

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO



FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL

Tema: “ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL CENTRO INTEGRAL Y CULTURAL DE LOS GOBIERNOS PARROQUIALES RURALES DE PASTAZA EN ESTRUCTURA METÁLICA CON EL USO DE AISLADORES ELASTOMÉRICOS, EN LA CIUDAD DEL PUYO, CANTÓN Y PROVINCIA DE PASTAZA”

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. Janne Carolina Velasteguí Lara

Director: Ing. Freddy Fernando Cañizares Ortega, M.Sc.

Ambato – Ecuador

2022

APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

A la Unidad Académica 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. Wladimir José Ramírez Cabrera, Mg., e Ing. Myriam Marisol Bayas Altamirano, 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: “ANALISIS DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL CENTRO INTEGRAL Y CULTURAL DE LOS GOBIERNOS PARROQUIALES RURALES DE PASTAZA EN ESTRUCTURA METÁLICA CON EL USO DE AISLADORES ELASTOMÉRICOS, EN LA CIUDAD DEL PUYO, CANTÓN Y PROVINCIA DE PASTAZA”, elaborado y presentado por la Ing. Janne Carolina Velastegui Lara, 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. Wladimir José Ramírez Cabrera, Mg.
Miembro del Tribunal de Defensa

Ing. Myriam Marisol Bayas Altamirano, 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: “ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL CENTRO INTEGRAL Y CULTURAL DE LOS GOBIERNOS PARROQUIALES RURALES DE PASTAZA EN ESTRUCTURA METÁLICA CON EL USO DE AISLADORES ELASTOMÉRICOS, EN LA CIUDAD DEL PUYO, CANTÓN Y PROVINCIA DE PASTAZA”, le corresponde exclusivamente a la Ing. Janne Carolina Velasteguí Lara, autora bajo la Dirección del Ing. Freddy Fernando Cañizares Ortega, M.Sc., Director del Trabajo de Investigación; y el patrimonio intelectual a la Universidad Técnica de Ambato.

Ing. Janne Carolina Velasteguí Lara

AUTORA

Ing. Freddy Fernando Cañizares Ortega, M.Sc.

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.

Cedo los Derechos de mi Trabajo de Titulación, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este, dentro de las regulaciones de la Universidad Técnica de Ambato.

Ing. Janne Carolina Velasteguí Lara
C.C. 1600452005

ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO

PORTADA	i
APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	iii
DERECHOS DE AUTOR	iv
ÍNDICE GENERAL.....	v
INDICE DE TABLAS	xi
INDICE DE FIGURAS.....	xii
AGRADECIMIENTO	xv
DEDICATORIA	xvi
RESUMEN EJECUTIVO.....	xvii
EXECUTIVE SUMMARY	xix
CAPÍTULO I.....	1
EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	1
1.1. Introducción.....	1
1.2. Objetivos	3
CAPÍTULO II	5
ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS.....	5
2.1. Antecedentes investigativos	5
2.2. Fundamentación teórica	7
2.2.1 Placas Tectónicas.....	7
2.2.2. Sismo	8
2.2.3. Análisis tiempo historia	8
2.2.6. Aisladores sísmicos.....	9

2.2.7. Tratamiento de Acelerogramas	11
2.2.7.1. Correcciones de los acelerogramas	12
2.2.8. Escalamiento de Acelerogramas	13
2.2.9 Ingeniería Sísmica.....	13
2.2.10 Peligrosidad sísmica.....	13
2.2.11. Espectro de Respuesta para Diseño	13
2.2.12. Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-15	14
2.2.12.1. Zonificación Sísmica y factor de zona Z	15
2.2.12.2. Categorías de importancia I	17
2.2.12.3. Ductilidad y factor de reducción de resistencia sísmica R	17
2.2.12.4. Irregularidades y coeficientes de configuración estructural	18
2.2.12.5. Determinación del periodo de vibración T	18
2.2.12.6. Tipos de suelos para diseño sísmico	19
CAPÍTULO III	21
MARCO METODOLÓGICO	21
3.1. Ubicación.....	21
3.2. Equipos y Materiales	22
3.3. Tipo de investigación	22
3.4. Prueba de Hipótesis – pregunta científica – idea a defender	23
3.5. Población o muestra	23
3.6. Recolección de información	23
3.7. Procesamiento de la información y análisis estadístico:	24
3.8. Variables de respuesta o resultados alcanzados	24
CAPÍTULO IV	25
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	25

4.1.	Modelamiento Matemático del edificio en el Software	25
4.1.1.	Planos Arquitectónicos.....	25
4.1.1.	Planos Estructurales	28
4.2.	Datos de entrada del Modelamiento	30
4.3.	Cargas y Combinaciones de Cargas.....	32
4.3.1.	Carga Viva	33
4.3.2.	Carga Muerta.....	34
4.3.3.	Cargas Sísmicas	34
4.4.	Combinaciones de Carga.....	36
4.5.	Análisis de la Estructura en Equilibrio	37
4.6.	Diseño de Aisladores Sísmicos	41
4.6.1.	Datos de entrada.....	41
4.6.2.	Calculo Iterativo.....	41
4.6.2.1.	Factor de respuesta por amortiguamiento	41
4.6.2.2.	Desplazamiento de diseño	42
4.6.2.3.	Desplazamiento máximo	42
4.6.2.4.	Rigidez total	43
4.6.2.5.	Rigidez de cada aislador	43
4.6.2.6.	área del aislador.....	43
4.6.2.7.	Capacidad inicial del aislador.....	44
4.6.2.8.	Capacidad inicial de cada aislador	44
4.6.2.9.	Área del cilindro de plomo	44
4.6.2.10.	Diámetro del cilindro de plomo.....	44
4.6.2.11.	Chequeo para diámetros impuestos	44
4.6.2.12.	Nueva capacidad del aislador acero deformación	45

4.6.2.13.	Altura de la goma	45
4.6.2.14.	Numero de capas de goma.....	45
4.6.2.15.	Nueva altura de goma.....	46
4.6.2.16.	Módulo de corte.....	46
4.6.2.17.	Factor S.....	46
4.6.2.18.	Espesor Lamina de acero.....	46
4.6.2.19.	Esfuerzo de tracción en la placa	47
4.6.2.20.	Altura total del aislador	47
4.6.2.21.	Rigidez y frecuencia vertical	47
4.6.2.22.	Rigidez post fluencia	48
4.6.2.23.	Rigidez inicial.....	48
4.6.2.24.	Desplazamiento y fuerza de fluencia.....	48
4.6.2.25.	Rigidez y frecuencia vertical	48
4.6.2.26.	Chequeo de Rigideces	49
4.6.2.27.	Frecuencia Vertical.....	49
4.6.2.28.	Verificación del periodo objetivo.....	49
4.6.2.29.	Deformación angular máxima	50
4.6.2.30.	Deformación máxima	50
4.6.2.31.	Verificación del Pandeo	50
4.6.2.31.	Verificación del Volcamiento.....	51
4.6.3.	Resultados de cálculos	52
4.6.3.1.	Resultados de cálculos.....	52
4.6.3.2.	Resultados para el ingreso al Software.....	52
4.6.4.	Modelación de aisladores en el software	53
4.7.	Resultados	58

4.7.1. Estructura sin aislación con análisis dinámico no lineal tiempo historia	58
4.7.1.1. Periodos de vibración de la Estructura sin aislación con análisis dinámico no lineal tiempo historia	58
4.7.1.2. Desplazamientos de la Estructura sin aislación con análisis dinámico no lineal tiempo historia	60
4.7.1.3. Derivas de la Estructura sin aislación con análisis dinámico no lineal tiempo historia	61
4.7.1.4. Disipación de Energía de la Estructura sin aislación con análisis dinámico no lineal tiempo historia	62
4.7.1.5. Aceleraciones Absolutas de la Estructura sin aislación con análisis dinámico no lineal tiempo historia.....	63
4.7.1.6. Resultados de la Estructura sin aislación con análisis dinámico no lineal tiempo historia	63
4.7.2. Estructura con aislación con análisis dinámico no lineal tiempo historia	65
4.7.2.1. Periodos de vibración de la Estructura con aislación con análisis dinámico no lineal tiempo historia	65
4.7.2.2. Desplazamientos de la Estructura con aislación con análisis dinámico no lineal tiempo historia	67
4.7.2.3. Derivas de la Estructura con aislación con análisis dinámico no lineal tiempo historia	68
4.7.2.4. Disipación de Energía de la Estructura con aislación con análisis dinámico no lineal tiempo historia	69
4.7.2.5. Aceleraciones Absolutas de la Estructura con aislación con análisis dinámico no lineal tiempo historia.....	70
4.7.2.6. Resultados de Estructura con aislación sísmica en análisis dinámico no lineal tiempo historia	70
4.7.3. Comparación de Resultados estructura con aislación y sin aislación.	72
4.7.3.1. Periodos de vibración de una estructura sin aislación y con aislación.	72

4.7.3.2. Desplazamientos de una estructura sin aislación y con aislación.....	73
4.7.3.3. Derivas de una estructura sin aislación y con aislación.....	74
4.7.3.4. Aceleraciones de una estructura sin aislación y con aislación.....	76
4.7.3.6. Cortante Basal de una estructura sin aislación y con aislación.....	78
4.7.3.7. Sobretenión de una estructura sin aislación y con aislación.	79
CAPÍTULO V.....	80
CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES, BIBLIOGRAFÍA Y ANEXOS	80
5.1. Conclusiones	80
5.2. Recomendaciones	81
5.3. Bibliografía.....	82

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Zona Sísmica y Factor Z	16
Tabla 2 Valores de Importancia I.....	17
Tabla 3 Coeficiente de Reducción de Respuesta Estructural R	17
Tabla 4 Estructuras con muros estructurales de hormigón armado o mampostería estructural (con $\alpha =1$)	18
Tabla 5 Tipo de suelo.....	19
Tabla 6 Tipo de suelo y factor de sitio F_a	19
Tabla 7 Tipo de suelo y Factor de sitio F_d	19
Tabla 8 Tipo de suelo y Factor de comportamiento inelástico del subsuelo F_s	20
Tabla 9 Propiedades de los Materiales.....	30
Tabla 10 Sección de elementos estructurales.....	30
Tabla 11 Secciones de Placa	31
Tabla 12 Cargas Consideradas	33
Tabla 13 Carga Viva por metro cuadrado	33
Tabla 14 Espectro de Diseño NEC.....	34
Tabla 15 Participación Modal de la Masa.....	37
Tabla 16 Derivas	39
Tabla 17 Reacciones en la base.....	40
Tabla 18 Datos de entrada para diseño del aislador	41
Tabla 19 Factores de modificación de respuesta por amortiguamiento, B_D y B_M	41
Tabla 20 Datos obtenidos del cálculo para el diseño de aislador.....	52
Tabla 21 Datos obtenidos del cálculo para el diseño de aislador.....	52
Tabla 22 Periodos de vibracion con Analisis no lineal tiempo historia estructura sin asilación.....	58
Tabla 23 Resultados de Desplazamientos del Analisis Tiempo historia Sentido X	60
Tabla 24 Resultado de desplazamientos del análisis Tiempo Historia Sentido Y	61
Tabla 25 Resultado Derivas de piso Análisis tiempo Historia.....	61
Tabla 26 Aceleraciones por piso	63
Tabla 27 Resultados Analisis no lineal tiempo historia estructura sin asilación	63

Tabla 28 Periodos de vibracion con Analisis no lineal tiempo historia estructura con asilación.....	65
Tabla 29 Resultados de Desplazamientos del Analisis Tiempo historia Sentido X	67
Tabla 30 Resultado de desplazamientos del análisis Tiempo Historia Sentido Y	68
Tabla 31 Resultado Derivas de piso Análisis tiempo Historia.....	68
Tabla 32 Aceleraciones por piso	70
Tabla 33 Resultados Analisis dinamico no lineal Tiempo historia estructura con aislacion.....	70
Tabla 34 Analisis Comparativo de los Periodos de Vibración	72
Tabla 35 Análisis comparativo Desplazamiento.....	73
Tabla 36 Analisis comparativo de derivas de piso.....	74
Tabla 37 Analisis comparativo de Acelaraciones	76
Tabla 38 Analisis comparativo del Cortante Basal.....	78
Tabla 39 Analisis comparativo de la Sobretension	79

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Aislador de cuacho natural con nucelo de plomo, LASTO-LRB.....	11
Figura 2 Acelerograma.....	11
Figura 3 Acelerograma corregido	12
Figura 4 Espectro de respuesta elastico	15
Figura 5 Mapa Zonas Sismicas y valor de factor de zona Z.....	16
Figura 6 Ubicación del Proyecto.....	21
Figura 7 Planta Arquitectonica Fachada Frontal.....	25
Figura 8. Detalle planta baja de edificio	26
Figura 9. Detalle de Planta Nv. +3.00 al Nv. +18.66.....	27
Figura 10 Planta Estructural Nivel de Cimentación.....	28
Figura 11 Planta Estructural Nivel +3.24; +18.66	29
Figura 12 Sección del Elemento estructural Columna.....	31
Figura 13 Sección Elemento estructural Vigas Metálicas Tipo I.....	31
Figura 14 Detalle Estructural de Placa.....	32

Figura 15 Espectro de Diseño	36
Figura 16 Primer Modo de Vibración de la Estructura	38
Figura 17 Detalle de Aislador calculado	53
Figura 18 Ingresar Datos del Aislador calculados	53
Figura 19 Ingresar Datos del Aislador dirección U1	54
Figura 20 Ingreso datos del Aislador dirección U2	54
Figura 21 Ingreso datos del aislador en dirección U3.....	55
Figura 22 Añadir una nueva Propiedad.....	55
Figura 23 Visualización en 3D de los Aisladores en su base.....	56
Figura 24 Escalamiento del Acelerograma Promedio en dirección Este X	57
Figura 25 Escalamiento del Acelerograma en sentido Norte Y	57
Figura 26 Primer modo de vibracion en la dirección Y	59
Figura 27 Segundo modo de vibracion en la dirección X.....	59
Figura 28 Tercer modo de vibracion en la dirección Z.....	60
Figura 29 Disipación de Energia.....	62
Figura 30 Resultado Tiempo Historia sentido X.....	64
Figura 31 Resultados Timpo Historia Sentido Y	64
Figura 32 Primer modo de vibracion en la dirección Y	66
Figura 33 Segundo modo de vibracion en la dirección X.....	66
Figura 34 Tercer modo de vibracion en la dirección Z.....	67
Figura 35 Disipación de Energia.....	69
Figura 36 Resultados Tiempo Historia Sentido X	71
Figura 37 Resultados Timpo Historia Sentido Y	71
Figura 38 Comparativo Desplazamientos sentido X.....	73
Figura 39 Comparativo Desplazamientos sentido Y.....	74
Figura 40 Comparativo derivas de piso maximas en el sentido X.....	75
Figura 41 Comparativa derivas de piso sentido Y	76
Figura 42 Analisis comparativo de aceleraciones por piso en el sentido X.....	77
Figura 43 Analisis comparativo de Aceleraciones por piso en el sentido Y.....	77
Figura 44 Comparativo Cortante Basal en el Sentido X.....	78
Figura 45 Comparativo Cortante Basal en el sentido Y.....	78

Figura 46 Comparativa de la Sobretensión en el sentido X.....	79
Figura 47 Comparativa de la Sobretensión en el sentido Y	79

AGRADECIMIENTO

Agradezco a DIOS por la vida y por haberme permitido alcanzar este triunfo que se ve reflejado gracias al esfuerzo de toda mi familia.

A todo el personal docente y administrativo de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, porque me permitieron ser parte de esta bella Institución, a todos los docentes que fueron mi fuente de conocimientos, compartiendo gran parte de sus enseñanzas y experiencias.

Hago hincapié con un agradecimiento especial al Ing. Fernando Cañizares Ortega M.Sc, mi tutor, y de igual manera al Ing. Carlos Navarro M.Sc. Director de Posgrado, por su profesionalismo, ayuda y su valioso aporte brindado, para el desarrollo del presente trabajo.

Finalmente, mi gratitud a esos compañeros de aprendizaje que, en el día a día hemos fortalecido nuestra amistad además que nuestro profesionalismo.

DEDICATORIA

Dedico esta obra principalmente a mi Hijo Christian Nyel por ser la inspiración de superación personal como profesional dándome la fuerza emocional para poder concluir cada meta propuesta, además dedicarle este trabajo a mi compañero de vida quien día a día me ha brindado su apoyo de inicio a fin, de igual forma a mis padres por haberme dado la vida y permitirme llegar hasta este momento tan importante de mi formación profesional.

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

TEMA:

“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL CENTRO INTEGRAL Y CULTURAL DE LOS GOBIERNOS PARROQUIALES RURALES DE PASTAZA EN ESTRUCTURA METÁLICA CON EL USO DE AISLADORES ELASTOMÉRICOS, EN LA CIUDAD DEL PUYO, CANTÓN Y PROVINCIA DE PASTAZA”

AUTORA: Ing. Janne Carolina Velasteguí Lara

DIRECTOR: Ing. Freddy Fernando Cañizares Ortega, M.Sc.

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Ingeniería, Industria y Construcción.

FECHA: Septiembre, 2022

RESUMEN EJECUTIVO

El presente trabajo de investigación, realiza un análisis del comportamiento estructural de un edificio de seis pisos en estructura metálica con el uso de aisladores sísmicos elastoméricos de base, con el cual nos permite realizar un análisis comparativo del comportamiento estructural mediante los periodos de vibración que influyen directamente en las derivas de piso como desplazamientos, de una estructura aislada como no aislada. Se realizó previo al análisis de varias probabilidades de estructuración, buscando que la estructura cumpla con los requisitos mínimos sismo resistente sugerido por la Norma Ecuatoriana de la Construcción “NEC 15”, así como la Normas Técnicas complementarias para Diseño por Sismo, “NTC-DS-2017”, la Norma Chilena “NCH-2745”, el código American Institute of Steel Constructions “AISC 341-16” y la Norma American Society of Civil Engineers “ASCE 7-16, ASCE 41-13, que, por sus características de diseño planteado, brindan seguridad sismo resistente.

El modelo matemático para el cálculo se realizó en base a las características de los planos arquitectónicos y estructurales, realizando una estructura estabilizada obteniendo derivas

de piso y desplazamientos acordes con las exigencias de las recomendaciones de la NEC-15, por consiguiente, se realizó la aislación sísmica mediante el predimensionamiento y diseño de los aisladores de base elastoméricos con núcleo de plomo tipo LRB. Posteriormente se ingresaron los acelerogramas escalados al modelo estructural del software, con el objetivo de establecer un análisis dinámico no lineal tiempo historia y para obtener un análisis real de la estructura se realizó un análisis estático no lineal. Con los datos ingresados al software se obtuvieron resultados para una edificación sin aislación, entre estos se dan: periodos de vibración, desplazamientos, derivas de piso, cortante basal, aceleraciones, sobretensión de la estructura y balances de energía; de igual forma se implementó la aislación sísmica de base en el cual se obtuvieron los resultados esperados, para así realizar un análisis comparativo de una estructura con y sin aislación.

Descriptores: acelerograma escalado, aceleraciones, aisladores elastoméricos, comportamiento estructural, estructura metálica, estructura sismorresistente, deriva de piso, sismo de diseño, peligrosidad sísmica y sobretensión estructural.

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

THEME:"ANALYSIS OF THE STRUCTURAL BEHAVIOR OF THE INTEGRAL AND CULTURAL CENTER OF THE RURAL PARISH GOVERNMENTS OF PASTAZA IN METALLIC STRUCTURE WITH THE USE OF ELASTOMERIC INSULATORS, IN THE CITY OF PUYO, CANTON AND PROVINCE OF PASTAZA".

AUTHOR: Ing. Janne Carolina Velasteguí Lara

DIRECTED BY: Ing. Freddy Fernando Cañizares Ortega M.Sc.

LINE OF RESEARCH: Earthquake Resistant Engineering- Base Insulators.

Date: September, 2022

EXECUTIVE SUMMARY

The present research work performs an analysis of the structural behavior of a six-story building in metallic structure with the use of elastomeric seismic base isolators, which allows us to perform a comparative analysis of the structural behavior through the vibration periods that directly influence the floor drifts as displacements, of an isolated and non-isolated structure. It was performed prior to the analysis of several structural probabilities, seeking that the structure complies with the minimum seismic resistant requirements suggested by the Ecuadorian Construction Standard "NEC 15", as well as the Complementary Technical Standards for Earthquake Design, "NTC-DS-2017", the Chilean Standard "NCH-2745", the American Institute of Steel Constructions "AISC 341-16" code and the American Society of Civil Engineers "ASCE 7-16, ASCE 41-13, which, by their design characteristics, provide seismic resistant safety.

The mathematical model for the calculation was made based on the characteristics of the architectural and structural drawings, making a stabilized structure obtaining floor drifts and displacements in accordance with the requirements of the NEC-15 recommendations, consequently, the seismic isolation was made through the pre-dimensioning and design of the elastomeric base isolators with lead core type LRB. Subsequently, the scaled

accelerograms were entered into the structural model of the software, in order to establish a nonlinear dynamic time-history analysis and to obtain a real analysis of the structure, a nonlinear static analysis was performed. With the data entered into the software, results were obtained for a building without isolation, including: vibration periods, displacements, floor drifts, basal shear, accelerations, overvoltage of the structure and energy balances; likewise, the basic seismic isolation was implemented in which the expected results were obtained, in order to perform a comparative analysis of a structure with and without isolation.

Descriptors: scaled accelerogram, accelerations, elastomeric isolators, structural behavior, metallic structure, seismic-resistant structure, floor drift, design earthquake, seismic hazard and structural overvoltage.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL CENTRO INTEGRAL Y CULTURAL DE LOS GOBIERNOS PARROQUIALES RURALES DE PASTAZA EN ESTRUCTURA METÁLICA CON EL USO DE AISLADORES ELASTOMÉRICOS, EN LA CIUDAD DEL PUYO, CANTÓN Y PROVINCIA DE PASTAZA”

1.1. Introducción

La acción sísmica sobre estructuras de gran importancia, por su magnitud de daños y fallas que ocasionan grandes pérdidas económicas y humanas, puesto que, en Ecuador por ubicarse geográficamente en el cinturón de fuego del Pacífico, es un país catalogado de alto riesgo sísmico, una metodología actual para contrarrestar estos tipos de riesgo es la utilización de aisladores de base elastomericos para disipar energía mediante de la utilización del control sísmico.

Este proyecto presenta el diseño de una edificación en estructura metálica en la ciudad del puyo, con el uso de aisladores elastomericos en la base, el cual debe cumplir con los requerimientos establecidos en la en la norma Ecuatoriana de la Construcción “NEC 11” (sección Peligro Sísmico, Diseño Sismo Resistente). El desarrollo de este procedimiento también se puede replicar en otras edificaciones de similares características.

El propósito de este trabajo de investigación es proveer a proyectistas como estudiantes de una guía investigativa-practica en aislamiento sísmicos elastomericos de base, con obtención de resultados de programa ETABS, comparando las diferencias que existen entre las estructuras con y sin aislación.

1.1.Justificación

La implementación del aislamiento de base como medida de protección ante la acción sísmica ha experimentado un enorme desarrollo a nivel mundial, particularmente en países como Nueva Zelanda, Estados Unidos y Japón. Contrario a lo que sucede en Ecuador, donde su desarrollo ha sido limitado. [1]

Ecuador es un país afectado permanentemente por la acción de los sismos, por encontrarse en una de las zonas de contacto de placas tectónicas más activas del mundo el Cinturón de Fuego del Pacífico se halla en un constante riesgo sísmico, entre los sismos con intensidad igual o mayor a VIII (escala de Mercalli), el Ecuador ha sufrido grandes pérdidas humanas y materiales a lo largo del tiempo, dejando en la población un impacto devastador a su paso, sin embargo, podemos decir que la gran mayoría de las pérdidas humanas y materiales no son producidas por el mecanismo del sismo, si no debido a las fallas que ocurren por las estructuras realizadas por el hombre (edificios, puentes, presas, etc.) [2]

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 el objetivo de la investigación radica en el diseño de un edificio en estructura metálica con aisladores elastómeros, para mejorar el comportamiento de la estructura y comparar las diferencias que existen entre las estructuras con y sin aislación.

