

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO



FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL

**Tema: “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”**

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

Autores: Ing. Luis Miguel Beltrán Vargas
Ing. Gissela Vanessa López Arboleda

Director: Ing. Jorge Enrique López Velástegui Mg.

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. Diego Sebastián Chérrez Gavilanes Mg. e Ing. Jorge Javier Guevara Robalino, 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: “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”, elaborado y presentado por el Ing. Luis Miguel Beltrán Vargas y la Ing. Gissela Vanessa López Arboleda, 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. Diego Sebastián Chérrez Gavilanes Mg.
Miembro del Tribunal de Defensa

Ing. Jorge Javier Guevara Robalino, 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 MEDIANTE EL USO DE AISLADORES SÍSMICOS Y DISIPADORES DE ENERGÍA EN UN EDIFICIO DE ESTRUCTURA METÁLICA, APLICANDO LA NORMA NEC-15”, le corresponde exclusivamente a Ing. Luis Miguel Beltrán Vargas M.Sc e Ing. Gissela Vanessa López Arboleda M.Sc., autores bajo la Dirección de Ing. Jorge Enrique López Velástegui Mg., Director del Trabajo de Investigación; y el patrimonio intelectual a la Universidad Técnica de Ambato.

Ing. Luis Miguel Beltrán Vargas M.Sc

AUTOR

Ing. Gissela Vanessa López Arboleda M.Sc

AUTORA

Ing. Jorge Enrique López Velástegui Mg.

DIRECTOR

DERECHOS DE AUTOR

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

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. Luis Miguel Beltrán Vargas M.Sc
c.c.1803243748

Ing. Gissela Vanessa López Arboleda M.Sc
c.c.1803243748

ÍNDICE GENERAL

Pág.

PORTADA	i
APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	iii
DERECHOS DE AUTOR	iv
ÍNDICE DE TABLAS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
AGRADECIMIENTO	x
DEDICATORIA	xi
RESUMEN EJECUTIVO	xii
EXECUTIVE SUMMARY	xiv
CAPÍTULO I	1
1. EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN.....	1
1.1. Introducción.....	1
1.2. Justificación.....	1
1.3. Objetivos.....	3
1.3.1. General.....	3
1.3.2. Específicos.....	3
CAPITULO II	4
2. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS.....	4
2.1. Antecedentes.....	4
2.2. Fundamentación Teórica.....	7
2.2.1. Información sísmica.....	7

2.2.2.	Riesgo sísmico	8
2.2.3.	Peligrosidad sísmica.....	9
2.2.4.	Norma Ecuatoriana de la construcción	9
2.2.5.	Aisladores Sísmicos	13
2.2.6.	Disipadores de Energía	18
2.2.7.	Configuración estructural.....	21
2.2.8.	Vulnerabilidad estructural.....	22
2.2.9.	Conclusiones parciales de la literatura.....	22
2.2.10.	Redacción Técnica	23
CAPITULO III.....		24
3.	MARCO METODOLÓGICO.....	24
3.1.	Ubicación	24
3.2.	Equipos y materiales	24
3.3.	Tipo de investigación	25
3.4.	Prueba de Hipótesis - pregunta científica – idea a defender	25
3.5.	Población o muestra:.....	25
3.6.	Recolección de información:	26
3.7.	Procesamiento de la información y análisis estadístico:	26
3.8.	Variables respuesta o resultados alcanzados.....	27
CAPITULO IV		28
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	28
4.1.	Datos Iniciales.....	28
4.2.	Cargas Gravitacionales	31
4.2.1.	Carga Viva	31
4.2.2.	Carga Muerta	33
4.3.	Cargas Sísmicas	33
4.3.1.	Factor de la zona sísmica	33
4.3.2.	Perfil de suelo	34
4.3.3.	Coefficientes de perfil de suelo.....	35
4.3.4.	Amplificación espectral, η	36
4.3.5.	Aceleración Espectral, S_a	37
4.3.6.	Períodos Límites de vibración.....	37
4.3.7.	Coefficiente de Resistencia Sísmica, R	40
4.3.8.	Factor utilizado en espectro elástico, r	41
4.3.9.	Coefficiente de importancia, I	41
4.3.10.	Cortante basal de diseño, V	42
4.3.11.	Coefficiente relacionado con el período de vibración de la estructura T , k	42

4.3.12.	Período fundamental de vibración máximo de la estructura, $T_{\text{máx}}$	42
4.3.13.	Ajuste del corte basal de los resultados obtenidos por el análisis dinámico 43	
4.4.	Equilibrio de la Estructura	44
4.5.	Diseño de la Estructura	59
4.5.1.	Pórticos especiales a momento	60
4.5.2.	Pórticos concéntricos o gravitacionales	61
4.6.	Diseño de Aisladores Sísmicos	64
4.6.1.	Datos de la Estructura	64
4.6.2.	Cálculo de Factores de Modificación de Propiedades	76
4.6.3.	Diseño de Aisladores LRB.....	76
35.	Chequeos.....	93
4.6.4.	Resumen de Datos Obtenidos	104
4.6.5.	Datos Obtenidos Para Software Estructural.....	111
4.6.6.	Modelación De Aisladores En Software Estructural	112
4.7.	Diseño De Disipadores De Energía.....	117
4.8.	Resultados	124
4.8.1.	Estructura De Base Fija (Convencional).....	124
4.8.2.	Estructura Con Aisladores Sísmicos	128
4.8.3.	Estructura Con Disipadores De Energía	132
4.8.4.	Comparación De Resultados.....	135
	CAPÍTULO V.....	140
	5.1 Conclusiones	140
	5.2 Recomendaciones	141
	5.3 BIBLIOGRAFÍA.....	143

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
<i>TABLA 1. TIPO DE SUELO Y FACTORES DE SITIO F_a</i>	11
TABLA 2. DATOS INICIALES.....	28
TABLA 3. CÁLCULO DE CARGA MUERTA	33
TABLA 4. VALORES DEL FACTOR Z EN FUNCIÓN DE LA ZONA SÍSMICA ADOPTADA.....	34
TABLA 5. TIPOS DE PERFILES DE SUELO PARA EL DISEÑO SÍSMICO.....	34
TABLA 6. F_A : COEFICIENTE DE AMPLIFICACIÓN DE SUELO EN LA ZONA DE PERIODO CORTO.	35
TABLA 7. F_D : DESPLAZAMIENTOS PARA DISEÑO EN ROCA.	35
TABLA 8. F_S : COMPORTAMIENTO NO LINEAL DE LOS SUELOS	36
TABLA 9. RELACIÓN DE AMPLIFICACIÓN ESPECTRAL, H	37
Tabla 10. Espectro de respuesta elástico de aceleraciones	37
TABLA 11. PERÍODO LÍMITE DE VIBRACIÓN	37
TABLA 12. PERÍODO LÍMITE DE VIBRACIÓN	38
TABLA 13. FACTORES C_T Y A , SEGÚN EL TIPO DE ESTRUCTURA	39
TABLA 14. FACTORES C_T Y A , SEGÚN EL TIPO DE ESTRUCTURA	39
TABLA 15. PERÍODO FUNDAMENTAL DE VIBRACIÓN DE LA ESTRUCTURA	40
TABLA 16. COEFICIENTE DE RESISTENCIA SÍSMICA R	40
TABLA 17. FACTOR APLICADO EN EL ESPECTRO ELÁSTICO.....	41
TABLA 18. COEFICIENTE DE IMPORTANCIA.....	41
TABLA 19. COEFICIENTE DE IMPORTANCIA.....	42
TABLA 20. CORTANTE BASAL ESTÁTICO Y DINÁMICO	49
TABLA 21. CORTANTE BASAL ESTÁTICO Y DINÁMICO	51
TABLA 22. DERIVAS DE PISO	55
TABLA 23. DERIVAS DE PISO	56
TABLA 24. PERFILES ESTRUCTURALES UTILIZADOS.....	57
TABLA 26. DERIVAS DE PISO EJE “X”	58
TABLA 27. DERIVAS DE PISO EJE “Y”	58

TABLA 27. COEFICIENTES Y FACTORES PARA PÓRTICOS ESPECIALES A MOMENTO Y CONCÉNTRICOS.....	59
TABLA 28. TABLA DE RESULTADOS DISEÑO.....	63
TABLA 29. TASA ANUAL DE EXCEDENCIA.....	64
TABLA 30. TASA ANUAL DE EXCEDENCIA.....	66
TABLA 31. TASA ANUAL DE EXCEDENCIA.....	66
TABLA 32. FACTOR DE IMPORTANCIA SÍSMICO DE ESTRUCTURAS AISLADAS IE.....	68
TABLA 33 CENTRO DE MASAS.....	70
TABLA 34. DESPLAZAMIENTOS.....	71
TABLA 35. CENTROS DE MASAS ENTRE AISLAMIENTOS DE BASE.....	72
TABLA 36. RESUMEN DE DATOS DE LA ESTRUCTURA.....	75
TABLA 37. CÁLCULO DE FACTORES DE MODIFICACIÓN DE PROPIEDADES.	76
TABLA 38. DATOS DE LA ESTRUCTURA.....	92
TABLA 39. DATOS DE AISLADORES.....	93
TABLA 40. DATOS DE LA ESTRUCTURA.....	104
TABLA 41. DATOS DEL AISLADOR.....	105
TABLA 42. CÁLCULOS EFECTUADOS.....	106
TABLA 43. CÁLCULOS ADICIONALES.....	107
TABLA 44. CÁLCULOS AL 50% DE DESPLAZAMIENTOS.....	108
TABLA 45. CÁLCULOS AL 50% DE DESPLAZAMIENTOS.....	109
TABLA 46. VERIFICACIÓN DE DEFORMACIONES POR CARGAS GRAVITACIONALES.....	110
TABLA 47. VERIFICACIÓN DE FUERZA RESTAURADORA.....	110
TABLA 48. VERIFICACIÓN ÁREA REDUCIDA Y ÁREA EFECTIVA.....	110
TABLA 49. VERIFICACIÓN DE DEFORMACIONES POR CORTANTES.....	111
TABLA 50. DATOS DE AMORTIGUAMIENTO.....	111
TABLA 51. DATOS OBTENIDOS EN DISEÑO DE AISLADORES PARA INGRESAR AL SOFTWARE DE CÁLCULO.....	111
TABLA 52. PERÍODOS DE VIBRACIÓN EN ESTRUCTURA.....	117
TABLA 53. CARGAS LATERALES.....	117
TABLA 54. PARÁMETROS DE DISEÑO PARA LOS DISIPADORES DE ENERGÍA.....	120

TABLA 55. RESULTADOS ANÁLISIS DINÁMICO NO LINEAL TIEMPO-HISTORIA	124
TABLA 56. RESULTADOS DE DESPLAZAMIENTOS MEDIANTE ANÁLISIS DINÁMICO TIEMPO – HISTORIA.....	125
TABLA 57. RESULTADOS DE DERIVAS DE PISO MEDIANTE ANÁLISIS DINÁMICO TIEMPO – HISTORIA.....	126
TABLA 58. RESULTADOS ANÁLISIS DINÁMICO NO LINEAL TIEMPO-HISTORIA CON AISLADORES SÍSMICOS.....	128
TABLA 59. RESULTADOS DE DESPLAZAMIENTOS EN ESTRUCTURA CON AISLADORES SÍSMICOS	129
TABLA 60. RESULTADOS DE DERIVAS DE PISO EN ESTRUCTURA CON AISLADORES SÍSMICOS	130
TABLA 61. RESULTADOS ANÁLISIS DINÁMICO NO LINEAL TIEMPO-HISTORIA CON DISIPADORES DE ENERGÍA	132
TABLA 62. RESULTADOS DE DESPLAZAMIENTOS MEDIANTE ANÁLISIS DINÁMICO TIEMPO – HISTORIA.....	133
TABLA 63. RESULTADOS DE DERIVAS DE PISO MEDIANTE ANÁLISIS DINÁMICO TIEMPO – HISTORIA.....	134
TABLA 64. ANÁLISIS COMPARATIVO DE DERIVAS DE PISO DE DISEÑOS ESTRUCTURALES	135
TABLA 65. ANÁLISIS COMPARATIVO DE DERIVAS DE PISO DE DISEÑOS ESTRUCTURALES	138

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Detalle de la planta del edificio	29
Figura 2. Detalle de ejes del edificio.....	30
Figura 3. Vista frontal del edificio	31
Figura 4. Detalle Vehículo AASHTO H10	32
Figura 5. Espectro de respuesta Elástico.....	43
Figura 6. Espectro de respuesta en software	46
Figura 7. Cortante basal estático y dinámico	49
Figura 8. Combinación espectral corregida “x”	50
Figura 9. coeficientes de participación modal de masa.....	52
Figura 10. Períodos y frecuencias modales.....	53
Figura 11. Períodos y frecuencias modales.....	54
Figura 12. Colocación de diafragmas en estructura	56
Figura 13. Configuración de tipo de diseño	60
Figura 14. Resultados del análisis	61
Figura 15. Configuración de tipo de diseño	62
Figura 16. Configuración de tipo de diseño	63
Figura 17. Curvas de peligro sísmico.....	65
Figura 18. Curvas de peligro sísmico.....	67
Figura 19. Longitud total mayor y menor en planta.....	69
Figura 20. Asignación de diafragma de la estructura.....	70
Figura 21. Longitud total mayor y menor en planta.....	74
Figura 22. Diámetro Aislador	78
Figura 23. Diámetro Aislador	78
Figura 24. Espesor de una capa de goma	79
Figura 25. Número de capas de goma.....	79
Figura 26. Altura total de la goma	80
Figura 27. Altura total del aislador incluyendo calces de acero	80
Figura 28. Módulo aparente de corte del plomo	81
Figura 29. Peso del aislador	81
Figura 30. Área efectiva en el plano	82

Figura 31. Diámetro efectivo del núcleo de plomo.....	82
Figura 32. Esfuerzo de corte en fluencia del núcleo de plomo	83
Figura 33. Módulo de Young	83
Figura 34. Módulo volumétrico	83
Figura 35. Factor de corrección del módulo de Young por rugosidad.....	84
Figura 36. Factor de corrección al módulo de Young.....	84
Figura 37. Relación de rigidez inicial a la rigidez post-fluencia.....	84
Figura 38. Cargas gravitacionales mayoradas.....	97
Figura 39. Definición de aislamiento	112
Figura 40. Ingreso de propiedades del aislador LRB (U1)	113
Figura 41. Ingreso de propiedades del aislador LRB (U2)	113
Figura 42. Ingreso de propiedades del aislador LRB (U3)	114
Figura 43. Definición de propiedades del aislador.....	114
Figura 44. Ingreso del acelerograma de datos del Este.....	116
Figura 45. Disipador de energía SLB.....	118
Figura 46. Disipador de energía SLB.....	119
Figura 47. Disipador de energía SLB.....	119
Figura 48. Disipador de energía SLB.....	121
Figura 49. Disipador de energía SLB.....	122
Figura 50. Propiedades disipador de energía	122
Figura 51. Rótulas plásticas	123
Figura 52. Resultados tiempo – historia.....	124
Figura 53. Resultados desplazamientos en estructura.....	125
Figura 54. Resultados derivas de piso en estructura de base fija.....	126
Figura 55. Disipación de energía	128
Figura 56. Resultados tiempo – historia con aisladores sísmicos eje X.....	129
Figura 57. Resultados desplazamientos en estructura con aisladores sísmicos	130
Figura 58. Resultados de derivas de piso en estructura con aisladores sísmicos.....	131
Figura 59. Disipación de energía	131
Figura 60. Resultados tiempo – historia con disipadores de energía sísmicos eje X	132
Figura 61. Resultados desplazamientos en estructura de base fija.....	133
Figura 62. Resultados derivas de piso en estructura de base fija.....	134
Figura 63. Disipación de energía	135
Figura 64. Comparación derivas de piso sentido X-X.....	137

Figura 65. Comparación derivas de piso sentido Y-Y	137
Figura 66. Comparación de desplazamientos sentido X-X.....	138
Figura 67. Comparación de desplazamientos sentido Y-Y	139

AGRADECIMIENTO

A Dios y a la Santísima Virgen María, a las personas que nos permitieron llegar a culminar esta meta, a la Universidad Técnica de Ambato por la formación académica que nos entregó durante este tiempo, de manera expresa al Ing. Jorge López, quien dirigió este trabajo y a los docentes y personal administrativo que compartieron con nosotros este camino.

Vanessa y Miguel

DEDICATORIA

A nuestras hijas, María Camila y Micaela Valentina, por ser el motor de nuestras vidas y ser quienes nos hacen alcanzar metas cada día, a nuestras familias por brindarnos todo su apoyo y acompañarnos a lo largo de este camino.

Vanessa y Miguel

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

TEMA:

**“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”**

AUTORES: Ing. Luis Miguel Beltrán Vargas M.Sc.

Ing. Gissela Vanessa López Arboleda M.Sc.

DIRECTOR: Ing. Jorge Enrique López Velástegui Mg

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

- Ingeniería y Construcción

FECHA: 20 de junio de 2022

RESUMEN EJECUTIVO

En el presente trabajo de titulación, se requiere conocer el comportamiento dinámico de una estructura metálica, para lo cual se desarrollaron tres modelos estructurales de una edificación de nueve pisos de uso no esencial; el primer modelo consistió en un análisis de una edificación convencional, en el segundo y tercer modelo, se incorporaron aisladores sísmicos y disipadores de energía respectivamente, tomando en consideración criterios de la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC 15), American Society of Civil Engineers (ASCE 7-16, ASCE 41-13), American Institute of Steel Constructions (AISC 341-16). En la primera etapa se efectuó el análisis y equilibrio de la estructura, aplicando las recomendaciones de la NEC-15. Una vez estabilizada la edificación se incorporaron y se realizaron los análisis de la estructura convencional con la finalidad de conocer las derivas de piso y desplazamientos. Posteriormente se realizó el predimensionamiento y diseño correspondiente de los aisladores sísmicos de base, los mismos que se consideraron como dispositivos de tipo

elastomérico con núcleo de plomo. En el tercer modelo se realizó el diseño de los disipadores de energía. Con la información necesaria, se ingresaron los valores al programa de cálculo, para realizar el estudio de los modelos estructurales. Una vez que se generó el modelo estructural en el software, se ingresaron datos de los acelerogramas con la finalidad de realizar un análisis dinámico no lineal tiempo historia, y de forma complementaria se realizó un análisis estático no lineal. Con la información ingresada en el programa de cálculo se obtuvieron los resultados para el primer modelo estructural, entre los resultados principales que se obtuvieron son: las derivas de piso, desplazamientos, diagramas de desplazamientos, diagramas de balances de energía, resultados de las cargas laterales, entre otros. De la misma manera, aquellos análisis se desarrollaron en los modelos estructurales con los dispositivos de aislamiento de base y disipación de energía, los cuales una vez obtenidos los resultados requeridos se realizó un análisis comparativo en el comportamiento estructural, tomando como parámetros principales de consideración las derivas de piso, desplazamientos obtenidos y balances de energía.

Descriptores: acelerograma, acero, aisladores, deriva de piso, desplazamiento de estructuras, disipadores de energía, edificios, energía, estructura metálica, sismo.

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 THROUGH THE USE OF
SEISMIC ISOLATORS AND ENERGY DISSIPATORS IN A METALLIC
STRUCTURE BUILDING, APPLYING THE NEC-15 STANDARD”**

AUTHORS: Ing. Luis Miguel Beltrán Vargas M.Sc.
 Ing. Gissela Vanessa López Arboleda M.Sc.

DIRECTED BY: Ing. Jorge Enrique López Velástegui Mg

LINE OF RESEARCH:

- Engineering and Construction

DATE: June 20th, 2022

EXECUTIVE SUMMARY

In this project there is the need of understanding the dynamical behavior of the building, so there are three structural models that are presented, the first model consisted in an analysis of a conventional building. In the second and third models, seismic isolators and energy dissipators were incorporated, respectively, taking into consideration the criteria of the Ecuadorian Construction Standard (NEC 15), American Society of Civil Engineers (ASCE 7-16, ASCE 41-13), American Institute of Steel Constructions (AISC 341-16). In the first stage of the analysis, the structure was analyzed and balanced, applying the recommendations of the NEC-15. Once the building was stabilized, the analysis of the conventional structure was carried out in order to determine floor drifts and displacements. Subsequently, the pre-dimensioning and corresponding design of the base seismic isolators was carried out, which were considered as elastomeric type devices with a lead core. In the third model, the design of the energy dissipators was carried out. With the necessary information, the values were entered into the calculation program to carry out the study of the structural

models. Once the structural model was generated in the software, data from the accelerograms were entered in order to perform a nonlinear dynamic time-history analysis, and a complementary nonlinear static analysis was performed. With the information entered in the software, the results for the first structural model were obtained, among the main results obtained from the structural package are: the floor drifts, displacements, displacement diagrams, energy balance diagrams, results of lateral loads, among others. In the same way, those analyses were developed in the structural models with the base isolation and energy dissipation devices, which, once the required results were obtained, a comparative analysis of the structural behavior was carried out, taking as main parameters of consideration the floor drifts, displacements obtained and energy balances.

Keywords: accelerogram, buildings, displacement of the structure, dissipators, drift, earthquake, energy, isolators, steel, structure.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Introducción

Se propone el análisis del comportamiento estructural mediante el uso de aisladores sísmicos y disipadores de energía en un edificio de nueve pisos, considerando principalmente la norma ecuatoriana de la construcción (NEC-15), debido a su importancia en la información de gran relevancia estructural en el país.

Como parte del trabajo se analizará mediante un software que trabaja en elementos finitos, utilizando los parámetros y criterios establecidos por la normativa correspondiente. Esta investigación aborda análisis del comportamiento de una estructura metálica convencional frente a su similar con la incorporación de aisladores sísmicos y disipadores de energía.

Entre las limitaciones para el desarrollo de este trabajo, es la falta de información en los parámetros de diseño y otros aspectos técnicos, tomando en cuenta que son dispositivos que se están introduciendo en el país por lo que su comercialización aún se encuentra en crecimiento.

1.2. Justificación

Los sismos han sido los causantes de destrucciones y pérdidas de vidas humanas a través de la historia de la humanidad. Ecuador es un país que se encuentra localizado en una zona altamente sísmica [1]. Los aisladores sísmicos y disipadores de energía son elementos que en los últimos años han despertado un gran interés en la comunidad de la ingeniería estructural, sin embargo, debido a la falta de conocimiento y de información en el medio, muchas veces no se pueden llevar a cabo, impidiendo que se desarrollen proyectos con estos tipos de elementos estructurales [2].

Estructuralmente es importante el conocer sobre cuánto incrementaría la estabilidad en la construcción de esta obra, considerando estos acoples en las edificaciones. Este proyecto es de gran importancia desde el punto de vista teórico, debido a que permite conocer mediante un estudio comparativo cuál es el comportamiento de la estructura con estos acoplamientos y sin ellos. Además de que permitirá realizar un

estudio de sensibilidad en el cual se detallen las variaciones de los desplazamientos y derivas de piso de la edificación en estudio para identificar el comportamiento estructural del edificio.

Debido a que la ciudad de Ambato se localiza en una zona altamente sísmica, es necesario incorporar sistemas o elementos estructurales que permitan disipar la energía producida por los sismos [3]. El desconocimiento de dichas alternativas estructurales, incide en la poca aplicación que actualmente existe en el medio y de forma indirecta en el campo científico ya que no se puedan llevar a cabo nuevos estudios relacionados con este tema.

Los beneficiarios directos de este estudio son los consultores y constructores dedicados a la ejecución de proyectos estructurales, ya que se determinará si la incorporación de los aisladores sísmicos y disipadores de energía, aportan notablemente en el buen desempeño sísmico del edificio, lo cual será medido a través de las derivas de piso y desplazamientos de la edificación; y, por otra parte, se podrá conocer la variabilidad económica en comparación con una estructura convencional [4].

El impacto de una investigación sobre el funcionamiento y la comparación del comportamiento estructural de los edificios desde cualquier punto de vista es positivo, partiendo del criterio, de que cualquier aporte al campo de la ingeniería estructural, siempre será beneficioso, con la finalidad de conocer nuevos criterios, parámetros de diseño, etc.

El estudio es factible porque se lo llevará a cabo mediante la utilización de herramientas informáticas que permitan modelar el edificio en estructura metálica tanto en su forma convencional, como en sus ejemplares con aisladores sísmicos y disipadores de energía, cuyos diseños estarán sujetos a la normativa NEC-15 y cualquier otra de ser necesario [3].

El presente estudio tiene la finalidad de incentivar la ejecución de estructuras mediante la incorporación de aisladores sísmicos y disipadores de energía en las edificaciones de la ciudad de Ambato [3]. De manera complementaria y una vez que se lleguen a determinar los resultados de dicha investigación se desea corroborar si los elementos

añadidos a la estructura fueron los adecuados, mediante el análisis de programas asistidos para diseño estructural [4]. Adicionalmente se desea comparar cuál de los dos elementos tiene un mejor comportamiento frente a las cargas sísmicas, de acuerdo a los criterios y condiciones establecidas por la NEC-15 [3].

Este trabajo considera múltiples implicaciones, sin embargo, las que sobresalen entre ellas son de carácter social, técnica y económica, la primera está relacionada con precautelar las vidas humanas, la segunda tiene la finalidad de estabilizar y mejorar su comportamiento estructural y finalmente la tercera asegurar los recursos que se encuentran invertidos en aquella edificación.

1.3. Objetivos

1.3.1. General

- Realizar un 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

1.3.2. Específicos

- Proponer un diseño estructural mediante la incorporación aisladores sísmicos tipo elastomérico y disipadores de energía para disminuir desplazamientos y estabilizar la edificación de nueve pisos propuesta, frente a las cargas sísmicas establecidas por la NEC-15 para la ciudad de Ambato y evitar daños estructurales, asegurando que la edificación se localice en el rango elástico.
- Realizar un análisis comparativo de los desplazamientos entre una estructura convencional frente a su ejemplar con aisladores sísmicos y disipadores de energía, considerando los criterios establecidos por la NEC-15.

CAPITULO II

ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

2. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

2.1. Antecedentes

Los sismos no constituirían un peligro si no existieran estructuras vulnerables. El motivo principal por el cual se produce la pérdida de vidas humanas ante los sismos, es la falla parcial o total de las estructuras. En la actualidad y mediante la normativa vigente lo que se desea buscar es que las estructuras se comporten adecuadamente ante los sismos, basados en criterios que combinan la resistencia, rigidez y ductilidad, entre otros.

De acuerdo a la normativa se deben realizar diferentes consideraciones en el diseño de una edificación, tales como: configuración de la estructura en planta o en elevación, verificación de piso blando (distribución irregular de la rigidez) o piso débil (distribución irregular de la resistencia), chequeo de las derivas de piso, control de desplazamientos, chequeo de conexiones [3]. Cuando la estructura supera el rango elástico se presentan daños irreparables debido a las deformaciones constantes.

Mediante investigaciones, se ha logrado determinar que al intervenir en el periodo de vibración se pueden controlar los desplazamientos de una edificación. En función de estas consideraciones, varios países han desarrollado nuevas técnicas de construcción, que consisten en incluir sistemas complementarios en las estructuras. Al modificar una edificación mediante estos sistemas, se beneficia el comportamiento dinámico [5].

La aplicación de las metodologías investigadas permite disipar la energía que se producen en los eventos sísmicos, se controlan las deformaciones evitando que se presenten fallas en las edificaciones. Existen estudios presentados, en los cuales se evidencian los grandes beneficios que se pueden conseguir mediante la incorporación de aisladores sísmicos y disipadores de energía en las edificaciones en relación a las construcciones convencionales [5].

El aislamiento sísmico es una metodología de diseño basada en mecanismos o sistemas estructurales buscan desacoplar directamente la estructura de las excitaciones sísmicas que se producen en el suelo y así de las vibraciones que estas puedan ocasionar, con la finalidad de evitar daños en la estructura[6]. El principio básico del aislador sísmico es asegurarse que el movimiento del suelo en un sismo se transfiera de manera controlada a ciertos niveles de la estructura, para de esta manera minimizar las fuerzas, el aislador sísmico ideal sería aquel que no permite que se transmitan las fuerzas del suelo a la estructura, pero en la práctica sería algo imposible [7].

Los aisladores sísmicos incrementan el valor del periodo fundamental y reducen de manera importante el cortante basal que se produce sobre las estructuras [8], algunos de los aportes que brinda el sistema de aislamientos en las edificaciones son:

- Disminuyen los valores de la cortante basal máxima en un porcentaje del 60% en todos los casos estudiados.
- Los aisladores flexibilizan la estructura.
- Se presentan incrementos los periodos de vibración.
- La variación de los periodos de vibración varía de manera similar en los modelos utilizados.
- Se determinaron reducciones en las derivas de piso.

A pesar de que el uso de aisladores sísmicos se ha dado durante varios años, en temas investigativos se considera relativamente nuevo, ya que las metodologías a utilizarse, se van definiendo conforme pasan los años, y los casos específicos, últimamente se consideran también aisladores de bajo costo, hechos a partir de diferentes capas de polímeros elásticos que deben ser diseñados de acuerdo a las características de la estructura que van a soportar, en especial cargas de mampostería y otros elementos estructurales y no estructurales [9].

No solo el uso de aisladores sísmicos disminuye los desplazamientos en la estructura cuando ocurre un sismo, los sistemas de disipadores de energía también son ampliamente utilizados para este fin y para mejorar el comportamiento estructural de

la edificación, es por esto que el proyecto de titulación propone la utilización de ambos métodos y la comparación de los mismos.

En lo concerniente a disipadores de energía, varios son los métodos y sistemas utilizados, uno de los sistemas más utilizados es el conocido como NES (Non Linear Energy Sink) es un tipo de disipador que se basa en el uso de resortes lineares que tienen el efecto de supresión y absorción de las vibraciones [10].

Al igual que los aisladores, los disipadores de energía son robustamente capaces de proteger la estructura primaria, de las excitaciones sísmicas, la optimización del uso de disipadores permite que los niveles que se encuentren rigidizados tendrán desplazamientos controlados, permitiendo que la estructura primaria, es decir el armazón de la edificación; está protegida de los desplazamientos ocurridos [11].

