A = Área de disipador

$$A = \frac{\pi D_I^2}{4} \quad \text{Ec. 39}$$

$$0.54 \text{ m}^2$$

$$209.62 \text{ mm}$$

$$K_v = \frac{E_c A}{H_l} \quad \text{Ec. 40}$$

$$K_v = 266750.0 \text{ T/m}$$

Cálculo de la rigidez elástica

$$K_e = 10K_d \quad \text{Ec. 41}$$

$$K_e = 1024.21 \text{ T/m}$$

**Tabla 26. Características físicas y mecánicas del aislador calculado**

<b>D<sub>I</sub> (mm)</b>	832.46
<b>D<sub>L</sub> (mm)</b>	150.54
<b>H<sub>I</sub> (mm)</b>	209.62
<b>K<sub>d</sub> (T/m)</b>	102.42
<b>K<sub>eff</sub> (T/m)</b>	133.91
<b>β<sub>eff</sub></b>	0.145
<b>K<sub>e</sub> (T/m)</b>	1024.21
<b>F<sub>v</sub> (T)</b>	18.15
<b>K<sub>d</sub>/K<sub>e</sub></b>	0.10
<b>P<sub>umax</sub> (T)</b>	444.00
<b>K<sub>v</sub> (T/m)</b>	266750.05

**Fuente:** Elaboración autónoma, 2022.

**Tabla 27. Propiedades para ingresar a software**

Datos a ingresar al Sap 2000 o Etabs				
Ejes X y Y				
	Rigidez efectiva lineal=	133.91	T/m	
	Amortiguamiento efectivo lineal=		0.15	T.s/m
	Rigidez no lineal=	1024.21	T/m	
	Fluencia=	18.15	T	
	Radio de rigidez post fluencia=		0.10	
Eje Z				
	Rigidez efectiva=	266750.05	T/m	
	Amortiguamiento efectivo lineal=		0.15	T.s/m

Fuente: Elaboración autónoma,2022

**Figura 50. Definición del aislador empleado en Software**

The screenshot shows a software dialog box for defining a Rubber Isolator property. The interface is organized into several sections:

- General:**
  - Link Property Name: 900 mm
  - Link Type: Rubber Isolator
  - Link Property Notes: Modify/Show Notes...
  - P-Delta Parameters: Modify/Show...
  - Acceptance Criteria: Modify/Show...
  - None specified
- Total Mass and Weight:**
  - Mass: 0.31609 tonf-s²/m
  - Weight: 3.09804 tonf
  - Rotational Inertia 1: 0.8 tonf-m-s²
  - Rotational Inertia 2: 0.5 tonf-m-s²
  - Rotational Inertia 3: 0.5 tonf-m-s²
- Factors for Line and Area Springs:**
  - Link/Support Property is Defined for This Length When Used in a Line Spring Property: 1 m
  - Link/Support Property is Defined for This Area When Used in an Area Spring Property: 1 m²
- Directional Properties:**

Direction	Fixed	NonLinear	Properties	Direction	Fixed	NonLinear	Properties
<input checked="" type="checkbox"/> U1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for U1...	<input type="checkbox"/> R1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for R1...
<input checked="" type="checkbox"/> U2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Modify/Show for U2...	<input type="checkbox"/> R2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for R2...
<input checked="" type="checkbox"/> U3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Modify/Show for U3...	<input type="checkbox"/> R3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for R3...
- Stiffness Options:**
  - Stiffness Used for Linear and Modal Load Cases: Effective Stiffness from Zero, Else Nonlinear
  - Stiffness Used for Stiffness-proportional Viscous Damping: Initial Stiffness (K0)
  - Stiffness-proportional Viscous Damping Coefficient Modification Factor: 0

Buttons: OK, Cancel

Fuente: Elaboración autónoma,2022

**Figura 51. Propiedades direccionales Lineales U1**

The screenshot shows a dialog box titled "Link/Support Directional Properties" with a close button (X) in the top right corner. It is divided into two main sections: "Identification" and "Linear Properties".

**Identification Section:**

- Property Name: 900 mm
- Direction: U1
- Type: Rubber Isolator
- NonLinear: No

**Linear Properties Section:**

- Effective Stiffness: 266750.049 tonf/m
- Effective Damping: 0.15 tonf-s/m

At the bottom of the dialog, there are two buttons: "OK" and "Cancel".

**Fuente:** Elaboración autónoma,2022

**Figura 52. Propiedades direccionales No Lineales U2-U3**

The screenshot shows a dialog box titled "Link/Support Directional Properties" with a close button (X) in the top right corner. It is divided into four main sections: "Identification", "Linear Properties", "Shear Deformation Location", and "Nonlinear Properties".

**Identification Section:**

- Property Name: 900 mm
- Direction: U2
- Type: Rubber Isolator
- NonLinear: Yes

**Linear Properties Section:**

- Effective Stiffness: 133.907 tonf/m
- Effective Damping: 0.15 tonf-s/m

**Shear Deformation Location Section:**

- Distance from End-J: 0 m

**Nonlinear Properties Section:**

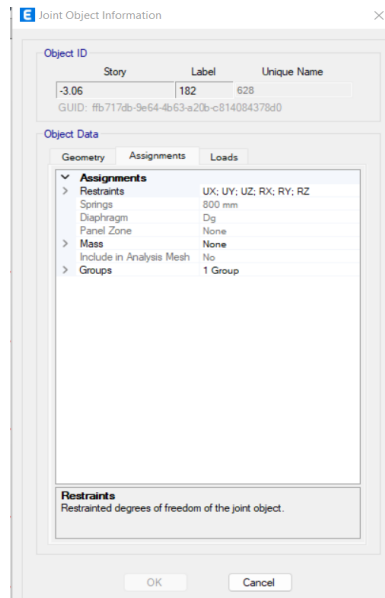
- Stiffness: 1024.212 tonf/m
- Yield Strength: 18.15 tonf
- Post Yield Stiffness Ratio: 0.1

At the bottom of the dialog, there are two buttons: "OK" and "Cancel".

**Fuente:** Elaboración autónoma,2022

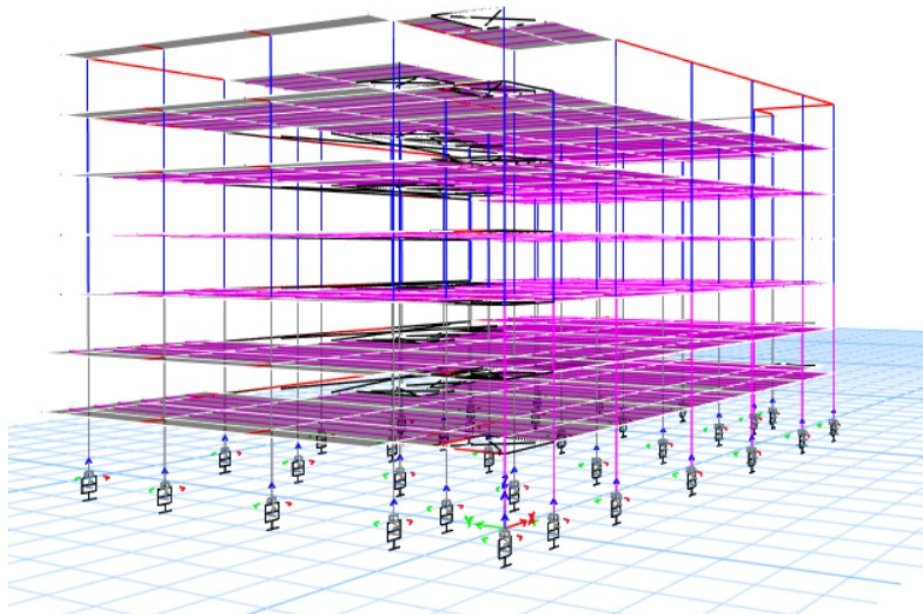
Se asigna el aislador de 900 mm a todos los ejes y apoyos de muros en el nivel 0+00, en la estructura.

**Figura 53. Aisladores asignados al Nivel -3.06**



**Fuente:** Elaboración autónoma,2022

**Figura 54. Vista 3D de los aisladores asignados al Nivel -3.06**



**Fuente:** Elaboración autónoma,2022

Verificaciones Lineales con Aisladores de base.