En general una estructura aislada es al menos cinco veces más segura que una estructura convencional fija al suelo, de hecho, los esfuerzos producidos por el sismo en la estructura con aislación son del orden de diez veces más pequeños que los de una estructura análoga fija al suelo según los estudios realizados en países vecinos (Chile). Esta reducción de esfuerzos es la que provoca que la estructura permanecerá sin daño incluso durante un sismo de grandes proporciones, esto se traduce a la obtención de estructuras sismo-resistentes lo que influye directamente en la seguridad de sus usuarios y por ende de la población en general. [1]

Por lo cual el objetivo de la investigación radica en el diseño de un edificio en estructura metálica con aisladores elastómeros, para mejorar el comportamiento de la estructura y comparar las diferencias que existen entre las estructuras con y sin aislación.

El objetivo fundamental del diseño estructural frente a solicitaciones sísmicas es el de mantener la respuesta estructural dentro de límites marcados por la seguridad, servicio y confort humano.

Por lo cual se propone realizar este trabajo de titulación ya que abarcará el diseño de un edificio en estructura metálica sismorresistente gracias a la aplicación de aisladores sísmicos elastoméricos de base, aportando grandes resultados y un aumento en su demanda, además se proveerá al proyectista como estudiante de una herramienta útil en el conocimiento y estudio de aislamientos sísmicos de base, lo cual dará una ayuda al entendimiento sobre el diseño de estructuras sismo resistentes.

Además, se puede constatar que las implicaciones influyen en la seguridad, puesto que al diseñar estructuras sismo-resistentes influye directamente a la seguridad del usuario y por ende a la población en general, en vista que las nuevas exigencias internacionales no solo están direccionadas a salvaguardar vidas humanas y evitar el colapso de la estructura sino va más allá y exige que los daños estructurales sean mínimos.

1.2. Objetivos

1.2.1. General

Realizar un diseño analítico del comportamiento de los aisladores elastoméricos, considerando un edificio en elementos de estructura metálica el cual se encuentra ubicado en la ciudad del puyo.

1.2.2. Específicos

- Estudiar el comportamiento que tienen los aisladores tipo elastoméricos ubicados a nivel de planta baja de un edificio y su respuesta frente a fuerzas sísmicas.

- Analizar el comportamiento estructural entre la estructura con aislación y sin aislación, frente a las fuerzas sísmicas establecidas en la normativa vigente prevista para la ciudad del puyo.

CAPÍTULO II

ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

2.1. Antecedentes investigativos

A través de la historia el planeta ha venido experimentando un sin número de movimientos, un sismo es el movimiento brusco de la corteza terrestre debido a la liberación de energía acumulada por movimientos relativos entre fallas de placas tectónicas, Ecuador por estar localizado en el cinturón de fuego del Pacífico es un país de alto riesgo sísmico.

Nuestro País al encontrarse entre las zonas de mayor peligro sísmico, se debe tomar muy en cuenta la aplicación de la norma Ecuatoriana de la Construcción sección Peligrosidad Sísmica, donde se busca disminuir cualquier catástrofe que pueda generar el sismo en la estructura, con lo cual se plantea un adecuado diseño sismo-resistente cumpliendo con la prevención de daños en elementos estructurales como no estructurales, poder anticipar que estos daños no sean graves y poder controlarlos, y evitar el colapso de la estructura salvaguardando la vida de los ocupantes y aledaños. Para lo cual el diseño sismo-resistente deberá tener la capacidad de resistir fuerzas especificadas por la Norma Ecuatoriana de La Construcción [3], como resultado del diseño las derivas de piso ante cargas deberán ser inferiores o admisibles.

Durante las últimas décadas se ha considerado la aplicación de aislación sísmica como una salida al diseño sismo resistente de estructuras especialmente en aquellos que buscan un mejor desempeño sísmico, el buen desempeño que las estructuras aisladas han presentado durante algunos sismos mundialmente conocidos, abalan y justifican los beneficios de esta alternativa en cuanto a priorizar y aumentar considerablemente el nivel de seguridad para los ocupantes como la estructura misma después de un sismo.

La primera edificación que presento Aislación sísmica fue el Partenon en el año 440 A.C. en este se presentaba que las columnas podían moverse verticalmente lo que le permitía tener una rotación en su base para así poder disipar energía mediante la fricción y

deformación inelástica de un elemento de plomo que se lo coloco como protección de los elementos de madera, lo cual muestra que a través del tiempo han existido estructuras con aislamiento sísmico talves en el presente visto de forma primitiva pero que esta acorde a la tecnología existente de la época. [4]

En la actualidad por medio de investigaciones se ha demostrado la eficiencia de la utilización del método de aislamiento sísmico como una solución sismorresistente, y numerosos dispositivos de aislamiento se encuentran disponibles en el mercado nacional e internacional para su implementación en la práctica. [5]

Oviedo et al, presenta un compendio del tema de los sistemas de control de respuesta sísmica en edificaciones, además de presentar ejemplos de los tipos de dispositivos comerciales más usados en el mundo para el control de respuesta sísmica de edificaciones, dando así un temario aplicado para relacionar sistemas de control de respuesta sísmica con el tipo de energía que disipan, el cual provee una extensa información de los distintos aisladores de base.[6]

A través de investigaciones realizadas para la optimización de un diseño basado en la confiabilidad del aislamiento de base adaptado a un sistema para mejorar el comportamiento sísmico de las estructuras, nos muestra el rendimiento sísmico significativo en mejora de estructuras de base aisladas, analizando parámetros críticos de diseño como variación de la deriva entre pisos de estructura con estos dispositivos, gracias a este sistema se logra disminuir significativamente en comparación con el de la estructura, así mismo la seguridad de la deflexión de la capa de aislamiento de base optimizada aumenta en un 15% de la que no es optimizada, de igual forma aumenta la capacidad de resistencia y la disipación de energía mejorando el sistema de aislamiento en un 100% con la utilización de estos sistemas de aislamiento sísmico. [7]

Proaño et al, manifiesta que para el análisis: El diseño esta acogido a la norma vigente [3], que tiene mayores exigencias respecto al diseño sismo-resistente, y varios criterios sobre los aisladores sísmicos de base, la sistemática aplicada para analizar que aislador de base

da mayor resultado para desplazamientos y fuerza de corte basal, el cual será un punto clave para el desarrollo de mi normativa y referenciación de cálculos, además que realiza una evaluación del diseño en el software etabs.[8].

De acuerdo a los últimos avances científicos se ha visto un gran desarrollo científico y tecnológico, ya que actualmente han evolucionado los procesos constructivos con aisladores sísmicos, ya que estos cuentan con equipos sofisticados y seguros, apoyados y sustentados por nomenclatura teórica y experimental que garantiza el buen uso de los aisladores de base.

En nuestro País se ha dado un paso gigante en la construcción de edificaciones ya que se han implementado construcciones de gran envergadura que poseen aislación sísmica claro ejemplo son la Torre The Point siendo este el edificio mas alto de la Ciudad de Guayaquil y el Puente carrozable que une Bahía de Caráquez con San Vicente, siendo así que nuestro país ha empezado con construcciones sismo resistentes utilizando aislación sísmica.

2.2. Fundamentación teórica

2.2.1 Placas Tectónicas.

Según, F. Romero et al, manifiesta que existía un continente denominado Pangea hace 225 millones de años el mismo que se fragmento hasta convertirse en los continentes actuales, invadiendo así el agua en las zonas bajas y cambiando la apariencia de la Tierra a lo que se conoce actualmente. Además de esto ha sido muy complicado de demostrar que las placas tectónicas continúan moviéndose hoy en día, mostrando un desplazamiento muy lento y una medición inexacta; con la llegada de la era espacial y los avances tecnológicos se ha podido constatar que todavía existe una tectónica de placas es decir continúan en constante movimiento. [9]

Ademas M. Fernandez, G. Maguregi, C. Marquez y N. Sanmartí, indican que las placas tectónicas son placas que se ubican por debajo de la corteza terrestre, lo que indica que

la corteza terrestre no es un solo cuerpo con la placa, sino que esta se localiza encima., las placas son fijas y se localizan en diversos puntos de la tierra, es por esto que existe mayor probabilidad de que se produzca un terremoto en algunos lugares que en otros. Los lugares que tengan las placas más cercanas y con más movimientos serán los que más probabilidades tengan de sufrir un terremoto. [10]

2.2.2. Sismo

A. Cassano et al, manifiesta que los terremotos o sismos se producen por los movimientos de la corteza terrestre con amplitudes y frecuencias que dependen del tiempo. Los terremotos más fuertes o peligrosos son los tectónicos ya que estos traen consecuencias devastadoras para las estructuras ya que estos son causados por las roturas briscas de las capas rocosas a lo largo de la superficie de fractura más comúnmente conocidas como fallas, con este tipo de sismo son los tomados en cuenta para las elaboraciones de las normas de estructuras sismo resistentes.

La escala de medición más popular para determinar la magnitud de un sismo es la de Richter, ya que esta mide la energía del terremoto en el foco y es el logaritmo decimal de la amplitud del movimiento sísmico el cual se mide en micrones del epicentro. [11]

2.2.3. Análisis tiempo historia

El análisis tiempo historia consiste en calcular la respuesta dinámica de una edificación en diferentes intervalos de tiempo, utilizando acelerogramas y registros de los mismos, es decir constituye un análisis de la respuesta dinámica de la estructura en cada incremento de tiempo, cuando la base de la misma esta sujeta a un acelerograma específico. [3]

Con el análisis tiempo historia lineal podemos sacar conjeturas de cuanto podrá resistir una estructura y por cuanto tiempo esta permanece en estado de fluencia siempre y cuanto conozcamos en un punto mencionado. Por ser lineal este análisis las condiciones de la estructura no cambiarán conforme va pasando el tiempo, por ello, aunque conozcamos el

tiempo del desplazamiento máximo, si este está después del punto de fluencia será engañoso y posiblemente el punto de fluencia encuentre antes.

Además el análisis paso a paso en el tiempo se realizaran utilizando las dos componentes horizontales de registros de acelerogramas apropiadamente seleccionados y escalados a partir de los registros de no menos de 3 eventos sísmicos [3]

2.2.6. Aisladores sísmicos

Según F. Benites y E. Vargas, indican que los aisladores sísmicos disminuyen las aceleraciones y desplazamientos de una estructura debido a que la independización que se produce entre la base aislada y la superestructura, en el cual se muestran los resultados de la comparación del desempeño sísmico y análisis de consecuencias que se producen al implementar estos dispositivos, lo que nos da como resultado que un sistema aislado aporta una eficiencia dentro del desempeño sísmico disminuyendo los daños estructurales en edificaciones, pérdidas de vidas y tiempos de inhabilitación ante un sismo. [12]

Los aisladores sísmicos de base son alternativas para los sistemas tradicionales para así controlar la deformación lateral y daños sísmico en edificaciones, dándole a la estructura un mayor nivel de seguridad a los elementos estructurales además de los no estructurales y así a la operatividad del mismo.

Además R. Aguiar y J. Salazar, muestran que las estructuras y edificaciones que poseen aisladores de base han demostrado que tienen un gran comportamiento sísmico ante la presencia de terremotos o sismos muy fuertes debido a que los aisladores implantados disipan la energía sísmica y trabajan como una especie de filtro el cual disminuye las aceleraciones y el contenido de frecuencia que ingresa a la estructura. [13]

Según A. Verma, A. Gupta y B. Nath, indican que los edificios con aislación de base dan mayor flexibilidad horizontal y capacidad de disipación de energía, además de reducir la intensidad del terremoto y las pérdidas de vida, lo que reduce directamente la intensidad del daño tanto del edificio como de los ocupantes. La aislación sísmica es útil para

controlar la energía que pasa desde los cimientos o el suelo hasta los pisos superiores, siendo la principal función la disminución de desplazamientos y derivas de piso. [14]

El uso de los aisladores tiene como objetivo fundamental reducir considerablemente las deformaciones laterales de una edificación durante el sismo ya que las mismas van a ser absorbidas por el aislador, por lo cual la reducción de las fuerzas sísmicas se produce por la selección del periodo objetivo y por el amortiguamiento que poseen estos dispositivos, por lo que son efectivos para el diseño de estructuras en zonas sísmicas. [15]

Para este trabajo investigativo se aplicara el uso de los aisladores elastomericos con núcleo de plomo LRB, estos aisladores fueron desarrollados y usados en Nueva Zelanda, estos aisladores poseen un núcleo de plomo que le proporciona una capacidad adicional de disipar energía y le brinda una rigidez inicial un poco mas alta respecto a los anteriores, disminuyendo los desplazamientos para pequeños sismos y fuerzas de viento que actúen sobre la estructura. El comportamiento del aislador depende de la fuerza lateral que se impone, si la fuerza es muy pequeña será asumida por el núcleo de plomo y el sistema tendrá una alta rigidez, cuando la carga lateral se aumenta, el núcleo de plomo se deforma y empieza a fluir; el comportamiento histerético se genera con la energía disipada por el núcleo de plomo, como consecuencia la rigidez lateral del sistema disminuye. El amortiguamiento generalmente se encuentra entre el 15% y el 35%. En su proceso de fabricación, es necesario que el hueco realizado en el caucho sea más pequeño que el diámetro del elemento de plomo, para que éste sea forzado a entrar. Esta característica garantiza la uniformidad del bloque y la consiguiente deformación por cortante de todo el volumen del núcleo de plomo. La plastificación del núcleo de plomo garantiza elevados valores de amortiguamiento, que originan, no sólo menores desplazamientos de la superestructura, sino también mayor rigidez lateral del tablero para niveles bajos de acciones horizontales. La tensión de cedencia a cortante del núcleo de plomo es de, aproximadamente, 10MPa sobrepasado este valor, la rigidez del dispositivo es la rigidez del caucho. Este comportamiento es excelente, incluso a bajas temperaturas, pues el caucho presenta buenas características de resistencia a fatiga bajo estas condiciones. La

rigidez inicial del aparato LRB es cerca de 10 veces superior a la rigidez poselástica, resultante de la cadencia del núcleo de plomo. [16]

Figura 1 Aislador de cuacho natural con nucelo de plomo, LASTO-LRB

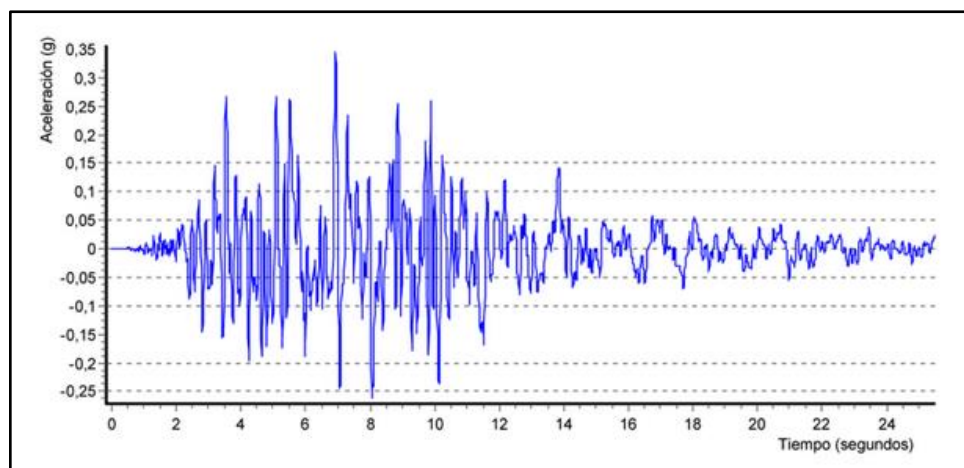


Fuente: Artículo Científico [16]

2.2.7. Tratamiento de Acelerogramas

Para obtener valores lo más exactos posibles de las aceleraciones que se producen durante un sismo en el lugar de registro, es primordial realizar un procesamiento de los registros ya que estos datos que se obtienen en campo están en formato binario que son datos obtenidos del acelerógrafo para lo cual es concerniente realizar una conversión de los mismos. Estos acelerogramas obtenidos presentan una serie de errores que deberán ser corregidos para que el mismo sea apto para ser utilizado en calculo estructural. [17]

Figura 2 Acelerograma



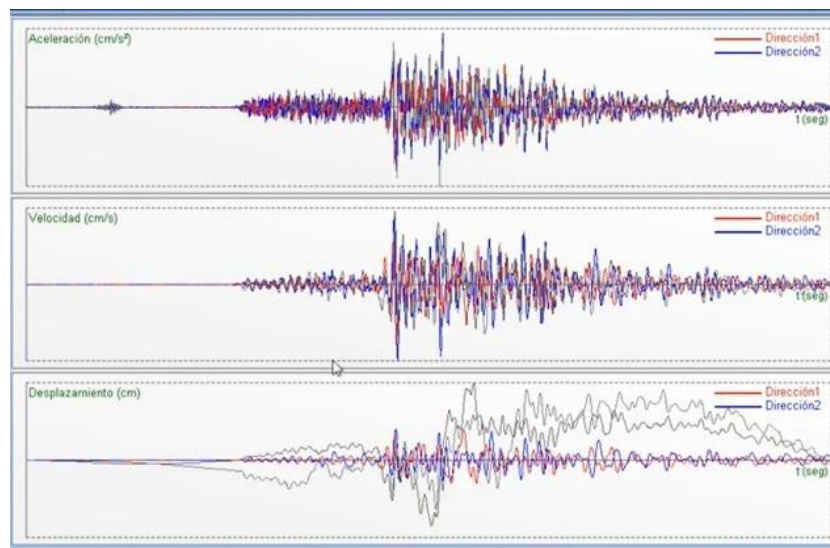
Fuente: Artículo Científico [17]

2.2.7.1. Correcciones de los acelerogramas

Como puedes ver, ambos gráficos resultantes son muy similares, pero nos entregan información muy diferente con respecto a los sismos. Los dos tipos de equipos se complementan y ambos son necesarios para caracterizar bien un evento. Los sismógrafos nos ayudan en gran parte a la caracterización del evento en sí, mientras que los acelerógrafos nos permiten entender de mejor manera cómo se comporta la tierra en lugares cercanos al sismo y caracterizar la vulnerabilidad de las estructuras, lo que ayuda a los ingenieros a generar construcciones sismo-resistentes, es decir, construcciones que resistan los eventos sísmicos.

La corrección de la línea base o corrección de ceros, se le realiza para que los valores de acelerogramas se encuentren desplazados respecto a la línea de cero de aceleración. Este error puede ocurrir porque el acelerógrafo no este perfectamente nivelado en su desplazamiento o bien por el sistema de registro provoque una deriva de los datos respecto a la línea base, estos errores son inapreciables en la aceleración, pero es muy importante cuando se obtienen la velocidad y el desplazamiento por integración ya que se contabiliza el área que existe entre la curva de aceleración y la línea base. [17]

Figura 3 Acelerograma corregido



Fuente: Artículo Científico [17]

2.2.8. Escalamiento de Acelerogramas

Según S. Chan, S. Ruiz y M. Montiel, nos revelan que los criterios de escalamiento de acelerogramas están relacionados con el comportamiento que presenta las edificaciones ante un sismo, las características que se toman en cuenta son la demanda de ductilidad, el amortiguamiento, y el periodo fundamental de la estructura. [18]

Los espectros dependen del acelerograma y este de su magnitud del registro sísmico, tipo de suelo, por lo cual es difícil que un espectro de respuesta sea parecido a un espectro de diseño dentro de un determinado rango de periodos. Por lo cual la manera de lograr que se asemejen los espectros dentro del rango de interés es mediante un escalamiento de sismos, siendo este un método conservador y el que se empleará en este trabajo. [3]

2.2.9 Ingeniería Sísmica

De acuerdo a investigaciones la ingeniería sísmica intenta resolver y comprender los fenómenos que se producen, el comportamiento de los materiales la dinámica de las estructuras resistentes naturales o artificiales y, a partir del conocimiento elaborar diseños que disminuyan los peligros y riesgos hasta niveles aceptados por la sociedad. [19]

2.2.10 Peligrosidad sísmica

La peligrosidad sísmica se entiende como la probabilidad de excedencia de un valor de la intensidad del movimiento del suelo producido por sismos, en un lugar determinado y por un periodo de tiempo dado. [20]

2.2.11. Espectro de Respuesta para Diseño

Representa la amenaza o el peligro sísmico, y más específicamente la respuesta de la estructura al sismo. El espectro de diseño puede representarse mediante un espectro de respuesta basado en las condiciones geológicas, tectónicas, sismológicas y del tipo de

suelo asociadas con el sitio de emplazamiento de la estructura, o bien puede ser un espectro construido según los requerimientos especificados en una norma.