Los sistemas de disipadores de energía, no solo se presentan a través de resortes que trabajan a manera de arriostramientos, también se pueden presentar en uniones viga-columna de la estructura. Las publicaciones más actualizadas consideran que al diseñar la unión viga-columna a manera de disipador, se aumenta un 11% la capacidad de carga de los pernos de la unión, sin embargo, este aumento se define con las características específicas del sistema estudiado [12], esto debe tomarse en cuenta al momento de analizar estructuralmente los edificios ya que pueden significar una reducción de costos considerable al no incluir sistemas externos, y conlleva un análisis profundo.

En investigaciones se establece que los periodos incrementan en edificaciones que incluyen sistema de aislación sísmica y disipadores de energía. Conforme se analizan edificios con mayores números de pisos, sus periodos de vibración disminuyen notablemente en un análisis comparativo con una estructura de base fija. Tal es así, que se observaron entre cuatro o cinco veces la disminución de los periodos con relación a las alturas de los edificios comunes [8].

Con toda la información antes descrita, se puede tener un panorama real de las metodologías existentes y disponibles que serán la base del proyecto de grado

propuesto, se espera realizar análisis estructurales que aporten a la comunidad, para resguardar la integridad estructural en un futuro, mucho más si se toma en cuenta la zona altamente sísmica en la que nos desarrollamos.

2.2. Fundamentación Teórica

2.2.1. Información sísmica

Mezghani F. et al, [13] señalan que un terremoto, es un temblor intenso que conduce la pérdida de vidas humanas, sino también a pérdidas económicas de forma significativa por las fallas de las estructuras y desestabilización de edificaciones por los eventos catastróficos en los que las estructuras y los edificios no están bien protegidos, por lo que de forma prioritaria se buscan técnicas de protección sísmica eficaces en edificaciones. Se han desarrollado sistemas de aislamiento pasivo y semiactivo con la finalidad de desacoplar el movimiento producido en el suelo con la estructura.

El propósito de este estudio es evaluar la efectividad del Amortiguador de vibraciones de malla de alambre (WMVD por sus siglas en inglés) diseñado para proteger los equipos de tecnología de información (TI) debido a los movimientos sísmicos. En este estudio, se asume que el equipo sensible es un cuerpo rígido y se considera como un sistema de un solo grado de libertad (SDOF) conectado a la base a través del soporte antisísmico con amortiguadores metálicos, como tipo de muestra genérica. Sin embargo, antes de modelar se realizan evaluaciones de su rigidez y amortiguación. El experimento se lleva a cabo considerando frecuencia de excitación del sistema en la dirección vertical y manteniendo constante el nivel de aceleración. Se determinan modelos matemáticos de rigidez y amortiguación basados en la ecuación dinámica del sistema aislado WMVD. Los resultados determinados que existió una disminución en un 85% de las aceleraciones transmitidas con relación de un sismo de campo cercano, incluso para el de campo lejano [13].

Con la aplicación de este sistema se observa una notable mitigación en la respuesta sísmica. Los resultados demostraron los beneficios que ofrece el sistema de protección sísmica para evaluar la seguridad de los equipos informáticos, ya que se pueden lograr

probabilidades bajas de daños en los equipos, es decir menos del 30%, con la incorporación de estos sistemas [13].

2.2.2. Riesgo sísmico

Moufid M. et al,[14] a pesar de que la comunidad científica ha desarrollado investigación sobre guías, metodologías y procesos para determinar la condición estructural de las edificaciones, las políticas de implementación para gestión riesgos han sido limitadas. De acuerdo con lo establecido por la Naciones Unidas (ONU), han hecho recalcado, en recomendaciones de incrementar la resiliencia urbana con la finalidad de disminuir catástrofes de origen sísmico. Uno de los enfoques de la parte científica ha sido aportar en el aspecto de vulnerabilidad estructural para mitigar y reducir el riesgo sísmico en las edificaciones, el cual se relaciona con el índice de vulnerabilidad, el cual ha sido implementado con éxito en las edificaciones.

En este estudio se realizó la susceptibilidad sísmica de las estructuras, de diferentes conglomerados, con base al índice de vulnerabilidad sísmica (SVI). En el presente estudio se considera el desarrollo del Índice de Vulnerabilidad Sísmica el cual cuantifica riesgo sísmico para tres tipos de edificaciones (baja, media y alta), en Malasia considerando enfoque analítico de SVI y clasificar el daño físico utilizando el estado de daño medio aplicando métodos que consideran parámetros no lineales. De forma concomitante se cuantificaron características que intervienen en la integridad del edificio y después desarrollar las curvas de vulnerabilidad y mediante parámetros probabilísticos se ha estimado el nivel de daño causado en dichos modelos [14].

Desde el punto de vista dinámico se realizó la selección del suelo adecuado, considerando 16 tipos de registros, los cuales a la vez fueron agrupados en dos tipologías, las primeras para campo cercano y las segundas para campo lejano, y posteriormente se aplicó un espectro particular de intensidades de aceleración máxima del suelo (PGA por sus siglas en inglés). Con la información determinada y mediante una secuencia de análisis dinámico se determinó el índice de vulnerabilidad sísmica, el cual es evaluación en función del máximo desplazamiento producido en la estructura el cual ha sido expresado en términos de derivas de piso, lo cual permite determinar la susceptibilidad de la estructura y su respuesta frente a un evento sísmico. Se determinó que las fallas de las columnas se produjeron en el primer piso, replicando a toda la

edificación, lo cual se concluye que la resistencia lateral de los elementos verticales fue insuficiente para resistir las cargas sísmicas. En este estudio ratifica el criterio de columna fuerte – viga débil, es decir que la plasticidad se limite a las vigas y la elasticidad a las columnas, con la finalidad que se produzca una falla en la viga la cual sería local y no una falla en la columna que resultará una falla global que provocaría un colapso de la estructura. Se encontró una íntima relación de las rótulas plásticas con los valores del índice de vulnerabilidad sísmica [14].

2.2.3. Peligrosidad sísmica

Según, Kadiri et al,[15] existen altos niveles de sismicidad en África y no se han realizado estudios relacionados de peligro sísmico, debido a que la información y literatura científica que se dispone está incompleta. Debido a la poca información y falta de catálogos de sismos, ha sido una de las causantes que marcan la importancia en el estudio de peligro sísmico, con la finalidad de establecer estrategias de mitigación de peligros y riesgos sísmicos, con la finalidad de mejorar la resiliencia y reducir la probabilidad de colapso de las estructuras. El estudio se realizó para una muestra de 18 países del continente africano.

La investigación realizada es un estudio de caso en la cual se recabó información de sismos ocurridos en varias regiones de África [15]. Una de las dificultades que presentó dicho estudio es que la información de la sismicidad es que la mayoría de los eventos de magnitud considerable ocurrieron antes de que se instale la red sísmica en el año 1988. Como parte de la metodología se desarrolló un mapeo de riesgo sísmico probabilístico con la finalidad de predecir probabilísticamente un movimiento sísmico en una zona determinada del continente. Se realizó una compilación de sismos, cuya información fue tratada y homogeneizada en mismas unidades de acuerdo a magnitudes de carácter internacional. Se realizó una caracterización de cinco zonas sísmicas para demarcar los posibles lugares en donde por análisis probabilístico donde suscitarían nuevos terremotos. Se obtuvieron tasas entre 0.03 y 1.91 eventos/año.

2.2.4. Norma Ecuatoriana de la construcción

Según la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-15) [3], en el capítulo de Peligro Sísmico, se establecen parámetros y metodologías que se deben considerar de

acuerdo a la legislación del Ecuador, la cual se basa en criterios y recomendaciones de otras normativas de carácter internacional. Esta parte de la norma considera las definiciones de términos técnicos reconocidos a nivel mundial. De forma complementaria 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. Considerando que el riesgo se relaciona directamente con el peligro sísmico, mediante esta normativa, 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. En el documento se incluye la metodología del diseño sismo resistente establecido el cual considera sismos con periodo de retorno de 475 años. Dentro de la literatura se identifican parámetros de derivas máximas establecidas. Adicionalmente se consideran criterios para diseño basado en fuerzas (DBF), a través del cual se determinan cortantes basales en las estructuras. Como parte del estudio sísmico se complementa el análisis con recomendaciones para el diseño basado en desplazamientos (DBD). De forma concomitante, se establecen requisitos mínimos y metodologías que deben desarrollarse para Sistemas de control y aislamiento a la base.

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

Únicamente para modos distintos al fundamental:

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

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

Para $0 \leq T \leq T_c$

$$S_a = \eta * Z * F_a$$

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

Para $T > T_c$

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

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

Donde:

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

TABLA 1. TIPO DE SUELO Y FACTORES DE SITIO Fa

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥0,5
A	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
B	1	1	1	1	1	1
C	1.4	1.3	1.25	1.23	1.2	1.18
D	1.6	1.4	1.3	1.25	1.2	1.12
E	1.8	1.4	1.25	1.1	1	0.85
F	Véase Tabla 2: Clasificación de los perfiles de suelo y la sección 10,5,4					

FUENTE: NEC-15 [3]

De acuerdo con Chen Y. et al, [16] existen sismos que aun siendo de escala moderada han sido los responsables de un gran número de víctimas humanas. Los sismos cuando son destructivos son los principales causantes de desastres naturales. Los terremotos exhiben las vulnerabilidades en diferentes zonas del mundo, entre ellas se puede citar la situación estructural de obras ejecutadas, lo cual se transfiere a la economía de aquellas localidades. El impacto es mínimo en territorios económicamente desarrollados y en poblaciones que se encuentran en vías de desarrollo, dicho impacto tiene una mayor significancia.

En China, debido al movimientos de las placas tectónicas entre el cinturón sísmico índico y euroasiático, cuya trayectoria cubre áreas con altas densidades poblacionales. El presente estudio se lo realizó como área representativa en el condado de Dujiangyan de la jurisdicción de la ciudad de Chengdu de China, al ser uno de los más afectados en el terremoto de Wenchuan de 2008. Este condado al estar ubicado en un cinturón sísmico, se tienen sismos de categoría IX en la Escala de Intensidad Sísmica de China (correspondiente a 8.0 en la escala de magnitud de Richter) [16].

En esta investigación se realizó un estudio de caso sobre la variación temporal en los niveles generales del sistema de urbanización para el condado de Dujiangyan antes y después del terremoto de Wenchuan de 2008. Se diseñó un modelo de triángulo de evaluación cuantitativo considerando parámetros de población, economía y espacio. Se concluyó que los terremotos no solo afectaron a zonas urbanas sino al resto de áreas

del condado. Para zonas de características similares se plantearon estrategias para lograr una urbanización sostenible [16].

Según Lapin et al,[17] para solucionar infraestructura de tráfico, es necesario estudiar en forma conjunta las cargas de tráfico con las sísmicas. La megalópolis de la ciudad de Almaty, República de Kazajstán, se sitúa en zonas sísmicas con posibles eventos sísmicos superiores a 7,2 de magnitud y adicionalmente la situación se complica ya que existe un ferrocarril que atraviesa por zonas residenciales del centro de la ciudad, lo que representa cargas dinámicas adicionales. Por lo que se propuso utilizar un sistema de aislamiento sísmico basado en elementos fluoroplásticos, y de esta manera reducir los efectos de transporte y sísmicos utilizando sistemas de aislamiento sísmico de la estructura de JSC KazRDICA.

Como metodología se utilizó información de la estación sísmica N°22 ubicada un edificio residencial de 9 niveles con una altura de entrepiso de 3 metros y de paneles grandes con aislador sísmico utilizando elementos de fricción secos en un sitio de prueba especial en Almaty. Las dimensiones del edificio son 17,4 m de largo, 12,9 m de ancho y 31,5 m de alto. Se obtuvieron las aceleraciones máximas para cada uno de los puntos de registro de la estación N°22. Los registros de aceleración se realizaron mediante dispositivos analógicos OSP, desplazamientos - VBP. De entre los resultados obtenidos se identifica que las fuerzas de fricción en los sistemas de elementos fluoroplásticos son muy pequeñas, por lo que esta característica de este sistema permite recomendarlos como un medio eficaz para reducir las cargas sísmicas y de tráfico. Se determinó que estos sistemas permiten disminuir de 3 a 12 veces la frecuencia de vibraciones transmitidas en el suelo bajo la influencia de los trenes. Se recomendó la aplicación de este tipo de dispositivos en suelos suficientemente densos, esto dependerá de los tipos y casos específicos [17].

2.2.5. Aisladores Sísmicos

Como indica Saravanan M. et al, [12] la energía sísmica se disipa permitiendo acciones inelásticas en miembros estructurales primarios lo que hace primordial el análisis de conexión viga columna cuando existen aisladores sísmicos en la estructura, la investigación realizada desarrolla una nueva conexión con pernos que permanecen elásticos, utilizando el protocolo de carga cíclica inversa, permitiendo realizar un

cambio de conexiones en miembros estructurales. El modelo propuesto, presenta cinco placas de celosía que permiten el paso de la carga a la placa horizontal, actuando así, como disipadores de energía siguiendo el proceso de la AISC 341-2016.

La investigación da como resultado que todos los modelos de conexión viga columna no presentaron daños con la aplicación de cargas, más que en la rosca de los pernos de la viga, y al utilizar las conexiones indicadas en la investigación se puede realizar un desmonte de piezas y sustituirse por una nueva conexión, se observa también el aumento de pretensión en los pernos lo que aumenta la capacidad de disipación [12].

Hernández et al, [18] considerando que actualmente existen estudios referentes al diseño de estructuras con disipadores de energía hysteréticos, pero muy pocos encaminados para reparación de estructuras y otros similares de acuerdo a la normativa vigente, realizaron análisis dinámicos no lineales en marcos de acero a diferentes niveles de pisos que forman parte de un total de doce edificaciones situadas en la ciudad de México. En ese estudio se utilizó el método de diseño por capacidad mediante diseño sísmico resiliente con marcos estructurales de baja elasticidad con la finalidad de que los disipadores de energía sean los encargados de controlar la inelasticidad. Se confirmó que mediante el análisis pushover, que los disipadores de energía trabajan inelásticamente, funcionando como fusibles estructurales. Se corroboró que cuando la excitación dinámica supera parámetros de resistencia, determinadas vigas del marco empiezan a trabajar a fluencia. De forma complementaria se ratifica que es posible diseñar estructuras resilientes con marcos contra venteados con disipadores de energía hysteréticos incluido en estructuras de altura y esbeltez considerable.

Según Hsu T et al [4] la incorporación de dispositivos tales como aisladores sísmicos es un edificio es trascendental para el adecuado comportamiento de las estructuras ante los eventos sísmicos y entre ellos se destacan los Aisladores Sísmicos Inclinados de Tipo Rodante (SRI, Sloped Rolling-type Seismic Isolators, por sus siglas en inglés), cuya característica principal es de controlar de manera constante la aceleración horizontal. El control de aceleraciones se basa en un sistema mecánico de rodillos cilíndricos, las cuales pueden ser controladas adecuadamente por este sistema, en

cuanto al desplazamiento horizontal máximo, el SRI, aún podría aumentar en función de la baja frecuencia de excitación de la aceleración tiempo historia, no obstante, al igual que el diseño de la mayor parte de aisladores sísmicos controlados pasivamente, se deben controlar desplazamientos y sus respuestas de aceleración máxima del SRI. Este sistema tiene la particularidad de tener rigidez negativa, la cual impide que la aceleración se amplifique en la superestructura debido al aumento del desplazamiento del aislamiento sísmico, pudiendo aumentarse la capacidad de disipación de energía. En este estudio se analizan los modelos de predicción de las ondas primarias, así como la incertidumbre en su predicción, así como parámetros de la velocidad pico o máxima (PV) de la excitación y rendimiento del control semiactivo, en diferentes segundos después de la llegada de las ondas P. Se considera un modelo SRI completo, consta de un conjunto de placas de apoyo superior, intermedia e inferior junto con dos pares de rodillos cilíndricos mutuamente ortogonales [4].

Como parte de la metodología se utilizó ecuaciones de movimiento las cuales fueron desarrolladas en función del modelo establecido y mediante el software MATLAB, en las cuales se realizó un análisis SRI y datos de terremotos, con la finalidad de preparar modelos ANN, así como modelo de predicción temprana de PV y ley de control adoptada, control de rendimiento de SRI integrado con predicción temprana de PV. Del estudio se concluye que la respuesta sísmica del desplazamiento horizontal máximo del SRI está directamente relacionado con el valor de PV de la excitación de entrada. Se determinó que se obtiene un mejor desempeño de aceleración del SRI, en el incremento de primeros segundos después de la llegada de la onda P (t_p). Se utilizó movimientos de suelo de acuerdo a los registrados en Hualien (Taiwán) de 2018. Se concluye que, para un evento sísmico real, la excitación de entrada realmente considerada para el SRI debería ser el historial de respuesta de aceleración del suelo sobre el que se monta el SRI, en el que intervienen las características dinámicas y las respuestas de la estructura [4].

En la investigación realizada por Radkia S. et al, [2] el uso principal de aisladores sísmicos nace de la necesidad de reducir el desplazamiento y deslizamiento en todas las estructuras en las que sean usados, en el presente artículo, investiga el comportamiento de edificaciones asimétricas sujetas a cargas sísmicas tomando en

cuenta su interacción suelo estructura, para su estudio, se tomó en cuenta 24 modelos estructurales entre los cuales estuvieron estructuras de una sola planta con el 40% de irregularidades, estructuras de cinco pisos con regularidad del 20%, 40% y 60% y una estructura de 10 pisos con un 40% de irregularidad, la metodología utilizada se basa en los estándares proporcionados por el Instituto de Normalización e Investigación Industrial de Irán en el Capítulo quinto del Reglamento Nacional de Edificación. La densidad del acero y el hormigón es de 7850 y 2400 kg / m³, respectivamente. El módulo de Young para acero y hormigón es igual a 210 y 21 GPa respectivamente; la relación de Poisson es 0,3 y 0,18, respectivamente. En este estudio, se utilizó acero ST37 para las vigas y columnas, las condiciones de contorno utilizadas para el suelo varían en condiciones de carga estáticas y dinámicas, además en el estudio, se va a utilizar los datos de un sismo para todos los edificios, tanto componentes horizontales como verticales y para la modelación se utilizarán softwares como ETABS y ABAQUS cargados con la norma AISC-ASD. En la investigación, se concluye que; el aislador absorbe la mayoría de movimientos sísmicos, lo que hace que la fuerza transmitida a la parte superior de las edificaciones se reduzca, esto, evita la falla en miembros estructurales y no estructurales. Un tipo de aislador, como son los aisladores a base de polímeros reducen los daños estructurales durante un terremoto de manera considerable, para los edificios cortos se toma en cuenta el aislador tipo LRB y para altos, el que mejor funcionabilidad tiene es el aislador RFBI, el tipo de suelo influye en gran parte al desplazamiento, en absolutamente todas las edificaciones se obtuvo una disminución de desplazamientos y deslizamientos con el uso de aisladores sísmicos.

Según Usta P. [19] el comportamiento sísmico de las estructuras con aislamiento sísmico es mucho mejor que el de las estructuras de base fija ya que extiende el período fundamental de vibración de la estructura y permite que la edificación soporte esfuerzos tanto horizontales como verticales bastante altos, en el caso de edificios antiguos, construidos sin bases técnicas y a metodología de experiencia, los hace más vulnerables en un terremoto que edificaciones modernas, de aquí parte la necesidad de salvaguardar edificios históricos como las mezquitas, en la investigación se busca el fortalecimiento de una estructura utilizando aisladores de base de caucho y una lámina de plomo, conocidos como LRB, para la investigación se utilizó en programa

SAP2000. El uso de un sistema de base-aislador provocó un aumento en el período histórico de la mezquita, reduciendo los desplazamientos, la aceleración y la fuerza aplicada sobre la mezquita y la deformación estructural resultante; los resultados del análisis indican una mejora significativa en el comportamiento sísmico. Los resultados del modelo muestran que tales edificios históricos de mampostería pueden ser vulnerables a grandes terremotos, y puede ser útil examinar estrategias de fortalecimiento para estos edificios

Según Taboada et al, [20] debido a los daños producidos en las estructuras por los eventos sísmicos, en Perú se ha incrementado la utilización de sistemas de aislamiento sísmico como medida de protección estructural. La Norma Sísmica Peruana establece que se debe utilizar aisladores sísmicos en hospitales ubicados en zonas sísmicas 3 y 4. Considerando que se obtienen los mayores desplazamientos laterales, en edificios que se localizan en el suelo tipo S3 y zona sísmica 4, en este estudio se evaluó la respuesta sísmica de un edificio de 5 pisos que cuenta con aisladores LRB y compuertas viscosas complementarias en su base de acuerdo con la normativa peruana. El análisis se lo realizó mediante el software ETABS y como parte de la metodología se consideraron a los aisladores y amortiguadores con propiedades no lineales, en tanto que, a los elementos de la superestructura con características lineales, mediante el empleo de siete pares de registros sísmicos compatibles con el espectro de la norma E-030 para tipo de suelo S3 y zona sísmica 4. Los amortiguadores viscosos, son los más utilizados en América latina, debido a su costo, por lo que la investigación realizada tomará en cuenta este tipo de aislador, se consideró un modelo matemático de un edificio de 5 pisos ubicado en zona sísmica 4, y tipo de suelo S3 según la norma peruana, con 5 condiciones de relación de amortiguamiento; 15%, 30%, 45%, 60% y 75%, los aisladores están sujetos al espectro de la norma E030, y la planta de la edificación tiene una medida de 21.6*36m, la modelación se realizó en el programa ETABS, con la investigación, se obtuvo reducciones en los desplazamientos laterales de hasta un 70%, el amortiguamiento de la estructura aumentó en un 50%, en casos de combinación de aisladores con disipadores, tanto la deriva como la aceleración disminuyen por debajo de los valores límites peruanos. Se concluyó que la amortiguación incrementa las aceleraciones del piso, ya que para los casos de una amortiguación del 50% se determinaron cercanas a 1g, y en casos de amortiguación

del 15% las aceleraciones se encuentran dentro de los límites aceptables. La fuerza en los amortiguadores está en función de la disipación de energía, y en tanto sea mayor, incrementa la fuerza cortante en la superestructura del edificio, siendo una de las causas del aumento de derivas y aceleraciones.

Como se indica en la investigación de Van Engelen [21], los diferentes tipos de aisladores sísmicos indican diferentes características en el diseño y por ende diferentes resultados, siendo todos muy importantes dentro de la construcción actual y dando todos buenos resultados en todos sus usos, entre los económicamente más accesibles y más comercializados se encuentran los aisladores elastoméricos reforzados con fibra (FREI), este tipo de aisladores tienen rendimientos distintos a los que contienen otros materiales por la adhesión de diferentes tipos de fibras y su costo es apropiado para un uso generalizado. Presentan características de rigidez vertical, horizontal, lateral, efectos de rodaje, los mismos que se encuentran incluidos en los catálogos de cada producto. Una manera de disminuir costos en la fabricación de FREI, es ir recortando de aisladores las partes útiles para su reutilización, con esto se obtiene información de diseño ya existente y añadida las propiedades de las fibras y se da un mejor uso a aisladores reemplazados, esa es la base de los FREI, sin embargo la investigación admite que merece la pena una investigación más profunda y en el caso de ser de igual manera satisfactoria, el uso de los FREI podría generalizarse en lugares de escasos recursos y que requieren el uso de este tipo de dispositivos.

2.2.6. Disipadores de Energía

Pimiento et al, [22] señalan que cuando los sismos actúan en una estructura, pueden afectar gravemente sus elementos, ocasionando que muchas veces no se puedan reparar, lo cual ha dado origen a la rehabilitación sísmica mediante la incorporación de dispositivos de disipación de energía de fácil fabricación y bajo costo. En este estudio se considera la utilización de disipadores de energía histeréticos pasivos metálicos de placas con ranuras, que por las características del material son de bajo costo, y fácil elaboración, aspectos muy trascendentales en países en vías de desarrollo. Se realizaron ensayos para determinar propiedades mecánicas de los materiales y características específicas de los disipadores histeréticos metálicos. Como parte de la metodología desarrollada, se construyeron tres pórticos en acero a una escala de 1:3, con perfiles de vigas y columnas tubulares de acero A36, con juntas soldadas, los

cuales fueron ensayados en una mesa vibratoria. Se registró desplazamientos, la fuerza generada por el actuador dinámico y distorsión de entrepiso (deriva sísmica), el cual permite relacionar la efectividad de disipadores de energía con niveles de daño. Se utilizaron señales sísmicas de acuerdo a la amenaza sísmica de Bogotá y dos de ellas de acuerdo a sismos producidos en lugares cercanos a esta ciudad, con la finalidad de analizar la distorsión de entrepiso y el comportamiento de los modelos. En los resultados obtenidos se observó una notable disminución de las derivas mediante la rehabilitación con disipadores de energía histeréticos metálicos de placas ranuradas. Los resultados obtenidos indican una reducción del 74 % y el 90% en las derivas máximas con relación al modelo sin disipadores, disminuyendo el periodo fundamental del pórtico. Los disipadores absorbieron gran cantidad de energía logrando disminuir las fuerzas que actúan en los elementos de la estructura. Se concluyó que mucho depende del diseño de disipadores para obtener un buen funcionamiento de la rehabilitación.

Existe una amplia variedad de dispositivos que, cuando se combinan en paralelo entre sí, brindan una posibilidad muy alta de mejora en el desempeño estructural con un costo muy bajo, según Bozzo L. M. et al, [23] los disipadores aumentan la amortiguación de la estructura, sin embargo, pueden alterar la rigidez de la estructura y es período estructural de la misma. Por lo que se requiere análisis exhaustivos acerca de los diferentes tipos de disipadores de energía, en este caso se investigó el uso de los disipadores de energía Shear Link Bozzo (SLB) con procedimientos de diseño iterativos para seleccionar este tipo de dispositivo, la metodología que presenta el estudio, se compone de una modelación en ETABS y SAP2000, para la metodología de diseño iterativo se ha implementado al ETABS la selección automática de disipadores de potencia SLB aplicados en un edificio de hormigón armado prefabricado de cinco pisos utilizando iteración directa e inversa, los resultados de la investigación indican que toda la disipación de energía sísmica se concentró en estos dispositivos por lo que no habría daño estructural. Además, los niveles de daño no estructural se controlaron con la rigidez inicial de estos dispositivos ya que los desplazamientos laterales se redujeron a niveles por debajo del código sísmico peruano indicando incluso que la estructura sería de ocupación inmediata. Al mismo tiempo,

los niveles de aceleración disminuyen en altura a solo 0,3 g y el coeficiente de cizallamiento base se reduce de casi 1,2 a solo 0,12.

El artículo publicado por Jara J. M. et al, [24] hace visible la necesidad de investigaciones acerca de dispositivos de control pasivo para mitigar el riesgo sísmico en países de alta peligrosidad sísmica como México. En el estudio se analiza la viabilidad de hacer uso de pórticos arriostrados, sistemas de disipación de energía con comportamiento elastoplástico y sistemas de aislamiento de bases en diferentes regiones de México con diferentes intensidades de agitación. Se analizan edificaciones de hormigón armado de cinco y diez pisos, las mismas que su ubican en zonas alejadas y cercanas a la fuente sísmica más importante del territorio. Se crearon 7 sistemas estructurales y la metodología utilizada está acorde con las normas ASI y las Normas complementarias del Código de edificación de México, los modelos fueron hechos en SAP2000. El estudio concluye que los sistemas de control pasivo utilizado como aislador de base en edificios de Hormigón Armado, reducen la respuesta sísmica en todos los casos, sin embargo, difiere de acuerdo a la región estudiada, el uso de disipadores de energía reduce la relación de deriva a medida que aumenta la distancia entre la fuente sísmica y la ubicación del edificio, cuanto más lejos se encuentra la edificación de la falla sísmica menor la relación de demanda de derivas.

Como indica Aguiar R. et al, [25] en la ciudad de Quito-Ecuador se necesita analizar las gradas de ingreso a bloques de aulas construidos con aisladores sísmicos de triple péndulo de fricción FPT y Shear Link, para lo que se presentan tres modelos con diferentes grados de libertad para el análisis del ingreso a dos bloques de 4 pisos, que se encuentran siendo construidos en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, estos análisis siguen la metodología descrita en la Norma Ecuatoriana de la construcción NEC-15, para suelo tipo C y zona sísmica IV. El análisis sísmico se ha realizado aplicando el método espectral de capacidad, y como resultado se obtuvo que se esperan desplazamientos máximos de 47cm, siendo los aisladores los que absorban un desplazamiento de alrededor de 40cm, lo que conlleva a un a un desplazamiento relativo de 7cm lo que indica que el ingreso no va a tener daño en su estructura.

Los disipadores de energía que se pueden encontrar en el país, aunque no poco comunes, son los de soporte restringido de pandeo, tipo shear link o tipo TADAS, como explica Aguiar R. [26], en su investigación acerca del reforzamiento con ambos tipos de disipadores en una estructura semi colapsadas, con daño extensivo sobre todo en mampostería, debido al terremoto de 7.8 de magnitud ocurrido en Ecuador el 16 de Abril del 2016. La principal diferencia entre ambos tipos de disipadores radica en su costo, el TADAS tiene un costo elevado, mientras que el Shear Link, de tercera generación tiene un costo aproximadamente 10 veces menor. Las derivas de piso y desplazamientos observados con el uso de ambos dispositivos, es importante, siendo ambos útiles para el caso de movimiento sísmico, su uso dependerá de la geometría del pórtico en donde se usen, ya que la geometría de cada dispositivo varía considerablemente, además en la investigación se recalca sobre el no uso de mampostería común en edificaciones que se encuentren en zonas sísmicas de importancia, sino material liviano como gypsum que presenta un mejor comportamiento y es más adecuado al momento de modelarlo con el disipador que amerite usar.

2.2.7. Configuración estructural

De acuerdo con Fu Q. et al, [27] en los últimos años han tenido un notable crecimiento en el interés del campo científico debido al colapso de las estructuras. Por eso se han desarrollado estudios de columna-viga-losa en tres dimensiones (3D). Tiene un preámbulo con dirección a la robustez de las estructuras varios tipos de escenarios de remoción de columnas. Antes del estudio se han desarrollado investigaciones sobre sistemas de piso compuesto en escenarios de remoción de columnas internas, penúltimas y de borde “sistema de piso compuesto de acero-hormigón” el cual es conocido como “sistema de piso compuesto”. La investigación se fundamentó en tres muestras, la cuales se ensayaron cuasi-estáticamente hasta el punto de falla para analizar el comportamiento para los pisos compuestos de acero y concreto. En este estudio se concluyó que existió una resistencia a la flexión ligeramente mayor para la subestructura con compresión axial adicional en las columnas restantes. Se determinó la presencia de deformaciones torsionales alrededor del eje x (en paralelo con vigas secundarias) y el eje z (dirección vertical) en losas mixtas. La viga perimetral tiene una mínima resistencia a torsión, sin embargo, muy dúctiles a las deformaciones

producidos por dichos esfuerzos. La mayor parte de cargas se redistribuyeron a las columnas más cercanas.