- Las derivas deben ser menores a 1.5% o 0.015
- El período de la estructura debe aumentar de multiplicar un factor de 2.0 a 4.5 el período de la estructura empotrada
- La torsión en los tres primeros modos de vibración = 0
- Los desplazamientos modales deben estar sobre el piso donde se asignaron los aisladores de base.
- Aceleraciones espectrales menores a 0.3g
- No se debe chequear las secciones para PEM de los pórticos de acero pueden cumplir con los requisitos OMF, simplemente pueden cumplir la demanda y capacidad de los elementos.
- No es necesario tener conexiones precalificadas.

**Tabla 28. Participación de masa en los modos de vibración de la estructura con aisladores**

TABLE: Modal Participating Mass Ratios									
Case	Mode	Period	UX	UY	SumUX	SumUY	RX	RY	RZ
		sec							
Modal	1	2.164	0.1799	0.7341	0.1799	0.7341	0.0178	0.0051	0.0618
Modal	2	1.971	0.776	0.2122	0.956	0.9463	0.0007	0.0041	0.0064
Modal	3	1.857	0.0363	0.0375	0.9923	0.9838	0.0033	0.0046	0.9197
Modal	4	0.623	0.0032	0.0142	0.9955	0.998	0.6566	0.1037	0.0074
Modal	5	0.547	0.0029	0.0009	0.9984	0.9989	0.2305	0.3496	0.0025
Modal	6	0.477	0.0009	0.000007567	0.9994	0.9989	0.003	0.4008	0.0014
Modal	7	0.353	0.00001042	0.00003554	0.9994	0.999	0.0027	0.00002786	0.00001377
Modal	8	0.305	0.000001337	0.000003553	0.9994	0.999	0.00000533	0.000003741	8.816E-07
Modal	9	0.274	0.0003	0.0008	0.9997	0.9997	0.0066	0.0028	0.0005
Modal	10	0.23	0.0001	0.00001138	0.9998	0.9997	0.0008	0.0028	0.00003524
Modal	11	0.196	0.0001	0.000009092	0.9998	0.9997	0.0094	0.0163	0.00002581
Modal	12	0.173	0.00001964	0.00002978	0.9998	0.9998	0.0019	0.0001	0.00003777
Modal	13	0.167	0.000008798	0.00001311	0.9998	0.9998	0.0017	0.0095	0.000006143
Modal	14	0.155	0.000001947	0.00002494	0.9998	0.9998	0.0094	0.0026	0
Modal	15	0.14	0.00001683	0.00003377	0.9999	0.9999	0.0008	0.0029	0.00002994
Modal	16	0.13	0.000001041	0.000009133	0.9999	0.9999	0.0022	0.0051	8.696E-07

**Fuente:** Elaboración autónoma,2022

Modo 1

$$\frac{Rz}{Uy} \leq 30\% \quad \text{Ec. 42}$$

$$\frac{0.0618}{0.73141} = 0.08$$

8% < 30% OK

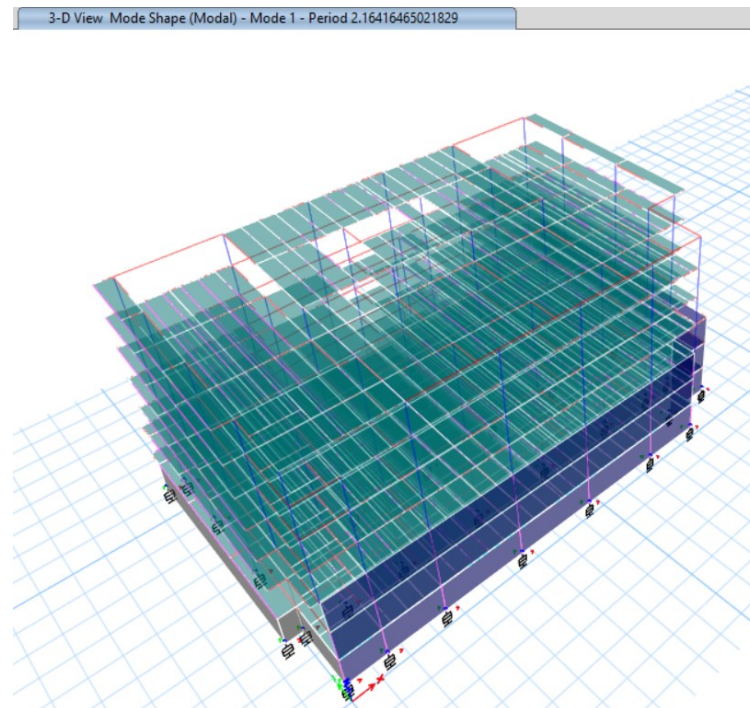
Modo 2

$$\frac{R_z}{U_y} \leq 30\% \quad \text{Ec. 43}$$

$$\frac{0.0064}{0.776} = 0.008$$

0.82% < 30% OK

**Figura 55. Período de vibración de la estructura con aisladores de base**

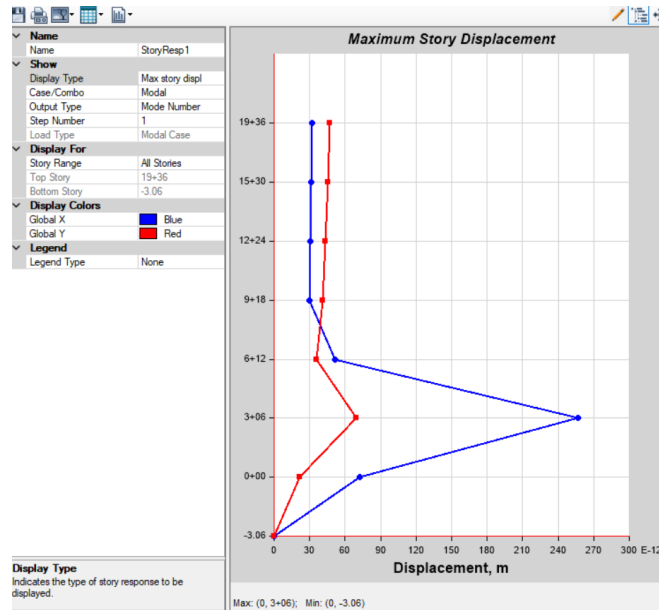


**Fuente:** Elaboración autónoma, 2022

$$T = 2.164 \text{ (s)} \quad \text{Ec. 44}$$



**Figura 56. Desplazamientos modales de la estructura**



**Fuente:** Elaboración autónoma,2022

Cálculo de las derivas.

Según la Tabla N. 27, Interpolamos el valor de R, para un amortiguamiento igual a 15%

$$R = y1 + ((x - x1) / (x2 - x1)) * (y2 - y1) \quad \text{Ec. 45}$$

$$R = 0.75$$

**Tabla 29. Derivas Estáticas Sx en Estructura con aisladores**

Derivas Sx Aisladores					
Story	Elevation	Location	X-Dir	Y-Dir	Der. Inelast.
	cm				
19+36	2142	Top	0,000491	0,000698	0,052%
15+30	1836	Top	0,000955	0,000975	0,073%
12+24	1530	Top	0,002177	0,001413	0,163%
9+18	1224	Top	0,003945	0,003264	0,296%
6+12	918	Top	0,004291	0,005272	0,395%
3+06	612	Top	0,005837	0,005207	0,438%
0+00	306	Top	0,013621	0,004454	1,022%
-3,06	0	Top	0	0	0,000%

**Fuente:** Elaboración autónoma,2022

**Tabla 30. Derivas Estáticas Sy en Estructura con aisladores**

Derivas Sy Aisladores					
Story	Elevation	Location	X-Dir	Y-Dir	Der. Inelast.
	cm				
19+36	2142	Top	0,000156	0,003964	0,297%
15+30	1836	Top	0,000332	0,003431	0,257%
12+24	1530	Top	0,001043	0,003068	0,230%
9+18	1224	Top	0,002326	0,006138	0,460%
6+12	918	Top	0,004252	0,008956	0,672%
3+06	612	Top	0,004527	0,014142	1,061%
0+00	306	Top	0,003239	0,01921	1,441%
-3,06	0	Top	0	0	0,000%