Es un espectro de tipo elástico para una fracción de amortiguamiento respecto al crítico del 5%, utilizado con fines de diseño para representar los efectos dinámicos del sismo de diseño. [3]

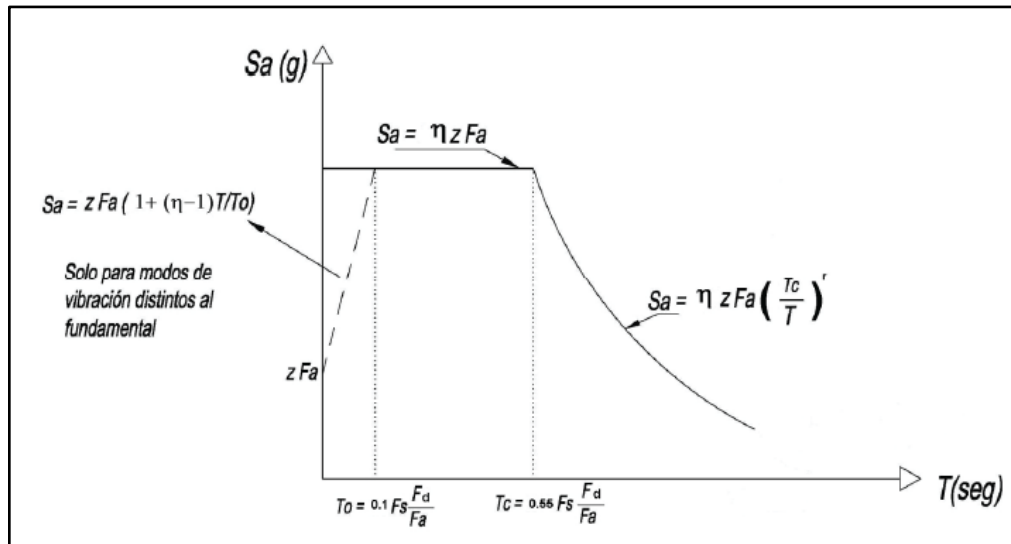
2.2.12. Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-15

En la Norma ecuatoriana de la construcción existe un capítulo de peligrosidad Sísmica en el cual establecen parámetros de calculo que se deben considerar en cuanto a la aplicación en nuestro país, donde se establece parámetros mínimos en cuanto a la parte sísmica, con la finalidad de conducir que las estructuras cumplan con los requisitos de sismo resistencia, además se establecen criterios de diseño mediante una zonificación sísmica, en función de dichos parámetros establecidos para cada región del Ecuador. La respuesta de las edificaciones está en función de los desplazamientos, velocidades y aceleraciones. También, se establecen requisitos mínimos que deben desarrollarse para sistemas de control y aislamiento a la base. [3]

Para realizar el calculo del espectro elástico horizontal de la carga sísmica, espectro elástico de diseño establecido en la NEC-15 [3], se desarrolla el espectro de respuesta elástico de aceleraciones S_a . Con la siguiente formula

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

Figura 4 Espectro de respuesta elastico



Fuente: NEC 15 [3]

Este es el espectro de respuesta elástico expresado como fracción de la aceleración de la gravedad. Dependiendo del periodo o modo de vibración de la estructura para lo cual se utilizarán las siguientes formulas

$$S_a = \eta Z F_a \quad \text{para } 0 \leq T \leq T_c$$

$$S_a = \eta Z F_a \left(\frac{T_c}{T}\right)^r \quad \text{para } T \geq T_c$$

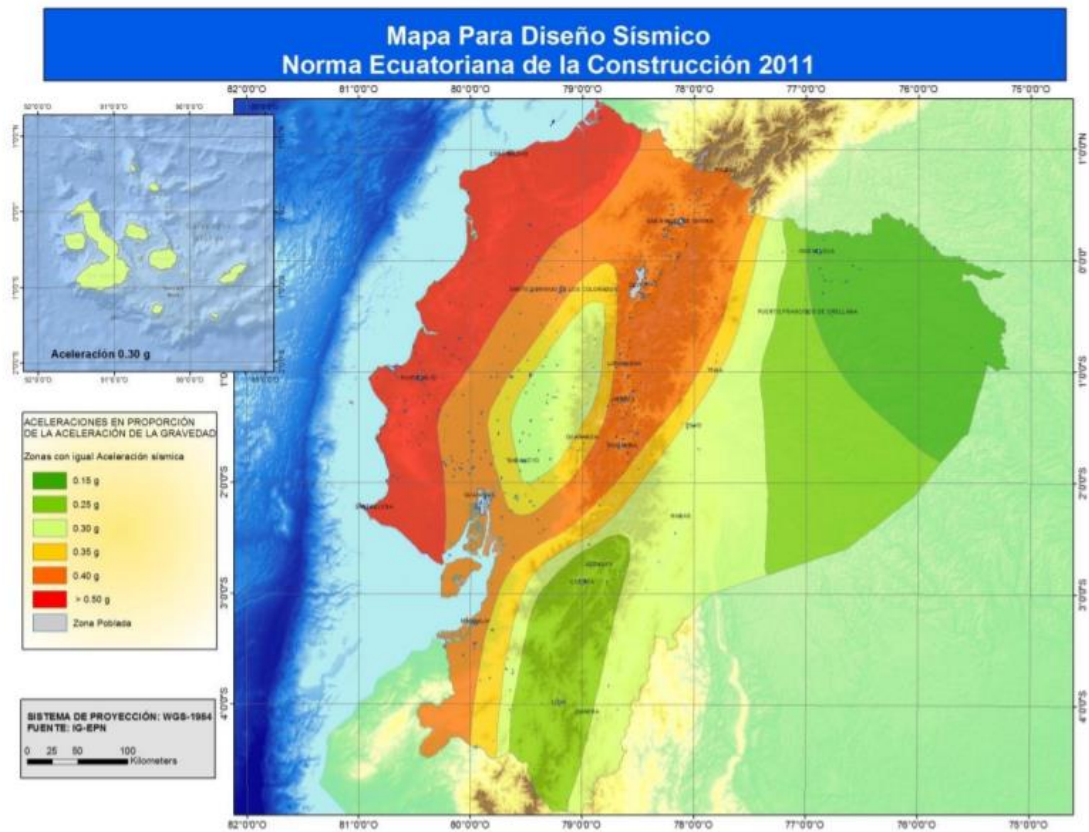
Coefficiente de Amplificación Espectral

- $\eta=2.60$: Provincias del Oriente

2.2.12.1. Zonificación Sísmica y factor de zona Z

Para los edificios de uso normal, se usa el valor de Z, que representa la aceleración máxima en roca esperada para el sismo de diseño, expresada como fracción de la aceleración de la gravedad. El sitio donde se construirá la estructura determinará una de las seis zonas sísmicas del Ecuador, caracterizada por el valor del factor de zona Z, de acuerdo el mapa de la Figura 6. [3]

Figura 5 Mapa Zonas Sísmicas y valor de factor de zona Z



Fuente: NEC-2015 [3]

El mapa de zonificación sísmica para diseño proviene del resultado del estudio de peligro sísmico para un 10% de excedencia en 50 años (periodo de retorno 475 años), que incluye una saturación a 0.50 g de los valores de aceleración sísmica en roca en el litoral ecuatoriano que caracteriza la zona VI. [3]

Tabla 1 Zona Sísmica y Factor Z

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥0,5

Fuente: NEC-15 [3]

2.2.12.2. Categorías de importancia I

El propósito del factor I es incrementar la demanda sísmica de diseño para estructuras, que por sus características de utilización o de importancia deben permanecer operativas o sufrir menores daños durante y después de la ocurrencia del sismo de diseño. [3]

Tabla 2 Valores de Importancia I

CATEGORÍA	TIPO DE USO, DESTINO E IMPORTANCIA	COEFICIENTE I
Otras estructuras	Todas las estructuras de edificación y otras que no clasifican dentro de las categorías anteriores	1.0

Fuente: NEC-2015 [3]

2.2.12.3. Ductilidad y factor de reducción de resistencia sísmica R

El factor R permite una reducción de las fuerzas sísmicas de diseño, lo cual es permitido siempre que las estructuras y sus conexiones se diseñen para desarrollar un mecanismo de falla previsible y con adecuada ductilidad, donde el daño se concentre en secciones especialmente detalladas para funcionar como rótulas plásticas. [3]

Tabla 3 Coeficiente de Reducción de Respuesta Estructural R

Sistemas estructurales Dúctiles	R
Pórticos resistentes a momentos	
Pórticos especiales sismo resistentes, de acero laminado en caliente o con elementos armados de placas.	8

Fuente: NEC-2015 [3]

2.2.12.4. Irregularidades y coeficientes de configuración estructural

En caso de estructuras irregulares, tanto en planta como en elevación, se usarán los coeficientes de configuración estructural, que “penalizan” al diseño con fines de tomar en cuenta dichas irregularidades, responsables de un comportamiento estructural deficiente ante la ocurrencia de un sismo. [3]

2.2.12.5. Determinación del periodo de vibración T

El periodo de vibración aproximativo de la estructura T, para cada dirección principal, será estimado a partir de uno de los 2 métodos descritos a continuación. (para este trabajo se utilizó en método 1). El valor de T obtenido al utilizar estos métodos es una estimación inicial razonable del periodo estructural que permite el cálculo de las fuerzas sísmicas a aplicar sobre la estructura y realizar su dimensionamiento. [3]

Método 1

Para estructuras de edificación, el valor de T_a puede determinarse de manera aproximada mediante la expresión:

$$T_a = C_t h_n^a$$

Donde=

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

T = Periodo de vibración

C_t = Coeficiente que depende del tipo de edificio.

Para:

Tabla 4 Estructuras con muros estructurales de hormigón armado o mampostería estructural (con $\alpha = 1$)

Tipo de estructura	C_t	α
Sin arriostramientos	0.072	0.8

Fuente: NEC-2015 [3]

2.2.12.6. Tipos de suelos para diseño sísmico

Se definen seis tipos de perfil de suelo los cuales se presentan en la Tabla 8. Los parámetros utilizados en la clasificación son los correspondientes a los 30 m superiores del perfil. [3]

Tabla 5 Tipo de suelo

Tipo de perfil	Descripción	Definición
E	Perfil que cumple el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$V_S < 180m/s$
	Perfil que contiene un espesor total H mayor de 3 m de arcillas blandas	$IP > 20$ $W \geq 40\%$ $S_U < 50 kPa$

Fuente: NEC 2015 [3]

2.2.12.7. Coeficientes de perfiles de suelo Fa, Fd, Fs

2.2.12.7.1 Fa coeficiente de ampliación en suelo en la zona de periodo corto

Tabla 6 Tipo de suelo y factor de sitio Fa

Tipo de perfil del subsuelo	ZONA SÍSMICA Y FACTOR Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥ 0.5
E	1.8	1.4	1.25	1.1	1.0	0.85

Fuente: NEC 2015 [3]

2.2.12.7.2 . Fd, Coeficiente de desplazamientos para diseño en roca.

Tabla 7 Tipo de suelo y Factor de sitio Fd

Tipo de perfil del subsuelo	ZONA SÍSMICA Y FACTOR Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥ 0.5
E	2.1	1.75	1.7	1.65	1.6	1.5

Fuente: NEC 2015 [3]

2.2.12.7.3. F_s coeficiente de comportamiento no lineal de los suelos.

Tabla 8 Tipo de suelo y Factor de comportamiento inelástico del subsuelo F_s

Tipo de perfil del subsuelo	ZONA SÍSMICA Y FACTOR Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥0.5
E	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2

Fuente: NEC 2015[3]

2.2.12.8. Carga Sísmica

El cortante basal total de diseño V, a nivel de cargas últimas, aplicado a la estructura en una dirección especificada, se determinará mediante las siguientes expresiones. [3]

$$V = \frac{IS_a(T_a)}{R\phi_P\phi_E}W$$

Dónde

- S_a(T_a) Espectro de diseño en aceleración
- ϕ_P y ϕ_E Coeficiente de configuración en planta y elevación
- I Coeficiente de importancia
- R Factor de reducción de resistencia sísmica
- V Cortante Basal total de diseño
- W Carga sísmica reactiva
- T_a Período de vibración

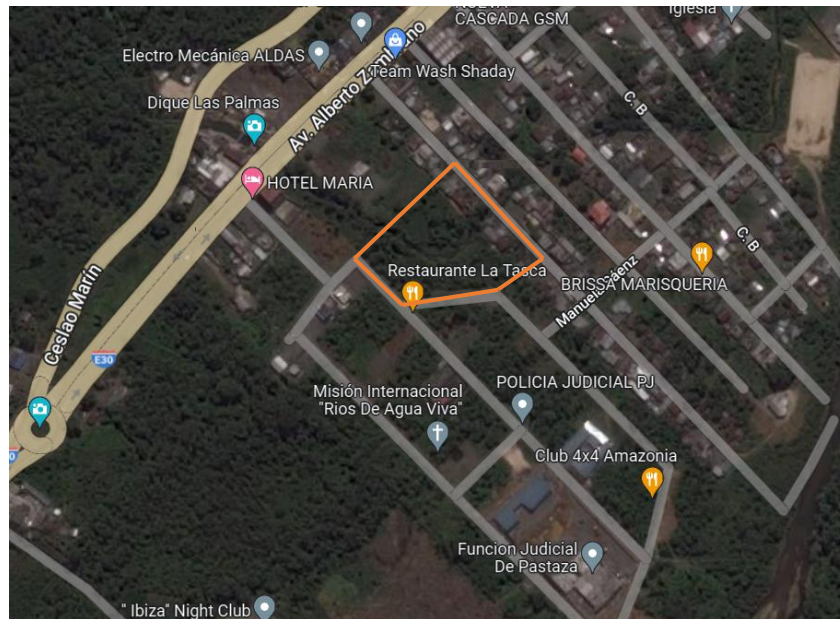
CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. Ubicación.

El presente proyecto se localiza en la Provincia de Pastaza, Cantón Pastaza, parroquia Puyo, en el Barrio las Palmas con la calle principal Transito Amaguaña, se construirá el Edificio Central Integral y cultural de los Gobiernos Parroquiales Rurales de Pastaza.

Figura 6 Ubicación del Proyecto



Fuente: Elaboración autónoma, 2022

Con la siguiente ubicación en coordenadas geográficas.

E 163685.38

N 9833929.70

3.2. Equipos y Materiales

Para el desarrollo de este trabajo se requerirá los siguientes materiales de oficina:

- Laptop
- software específico para el modelamiento y análisis estructural.
- Libros incluido normas como: NEC 2015, NCH-433, NCH-2745, AISC 341-16, ASCE 7-16 y ASCE 41-13.
- Planos Estructurales como Arquitectónicos.
- Internet.
- Material de oficina.

3.3. Tipo de investigación

Investigación Analítica y Explicativa, puesto que la elaboración de la misma no necesita ensayos es decir pruebas físicas, por lo que se realizaran cálculos manuales, y se explicara científicamente a través de fuentes bibliográficas actualizadas como los requerimientos de las mismas normas.

Analítica:

El nivel de investigación es de tipo analítico puesto que se analizan los resultados de derivas de piso como desplazamientos de una estructura aislada y no asilada, cumpliendo con la normativa, el estudio comparativo del desempeño estructural se apoya en un estudio analítico, en el cual se valida la hipótesis mediante los resultados estructurales, para poder obtener el comportamiento que tendrá la estructura con aislación y sin aislación.

Explicativa:

Se considera una investigación explicativa puesto que, al comparar las variables de la investigación, con los resultados del desempeño estructural, se comprueban la hipótesis planteada por lo cual se realiza una investigación explicativa determinando los efectos en el edificio en base a los requerimientos como parámetros establecidos en la normativa aplicada.

3.4. Prueba de Hipótesis – pregunta científica – idea a defender

El diseño de un edificio sismo resistente con la implementación de aisladores elastoméricos optará por reducir desplazamientos y derivas de piso aplicando la normativa vigente.

3.5. Población o muestra

Población:

Población: edificios de estructura metálica con aisladores elastoméricos.

Muestra:

Muestra: aisladores elastoméricos de base o aislador con núcleo de plomo LRB (LEAD RUBBER BEARINGS); estos son aisladores elastoméricos de conexiones multiplaca de goma y acero intercalados con núcleo de plomo ubicado en el centro del aislador, manteniendo una rigidez inicial que permite aumentar el nivel de amortiguamiento del sistema hasta niveles cercanos al 25-30%. Al deformarse lateralmente el aislador durante la acción de un sismo, el núcleo de plomo fluye, incurriendo en deformaciones plásticas y disipando energía en forma de calor. Al término de la acción sísmica, la goma del aislador retorna la estructura a su posición original, mientras el núcleo de plomo recristaliza.

3.6. Recolección de información

La recolección de información necesaria se lo realiza en base a la aplicación de normas ecuatorianas y extranjeras que rigen nuestro país:

- NEC 2015[3]: Norma Ecuatoriana de la construcción.
- ANSI/AISC 341-16[20]: Código American Institute of Steel Constructions.
- ASCE/SEI 7-16 [21]: Norma American Society of Civil Engineers.

3.7. Procesamiento de la información y análisis estadístico:

Para el desarrollo de la investigación se estructura los siguientes parámetros para el cumplimiento del mismo, como se detalla a continuación.:

- Revisión crítica de la información recogida.
- Tabulación de cuadros según variables de cada hipótesis.
- conseguir relación porcentual con respecto al total, con el resultado numérico y el porcentaje de estructura el cuadro de resultados que sirve de base para la gráfica
- Representar los resultados mediante gráficos estadísticos
- Estudio estadístico de datos para presentación de resultados.
- Analizar e interpretar los resultados relacionándolos con las diferentes partes de la investigación, especialmente con los objetivos y la hipótesis.

3.8. Variables de respuesta o resultados alcanzados

Se espera obtener resultados favorables de un diseño analítico del comportamiento de los aisladores elastoméricos, considerando un edificio en elementos de estructura metálica el cual se encuentra ubicado en la ciudad del puyo.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Modelamiento Matemático del edificio en el Software

Centro Integral y Cultural de los Gobiernos Parroquiales Rurales de Pastaza en Estructura Metálica con el uso de Aisladores Elastoméricos, en la Ciudad Del Puyo, Cantón y Provincia de Pastaza.

4.1.1. Planos Arquitectónicos

- Fachada Frontal

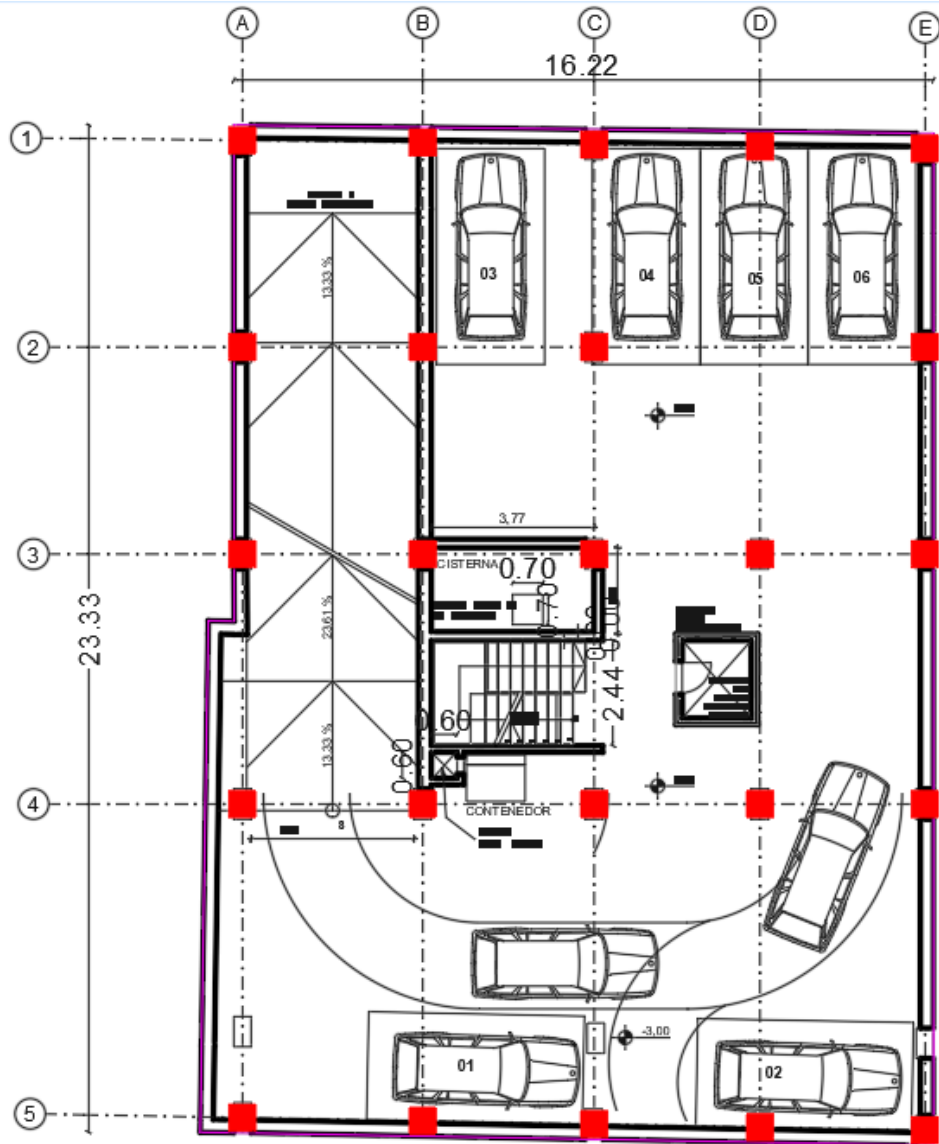
Figura 7 Planta Arquitectonica Fachada Frontal



Fuente: Elaboración autónoma, 2022

- Planta Nivel 0+00

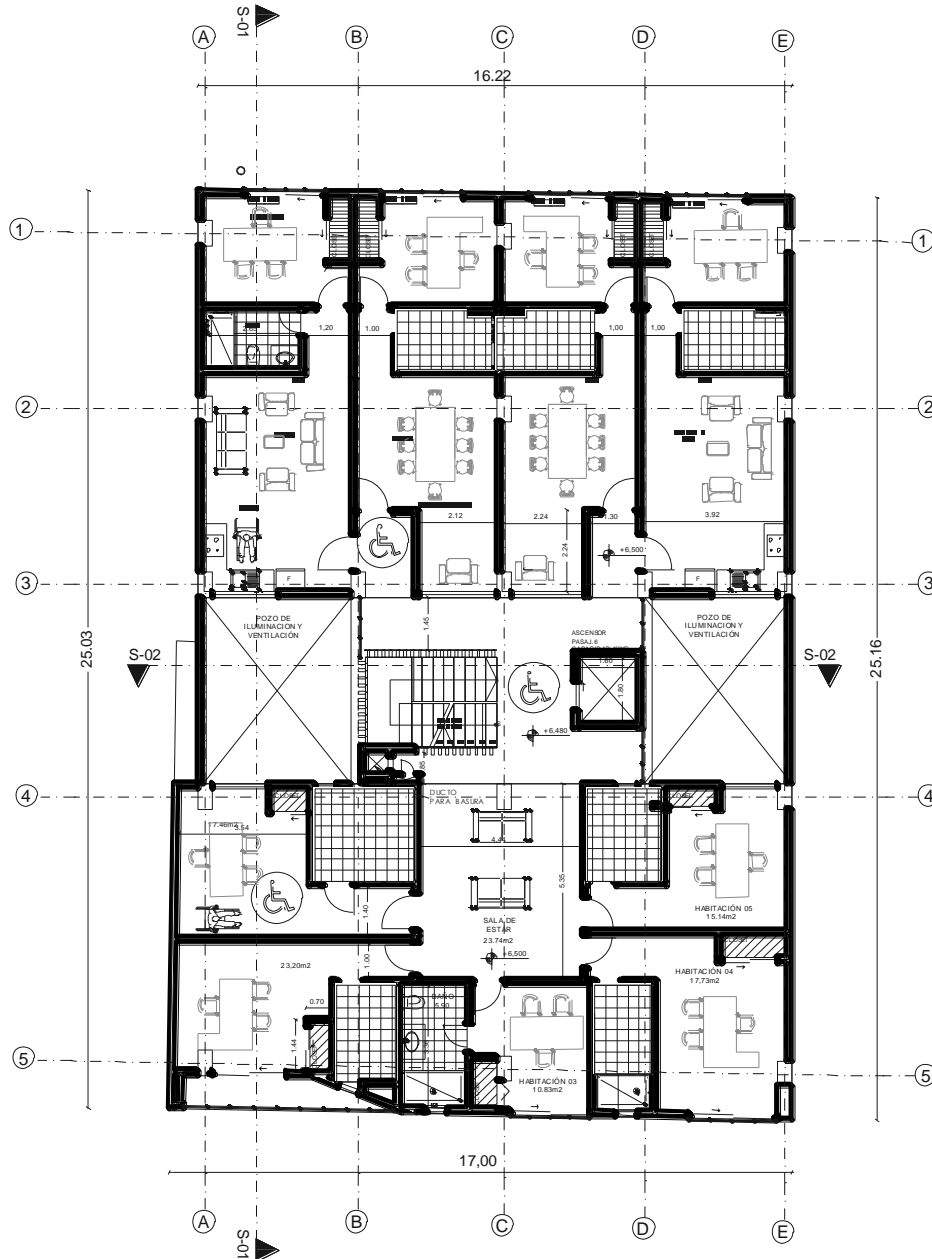
Figura 8. Detalle planta baja de edificio