2.2.8. Vulnerabilidad estructural

En el estudio de columnas compuestas de hormigón y acero SCR, se debe conocer el desempeño de estos edificios y los criterios de diseño de los mismos, tal como lo indica la investigación de Hassan W.M. et al, [28], en la investigación se recalca que la vulnerabilidad está directamente relacionada con las pérdidas económicas que existe en un riesgo sísmico. Para evaluar dicha vulnerabilidad se necesita apreciar las curvas de “blackbone” establecidas en las normativas correspondientes. Como parte del estudio se ha realizado un diseño de edificio prototipo de 20 pisos con cargas cíclicas en 15 columnas, las mismas que se ensayaron bajo la acción de cargas axiales de 15 y 80%, que representan los casos extremos de falla por flexión. Los términos de vulnerabilidad, fragilidad y resiliencia relacionan el nivel de daño con la intensidad del peligro. La vulnerabilidad sísmica es distribución de la pérdida sísmica. El modelo basado en pruebas es mucho menos vulnerable que el modelo convencional en todos los niveles de intensidad sísmica. Los resultados obtenidos señalan que se puede disminuir la vulnerabilidad cuando se presente riesgo sísmico, cuando existe configuraciones más amplias en edificios y cuando se toma en cuenta las gráficas desarrolladas en este estudio.

2.2.9. Conclusiones parciales de la literatura

De acuerdo con la documentación científica antes detallada, uno de los de los mayores inconvenientes que dan lugar al colapso de las estructuras es la incidencia de los sismos en edificaciones que no están adecuadamente preparadas con una respuesta estructural adecuada. Con la finalidad de solucionar estas vulnerabilidades en las edificaciones es necesario la incorporación de aisladores sísmicos y disipadores de energía para controlar los desplazamientos en término de derivas de piso y disminución de esfuerzos en las columnas garantizando que se produzcan fallas locales, es decir cumplir con la filosofía de sismo resistencia columna fuerte – viga débil. No se ha encontrado en la literatura consultada metodologías o aplicaciones para disminuir los desplazamientos en edificaciones que se ajusten de acuerdo a la zonificación sísmica de la región (Ambato). La solución para estos problemas es la incorporación de

aisladores sísmicos y disipadores de energía, los cuales permitirán controlar aquellos desplazamientos en la edificación.

2.2.10. Redacción Técnica

De lo mencionado anteriormente, los autores de esta investigación consideran que es necesario realizar un análisis comparativo del funcionamiento y respuesta estructural en el edificio en estudio, mediante modelación en elementos finitos. Lo indicado se fundamenta en la información proporcionada en las investigaciones antes señaladas y en las normas que se encuentran actualmente vigentes en el país.

CAPITULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Ubicación

El proyecto se localiza en la provincia de Tungurahua, cantón Ambato, parroquia Izamba, en las calles Carrasco Miño y Ciro Peñaherrera, en las siguientes coordenadas:

E 768,686.77 m

N 9'864,578.46 m

Z 2558 m.s.n.m.



3.2. Equipos y materiales

Además de la normativa de construcción se consideran la utilización de los siguientes equipos y materiales requeridos para el desarrollo de la presente investigación:

Computadores + Software (cálculo estructural)

Impresora

Planos

Material de oficina

3.3. Tipo de investigación

Debido a las características del proyecto en estudio, se requiere de una investigación de tipo descriptiva y explicativa.

Descriptivo

Al tratarse de un estudio comparativo del comportamiento de las estructuras es necesario apoyarse de una investigación descriptiva. Adicionalmente se considera validar la hipótesis mediante los resultados del análisis estructural. Finalmente se requiere describir el comportamiento que ha tenido cada uno de los modelos de la misma estructura.

Explicativo

Una vez confrontado las variables de esta investigación, se definirá la solución más adecuada para el comportamiento estructural considerando aspectos técnicos y económicos. Al tratarse de una comprobación de la hipótesis planteada se requiere de una investigación explicativa, para determinar sus vulnerabilidades en función de parámetros y tolerancias establecidos en la NEC-15.

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

La utilización de aisladores sísmicos y disipadores de energía permitirá disminuir los desplazamientos y mejorar el comportamiento estructural en un edificio de estructura metálica, aplicando la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-15.

3.5. Población o muestra:

Se requiere realizar un sondeo en el área correspondiente, con la finalidad de conocer dentro del campo ingenieril cuál es el grado de aplicación y de conocimiento relacionado a los sistemas de aislamiento sísmico, así como de disipadores de energía. Es necesario determinar mediante estos mecanismos la metodología más utilizada y de ser el caso, las razones principales por las que se utilizan aquellas metodologías.

Mediante estadística se podrá valorar la información colectada, la cual servirá de aporte para validar la hipótesis establecida en el estudio, así mismo se puede realizar el análisis comparativo propuesto.

3.6. Recolección de información:

Como se detalla en la siguiente matriz, es necesario recolectar información obtenida una vez realizados los modelos analíticos tanto de la estructura convencional como la de sus semejantes utilizando aisladores sísmicos y disipadores de energía, para eso se realizará un análisis comparativo tomando en cuenta valores máximos permisibles, valores medios y demás, es parámetros como derivas de piso, desplazamientos y energía absorbida.

Cuestionamientos	Explicación
1. ¿Para qué?	El análisis comparativo se realizará para entender las diferencias estructurales de los modelos presentados
2. ¿De qué?	Estructuras propuestas, es decir la convencional, usando aisladores y añadiendo disipadores
3. ¿Sobre qué aspectos?	Aisladores sísmicos y disipadores de energía
4. ¿Quiénes?	Investigadores: - Beltrán Vargas Luis Miguel - López Arboleda Gissela Vanessa
5. ¿Cuándo?	Período de realización
6. ¿Dónde?	Vía Electrónica (de preferencia) / Oficinas
7. ¿Cuántas veces?	1
8. ¿Qué técnicas de recolección?	Análisis
9. ¿Con qué?	Datos obtenidos del software

3.7. Procesamiento de la información y análisis estadístico:

Al no ser una investigación de carácter experimental el procesamiento de datos no es más que la recolección de los siguientes parámetros considerados para el desarrollo del proyecto.

- Registro de información.
- Tabulación de información.

- Representación de resultados en porcentajes.
- Analizar e interpretar, los resultados relacionándolos con los diferentes partes de la investigación especialmente con los objetivos y la hipótesis.
- Análisis de resultados.
- Validación de Hipótesis.
- Conclusiones y Recomendaciones
- Selección del tipo de aislador sísmico
- Selección del tipo de disipador de energía.
- Desarrollo de la Propuesta

3.8. Variables respuesta o resultados alcanzados

La variable respuesta que se considera una vez realizado el análisis y procesamiento de datos de las estructuras añadiendo aislador sísmico y disipador de energía que serán considerados en el desarrollo de la propuesta, lo que nos brindará una idea general para poder determinar con el análisis estructural a realizar, los desplazamientos y el comportamiento estructural del proyecto planteado.

CAPITULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Datos Iniciales

Para el presente estudio se consideraron los siguientes datos, como información primaria:

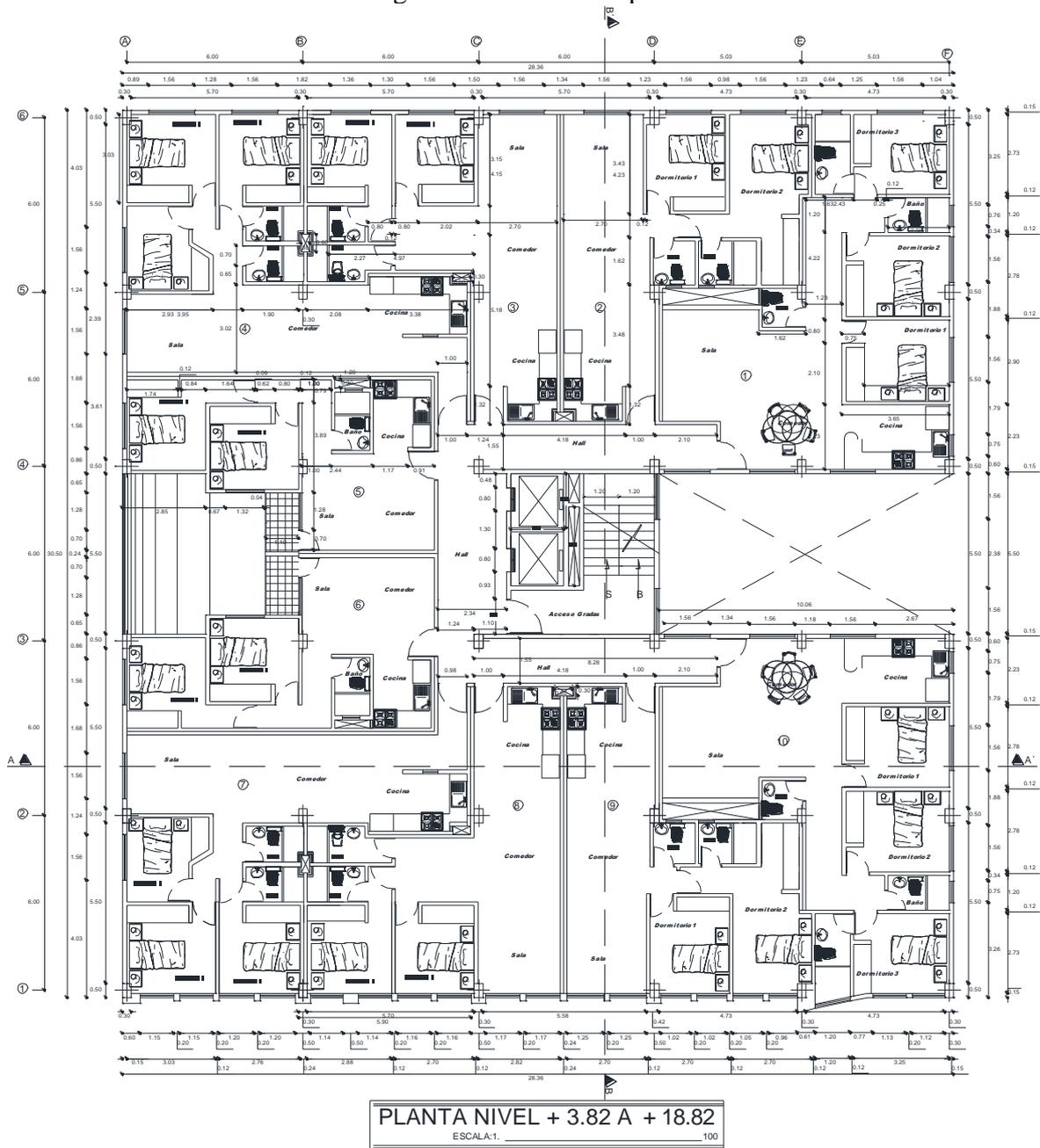
TABLA 2. DATOS INICIALES

Propiedad	Valor
Acero estructural	ASTM A36 (Edificio en estructura metálica)
Hormigón $f'_c =$	210 kg/cm ² (De acuerdo con la NEC-15, numeral 3.3.1. Resistencia a la compresión, literal a. Generalidades)
Acero en barras $f_y =$	4200 kg/cm ² (De conformidad con lo establecido en el ACI318-14 la sección 25.4.4.1, literal (b), en concordancia con la NEC-15, numeral 3.3.2. Resistencia a la fluencia)
Normativa considerada:	NEC 2015, ACI 318-14, AISC360-16, ASCE/SEI 7-16
Peso Específico del Hormigón $W_c =$	2400 kg/m ³ (Código ACI318-14, numeral 8.5.1)
Módulo de Poisson del Hormigón =	0.2
Módulo de Poisson del Acero =	0.3
Módulo de Elasticidad del Hormigón	Obtenido de la norma ACI318-14, apéndice B, ecuación 19.2.2.1.a, de la columna Sistema mks esfuerzos en kgf/cm ² $E_c = W_c^{1.5} * 0.014 * \sqrt{f'_c}$ $E_c = 2400^{1.5} * 0.014 * \sqrt{210} \text{ Kg/cm}^2$ $E_c = 275438.04 \text{ Kg/cm}^2$
Módulo de Elasticidad del Acero (ACI318-14)	$E_s = 200\ 000 \text{ Mpa} = 2\ 000\ 000 \text{ Kg/cm}^2$

Fuente: Elaboración autónoma, 2022

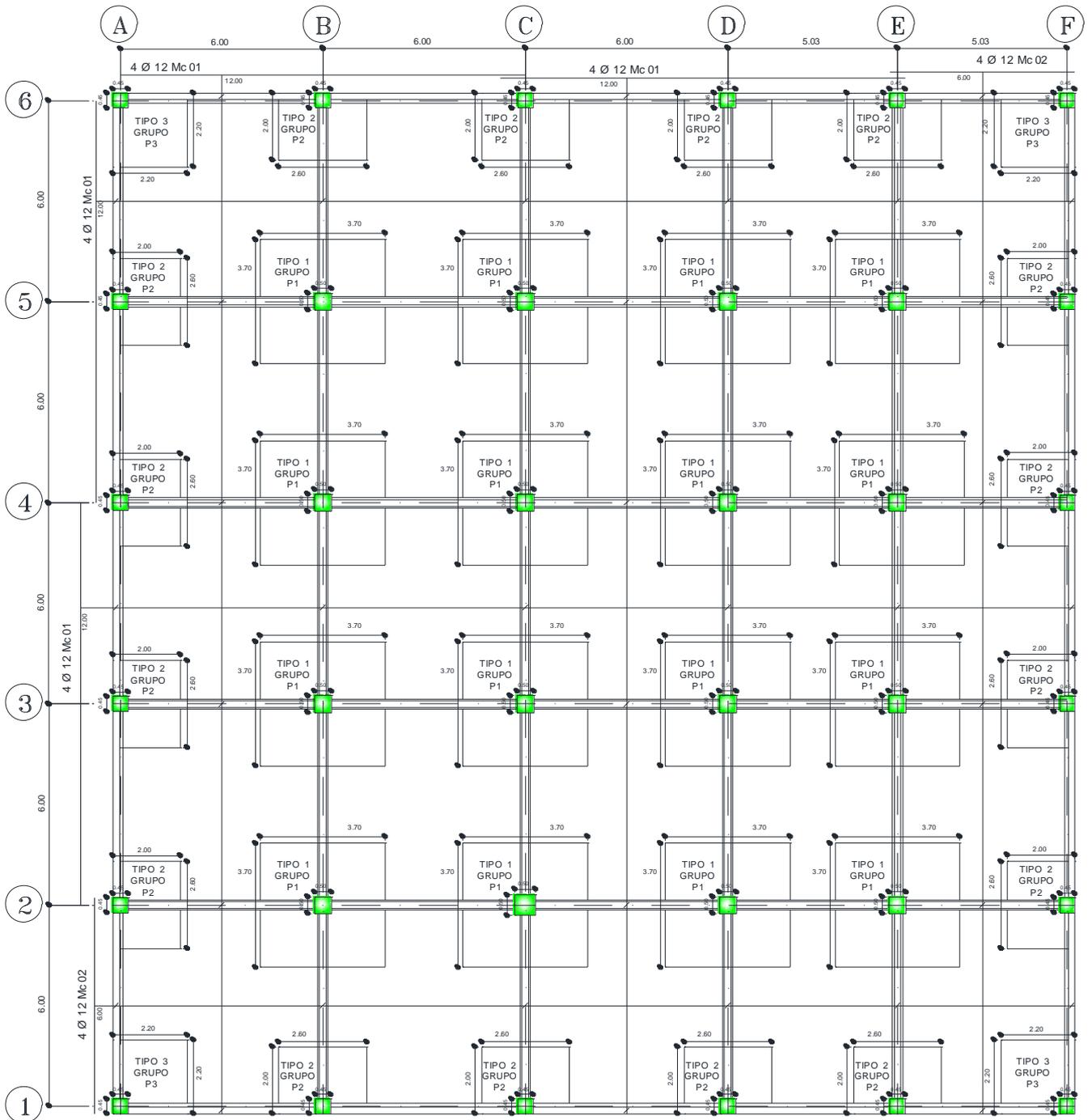
A continuación, se detalla la implantación de la estructura, las cuales fueron ingresadas en el programa de cálculo:

Figura 1. Detalle de la planta del edificio



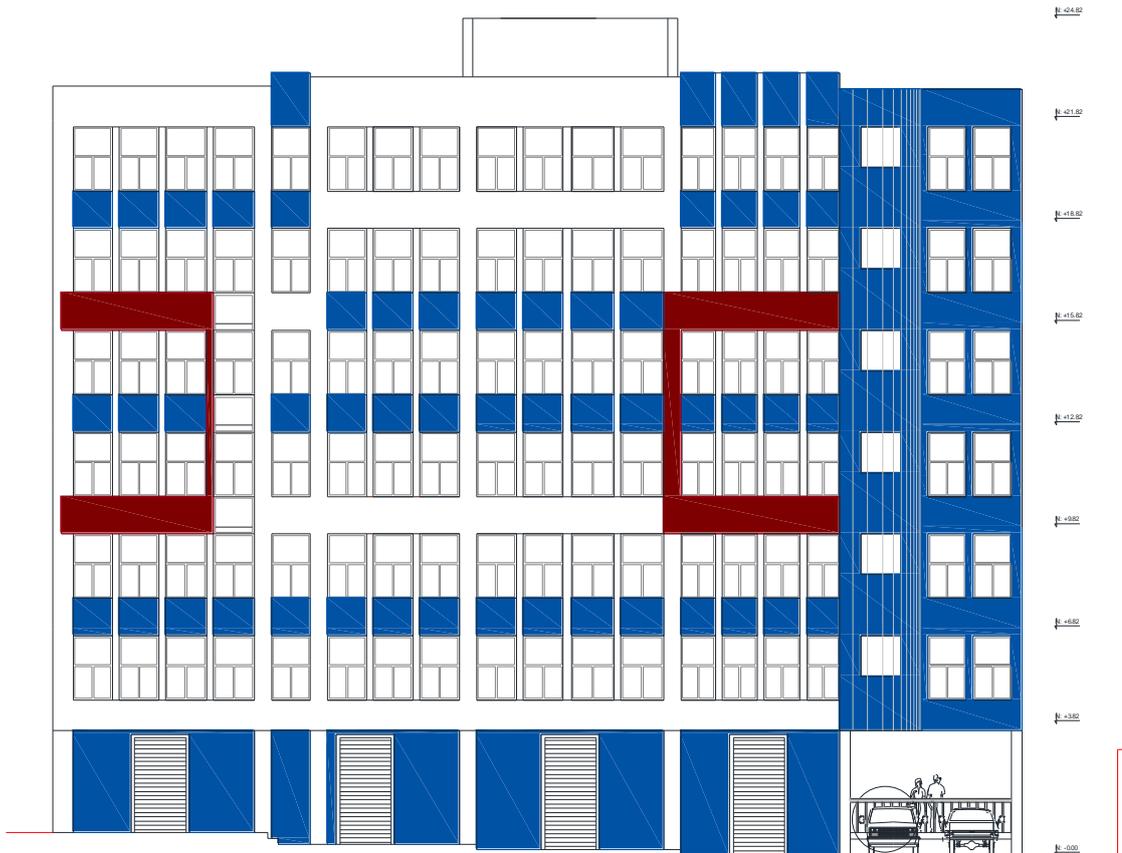
Fuente: Elaboración autónoma, 2022

Figura 2. Detalle de ejes del edificio



Fuente: Elaboración autónoma, 2022

Figura 3. Vista frontal del edificio



Fuente: Elaboración autónoma, 2022

4.2.Cargas Gravitacionales

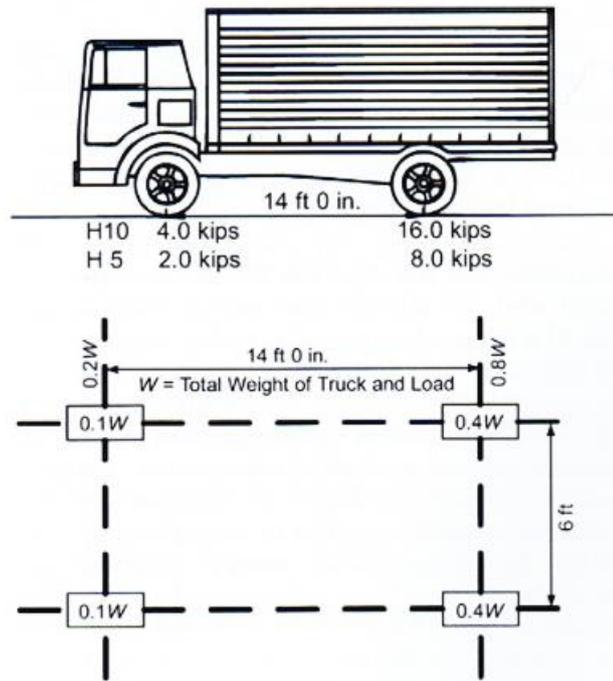
Las cargas gravitacionales consideradas en el presente modelo se basan específicamente en las condiciones de la estructura.

4.2.1. Carga Viva

4.2.1.1.Carga Viva Vehicular

Con relación a la carga de los parqueaderos, al ser para vehículos pequeños, y si bien es cierto la carga que se establecen en los pesos de un vehículo son inferiores al establecido en la norma AASHTO (H10, el más pequeño), se consideró una carga de 10 Toneladas. Las llantas tienen una separación de 1.80 m y una longitud entre ejes de 4.20m, a excepción del Hummer (vehículo militar) que tienen más separación de llantas de atrás.

Figura 4. Detalle Vehículo AASHTO H10



Fuente: AASHTO, LRDF 2010

$$\text{Area vehículo H10} = 14\text{ft} * 6\text{ft} \cong 4.20\text{m} * 1.80\text{m} = 7.56\text{m}^2$$

$$\text{Carga Vehicular H10} = 20\text{Kips} \cong 10.00\text{Tn} = 10000\text{Kg}$$

Por tanto, la carga viva distribuida por cada metro cuadrado es:

$$\text{Carga Vehicular H10} = \frac{10000\text{ Kg}}{7.56\text{ m}^2} = 1322.75\text{ kg/m}^2;$$

Por tanto la carga viva por efectos de la circulacion vehicular se considera:

$$\text{Carga Vehicular H10} = 1325\text{ kg/m}^2$$

No se consideraron cargas de impacto, de aceleración, ni frenado, partiendo del criterio que en zonas de parqueo la velocidad máxima es de 20km/h, y adicionalmente desde el punto de vista estructural, aquellos esfuerzos del camión ya están cubiertos de manera conservadora con la carga antes mencionada, por lo que se podría considerar inclusive como un camión pequeño.

4.2.1.2.Carga Viva Residencial

En cuanto a la carga viva residencial o habitacional, se ha considerado la aplicación lo que establece la NEC-15 CARGAS (NO SÍSMICAS), NEC - SE – CG, apartado 4.2.1. Sobrecargas mínimas uniformemente distribuidas L0, y concentradas P0, en la cual se detalla que para residencias se considere una carga uniforme de:

$$CV = 2.00\text{kN/m}^2 \cong 200 \text{ kg/m}^2$$

4.2.2. Carga Muerta

Se considera masillado de 2cm superior e inferior y adicionalmente un cielo raso. Masillado 38 kg/m² y cielo raso de 5 kg/m², es decir un acabado de 43 kg/m². También se podría ocupar un valor de 20 kg/m², que corresponde a los acabados. Por lo tanto, se considera una carga de 63kg/m², de acuerdo al siguiente detalle:

TABLA 3. CÁLCULO DE CARGA MUERTA

Detalle	Carga [kg/m ²]
Masillado	38.00
Cielo Raso	5.00
Acabados	20.00
Total Carga Muerta	63.00

Cabe mencionar que las cargas por el peso propio de la estructura se determinaron mediante el cálculo interno que realiza el software de forma automática, y de forma complementaria se complementó con el prediseño de cada uno de los miembros y elementos estructurales.

4.3.Cargas Sísmicas

4.3.1. Factor de la zona sísmica

En la NEC-15, PELIGRO SÍSMICO, DISEÑO SISMO RESISTENTE, se encuentran las zonificaciones de ciertas poblaciones del Ecuador, en el numeral 10.2, se puede observar que para la zona de Izamba, del cantón Ambato de la provincia de

Tungurahua, la norma recomienda utilizar el valor del factor Z de 0.40. Este valor representa la aceleración máxima en roca para el sismo de diseño.

En tal virtud, y correlacionando la tabla de la sección 3.1.1. Zonificación sísmica y factor de zona Z, la zona sísmica es V y con una amenaza sísmica alta

TABLA 4. VALORES DEL FACTOR Z EN FUNCIÓN DE LA ZONA SÍSMICA ADOPTADA

Zona sísmica	I	II	III	IV	V	VI
Valor factor Z	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥ 0.50
Caracterización de la amenaza sísmica	Intermedia	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy Alta

Fuente: Norma Ecuatoriana de la Construcción, Peligro Sísmico, Diseño Sismo Resistente, NEC-SE-DS, Parte 1, 2015, Sección 3, Pág. 27

4.3.2. Perfil de suelo

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

TABLA 5. TIPOS DE PERFILES DE SUELO PARA EL DISEÑO SÍSMICO

TIPO DE PERFIL	DESCRIPCIÓN	DEFINICIÓN
D	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o Perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	$360 \text{ m/s} > V_s \geq 180 \text{ m/s}$ $50 > N \geq 15.0$ $100 \text{ KPa} (\approx 1 \text{ kgf/cm}^2)$ $> S_u \geq 50 \text{ KPa} (\approx 0.5 \text{ kgf/cm}^2)$

Fuente: Norma Ecuatoriana de la Construcción, Peligro Sísmico, Diseño Sismo Resistente, NEC-SE-DS, Parte 1, 2015, Sección 3, Pág. 30

4.3.3. Coeficientes de perfil de suelo

En la sección 3.2.2. Coeficientes de perfil de suelo Fa, Fd y Fs, se determinaron en función de las tablas de dicha sección.

4.3.3.1. Coeficiente de amplificación, Fa

TABLA 6. FA: COEFICIENTE DE AMPLIFICACIÓN DE SUELO EN LA ZONA DE PERIODO CORTO.

Coeficiente de amplificación de suelo en la zona de período cortó. Amplifica las ordenadas del espectro elástico de respuesta de aceleraciones para diseño en roca, considerando los efectos de sitio	
Fa =	1.2

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.3	0.35	0.4	0.5
A	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
B	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
C	1.40	1.30	1.25	1.23	1.20	1.18
D	1.60	1.40	1.30	1.25	1.20	1.12
E	1.80	1.40	1.25	1.10	1.00	0.85

Fuente: Norma Ecuatoriana de la Construcción, Peligro Sísmico, Diseño Sismo Resistente, NEC-SE-DS, Parte 1, 2015, Sección 3, Pág. 31

4.3.3.2. Coeficiente de amplificación, Fd

TABLA 7. FD: DESPLAZAMIENTOS PARA DISEÑO EN ROCA.

Coeficiente de amplificación de suelo. Amplifica las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos para diseño en roca, considerando los efectos de sitio	
Fd =	1.19

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.3	0.35	0.4	0.5
A	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
B	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
C	1.36	1.28	1.19	1.15	1.11	1.06
D	1.62	1.45	1.36	1.28	1.19	1.11

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.3	0.35	0.4	0.5
E	2.10	1.75	1.70	1.65	1.60	1.50

Fuente: Norma Ecuatoriana de la Construcción, Peligro Sísmico, Diseño Sismo Resistente, NEC-SE-DS, Parte 1, 2015, Sección 3, Pág.31

4.3.3.3. Coeficiente de amplificación, F_s

TABLA 8. F_s : COMPORTAMIENTO NO LINEAL DE LOS SUELOS

Coeficiente de amplificación de suelo. Considera el comportamiento no lineal de los suelos, la degradación del período del sitio que depende de la intensidad y contenido de frecuencia de la excitación sísmica y los desplazamientos relativos del suelo, para los espectros de aceleraciones y desplazamientos	
$F_s =$	1.28

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.3	0.35	0.4	0.5
A	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
B	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
C	0.85	0.94	1.02	1.06	1.11	1.23
D	1.02	1.06	1.11	1.19	1.28	1.40
E	1.50	1.60	1.70	1.80	1.90	2.00

Fuente: Norma Ecuatoriana de la Construcción, Peligro Sísmico, Diseño Sismo Resistente, NEC-SE-DS, Parte 1, 2015, Sección 3, Pág.32

4.3.4. Amplificación espectral, η

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

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

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

$\eta = 2.60$: Provincias del Oriente

Por consiguiente, se adoptó el valor que se detalla en la siguiente tabla:

TABLA 9. RELACIÓN DE AMPLIFICACIÓN ESPECTRAL, H

Razón entre la aceleración espectral Sa a período estructural T=0.1 seg. y el PGA para el período de retorno seleccionado.	
$\eta =$	2.48
Provincias de la Sierra, Esmeraldas y Galápagos	

Fuente: Norma Ecuatoriana de la Construcción, Peligro Sísmico, Diseño Sismo Resistente, NEC-SE-DS, Parte 1, 2015, Sección 3, Pág. 34

4.3.5. Aceleración Espectral, Sa

Tabla 10. Espectro de respuesta elástico de aceleraciones

Espectro de respuesta elástico de aceleraciones (expresado como fracción de la aceleración de la gravedad g), definido para una fracción del amortiguamiento respecto al crítico igual a 5%. Depende del período o modo de vibración de la estructura

$$Sa = 1.1904$$

Fuente: Norma Ecuatoriana de la Construcción, Peligro Sísmico, Diseño Sismo Resistente, NEC-SE-DS, Parte 1, 2015, Sección 3, Pág. 33

$$Sa = Z * Fa * \eta$$

$$Sa = 0.4 * 1.2 * 2.48$$

$$Sa = 1.1904$$

4.3.6. Períodos límites de vibración

4.3.6.1. Períodos límites de vibración, To

Como se detalla en la NEC-15, sección 3.3.1. Espectro elástico horizontal de diseño en aceleraciones, se realiza el cálculo de período límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño (To).