Fuente: Elaboración autónoma,2022

**Tabla 31. Derivas Dinámicas Espect. X en Estructura con aisladores**

Derivas Espect X Aisladores					
Story	Elevation	Location	X-Dir	Y-Dir	Der. Inelast.
	cm				
19+36	2142	Top	0,003018	0,002039	0,226%
15+30	1836	Top	0,004141	0,002977	0,311%
12+24	1530	Top	0,005507	0,004049	0,413%
9+18	1224	Top	0,005454	0,004976	0,409%
6+12	918	Top	0,004447	0,006045	0,453%
3+06	612	Top	0,005966	0,007067	0,530%
0+00	306	Top	0,017452	0,009379	1,309%
-3,06	0	Top	0	0	0,000%

Fuente: Elaboración autónoma,2022

**Tabla 32. Derivas Dinámicas Espect. Y en Estructura con aisladores**

Derivas Espect Y Aisladores					
Story	Elevation	Location	X-Dir	Y-Dir	Der. Inelast.
	cm				
19+36	2142	Top	0,002102	0,004678	0,351%
15+30	1836	Top	0,003066	0,006292	0,472%
12+24	1530	Top	0,004209	0,008624	0,647%
9+18	1224	Top	0,00513	0,010267	0,770%
6+12	918	Top	0,00597	0,011772	0,883%
3+06	612	Top	0,006645	0,017334	1,300%
0+00	306	Top	0,008107	0,022685	1,701%
-3,06	0	Top	0	0	0,000%

Fuente: Elaboración autónoma,2022

Cumple con los chequeos establecidos para aisladores de base.

#### 4.5 ANÁLISIS TIEMPO HISTORIA

La NEC establece mínimo tres pares de sismos en dos direcciones. Se considera un análisis tiempo historia modal lineal.

La calibración espectral queda de la siguiente manera.

**Tabla 33. Características de los sismos a utilizar**

Evento Sísmico	Mecanismo de Falla	Estación	Magnitud	Tipo de Suelo	Distancia al epicentro	Profundidad	Aceleración Máxima (gals)		
							N - S	E - O	Z
<i>Pedernales</i> (16/04/2016)	Subducción Placa Sudamericana y	Manta (AMNT)	7.8	D	171.00 km	19.20 km	397.2	514.21	162.13
<i>Lima</i> (03/10/1974)		Surco (SCO)	8.0	Sedimento Aluvional	163.89 km	21.20 km	192.35	207.12	126.32
<i>Pisco</i> (15/09/2007)	Placa de Nazca	ICA (ICA2)	8.0	Sedimento Aluvional	120.31 km	22.80 km	272.2	334.1	192.2

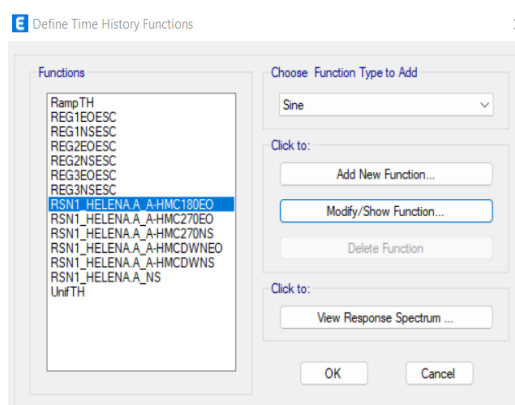
**Fuente:** Elaboración autónoma,2022

Se uso sismos corticales y de subducción

#### Escalamiento de los acelerogramas obtenidos.

Se definió tres pares de sismos con sus componentes horizontal: en dirección NS, EO y Z.

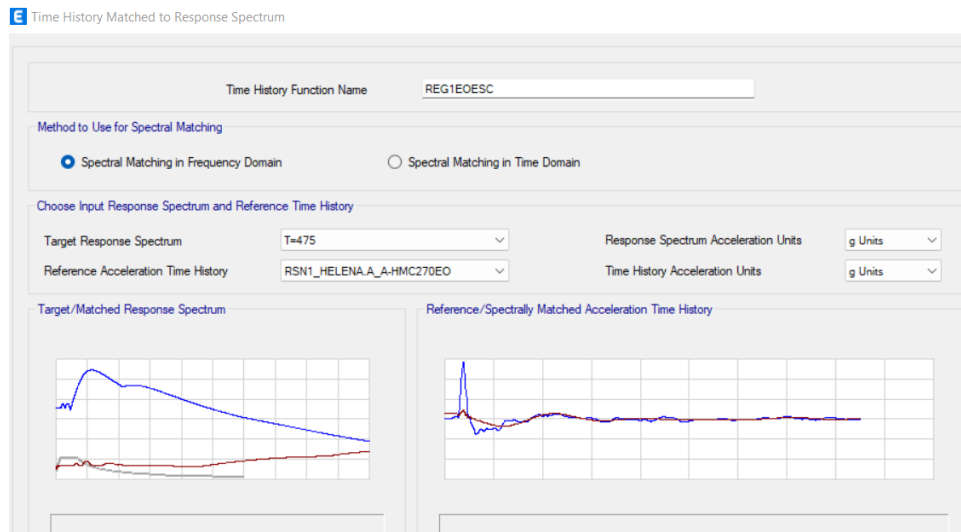
**Figura 57. Acelerogramas definidos y escalados**



**Fuente:** Elaboración autónoma,2022

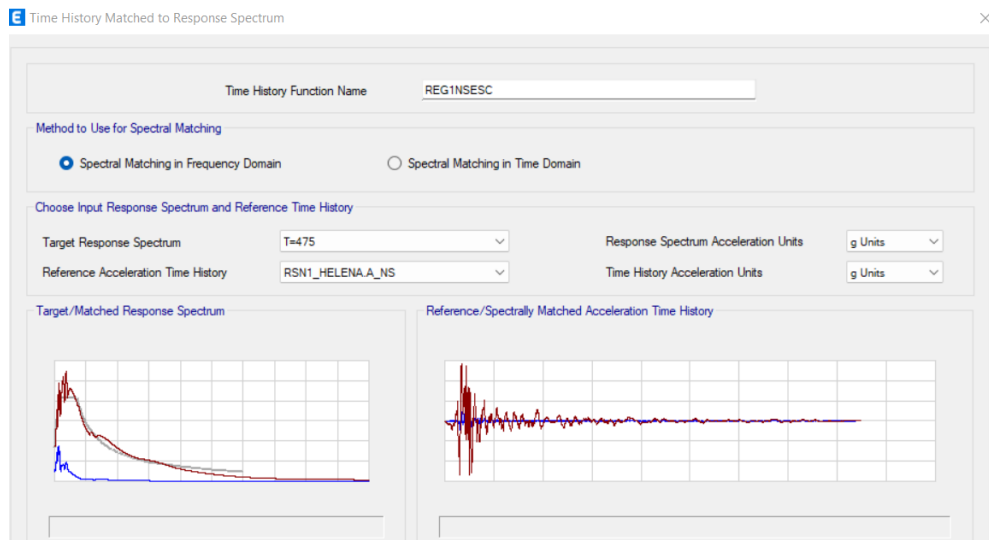
Dichos sismos se escalaron en función al espectro objetivo de la NEC SE DS, con un período de retorno de 475 años.