Fuente: Elaboración autónoma, 2022

- Planta Nivel 3.24 al Nivel +18.66

Figura 9. Detalle de Planta Nv. +3.00 al Nv. +18.66

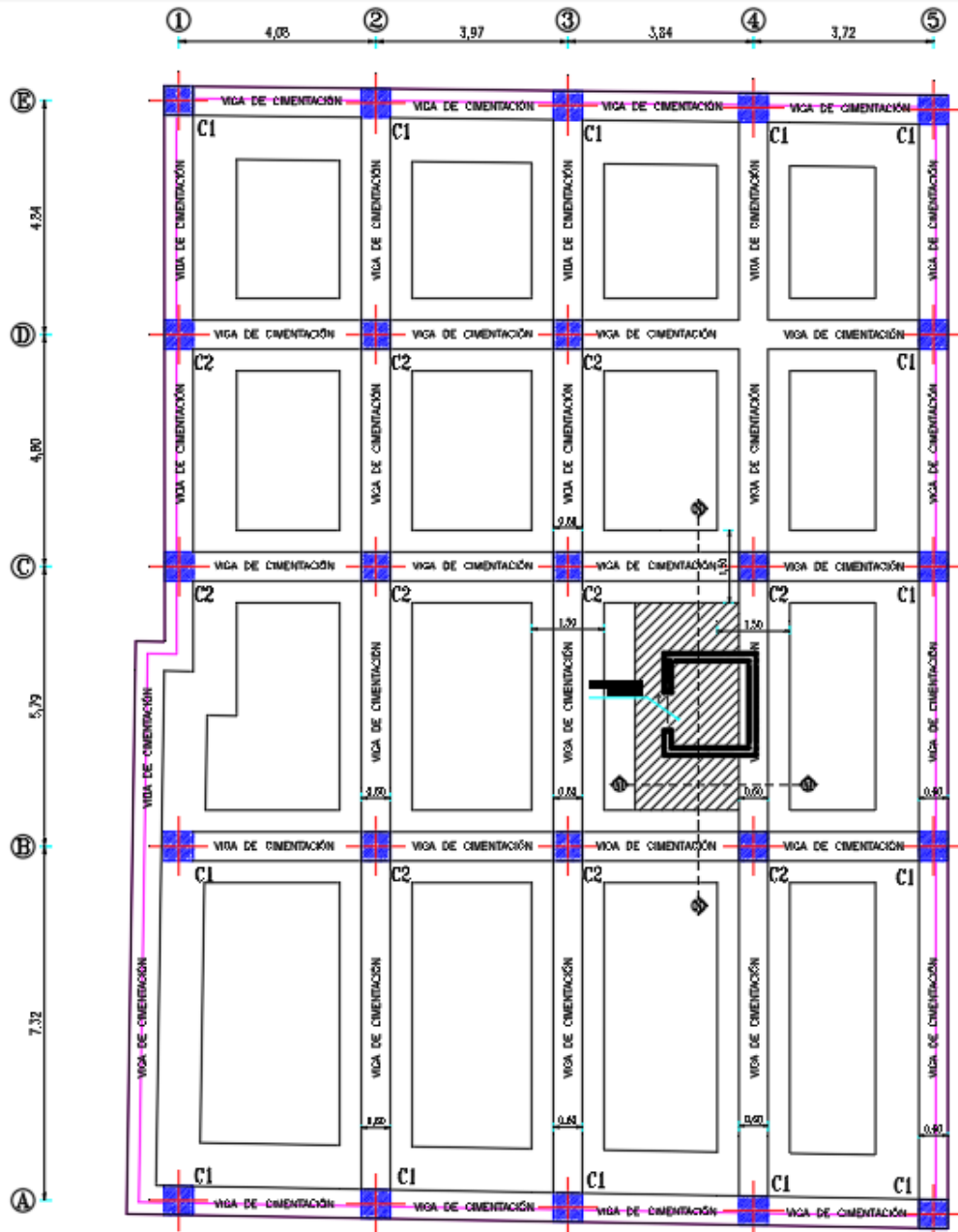


Fuente: Elaboración autónoma, 2022

4.1.1. Planos Estructurales

- Planta Nivel 0+00

Figura 10 Planta Estructural Nivel de Cimentación



Fuente: Elaboración autónoma, 2022

- Planta Nivel 3.24 al Nivel +18.66

Figura 11 Planta Estructural Nivel +3.24; +18.66



Fuente: Elaboración autónoma, 2022

4.2. Datos de entrada del Modelamiento

Tabla 9 Propiedades de los Materiales

Descripción	Tipo	Módulo de Elasticidad (E)	Valor	Peso Unitario	Resistencia
		kgf/cm ²		kgf/cm ³	
Acero A36	Steel	2038901.92	0.3	0.00785	Fy=2531.05 kgf/cm ² , Fu=4077.8 kgf/cm ²
Acero A572 Gr50	Steel	2038901.92	0.3	0.00785	Fy=2531.05 kgf/cm ² , Fu=4077.8 kgf/cm ²
fy=4200kg/c m ² .	Rebar	2038901.92	0.3	0.00785	Fy=4200 kgf/cm ² , Fu=5624.56 kgf/cm ²
f'c=210kg/c m ²	Concrete	189837.03	0.2	0.0021	Fc=210 kgf/cm ²

Fuente: Elaboración autónoma, 2022

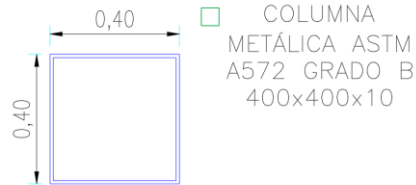
Tabla 10 Sección de elementos estructurales

Descripción	Material	Forma
C400X400X10mm	A572 Gr 50	Steel Channel
VK 180X90X6X4 mm	A36	Steel I/Wide Flange
VK 240X120X8X4 mm	A572 Gr 50	Steel I/Wide Flange
VK 350X175X10X6 mm	A572 Gr 50	Steel I/Wide Flange

VK 500X200X15X10 mm	A572 Gr 50	Steel I/Wide Flange
VK 310X150X10X5 mm	A572 Gr 50	Steel I/Wide Flange

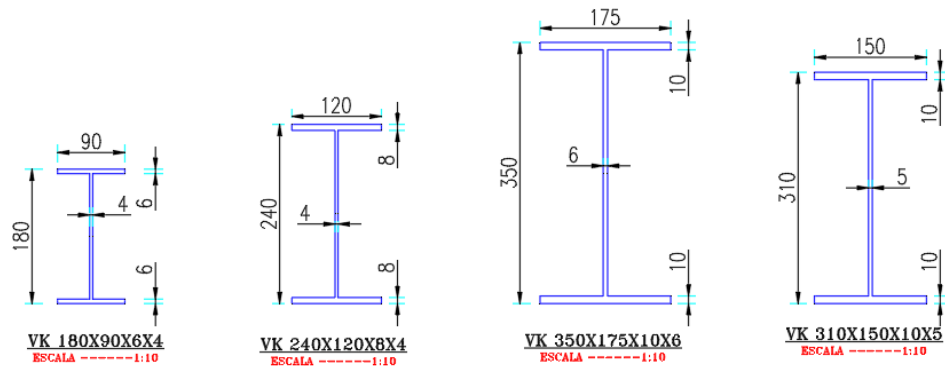
Fuente: Elaboración autónoma, 2022

Figura 12 Sección del Elemento estructural Columna



Fuente: Elaboración autónoma, 2022

Figura 13 Sección Elemento estructural Vigas Metálicas Tipo I



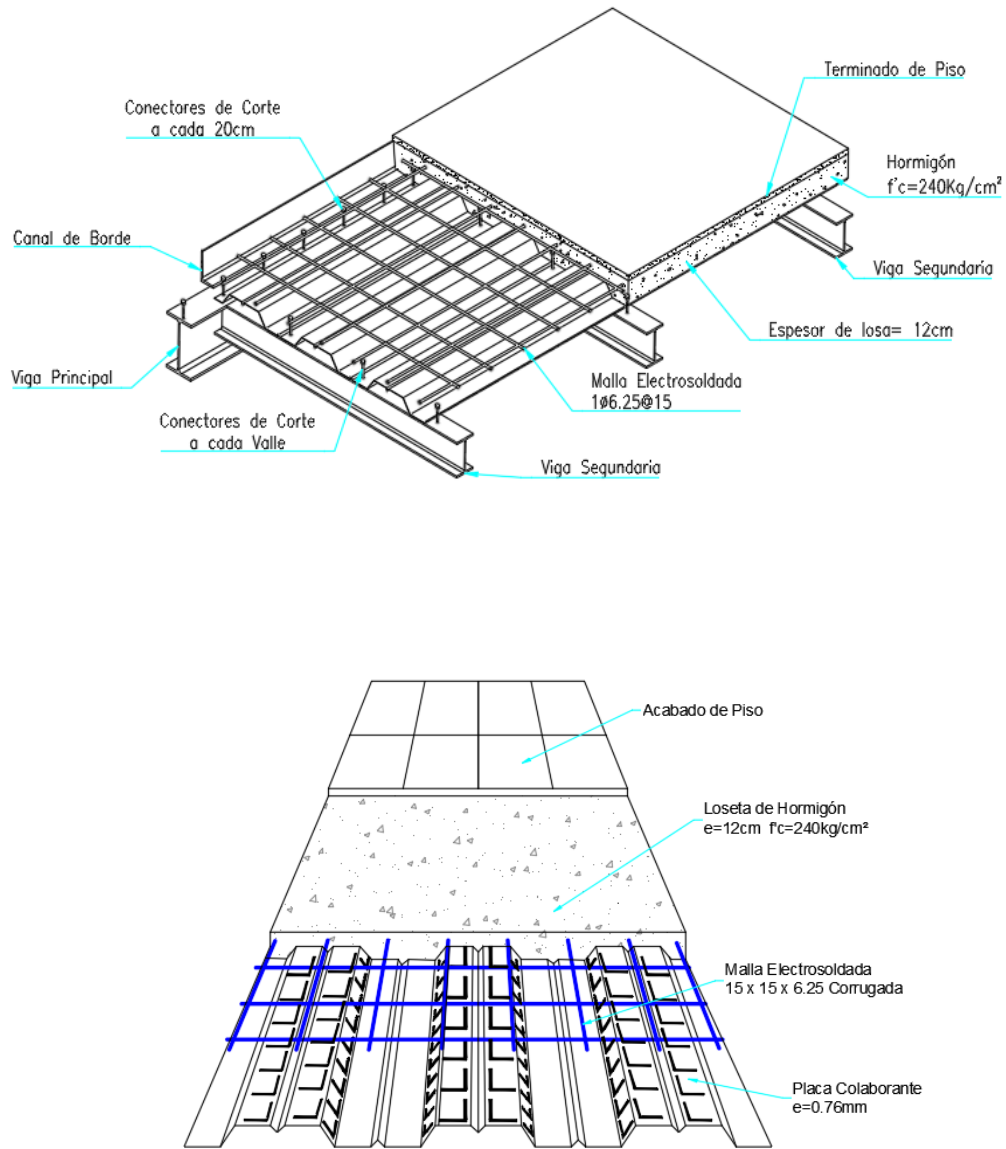
Fuente: Elaboración autónoma, 2022

Tabla 11 Secciones de Placa

Descripción	Tipo de Diseño	Tipo de Elemento	Material	Espesor Total
				m
Losa Deck 10cm	Deck	Membrane	$f'c=210\text{kg/cm}^2$	0.1

Fuente: Elaboración autónoma, 2022

Figura 14 Detalle Estructural de Placa



Fuente: Elaboración autónoma, 2022

4.3. Cargas y Combinaciones de Cargas

Todas las edificaciones deberán ser diseñadas para que soporten las diferentes cargas que se presentarán en la vida útil de la estructura.

La Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015 (NEC), contempla el diseño por última resistencia, el cual es un método que permite tener en cuenta los modos de

comportamiento que ponen en peligro la estabilidad de la edificación o una parte de ella, o su capacidad para resistir nuevas aplicaciones de carga.

Tabla 12 Cargas Consideradas

Carga muerta	Peso propio de la estructura
Sobre adicional de carga muerta (ACM)	Carga de acabados, enlucidos, masillados, etc.
Sobre carga muerta permanente pared viga	Carga de pared
Carga viva	Carga viva Según la NEC2015
Carga estática x	Coefficiente de participación sísmica
Carga estática y	Coefficiente de participación sísmica
Carga dinámica x	Espectro de respuesta
Carga dinámica y	Espectro de respuesta

Fuente: Elaboración autónoma, 2022

4.3.1. Carga Viva

Para establecer la carga viva o sobrecarga de uso, se considera para el cálculo la ocupación a la que está destinada la edificación, la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-15 CARGAS (NO SISMICAS), NEC-SE-CG, apartado 4.2.1. Sobrecargas mínimas uniformemente distribuidas L_0 , y concentradas P_0 , de acuerdo con la ocupación de uso en este caso Edificio de oficinas se considera una carga viva de:

$$CV = 240 \text{ Kg/m}^2$$

Tabla 13 Carga Viva por metro cuadrado

Ocupación o uso	Carga uniforme
Edificios Oficinas	240.00 kg/m ² SEGÚN NEC-2015
Cubiertas accesibles	100.00kg/cm ² SEGÚN NEC-2015
Cubiertas inaccesibles	70.00kg/cm ² SEGÚN NEC-2015

Fuente: Elaboración autónoma, 2022

4.3.2. Carga Muerta

Para establecer la carga muerta de la losa, se considera el peso de placa ($e=0.76\text{mm}$) de 7.44 kg/m^2 , y un peso del hormigón de 180 kg/m^2 , obteniendo un peso propio de la losa o Carga Muerta de 187.44 kg/m^2

$$CM = 187.44\text{Kg/m}^2$$

Se considera un enlucido y masillado de 2 cm con un peso de 44 kg/m^2 , un recubrimiento de piso en cerámica de 2cm con un peso de 44 kg/m^2 , con un peso de mampostería de 200 kg/m^2 por lo tanto se considera una Carga Adicional de 288 kg/m^2

$$ACM = 288\text{Kg/m}^2$$

4.3.3. Cargas Sísmicas

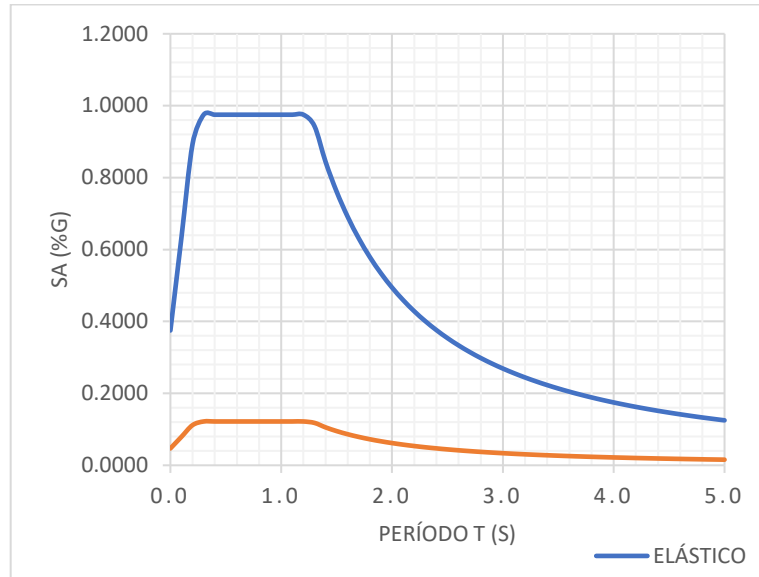
Tabla 14 Espectro de Diseño NEC

DATOS DE LA ESTRUCTURA		
Ubicación	Puyo	NEC-SE-DS
Zona Sísmica	III	3.1.1
Categoría de la Importancia	Otras estructuras	4.1
Sistema estructural	Sistemas_Estructurales_Dúctiles	6.3.4
Tipo de sistema estructural	Pórticos_resistentes_a_momentos	
Sistema estructural específico	Pórticos especiales sismo resistentes, de acero laminado en caliente o con elementos armados de placas.	
Configuración elevación \emptyset_e	1	5.2.3
Configuración planta \emptyset_p	1	5.2.3
Altura edificio h_n (m)	21.14	6.3.3a

Tipo de Estructura	Estructuras_de_acero	6.3.3a
Tipo de Estructura específica	Sin arriostramientos	
Tipo del suelo	E	3.2.1
Región del Ecuador	Provincias del Oriente	3.3.1
RESULTADOS		
Valor Factor Z	0.3	
Coefficiente I	1	
Respuesta estructural R	8	
η	2.6	
Fa	1.25	3.2.2a
Fd	1.7	3.2.2b
Fs	1.7	3.2.2c
Ct	0.072	6.3.3a
α	0.8	6.3.3a
Periodo Fundamental T (s)	0.827	6.3.3a
To (s)	0.231	3.3.1
Tc (s)	1.272	3.3.1
r	1.5	3.3.1
Sa (g)	0.975	3.3.1
Coefficiente Sísmico C	0.122	6.3.2
Deriva Elastica Máxima	0.0033	6.3.9
k	1.163	6.3.5
R (Valores del coeficiente de reducción de respuesta estructural)	1	9.3.7
V (Cortante total en la base de la estructura para el DBF)	0.975	9.3.5

Fuente: Elaboración autónoma, 2022

Figura 15 Espectro de Diseño



Fuente: Elaboración autónoma, 2022

4.4. Combinaciones de Carga

La NEC 2015 indica que todo tipo de estructura y cimentación, deberán ser diseñadas de tal forma que la resistencia de diseño iguale o exceda los efectos de las cargas incrementadas. Además, especifica que los efectos más desfavorables, tanto de viento como de sismo, no necesitan ser considerados simultáneamente.

A continuación, se presenta las combinaciones de carga que presenta la NEC-SE-CG sección 3.4.3, para el diseño de edificaciones:

- $U=1.4D$
- $U=1.2D+1.6L$
- $U=1.2D+L+E$
- $U=0.9D+E$
- $U=D+L+E$

Las variables presentadas en las combinaciones de carga anteriores representan:

- D: Carga Muerta
- L: Carga Viva
- Lr: Carga Viva de techo

- S: Carga de Nieve (Granizo)
- R: Carga por Lluvia
- W: Carga de Viento
- E: Carga por Sismo

4.5. Análisis de la Estructura en Equilibrio

El desarrollo del ingreso de las secciones estructurales al software los elementos son sometidos a Flexocompresión Biaxial, Demanda Vs Capacidad, , donde nos muestran diagramas de momentos y diagramas de corte, tanto en x como en y, de igual forma se considera lo establecido en las normativas ISC 3610-10 y AISC 360-16 para el tema de equilibrio de vibraciones para evaluar los estados críticos de la estructura, la estabilización de la estructura comprende el periodo de vibración, participación de la masa dinámica y sus derivas de piso, las mismas que deberán cumplir los parámetros establecidos en la normativa. [22]

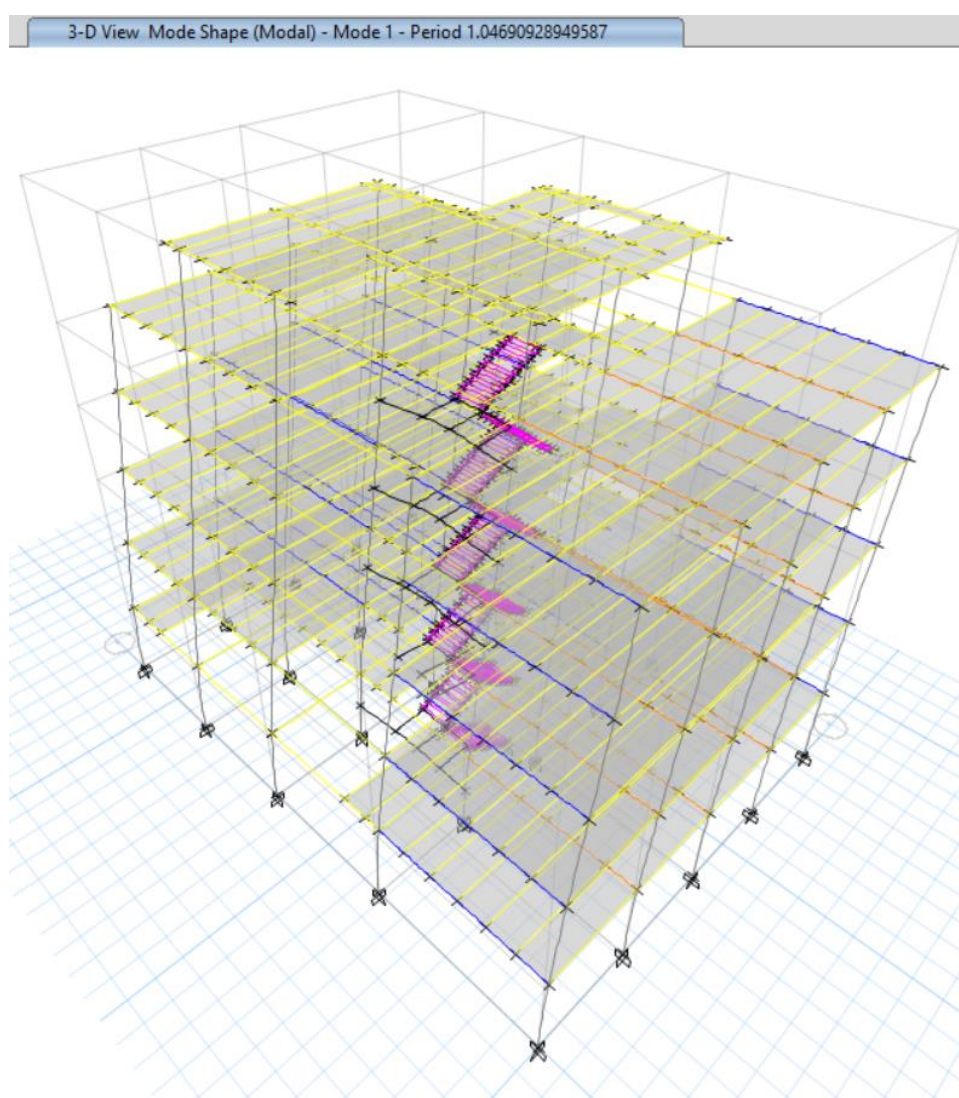
Tabla 15 Participación Modal de la Masa

Mode	Period sec	UX	UY	RZ
1	1.047	0.7348	0.0001	0.0004
2	0.973	0.0001	0.7307	0.0088
3	0.853	0.0008	0.0068	0.7347
4	0.261	0.1542	0.001	0.0023
5	0.256	0.0014	0.1518	0.0008
6	0.218	0.0011	0.0021	0.1501
7	0.111	0.0485	0.0111	0.0006
8	0.111	0.0118	0.0471	0.000001495
9	0.093	0.00002597	0.0016	0.0593
10	0.08	0	0.000006062	5.658E-07
11	0.071	0.0049	0.0164	0.0003
12	0.07	0.0163	0.0043	0.0007
13	0.059	0.0003	0.0003	0.0121
14	0.053	0.0096	0.0066	0.0021
15	0.052	0.0076	0.0122	0.000006941
16	0.047	0.0015	0.0007	0.019
17	0.041	0.00002731	0	9.748E-07
18	0.04	0.0058	0.0002	0.0003

Fuente: Elaboración autónoma, 2022

Donde el resultado del análisis modal nos indica que el modo 1 y modo 2 de vibración de la estructura existe traslación con un porcentaje de rotación en el eje Z siendo $(0.0004/0.7348)\%=0.544\%$ en el modo 1 y $(0.0088/0.7307)\%=1.20\%$ indicándonos que el desplazamiento es traslacional puro respectivamente por lo que disipa la energía sísmica con la formación de las rotulas plásticas, y que como máximo según la norma lo permitido es el 30%, en el modo 3 existe rotación pura por lo que la estructura está en equilibrio.

Figura 16 Primer Modo de Vibración de la Estructura



Fuente: Elaboración autónoma, 2022

Verificado el periodo obtenido en el software según la Figura 16 se muestra que el periodo del software que es mayor que el periodo calculado, en el cual obtenemos el periodo de vibración de la estructura es de 1.047F seg. y el periodo de vibración calculado es de 0.827 seg. según la tabla 19, apartado de resultados, por lo cual no se realiza correcciones de K y C, en cuanto se cumple este requisito según la normativa.