TABLA 11. PERÍODO LÍMITE DE VIBRACIÓN

Período límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño	
$To =$	0.1269

Fuente: Norma Ecuatoriana de la Construcción, Peligro Sísmico, Diseño Sismo Resistente, NEC-SE-DS, Parte 1, 2015, Sección 3, Pág. 33

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

$$T_o = 0.1 * 1.28 * \frac{1.19}{1.20}$$

$$T_o = 0.1269$$

4.3.6.2. Períodos límites de vibración, Tc

Como se detalla en la NEC-15, sección 3.3.1. Espectro elástico horizontal de diseño en aceleraciones, se realiza el cálculo de período límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño (Tc).

TABLA 12. PERÍODO LÍMITE DE VIBRACIÓN

Período límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño	
Tc =	0.6981

Fuente: Norma Ecuatoriana de la Construcción, Peligro Sísmico, Diseño Sismo Resistente, NEC-SE-DS, Parte 1, 2015, Sección 3, Pág. 33

$$T_c = 0.55 * F_s * \frac{F_d}{F_a}$$

$$T_c = 0.55 * 1.28 * \frac{1.19}{1.20}$$

$$T_c = 0.6981$$

4.3.6.3. Período fundamental de vibración de la estructura, T

Para la obtención del Período fundamental de vibración de la estructura, se ha considerado utilizar el Método 1 de cálculo en el cual intervienen la tipología del edificio y características del mismo, con la siguiente expresión

$$T = C_t * h_n^a$$

C_t = coeficiente que depende del tipo de edificio

C_t = Coeficiente que depende del tipo de edificio

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

En la NEC-15, apartado 6.3.3. Determinación del período de vibración T, se dispone de la siguiente tabla en la cual se detallan los coeficientes para el tipo de estructura que se está diseñando.

TABLA 13. FACTORES C_t Y α , SEGÚN EL TIPO DE ESTRUCTURA

Tipo de estructura	C_t	α
Estructuras de acero		
Sin arriostramientos	0.072	0.8
Con arriostramientos	0.073	0.75
Pórticos especiales de hormigón armado		
Sin muros estructurales ni diagonales rigidizadoras	0.055	0.9
Con muros estructurales o diagonales rigidizadoras y para otras estructuras basadas en muros estructurales y mampostería estructural	0.055	0.75

Fuente: Norma Ecuatoriana de la Construcción, Peligro Sísmico, Diseño Sismo Resistente, NEC-SE-DS, Parte 2, 2015, Sección 6, Pág. 62

Como la edificación que forma parte del presente estudio es en estructura metálica y al considerarse arriostramientos en la misma se ha seleccionado los siguientes valores:

TABLA 14. FACTORES C_t Y α , SEGÚN EL TIPO DE ESTRUCTURA

Tipo de estructura	C_t	α
Estructuras de acero con arriostramientos	0.073	0.75

Fuente: Norma Ecuatoriana de la Construcción, Peligro Sísmico, Diseño Sismo Resistente, NEC-SE-DS, Parte 2, 2015, Sección 6, Pág. 62

Adicionalmente se requiere de la altura del edificio la cual es de 30.73 metros.

TABLA 15. PERÍODO FUNDAMENTAL DE VIBRACIÓN DE LA
ESTRUCTURA

Período fundamental de vibración de la estructura bajo excitación sísmica	
T =	0.9528

Fuente: Norma Ecuatoriana de la Construcción, Peligro Sísmico, Diseño Sismo Resistente, NEC-SE-DS, Parte 2, 2015, Sección 6, Pág. 62

$$T = C_t * h_n^a$$

$$T = 0.073 * 30.73^{0.75}$$

$$T = 0.9528$$

En cuanto a los factores de configuración estructural en planta y en elevación, de acuerdo a las condiciones del edificio en estudio se han realizado las siguientes consideraciones:

Partiendo del criterio que en términos generales existen una altura de entrepiso y los sistemas de pórticos es constante, se considera de acuerdo al siguiente detalle:

$$\Phi_P = 1.00 \text{ (estructura con regularidad homogénea)}$$

$$\Phi_E = 0.90 \text{ (irregularidad geométrica)}$$

4.3.7. Coeficiente de Resistencia Sísmica, R

El factor R se asigna de acuerdo a la conformación de la estructura y demás factores para las cargas sísmicas de diseño.

Tomando en cuenta que por la altura considerable de la edificación se clasifica como un sistema estructural dúctil y al conformarse con pórticos resistentes a momento se utiliza el factor de 8.00

TABLA 16. COEFICIENTE DE RESISTENCIA SÍSMICA R

Coeficiente de resistencia sísmica R	
R =	8.00

Fuente: Norma Ecuatoriana de la Construcción, Peligro Sísmico, Diseño Sismo Resistente, NEC-SE-DS, Parte 2, 2015, Sección 6, Pág. 65

4.3.8. Factor utilizado en espectro elástico, r

De acuerdo a lo establecido en la NEC-15, acápite 3.3.1. Espectro elástico horizontal de diseño en aceleraciones, en las cuales se detalla que dicho factor se debe utilizar de acuerdo a las siguientes consideraciones:

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

$r = 1.5$ para tipo de suelo E.

Como se detalló anteriormente, el estudio se consideró suelo tipo D. Por lo tanto, el factor r adoptado es de 1.00

TABLA 17. FACTOR APLICADO EN EL ESPECTRO ELÁSTICO.

Factor usado en el espectro de diseño elástico, cuyos valores dependen de la ubicación geográfica del proyecto	
r =	1

Fuente: Norma Ecuatoriana de la Construcción, Peligro Sísmico, Diseño Sismo Resistente, NEC-SE-DS, Parte 1, 2015, Sección 3, Pág. 34

4.3.9. Coeficiente de importancia, I

De acuerdo a la sección 4.1 de la NEC-15, la edificación se clasifica dentro del grupo de “Otras estructuras”, ya que al ser un edificio residencial no forma parte de los otros grupos determinados por la normativa.

TABLA 18. COEFICIENTE DE IMPORTANCIA

Tipo de uso destino e importancia	
Todas las estructuras de edificación y otras que no clasifican dentro de las categorías anteriores	
Coeficiente I =	1

Fuente: Norma Ecuatoriana de la Construcción, Peligro Sísmico, Diseño Sismo Resistente, NEC-SE-DS, Parte 1, 2015, Sección 4, Pág. 39

4.3.10. Cortante basal de diseño, V

Aplicando la ecuación determinada en la NEC- SE-DS, Parte 2, 2015, apartado 6.3.2. Cortante basal de diseño V, se obtiene los siguientes resultados:

Sa(Ta): Espectro de diseño en aceleración tomando en cuenta el periodo de vibración.

$$V = \frac{Sa(Ta) * I}{R * \phi_p * \phi_e}$$
$$V = \frac{1.1904 * 1.00}{8 * 1.00 * 0.90}$$
$$V = 0.165$$

4.3.11. Coeficiente relacionado con el período de vibración de la estructura T, k

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

TABLA 19. COEFICIENTE DE IMPORTANCIA

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

Fuente: Norma Ecuatoriana de la Construcción, Peligro Sísmico, Diseño Sismo Resistente, NEC-SE-DS, Parte 2, 2015, Sección 6, Pág. 67

Como el periodo de vibración (T) se encuentra entre los valores de $0.5 < T \leq 2.5$, el factor de k se determina mediante la siguiente expresión:

$$k = 0.75 + 0.50 T$$
$$k = 0.75 + 0.50 * 0.9528$$
$$k = 1.2264$$

4.3.12. Período fundamental de vibración máximo de la estructura, T_{máx}

Considerando que el periodo de vibración no puede superar $1.3 * T$ se determina que:

$$T_{m\acute{a}x} = 1.3 * T$$

$$T_{m\acute{a}x} = 1.3 * 0.9528$$

$$T_{m\acute{a}x} = 1.239$$

4.3.13. Ajuste del corte basal de los resultados obtenidos por el análisis dinámico

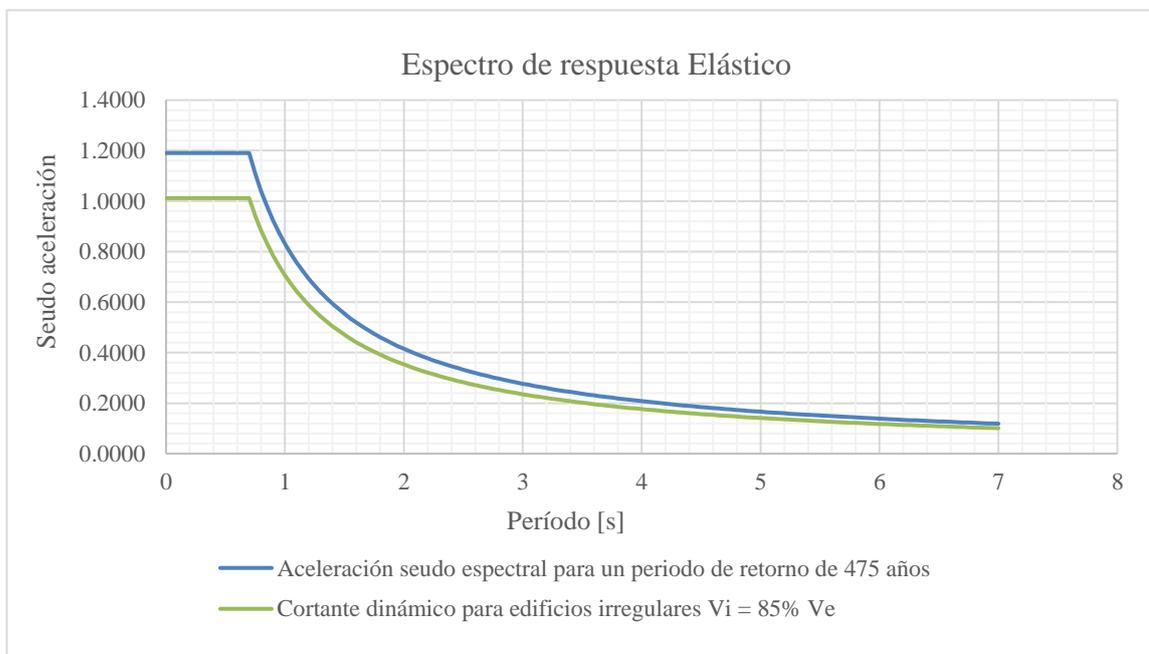
De acuerdo a la NEC-15, se indica que el cortante basal dinámico no debe ser:

- < 80% del cortante basal V obtenido por el método estático para estructuras regulares.
- < 85% del cortante basal V obtenido por el método estático para estructuras irregulares.

Para el presente caso se consideró estructura irregular, por lo tanto, se aplicó el 85% del cortante Basal V.

Con la información detallada anteriormente, se realizó el cálculo de los valores para el espectro de respuesta elástico obteniendo la siguiente figura:

Figura 5. Espectro de respuesta Elástico



Fuente: Elaboración autónoma, 2022

4.4. Equilibrio de la Estructura

Es necesario considerar lo establecido en las normativas AISC360-10 y AISC360-16, cuya principal diferencia es el tema de equilibrio de vibraciones, en el presente trabajo se propone el equilibrio de la parte de vibración en estructuras, para tomar en cuenta todos los estados críticos de la estructura y los usos que se le aplique a la misma.

Es necesario definir los datos con los que se va a diseñar las vigas de la placa colaborante para ello es necesario ingresar la siguiente información:

Desde el punto de vista sísmico si se analiza cuál es la fuerza axial que podría soportar una viga, es exactamente una fuerza sísmica, porque al ser una carga horizontal, las vigas son las que tienen que absorber dicha energía, pero en esta primera etapa debido a que se diseñando la losa y la misma no disipa energía sísmica se le registró que no se considere carga axial.

Cuando se están diseñando vigas con demasiada longitud se acepta el diseño de contraflecha o camber, lo cual es considerado por el programa, sin embargo, el software propone los valores mínimos para diseño de camber de acuerdo a la normativa. Es necesario mencionar que este parámetro no será considerado en el diseño, ya que la estructura no dispone de luces tan grandes.

Por otra parte, se modificó los factores de la deflexión, considerando contraflecha o camber con la finalidad de garantizar el adecuado comportamiento estructural y evitar que las cargas provoquen una deflexión superior a la permitida por la norma AISC360-16. En el apartado de comentarios de deflexiones de la misma norma se detallan los límites de deflexión para miembros horizontales en carga viva $L/360$ y $L/240$ para combinaciones de carga, por lo cual se adoptaron los valores sugeridos automáticamente por el programa de cálculo.

En vibraciones depende del uso de la estructura, se consideró el tipo residencial, ya que la estructura que se está analizando se caracteriza por ser una edificación de uso habitacional.

En el programa se consideró las combinaciones de carga que son para esfuerzos de construcción y deflexión, de acuerdo con la normativa NEC – SE - CG sección 3.4.3

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

A continuación, se realiza el diseño de la losa, en la cual no se analiza los elementos estructurales y si de pronto el programa presenta algún tipo de resultado en la estructura, no se lo toma en cuenta. Como resultado de esta etapa, se desea que no existan deflexiones excesivas en las losas, de tal forma que en la fase del diseño no se transmitan dichos esfuerzos a las vigas y columnas.

De acuerdo el diseño del programa se requiere 7 pernos de corte. La vigueta está trabajando al 55% de eficiencia, por lo que se acepta ese diseño, ya que se encuentra dentro del 50 y el 80% de la eficiencia recomendada por la normativa.

Como se puede observar el valor en vibraciones de la losa es de 0.001291, y como indica en el programa el máximo permitido es de 0.005 (basado en la norma), por lo que se considera aceptable, sin embargo, si fuese necesario disminuir el valor, se podría disminuir el espesor de la capa de hormigón tomando en cuenta que el valor mínimo es de 5 cm.

Una vez que se ha realizado el diseño de la losa, y cumple con los parámetros solicitados en cuanto a la eficiencia, es necesario realizar el diseño de los elementos estructurales, por tanto, para ello es necesario desconectar la losa de la estructura.

Este procedimiento comprende la estabilización de la estructura en función del periodo de vibración, participación de la masa dinámica y derivas de piso, las cuales deben estar dentro del rango esperado. Es decir, la masa participativa tiene que sumar el 90% del periodo de vibración escogido, el cortante basal dinámico tiene que ser el 85% del basal estático. El periodo de vibración no debe superar el 30% del periodo de vibración

calculado manualmente para el corte basal estático. Finalmente, la deriva de piso debe cumplir con lo establecido en la norma.

En cuanto a las inercias deben ser ingresadas en cada uno de los perfiles estructurales dependiendo su función (columnas o vigas), con la finalidad de cumplir con la normativa NEC-15. En hormigones las inercias fisuradas simulan posibles fisuramientos por el comportamiento estructural de los elementos principales de la edificación ante cargas sísmicas. Sin embargo, en estructuras metálicas el acero tiende a ganar resistencia perdiendo ductilidad por tenacidad, por lo que no se consideran inercias agrietadas.

En cuanto a las gradas se realizaron modificaciones únicamente para desconectar de la estructura del edificio y evitar que de cierta manera puedan absorber energía sísmica.

Basado en la información obtenida en la sección 4.3. Cargas Sísmicas, se ingresan en el programa de cálculo los valores de los coeficientes sísmicos de acuerdo al siguiente detalle:

- Coeficiente basal estático de $V=0.165$
- Factor $K=1.2264$

Posteriormente se ingresó en el programa el espectro de respuesta generado previamente:



Fuente: Elaboración autónoma, 2022

De acuerdo a la NEC-15 la fuerza sísmica se debe aplicar en la masa, la cual debe colocarse con un desplazamiento del 5%, como se van a colocar dispositivos de aislamiento de base y disipadores de energía, el centro de masas y dentro de rigideces no se van a desplazar.

Posteriormente se definen los efectos P-delta, en la cual se consideraron, una combinación de 1.2 de carga muerta y 1.6 de carga viva de acuerdo lo que se indica en la ASCE-7-16.

Se agregó una carga de análisis modal, de entre las cuales se pueden distinguir dos tipos, por una parte, los vectores Eigen, los cuales no consideran de forma completa las combinaciones dinámicas, y por otra parte los vectores Ritz, que contemplan de forma integral las combinaciones dinámicas. La NEC sugiere la utilización de estos últimos. Para el análisis de este tipo de carga se consideraron cargas con aceleraciones con desplazamientos en UX, UY y giro en RZ. Cabe indicar que la presente estructura no se clasificó como estructura esencial, por tal motivo no se consideró la aceleración con desplazamiento UZ.

Se definieron el número mínimo de modos de vibración. Como se consideran tres grados de libertad (UX, UY, RZ) por piso y se disponen de diez pisos (incluido el tapagrada debido a un cálculo más crítico) el número mínimo de modos de vibración será de 30.

$$\text{Número Mínimo Modos Vibración} = \text{N}^\circ \text{ grados de libertad} * \text{N}^\circ \text{ Pisos}$$

$$\text{Mínimo Número Modos Vibración} = 3 * 10$$

$$\text{Mínimo Número Modos Vibración} = 30$$

Por tal motivo, se registró para que el programa realice como mínimo 30 modos de vibración. En tanto que al máximo número de modos de vibraciones se configuró para que el programa realice 40 análisis.

En esta parte se podría colocar un número mayor de modos de vibración, pero cuando se analice la estructura se puede evaluar en qué modo de vibración se cumple el 90% de la estructura.

Posteriormente se adiciona un nuevo caso de carga respuesta espectral en eje “x”. Al agregar esta aceleración se define como U1, la cual hace referencia al eje correspondiente de las “x”. y se define la función del espectro ingresado anteriormente. En el caso de carga modal se registra la de “ANALISIS MODAL”, la que fue creada anteriormente. El método de combinación modal se utiliza el tipo “CQC”. Con el propósito de considerar el tipo de combinación direccional y que el programa considere efecto ortogonal se registra el coeficiente de 0.30.

La norma NEC-15 indica que se debe trabajar con un espectro reducido, con la finalidad de adquirir máxima ductilidad estructural sin perder seguridad estructural. Para ello fue necesario crear una combinación espectral corregida “x”.

Es necesario mencionar que para reducir el espectro es necesario realizar la siguiente operación:

$$\text{Factor Escala} = 1/R$$

$$\text{Factor Escala} = 1/8$$

$$\text{Factor Escala} = 0.125$$

Los resultados obtenidos en la siguiente tabla y que se encuentran en las filas Cx en las columnas Fx corresponden a los valores del corte basal estático en x, es decir

En CSX y FX

Corte Basal estático: -611.6091

Corte Basal dinámico: 216.5047

En CSY y FY

Corte Basal estático: -611.6092

Corte Basal dinámico: 231.1286

Figura 7. Cortante basal estático y dinámico

TABLE: Base Reactions												
Output Case	Case Type	Step Type	Step Number	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ	X	Y	Z
				tonf	tonf	tonf	tonf-m	tonf-m	tonf-m	m	m	m
CSX	LinStatic	Step By Step	1	-611.6091	0	0	-172.797	-12877.678	9279.9857	0	0	0
CSX	LinStatic	Step By Step	2	-611.6091	0	0	-172.797	-12877.678	9279.9857	0	0	0
CSX	LinStatic	Step By Step	3	-611.6091	0	0	-172.797	-12877.678	9279.9857	0	0	0
CSY	LinStatic	Step By Step	1	-0.0001	-611.6092	0	12915.5383	136.9176	-8414.4769	0	0	0
CSY	LinStatic	Step By Step	2	-0.0001	-611.6092	0	12915.5383	136.9176	-8414.4769	0	0	0
CSY	LinStatic	Step By Step	3	-0.0001	-611.6092	0	12915.5383	136.9176	-8414.4769	0	0	0
ESPECTRAL CORREGIDO X	Combination	Max		216.5047	67.2385	1.9091	1259.0893	4012.6874	3909.7975	0	0	0
ESPECTRAL CORREGIDO X	Combination	Min		-216.5047	-67.2385	-1.9091	-1259.0893	-4012.6874	-3909.7975	0	0	0
ESPECTRAL CORREGIDO Y	Combination	Max		67.2066	231.1286	1.9733	4295.1757	1261.6193	3573.945	0	0	0
ESPECTRAL CORREGIDO Y	Combination	Min		-67.2066	-231.1286	-1.9733	-4295.1757	-1261.6193	-3573.945	0	0	0

Fuente: Elaboración autónoma, 2022

TABLA 20. CORTANTE BASAL ESTÁTICO Y DINÁMICO

TABLE: Base Reactions						
Output Case	Case Type	Step Type	Step Number	FX	FY	FZ
				tonf	tonf	tonf
CSX	LinStatic	Step By Step	1	-611.6091	0	0
CSX	LinStatic	Step By Step	2	-611.6091	0	0
CSX	LinStatic	Step By Step	3	-611.6091	0	0
CSY	LinStatic	Step By Step	1	-0.0001	-611.6092	0
CSY	LinStatic	Step By Step	2	-0.0001	-611.6092	0
CSY	LinStatic	Step By Step	3	-0.0001	-611.6092	0
ESPECTRAL CORREGIDO X	Combination	Max		216.5047	67.2385	1.9091
ESPECTRAL CORREGIDO X	Combination	Min		-216.5047	-67.2385	-1.9091
ESPECTRAL CORREGIDO Y	Combination	Max		67.2066	231.1286	1.9733
ESPECTRAL CORREGIDO Y	Combination	Min		-67.2066	-231.1286	-1.9733

Fuente: Elaboración autónoma, 2022

Para verificar la norma indica que el cortante basal dinámico debe ser el 80% del cortante basal dinámico. se utiliza como factor de una estructura regular. A continuación, se describe el cálculo de los factores de reducción realizado para el espectro reducido para ejes "x":

$$\text{Factor corrección "x"} = 0.80 * \frac{\text{corte basal estático}}{\text{corte basal dinámico}}$$

$$\text{Factor corrección "x"} = 0.80 * \frac{-611.6091}{-216.5047}$$

$$\text{Factor corrección "x"} = 2.259938375$$

Posteriormente se calculó el factor de corrección de espectro reducido para los ejes “y”

$$Factor\ corrección\ "y" = 0.80 * \frac{-611.609}{-231.128}$$

$$Factor\ corrección\ "y" = 2.1169$$

Los factores de corrección obtenidos son los valores que se consideraron para el espectro reducido. Para corregir la combinación “ESPECTRAL CORREGIDO X”, se realizó la siguiente operación:

$$Factor\ Escala = \left(\frac{1}{R}\right) * Factor\ corrección\ "x"$$

$$Factor\ Escala = (1/8) * 2.259938375$$

$$Factor\ Escala = (0.125) * 2.259938375$$

$$Factor\ Escala = 0.2825$$

De la misma manera se desarrolló el factor de corrección para obtener el espectro reducido en la combinación denominada como “ESPECTRAL CORREGIDO Y”,

$$Factor\ Escala = \left(\frac{1}{R}\right) * Factor\ corrección\ "y"$$

$$Factor\ Escala = \left(\frac{1}{8}\right) * 2.116948573$$

$$Factor\ Escala = (0.125) * 2.116948573$$

$$Factor\ Escala = 0.2646$$

Con aquellos factores de corrección ingresados en las combinaciones de carga se analizó la estructura nuevamente para verificar los resultados obtenidos.

Figura 8. Combinación espectral corregida “x”

TABLE: Base Reactions												
Output Case	Case Type	Step Type	Step Number	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ	X	Y	Z
				tonf	tonf	tonf	tonf-m	tonf-m	tonf-m	m	m	m
CSX	LinStatic	Step By Step	1	-611.6091	0	0	-172.797	-12877.6782	9279.9858	0	0	0
CSX	LinStatic	Step By Step	2	-611.6091	0	0	-172.797	-12877.6782	9279.9858	0	0	0
CSX	LinStatic	Step By Step	3	-611.6091	0	0	-172.797	-12877.6782	9279.9858	0	0	0
CSY	LinStatic	Step By Step	1	-0.00004782	-611.6092	0	12915.5383	136.9176	-8414.4769	0	0	0
CSY	LinStatic	Step By Step	2	-0.00004782	-611.6092	0	12915.5383	136.9176	-8414.4769	0	0	0
CSY	LinStatic	Step By Step	3	-0.00004782	-611.6092	0	12915.5383	136.9176	-8414.4769	0	0	0
ESPECTRAL CORREGIDO X	Combination	Max		489.2872	151.9548	4.3144	2845.4639	9068.4265	8835.9017	0	0	0
ESPECTRAL CORREGIDO X	Combination	Min		-489.2872	-151.9548	-4.3144	-2845.4639	-9068.4265	-8835.9017	0	0	0
ESPECTRAL CORREGIDO Y	Combination	Max		142.2728	489.2874	4.1774	9092.6661	2670.783	7565.8576	0	0	0
ESPECTRAL CORREGIDO Y	Combination	Min		-142.2728	-489.2874	-4.1774	-9092.6661	-2670.783	-7565.8576	0	0	0

Fuente: Elaboración autónoma, 2022

TABLA 21. CORTANTE BASAL ESTÁTICO Y DINÁMICO

TABLE: Base Reactions						
Output Case	Case Type	Step Type	Step Number	FX	FY	FZ
				tonf	tonf	tonf
CSX	LinStatic	Step By Step	1	-611.6091	0	0
CSX	LinStatic	Step By Step	2	-611.6091	0	0
CSX	LinStatic	Step By Step	3	-611.6091	0	0
CSY	LinStatic	Step By Step	1	0.00004782	611.6092	0
CSY	LinStatic	Step By Step	2	0.00004782	611.6092	0
CSY	LinStatic	Step By Step	3	0.00004782	611.6092	0
ESPECTRAL CORREGIDO X	Combinación	Max		489.2872	151.9548	4.3144
ESPECTRAL CORREGIDO X	Combinación	Min		-489.2872	151.9548	4.3144
ESPECTRAL CORREGIDO Y	Combinación	Max		142.2728	489.2874	4.1774
ESPECTRAL CORREGIDO Y	Combinación	Min		-142.2728	489.2874	4.1774

Fuente: Elaboración autónoma, 2022

De la misma manera como se realizó anteriormente se aplicó la ecuación considerando cortante basal dinámico debe ser el 80% del cortante basal dinámico. A continuación, se describe el cálculo de los factores de reducción realizado para el espectro reducido para ejes “x”:

$$\text{Factor corrección "x"} = 0.80 * \frac{\text{corte basal estático}}{\text{corte basal dinámico}}$$

$$\text{Factor corrección "x"} = 0.80 * \frac{-611.6091}{-489.2872}$$

$$\text{Factor corrección "x"} = 1.00000016350315 \cong 1.00$$

Posteriormente se calculó el factor de corrección de espectro reducido para los ejes “y”

$$\text{Factor corrección "y"} = 0.80 * \frac{-611.6092}{-489.2874}$$

$$\text{Factor corrección "y"} = 0.9999999999 \cong 1.00$$

Como se puede visualizar una vez realizado las correcciones para el espectro reducido se obtuvo un valor de 1.00 en ambos casos.

Posteriormente se verificó información modal de la estructura. (Para este caso no es necesario definir estados de cargas ni combinaciones)

En la tabla correspondiente a coeficientes de participación modal de masa se determinó que en el modo de vibración 24 se produjo el desplazamiento x al 90%, en tanto que para el eje “y” sucedió en el modo de vibración 21, tal como se detalla a continuación:

Figura 9. coeficientes de participación modal de masa

Case	Mode	Period sec	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX
ANALISIS MO...	13	0.224	1.188E-06	1.366E-05	0.0034	0.8344	0.8789	0.0096	2.583E-06
ANALISIS MO...	14	0.223	3.293E-06	1.978E-05	0.0027	0.8344	0.879	0.0123	0.0013
ANALISIS MO...	15	0.214	3.05E-06	4.044E-06	0.0007	0.8344	0.879	0.013	0.0006
ANALISIS MO...	16	0.21	0.0003	0.0005	0.0304	0.8348	0.8795	0.0434	0.0028
ANALISIS MO...	17	0.206	4.921E-05	0.0003	0.0028	0.8348	0.8798	0.0461	0.0033
ANALISIS MO...	18	0.201	4.875E-05	0.0009	2.768E-05	0.8348	0.8807	0.0462	0
ANALISIS MO...	19	0.199	0.0013	0.0029	0.0069	0.8362	0.8836	0.0531	0.0041
ANALISIS MO...	20	0.196	0.0002	5.509E-06	0.0005	0.8364	0.8836	0.0535	2.02E-05
ANALISIS MO...	21	0.188	0.0002	0.0783	3.696E-06	0.8366	0.9619	0.0535	0.0738
ANALISIS MO...	22	0.186	1.811E-05	0.0002	0.0008	0.8366	0.9621	0.0544	0.0074
ANALISIS MO...	23	0.166	0.0568	0.0028	0.0003	0.8933	0.9649	0.0547	0.0025
ANALISIS MO...	24	0.163	0.0124	0.0036	0.0005	0.9058	0.9685	0.0552	0.0083
ANALISIS MO...	25	0.161	0.0046	0.0165	0.0001	0.9103	0.985	0.0553	0.0235

Fuente: Elaboración autónoma, 2022

A continuación, se verifica que en el período debe ser máximo el 30% del espectro de respuesta.