**Figura 58. Registro 1 Dirección OE Escalado al Espectro Objetivo de la NEC  
T=475**



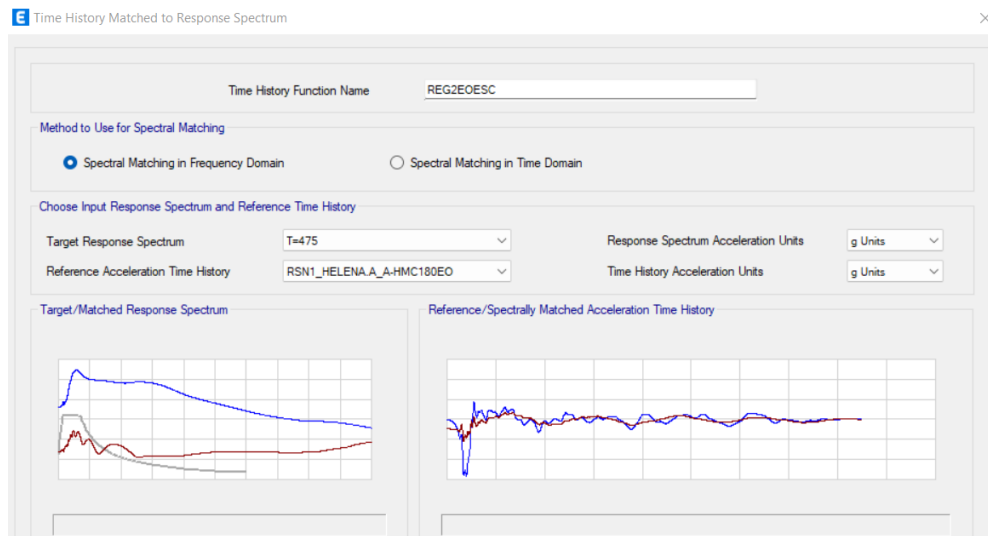
**Fuente:** Elaboración autónoma,2022

**Figura 59. Registro 1 Dirección NS Escalado al Espectro Objetivo de la NEC  
T=475**



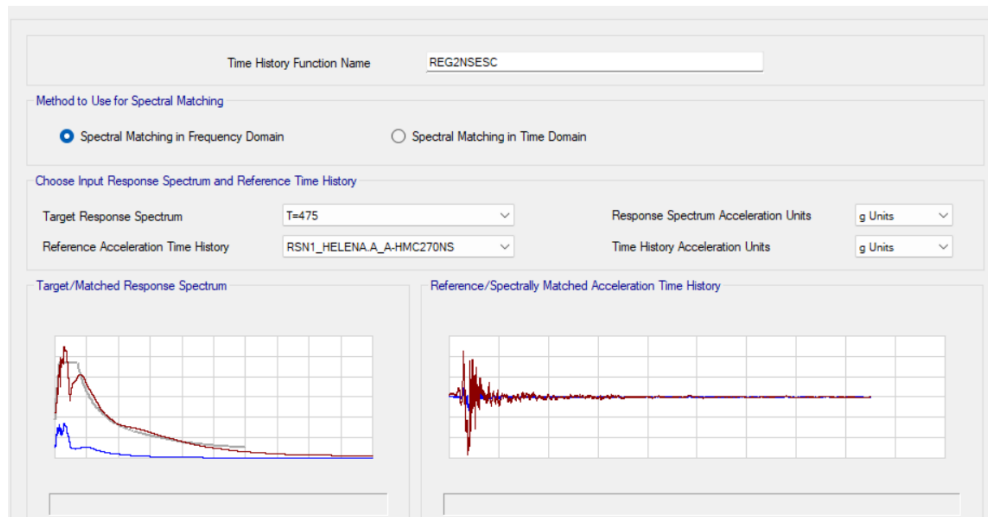
**Fuente:** Elaboración autónoma,2022

**Figura 60. Registro 2 Dirección OE Escalado al Espectro Objetivo de la NEC  
T=475**



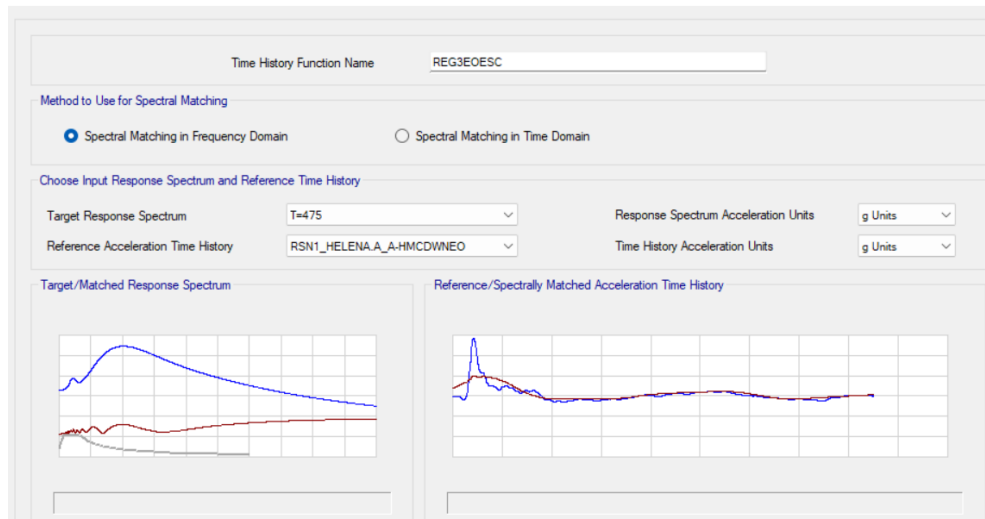
**Fuente:** Elaboración autónoma,2022

**Figura 61. Registro2 Dirección NS Escalado al Espectro Objetivo de la NEC  
T=475**



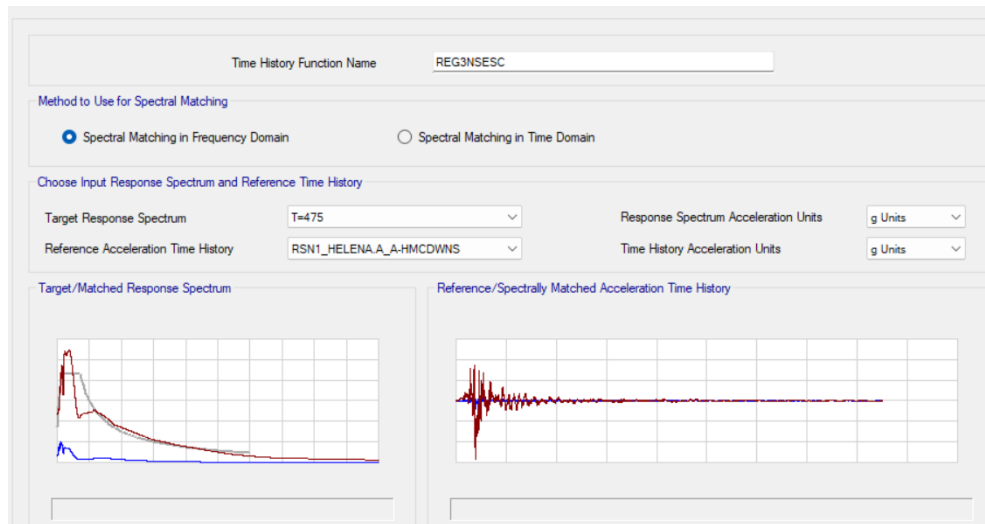
**Fuente:** Elaboración autónoma,2022

**Figura 62. Registro 3 Dirección OE Escalado al Espectro Objetivo de la NEC  
T=475**



**Fuente:** Elaboración autónoma,2022

**Figura 63. Registro 3 Dirección NS Escalado al Espectro Objetivo de la NEC  
T=475**



**Fuente:** Elaboración autónoma,2022

Se define un caso de carga gravitacional de TH NLA.

**Figura 64. Carga gravitacional para análisis tiempo historia no lineal modal**

The screenshot shows a software interface with three main sections: General, Initial Conditions, and Loads Applied.

**General**

- Load Case Name: GRAVITACIONALTHNLA
- Load Case Type/Subtype: Time History (dropdown), Nonlinear Modal (FNA) (dropdown)
- Mass Source: Previous (MsSrc1)
- Analysis Model: Default

**Initial Conditions**

- Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State
- Continue from State at End of Nonlinear Case (Loads at End of Case ARE Included)
- Nonlinear Case: [Empty text box]

**Loads Applied**

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Load Pattern	Dead	Default Uniform	1
Load Pattern	ACM	Default Uniform	1
Load Pattern	Live	Default Uniform	0.25

Buttons: Add, Delete, Advanced (checkbox)

**Fuente:** Elaboración autónoma,2022

Partiendo del análisis gravitacional, se define los casos de carga en ambas direcciones, de cada acelerograma. Donde se seleccionan los acelerogramas escalados con el espectro de la NEC SE DS.