Tabla 16 Derivas

Story	Output Case	Step Number	Direction	Drift	
				elastica	Inelastica
Story5	Sy	1	Y	0.002677	0.016062
Story5	Sy	2	Y	0.002774	0.016644
Story5	Sy	3	Y	0.002818	0.016908
Story5	Sx	1	X	0.002607	0.015642
Story5	Sx	2	X	0.002863	0.017178
Story5	Sx	3	X	0.002904	0.017424
Story4	Sy	1	Y	0.002995	0.01797
Story4	Sy	2	Y	0.003095	0.01857
Story4	Sy	3	Y	0.003157	0.018942
Story4	Sx	1	X	0.002918	0.017508
Story4	Sx	2	X	0.003197	0.019182
Story4	Sx	3	X	0.003259	0.019554
Story3	Sy	1	Y	0.003006	0.018036
Story3	Sy	2	Y	0.003107	0.018642
Story3	Sy	3	Y	0.003174	0.019044
Story3	Sx	1	X	0.002959	0.017754
Story3	Sx	2	X	0.003239	0.019434
Story3	Sx	3	X	0.003312	0.019872
Story2	Sy	1	Y	0.002466	0.014796
Story2	Sy	2	Y	0.002538	0.015228
Story2	Sy	3	Y	0.002607	0.015642
Story2	Sx	1	X	0.002455	0.01473
Story2	Sx	2	X	0.002692	0.016152
Story2	Sx	3	X	0.002751	0.016506
Story1	Sy	1	Y	0.001088	0.006528
Story1	Sy	2	Y	0.001106	0.006636
Story1	Sy	3	Y	0.001152	0.006912
Story1	Sx	1	X	0.001098	0.006588
Story1	Sx	2	X	0.001182	0.007092
Story1	Sx	3	X	0.001232	0.007392

Fuente: Elaboración autónoma, 2022

De lo que se puede observar los resultados en la tabla 16 las derivas de piso en ambos sentidos cumplen, ya que no superan el valor de 0.02 de acuerdo a lo establecido en la NEC-15.

Tabla 17 Reacciones en la base

Output Case	Case Type	Step Type	Step Number	FX	FY	FZ
				tonf	tonf	tonf
Sy	LinStatic	Step By Step	1	0	- 89.9703	0
Sy	LinStatic	Step By Step	2	0	- 89.9703	0
Sy	LinStatic	Step By Step	3	0	- 89.9703	0
Dina_X	LinRespSpec	Max		84.2276	0.9114	0
Dina_Y	LinRespSpec	Max		0.9114	83.9617	0
Sx	LinStatic	Step By Step	1	- 89.9703	0	0
Sx	LinStatic	Step By Step	2	- 89.9703	0	0
Sx	LinStatic	Step By Step	3	- 89.9703	0	0

Fuente: Elaboración autónoma, 2022

De acuerdo a la normativa indica que el cortante basal dinámico debe ser el 80% del cortante basal estático, para lo cual se verifica según la siguiente tabla 17 en donde el cortante basal dinámico en x es 84.2276 dividido para el cortante basal estático de 89.9703 dándonos un valor de 93.61 % siendo mayor al 80% establecido en la norma por lo cual no se procede a corregir el espectro en el sentido x., de la misma manera se realiza la verificación del cortante basal dinámico en y, el cual es 83.9617 dividido para el cortante basal estático de 89.9703 dando un valor de 93.32 % siendo mayor al 80 % establecido en la norma por lo cual no se procede a corregir el espectro en el sentido y.

Con lo cual se puede decir que se a verificado que exista el 90% de la masa acumulada en los periodos de vibración, además que el cortante basal dinámico representa el 80 al 85% del basal estático y que las derivas de piso no superan el valor del 0.02, según lo establece la NEC-15. [3]

4.6. Diseño de Aisladores Sísmicos

Para elaborar el diseño de aisladores sísmicos nos guiaremos dentro de la NCH-2745, la cual es la norma que guiara el diseño de aislación. [23]

4.6.1. Datos de entrada

Tabla 18 Datos de entrada para diseño del aislador

Descripción	Simbología	Valor	Unidad
Numero de aisladores	N	25	U
Peso efectivo sísmico de la estructura sobre el nivel de asilado $W=D+L$ 100%	W	1743.76	Ton
Periodo objetivo deseado	T_D	2.4	seg
Carga Máxima $W=D+L$ 100%	P_{max}	120.95	Ton
Carga mínima $W=D+L$ 100%	P_{min}	30	Ton
Deformación de corte directa máxima	γ_S	1.4	
Diámetro inicial	D_i	12	cm
Amortiguamiento efectivo del sistema	β	12	%
Esfuerzo admisible de compresión	σ_{AC}	7.967	N/mm ²
Esfuerzo admisible de compresión	σ_{AC}	81.24	kg/cm ²
Módulo de compresibilidad de la goma	K	20000	kg/cm ²
Aceleración de la gravedad	g	9.81	m-s ²
Esfuerzo de fluencia del núcleo de plomo	T_y	10	Mpa

Fuente: Elaboración autónoma, 2022

4.6.2. Calculo Iterativo

4.6.2.1. Factor de respuesta por amortiguamiento

Para obtener un factor de amortiguamiento efectivo de 12% se realizará una interpolación.

Tabla 19 Factores de modificación de respuesta por amortiguamiento, B_D y B_M

Amortiguamiento efectivo, B_D ó B_M	Factor B_D y B_M
10	1.2

20	1.5
----	-----

Fuente: NCH 2745

Donde al 18% obtenemos

$$B_D = B_M = 1.26$$

4.6.2.2. Desplazamiento de diseño

$$C_D = 300 * Z$$

Donde $Z=0.75$

$$C_D = 225 \text{ mm}$$

$$D_D = \frac{C_D}{B_D}$$

$$D_D = 178.57 \text{ mm}$$

$$D_D = 17.85 \text{ cm}$$

$$D_{TD} = 1.1 D_D$$

$$D_{TD} = 19.64 \text{ cm}$$

4.6.2.3. Desplazamiento máximo

$$C_M = 300 * MM * Z$$

Donde $MM=1.2$ para zona sísmica 2

$$C_M = 270 \text{ mm}$$

$$C_M = 27 \text{ cm}$$

$$D_M = C_M / B_M$$

$$D_M = 214.28 \text{ mm}$$

$$D_M = 21.43 \text{ cm}$$

4.6.2.4. Rigidez total

$$KH \text{ total} = \frac{4\pi^2 W}{T_D^2 * g}$$

$$KH \text{ total} = 1218.31 \text{ Ton/m}$$

4.6.2.5. Rigidez de cada aislador

$$KH = \frac{KH \text{ total}}{N}$$

$$KH = 48.73 \text{ Ton/m}$$

4.6.2.6. área del aislador

$$A_p = \frac{P_{max}}{\sigma_{AC}}$$

$$A_p = 1488.80$$

Donde el diámetro del cilindro de plomo es $D_i=10\text{cm}$

$$D_e = \left(\left(\frac{4 * A}{\pi} \right) + D_i^2 \right)^{1/2}$$

$$D_e = 44.67 \text{ cm}$$

Por lo cual asumo un $D_e=60 \text{ cm}$

$$D_e = 0.6 \text{ m}$$

$$A = \pi \left(\frac{D_e^2}{4} - \frac{D_i^2}{4} \right)$$

$$A = 2748.90 \text{ cm}^2$$

4.6.2.7. Capacidad inicial del aislador

$$\frac{Q_{total}}{W} = \%$$

Donde se considera el 2% del peso de la estructura

$$Q_{total} = 2\%W$$

$$Q_{total} = 34.88 \text{ Ton}$$

4.6.2.8. Capacidad inicial de cada aislador

$$\frac{Q_{total}}{N} = 1.40 \text{ Ton}$$

4.6.2.9. Área del cilindro de plomo

$$A_p = \frac{Q}{T_y}$$

$$A_p = 13.95 \text{ cm}^2$$

4.6.2.10. Diámetro del cilindro de plomo

$$dp = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$$

$$dp = 4.21 \text{ cm}$$

4.6.2.11. Chequeo para diámetros impuestos

$$dp < Di$$

$$4.21 \text{ cm} < 10 \text{ cm} \therefore \text{OK CUMPLE}$$

$$\frac{De}{6} \leq dp \leq \frac{De}{3}$$

$$10 \text{ cm} \leq 10 \text{ cm} \leq 20 \text{ cm} \therefore \text{OK CUMPLE}$$

4.6.2.12. Nueva capacidad del aislador acero deformación

Donde el diámetro impuesto $D=10\text{cm}$

$$Ap = \pi * r^2$$

$$Ap = 78.54 \text{ cm}$$

$$Q = Ap T_y$$

$$Q = 7854 \text{ kg}$$

$$Q = 7.854 \text{ Ton}$$

4.6.2.13. Altura de la goma

$$Hr = \frac{D_D}{\gamma_s}$$

$$Hr = 12.76 \text{ cm}$$

4.6.2.14. Numero de capas de goma

Donde el espesor de la capa de goma es $tr=0.4 \text{ cm}$ dato obtenido de la Revista Bridgestone Seismic Isolation Product Line-up [24]

$$n = \frac{Hr}{tr}$$

$$n = 31.89$$

Donde asumimos el valor de $n=50$ revisando la Revista Bridgestone Seismic Isolation Product Line-up [24]

$$n = 50$$

4.6.2.15. Nueva altura de goma

$$Hr = n tr$$

$$Hr = 20 \text{ cm}$$

Donde revisando la Revista Bridgestone Seismic Isonlation Product Line-up [24], tenemos un Hr=200 mm

4.6.2.16. Módulo de corte

$$G = \frac{KH Hr}{A}$$

$$G = 3.546 \text{ kg/cm}^2$$

Donde revisando la Revista Bridgestone Seismic Isonlation Product Line-up [24], tenemos un G=55.84 psi

$$G = 3.926 \text{ kg/cm}^2$$

4.6.2.17. Factor S

$$S = \frac{De^2 - Di^2}{tr}$$

$$S = 36.46$$

$$S > 10$$

$$36.46 > 10 \therefore OK \text{ CUMPLE}$$

4.6.2.18. Espesor Lamina de acero

Donde revisando la Revista Bridgestone Seismic Isonlation Product Line-up [24], tenemos un ts=3.1 mm

$$ts = 0.31 \text{ cm}$$

4.6.2.19. Esfuerzo de tracción en la placa

$$\sigma_s = 1.5 \frac{tr}{ts} \sigma_{AC}$$
$$\sigma_s = 157.24 \text{ kg/cm}^2$$

Donde esfuerzo del hormigón es $f_y=2400 \text{ kg/cm}^2$

$$\sigma_Y = 0.75 * f_y$$
$$\sigma_Y = 1800 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_s < \sigma_Y$$
$$157.24 \text{ kg/cm}^2 < 1800 \text{ kg/cm}^2 \therefore \text{OK CUMPLE}$$

4.6.2.20. Altura total del aislador

$$h = Hr + (n - 1)ts$$
$$h = 35.19 \text{ cm}$$

Donde la altura exterior $t_{ext}= 2.8 \text{ cm}$

$$H = h + 2 * t_{ext}$$
$$H = 40.79 \text{ cm}$$

Donde revisando la Revista Bridgestone Seismic Isolation Product Line-up [24], tenemos un $H=407.90 \text{ mm}$

4.6.2.21. Rigidez y frecuencia vertical

Donde $f_l= 1.15$

$$K_p = fl \frac{G * A}{Hr}$$
$$K_p = 560.42 \text{ kg/cm}$$

4.6.2.22. Rigidez post fluencia

$$K2 = Kp - \frac{Q}{D_D}$$

$$K2 = 120.60 \text{ kg/cm}$$

4.6.2.23. Rigidez inicial

Donde se considera una rigidez inicial de 6.5 a 10 veces la rigidez post fluencia, para lo cual trabajaremos con 8

$$Ki = 8 K2$$

$$Ki = 964.78 \text{ kg/cm}^2$$

4.6.2.24. Desplazamiento y fuerza de fluencia

$$J = 7 Kp$$

$$J = 3922.95$$

$$Dy = \frac{Q}{J}$$

$$Dy = 2.00$$

$$Fy = Q + Kp * Dy$$

$$Fy = 8976 \text{ kg}$$

4.6.2.25. Rigidez y frecuencia vertical

$$Ec = \left(\frac{1}{6 * G * S^2} + \frac{4}{3 * K} \right)^{-1}$$

$$Ec = 9800.93 \text{ kg/cm}^2$$

$$Kv = \frac{Ec * A}{Hr} + \frac{El * Ap}{H}$$

Donde EI=140000

$$Kv = 6456963.992 \text{ kg}$$

4.6.2.26. Chequeo de Rigideces

$$\frac{Kv}{Kh} > 1000$$

$$13249.86 > 1000 \therefore OK \text{ CUMPLE}$$

4.6.2.27. Frecuencia Vertical

$$fv \geq 10 \text{ Hz}$$

Donde fh=0.4

$$fv = \sqrt{6} * S * fh$$

$$fv = 35.72 \text{ Hz}$$

$$35.72 \geq 10 \therefore OK \text{ CUMPLE}$$

4.6.2.28. Verificación del periodo objetivo

$$KH = \frac{G * A}{Hr}$$

$$KH = 478.32 \text{ kg/cm}$$

$$KH = 48.73 \text{ ton/m}$$

$$T = \sqrt{\frac{4 * W * \pi^2}{KH * g * N}}$$

$$T = 2.4 \text{ s}$$

4.6.2.29. Deformación angular máxima

$$\gamma_s = \frac{D_M}{Hr}$$

$$\gamma_s = 1.07$$

Donde de la Revista Bridgestone Seismic Isolation Product Line-up [24], tenemos un $\epsilon_o = 2.2 \text{ N/mm}^2$ y $k = 0.85$

$$\epsilon_o = 22.434 \text{ kg/cm}^2$$

$$\epsilon_c = \frac{\frac{P_{max}}{A}}{\epsilon_o(1 + 2 * k * S^2)}$$

$$\epsilon_c = 0.000867$$

$$\gamma_c = 6 S \epsilon_c$$

$$\gamma_c = 0.1897$$

4.6.2.30. Deformación máxima

$$\gamma_{max} = \gamma_s + \gamma_c$$

$$\gamma_{max} = 1.261$$

Donde $\epsilon_b = 5.5$ y $F_s = 1.5$

$$\gamma_{\text{max propuesto}} = \frac{0.85 * \epsilon_b}{F_s}$$

$$\gamma_{\text{max propuesto}} = 3.117$$

$$\gamma_{max} < \gamma_{\text{max propuesto}}$$

$$1.261 < 3.117 \therefore \text{OK CUMPLE}$$

4.6.2.31. Verificación del Pandeo

$$A_s = A \frac{h}{Hr}$$

$$A_s = 4836.69 \text{ cm}^2$$

$$P_s = G * A_s$$

$$P_s = 17148.90 \text{ kg}$$

$$I = \frac{\pi}{4} * \left(\frac{De}{2}\right)^4$$

$$I = 1553159.18 \text{ cm}^4$$

$$(EI)_{eff} = \frac{E_c * I}{3}$$

$$(EI)_{eff} = 5074134902 \text{ kg} - \text{cm}^2$$

$$PE = \frac{\pi^2 * (EI)_{eff}}{h^2}$$

$$PE = 40441313.45 \text{ kg}$$

$$P_{crit} = \frac{P_s \left(\sqrt{1 + 4 \frac{PE}{P_s}} \right) - 1}{2}$$

$$P_{crit} = 832824.53 \text{ kg}$$

$$P_{crit} = 832.82 \text{ Ton}$$

Donde $F_s=2$

$$\frac{P_{crit}}{P_{max}} \geq F_s$$

$$6.88 \geq 2 \therefore \text{OK CUMPLE}$$

4.6.2.31. Verificación del Volcamiento

$$D_{max} = \frac{P_{min} * \phi}{P_{min} + KH * h}$$

$$D_{max} = 38.18 \text{ cm}$$

$$F_s = \frac{D_{max}}{D_D}$$

$$F_s = 2.14$$

$$F_s > 2$$

$$2.14 > 2 \therefore OK \text{ CUMPLE}$$

4.6.3. Resultados de cálculos

4.6.3.1. Resultados de cálculos

Tabla 20 Datos obtenidos del cálculo para el diseño de aislador

Descripción	Simbología	Valor	Unidad
Diámetro exterior	De	60	cm
Altura total aislador	H	40.79	cm
Altura de goma		20	cm
Numero de capas de goma		50	u
Espesor de capa de goma		0.4	cm
Periodo objetivo	T _D	2.4	s
Espesor de capa de acero	tr	0.31	cm
Módulo de corte	G	0.0035	Ton/cm ²
Capacidad a cero deformaciones	Q	7.854	Ton

Fuente: Elaboración autónoma

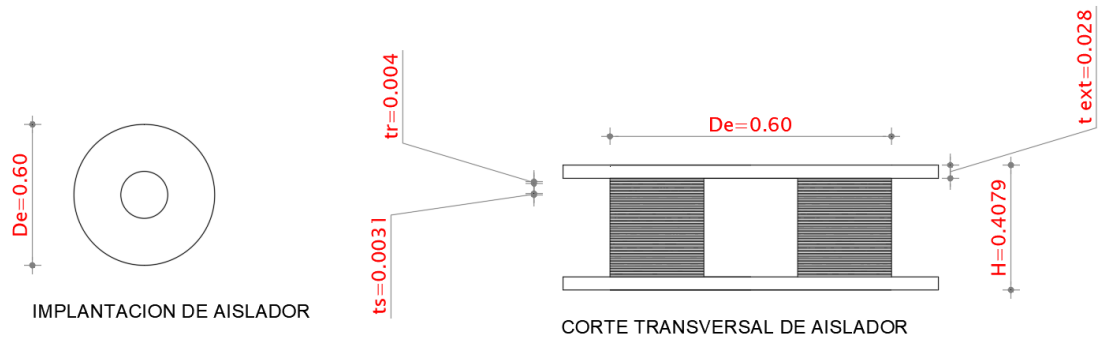
4.6.3.2. Resultados para el ingreso al Software

Tabla 21 Datos obtenidos del cálculo para el diseño de aislador

Descripción	Simbología	Valor	Unidad
Rigidez Vertical	R _v	6456.96	Ton/m
Rigidez efectiva lineal	R _h	48.73	Ton/m
Rigidez Inicial	R _i	96.48	Ton/m
Fuerza de fluencia	F _y	8.98	Ton
Rigidez Horizontal Post-Fluencia		0.12	

Fuente: Elaboración autónoma

Figura 17 Detalle de Aislador calculado

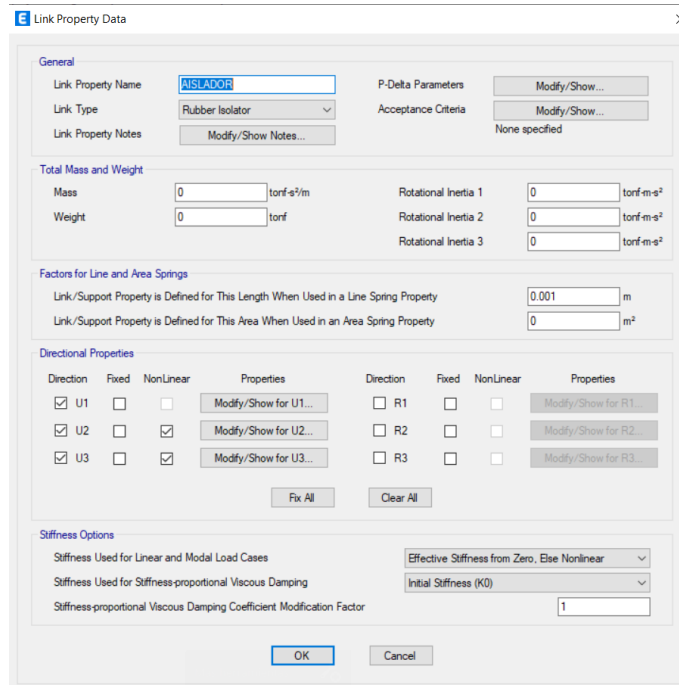


Fuente: Elaboración autónoma

4.6.4. Modelación de aisladores en el software

Mediante la Utilización del software empezaremos con la modelación de los aisladores de base, en la cual se procede a definir la Sección Link/Support Properties y se añade una nueva propiedad y se procede a ingresar los datos calculados del aislador según la tabla 21.

Figura 18 Ingresar Datos del Aislador calculados



Fuente: Elaboración autónoma, 2022

Figura 19 Ingresar Datos del Aislador dirección U1

Identification	
Property Name	Link 1
Direction	U1
Type	Rubber Isolator
NonLinear	No

Linear Properties	
Effective Stiffness	6503.77 tonf/m
Effective Damping	0.12 tonf-s/m

Fuente: Elaboración autónoma, 2022

Figura 20 Ingreso datos del Aislador dirección U2

Identification	
Property Name	Link 1
Direction	U2
Type	Rubber Isolator
NonLinear	Yes

Linear Properties	
Effective Stiffness	48.73 tonf/m
Effective Damping	0.12 tonf-s/m

Shear Deformation Location	
Distance from End-J	0 m

Nonlinear Properties	
Stiffness	144.57 tonf/m
Yield Strength	8.98 tonf
Post Yield Stiffness Ratio	0.18

Fuente: Elaboración autónoma, 2022

Figura 21 Ingreso datos del aislador en dirección U3

Link/Support Directional Properties

Identification

Property Name: Link 1
Direction: U3
Type: Rubber Isolator
NonLinear: Yes

Linear Properties

Effective Stiffness: 48.73 tonf/m
Effective Damping: 0.12 tonf-s/m

Shear Deformation Location

Distance from End-J: 0 m

Nonlinear Properties

Stiffness: 144.57 tonf/m
Yield Strength: 8.98 tonf
Post Yield Stiffness Ratio: 0.18

OK Cancel

Fuente: Elaboración autónoma, 2022

Posteriormente se define propiedades del aislador mediante Define Point Springs y se añade una nueva propiedad

Figura 22 Añadir una nueva Propiedad

Point Spring Property Data

General Data

Property Name: AISLADOR
Display Color: Change...
Property Notes: Modify/Show Notes...

Spring Stiffness Options

User Specified/Link Properties Based on Soil Profile and Footing Dimensions

Simple Spring Stiffness in Global Directions

Translation X: 0 tonf/m
Translation Y: 0 tonf/m
Translation Z: 20.394 tonf/m
Rotation about X-Axis: 0 tonf-m/rad
Rotation about Y-Axis: 0 tonf-m/rad
Rotation about Z-Axis: 0 tonf-m/rad

Single Joint Links at Point

Link Property	Axial Direction	Axis 2 Angle
AISLADOR	+Z	0

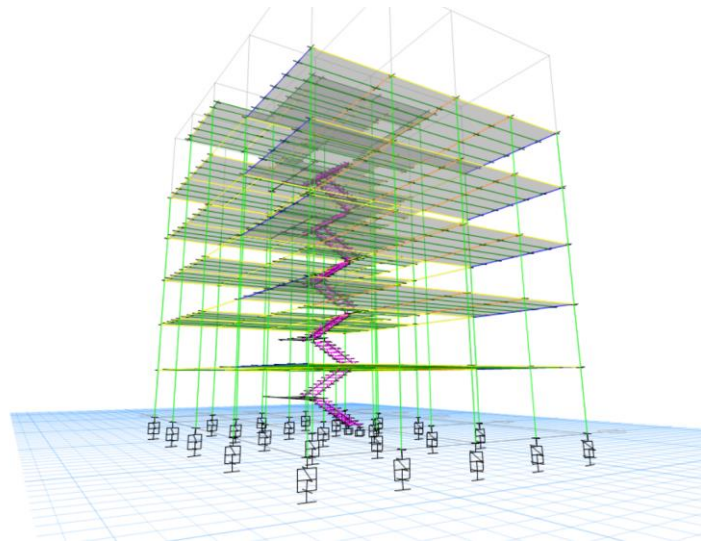
Add
Delete

OK Cancel

Fuente: Elaboración autónoma, 2022

Seguidamente se procede a asignar los aisladores en la base de las columnas.