Figura 10. Períodos y frecuencias modales

Case	Mode	Period sec	Frequency cyc/sec	CircFreq rad/sec	Eigenvalue rad ² /sec ²
Modal	7	0.358	2.791	17.5342	307.4483
Modal	8	0.306	3.264	20.506	420.4961
Modal	9	0.305	3.284	20.6319	425.675
Modal	10	0.303	3.301	20.7433	430.2858
Modal	11	0.275	3.637	22.8526	522.242
Modal	12	0.239	4.19	26.3271	693.1146
ANALISIS MO...	1	3.806	0.263	1.6508	2.7251
ANALISIS MO...	2	1.263	0.791	4.9731	24.732
ANALISIS MO...	3	1.178	0.849	5.3358	28.4711
ANALISIS MO...	4	1.083	0.923	5.7993	33.6317
ANALISIS MO...	5	0.617	1.622	10.1905	103.8457
ANALISIS MO...	6	0.422	2.369	14.8873	221.6302
ANALISIS MO...	7	0.358	2.791	17.5342	307.4483
ANALISIS MO...	8	0.306	3.264	20.506	420.4961
ANALISIS MO...	9	0.305	3.284	20.6319	425.675
ANALISIS MO...	10	0.303	3.301	20.7433	430.2858

Fuente: Elaboración autónoma, 2022

El período obtenido en el programa cuyo valor es 3.806 segundos, indica que supera el máximo de la estructura, el cual fue obtenido previamente en el apartado 4.3.12 del presente documento:

$$T_{\text{calculado}} = 3.806 \text{ s}$$

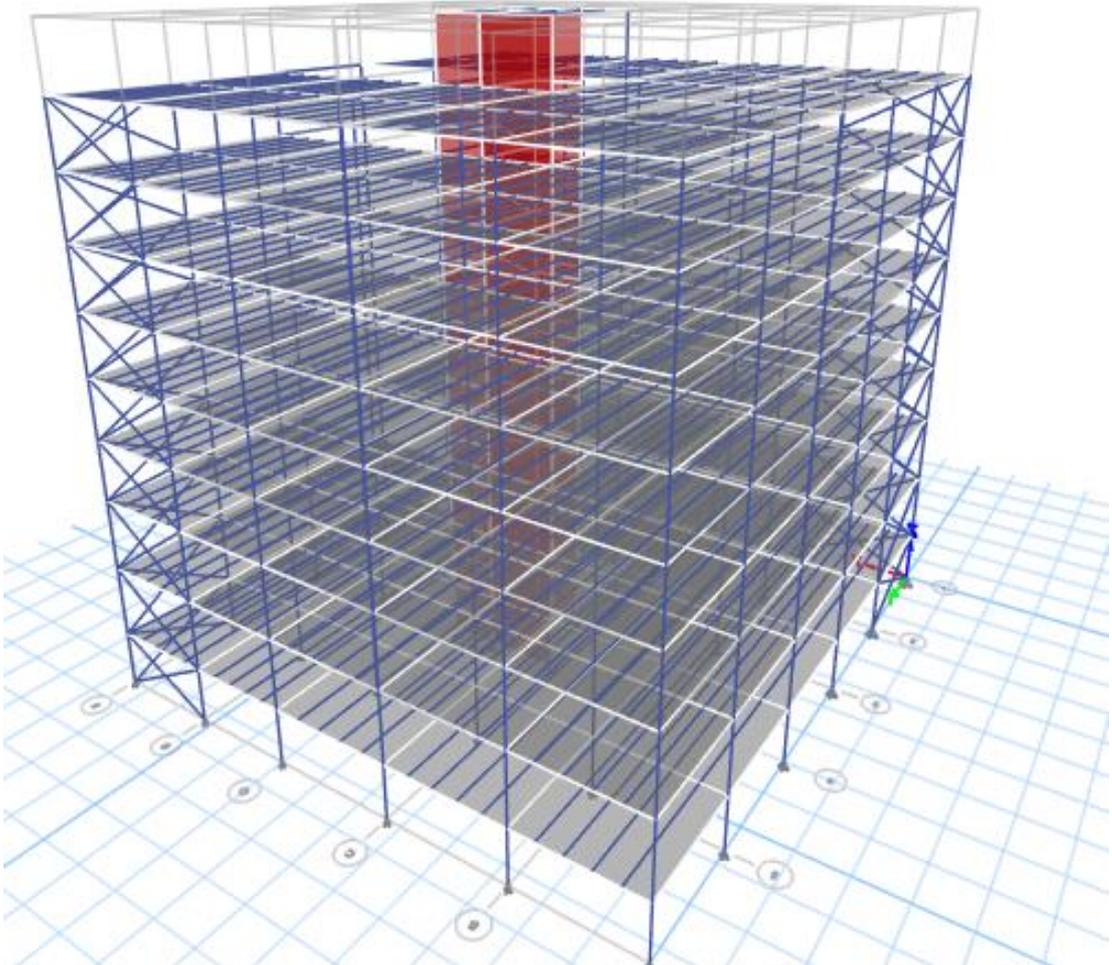
$$T_{\text{máx}} = 1.239 \text{ s (Calculado en apartado 4.3.12)}$$

El valor del periodo de vibración que se ha obtenido mediante el programa supera considerablemente al valor máximo permitido por la norma. Por lo tanto, se realizó la colocación de diafragmas o diagonales de la estructura hasta que el $T_{\text{calculado}}$ sea inferior al $T_{\text{máx}}$.

Para estabilizar la estructura se realizó la colocación de diafragmas con la finalidad de disminuir los periodos obtenidos en el análisis estructural. Una vez determinado las condiciones adecuadas para cumplir con la normativa, es decir obtener un periodo inferior al máximo establecido por la normativa que para la presente estructura fue

1.235 segundos. Como se detalla en la siguiente figura se colocaron diafragmas en las zonas esquineras de la edificación.

Figura 11. Períodos y frecuencias modales



Fuente: Elaboración autónoma, 2022

Una vez que se procedió con la colocación de los diafragmas en la estructura se realizó el análisis de la estructura con la finalidad de verificar los resultados obtenidos. De los resultados desplegados por el programa se pueden distinguir los siguientes:

TABLA 22. DERIVAS DE PISO

TABLE: Story Drifts						
Story	Output Case	Case Type	Step Type	Step Number	Direction	Drift
Nv. +24.82	ESPECTRAL CORREGIDO X	Combination	Max		X	0.42%
Nv. +24.82	ESPECTRAL CORREGIDO X	Combination	Min		X	0.42%
Nv. +21.82	ESPECTRAL CORREGIDO X	Combination	Max		X	0.45%
Nv. +21.82	ESPECTRAL CORREGIDO X	Combination	Min		X	0.45%
Nv. +18.82	ESPECTRAL CORREGIDO X	Combination	Max		X	0.46%
Nv. +18.82	ESPECTRAL CORREGIDO X	Combination	Min		X	0.46%
Nv. +15.82	ESPECTRAL CORREGIDO X	Combination	Max		X	0.46%
Nv. +15.82	ESPECTRAL CORREGIDO X	Combination	Min		X	0.46%
Nv. +12.82	ESPECTRAL CORREGIDO X	Combination	Max		X	0.44%
Nv. +12.82	ESPECTRAL CORREGIDO X	Combination	Min		X	0.44%
Nv. +9.82	ESPECTRAL CORREGIDO X	Combination	Max		X	0.41%
Nv. +9.82	ESPECTRAL CORREGIDO X	Combination	Min		X	0.41%
Nv. +6.82	ESPECTRAL CORREGIDO X	Combination	Max		X	0.37%
Nv. +6.82	ESPECTRAL CORREGIDO X	Combination	Min		X	0.37%
Nv. +3.82	ESPECTRAL CORREGIDO X	Combination	Max		X	0.30%
Nv. +3.82	ESPECTRAL CORREGIDO X	Combination	Min		X	0.30%
Nv. +0.31	ESPECTRAL CORREGIDO X	Combination	Max		X	0.23%
Nv. +0.31	ESPECTRAL CORREGIDO X	Combination	Min		X	0.23%
Nv. -3.22	ESPECTRAL CORREGIDO X	Combination	Max		X	0.11%
Nv. -3.22	ESPECTRAL CORREGIDO X	Combination	Min		X	0.11%

Fuente: Elaboración autónoma, 2022

De acuerdo con la información que consta en la TABLA 22. entregada por el programa, se constató que ninguna de las derivas de piso supera el 1%. Esto significa que se ha logrado estabilizar la estructura mediante la incorporación de diafragmas.

De acuerdo a la NEC-15 si se trabaja con un espectro reducido, prácticamente se trabajaría con un espectro inelástico, para lo cual al espectro se le divide para 8. De esta manera se obtendría la deriva inelástica. La teoría de dividir para 8 fue propuesto en la NEC-15. Por otra parte, el ASCE-7 indica que este valor se debe transformar esta deriva a una deriva inelástica. Para ello se debe realizar la siguiente operación de acuerdo a lo establecido en la NEC-15, en el apartado 6.3.9. Control de la deriva de piso (derivadas inelásticas máximas de piso ΔM):

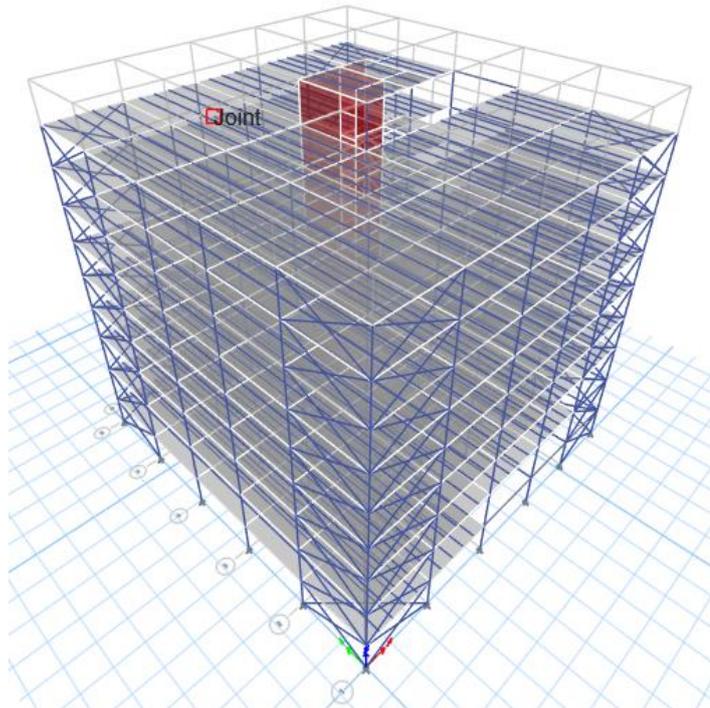
$$\Delta M = 0.75R\Delta E$$

$$\Delta M = 0.75 * 8 * 0.42\%$$

$$\Delta M = 2.548\%$$

De acuerdo a lo que indica la norma este parámetro no cumple lo establecido, por lo que se reforzó los diafragmas colocados en todas las esquinas de la estructura, tal como se puede visualizar en la siguiente figura:

Figura 12. Colocación de diafragmas en estructura



Fuente: Elaboración autónoma, 2022

TABLA 23. DERIVAS DE PISO

TABLE: Story Drifts							
Story	Output Case	Case Type	Step Type	Direction	Drift	Label	R=8
							$\Delta M=0.75R\Delta E$
Nv. +24.82	ESPECTRAL CORREGIDO X	Combination	Max	X	0.004092	15	2.46%
Nv. +24.82	ESPECTRAL CORREGIDO X	Combination	Min	X	0.004092	15	2.46%
Nv. +21.82	ESPECTRAL CORREGIDO X	Combination	Max	X	0.004059	32	2.44%
Nv. +21.82	ESPECTRAL CORREGIDO X	Combination	Min	X	0.004059	32	2.44%
Nv. +18.82	ESPECTRAL CORREGIDO X	Combination	Max	X	0.004107	34	2.46%
Nv. +18.82	ESPECTRAL CORREGIDO X	Combination	Min	X	0.004107	34	2.46%
Nv. +15.82	ESPECTRAL CORREGIDO X	Combination	Max	X	0.004067	34	2.44%
Nv. +15.82	ESPECTRAL CORREGIDO X	Combination	Min	X	0.004067	34	2.44%
Nv. +12.82	ESPECTRAL CORREGIDO X	Combination	Max	X	0.00393	9	2.36%

TABLE: Story Drifts							
Story	Output Case	Case Type	Step Type	Direction	Drift	Label	R=8
							$\Delta M=0.75R\Delta E$
Nv. +12.82	ESPECTRAL CORREGIDO X	Combination	Min	X	0.00393	9	2.36%
Nv. +9.82	ESPECTRAL CORREGIDO X	Combination	Max	X	0.003668	9	2.20%
Nv. +9.82	ESPECTRAL CORREGIDO X	Combination	Min	X	0.003668	9	2.20%
Nv. +6.82	ESPECTRAL CORREGIDO X	Combination	Max	X	0.003279	9	1.97%
Nv. +6.82	ESPECTRAL CORREGIDO X	Combination	Min	X	0.003279	9	1.97%
Nv. +3.82	ESPECTRAL CORREGIDO X	Combination	Max	X	0.002673	32	1.60%
Nv. +3.82	ESPECTRAL CORREGIDO X	Combination	Min	X	0.002673	32	1.60%
Nv. +0.31	ESPECTRAL CORREGIDO X	Combination	Max	X	0.00206	8	1.24%
Nv. +0.31	ESPECTRAL CORREGIDO X	Combination	Min	X	0.00206	8	1.24%
Nv. -3.22	ESPECTRAL CORREGIDO X	Combination	Max	X	0.000906	33	0.54%
Nv. -3.22	ESPECTRAL CORREGIDO X	Combination	Min	X	0.000906	33	0.54%

Fuente: Elaboración autónoma, 2022

Es necesario realizar la desconexión de los momentos ya que los diafragmas están para trabajar a carga axial.

En la etapa de equilibrio se verificó los siguientes aspectos:

1. Que exista el 90% de la masa acumulada en los periodos de vibración,
2. Que el cortante basal dinámico represente el 80-85% del basal estático; y
3. Que las derivas de piso no superen el valor de 0.02.

Una vez verificado que la estructura cumpla con las condiciones antes indicadas, se logró equilibró la misma, en la cual se obtuvieron desplazamientos inferiores a 0.02, tal como se establece en la NEC-15. El resumen del tipo de perfiles utilizados en el análisis de la presente estructura se utilizó los siguientes:

TABLA 24. PERFILES ESTRUCTURALES UTILIZADOS

ELEMENTO	PERFIL
COLUMNA	W300*300*15
VIGAS	W30*116
VIGUETAS	W18X40

Fuente: Elaboración autónoma, 2022

Como parte de los resultados obtenidos de los desplazamientos o derivas de piso se obtuvieron los detallados en la siguiente tabla:

TABLA 25. DERIVAS DE PISO EJE “X”

TABLE: Story Drifts						
Story	Output Case	Case Type	Step Type	Direction	Drift	R=8
						$\Delta M=0.75R\Delta E$
Nv. +24.82	ESPECTRAL CORREGIDO X	Combinación	Max	X	0.00323	1.94%
Nv. +21.82	ESPECTRAL CORREGIDO X	Combinación	Max	X	0.002962	1.78%
Nv. +18.82	ESPECTRAL CORREGIDO X	Combinación	Max	X	0.003041	1.82%
Nv. +15.82	ESPECTRAL CORREGIDO X	Combinación	Max	X	0.003054	1.83%
Nv. +12.82	ESPECTRAL CORREGIDO X	Combinación	Max	X	0.002989	1.79%
Nv. +9.82	ESPECTRAL CORREGIDO X	Combinación	Max	X	0.002832	1.70%
Nv. +6.82	ESPECTRAL CORREGIDO X	Combinación	Max	X	0.002565	1.54%
Nv. +3.82	ESPECTRAL CORREGIDO X	Combinación	Max	X	0.002142	1.29%
Nv. +0.31	ESPECTRAL CORREGIDO X	Combinación	Max	X	0.001754	1.05%
Nv. -3.22	ESPECTRAL CORREGIDO X	Combinación	Max	X	0.000869	0.52%

Fuente: Elaboración autónoma, 2022

A continuación, se indican los desplazamientos obtenidos para el eje “y”.

TABLA 26. DERIVAS DE PISO EJE “Y”

TABLE: Story Drifts						
Story	Output Case	Case Type	Step Type	Direction	Drift	R=8
						$\Delta M=0.75R\Delta E$
Nv. +24.82	ESPECTRAL CORREGIDO Y	Combinación	Max	Y	0.002383	1.43%
Nv. +21.82	ESPECTRAL CORREGIDO Y	Combinación	Max	Y	0.002566	1.54%
Nv. +18.82	ESPECTRAL CORREGIDO Y	Combinación	Max	Y	0.002561	1.54%
Nv. +15.82	ESPECTRAL CORREGIDO Y	Combinación	Max	Y	0.002606	1.56%
Nv. +12.82	ESPECTRAL CORREGIDO Y	Combinación	Max	Y	0.002577	1.55%
Nv. +9.82	ESPECTRAL CORREGIDO Y	Combinación	Max	Y	0.002465	1.48%
Nv. +6.82	ESPECTRAL CORREGIDO Y	Combinación	Max	Y	0.002285	1.37%
Nv. +3.82	ESPECTRAL CORREGIDO Y	Combinación	Max	Y	0.001911	1.15%

Nv. +0.31	ESPECTRAL CORREGIDO Y	Combinatio n	Max	Y	0.00139 1	0.83%
Nv. -3.22	ESPECTRAL CORREGIDO Y	Combinatio n	Max	Y	0.00096 3	0.58%

Fuente: Elaboración autónoma, 2022

De lo que se puede observar los resultados de las derivas de piso en ambos sentidos, cumplen de acuerdo a lo establecido en la NEC-16.

No obstante, aunque no es normativo, se sugiere que el primer y segundo modo de vibración sea traslacional y que a partir del tercero sea rotacional, recomendación de dinámica estructural de Mario Paz y Anil K. Chopra.

4.5. Diseño de la Estructura

Una vez que se estabilizó la estructura se procedió con el diseño de la estructura. Para ello se configuró el programa, con el propósito de enmarcar el análisis en los perfiles de acuerdo a su comportamiento estructural, es decir pórticos especiales a momento (SMF) y pórticos concéntricos o gravitacionales.

De acuerdo con la norma ASCE-7, el factor de importancia se calcula en función del AISC360-16. Tomando en cuenta los criterios establecidos en la ASCE 7-16 en la Tabla 12.2-1 “*Design Coefficients and Factors for Seismic Force-Resisting Systems*”, se detallan los coeficientes adecuados para el sistema de pórticos estructurales. Para elementos que se encuentran en la periferia de la edificación, se recomienda utilizar un diseño con criterios establecidos para pórticos especiales a momento (SMF). Para elementos estructurales que se encuentran internamente en la estructura se debe considerar criterios de pórticos de acero especial arriostrado concéntricamente. Considerando los parámetros que se establecen en la normativa antes citada se pueden distinguir los siguientes coeficientes:

TABLA 27. COEFICIENTES Y FACTORES PARA PÓRTICOS ESPECIALES A MOMENTO Y CONCÉNTRICOS

MIEMBROS	SECCIÓN	NUMERAL	R^a	Ω_0^b	Cd^c
Pórticos especiales a momento	“C. MOMENT-RESISTING FRAME SYSTEMS”	“1. Steel special moment frames”	8	3	5½

Pórticos de acero especial arriostrado concéntricamente	“D. DUAL SYSTEMS WITH SPECIAL MOMENT FRAMES CAPABLE OF RESISTING AT LEAST 25% OF PRESCRIBED SEISMIC FORCES”	“2. Steel special concentrically braced frames”	7	2½	5½
---	---	---	---	----	----

Donde:

R^a : Coeficiente de modificación de respuesta (response modification coefficient),

Ω_0^b : Factor de sobrerresistencia (overstrength factor),

Cd^c : Factor de amplificación de deflexión. (deflection amplification factor).

Fuente: ASCE 7-16, Tabla 12.2-1 “Design Coefficients and Factors for Seismic Force-Resisting Systems”, 2016

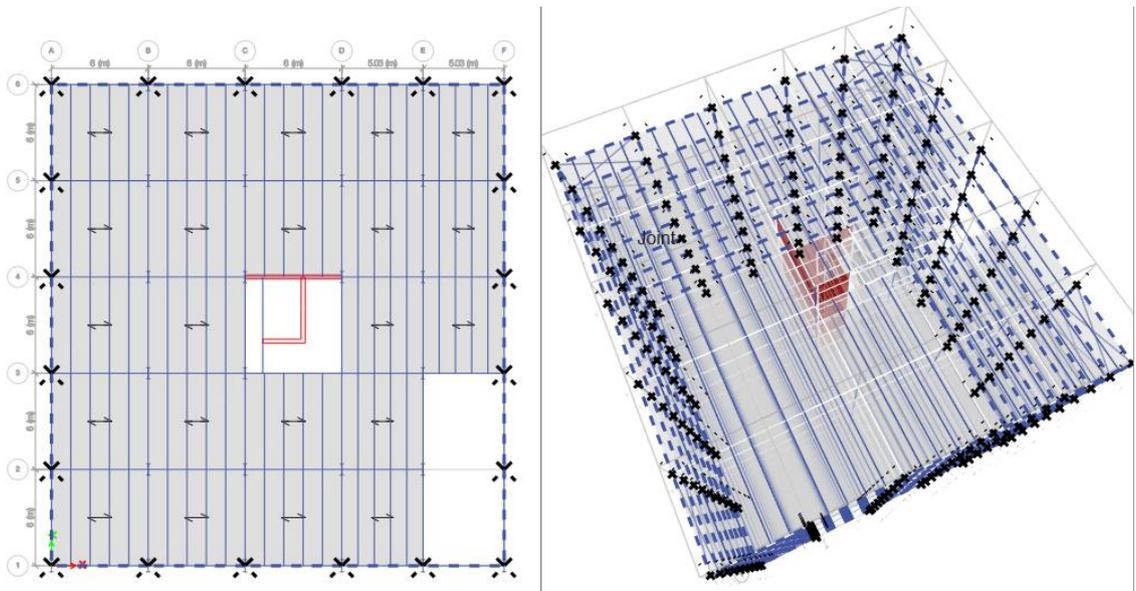
4.5.1. Pórticos especiales a momento

Los valores detallados en la tabla anterior se ingresaron en el programa de cálculo en la cual se configuró el modelo estructural de acuerdo a la norma antes mencionada.

Esto es para conseguir resultados eficientes.

Realizada la configuración, se procedió con el diseño de los elementos especiales a momento (SMF), es decir los miembros de contorno de la estructura.

Figura 13. Configuración de tipo de diseño

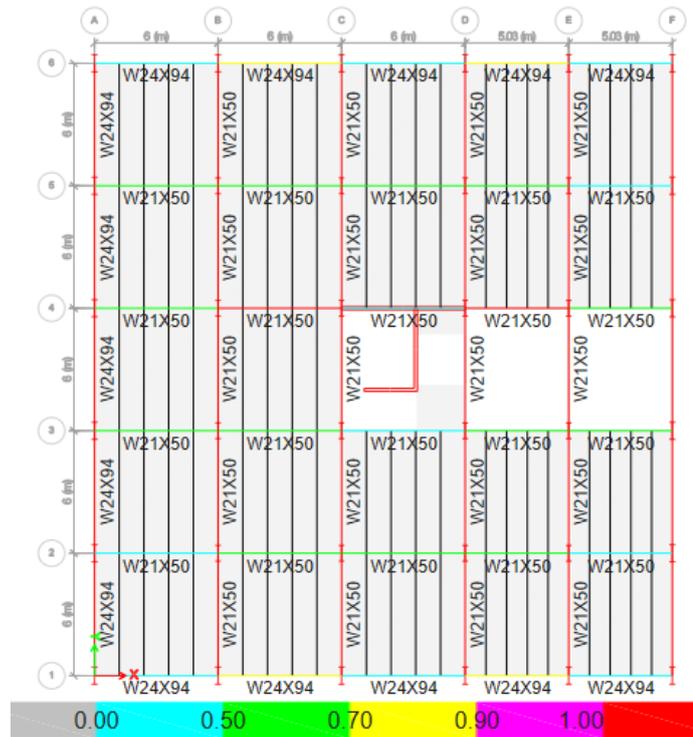


Fuente: Elaboración autónoma, 2022

4.5.2. Pórticos concéntricos o gravitacionales

Considerando los coeficientes indicados anteriormente, se configura el programa para los pórticos concéntricos.

Figura 14. Resultados del análisis



Fuente: Elaboración autónoma, 2022

Al analizar en una de las vigas se puede observar que se presentan inconvenientes en cuanto a pandeo lateral torsional.

Se debe chequear la longitud no arriostrada, (L_b máxima) mediante sus características mecánicas con la finalidad de encontrar la longitud máxima a la que se puede mantener dicha viga sin ningún arriostamiento lateral.

Para ello es necesario comprender el concepto de longitud no arriostrada, la que consiste en una dimensión entre puntos arriostrados lateralmente para evitar el pandeo de la sección transversal o posibles desplazamientos por compresión del ala.

Generalmente se presentan como deflexión lateral en la viga, la cual se puede reducir aportando con una restricción, es decir con la incorporación de una vigueta lateral o con algún tipo de rigidez.

El esfuerzo que está soportando el perfil debido a una fuerza que se ejerce sobre la misma provocando un pandeo en el miembro. La AISC360-16 indica que para evitar estas posibles fallas en los miembros de la estructura y que se produzcan efectos de pandeo lateral torsional con cierta facilidad, y que a través de ello se garantice la ductilidad del edificio y poder cumplir con el valor de L_r se debe generar secciones sísmicamente compactas es decir elementos de alta ductilidad.

De acuerdo a la NEC-15, se indica que el arriostramiento de la viga debe tener un espaciamiento máximo de:

$$L_b = 0.17 r_y \frac{E}{F_y}$$

Dónde:

- E: Módulo de Elasticidad del acero
- F_y : Mínimo esfuerzo de fluencia especificado para el tipo de acero usado
- r_y : Radio de giro alrededor del eje Y
- L_b : Longitud entre puntos arriostrados lateralmente para evitar desplazamientos por compresión del ala o para evitar el pandeo de la sección transversal.

Sin embargo, ese criterio se podría aplicar para pórticos a cargas gravitacionales de acuerdo a lo que se establece en la AISC360-10, en la que se indica lo siguiente:

Figura 15. Configuración de tipo de diseño

Requerimiento	Categoría		
	Especial	Intermedio	Ordinario
Factor R	8	4.5	3.5
Capacidad de rotación plástica en rótulas	0.03	0.01	---
Distorsión de piso en las conexiones	0.04	0.02	---
Conexiones viga-columna	Precalificada o verificación experimental	Precalificada o verificación experimental	No
Zonas protegidas	Extremo de viga	Extremo de viga	No
Verificación panel nodal	Si	No	No
Relación ancho-espesor	λ_{ps}	λ_p	No
Relación entre la resistencia flexional de columnas y vigas	Si	No	No
Restricción lateral en nudos	Si	No	No
Restricción lateral en vigas	Si $L_b = 0.086 r_y E/F_y$	Si $L_b = 0.17 r_y E/F_y$	No

Fuente: Elaboración autónoma, 2022

Cabe indicar que estos parámetros han sido modificados en la norma AISC360-16 para pórticos especiales a momento. En el presente caso se podría utilizar cualquiera de las dos ecuaciones, sin embargo, al encontrarse vigas de linderos en inconvenientes de pandeo lateral torsional, se escogió la ecuación para pórticos especiales a momento, para cumplir de manera íntegra con este parámetro de forma simultánea con las vigas centrales, es decir pertenecientes a pórticos gravitacionales, de acuerdo al siguiente detalle:

TABLA 28. TABLA DE RESULTADOS DISEÑO

Design Properties						
S_{33} (mm ³)	S_{22} (mm ³)	Z_{33} (mm ³)	Z_{22} (mm ³)	r_{33} (mm)	r_{22} (mm)	C_w (mm ⁶)
1550468.5	124973.3	1802577	199922.2	207.8	33.1	6.845E+11

Material Properties				
E (kgf/mm ²)	f_y (kgf/mm ²)	R_y	C_{pr}	α
20389.02	35.15	1.1	1.4	NA

Fuente: Elaboración autónoma, 2022

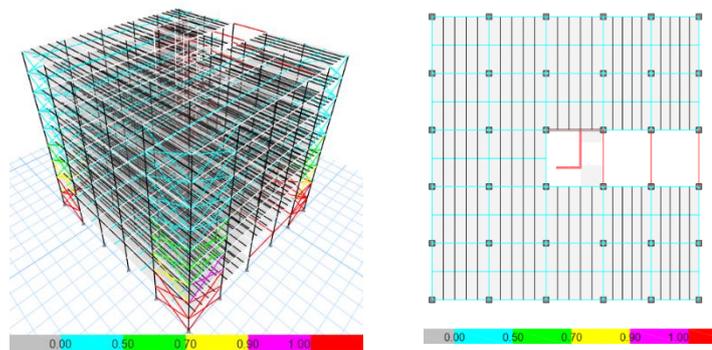
$$L_b = 0.086 r_y \frac{E}{F_y}$$

$$L_b = 0.086 * 207.8mm * \frac{20389.02 \text{ kg/mm}^2}{35.15 \text{ kg/mm}^2}$$

$$L_b = 10366.09mm = 10.37m$$

De acuerdo al análisis detallado se puede observar que el perfil en principio no requiere arriostramiento en dicha longitud de 10.37 metros, sin embargo, se colocó una vigueta central y se cumplió con el diseño antes indicado.

Figura 16. Configuración de tipo de diseño



Fuente: Elaboración autónoma, 2022

Una vez realizado el diseño de los miembros en cada uno de los miembros de la estructura, se procedió con el diseño de los aisladores sísmicos.

4.6.Diseño de Aisladores Sísmicos

Para realizar el diseño de los aisladores sísmicos se realizó las consideraciones que se detallan continuación

4.6.1. Datos de la Estructura

4.6.1.1.Probabilidad de excedencia

En el presente trabajo se ocupará un sismo de diseño correspondiente al nivel de seguridad de vida, como recomendación de la Norma NEC-15, en la sección 4.2.1, principios de la filosofía de diseño, el objetivo es proteger la vida de los ocupantes ante un terremoto con un periodo de retorno de 475 años, que es un evento sísmico que tiene una probabilidad del 10% de ser excedido en 50 años lo que indica una probabilidad anual de excedencia 0.002, con estos datos se puede observar los factores de diseño en las curvas de peligro sísmico correspondiente a la zona del proyecto.