Cabe indicar el número de pasos están en función del acelerograma, así como el tiempo en que se han tomados dichos datos. Esta información está disponible en las hojas re los registros sísmicos.

**Figura 65. Datos del acelerograma**

```
PEER NGA STRONG MOTION DATABASE RECORD
Helena Montana-01, 10/31/1935, Carroll College, 180
DISPLACEMENT TIME SERIES IN UNITS OF CM
NPTS= 5093, DT= .0100 SEC,
```

**Fuente:** Elaboración autónoma,2022

**Figura 66. Definición del caso de carga del registro sísmico en dirección X**

**General**

Load Case Name: REG1NSU1 [Design...]

Load Case Type/Subtype: Time History / Nonlinear Modal (FNA) [Notes...]

Mass Source: Previous (MsSrc1)

Analysis Model: Default

**Initial Conditions**

Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State

Continue from State at End of Nonlinear Case (Loads at End of Case ARE Included)

Nonlinear Case: GRAVITACIONALTHNLA

**Loads Applied**

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U1	REG1NSESC	1

[Add] [Delete] [Advanced]

**Other Parameters**

Modal Load Case: Modal

Number of Output Time Steps: 5093

Output Time Step Size: 0.01 sec

Modal Damping: Proportional: Mass: 0.4586; Stiff: 0.0489 [Modify/Show...]

Nonlinear Parameters: Default [Modify/Show...]

[OK] [Cancel]

Fuente: Elaboración autónoma,2022

**Figura 67. Definición del caso de carga del registro sísmico 1 en dirección X**

**General**

Load Case Name: REG1NSU2 [Design...]

Load Case Type/Subtype: Time History / Nonlinear Modal (FNA) [Notes...]

Mass Source: Previous (MsSrc1)

Analysis Model: Default

**Initial Conditions**

Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State

Continue from State at End of Nonlinear Case (Loads at End of Case ARE Included)

Nonlinear Case: GRAVITACIONALTHNLA

**Loads Applied**

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U2	REG1NSESC	1

[Add] [Delete] [Advanced]

**Other Parameters**

Modal Load Case: Modal

Number of Output Time Steps: 5093

Output Time Step Size: 0.01 sec

Modal Damping: Proportional: Mass: 0.4586; Stiff: 0.0489 [Modify/Show...]

Nonlinear Parameters: Default [Modify/Show...]

[OK] [Cancel]



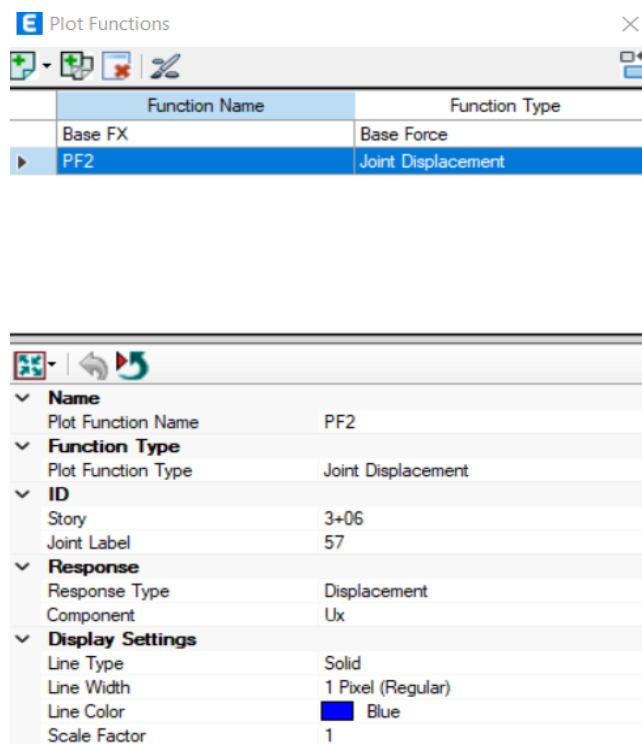
Fuente: Elaboración autónoma,2022

#### 4.5.1 Resultados obtenidos.

Se considera los desplazamientos máximos permisibles por el disipador.