Figura 23 Visualización en 3D de los Aisladores en su base



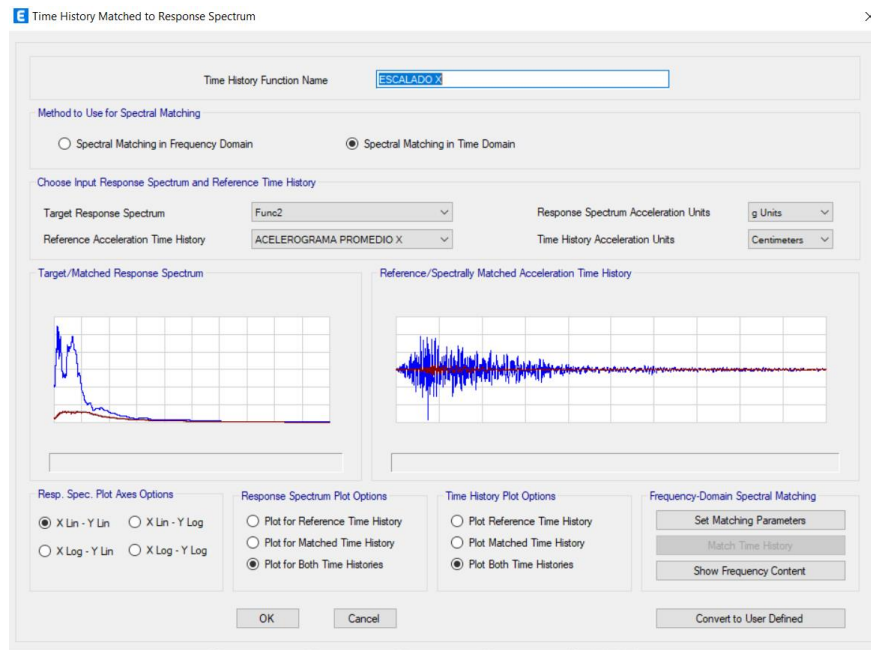
Fuente: Elaboración autónoma, 2022

4.6.5. Análisis Dinámico No lineal Tiempo- Historia

Para determinar el comportamiento de estructura de una manera más exacta se procede a realizar un análisis Dinámico no lineal Tiempo Historia, en el cual se procede a ingresar en el software los acelerogramas corregidos escalado tanto en X como en Y, para determinar el comportamiento real de la estructura, para lo cual se utilizó la base de datos del Instituto Geofísico para el sismo de Pedernales 16 de abril del 2016, Cumandá 07 de septiembre del 2018 y Perú 28 de noviembre del 2021, aplicando lo que exige la normativa para un análisis tiempo historia se debe registrar 3 eventos sísmicos según el capítulo 6.2.2 de la NEC-15, donde para el análisis paso a paso en el sí se utilizan 3 pares de registro, se tomara para el diseño la respuesta máxima de los parámetros de interés.

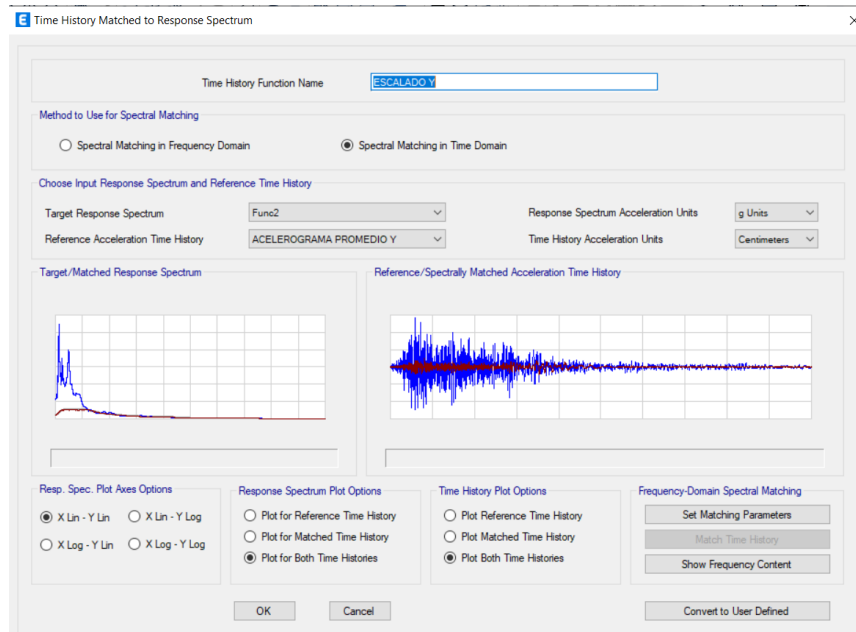
Por consiguiente, se realiza el escalado de los acelerogramas corregidos tanto en desplazamiento Este y Norte

Figura 24 Escalamiento del Acelerograma Promedio en dirección Este X



Fuente: Elaboración autónoma, 2022

Figura 25 Escalamiento del Acelerograma en sentido Norte Y



Fuente: Elaboración autónoma, 2022

Se define casos de función Tiempo Historia en el eje x como en y.

4.7. Resultados

4.7.1. Estructura sin aislación con análisis dinámico no lineal tiempo historia

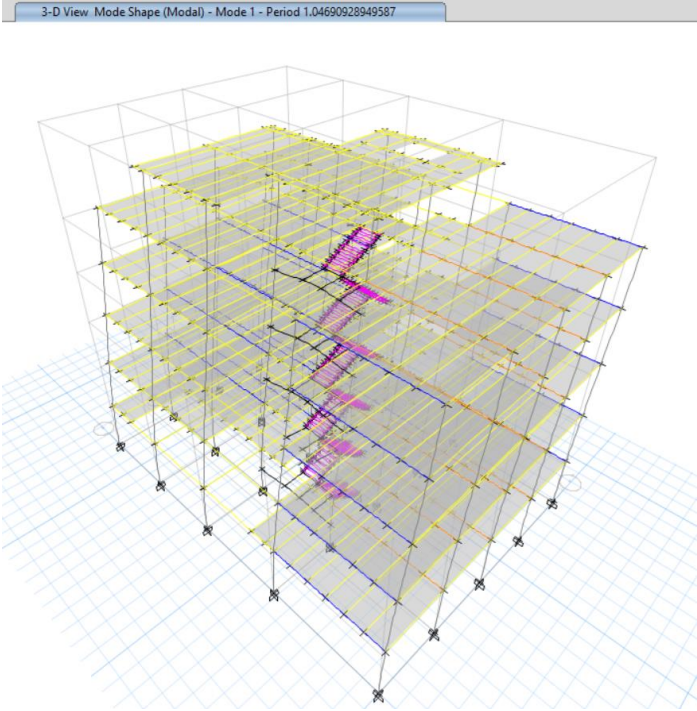
4.7.1.1. Periodos de vibración de la Estructura sin aislación con análisis dinámico no lineal tiempo historia

Tabla 22 Periodos de vibracion con Analisis no lineal tiempo historia estructura sin asilación

Mode	Period	UX	UY	RZ
	sec			
1	1.047	0.7348	0.0001	0.0004
2	0.973	0.0001	0.7307	0.0088
3	0.853	0.0008	0.0068	0.7347
4	0.261	0.1542	0.001	0.0023
5	0.256	0.0014	0.1518	0.0008
6	0.218	0.0011	0.0021	0.1501
7	0.111	0.0485	0.0111	0.0006
8	0.111	0.0118	0.0471	0.000001495
9	0.093	0.00002597	0.0016	0.0593
10	0.08	0	0.000006062	5.658E-07
11	0.071	0.0049	0.0164	0.0003
12	0.07	0.0163	0.0043	0.0007
13	0.059	0.0003	0.0003	0.0121
14	0.053	0.0096	0.0066	0.0021
15	0.052	0.0076	0.0122	0.000006941
16	0.047	0.0015	0.0007	0.019
17	0.041	0.00002731	0	9.748E-07
18	0.04	0.0058	0.0002	0.0003

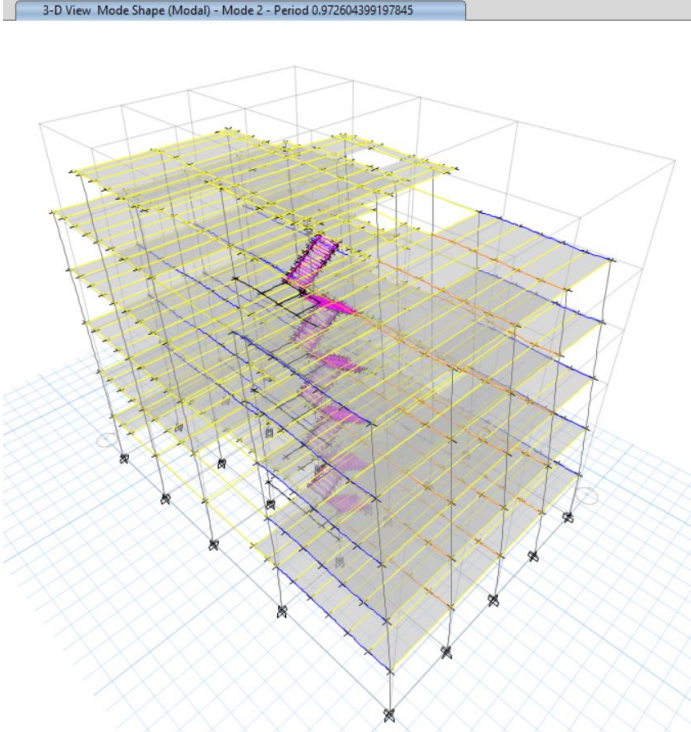
Fuente: Elaboración autónoma, 2022

Figura 26 Primer modo de vibracion en la dirección Y



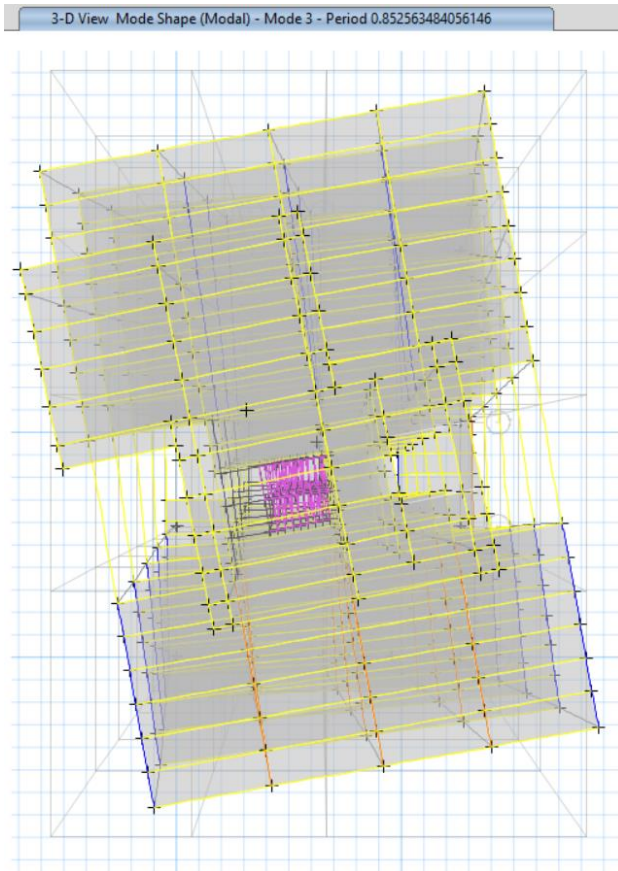
Fuente: Elaboración autónoma, 2022

Figura 27 Segundo modo de vibracion en la dirección X



Fuente: Elaboración autónoma, 2022

Figura 28 Tercer modo de vibracion en la direcci3n Z



Fuente: Elaboraci3n aut3noma, 2022

4.7.1.2. Desplazamientos de la Estructura sin aislaci3n con an3lisis din3mico no lineal tiempo historia

Tabla 23 Resultados de Desplazamientos del Analisis Tiempo historia Sentido X

TABLE: Story Response			M3ximo		M3nimo	
Story	Elevation	Location	X-Dir	Y-Dir	X-Dir	Y-Dir
	cm		cm	cm	cm	cm
Story6	2114	Top	3.6337	0.0578	3.7555	0.0592
Story5	1620	Top	3.0805	0.0664	3.2413	0.0625
Story4	1296	Top	2.4067	0.0528	2.5868	0.052
Story3	972	Top	1.6568	0.0413	1.8274	0.0397
Story2	648	Top	0.9021	0.0249	1.0228	0.0234
Story1	324	Top	0.2789	0.0199	0.3251	0.0169
Base	0	Top	0	0	0	0

Fuente: Elaboraci3n aut3noma, 2022

Tabla 24 Resultado de desplazamientos del análisis Tiempo Historia Sentido Y

TABLE: Story Response			Máximo		Mínimo	
Story	Elevation	Location	X-Dir	Y-Dir	X-Dir	Y-Dir
	cm		cm	cm	cm	cm
Story6	2114	Top	0.0794	3.9685	0.0819	3.5497
Story5	1620	Top	0.1379	3.3662	0.1339	3.0191
Story4	1296	Top	0.1117	2.65	0.1088	2.3861
Story3	972	Top	0.0797	1.8377	0.0781	1.6636
Story2	648	Top	0.0743	1.0075	0.0673	0.918
Story1	324	Top	0.0153	0.3126	0.0153	0.2866
Base	0	Top	0	0	0	0

Fuente: Elaboración autónoma, 2022

4.7.1.3. Derivas de la Estructura sin aislación con análisis dinámico no lineal tiempo historia

Tabla 25 Resultado Derivas de piso Análisis tiempo Historia

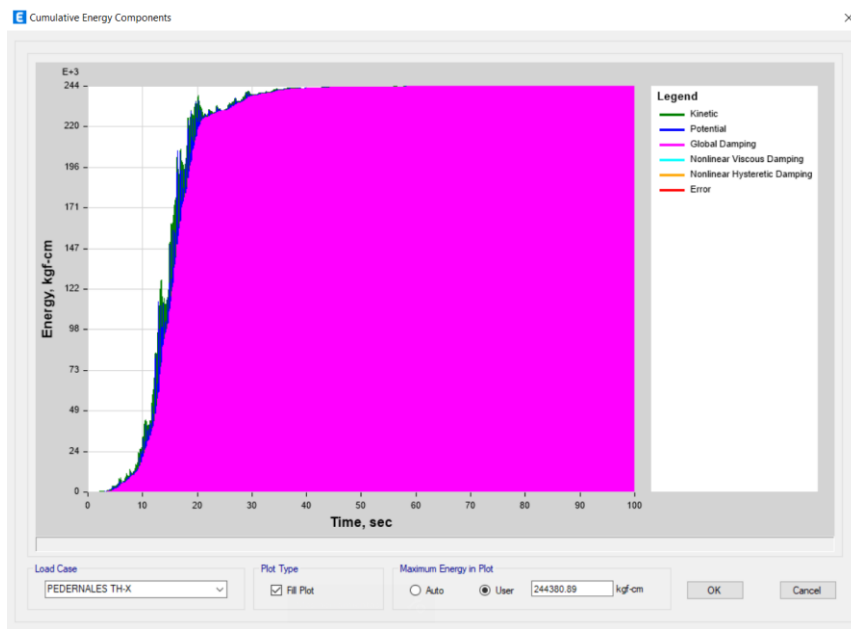
Story	Output Case	Step Type	Direction	Drift	Drift
				Elastica	Inelastica
Story5	PEDERNALES TH-X	Max	X	0.002984	0.002238
Story5	PEDERNALES TH-X	Min	X	0.002762	0.0020715
Story5	PEDERNALES TH-Y	Max	Y	0.002499	0.00187425
Story5	PEDERNALES TH-Y	Min	Y	0.002065	0.00154875
Story4	PEDERNALES TH-X	Max	X	0.003321	0.00256575
Story4	PEDERNALES TH-X	Min	X	0.003199	0.00239925
Story4	PEDERNALES TH-Y	Max	Y	0.002825	0.00211875
Story4	PEDERNALES TH-Y	Min	Y	0.002349	0.00176175
Story3	PEDERNALES TH-X	Max	X	0.003321	0.00264075
Story3	PEDERNALES TH-X	Min	X	0.003338	0.00250425

Story3	PEDERNALES TH-Y	Max	Y	0.002937	0.00220275
Story3	PEDERNALES TH-Y	Min	Y	0.002465	0.00184875
Story2	PEDERNALES TH-X	Max	X	0.002944	0.002208
Story2	PEDERNALES TH-X	Min	X	0.002829	0.00212175
Story2	PEDERNALES TH-Y	Max	Y	0.002535	0.00190125
Story2	PEDERNALES TH-Y	Min	Y	0.002155	0.00161625
Story1	PEDERNALES TH-X	Max	X	0.001334	0.0010005
Story1	PEDERNALES TH-X	Min	X	0.001291	0.00096825
Story1	PEDERNALES TH-Y	Max	Y	0.001189	0.00089175
Story1	PEDERNALES TH-Y	Min	Y	0.001023	0.00076725

Fuente: Elaboración autónoma, 2022

4.7.1.4. Disipación de Energía de la Estructura sin aislación con análisis dinámico no lineal tiempo historia

Figura 29 Disipación de Energia



Fuente: Elaboración autónoma, 2022

De acuerdo a la Figura 29 nuestra disipación de energía para una estructura sin aislamiento con un sismo tenemos 244380.89 Kg-cm.

4.7.1.5. Aceleraciones Absolutas de la Estructura sin aislamiento con análisis dinámico no lineal tiempo historia

Tabla 26 Aceleraciones por piso

Piso	Sentido X	Sentido Y
6	2.072	1.999
5	1.530	1.756
4	1.301	1.362
3	1.022	0.925
2	0.637	0.492
1	0.322	0.207
0	0	0

Fuente: Elaboración autónoma, 2022

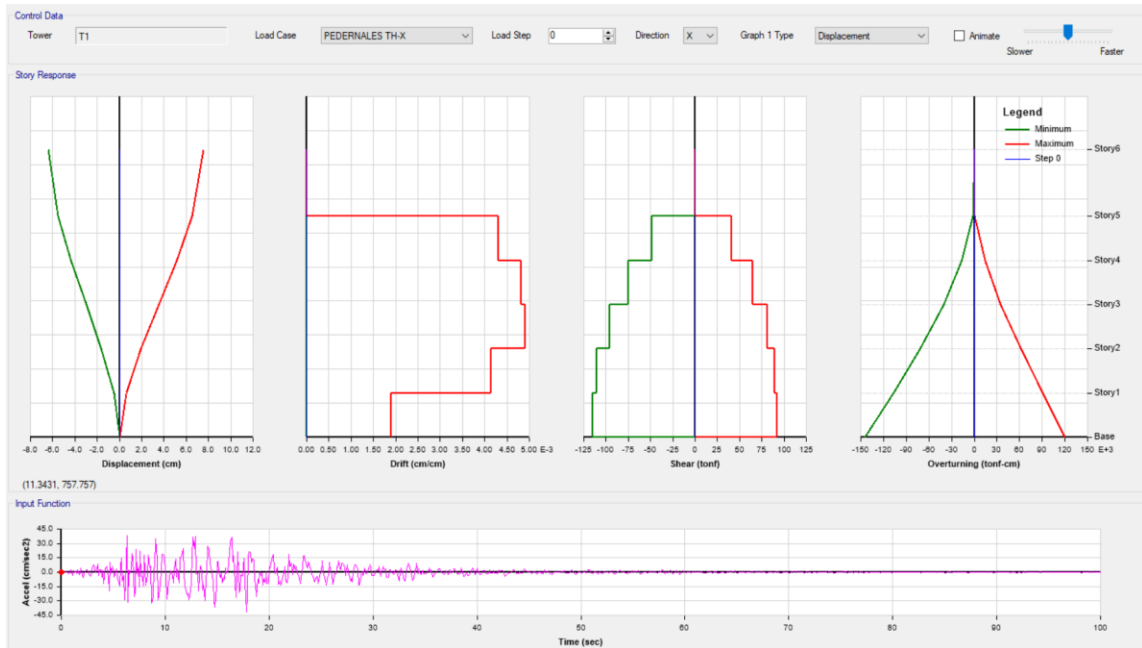
4.7.1.6. Resultados de la Estructura sin aislamiento con análisis dinámico no lineal tiempo historia

Tabla 27 Resultados Analisis no lineal tiempo historia estructura sin asilación

Descripción	Unidad	Eje X		Eje Y	
		Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Periodo de vibración	sec	0.04	1.047		
Desplazamiento	cm	-3.755469	3.633708	-3.549736	3.968454
Derivas	cm/cm	0.001291	0.003321	0.001023	0.002937
Aceleración	m/sec ²	0	2.072	0	1.999
Cortante Basal	Tonf	-115.169	92.185597	-125.9290	117.4226
Sobretensión	Tonf-cm	-107439	120363	-113369	153710

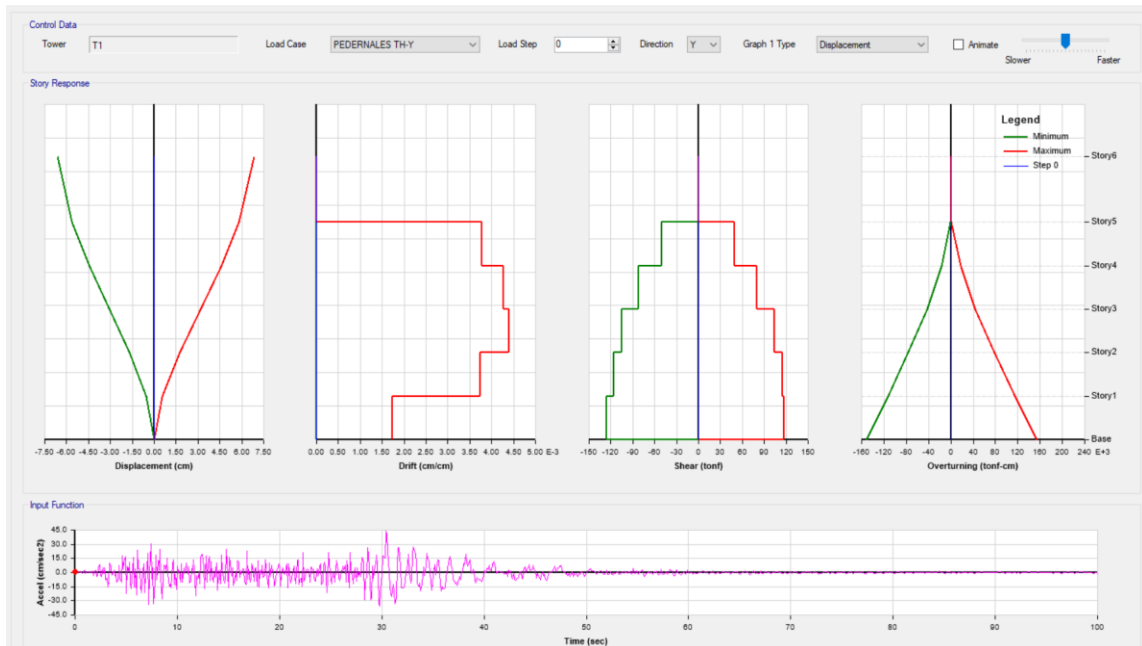
Fuente: Elaboración autónoma, 2022

Figura 30 Resultado Tiempo Historia sentido X



Fuente: Elaboración autónoma, 2022

Figura 31 Resultados Timpso Historia Sentido Y



Fuente: Elaboración autónoma, 2022

4.7.2. Estructura con aislación con análisis dinámico no lineal tiempo historia

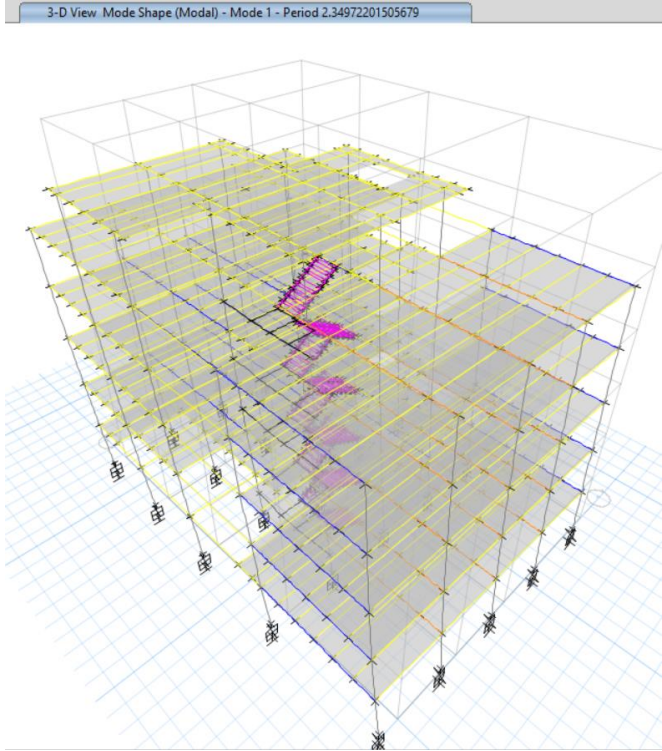
4.7.2.1. Periodos de vibración de la Estructura con aislación con análisis dinámico no lineal tiempo historia