Por lo tanto, el nivel de amenaza sísmica para el proyecto es:

TABLA 29. TASA ANUAL DE EXCEDENCIA

Nivel del sismo	Sismo	Probabilidad de excedencia en 50 años	Período de retorno Tr (años)	Tasa anual de excedencia (1/Tr)
3	Raro (Severo)	10%	475	0.00211

Fuente: NEC-15, 4.3.2. Niveles de amenaza sísmica

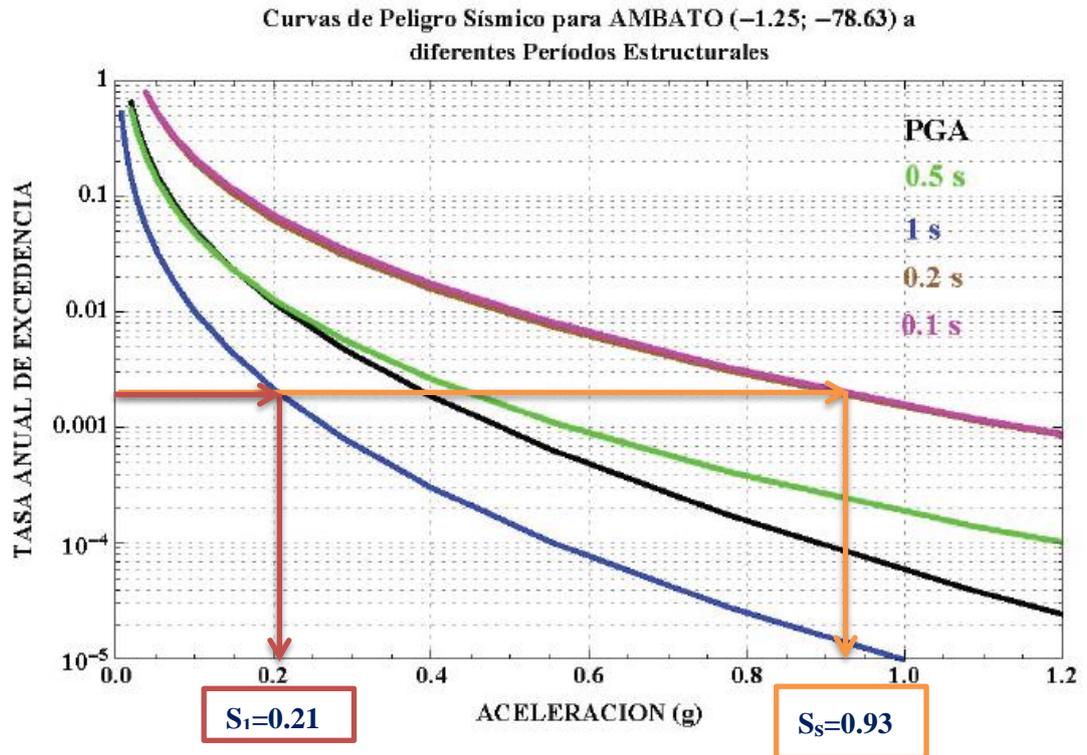
4.6.1.2.Curva de peligro sísmico de Ambato

4.6.1.2.1. Aceleración para periodos cortos 0.1s (S_s) y para periodos largos 1s (S_l)

Para datos de ingreso de la curva en Valor de la aceleración sísmica máxima en el terreno (Peak Ground Acceleration) PGA se utilizaron los valores mínimos y máximos

- PG_{Amin} = 0.1 s
- PG_{Amax} = 1.0 s

Figura 17. Curvas de peligro sísmico



4.6.1.3. Coeficientes de Sitio

Para los coeficientes de sitio para periodos cortos como para periodos largos, los cuales son requeridos para el diseño del aislador, es necesario tomar en cuenta la recomendación de la NEC-15 y de la ASCE 7-16, en el factor de período corto F_a , ambas normas coinciden en valor una vez que se interpola el valor, sin embargo, para periodos largos es necesario referenciar ASCE 7-16 con el factor F_v .

4.6.1.3.1. Coeficiente de sitio en periodos cortos según ASCE 7-16, F_a

De las curvas de peligro se obtuvo el valor de $S_s=0.93$, sin embargo, de acuerdo a la siguiente tabla los valores que se encuentran como límites para obtener el valor de F_a correspondiente.

TABLA 30. TASA ANUAL DE EXCEDENCIA

Site Class	$S_s=0.93$					
	$S_s \leq 0.25$	$S_s = 0.5$	$S_s = 0.75$	$S_s = 1.0$	$S_s = 1.25$	$S_s \geq 1.5$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
C	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2
D	1.6	1.4	1.2	1.1	1	1
E	2.4	1.7	1.3	See Section 11.4.8	See Section 11.4.8	See Section 11.4.8
F	See Section 11.4.8					

Fuente: ASCE7-16, tabla 11.4-1 “Short-Period Site Coefficient, F_a ”

De la tabla anterior, para un suelo tipo D se obtienen los siguientes valores:

Cuando $S_s=1.00 \rightarrow F_a=1.1$

Cuando $S_s=0.75 \rightarrow F_a=1.2$

Por lo tanto, mediante interpolación se obtiene:

Cuando $S_s=0.93 \rightarrow F_a=1.128$

4.6.1.3.2. Coeficiente de sitio en periodos largos según ASCE 7-16, F_v

TABLA 31. TASA ANUAL DE EXCEDENCIA

Site Class	$S_1=0.21$					
	$S_1 \leq 0.1$	$S_1 = 0.2$	$S_1 = 0.3$	$S_1 = 0.4$	$S_1 = 0.5$	$S_1 \geq 0.6$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
C	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4
D	2.4	2.2 ^a	2.0 ^a	1.9 ^a	1.8 ^a	1.7 ^a
E	4.2	See Section 11.4.8	See Section 11.4.9	See Section 11.4.10	See Section 11.4.11	See Section 11.4.12
F	See Section 11.4.7	See Section 11.4.8	See Section 11.4.9	See Section 11.4.10	See Section 11.4.11	See Section 11.4.12

Fuente: ASCE7-16, tabla 11.4-2 “Long-Period Site Coefficient, F_v ”

De la tabla anterior, para un suelo tipo D se obtienen los siguientes valores:

$$\text{Cuando } S_1=0.3 \rightarrow F_v=2.0$$

$$\text{Cuando } S_1=0.2 \rightarrow F_v=2.2$$

Por lo tanto, mediante interpolación, se obtiene:

$$\text{Cuando } S_1=0.21 \rightarrow F_v=2.18$$

4.6.1.4. Peso efectivo sísmico de la estructura sobre el nivel de aislado (W)

En cuanto a la carga por sismo se considera lo indicado en la NEC-15, apartado 6.1.7. Carga sísmica reactiva W, la cual establece una carga sísmica reactiva de:

$$W=D+0.25L_i.$$

En el programa del cálculo estructural se creó una combinación de carga denominada “PESO SÍSMICO”, en el cual se obtuvieron los siguientes resultados:

Figura 18. Curvas de peligro sísmico

Output Case	Case Type	FX tonf	FY tonf	FZ tonf	MX tonf-m	MY tonf-m	MZ tonf-m
Dead	LinStatic	0	0	4471.1241	68083.0807	-61595.583	-0.0027
Live	LinStatic	0	0	2285.1813	38432.5832	-29834.6128	-0.0015
PESO SISMICO	Combination	0	0	5042.4195	77691.2265	-69054.2362	-0.003

Fuente: Elaboración autónoma, 2022

$$W=5042.4195 \text{ Tn}$$

4.6.1.5. Factor de importancia sísmico Ie

De acuerdo a lo establecido en la ASCE 7-16, es necesario determinar el factor de importancia sísmico. En este caso se considera un riesgo de categoría I, el mismo que atiende lo establecido en el la tabla 1.5-1 de la misma norma.

TABLA 32. FACTOR DE IMPORTANCIA SÍSMICO DE ESTRUCTURAS AISLADAS IE

Risk Category from Table 1.5-1	Snow Importance Factor, I_s	Ice Importance Factor—Thickness, I_i	Ice Importance Factor—Wind, I_w	Seismic Importance Factor, I_e
I	0.8	0.8	1	1
II	1	1	1	1
III	1.1	1.15	1	1.25
IV	1.2	1.25	1	1.5

Fuente: ASCE7-16, Tabla 1.5-2 “Importance Factors by Risk Category of Buildings and Other Structures for Snow, Ice, and Earthquake Loads”

$I_e=1.00$

4.6.1.6. Ductilidad y factor de reducción de resistencia sísmica R

De acuerdo a lo establecido en la NEC-15 en el acápite 6.3.4. Ductilidad y factor de reducción de resistencia sísmica R, el cual fue determinado en el numeral 4.3.7 del presente documento se estableció el siguiente valor:

$R=8.00$

4.6.1.7. Período de la estructura para el sistema convencional, T

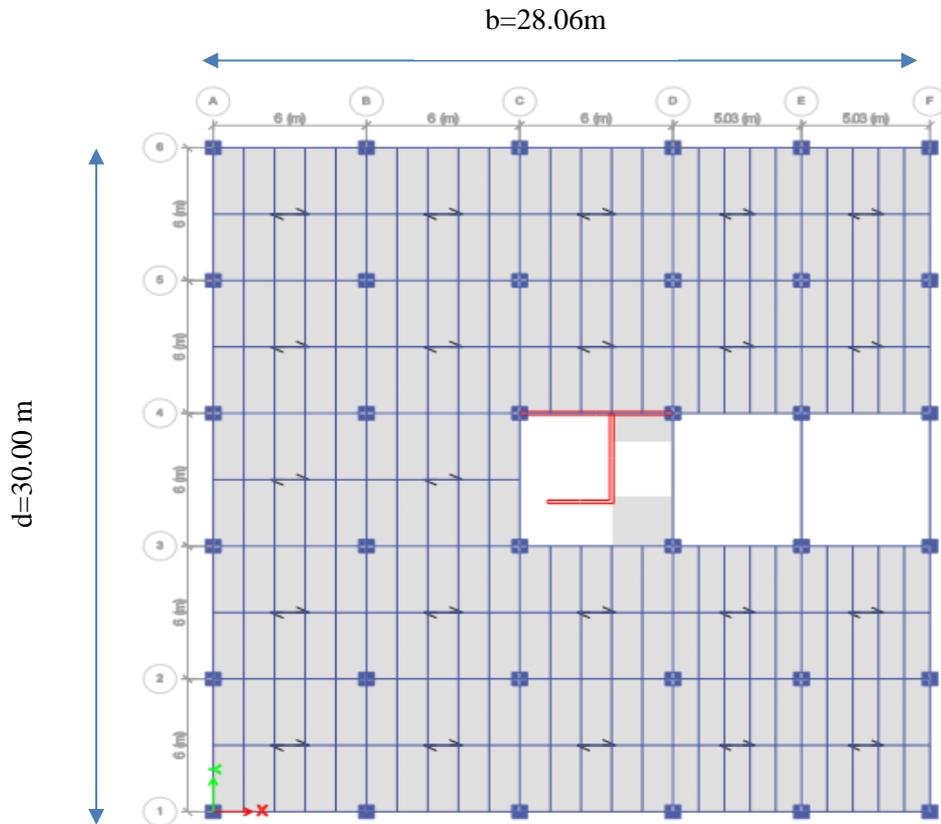
Este valor se determinó en la sección 4.3.6.3, del presente documento, el cual corresponde al valor del Período fundamental de vibración de la estructura, T.

$T=0.9528 \text{ s}$

4.6.1.8. Longitud mayor en planta (d) y longitud menor en planta (b)

En este parámetro se consideró las longitudes mayor y menor medidas en la planta de la estructura. Cabe indicar que para determinar el valor menor (b), se debe realizar la medición en forma perpendicular a la mayor longitud (d).

Figura 19. Longitud total mayor y menor en planta



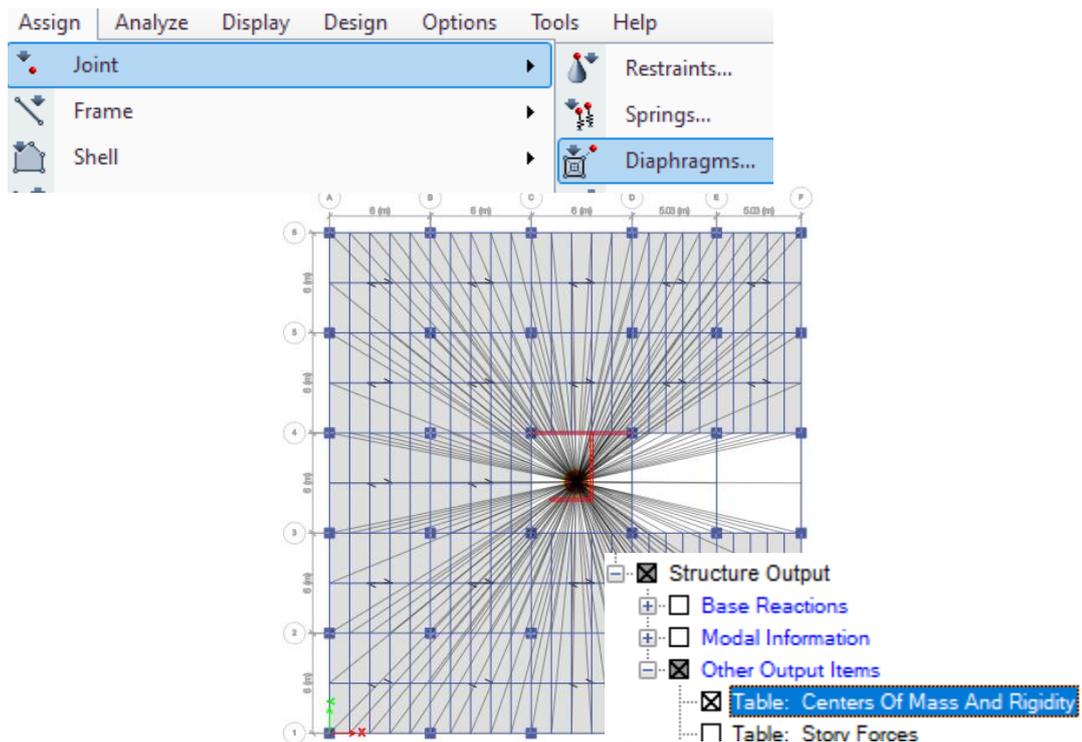
Fuente: Elaboración autónoma, 2022

$d=30.00\text{m}$ $b=28.06\text{m}$
--

4.6.1.9. Excentricidad real medida en planta entre el centro de masas y centro de rigideces

Para determinar la diferencia entre el centro de masas y rigideces, se determinó mediante el software de cálculo en el cual se determinó los valores que son parte de los datos iniciales de la estructura.

Figura 20. Asignación de diafragma de la estructura



Fuente: Elaboración autónoma, 2022

Para obtener los resultados se configuró el programa para que presente resultados relacionados al centro de masas y de rigideces, el cual desplegó los siguientes resultados:

TABLA 33 CENTRO DE MASAS

Story	Diaphragm	XCCM	YCCM	XCR	YCR
		m	m	m	m
Nv. +24.82	D1	15.0846	15.6016	15.7451	17.3923
Nv. +21.82	D1	13.9451	15.1057	15.5829	17.8417
Nv. +18.82	D1	13.9339	15.0954	15.5818	17.8346
Nv. +15.82	D1	13.9304	15.0923	15.5785	17.8195
Nv. +12.82	D1	13.9287	15.0907	15.5746	17.8004
Nv. +9.82	D1	13.9277	15.0898	15.5697	17.7742
Nv. +6.82	D1	13.927	15.0892	15.5613	17.7328
Nv. + 3.82	D1	13.9297	15.0891	15.5458	17.6578
Nv. +0.31	D1	13.9228	15.1858	15.5048	17.5021
Nv. -3.22	D1	13.8763	15.2955	15.3657	17.112
	Media:	14.04062	15.17351	15.56102	17.64674

Fuente: Elaboración autónoma, 2022

$$e_{cm-cr} = 2.9031849m$$

4.6.1.10. Excentricidad accidental 5% de la dimensión en planta más larga

Eaccidental

Para determinar la excentricidad accidental es necesario realizar algunos ajustes en el programa, para ello se definieron masas sísmicas para cada caso, es decir se consideró la masa la excentricidad en ejes “x” e “y” tanto para desplazamiento positivo y negativo, al 0.05 establecido en la NEC-15.

Luego que se analizó la estructura se le indicó al programa que despliegue los resultados correspondientes.

TABLA 34. DESPLAZAMIENTOS

Story	Output Case	Direction	Max Drift mm	Avg Drift mm	Ratio
Nv. +24.82	Espectro YY EX+	X	0.612	0.345	1.775
Nv. +24.82	Espectro YY EX+	Y	1.821	0.994	1.832
Nv. +21.82	Espectro YY EX+	X	1.029	0.542	1.899
Nv. +21.82	Espectro YY EX+	Y	0.901	0.463	1.945
Nv. +18.82	Espectro YY EX+	X	1.616	0.868	1.861
Nv. +18.82	Espectro YY EX+	Y	1.43	0.729	1.963
Nv. +15.82	Espectro YY EX+	X	2.247	1.22	1.841
Nv. +15.82	Espectro YY EX+	Y	1.987	1.007	1.974
Nv. +12.82	Espectro YY EX+	X	2.836	1.542	1.839
Nv. +12.82	Espectro YY EX+	Y	2.498	1.263	1.978
Nv. +9.82	Espectro YY EX+	X	3.376	1.815	1.86
Nv. +9.82	Espectro YY EX+	Y	2.955	1.495	1.977
Nv. +6.82	Espectro YY EX+	X	3.898	2.088	1.867
Nv. +6.82	Espectro YY EX+	Y	3.39	1.72	1.971
Nv. + 3.82	Espectro YY EX+	X	5.378	3.197	1.682
Nv. + 3.82	Espectro YY EX+	Y	4.599	2.332	1.972
Nv. +0.31	Espectro YY EX+	X	6.189	4.125	1.5
Nv. +0.31	Espectro YY EX+	Y	5.162	2.661	1.94
Nv. -3.22	Espectro YY EX+	X	5.92	4.635	1.277
Nv. -3.22	Espectro YY EX+	Y	4.681	2.402	1.949

Para determinar el valor de la excentricidad accidental en la estructura es necesario realizar la siguiente operación:

$$Excentricidad = \max(b, d) * 0.05$$

Como para el presente caso la longitud mayor de la planta es 30 metros

$$Excentricidad = 30.00m * 0.05$$

$$Excentricidad = 1.50m$$

4.6.1.11. Relación del período de traslación efectivo del sistema de aislación al periodo torsional efectivo del sistema de aislación, calculado por un análisis dinámico PT

Para determinar el valor PT se determinó previamente el centro de masas del sistema total de aislamiento de forma conjunta. Posteriormente en referencia al centro de masas de cada aislador se calculó la distancia que representa la excentricidad con cada uno de ellos.

$$P_T = \frac{1}{r_a} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i^2 + y_i^2)}{N}}$$

$r_a =$ Radio de giro del sistema de aislamiento, el cual es igual a $(1/12)(b^2+d^2)^{1/2}$ en sistemas de aislamiento con planta de dimensiones $b \times d$.

$N =$ Número de aisladores.

$x_i, y_i =$ Distancias horizontales entre el centro de masas del sistema de aislamiento y el aislador i -ésimo, medidas en las direcciones de los ejes del sistema de aislamiento, en mm.

TABLA 35. CENTROS DE MASAS ENTRE AISLAMIENTOS DE BASE

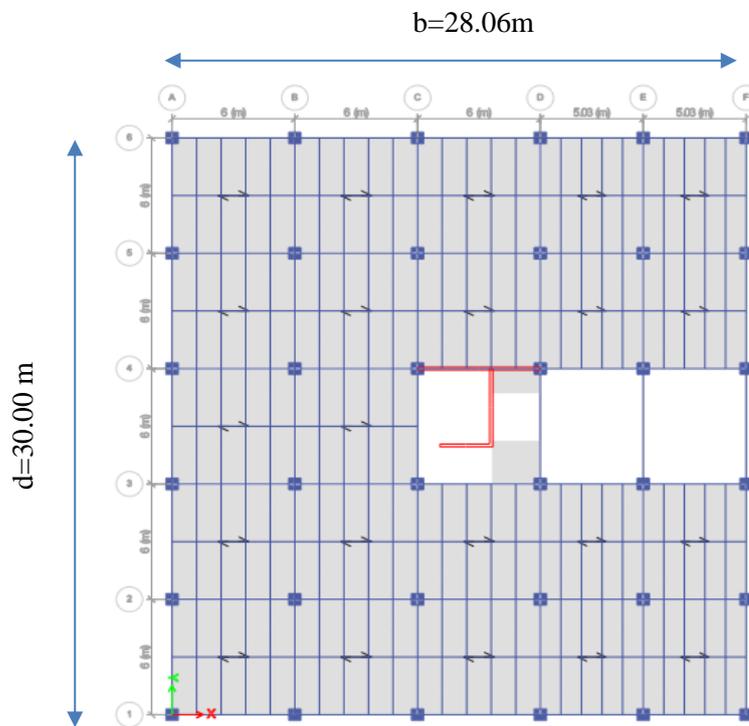
AISLADOR			CENTRO DE MASAS DEL SISTEMA DE AISLAMIENTO EN CONJUNTO		DISTANCIAS AL CUADRADO	
DESCRIPCION	COORDENADAS		XCG	YCG	Xi ²	Yi ²
	X	Y			(XCG-X) ²	(YCG-Y) ²
A1	0.00	0.00	14.03	15.00	196.84	225.00
A2	6.00	0.00	14.03	15.00	64.48	225.00
A3	12.00	0.00	14.03	15.00	4.12	225.00
A4	18.00	0.00	14.03	15.00	15.76	225.00
A5	24.00	0.00	14.03	15.00	99.40	225.00

AISLADOR			CENTRO DE MASAS DEL SISTEMA DE AISLAMIENTO EN CONJUNTO		DISTANCIAS AL CUADRADO	
DESCRIPCION	COORDENADAS		XCG	YCG	Xi ²	Yi ²
	X	Y			(XCG-X) ²	(YCG-Y) ²
A6	30.00	0.00	14.03	15.00	255.04	225.00
B1	0.00	6.00	14.03	15.00	196.84	81.00
B2	6.00	6.00	14.03	15.00	64.48	81.00
B3	12.00	6.00	14.03	15.00	4.12	81.00
B4	18.00	6.00	14.03	15.00	15.76	81.00
B5	24.00	6.00	14.03	15.00	99.40	81.00
B6	30.00	6.00	14.03	15.00	255.04	81.00
C1	0.00	12.00	14.03	15.00	196.84	9.00
C2	6.00	12.00	14.03	15.00	64.48	9.00
C3	12.00	12.00	14.03	15.00	4.12	9.00
C4	18.00	12.00	14.03	15.00	15.76	9.00
C5	24.00	12.00	14.03	15.00	99.40	9.00
C6	30.00	12.00	14.03	15.00	255.04	9.00
D1	0.00	18.00	14.03	15.00	196.84	9.00
D2	6.00	18.00	14.03	15.00	64.48	9.00
D3	12.00	18.00	14.03	15.00	4.12	9.00
D4	18.00	18.00	14.03	15.00	15.76	9.00
D5	24.00	18.00	14.03	15.00	99.40	9.00
D6	30.00	18.00	14.03	15.00	255.04	9.00
E1	0.00	23.03	14.03	15.00	196.84	64.48
E2	6.00	23.03	14.03	15.00	64.48	64.48
E3	12.00	23.03	14.03	15.00	4.12	64.48
E4	18.00	23.03	14.03	15.00	15.76	64.48
E5	24.00	23.03	14.03	15.00	99.40	64.48
E6	30.00	23.03	14.03	15.00	255.04	64.48
F1	0.00	28.06	14.03	15.00	196.84	170.56
F2	6.00	28.06	14.03	15.00	64.48	170.56
F3	12.00	28.06	14.03	15.00	4.12	170.56
F4	18.00	28.06	14.03	15.00	15.76	170.56
F5	24.00	28.06	14.03	15.00	99.40	170.56
F6	30.00	28.06	14.03	15.00	255.04	170.56

AISLADOR		CENTRO DE MASAS DEL SISTEMA DE AISLAMIENTO EN CONJUNTO		DISTANCIAS AL CUADRADO		
DESCRIPCION	COORDENADAS		XCG	YCG	Xi ²	Yi ²
	X	Y			(XCG-X) ²	(YCG-Y) ²
$\sum_{i=1}^N (x_i^2, y_i^2)$					3813.87	3354.27

Fuente: Elaboración autónoma, 2022

Figura 21. Longitud total mayor y menor en planta



Fuente: Elaboración autónoma, 2022

b = 28.06 Longitud total menor en planta (perpendicular a d)

d = 30.00 Longitud total mayor en planta (perpendicular a b)

N= 36 Número de aisladores sísmicos.

$$r_a = (1/12)(b^2 + d^2)^{1/2}$$

$$r_a = (1/12)(28.06^2 + 30.00^2)^{1/2}$$

$$r_a = 3.42$$

$$P_T = \frac{1}{r_a} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i^2 + y_i^2)}{N}}$$

$$P_T = \frac{1}{3.42} \sqrt{\frac{3813.87 + 3354.27}{36}}$$

$$P_T = 4.12$$

4.6.1.12. Resumen datos de la Estructura

TABLA 36. RESUMEN DE DATOS DE LA ESTRUCTURA

Simbología	Valor	U	Descripción
$S_s=$	0.93	g	Aceleración para periodos cortos 0.2s
$S_l=$	0.21	g	Aceleración para periodos largos 1s
$F_a=$	1.13		Coefficiente de sitio en periodos cortos, ASCE 7-16
$F_v=$	2.18		Coefficiente de sitio en periodos largos, ASCE 7-16
$W=$	5042.42	Tn	Peso efectivo sísmico de la estructura en toneladas
$W=$	49449.24	kN	Peso efectivo sísmico de la estructura en kilonewtons
$W_s=$	7256.38	Tn	Peso efectivo sísmico sin considerar el nivel base
$I_e =$	1		Factor de importancia sísmico de estructuras aisladas
$R=$	8		Factor de reducción de resistencia sísmica
$T =$	0.953	s	Período de la estructura de base fija (convencional)
$d=$	30.00	m	Longitud total mayor en planta (perpendicular a b)
$b=$	28.06	m	Longitud total menor en planta (perpendicular a d)
$e_{real} =$	2.90	m	Excentricidad real entre centros de masas y rigideces
$e_{accidental} =$	1.50	m	Excentricidad accidental (0.05*d)
$P_T=$	4.12	-	Relación del período de traslación efectivo del sistema de aislación al periodo torsional efectivo del sistema de aislación.
$\beta_{eff,min}=$	18.6092%	-	Amortiguamiento efectivo objetivo asumido (inferior)
$B_{min} =$	1.49	-	Coefficiente de amortiguamiento en el límite inferior $B_{min}=45.6-\ln \beta_{eff,min}$
$\beta_{eff,max}=$	23.1028%	-	Amortiguamiento efectivo objetivo asumido (superior)
$B_{max} =$	1.63	-	Coefficiente de amortiguamiento en el límite superior $B_{max}=45.6-\ln \beta_{eff,max}$
$T_{min}=$	2.40	s	Período efectivo objetivo asumido (límite inferior)
$T_{max}=$	1.30	s	Período efectivo objetivo asumido (límite superior)

Fuente: Elaboración autónoma, 2022

4.6.2. Cálculo de Factores de Modificación de Propiedades

A continuación, se detalla el cálculo de factores de modificación de propiedades:

TABLA 37. CÁLCULO DE FACTORES DE MODIFICACIÓN DE PROPIEDADES.

$\lambda_{(ae,max)}=$	1.1	-	Factor de modificación de propiedad que considera efectos de envejecimiento y condiciones del entorno.
$\lambda_{(ae,min)}=$	1	-	Factor de modificación de propiedad que considera efectos de envejecimiento y condiciones del entorno.
$\lambda_{(test,max)}=$	1.15	-	Factor de modificación de propiedad que considera el calentamiento, tasa de carga y torcedura.
$\lambda_{(test,min)}=$	1	-	Factor de modificación de propiedad que considera el calentamiento, tasa de carga y torcedura.
$\lambda_{(spec,max)}=$	1.1	-	Factor de modificación de propiedad que considera las variaciones tolerables de fabricación de los aisladores.
$\lambda_{(spec,min)}=$	0.9	-	Factor de modificación de propiedad que considera las variaciones tolerables de fabricación de los aisladores.