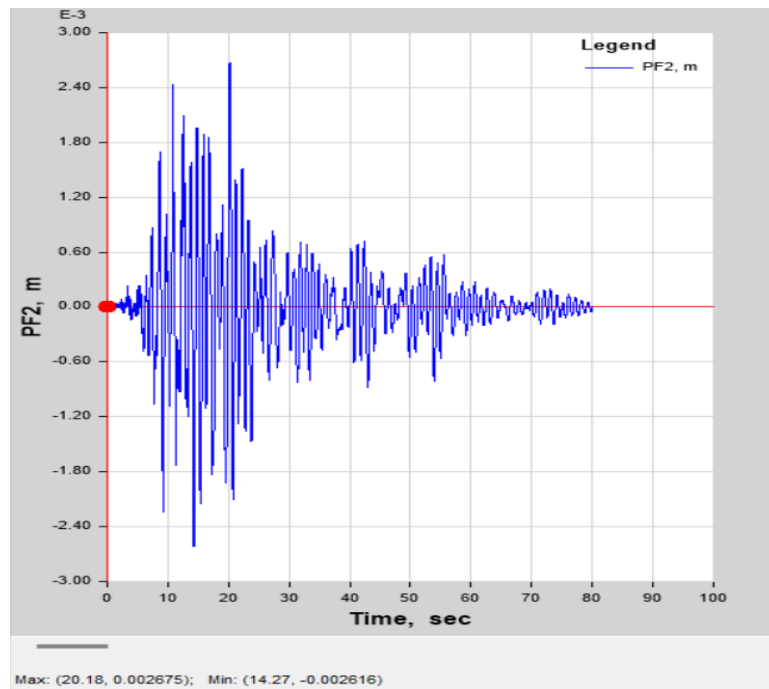
479.31 mm

Figura 68. Desplazamientos en joint de los desplazamientos más críticos



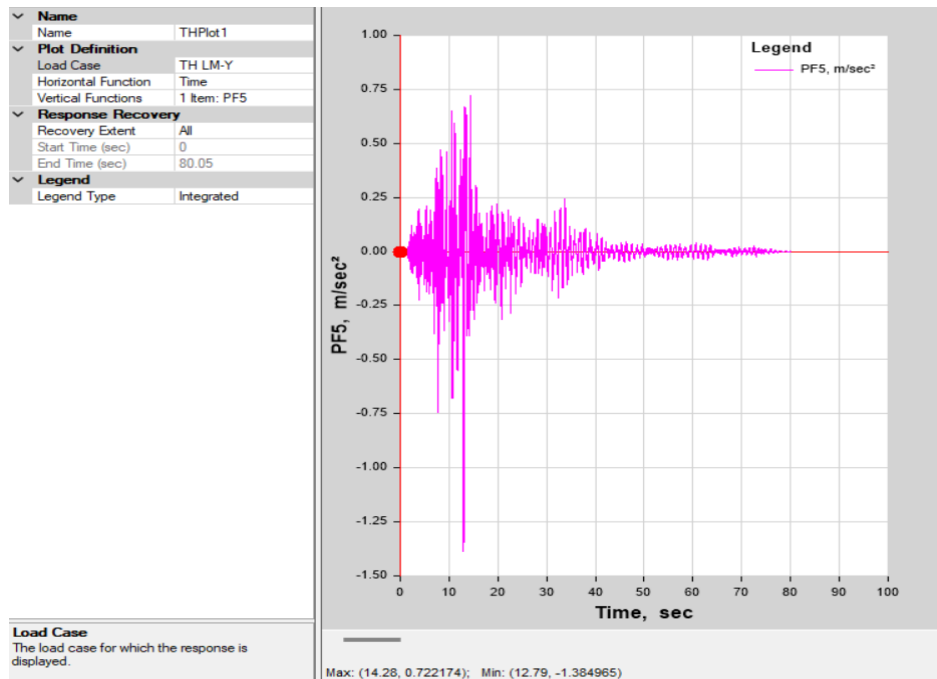
Fuente: Elaboración autónoma,2022

**Figura 69. Desplazamiento del joint en el nivel más crítico 3+06 AMNT**



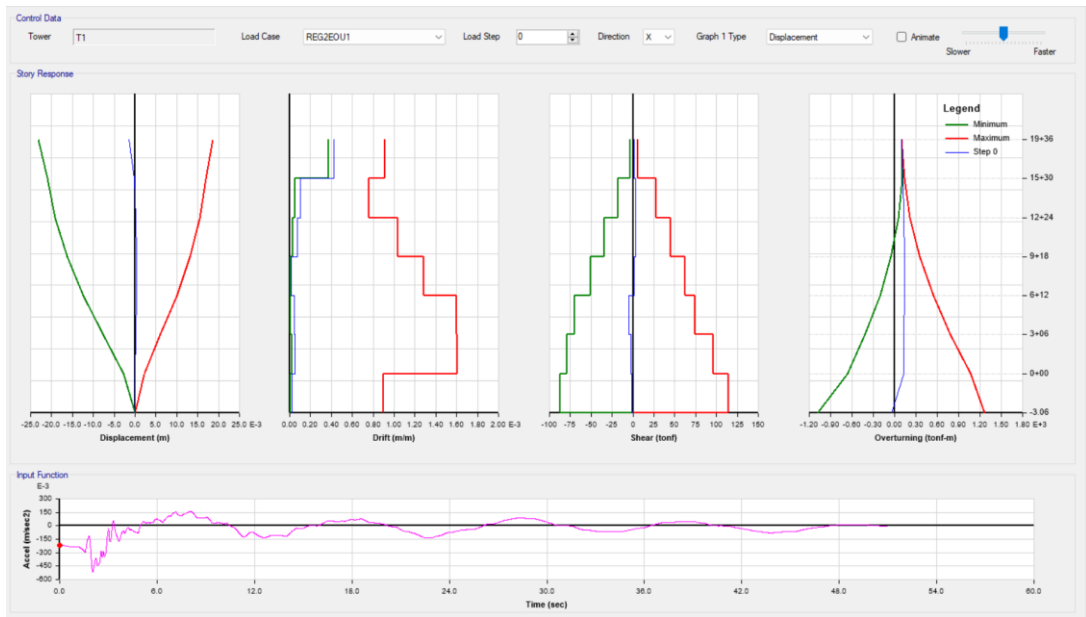
**Fuente:** Elaboración autónoma,2022

**Figura 70. Aceleración máxima en el joint más crítico 3+06 AMNT**



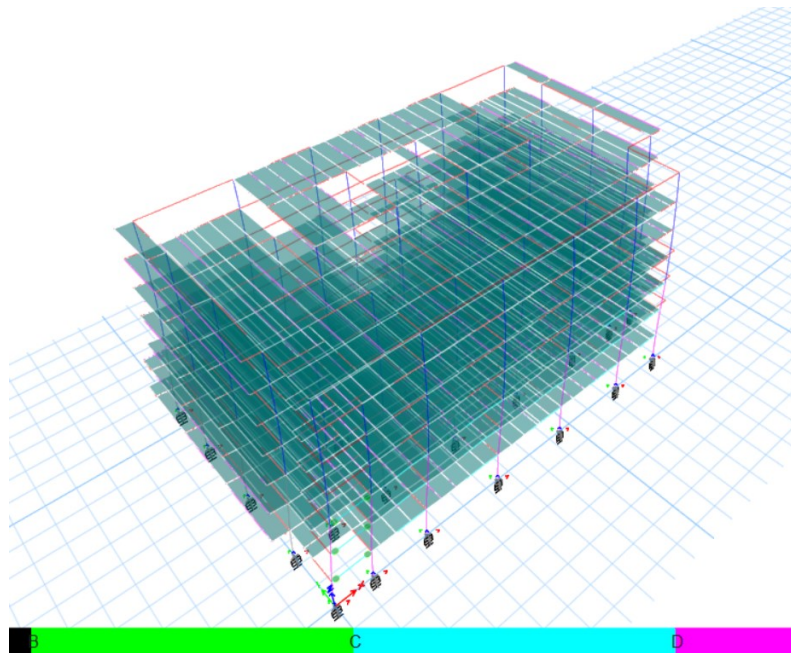
**Fuente:** Elaboración autónoma,2022

**Figura 71. Aceleración máxima permitida =  $0.3(g) = 9.81 \cdot (0,3) = 2,943$**



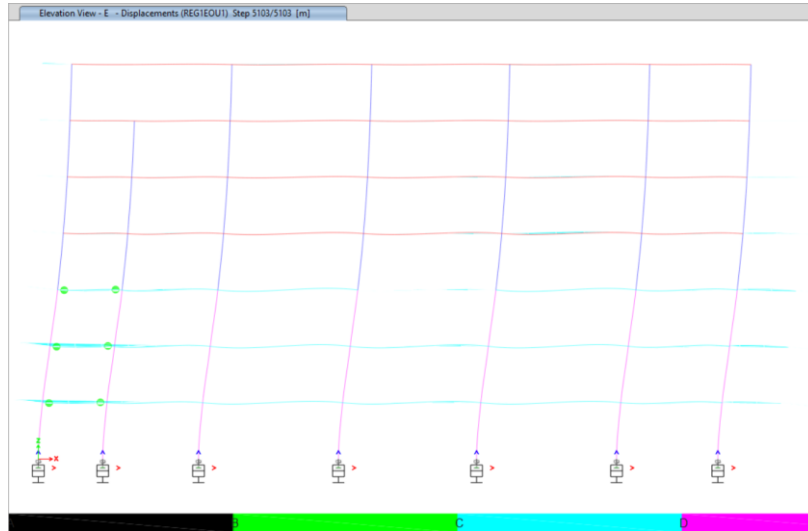
**Fuente:** Elaboración autónoma,2022

**Figura 72. Resultados no lineales**



**Fuente:** Elaboración autónoma,2022

**Figura 73. Puntos de desempeño**

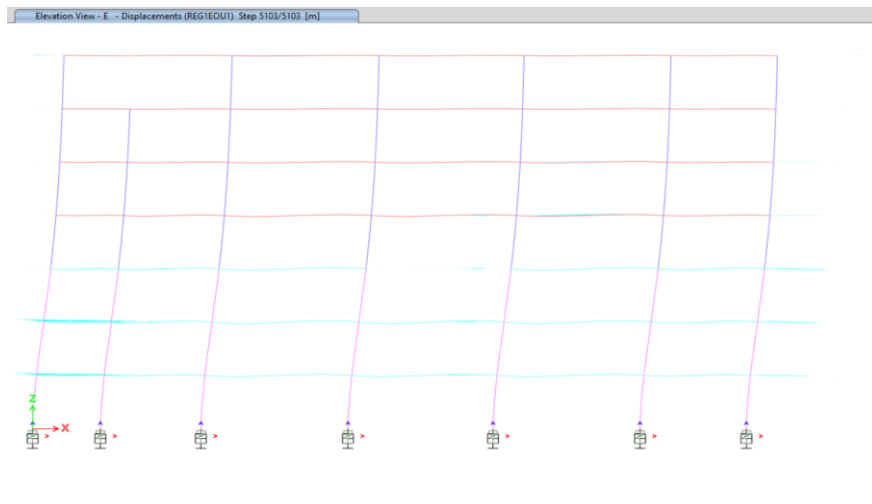


**Fuente:** Elaboración autónoma,2022

El registro sísmico con mayor aceleración es el Registro sísmico 2 en dirección EO.  
Registro sísmico 2 Dirección EO.

Pese a que con aisladores de base la estructura incursiona en el rango inelástico se empieza a visualizar la no linealidad de la estructura, la estructura permanece Totalmente operacional.