Tabla 28 Periodos de vibracion con Analisis no lineal tiempo historia estructura con asilación

Mode	Period	UX	UY	RZ
	sec			
1	2.35	0.9586	0.0003	0.0113
2	2.229	0.0007	0.9726	0.0046
3	1.972	0.0107	0.005	0.9614
4	0.545	0.0283	0	0.0002
5	0.51	0.00000309	0.0209	0.0000162
6	0.44	0.0005	0.00003873	0.0213
7	0.195	0.0011	0.000005202	0.000006324
8	0.189	0.000006781	0.0009	0.0000174
9	0.163	0.00002246	6.136E-07	0.001
10	0.124	0	0	0
11	0.093	0.000004368	0	0
12	0.092	0.00001213	0.00004872	0.000001816
13	0.091	0.00004927	0.00001212	0.000003554
14	0.08	0	0	0
15	0.076	0	0.000001275	0.0001
16	0.063	0.00000278	0.000009863	0
17	0.062	0.000009237	0.00000254	0.000001571
18	0.056	0	0	0.000006696

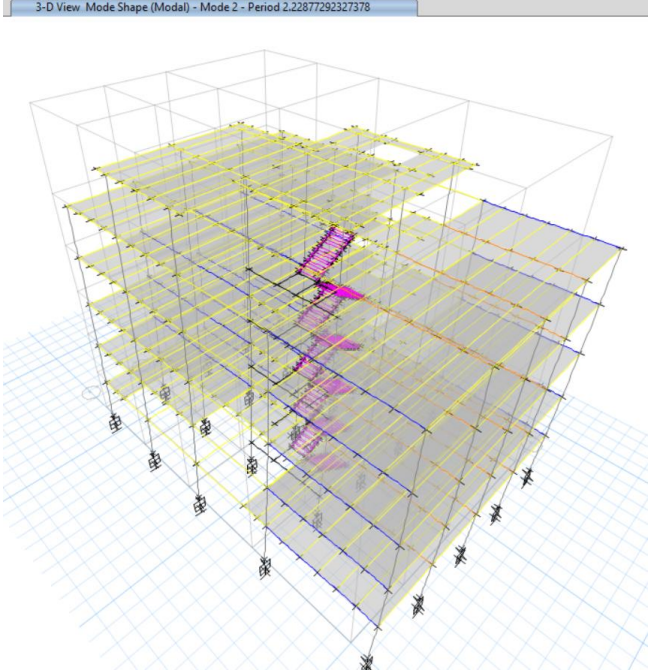
Fuente: Elaboración autónoma, 2022

Figura 32 Primer modo de vibracion en la dirección Y



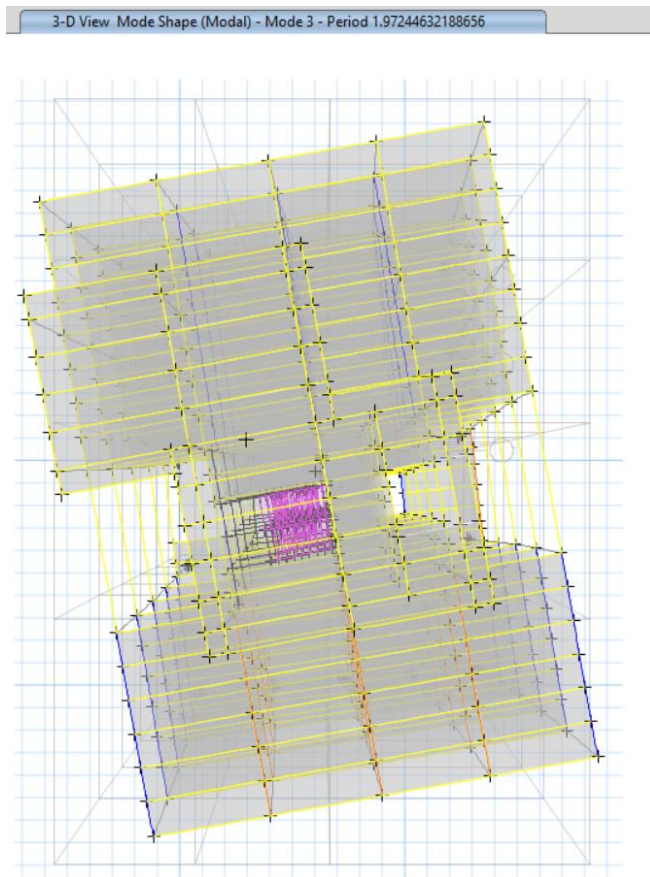
Fuente: Elaboración autónoma, 2022

Figura 33 Segundo modo de vibracion en la dirección X



Fuente: Elaboración autónoma, 2022

Figura 34 Tercer modo de vibración en la dirección Z



Fuente: Elaboración autónoma, 2022

4.7.2.2. Desplazamientos de la Estructura con aislación con análisis dinámico no lineal tiempo historia

Tabla 29 Resultados de Desplazamientos del Analisis Tiempo historia Sentido X

TABLE: Story Response			Máximo		Mínimo	
Story	Elevation	Location	X-Dir	Y-Dir	X-Dir	Y-Dir
	cm		cm	cm	cm	cm
Story6	2114	Top	8.443	1.0259	8.5907	1.0304
Story5	1620	Top	8.4419	0.9886	8.6508	0.9865
Story4	1296	Top	7.9077	0.9374	8.028	0.9338
Story3	972	Top	7.2355	0.8712	7.2623	0.8659
Story2	648	Top	6.3881	0.7837	6.3296	0.7768
Story1	324	Top	5.3502	0.6701	5.2254	0.6623
Base	0	Top	4.6782	0.5332	4.5247	0.5408

Fuente: Elaboración autónoma, 2022

Tabla 30 Resultado de desplazamientos del análisis Tiempo Historia Sentido Y

TABLE: Story Response			Máximo		Mínimo	
Story	Elevation	Location	X-Dir	Y-Dir	X-Dir	Y-Dir
	cm		cm	cm	cm	cm
Story6	2114	Top	0.5026	8.8194	0.5	6.578
Story5	1620	Top	0.7068	8.3769	0.7161	6.2452
Story4	1296	Top	0.6618	7.8468	0.6688	5.8465
Story3	972	Top	0.6044	7.1986	0.6079	5.36
Story2	648	Top	0.5312	6.3966	0.5288	4.7597
Story1	324	Top	0.439	5.4188	0.4324	4.0716
Base	0	Top	0.3345	5.2946	0.3364	3.9722

Fuente: Elaboración autónoma, 2022

4.7.2.3. Derivas de la Estructura con aislación con análisis dinámico no lineal tiempo historia

Tabla 31 Resultado Derivas de piso Análisis tiempo Historia

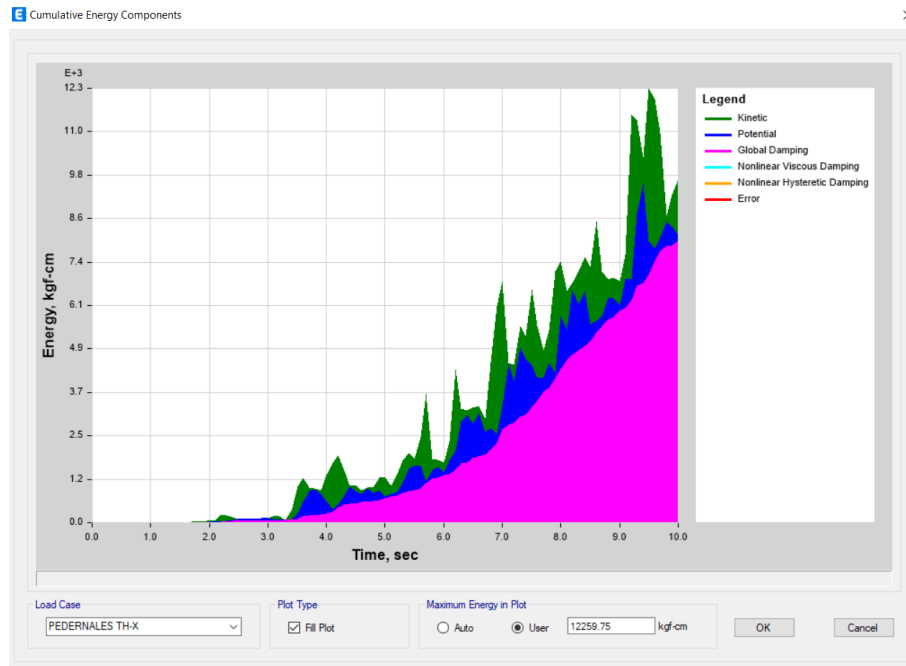
Story	Output Case	Step Type	Direction	Drift	Drift
				elastica	inelástica
Story5	PEDERNALES TH-X	Max	X	0.00171	0.0012825
Story5	PEDERNALES TH-X	Min	X	0.001922	0.0014415
Story5	PEDERNALES TH-Y	Max	Y	0.001636	0.001227
Story5	PEDERNALES TH-Y	Min	Y	0.001242	0.0009315
Story4	PEDERNALES TH-X	Max	X	0.002131	0.00159825
Story4	PEDERNALES TH-X	Min	X	0.002363	0.00177225
Story4	PEDERNALES TH-Y	Max	Y	0.002001	0.00150075
Story4	PEDERNALES TH-Y	Min	Y	0.001502	0.0011265
Story3	PEDERNALES TH-X	Max	X	0.002648	0.001986
Story3	PEDERNALES TH-X	Min	X	0.002879	0.00215925
Story3	PEDERNALES TH-Y	Max	Y	0.002475	0.00185625

Story3	PEDERNALES TH-Y	Min	Y	0.001853	0.00138975
Story2	PEDERNALES TH-X	Max	X	0.003203	0.00240225
Story2	PEDERNALES TH-X	Min	X	0.003308	0.002481
Story2	PEDERNALES TH-Y	Max	Y	0.003037	0.00227775
Story2	PEDERNALES TH-Y	Min	Y	0.002268	0.001701
Story1	PEDERNALES TH-X	Max	X	0.003897	0.00292275
Story1	PEDERNALES TH-X	Max	Y	0.000463	0.00034725
Story1	PEDERNALES TH-X	Min	X	0.004055	0.00304125
Story1	PEDERNALES TH-X	Min	Y	0.000477	0.00035775

Fuente: Elaboración autónoma, 2022

4.7.2.4. Disipación de Energía de la Estructura con aislación con análisis dinámico no lineal tiempo historia

Figura 35 Disipación de Energia



Fuente: Elaboración autónoma, 2022

De acuerdo a la Figura 46 nuestra disipación de energía para una estructura sin aislamiento con un sismo tenemos 12259.75 Kg-cm.

4.7.2.5. Aceleraciones Absolutas de la Estructura con aislamiento con análisis dinámico no lineal tiempo historia

Tabla 32 Aceleraciones por piso

Piso	Sentido X	Sentido Y
6	0.844	0.833
5	0.749	0.759
4	0.688	0.672
3	0.681	0.596
2	0.678	0.625
1	0.643	0.614
0	0.597	0.587

Fuente: Elaboración autónoma, 2022

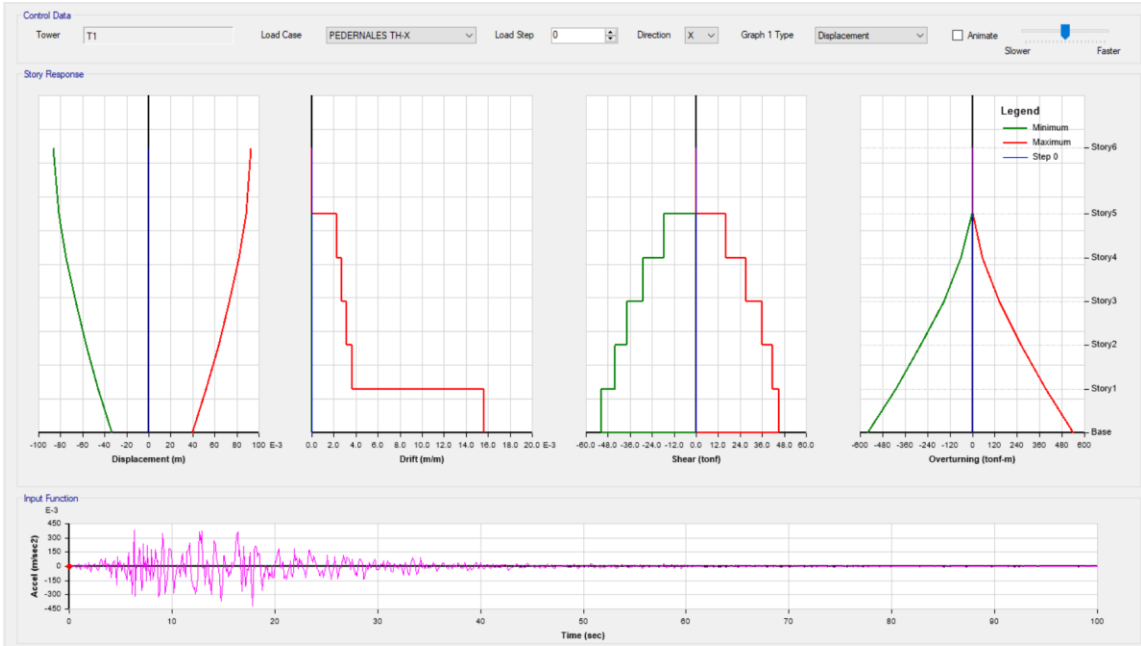
4.7.2.6. Resultados de Estructura con aislamiento sísmica en análisis dinámico no lineal tiempo historia

Tabla 33 Resultados Analisis dinamico no lineal Tiempo historia estructura con aislamiento

Descripción	Unidad	Eje X		Eje Y	
		Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Periodo de vibración	sec	0.56	2.35		
Desplazamiento	cm	8.6508	8.4430	6.57803	8.8194
Derivas	cm/cm	0.004055	0.00389	0.002809	0.003766
Aceleración	m/sec ²	0.597	0.844	0.587	0.833
Cortante Basal	Tonf	-43.973	42.275	-50.463	38.130
Sobretensión	Tonf-cm	-44437	47620.18	-41151	54002.15

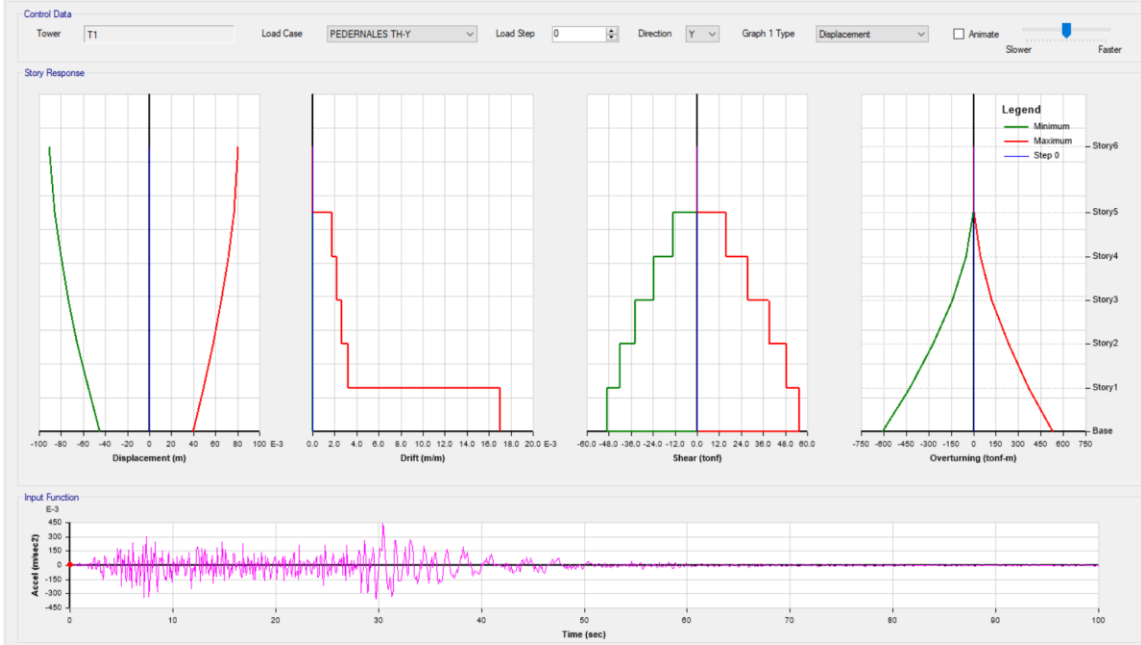
Fuente: Elaboración autónoma, 2022

Figura 36 Resultados Tiempo Historia Sentido X



Fuente: Elaboración autónoma, 2022

Figura 37 Resultados Timpo Historia Sentido Y



Fuente: Elaboración autónoma, 2022

4.7.3. Comparación de Resultados estructura con aislación y sin aislación.

Con los resultados arrojados se procede a realizar una comparativa de resultados de la estructura con aislación y sin aislación.

4.7.3.1. Periodos de vibración de una estructura sin aislación y con aislación.

Tabla 34 Analisis Comparativo de los Periodos de Vibración

	Estructura sin aislación	Estructura con aislación
Mode	Period	Period
	sec	sec
1	1.047	2.35
2	0.973	2.229
3	0.853	1.972
4	0.261	0.545
5	0.256	0.51
6	0.218	0.44
7	0.111	0.195
8	0.111	0.189
9	0.093	0.163
10	0.08	0.124
11	0.071	0.093
12	0.07	0.092
13	0.059	0.091
14	0.053	0.08
15	0.052	0.076
16	0.047	0.063
17	0.041	0.062
18	0.04	0.056

Fuente: Elaboración autónoma, 2022

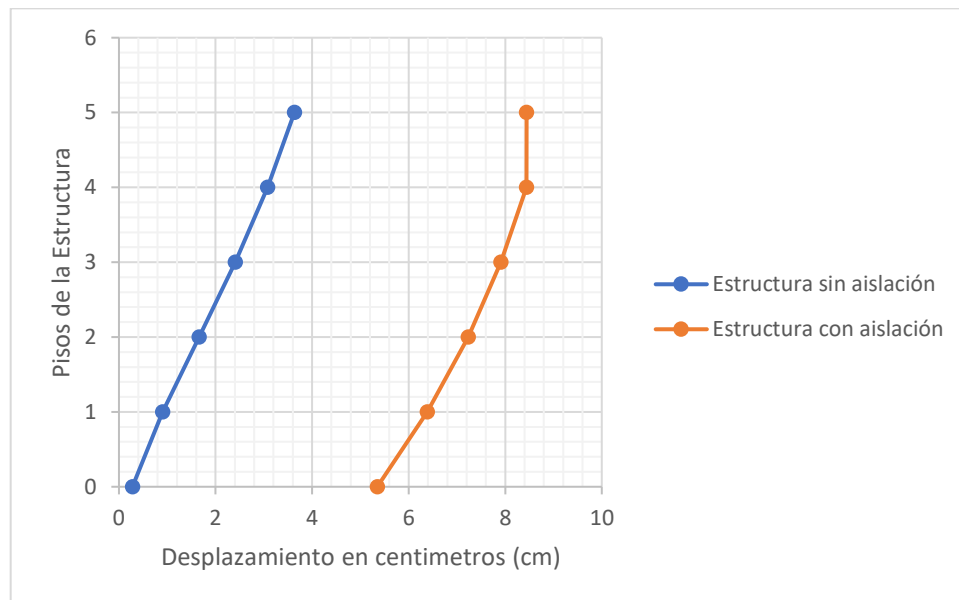
4.7.3.2. Desplazamientos de una estructura sin aislación y con aislación.

Tabla 35 Análisis comparativo Desplazamiento

Elevation cm	Location	Estructura sin aislación		Estructura con aislación	
		X-Dir cm	Y-Dir cm	X-Dir cm	Y-Dir cm
2114	Top	3.6337	3.9685	8.443	8.8194
1620	Top	3.0805	3.3662	8.4419	8.3769
1296	Top	2.4067	2.65	7.9077	7.8468
972	Top	1.6568	1.8377	7.2355	7.1986
648	Top	0.9021	1.0075	6.3881	6.3966
324	Top	0.2789	0.3126	5.3502	5.4188
0	Top	0	0	4.6782	5.2946

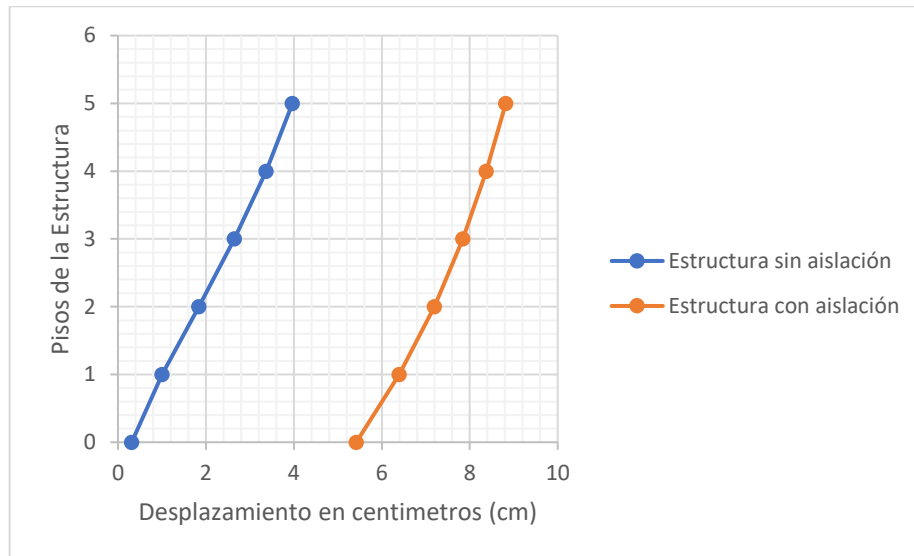
Fuente: Elaboración autónoma, 2022

Figura 38 Comparativo Desplazamientos sentido X



Fuente: Elaboración autónoma, 2022

Figura 39 Comparativo Desplazamientos sentido Y



Fuente: Elaboración autónoma, 2022

4.7.3.3. Derivas de una estructura sin aislación y con aislación.

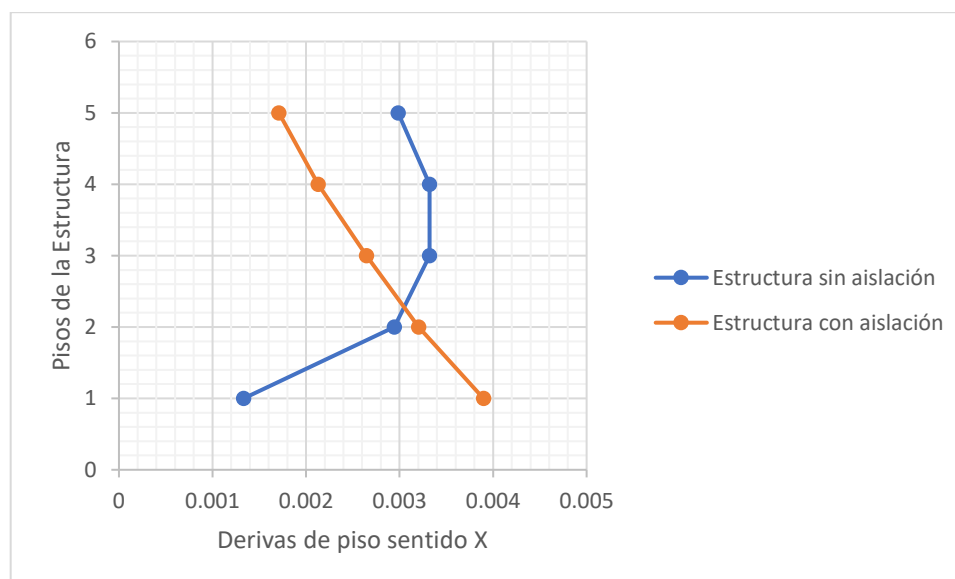
Tabla 36 Analisis comparativo de derivas de piso