**Figura 74. Puntos de desempeño**



**Fuente:** Elaboración autónoma,2022

**Figura 75. Desplazamientos con Aisladores**

DESPLAZAMIENTOS AISLADORES				
Story	Elevation	Location	X-Dir	Y-Dir
	cm		cm	cm
19+36	2142	Top	0,0014	0,0026
15+30	1836	Top	0,0014	0,0025
12+24	1530	Top	0,0013	0,0024
9+18	1224	Top	0,0012	0,0023
6+12	918	Top	0,0011	0,002
3+06	612	Top	0,001	0,0018
0+00	306	Top	0,0009	0,0016
-3,06	0	Top	0,0007	0,0016

**Fuente:** Elaboración autónoma,2022

**Figura 76. Cortante con Aislador**

CORTANTE CON AISLADORES SX				
Story	Elevation	Location	X-Dir	Y-Dir
	cm		tonf	tonf
19+36	2142	Top	0	-0,0001
		Bottom	0	-0,0001
15+30	1836	Top	0	-0,00002572
		Bottom	0	-0,00002572
12+24	1530	Top	0	-0,0001
		Bottom	0	-0,0001
9+18	1224	Top	-351,1042	-0,0001
		Bottom	-351,1042	-0,0001
6+12	918	Top	-548,1081	-0,00004917
		Bottom	-548,1081	-0,00004917
3+06	612	Top	-610,9561	-0,0001
		Bottom	-610,9561	-0,0001
0+00	306	Top	-610,9561	-0,0001
		Bottom	-610,9561	-0,0001
-3,06	0	Top	0	0
		Bottom	0	0

**Fuente:** Elaboración autónoma,2022

**Figura 77. Desplazamientos con base fija**

DESPLAZAMIENTOS BASE FIJA				
Story	Elevation	Location	X-Dir	Y-Dir
	cm		cm	cm
19+36	2142	Top	0,002	0,0044
15+30	1836	Top	0,0019	0,004
12+24	1530	Top	0,0017	0,0034
9+18	1224	Top	0,0014	0,0026
6+12	918	Top	0,0009	0,0016
3+06	612	Top	0,0005	0,0007
0+00	306	Top	0,0001	0,0001
-3,06	0	Top	0	0

**Fuente:** Elaboración autónoma,2022

**Figura 78. Cortante con base fija**

CORTANTE BASE FIJA Sx				
Story	Elevation	Location	X-Dir	Y-Dir
	cm		tonf	tonf
19+36	2142	Top	0	-0,00002703
		Bottom	0	-0,00002703
15+30	1836	Top	0	-0,00002787
		Bottom	0	-0,00002787
12+24	1530	Top	0	-0,00001783
		Bottom	0	-0,00001782
9+18	1224	Top	-183,0569	-0,00002186
		Bottom	-183,0569	-0,00002186
6+12	918	Top	-311,4716	-0,00002373
		Bottom	-311,4716	-0,00002373
3+06	612	Top	-372,5287	-0,00002621
		Bottom	-372,5287	-0,00002621
0+00	306	Top	-372,5287	-0,00002613
		Bottom	-372,5287	-0,00002613
-3,06	0	Top	0	0
		Bottom	0	0

**Fuente:** Elaboración autónoma,2022

#### 4.6 ANALISIS ECONOMICO

**Tabla 34. Presupuesto Estructura Convencional**

TABLA DE DESCRIPCIÓN DE RUBROS, UNIDADES, CANTIDADES Y PRECIOS					
RUBRO	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	P.TOTAL
<b>ESTRUCTURA CONVENCIONAL</b>					
1	Hormigón f'c = 240 kg/cm <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	1419,47	212,85	302134,19
2	Hormigón f'c = 280 kg/cm <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	48	260	12480
3	Acero de Refuerzo fy = 4200 kg/cm <sup>2</sup>	Kg	15630	1,92	30009,6
4	Acero Estructural	Kg	176275,1	2,9	511197,79
<b>TOTAL</b>					<b>855821,58</b>

**Fuente:** Elaboración Autonoma,2022

**Tabla 35. Presupuesto Estructura Convencional más Aisladores de Base**

TABLA DE DESCRIPCIÓN DE RUBROS, UNIDADES, CANTIDADES Y PRECIOS					
RUBRO	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	P.TOTAL
<b>ESTRUCTURA CONVENCIONAL+AISLADORES DE BASE</b>					
1	Hormigón f'c = 240 kg/cm <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	1419,47	212,85	302134,19
2	Hormigón f'c = 280 kg/cm <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	48	260	12480
3	Acero de Refuerzo fy = 4200 kg/cm <sup>2</sup>	Kg	15630	1,92	30009,6
4	Acero Estructural	Kg	176275,1	3,8	669845,38
5	Aisladores de Base	u	36	19824	19860
<b>TOTAL</b>					<b>1034329,2</b>

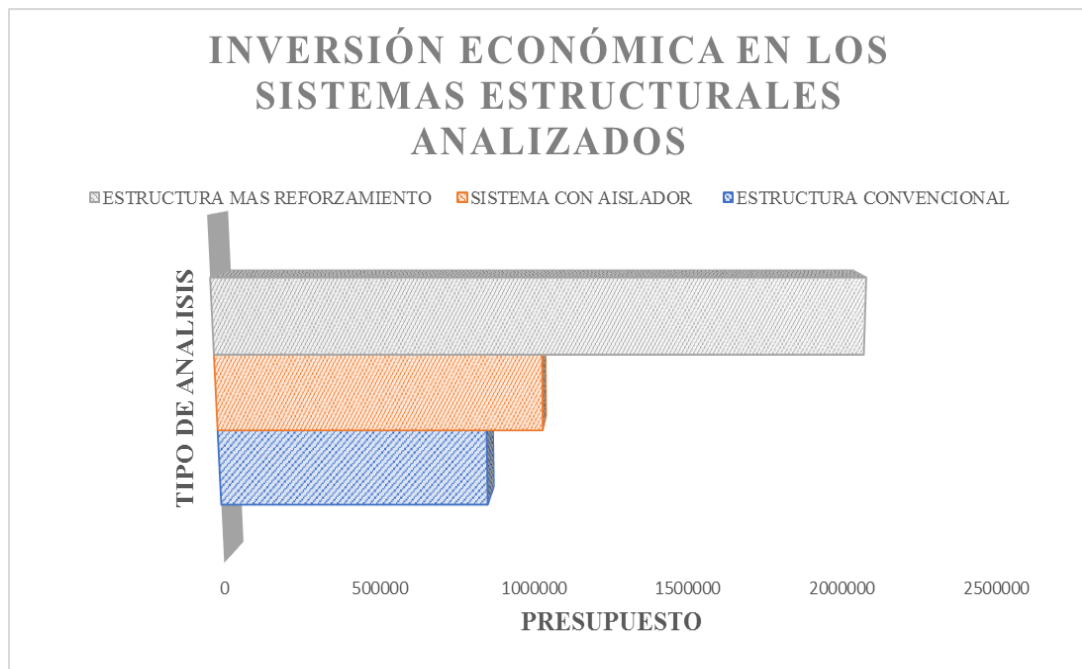
**Fuente:** Elaboración Autonoma,2022

**Tabla 36. Presupuesto Estructura Convencional más Reforzamiento Convencional**

TABLA DE DESCRIPCIÓN DE RUBROS, UNIDADES, CANTIDADES Y PRECIOS					
RUBRO	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	P.TOTAL
ESTRUCTURA CONVENCIONAL+ REFORZAMIENTO CONVENCIONAL					
1	Hormigón f'c = 240 kg/cm <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	1419,47	212,85	302134,19
2	Hormigón f'c = 280 kg/cm <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	48	260	12480
3	Acero de Refuerzo fy = 4200 kg/cm <sup>2</sup>	Kg	15630	1,92	30009,6
4	Acero Estructural	Kg	176275,1	3,8	669845,38
5	Reforzamiento Convencional (apuntalamiento derrocamiento y reconstruccion de secciones varias para el reforzamiento estructural	Global	1	1034329,57	1034330,6
<b>TOTAL</b>					<b>2048799,7</b>

**Fuente:** Elaboración Autonoma,2022

**Figura 66. Análisis comparativo de Costos de cada sistema**



**Fuente:** Elaboración Autonoma,2022



El análisis económico demuestra que una estructura que toma como método de solución el uso de aisladores de base reduce su inversión en el sistema estructural ya que son estos los encargados de disipar gran parte de la energía que ingresa al sistema mientras que si realizamos un método de reforzamiento por un método de reconstrucción convencional estaríamos utilizando el 40 % de la inversión inicial del proyecto.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES, BIBLIOGRAFÍA Y ANEXOS

#### 5.1 Conclusiones

- Al analizar la estructura, y planos estructurales: se visualizó distorsión torsional, ausencia de conexiones precalificadas, factor de importancia de la estructura igual a uno, modos de vibración insuficientes para una participación de masa mínima del 90%, ausencia de tipo losa asignada. Por lo que se ha procedió a verificar mediante un análisis lineal y un análisis no lineal estático.
  
- La estructura tiene el carácter de esencial por lo que debía ser diseñada con un factor de importancia  $I=1.5$ , adicionalmente se debe analizar las estructuras esenciales mediante un análisis no lineal para un período de retorno 2500 años tal como estipula la NEC SE DS 15. Por lo que la presente investigación determina el nivel de desempeño estructural, según lo estipulado en la Norma Ecuatoriana de la construcción vigente, en el capítulo de diseño sísmico.
  
- Al efectuar el análisis no lineal estático se visualizó que la estructura analizada en su forma actual (sin aisladores de base) para un espectro extremadamente raro: período de retorno de 2500 años según los NEC SE DS 15, presenta un nivel de desempeño es de Próxima al Colapso (CP). Por lo que se necesita implementar un sistema de reforzamiento estructural, que como mínimo permita a la estructura permanecer en un nivel de (Seguridad de Vida) LS.
  
- Se ha establecido un sistema óptimo de restructuración estructural para la edificación analizada es mediante aisladores de base LRB (Viscoelásticos con núcleo de plomo), pues no necesita tener conexiones precalificadas ni ser diseñada con parámetros de sismicidad y compacidad del AISC 341. El desafío de implementar el mencionado sistema estructura vendría dado por el sistema constructivo, razón por la cual la presente investigación plantea colocar aisladores de base como un sistema de disipación de energía.

- Al colocar los aisladores de base planteados la estructura cumple con todos los parámetros sísmicos establecidos desde un enfoque lineal, se determinó el desempeño estructural para un sismo extremadamente raro (Período de Retorno de 2500 años). Con un nivel de desempeño tras la implantación en el análisis sísmico de Ocupación Inmediata IO.
- Se ha diseñado un tipo de aislador LRB, sin embargo, se puede realizar un análisis más minucioso y colocar diversos tipos de aisladores según la demanda de cada reacción y cada columna, lo que permitiría una optimización económica en el mecanismo de disipación de energía.
- Se puede diseñar aisladores de base de otro tipo: Péndulo friccionante, doble péndulo, triple péndulo, cada aislador tiene su mecanismo de diseño, por lo que la metodología varía sin embargo ciertos parámetros se mantienen como: El  $R=1$  para el espectro de diseño DBE, la necesidad de realizar un análisis tiempo historia, la verificación del desempeño sísmico.
- Las curvas de peligro sísmico deberían ser calibradas y ampliadas para disminuir la incertidumbre ya que como se visualiza en la Figura N.18, se ha realizado un escalamiento empírico. Se recomienda a los nuevos comités de la NEC tomar los correctivos pertinentes.

## 5.2 Bibliografía

- [1] A. B. Acevedo y F. Mejía, «Características Estructurales de escuelas colombianas de hormigón reforzado con mampostería no reforzadas,» *Ing. Cienc*, vol. 13, n° 2, pp. 209-227, abr 2017.
- [2] R. Aguiar, D. Mora y M. Rodríguez, «Análisis de una estructura con disipador sometidos a espectros de diseño y control,» *Rev. Int. Métod Numér. Para Cálculo Diseño En Ing.*, vol. 33, n° 3-4, pp. 171-178, jul 2017.
- [3] R. Aguiar, B. G. E. Morales y M. Rodríguez, «Método simplificado para el análisis sistemático de estructuras con aisladores FPS de tercera generación,» *Rev. Int. Métod Numér. Para Cálculo Diseño En Ing.*, vol. 33, n° 1-2, pp. 103-109, ene 2017.
- [4] B. Sanborn, B. Song, E. Nishida y M. Knight, «Experimental Evaluation of Load-Shock Isolation Performance of Elastomers Using Frequency-Based Kolsky Beam Analyses,» *Lat. Am. J. Solids Struct*, vol. 14, n° 3, pp. 560-574, Mar 2017.
- [5] A. Barbat, Y. Vargas, L. Pujades y J. Hurtado, «Evaluación probabilista del riesgo sísmico de estructuras con base en la degradación de rigidez,» *Rev. Int. Métod Numér. Para Cálculo Diseño En Ing.*, vol. 32, n° 1, pp. 39-47, ene 2016.
- [6] L. Auerach, A. Romero y P. Galvin, «Respuesta dinámica de edificaciones por campos de ondas incidentes considerando la interacción suelo-estructuras,» *Int. Métod. Numér. Para Cálculo Diseño En Ing.*, vol. 30, n° 4, pp. 256-263, oct 2016.
- [7] J. o. U. a. E. Engineering, «ANALYZING SEISMIC ACTIVITIES DURING 2015 TO ASSESS URBAN RISK IN NEPAL HIMALAYAS USING GEOINFORMATICS,» [En línea]. Available: <https://periodicos.ufpb.br/index.php/juee/article/view/30375>. [Último acceso: 15 de febrero de 2021].
- [8] A. Hernández-Díaz, J. Cecilia y M. García-Román, «Ajuste de modelos de comportamiento de hormigón estructural mediante algoritmos evolutivos,» *Rev. Int. Métod. Numér. Para Cálculo Diseño En Ing.*, vol. 33, n° 1-2, pp. 52-57, ene 2017.
- [9] M. Molina, «Estudio numérico - experimental de la interfaz hormigón-epoxi en una estructura reforzada sometida a doble corte,» p. 15.
- [10] L. D. Pereira, V. Tavares y N. Soares, «Up-To-Date Challenges for the Conservation, Rehabilitation and Energy Retrofitting of Higher Education Cultural Heritage Buildings,» *Sustainability*, vol. 13, n° 4, ene 2021.

- [11] G. Siqueira, D. H. Tavares y P. Paultre, «Retrofitted with natural rubber insola 7, p. 14, 2018.
- [12] D. Y. S. Castellanos y D. P. Duque, «Aisladores sísmicos de base: un compen alternativas,» oct 2020. [En línea]. Available: <http://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/36948>. [Último acceso: 11 ju
- [13] O. Marques, L. Feitosa, K. Bicalho y E. Alves, «Analysis of constructive effec soil-structure interaction in tall building projects with shallow foundations on s soils,» *Rev. IBRACON Estruct. E. Mater*, vol. 14, dic 2020.
- [14] J. Hierro, A. Aznar, J. Hernando, J. d. l. Torre y J. Ortiz, «Criterios para el refi estructuras metálicas: Rehabilitación del "Círculo de Bellas Artes" y la"Casa Encendida",» *Rev. Ing. Constr*, vol. 29, n° 2, pp. 133-149, ago 2014.
- [15] P. Sacramento, M. Ferreira, D. Oliveira y G. Melo, «Punching strength of rein concrete flat slabs without shear reinforcement,» *Rev. IBRACON Estruct. E. M* 5, pp. 659-691, oct 2016.
- [16] Y. Vargas-Alzate, N. Lantada, R.González-Drigo y L. Pujades, «Seismic Risk Assessment Using Stochastic Nonlinear Models,» *Sustainability*, vol. 12, n° 4, 2020.
- [17] NEC, «Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC. 2014.,» *rev. EIA*, p. 18, d
- [18] J. Farkas and K. Jármai, “Seismic Resistant Design,” *Des. Optim. Met. Struct.*, pp. 27–32, 2008, doi: 10.1533/9781782420477.27.

## **ANEXOS**

- Los Planos se encuentran en el portal de compras públicas por parte del GAD MUNICIPALIDAD DE AMBATO el documento que es de uso público será utilizado con la única finalidad de ser utilizados como parte de nuestro proyecto de titulación respetando la propiedad intelectual del consultor.