				Estructura sin aislación	Estructura con aislación
Story	Output Case	Step Type	Direction	Drift	Drift
Story5	PEDERNALES TH-X	Max	X	0.002984	0.00171
Story5	PEDERNALES TH-X	Min	X	0.002762	0.001922
Story5	PEDERNALES TH-Y	Max	Y	0.002499	0.001636
Story5	PEDERNALES TH-Y	Min	Y	0.002065	0.001242
Story4	PEDERNALES TH-X	Max	X	0.003321	0.002131
Story4	PEDERNALES TH-X	Min	X	0.003199	0.002363
Story4	PEDERNALES TH-Y	Max	Y	0.002825	0.002001
Story4	PEDERNALES TH-Y	Min	Y	0.002349	0.001502

Story3	PEDERNALES TH-X	Max	X	0.003321	0.002648
Story3	PEDERNALES TH-X	Min	X	0.003338	0.002879
Story3	PEDERNALES TH-Y	Max	Y	0.002937	0.002475
Story3	PEDERNALES TH-Y	Min	Y	0.002465	0.001853
Story2	PEDERNALES TH-X	Max	X	0.002944	0.003203
Story2	PEDERNALES TH-X	Min	X	0.002829	0.003308
Story2	PEDERNALES TH-Y	Max	Y	0.002535	0.003037
Story2	PEDERNALES TH-Y	Min	Y	0.002155	0.002268
Story1	PEDERNALES TH-X	Max	X	0.001334	0.003897
Story1	PEDERNALES TH-X	Min	X	0.001291	0.000463
Story1	PEDERNALES TH-Y	Max	Y	0.001189	0.004055
Story1	PEDERNALES TH-Y	Min	Y	0.001023	0.000477

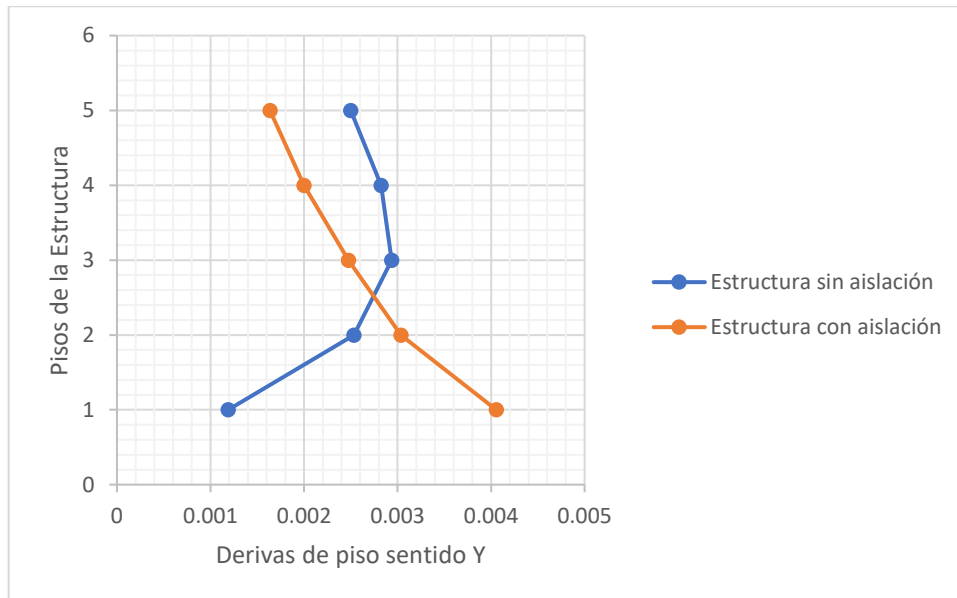
Fuente: Elaboración autónoma, 2022

Figura 40 Comparativo derivas de piso maximas en el sentido X



Fuente: Elaboración autónoma, 2022

Figura 41 Comparativa derivas de piso sentido Y



Fuente: Elaboración autónoma, 2022

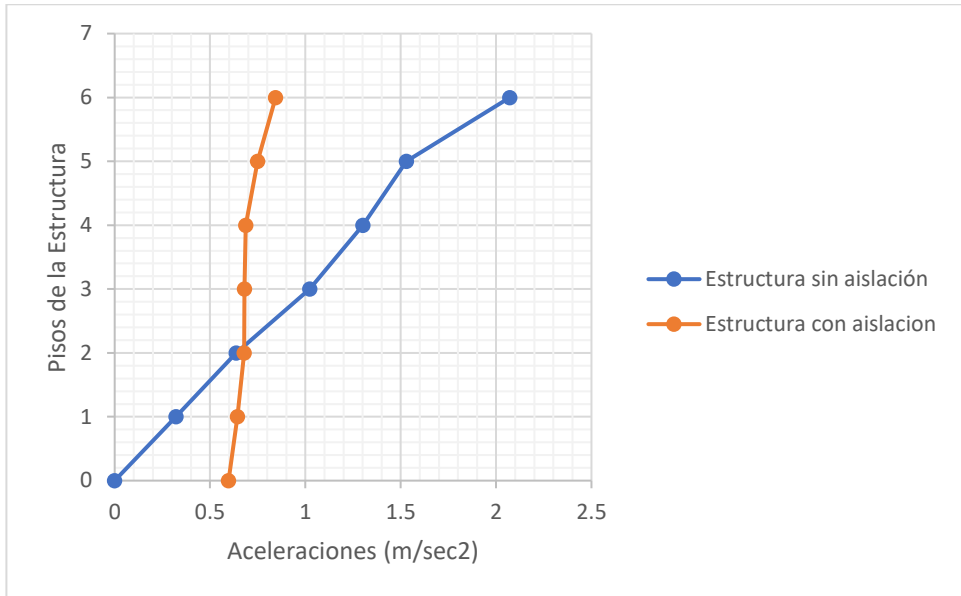
4.7.3.4. Aceleraciones de una estructura sin aislación y con aislación.

Tabla 37 Analisis comparativo de Aceleraciones

Piso	Estructura sin aislación		Estructura con aislación	
	Sentido X	Sentido Y	Sentido X	Sentido Y
6	2.072	1.999	0.844	0.833
5	1.530	1.756	0.749	0.759
4	1.301	1.362	0.688	0.672
3	1.022	0.925	0.681	0.596
2	0.637	0.492	0.678	0.625
1	0.322	0.207	0.643	0.614
0	0	0	0.597	0.587

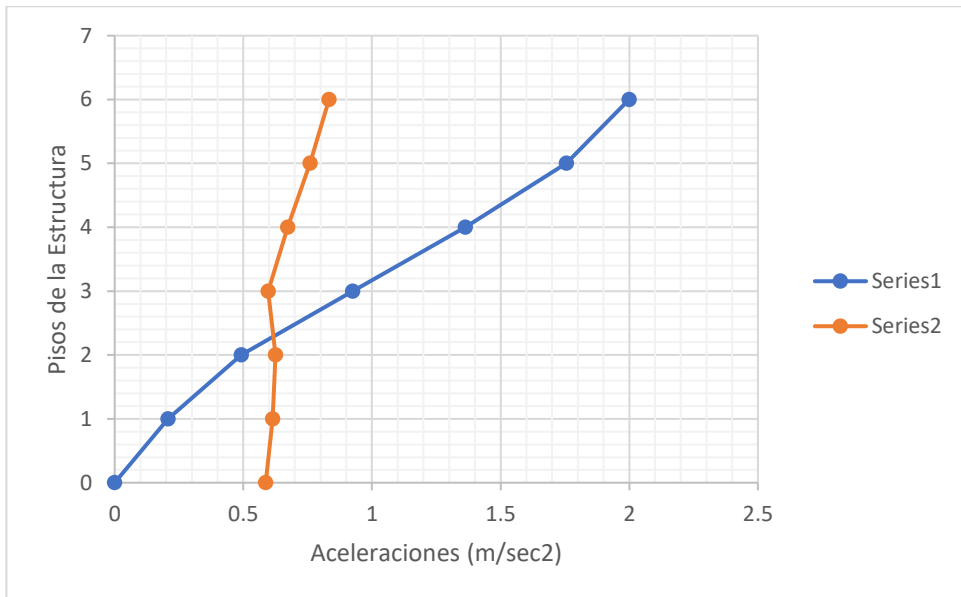
Fuente: Elaboración autónoma, 2022

Figura 42 Analisis comparativo de aceleraciones por piso en el sentido X



Fuente: Elaboración autónoma, 2022

Figura 43 Analisis comparativo de Aceleraciones por piso en el sentido Y



Fuente: Elaboración autónoma, 2022

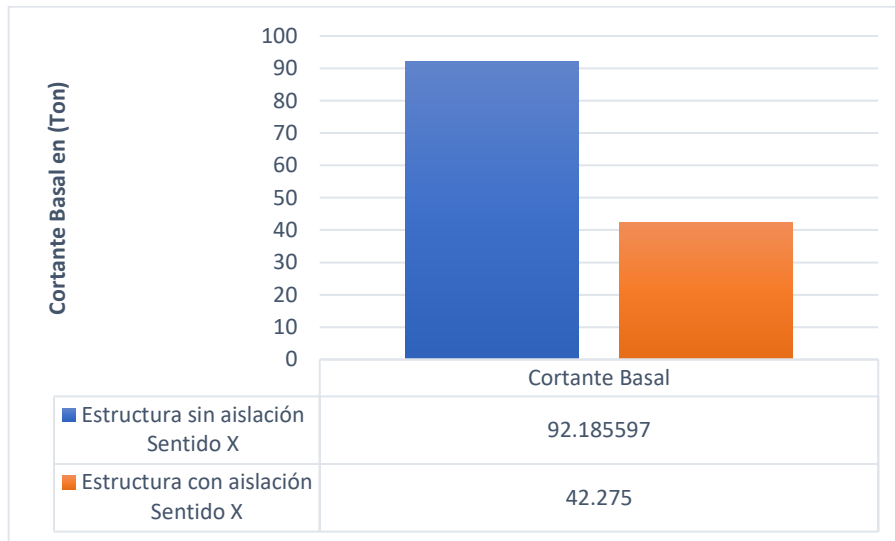
4.7.3.6. Cortante Basal de una estructura sin aislación y con aislación.

Tabla 38 Analisis comparativo del Cortante Basal

		Estructura sin aislación		Estructura con aislación	
		Sentido X	Sentido Y	Sentido X	Sentido Y
Cortante Basal	Tonf	92.185597	117.4226	42.275	38.130

Fuente: Elaboración autónoma, 2022

Figura 44 Comparativo Cortante Basal en el Sentido X



Fuente: Elaboración autónoma, 2022

Figura 45 Comparativo Cortante Basal en el sentido Y



Fuente: Elaboración autónoma, 2022

4.7.3.7. Sobretensión de una estructura sin aislación y con aislación.

Tabla 39 Analisis comparativo de la Sobretension

		Estructura sin aislación		Estructura con aislación	
		Sentido X	Sentido Y	Sentido X	Sentido Y
Sobretensión	Tonf-cm	120363.00	153710.00	47620.18	54002.15

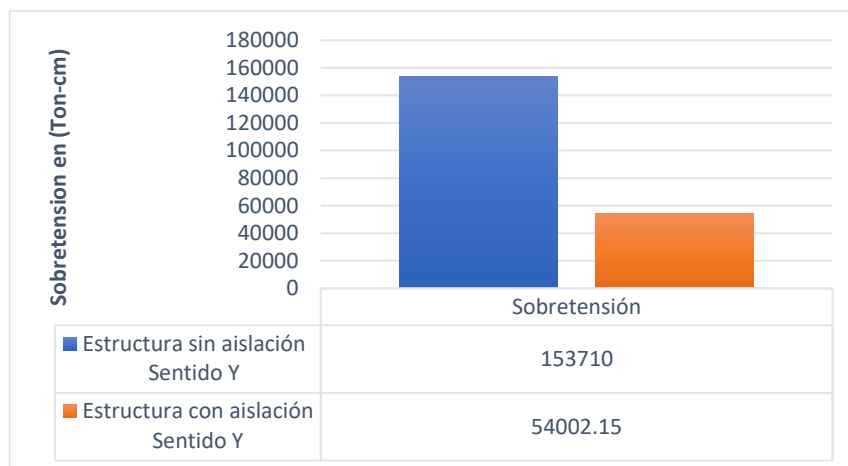
Fuente: Elaboración autónoma, 2022

Figura 46 Comparativa de la Sobretensión en el sentido X



Fuente: Elaboración autónoma, 2022

Figura 47 Comparativa de la Sobretensión en el sentido Y



Fuente: Elaboración autónoma, 2022

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES, BIBLIOGRAFÍA Y ANEXOS

5.1. Conclusiones

- Una vez realizado el análisis estructural mediante la aplicación de aisladores sísmicos en el edificio de estructura metálica en base a la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-15, se concluyó que el comportamiento de la estructura con aislación sísmica presenta una considerable disminución en los resultados de derivas de piso, aceleraciones por piso, cortante basal y sobretensión de la estructura.
- De los resultados obtenidos de la estructura con aislación se obtuvo 2.35 sec. en el primer modo de vibración, mientras que en la estructura sin aislación se obtuvo un valor de 1.047 sec. lo que nos indica una reducción de la demanda sísmica ya que con los valores obtenidos en la estructura aislada superiores a la estructura sin aislación, se produce una disminución de la aceleración espectral dándonos valores en la estructura con aislación de 0.844 m/sec^2 , comparando con la estructura sin aislación una aceleración de 2.072 m/sec^2 , lo que ocasiona la reducción de las fuerzas sísmicas.
- De los resultados arrojados se concluyó que los valores máximos de desplazamiento se obtuvieron en piso más alto de la edificación con aislación con un valor de 8.443 centímetros y para la edificación sin aislación un valor de 3.6337 centímetros en el sentido x., A su vez para el edificio con aislación un valor de 8.8194 centímetros y para la edificación sin aislación un valor de 3.9685 centímetros en el sentido Y. El sistema con aislación elastomérica tiene un mejor comportamiento ya que los resultados de desplazamientos se aprecia valores similares en toda la altura del edificio.
- Como se observa en las tablas comparativas de las derivas de piso del edificio sin aislación y con aislación no sobrepasa el valor 0.02 permitido por la Norma Ecuatoriana NEC-15.

- Los resultados de cortante basal obtenidos en la estructura con aislación da un valor de 42.275 Tonf el cual es menor al valor que posee la estructura sin aislación de 92.19 Tonf lo que nos ayuda considerablemente a la reducción de las fuerzas sísmicas.
- En relación con los resultados obtenidos se observó que la edificación con aislación sísmica obtuvo un mejor comportamiento estructural, puesto que aumenta significativamente el periodo fundamental de la estructura de la forma reduciendo derivas y logrando que la estructura se comporte como un solo elemento.

5.2. Recomendaciones

- Para realizar un análisis comparativo de una estructura sin aislación y con aislación, primero se debe realizar la estabilización de la misma de acuerdo a lo que establece la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-15
- Es importante realizar una corrección de los acelerogramas para el ingreso de los mismos al Software.
- Además, se debe escalar el espectro de diseño con el acelerogramas ingresado en el software.
- Se debe tener en consideración lo que establece la normativa NEC-15 para el análisis paso a paso en el tiempo o tiempo historia donde se deben realizar utilizando las dos componentes horizontales de registros de acelerogramas apropiadamente seleccionados y escalados a partir de los registros no menos de 3 eventos sísmicos.
- De igual forma si se realizan los análisis para los 3 pares de registros, se tomarán para el diseño la respuesta máxima de los parámetros de interés y si se realizan 7 o más análisis paso a paso en el tiempo, se utilizarán para el diseño el valor promedio de los parámetros de respuesta de interés.

5.3. Bibliografía

- [1] B. A. Guaygua Quillupangui, “Análisis Experimental y analítico de aisladores elastoméricos”, Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador, 2015.
- [2] C. F. Vergara Navarrete, “Estudio comparativo de aisladores sísmicos FPS de primera y segunda generación.”, Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador, 2015.
- [3] Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda y Camara de industrias de la construccion, “Norma Ecuatoriana de la Construcción-NEC”. Direccion de comunicacion Social MIDUVI, 2014.
- [4] R. Aguiar, J. Almazán, P. Dechent, V. Suárez, "Aisladores de base Elastoméricos y FPS", Centro de Investigaciones Científicas. Escuela Politécnica del Ejército, pp. 292, 2008, Quito, [En línea]. Disponible en: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjb3Nb_oD6AhXUsYQIHfGGBNgQFnoECAUQAQ&url=https%3A%2F%2Frepositorio.espe.edu.ec%2Fbitstream%2F21000%2F11675%2F1%2FAisladores%2520de%2520base%2520elastomericos%2520y%2520fps.pdf&usg=AOvVaw1Y8_hGUnnnKa2XP1YEAWDf
- [5] Federación Internacional de la Industria de la Construcción. " Aislación Sísmica y Disipación”, *Ingeniería Civil UC departamento de Estructuras y Geotécnica*, sept. 2011, [En línea]. Disponible en: [https://fiic.la/Documentos/LXV%20CONSEJO%20DIRECTIVO%20PANAMA/DE LALLERA%203.pdf](https://fiic.la/Documentos/LXV%20CONSEJO%20DIRECTIVO%20PANAMA/DE%20LALLERA%203.pdf).
- [6] J. A. Oviedo y M. del P. Duque, “Sistema de control de respuesta sísmica en edificaciones”, *Rev. EIA*, vol. 6, pp. 105–120, 2006, [En línea]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/1492/149216907009.pdf>
- [7] Y. Peng, Y. Ma, T. Huang, y D. De Domenico, “Reliability-based design optimization of adaptive sliding base isolation system for improving seismic performance of structures”, *Reliab. Eng. Syst. Saf.*, vol. 205, p. 107-167, ene. 2021, doi: 10.1016/j.ress.2020.107167.

- [8] J. S. Proaño Sarango, “Análisis y Diseño sísmico de un edificio en acero con aisladores sísmicos, modelamiento en el Etabs.”, Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador, 2014.
- [9] F. Romero, “Modelo Preliminar de movimiento de velocidades de placas tectónicas de al menos una estación de monitoreo continuo”, Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE), 2013, [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/7747/1/AC-GMA-ESPE-047432.pdf>.
- [10] M. Fernández, G. Maguregi, C. Marquez y N. Sanmartí, “The origin of earthquakes: Mental representations of students in the Teacher Training Degree's”, Universidad del País Vasco, 2012, [En línea]. Disponible en: <https://www.uhu.es/fexp/segeo2012/arc/comunicaciones/25.pdf>.
- [11] A. Cassano, “Análisis de estructuras bajo acciones dinámicas”, Universidad Tecnológica Nacional, 2009, [En línea]. Disponible en: http://www.edutecne.utn.edu.ar/guias_de_estudio/estruc_dinam.pdf
- [12] F. Benites y E. Vargas “Resiliencia en Edificaciones con aisladores sísmicos”, *Perfiles de Ingeniería.*, vol. 17, p. 25-35, 2021, [En línea]. Disponible en: https://doi.org/10.31381/perfiles_ingenieria.v17i17.4574
- [13] R. Aguiar y J. Salazar “Análisis modal espectral en estructuras con aisladores elastoméricos”, *Centro de Investigaciones Científicas universidad de Fuerzas Armadas.*, 2011, [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/2910/1/A-CEINCI-ESPE-000004.pdf>
- [14] A. Verma, A. Gupta, y B. Nath, “Base Isolation System: A Review”, *Int. J. Eng. Sci. Inven.*, vol. 6, núm. 9, pp. 43–46, 2017, [En línea]. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Ashutosh-Gupta/publication/320057530_Base_Isolation_System_A_Review/links/59cb5bea45851556e982aae6/Base-Isolation-System-A-Review.pdf
- [15] R. Aguiar y F. Torres, “Disipadores de energía y aisladores de base”, *Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE)*, 2008, [En línea]. Disponible en: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiH7KHfIH6AhV2mIQIHVccA_UQFnoECAkQAQ&url=h

- https://www.ingenieriasismica.utpl.edu.ec/sites/default/files/publicaciones/FUCG-ES-00519.doc&usg=AOvVaw3wRpwtdWKfj1E7LCVDinUZ
- [16]L. Rico y G. Chio, “Uso de asiladores de base en puentes de concreto simplemente apoyados”, *Universidad Industrial de Santander*, 2012, [En línea]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/tecn/v16n34/v16n34a09.pdf>
- [17]E. Carreño, B. Bravo, A. Suarez y J. Tordesillas, “Registro y Tratamiento de acelerogramas”, *Instituto Geografico Nacional*, vol. 11, núm. 95, pp. 81-111, 1999 [En línea]. Disponible en: <https://revistas.ucm.es/index.php/FITE/article/download/FITE9999110081A/12076>
- [18]S. Chan, S. Ruiz, M. Montiego, “Escalamiento de acelerogramas y numero minimo de registros requeridos para el analisis de estructuras”, *Rev. Ingenieria sisimica*, vol. 72, pp. 1-24, 2005 [En línea]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/618/61807202.pdf>
- [19]S. Gomez, C. Huerta y E. Alarcon., “Metodo de calculo en ingenieria sismica”,. *Departamento de Resistencia de materiales E.T.S. Ingenieros Industriales Valiadolid*, 1991 [En línea]. Disponible en: <https://oa.upm.es/id/eprint/30632/contents>
- [19]B. Benito y E. Jimenez, “Peligrosidad Sismica”,. *Fisica de la Tierra*, 1999 [En línea]. Disponible en: <https://revistas.ucm.es/index.php/FITE/article/download/FITE9999110013A/12067>
- [20]American institute of steel Construction , “Seismic Provisions for Structural Steel Buildings”,. *ANSI/AISC 341-16*, 2016 [En línea]. Disponible en: <https://www.aisc.org/globalassets/aisc/publications/standards/seismic-provisions-for-structural-steel-buildings-ansi-aisc-341-16.pdf>
- [21]Structural Engineering Institute , “Minimun Design Loads and Associated Criteria for Buildigns and other structures”,. *ASCE/SEI 7/16*, 2017 [En línea]. Disponible en: <https://www.udocz.com/apuntes/125994/asce-7-16>
- [22]M. BELTRAN Y V. LOPEZ, “Análisis del comportamiento estructural mediante el uso de aisladores sísmicos y disipadores de energía en un edificio de estructura metálica, aplicando la norma nec-15”, *Universidad Técnica De Ambato*, 2022, [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/35570/1/Maestr%C3%ADa%20E>

.M.%2010%20-
%20Beltr%C3%A1n%20Vargas%20Luis%20Miguel%20y%20L%C3%B3pez%20
Arboleda%20Gissela%20Vanessa.pdf.

[23] Instituto Nacional de normalización, “Norma Chilena NCH-2745”. Santiago de Chile, 1996.

[24] Bridgestone Group, Seismic Isolation Product Line-up, Bridgestone Corporation, 2015, Vol 1, pp 1 -73, [En línea]. Disponible en: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjBm8_ut4H6AhUzsoQIHeLHA8IQFnoECBIQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.bridgestone.com%2Fproducts%2Fdiversified%2Fantiseismic_rubber%2Fpdf%2Fcatalog_201506.pdf&usg=AOvVaw3RxIiKs116v7vJ63O-F_HD

[25] Normas Técnicas complementarias para Diseño por Sismo, “NTC-DS”.Mexico, 2017.