Fuente: Elaboración autónoma, 2022

1. Factor de modificación de propiedades límite superior

$$\lambda_{max} = (1+(0.75(\lambda_{(ae,max)}-1))) * \lambda_{(test,max)} * \lambda_{(spec,max)} \geq 1.8$$

$$\lambda_{max} = 1.359875$$

$\lambda_{max} =$	1.80
-------------------	------

2. Factor de modificación de propiedades límite inferior

$$\lambda_{min} = (1-(0.75(1-\lambda_{(ae,min)}))) * \lambda_{(test,min)} * \lambda_{(spec,min)} \leq 0.8$$

$$\lambda_{min} = 0.90$$

$\lambda_{min} =$	0.80
-------------------	------

4.6.3. Diseño de Aisladores LRB

1. Desplazamiento máximo unitario

$$SM_1 = S1 * Fv$$

$$SM_1 = 0.4578 \text{ g}$$

$$D_M = \frac{g SM_1 T_{min,max}}{4 \pi^2 B_{min,max}}$$

$$D_{Mmin} = \frac{9.81 * 0.4578 * 2.40s}{4 \pi^2 * 1.49s} \quad 76$$

$$D_{Mmax} = \frac{9.81 * 0.4578 * 1.30s}{4 \pi^2 * 1.63s}$$

$D_{M, \min} =$	0.182675	m
$D_{M, \max} =$	0.090952	m

2. Desplazamiento máximo total

$$y = \frac{d}{2} = \frac{30}{2}$$

$$y = 15.00 \text{ m}$$

$$e = e_{real} + e_{accidental} = 2.90m + 1.50m$$

$$e = 4.403185 \text{ m}$$

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

$$D_{TM,min} = 0.183 * \left[1 + \left(\frac{15}{4.12^2} \right) * \frac{12 * 4.403}{28.06^2 + 30.00^2} \right]$$

$$D_{TM,max} = 0.091 * \left[1 + \left(\frac{15}{4.12^2} \right) * \frac{12 * 4.403}{28.06^2 + 30.00^2} \right]$$

$D_{TM,min} =$	0.188	m
$D_{TM,máx} =$	0.093	m

El desplazamiento máximo total debe ser mínimo 1.15 veces el desplazamiento máximo, de acuerdo con la norma ASCE 7-16, apartado 17.5.3.3.

$$\frac{D_{TM}}{D_M} \geq 1.15$$

$$\frac{D_{TM,min}}{D_{M,min}} = 1.027642 \rightarrow 1.15$$

$$\frac{D_{TM,máx}}{D_{M,máx}} = 1.027642 \rightarrow 1.15$$

3. Cálculo del diámetro del aislador

El aislador elastomérico deberá tener un diámetro, excluyendo la capa protectora de recubrimiento, de no menos que 1.25 veces la demanda de desplazamiento del sismo máximo.

$$\varnothing_{\text{aislador}} = 1.25 D_{TM} = 1.25 * 0.188m$$

$$\varnothing_{\text{aislador}} = 0.234655m$$

4. Selección y datos técnicos del aislador

Mediante la revista técnica “Bridgestone Seismic Isolation Product Line-up”, se realizó la selección del aislador tipo colocado en la estructura en cada uno de los 36 apoyos.

$$N^{\circ} \text{ de aisladores} = 36$$

4.1. Diámetro del aislador

Figura 22. Diámetro Aislador

Characteristics		LS070G4									
		E	D	C	B	A	G	H	I	J	
Outer diameter	(mm)	700									

Fuente: Revista técnica “Bridgestone Seismic Isolation Product Line-up”, pág. 54.

$$D_o = \boxed{700} \text{ mm} = 27.56 \text{ plg}$$

$$A = 384845.10 \text{ mm}^2 = 596.51 \text{ plg}^2 \text{ (área de aislador)}$$

4.2. Módulo de corte de la goma al 100% de la deformación por corte

Figura 23. Diámetro Aislador

Certification number MVBR-0517	Code		
	Compound name	Rubber code	Shear modulus (N/mm ²)
●LS Series (S ₂ = 5)	G4	G0.40	0.385

Fuente: Revista técnica “Bridgestone Seismic Isolation Product Line-up”, pág. 53.

$$G_{100\%} = \boxed{0.385} \text{ N/mm}^2 = 55.84 \text{ psi}$$

4.3. Espesor de una capa de goma

Figura 24. Espesor de una capa de goma

Characteristics		LS070G4								
		E	D	C	B	A	G	H	I	J
Outer diameter	[mm]	700								
Lead plug diameter	[mm]	100	110	120	130	140	150	160	170	180
Effective plane area	[$\times 10^2$ mm ²]	3770	3753	3735	3716	3695	3672	3647	3621	3594
Thickness of one rubber layer	[mm]	4.7								

Fuente: Revista técnica “Bridgestone Seismic Isolation Product Line-up”, pág. 54.

$$tr = \boxed{4.70} \text{ mm}$$

4.4. Número de capas de goma

Figura 25. Número de capas de goma

●LS Series ($S_2 = 5$)										
Characteristics		LS070G4								
		E	D	C	B	A	G	H	I	J
Outer diameter	[mm]	700								
Lead plug diameter	[mm]	100	110	120	130	140	150	160	170	180
Effective plane area	[$\times 10^2$ mm ²]	3770	3753	3735	3716	3695	3672	3647	3621	3594
Thickness of one rubber layer	[mm]	4.7								
Number of rubber layers	[-]	30								

Fuente: Revista técnica “Bridgestone Seismic Isolation Product Line-up”, pág. 54.

$$n = \boxed{30.00}$$

4.5. Altura total de la goma

Figura 26. Altura total de la goma

Characteristics		LS070G4									
		E	D	C	B	A	G	H	I	J	
Physical Dimensions	Outer diameter (mm)	700									
	Lead plug diameter (mm)	100	110	120	130	140	150	160	170	180	
	Effective plane area ($\times 10^2 \text{ mm}^2$)	3770	3753	3735	3716	3695	3672	3647	3621	3594	
	Thickness of one rubber layer (mm)	4.7									
	Number of rubber layers (-)	30									
	Total rubber thickness (mm)	141									

Fuente: Revista técnica “Bridgestone Seismic Isolation Product Line-up”, pág. 54.

$$h_r = \boxed{141.00} \text{ mm} = 5.55 \text{ plg}$$

4.6 Altura total del aislador incluyendo calces de acero

Figura 27. Altura total del aislador incluyendo calces de acero

Characteristics		LS070G4									
		E	D	C	B	A	G	H	I	J	
Physical Dimensions	Outer diameter (mm)	700									
	Lead plug diameter (mm)	100	110	120	130	140	150	160	170	180	
	Effective plane area ($\times 10^2 \text{ mm}^2$)	3770	3753	3735	3716	3695	3672	3647	3621	3594	
	Thickness of one rubber layer (mm)	4.7									
	Number of rubber layers (-)	30									
	Total rubber thickness (mm)	141									
	First shape factor (-)	37.2									
	Second shape factor (-)	4.96									
	Diameter of flange (mm)	1000									
	Thickness of flange* (edge/center) (mm)	22/28									
	Connecting bolt PCD (mm)	875									
	Diameter of connecting bolt hole \times qty (mm)	$\varnothing 33 \times 12$									
	Bolt size (assumption) (-)	M30									
	Thickness of each reinforced steel plate (mm)	3.1									
	Total height (mm)	286.9									

Fuente: Revista técnica “Bridgestone Seismic Isolation Product Line-up”, pág. 54.

$$H = \boxed{286.90} \text{ mm} = 11.30 \text{ plg}$$

4.7. Módulo aparente de corte del plomo

Figura 28. Módulo aparente de corte del plomo

Shear Properties

Equivalent shear stiffness K_{eq} , equivalent damping ratio H_{eq} , initial stiffness K_1 , post-yield stiffness K_2 , characteristic strength Q_d

Shear properties of LRB is dependent on shear strain amplitude. The shear strain dependency of each property is expressed by the following equations.

Post-yield stiffness : $K_2 = K_d = C_{kd} \cdot (K_r + K_d)$
 Shear stiffness of laminated rubber : $K_r = G_r \cdot A_r / H$
 Additional shear stiffness by lead plug : $K_p = \alpha_p \cdot A_p / H$

Where, C_{kd} : post-yield stiffness correction factor due to strain dependency

C_{kd}	$\begin{cases} 0.779 \gamma^{-0.43} & [\gamma < 0.25] \\ \gamma^{-0.25} & [0.25 \leq \gamma < 1.0] \\ \gamma^{-0.12} & [1.0 \leq \gamma < 2.5] \end{cases}$
----------	---

G_r : shear modulus of rubber 0.385N/mm²
 γ : shear strain
 α_p : apparent shear modulus of lead 0.583N/mm²

Characteristics strength : $Q_d = C_{qd} \cdot \sigma_{pb} \cdot A_p$

Where, C_{qd} : characteristic strength correction factor due to strain dependency

C_{qd}	$\begin{cases} 2.036 \gamma^{0.41} & [\gamma \leq 0.1] \\ 1.106 \gamma^{0.145} & [0.1 < \gamma < 0.5] \\ 1 & [0.5 \leq \gamma] \end{cases}$
----------	---

σ_{pb} : Shear stress at yield of lead 7.967N/mm²

Initial stiffness : $K_1 = \beta \cdot K_d$

Where, β : Ratio of initial stiffness to post-yield stiffness which is between 10~15. (recommended value: 13)

Equivalent shear stiffness K_{eq} Equivalent damping ratio H_{eq}

$$K_{eq} = \frac{Q_d}{\gamma \cdot H} + K_d$$

$$H_{eq} = \frac{2}{\pi} \cdot \frac{Q_d \left(\gamma \cdot H - \frac{Q_d}{(\beta - 1)K_d} \right)}{K_{eq} \cdot (\gamma \cdot H)^2}$$

Fuente: Revista técnica “Bridgestone Seismic Isolation Product Line-up”, pág. 10

$$\alpha_p = \boxed{0.583} \text{ N/mm}^2$$

4.8 Peso del aislador

Figura 29. Peso del aislador

Thickness of each reinforced steel plate	(mm)	3.1								
Total height	(mm)	286.9								
Total weight	(tonf)	0.67	0.67	0.67	0.68	0.68	0.69	0.69	0.70	0.70
Total weight	(kN)	6.5	6.6	6.6	6.7	6.7	6.7	6.8	6.8	6.9

Fuente: Revista técnica “Bridgestone Seismic Isolation Product Line-up”, pág. 54.

$$W_a = \boxed{6.50} \text{ kN}$$

4.9. Área efectiva en el plano

Figura 30. Área efectiva en el plano

Characteristics		LH070G4									
		E	D	C	B	A	G	H	I	J	
Outer diameter	[mm]	700									
Lead plug diameter	[mm]	100	110	120	130	140	150	160	170	180	
Effective plane area	[$\times 10^2$ mm ²]	3770	3753	3735	3716	3695	3672	3647	3621	3594	

Fuente: Revista técnica “Bridgestone Seismic Isolation Product Line-up”, pág. 54.

$$A_r = \boxed{377000.00} \text{ mm}^2$$

4.10. Diámetro efectivo del núcleo de plomo

Figura 31. Diámetro efectivo del núcleo de plomo

● LH Series (Total Rubber Thickness 20cm)											
Characteristics		LH070G4									
		E	D	C	B	A	G	H	I	J	
Outer diameter	[mm]	700									
Lead plug diameter	[mm]	100	110	120	130	140	150	160	170	180	
Effective plane area	[$\times 10^2$ mm ²]	3770	3753	3735	3716	3695	3672	3647	3621	3594	

Fuente: Revista técnica “Bridgestone Seismic Isolation Product Line-up”, pág. 54.

$$\varnothing_{enp} = \boxed{100.00} \text{ mm}$$

4.11. Área efectiva del núcleo de plomo

$$A_p = \pi * \frac{\varnothing_{enp}^2}{4}$$

$$A_p = 7853.98 \text{ mm}^2$$

4.12. Esfuerzo de corte en fluencia del núcleo de plomo

Figura 32. Esfuerzo de corte en fluencia del núcleo de plomo

Shear Properties

Equivalent shear stiffness K_{eq} , equivalent damping ratio H_{eq} , initial stiffness K_1 , post-yield stiffness K_2 , characteristic strength Q_d

Shear properties of LRB is dependent on shear strain amplitude.
The shear strain dependency of each property is expressed by the following equations.

Post-yield stiffness : $K_2 = K_d = C_{kd} \cdot (K_r + K_p)$
 Shear stiffness of laminated rubber : $K_r = G_r \cdot A_r / H$
 Additional shear stiffness by lead plug : $K_p = \alpha_p \cdot A_p / H$
 Where, C_{kd} : post-yield stiffness correction factor due to strain dependency
 G_r : shear modulus of rubber 0.385N/mm²
 γ : shear strain
 α_p : apparent shear modulus of lead 0.583N/mm²

$$C_{kd} = \begin{cases} 0.779 \gamma^{-0.43} & [\gamma < 0.25] \\ \gamma^{-0.25} & [0.25 \leq \gamma < 1.0] \\ \gamma^{-0.12} & [1.0 \leq \gamma < 2.5] \end{cases}$$

Characteristics strength : $Q_d = C_{qd} \cdot \sigma_{pb} \cdot A_p$
 Where, C_{qd} : characteristic strength correction factor due to strain dependency
 σ_{pb} : Shear stress at yield of lead 7.967N/mm²

$$C_{qd} = \begin{cases} 2.036 \gamma^{0.41} & [\gamma \leq 0.1] \\ 1.106 \gamma^{0.145} & [0.1 < \gamma < 0.5] \\ 1 & [0.5 \leq \gamma] \end{cases}$$

Initial stiffness : $K_1 = \beta \cdot K_d$
 Where, β : Ratio of initial stiffness to post-yield stiffness which is between 10~15. [recommended value: 13]
 Equivalent shear stiffness K_{eq} Equivalent damping ratio H_{eq}

$$K_{eq} = \frac{Q_d}{\gamma \cdot H} + K_d$$

$$H_{eq} = \frac{2}{\pi} \cdot \frac{Q_d \left\{ \gamma \cdot H - \frac{Q_d}{(\beta - 1)K_d} \right\}}{K_{eq} \cdot (\gamma \cdot H)^2}$$

Fuente: Revista técnica “Bridgestone Seismic Isolation Product Line-up”, pág. 10

$$\sigma_{pb} = \boxed{7.967} \text{ N/mm}^2$$

4.13. Módulo de Young

Figura 33. Módulo de Young

Properties of rubber materials

Item	Tensile strength [N/mm ²]	Elongation at Break [%]	Hardness [JIS A]	100% modulus [N/mm ²]	Young's modulus E [N/mm ²]
Test Standard	JIS K6251	JIS K6251	JIS K6253	JIS K6251	-
Inner rubber	17 and above	600 and above	37 ± 5	0.8 ± 0.2	2.20
Cover rubber	12 and above	600 and above	-	-	-

Fuente: Revista técnica “Bridgestone Seismic Isolation Product Line-up”, pág. 9

$$E = \boxed{2.20} \text{ N/mm}^2$$

4.14. Módulo volumétrico

Figura 34. Módulo volumétrico

Properties of rubber materials

Item	Tensile strength [N/mm ²]	Elongation at Break [%]	Hardness [JIS A]	100% modulus [N/mm ²]	Young's modulus E [N/mm ²]	Bulk modulus E _v [N/mm ²]
Test Standard	JIS K6251	JIS K6251	JIS K6253	JIS K6251	-	-
Inner rubber	17 and above	600 and above	37 ± 5	0.8 ± 0.2	2.20	1176
Cover rubber	12 and above	600 and above	-	-	-	-

Fuente: Revista técnica “Bridgestone Seismic Isolation Product Line-up”, pág. 9

$$E_{\infty} = \boxed{1176.00} \text{ N/mm}^2$$

4.15. Factor de corrección del módulo de Young por rugosidad

Figura 35. Factor de corrección del módulo de Young por rugosidad

Properties of rubber materials

Item	Tensile strength [N/mm ²]	Elongation at Break [%]	Hardness [JIS A]	100% modulus [N/mm ²]	Young's modulus E [N/mm ²]	Bulk modulus E _v [N/mm ²]	Correction factor for apparent Young's modulus according to hardness, k
Test Standard	JIS K6251	JIS K6251	JIS K6253	JIS K6251	-	-	-
Inner rubber	17 and above	600 and above	37 ± 5	0.8 ± 0.2	2.20	1176	0.85
Cover rubber	12 and above	600 and above	-	-	-	-	-

Fuente: Revista técnica “Bridgestone Seismic Isolation Product Line-up”, pág. 9

$$k = \boxed{0.85}$$

4.16. Factor de corrección al módulo de Young

Figura 36. Factor de corrección al módulo de Young

Compressive stiffness K_v

● Compressive stiffness K_v is determined by the following equation.

$$K_v = \alpha_v \cdot E_c \frac{A}{H} \quad E_c = \frac{E(1+2\kappa S_1^2)}{1+E(1+2\kappa S_1^2)/E_{\infty}} \quad \begin{array}{l} A: \text{Laminated rubber plane area} \\ A_r: \text{Effective plane area} \\ A_p: \text{Lead plug plane area} \\ A = A_r + A_p \end{array}$$

α_v : Young's modulus correction factor = **1.23**

Fuente: Revista técnica “Bridgestone Seismic Isolation Product Line-up”, pág. 10

$$\alpha_v = \boxed{1.23}$$

4.17. Relación de rigidez inicial a la rigidez post-fluencia

Figura 37. Relación de rigidez inicial a la rigidez post-fluencia

Initial stiffness : $K_1 = \beta \cdot K_0$

Where, β : Ratio of initial stiffness to post-yield stiffness which is between 10~15. [recommended value: **13**]

Equivalent shear stiffness K_{eq} Equivalent damping ratio H_{eq}

$$K_{eq} = \frac{Q_d}{\gamma \cdot H} + K_d$$

$$H_{eq} = \frac{2}{\pi} \cdot \frac{Q_d \left\{ \gamma \cdot H - \frac{Q_d}{(\beta - 1)K_d} \right\}}{K_{eq} \cdot (\gamma \cdot H)^2}$$

Fuente: Revista técnica “Bridgestone Seismic Isolation Product Line-up”, pág. 10

$$B = \boxed{13.00}$$

4.18. Primer factor de forma

$$S1 = Do / 4 tr$$

$$S1 = 700 / 4.70$$

$$S1 = 37.23$$

4.19. Segundo factor de forma

$$S2 = Do / n tr$$

$$S2 = 700 / (30 * 4.70)$$

$$S2 = 4.96$$

5. Deformación por corte

$$\gamma_{DM} = \frac{D_M}{hr}$$

$$\gamma_{DMmin} = \frac{0.182675 * 1000}{141}$$

$$\gamma_{DMmax} = \frac{0.090952 * 1000}{141}$$

$$\gamma_{DM,min} = 129.56\%$$

$$\gamma_{DM,máx} = 64.50\%$$

La deformación por corte no debe superar el 200%, ni los límites máximos establecidos por el fabricante, caso contrario se deberá aumentar la altura total de la goma.

6. Esfuerzo de corte en fluencia del núcleo de plomo modificado

$$\sigma_{pbm} = \sigma_{pb} * \lambda_{máx,min}$$

$$\sigma_{pbm,min} = 7.967 N/mm^2 * 0.80$$

$$\sigma_{pbm,max} = 7.967 N/mm^2 * 1.80$$

$$\sigma_{pbm,mín} = 6.37 \quad N/mm^2$$

$$\sigma_{pbm,máx} = 14.34 \quad N/mm^2$$

7. Factor de corrección a la rigidez Post-Fluencia

$$C_{Kd} = 0.779 \gamma^{-0.43} \quad \text{Cuando: } \gamma < 0.25$$

$$C_{Kd} = \gamma^{-0.25} \quad \text{Cuando: } 0.25 \leq \gamma < 1$$

$$C_{Kd} = \gamma^{-0.12} \quad \text{Cuando: } 1 \leq \gamma < 2.5$$

Como: $1 \leq 1.2956 < 2.5$; Por lo tanto: $C_{Kdmin} = 1.2956^{-0.12}$

$$C_{Kdmin} = 0.97$$

Cuando: $0.25 \leq 0.645 < 1$; Por lo tanto: $C_{Kdmax} = 0.645^{-0.25}$

$$C_{Kdmax} = 1.12$$

8. Factor de corrección a la resistencia característica

$$C_{Qd} = 2.036\gamma^{0.41} \quad \text{Cuando: } \gamma \leq 0.1$$

$$C_{Qd} = 1.106\gamma^{0.145} \quad \text{Cuando: } 0.1 < \gamma < 0.5$$

$$C_{Qd} = 1 \quad \text{Cuando: } 0.5 \leq \gamma$$

Como: $0.5 \leq 1.12956$; por lo tanto $C_{Qdmin} = 1$

$$C_{Qdmin} = 1.00$$

Como: $0.5 \leq 0.645$; por lo tanto $C_{Qdmin} = 1$

$$C_{Qdmax} = 1.00$$

9. Rigidez al corte de la goma laminada

$$K_r = G_r * \frac{A_r}{h_r} * \lambda_{máx,min}$$

$$K_{r,min} = 0.385 \text{ N/mm}^2 * \frac{377000 \text{ mm}^2}{141 \text{ mm}} * 0.80$$

$$K_{r,min} = 0.385 \text{ N/mm}^2 * \frac{377000 \text{ mm}^2}{141 \text{ mm}} * 1.80$$

$$K_{r,min} = 823.51773 \quad \text{kN/m}$$

$$K_{r,máx} = 1852.9149 \quad \text{kN/m}$$

10. Rigidez al corte por núcleo de plomo

$$K_p = \alpha_p * \frac{A_p}{h_r} * \lambda_{máx,min}$$

$$K_{p,min} = 0.583 \text{ N/mm}^2 * \frac{7853.98 \text{ mm}^2}{141.00 \text{ mm}} * 0.80$$

$$K_{p,max} = 0.583 \text{ N/mm}^2 * \frac{7853.98 \text{ mm}^2}{141.00 \text{ mm}} * 1.80$$

$$K_{p,min} = 25.979412 \quad \text{kN/m}$$

$$K_{p,máx} = 58.453676 \quad \text{kN/m}$$

11. Rigidez post-fluencia unitaria

$$K_2 = K_d = C_{Kdmin,max} * (K_{rmin,max} + K_{pmin,max})$$

$$K_{2,min} = K_{d,min} = 0.97 * (823.51773 + 25.979412) \text{ kN/m}$$

$$K_{2,max} = K_{d,max} = 1.12 * (1852.9149 + 58.453676) \text{ kN/m}$$

$$K_{2, \text{min}} = 823.52 \quad \text{kN/m}$$

$$K_{2, \text{máx}} = 2132.78 \quad \text{kN/m}$$

12. Rigidez post-fluencia total

$$K_{2Total} = K_{dtotal} = K_2 * N^\circ \text{ aisladores}$$

$$K_{2Total,min} = K_{dtotal,min} = 823.52 * 36$$

$$K_{2Total,max} = K_{dtotal,max} = 2132.78 * 36$$

$$K_{2total, \text{min}} = 29646.22 \quad \text{kN/m}$$

$$K_{2total, \text{máx}} = 76780.12 \quad \text{kN/m}$$

13. Resistencia característica unitaria

$$Q_d = C_{Qdmin,max} * \sigma_{pbm} * A_p$$

$$Q_{d,min} = 1.00 * 6.37 \text{ N/mm}^2 * 7853.98 \text{ mm}^2$$

$$Q_{d,max} = 1.00 * 14.34 \text{ N/mm}^2 * 7853.98 \text{ mm}^2$$

$$Q_{d\text{mín}} = 50058.14 \quad \text{N} = 50.06 \quad \text{kN}$$

$$Q_{d\text{máx}} = 112630.81 \quad \text{N} = 112.63 \quad \text{kN}$$

14. Resistencia característica total

$$Q_{dtotal} = Q_{dmin,max} * N^\circ \text{ aisladores}$$

$$Q_{dtotal,min} = 50.06 \text{ kN} * 36$$

$$Q_{dtotal,max} = 112.63 \text{ kN} * 36$$

$$Q_{dtotal \text{ mín}} = 1802.09 \quad \text{kN}$$

$$Q_{dtotal \text{ máx}} = 4054.71 \quad \text{kN}$$

15. Rigidez equivalente al corte

$$K_{eq} = \frac{Q_{dmin,max}}{\gamma_{min,max} * h_r} + K_{dmin,max}$$

$$K_{eq,min} = \frac{50.06 \text{ kN}}{1.2956 * \frac{141}{1000} \text{ m}} + 823.51 \text{ kN/m}$$

$$K_{eq,max} = \frac{112.63 \text{ kN}}{0.6450 * \frac{141}{1000} \text{ m}} + 2132.78 \text{ kN/m}$$

$$\begin{aligned} K_{eq \text{ min}} &= 1097.54 && \text{kN/m} \\ K_{eq \text{ max}} &= 3371.14 && \text{kN/m} \end{aligned}$$

16. Rigidez efectiva total

$$K_{eqtotal} = K_{eqmin,max} * N^{\circ} \text{ aisladores}$$

$$K_{eqtotal,min} = 1097.54 \text{ kN/m} * 36$$

$$K_{eqtotal,max} = 3371.14 \text{ kN/m} * 36$$

$$\begin{aligned} K_{eqtotal \text{ min}} &= 39511.26 && \text{kN/m} \\ K_{eqtotal \text{ max}} &= 121360.94 && \text{kN/m} \end{aligned}$$

17. Rigidez inicial unitaria

$$K_1 = B * K_{d \text{ min, max}} \quad (K_{d \text{ min, max}} = K_{2 \text{ min, max}})$$

$$K_{1,min} = 13 * 823.51 \text{ kN/m}$$

$$K_{1,max} = 13 * 2132.78 \text{ kN/m}$$

$$\begin{aligned} K_{1 \text{ min}} &= 10705.58 && \text{kN/m} \\ K_{1 \text{ max}} &= 27726.16 && \text{kN/m} \end{aligned}$$

18. Rigidez inicial total

$$K_{1total} = K_{1 \text{ min,max}} * N^{\circ} \text{ aisladores}$$

$$K_{1total,min} = 10705.58 \text{ kN/m} * 36$$

$$K_{1total,max} = 27726.16 \text{ kN/m} * 36$$

$$\begin{aligned} K_{1 \text{ total min}} &= 385400.86 && \text{kN/m} \\ K_{1 \text{ total max}} &= 998141.59 && \text{kN/m} \end{aligned}$$

19. Amortiguamiento equivalente

$$H_{eq} = \beta = \frac{2}{\pi} * \frac{Q_{dmin,max} * \left[\gamma_{min,max} * h_r - \frac{Q_{dmin,max}}{(B-1)K_{dmin,max}} \right]}{K_{eqmin,max} * (\gamma_{min,max} * h_r)^2}$$

$$H_{eq,min} = \beta_{min} = \frac{2}{\pi} * \frac{50.06 \text{ kN} * \left[1.2956 * 0.141 \text{ m} - \frac{50.06 \text{ kN}}{(13-1) * 2132.78 \text{ kN/m}} \right]}{1097.54 \text{ kN/m} * (1.2956 * 0.141 \text{ m})^2}$$

$$H_{eq,max} = \beta_{max} = \frac{2}{\pi} * \frac{112.63kN * \left[0.6450 * 0.141m - \frac{112.63kN}{(13-1) * 823.51kN/m} \right]}{3371.14kN/m * (0.6450 * 0.141m)^2}$$

$$\beta_{min} = 0.155$$

$$\beta_{max} = 0.223$$

20. Energía por ciclo unitaria

$$\Delta W = \beta_{min,max} * 2\pi * K_{eq\ min,max} * D_{M\ min,max}$$

$$\Delta W_{min} = 0.155 * 2\pi * 1097.54\ kN/m * 0.182675$$

$$\Delta W_{max} = 0.223 * 2\pi * 1097.54\ kN/m * 0.090952$$

$$\Delta W_{min} = 194680.12\ \text{N.mm} = 194.680\ \text{kN.m}$$

$$\Delta W_{max} = 428724.31\ \text{N.mm} = 428.724\ \text{kN.m}$$

21. Energía por ciclo total

$$\Delta W_{total} = \Delta W_{min,max} * N^{\circ}\ \text{aisladores}$$

$$\Delta W_{total\ min} = 194680.12\ \text{N.mm} * 36$$

$$\Delta W_{total\ max} = 428724.31\ \text{N.mm} * 36$$

$$\Delta W_{total\ min} = 7008484.31\ \text{N.m}$$

$$\Delta W_{total\ máx} = 15434075.02\ \text{N.m}$$

22. Desplazamiento de fluencia

$$D_y = \frac{Q_{dmin,max}}{K_{1min,max} - K_{dmin,max}}$$

$$D_{y,min} = \frac{50.06\ kN}{10705.58 - 823.51}$$

$$D_{y,max} = \frac{112.63\ kN}{27726.16 - 2132.78}$$

$$D_{y\ min} = 0.00507\ \text{m} = 5.07\ \text{mm}$$

$$D_{y\ máx} = 0.00440\ \text{m} = 4.40\ \text{mm}$$

23. Fuerza de fluencia

$$F_y = Q_{dmin,max} + K_{dmin,max} * D_{y min,max}$$

$$F_{y,min} = 50.06 + 823.51 * 0.00507$$

$$F_{y,max} = 112.63 + 2132.78 * 0.00440$$

$$F_{y \min} = 54.23 \quad \text{kN}$$

$$F_{y \text{máx}} = 122.02 \quad \text{kN}$$

24. Fuerza en el asiento de apoyo

$$F_{ap} = Q_{dmin,max} + K_{dmin,max} + D_{M min,max}$$

$$F_{ap,min} = 50.06 + 823.51 * 0.182675$$

$$F_{ap,max} = 112.63 + 2132.78 * 0.090952$$

$$D_{y \min} = 200.49 \quad \text{kN}$$

$$D_{y \text{máx}} = 306.61 \quad \text{kN}$$

25. Amortiguamiento equivalente (B)

$$B = \frac{4}{5.6 - \ln(100 * \beta_{min,max})}$$

$$B_{min} = \frac{4}{5.6 - \ln(100 * 0.155)}$$

$$B_{max} = \frac{4}{5.6 - \ln(100 * 0.223)}$$

$$B_{\min} = 1.40$$

$$B_{\text{máx}} = 1.60$$

26. Módulo de compresión efectiva

$$E_c = \frac{E(1 + 2 k S_1^2)}{1 + E(1 + 2 k S_1^2)/E_\infty}$$

$$E_c = \frac{2.20N/mm^2 * (1 + 2 * 0.85 * 37.23^2)}{1 + 2.20N/mm^2 * (1 + 2 * 0.85 * 37.23^2) / (1176 N/mm^2)}$$

$$E_c = 958.66 \quad \text{N/mm}^2$$

27. Rigidez a compresión vertical unitaria

$$K_v = \alpha_v * E_c \frac{A_r + A_p}{h_r}$$

$$K_v = 1.23 * 958.66N/mm^2 \frac{377000.00 \text{ mm}^2 + 7853.98 \text{ mm}^2}{141.00 \text{ mm}}$$

$$K_v = 3218454.10 \quad \text{kN/m}$$

28. Rigidez a compresión vertical total

$$K_{vtotal} = K_v * N^\circ \text{ aisladores} = 3218454.10 * 36$$

$$K_v = 115864347.52 \text{ kN/m}$$

29. Masa del aislador

$$M_a = \frac{W}{g * N^\circ \text{ aisladores}} \quad M_a = \frac{49449.24 \text{ kN}}{9.81 * 36}$$

$$M_a = 140.02 \text{ kN s}^2/\text{m}$$

30. Periodo efectivo del sistema de aislación

$$T_{\text{aislado}} = 2\pi \sqrt{\frac{M_a}{K_{eq \text{ min,max}}}}$$

$$T_{\text{aislado,min}} = 2\pi \sqrt{\frac{140.02 \text{ kN s}^2/\text{m}}{1097.54 \text{ kN/m}}}$$

$$T_{\text{aislado,max}} = 2\pi \sqrt{\frac{140.02 \text{ kN s}^2/\text{m}}{3371.14 \text{ kN/m}}}$$

$$T_{\text{aislado min}} = 2.24 \text{ s}$$

$$T_{\text{aislado max}} = 1.28 \text{ s}$$

31. Amortiguamiento

$$\zeta = 2(H_{eq \text{ min,max}} - 0.05) * \sqrt{K_{eq \text{ min,max}} * M_a}$$

$$\zeta_{\text{min}} = 2(0.155 - 0.05) * \sqrt{1097.54 \text{ kN/m} * 140.02 \text{ kN s}^2/\text{m}}$$

$$\zeta_{\text{max}} = 2(0.223 - 0.05) * \sqrt{3371.14 \text{ kN/m} * 140.02 \text{ kN s}^2/\text{m}}$$

$$\zeta_{\text{min}} = 81.96 \text{ kN s/m}$$

$$\zeta_{\text{max}} = 237.09 \text{ kN s/m}$$

32. Aceleración espectral

$$S_a = \frac{S_{M1}}{B_{\text{min,max}} * T_{\text{aislado min, max}}}$$

$$S_{a,\text{min}} = \frac{0.4578 \text{ g}}{1.40 * 2.24\text{s}}$$

$$S_{a,max} = \frac{0.4578 \text{ g}}{1.60 * 1.28s}$$

$$S_{a \text{ min}} = 0.15 \text{ g}$$

$$S_{a \text{ max}} = 0.22 \text{ g}$$

33. Desplazamiento espectral

$$S_d = \frac{g * S_{a \text{ min,max}} * T_{\text{aislado min,max}}^2}{4\pi^2}$$

$$S_d = \frac{9.81 * 0.15g * 2.24^2}{4\pi^2}$$

$$S_d = \frac{9.81 * 0.22g * 1.28^2}{4\pi^2}$$

$$S_{d \text{ min}} = 0.1827 \text{ m} = 182.67454 \text{ mm}$$

$$S_{d \text{ max}} = 0.0910 \text{ m} = 90.951881 \text{ mm}$$

34. Factor de convergencia entre desplazamientos máximos y los espectrales

$$\text{min,max} = \frac{D_{M \text{ min,max}}}{S_{d \text{ min,max}}} \cong 1$$

$$\text{min} = \frac{0.182675 * 1000}{182.6745} \cong 1$$

$$\text{max} = \frac{0.090952 * 1000}{90.95188} \cong 1$$

$$\text{min} = 1.0000$$

$$\text{max} = 1.0000$$

En este parámetro se debe conseguir que los factores de convergencia tiendan a ser 1.00, para ello se deben realizar varias iteraciones en los datos siguientes, los cuales corresponden a la estructura:

TABLA 38. DATOS DE LA ESTRUCTURA

Simbología	Valor	U	Descripción
$\beta_{eff,min}$	18.6092%	-	Amortiguamiento efectivo objetivo asumido (inferior)
$\beta_{eff,max}$	23.1028%	-	Amortiguamiento efectivo objetivo asumido (superior)
T_{min}	2.40	s	Período efectivo objetivo asumido (límite inferior)
T_{max}	1.30	s	Período efectivo objetivo asumido (límite superior)

Fuente: Elaboración autónoma, 2022

No obstante, en el caso de obtener coeficiente de amortiguamiento muy altos, se podría seleccionar un aislador con mejores características que se ajusten a las condiciones requeridas, es por esto que adicionalmente a los detallados en la tabla anterior, otros de los factores que influyen en los valores de la convergencia y que están directamente relacionados con los aisladores son los siguientes:

TABLA 39. DATOS DE AISLADORES

Propiedad del Aislador	Valor	Unidad
Cantidad de Aisladores	36	-
Módulo de Corte de la Goma, Gr (para LRB)	0.385	N/mm ²
Espesor Total de la Goma, hr	141.00	mm
Módulo Aparente de Corte del Plomo, σ_p (para LRB)	0.583	N/mm ²
Área Efectiva en el Plano, A	377000.00	mm ²
Diámetro efectivo del Núcleo de Plomo	100.00	mm
Esfuerzo de Corte en Fluencia del Núcleo de Plomo, σ_{pb}	7.967	N/mm ²

Fuente: Elaboración autónoma, 2022

Con los valores de las dos tablas anteriores se consiguió obtener una convergencia de 1.00

35. Chequeos

Se realiza el mismo cálculo al 50% del desplazamiento calculado.

$$D_{M/2} = \frac{D_{M\ min,max}}{2}$$

$$D_{M/2,min} = \frac{0.182675}{2}$$

$$D_{M/2,min} = \frac{0.090952}{2}$$

$$D_{M/2,min} = 0.091 \text{ m}$$

$$D_{M/2,max} = 0.045 \text{ m}$$

Cálculo del 50% de desplazamientos máximos

$$D_{TM/2} = \frac{D_{TM \text{ min,max}}}{2}$$

$$D_{TM/2,min} = \frac{0.188}{2}$$

$$D_{TM/2,max} = \frac{0.093}{2}$$

$$D_{TM/2,min} = 0.094 \text{ m}$$

$$D_{TM/2,max} = 0.047 \text{ m}$$

36. Peso Sísmico

$$R_s = W * g$$

$$R_s = 5042.42 \text{ Tn} * 9.81$$

$$R_s = 49449.24 \text{ kN}$$

37. Resistencia del Sistema

$$R_s = \frac{Q_{dmin,max}}{W}$$

$$R_{s,min} = \frac{1802.09 \text{ kN}}{49449.24 \text{ kN}}$$

$$R_{s,max} = \frac{1802.09 \text{ kN}}{49449.24 \text{ kN}}$$

$$R_{s,min} = 0.036$$

$$R_{s,max} = 0.082$$

38. Área reducida (A_R)

$$A_R = A_A * 2 * \frac{\left[D_e^2 * \arcsen\left(\frac{\sqrt{D_e^2 - D_{TM}^2}}{D_e}\right) - D_{TM} * \sqrt{D_e^2 - D_{TM}^2} \right]}{\pi D_e^2}$$

Donde:

- A_R: Área reducida
- A_A: Área del aislador
- D_{eA}: Diámetro del aislador sin contar la cobertura del caucho exterior.
- D_{TM}: Desplazamiento total de la estructura aislada, considerando excentricidad accidental

Nota: Esta ecuación se debe calcular en radianes.

$$A_{Rmin} = 0.385m^2 * 2 * \frac{\left[0.70^2 * \arcsen\left(\frac{\sqrt{0.70^2 - 0.188^2}}{0.70}\right) - 0.188 * \sqrt{0.70^2 - 0.188^2} \right]}{\pi * 0.70^2}$$

$$A_{Rmax} = 0.385m^2 * 2 * \frac{\left[0.70^2 * \arcsen\left(\frac{\sqrt{0.70^2 - 0.093^2}}{0.70}\right) - 0.188 * \sqrt{0.70^2 - 0.093^2} \right]}{\pi * 0.70^2}$$

$$A_{Rmin} = 0.26 m^2$$

$$A_{Rmax} = 0.32 m^2$$

39. Peso Crítico Resistente (Carga puntual vertical)

El peso crítico es la carga máxima que puede resistir el aislador, la cual debe ser mayor a la máxima carga gravitacional última de la estructura.

$$P_{critico} = \frac{\pi}{8} * G_r * S_1 * \frac{D_e}{N * t_r} * A_R$$

Donde:

- G_r: Módulo de corte de la goma o caucho natural en tn/m².
G_r= 0.385N/mm² = 39.259 tn/m²
- S₁: Factor de forma del aislador
- D_{eA}: Diámetro del aislador sin contar la cobertura del caucho exterior en metros
- N: Número de capas de la goma o caucho
- t_r: Espesor de cada capa de goma o caucho en metros
- A_r: Área reducida en m²

$$P_{critico,min} = \frac{\pi}{8} * 39.259 \text{ tn/m}^2 * 37.23 * \frac{0.70m^2}{36 * 0.0047m} * 0.26m^2$$

$$P_{critico,max} = \frac{\pi}{8} * 39.259 \text{ tn/m}^2 * 37.23 * \frac{0.70m^2}{36 * 0.0047m} * 0.32m^2$$

$$P_{critico,min} = 605.66 \text{ Tn}$$

$$P_{critico,max} = 759.04 \text{ Tn}$$

40. Deformación por Corte

La deformación por corte no debe superar el valor de 2.50, caso contrario se deberá aumentar el espesor de la goma o el diámetro del aislador.

$$\gamma_D = \frac{D_{Mmin,max}}{h_r} \leq 2.50$$

$$\gamma_{D,min} = \frac{91.34mm}{141mm} \leq 2.50$$

$$\gamma_{D,max} = \frac{45.48mm}{141} \leq 2.50$$

$$\gamma_{D,min} = 0.65 \leq 2.50 \text{ ok}$$

$$\gamma_{D,max} = 0.32 \leq 2.50 \text{ ok}$$

41. Módulo elástico del aislador

f = Valor que depende del fabricante. Se recomienda un valor de $f=4.0$

G_r : Módulo de corte de la goma o caucho natural en tn/m^2 .

$$G_r = 0.385 \text{ N/mm}^2 = 39.259 \text{ tn/m}^2$$

$$E_o = f * G$$

$$E_o = 4 * 39.259 \text{ tn/m}^2$$

$$E_o = 157.036 \text{ tn/m}^2$$

42. Módulo elástico del aislador

$$E_c = E_o * (1 + 2kS^2)$$

$$E_c = 157.036 \text{ tn/m}^2 * (1 + 2 * 0.85 * 37.23^2)$$

$$E_c = 370265.78 \text{ tn/m}^2$$

43. Deformación por corte debido a compresión

Mediante el software de cálculo se determina la carga gravitacional mayorada, de acuerdo al siguiente detalle:

Figura 38. Cargas gravitacionales mayoradas

258.47	373.55	379.78	355.12	324.5	229.57
344.19	544.5	542.41	502.97	457.98	304.4
330.15	528.61	476.45	112.03458.45	345.43	240.21
328.89	537.2	432.08	65.51 12.23 28.47 0.85 1.51 0.21 0.64 2.24	316.3	211.26
319.46	521.16	490.22	434.79	344.7	234.21
231.89	345.22	315.77	275.96	242.22	185.31

Fuente: Elaboración autónoma, 2022

A través del programa se ha obtenido el valor de la carga puntual máxima que actúa en la estructura, siendo el valor de: $P_u=544.50$ Tn

$$\gamma_c = \frac{6 * P_u * S_1}{E_c * A_{Rmin,max}}$$

$$\gamma_{c,min} = \frac{6 * 544.50 \text{ tn} * 37.23}{370265.78 \text{ tn/m}^2 * 0.26 \text{ m}^2}$$

$$\gamma_{c,max} = \frac{6 * 544.50 \text{ tn} * 37.23}{370265.78 \text{ tn/m}^2 * 0.32 \text{ m}^2}$$

$$\gamma_{c,min} = 1.29$$

$$\gamma_{c,max} = 1.03$$

44. Deformación por corte debido a deformación angular, γ_θ

$$\gamma_\theta = \frac{0.375 * D_{eA}^2 * \theta}{t_r * H_r}$$

Donde:

D_{eA} : Diámetro del aislador

θ : Deformación angular, $\theta \geq 0.003$

t_r : Espesor de la capa de goma o caucho.

H_r : Altura total de la capa de goma o caucho

$$\gamma_{\theta} = \frac{0.375 * (0.70m)^2 * 0.003}{0.0047m * 0.141m}$$

$$\gamma_{\theta} = 1.19$$

45. Deformación total por corte γ_T

La sumatoria total de las deformaciones calculadas deben ser menor a 6, caso contrario se deberá aumentar el diámetro del aislador.

$$\gamma_{Tmin,max} = \gamma_D + \gamma_{cmin,max} + \gamma_{\theta}$$

$$\gamma_{Tmin} = 0.65 + 1.29 + 1.19$$

$$\gamma_{max} = 0.32 + 1.03 + 1.19$$

$$\gamma_{Tmin} = 3.12 < 6 \text{ ok}$$

$$\gamma_{Tmax} = 2.54 < 6 \text{ ok}$$

46. Verificación de la fuerza restauradora

Como parte de la verificación de la fuerza restauradora es necesario aplicar las siguientes ecuaciones preliminares:

46.1. Fuerza al desplazamiento total (F_{ap})

$$F_{ap \ min,max} = Q_{dmin,max} + K_{dmin,max} * D_{Mmin,max}$$

$$F_{ap \ min} = 50.06 \text{ kN} + 823.51 \text{ kN/m} * 0.183m$$

$$F_{ap \ max} = 112.63 \text{ kN} + 2132.78 \text{ kN/m} * 0.091m$$

$$F_{ap \ min} = 200.492 \text{ kN}$$

$$F_{ap \ max} = 306.611 \text{ kN}$$

46.2. Factor de corrección a la rigidez Post-Fluencia, $CK_{d0.5}$

Deformación por Corte, deformación $\gamma_{D0.5min} = 0.65$

Deformación por Corte, deformación $\gamma_{D0.5max} = 0.32$

$$C_{Kd0.5} = 0.779\gamma^{-0.43} \quad \text{Cuando: } \gamma < 0.25$$

$$C_{Kd0.5} = \gamma^{-0.25} \quad \text{Cuando: } 0.25 \leq \gamma < 1$$

$$C_{Kd0.5} = \gamma^{-0.12} \quad \text{Cuando: } 1 \leq \gamma < 2.5$$

Cuando: $0.25 \leq 0.65 < 1$; Por lo tanto: $C_{Kd0.5min} = 0.65^{-0.25}$

$$C_{Kdmin} = 1.11$$

Cuando: $0.25 \leq 0.32 < 1$; Por lo tanto: $C_{Kdmax} = 0.32^{-0.25}$

$$C_{Kd0.5m\acute{a}x} = 1.33$$

46.3. Factor de corrección a la resistencia característica

$$\begin{aligned} C_{Qd0.5} &= 2.036\gamma^{0.41} && \text{Cuando: } \gamma \leq 0.1 \\ C_{Qd0.5} &= 1.106\gamma^{0.145} && \text{Cuando: } 0.1 < \gamma < 0.5 \\ C_{Qd0.5} &= 1 && \text{Cuando: } 0.5 \leq \gamma \end{aligned}$$

Como: $0.5 \leq 0.65$; por lo tanto $C_{Q0.5dmin} = 1$

$$C_{Q0.5dmin} = 1.00$$

$$C_{Q0.5dm\acute{a}x} = 0.94$$

46.4. Resistencia Característica, $Q_{d0.5}$

$$Q_{d0.5min,max} = C_{Qd0.5min,max} * \sigma_{pbm} * A_p$$

$$Q_{d0.5min} = 1.00 * 6.37N/mm^2 * 7853.98mm^2$$

$$Q_{d0.5max} = 1.00 * 14.34N/mm^2 * 7853.98mm^2$$

$$Q_{d0.5min} = 50.06 \text{ kN}$$

$$Q_{d0.5max} = 105.72 \text{ kN}$$

46.5. Rigidez al 50% de Postfluencia, $K_2(0.5) = K_d(0.5)$

$$K_{2(0.5)} = K_{d(0.5)} = C_{Kdmin,max} * (K_{rmin,max} + K_{pmin,max})$$

$$K_{2,min(0.5)} = K_{d,min(0.5)} = 1.11 * (823.51773 + 25.979412) \text{ kN/m}$$

$$K_{2,max(0.5)} = K_{d,max(0.5)} = 1.33 * (1852.9149 + 58.453676) \text{ kN/m}$$

$$K_{2, min} = 946.90 \text{ kN/m}$$

$$K_{2, m\acute{a}x} = 2536.32 \text{ kN/m}$$

46.6. Desplazamientos Totales, $DM_{0.5}$

$$DM_{0.5} = \frac{DM_{min,max}}{2}$$

$$DM_{0.5min} = \frac{182.675}{2} = 91.34 \text{ mm}$$

$$DM_{0.5max} = \frac{90.952}{2} = 45.48mm$$

46.7. Fuerza al desplazamiento total (Fap)

$$F_{ap\ min,max} = Q_{d0.5min,max} + K_{d0.5min,max} * D_{M0.5min,max}$$

$$F_{ap0.5\ min} = 50.06\ kN + 946.90\ kN/m * 0.09134m$$

$$F_{ap0.5\ max} = 105.72\ kN + 2536.32\ kN/m * 0.04548m$$

$$F_{ap0.5\ min} = 136.55\ kN$$

$$F_{ap0.5\ max} = 221.06\ kN$$

46.8. Diferencia de fuerzas de desplazamiento

$$\Delta_{min,max} = F_{ap\ min,max} - F_{ap0.5\ min,max}$$

$$\Delta_{min} = 200.492 - 136.55 = 63.95\ kN$$

$$\Delta_{max} = 306.611 - 221.06 = 85.55\ kN$$

46.9. Carga de aislador al 2.5%

$$W_{0.025} = 0.025 * \frac{W * g}{N}$$

$$W_{0.025} = 0.025 * \frac{5042.4195\ tn * 9.81}{36}$$

$$W_{0.025} = 34.34\ kN$$

46.10. Chequeo

$$\Delta_{min,max} \geq W_{0.025}$$

$$63.95kN \geq 34.34kN\ Ok$$

$$85.55kN \geq 34.34kN\ Ok$$

47. Verificación de la relación entre el área reducida y el área efectiva

47.1. Factor ζ para Área Reducida

$$\zeta = \sqrt{D_o^2 - D_{Mmin,max}^2}$$

$$\zeta_{min} = \sqrt{700^2 - 182.675^2} = 675.74$$

$$\zeta_{max} = \sqrt{700^2 - 90.952^2} = 694.07$$

47.2. Área Reducida

$$A_R = 0.5 * \left(D_o^2 * \text{ArcSen} \left(\frac{\zeta}{D_o} \right) - D_M * \zeta \right)$$

$$A_{Rmin} = 0.5 * \left(700^2 * \text{ArcSen} \left(\frac{675.74}{700} \right) - 182.675 * 675.74 \right)$$

$$A_{Rmax} = 0.5 * \left(700^2 * \text{ArcSen} \left(\frac{694.07}{700} \right) - 90.952 * 694.07 \right)$$

$$A_{Rmin} = 258439.45$$

$$A_{Rmax} = 321358.38$$

47.3. Relación A_R/A

Este valor no debe ser menor al 25%, sin embargo, se recomienda que en lo posible supere el 30%, con la finalidad de garantizar el diseño.

$$\frac{A_{Rmin,max}}{A} \leq 25\%$$

$$A_{Rmin}/A = \frac{258439.45}{377000.00} \leq 25\%$$

$$68.55\% \leq 25\% \text{ **Ok**}$$

$$A_{Rmax}/A = \frac{321358.38}{377000.00} \leq 25\%$$

$$85.24\% \leq 25\% \text{ Ok}$$

48. Verificación de las deformaciones por corte

48.1. Deformación por desplazamiento No Sísmico (5%DM), Δ_s

$$\Delta_{smin,max} = 0.05 * DM_{min,max}$$

$$\Delta_{smin} = 0.05 * 182.675mm = 9.133mm$$

$$\Delta_{smax} = 0.05 * 90.952mm = 9.547mm$$

48.2. Deformación por Corte debido al Desplazamiento No Sísmico

$$\epsilon_{s,eq min,max} = \frac{\Delta_{smin,max}}{h_r}$$

$$\epsilon_{s,eq min} = \frac{9.133 \text{ mm}}{141 \text{ mm}} = 0.06$$

$$\epsilon_{s,eq max} = \frac{4.548 \text{ mm}}{141 \text{ mm}} = 0.03$$

48.3. Rotación de Diseño por Efectos de DL, LL y construcción, ϵ_r

Para la aplicación de esta ecuación se considera la rotación de construcción cuyo valor se recomienda un coeficiente de $\theta = 0.01$.

$$\epsilon_{r min,max} = \frac{0.375 * D_o^2 * \theta}{(t_r * h_r)}$$

$$\epsilon_{r min} = \frac{0.375 * 700^2 * 0.01}{4.70 * 141} = 2.773$$

$$\epsilon_{r max} = \frac{0.375 * 700^2 * 0.01}{4.70 * 141} = 2.773$$

48.4. Chequeo

Para el chequeo se aplica la siguiente ecuación:

$$\epsilon_{s,eq min} + 0.5\epsilon_{r min} \leq 5.5$$

$$0.06 + 0.5 * 2.773 \leq 5.5$$

$$1.451 \leq 5.5 \text{ ok}$$

$$\varepsilon_{s,eq \max} + 0.5\varepsilon_{r \max} \leq 5.5$$

$$0.03 + 0.5 * 2.773 \leq 5.5$$

$$1.419 \leq 5.5 \text{ ok}$$

49. Momento de Inercia

$$I = \frac{\pi * D_0^4}{64}$$

$$I = \frac{\pi * 0.70^4}{64}$$

$$I = 0.011785881 \text{ kN/m}$$

50. Área de bucle de histéresis

$$A_{h \min,max} = 4 * Q_{dmin,max} * (D_{Mmin,max} - D_{ymin,max})$$

$$A_{hmin} = 4 * 50.06 * (0.183 - 0.00507) = 35.563 \text{ kN} - m$$

$$A_{hmax} = 4 * 112.63 * (0.091 - 0.00440) = 38.993 \text{ kN} - m$$

50.1 Amortiguamiento equivalente por aislamiento

$$B_{eq \min,max} = \frac{A_{hmin,max}}{(2 * \pi * K_{eqmin,max} * DM_{min,max}^2)}$$

$$B_{eq,min} = \frac{35.563}{(2 * \pi * 1097.54 * 0.183^2)} = 0.155$$

$$B_{eq,max} = \frac{38.993}{(2 * \pi * 3371.14 * 0.091^2)} = 0.222$$

51. Amortiguamiento efectivo real (U2, U3)

$$B_{effreal \min,max} = B_{eq \min,max} - 0.05$$

$$B_{effreal,min} = 0.155 - 0.05 = 0.105$$

$$B_{effreal,max} = 0.223 - 0.05 = 0.173$$

52. Rigidez efectiva (U1)

$$K_{eq (U1) \min,max} = K_{eq \min,max} * 1000$$

$$K_{eq (U1) \min} = 1097.54 * 1000 = 1097535.07$$

$$K_{eq (U1) \max} = 3371.14 * 1000 = 3371137.21$$

4.6.4. Resumen de Datos Obtenidos

A continuación, se presenta una tabla con los resultados que fueron calculados en la etapa de diseño de aisladores

TABLA 40. DATOS DE LA ESTRUCTURA

DATOS DE LA ESTRUCTURA			
Descripción	Límite		Unidades
	Inferior	Superior	
Aceleración periodos cortos 0.1s S_s =	0.930		g
Aceleración periodos largos 1s S_1 =	0.210		g
Coefficiente de sitio en periodos cortos F_a =	1.128		-
Coefficiente de sitio en periodos largos F_v =	2.180		-
Peso sísmico W =	5042.420		Tn
Peso efectivo sísmico W_s =	7256.380		Tn
Factor de importancia I_e =	1.000		-
Factor R =	8.000		-
Período de vibración de la estructura T =	0.953		s
Longitud total mayor en planta d =	30.000		m
Longitud total menor en planta b =	28.060		m
Excentricidad centro de masas y rigideces e_{real} =	2.903		m
Excentricidad accidental 5% =	1.500		m
Radio de giro aislamiento en conjunto=	3.423		-
Relación del período de traslación PT =	4.122		-
Amortiguamiento objetivo $\beta_{eff,min}$ =	0.186		-
$B_{min}=45.6-\ln\beta_{eff,min}$ B_{min} =	1.495		-
Amortiguamiento objetivo $\beta_{eff,max}$ =	0.231		-
$B_{max}=45.6-\ln\beta_{eff,max}$ B_{max} =	1.626		-
Período objetivo T_{min} =	2.400		s
Período objetivo T_{max} =	1.300		s
Carga Puntual Máxima Mayorada (1.2D+1.6L) (P_u)=	544.500		Tn
$\lambda(ae,max)$ =	1.100		-
$\lambda(ae,min)$ =	1.000		-
$\lambda(test,max)$ =	1.150		-
$\lambda(test,min)$ =	1.000		-
$\lambda(spec,max)$ =	1.100		-
$\lambda(spec,min)$ =	0.900		-
Factor de Modificación de Propiedades =	0.800	1.800	-
Desplazamientos máximos =	0.458		g
Desplazamientos Totales, DM =	0.183	0.091	m
Desplazamientos Totales, DM =	182.675	90.952	mm
y =	15.000		m
e =	4.403		m
Desplazamientos Totales, DTM =	0.188	0.093	m
Desplazamientos Totales, DTM =	187.724	93.466	mm

DATOS DE LA ESTRUCTURA			
Descripción	Límite		Unidades
	Inferior	Superior	
DTM,min / DM,min ≥ 1.15	1.028	1.028	-
DTM,máx / DM,máx ≥ 1.15	1.150	1.150	-

Fuente: Elaboración autónoma, 2022

TABLA 41. DATOS DEL AISLADOR

PREDISEÑO DIÁMETRO AISLADOR		
Diámetro del aislador $1.25 \cdot DM_{max} =$	0.235	m

DATOS AISLADOR SELECCIONADO			
Descripción	Límite		Unidades
	Inferior	Superior	
Cantidad de Aisladores =	36.000		u
Diámetro Exterior del Aislador, $D_0 =$	700.000		mm
Área del aislador $A =$	384845.100		mm ²
Área del aislador $A =$	596.511		plg ²
Módulo de Corte de la Goma, G_r (para LRB) =	0.385		N/mm ²
Espesor de cada Capa de Goma, $t_r =$	4.700		mm
Número de Capas de Goma =	30.000		-
Espesor Total de la Goma, $h_r =$	141.000		mm
Altura Total del aislador incluyendo claces de acero =	286.900		mm
Módulo Aparente de Corte del Plomo, α_p (LRB) =	0.583		N/mm ²
Peso del Aislador =	6.500		kN
Área Efectiva en el Plano, $A =$	377000.000		mm ²
Diámetro efectivo del Núcleo de Plomo =	100.000		mm
Área efectiva del Núcleo de Plomo, $A_p =$	7853.982		mm ²
Esfuerzo Corte en Fluencia Núcleo de Plomo, $\sigma_{pb} =$	7.967		N/mm ²
Módulo de Young, $E =$	2.200		N/mm ²
Módulo Volumétrico, $E_\infty =$	1176.000		N/mm ²
Factor de Corrección de E por Rugosidad, $k =$	0.850		-
Factor de Corrección Módulo de Young, α_V (LDR) =	1.230		-
Relación de rigidez inicial a la rigidez postfluencia $B =$	13.000		-

Fuente: Elaboración autónoma, 2022

TABLA 42. CÁLCULOS EFECTUADOS

CÁLCULOS EFECTUADOS			
Descripción	Límite		Unidades
	Inferior	Superior	
Primer Factor de Forma del Material, S1 (Método 1)=	37.234		-
Primer Factor de Forma del Material, S1 (Método 2) =	36.474		-
Segundo Factor de Forma del Material, S2 =	4.965		-
Cálculo de la deformación por Corte, Y =	1.296	0.645	-
Verificación	OK	OK	-
Esfuerzo de Corte en Fluencia del Núcleo de Plomo Modificado =	6.374	14.341	N/mm ²
Factor de Corrección a la Rigidez Post-fluencia, CKd (para LRB) =	0.969	1.116	-
Factor de Corrección a la Resistencia Característica, CQd (para LRB) =	1.000	1.000	-
Rigidez al Corte de la GomaLaminada, Kr (para LDR) =	823.518	1852.915	kN/m
Rigidez al Corte Adicional por el Núcleo de Goma, Kp (para LDR) =	25.979	58.454	kN/m
Rigidez Postfluencia, K2 =	823.506	2132.781	kN/m
Aporte a la Rigidez Postfluencia Total =	29646.220	76780.122	kN/m
Resistencia Característica, Qd =	50.058	112.631	kN
Aporte a la Resistencia Característica Total =	1802.093	4054.709	kN
Rigidez Equivalente al Corte, Keq	1097.535	3371.137	kN/m
Aporte a la Rigidez Efectiva Total keq total	39511.263	121360.939	kN/m
Rigidez Inicial, K1 =	10705.579	27726.155	kN/m
Aporte a la Rigidez Inicial Total =	385400.861	998141.589	kN/m
Relación de Amortiguamiento Equivalente, Heq(Y) o β =	0.155	0.223	-
Energía por Ciclo, ΔW =	194680.120	428724.306	kN-mm
Energía por Ciclo, ΔW =	194.680	428.724	kN-m
Desplazamiento de Fluencia, Dy =	0.005	0.004	m
Desplazamiento de Fluencia, Dy =	5.066	4.401	mm
Fuerza de Fluencia, Fy =	54.230	122.017	kN
Fuerza en el Asiento de Apoyo F_{ap} =	200.492	306.611	kN
Factor B amortiguamiento equivalente=	1.398	1.602	-
Módulo de Compresión Efectivo, EC =	958.662		N/mm ²
Rigidez a Compresión Vertical, KV =	3218454.098		kN/m
Aporte a la Rigidez a Compresión Vertical Total =	115864347.515		kN/m
Masa por cada Aislador (por Tipo) =	140.019		kN-s ² /m
Periodo Efectivo =	2.244	1.281	s
Amortiguamiento =	81.964	237.085	kN-s/m
Sa =	0.146	0.223	g

CÁLCULOS EFECTUADOS			
Descripción	Límite		Unidades
	Inferior	Superior	
Sd =	0.183	0.091	m
Sd =	182.675	90.952	mm
Convergencia =	1.000	1.000	-

Fuente: Elaboración autónoma, 2022

TABLA 43. CÁLCULOS ADICIONALES

CÁLCULOS ADICIONALES			
Parámetros	Límite		Unidades
	Inferior	Superior	
Masa Sísmica Total =	5042.420		kN-s ² /m
Peso Sísmico Total =	49449.244		kN
Peso por cada Aislador (por Tipo)	1373.590		kN
Masa por cada Aislador (por Tipo)=	140.019		kN-s ² /m
Factor de Modificación de Propiedades para Goma =	0.800	1.800	
Resistencia Característica, Qd =	50058.137	112630.809	N
Aporte a la Energía por Ciclo = ΔW total	7008484.313	15434075.023	kN-mm
Número Total de Aisladores =	36.000		-
Rigidez Efectiva Total del Sistema (para FDD)=	39511.263	121360.939	kN/m
Rigidez Efectiva Total del Sistema (para F0.5DD)=	19755.631	60680.470	kN/m
Energía Total por Ciclo =	7008484.313	15434075.023	kN-mm
Rigidez a Compresión Vertical Total del Sistema =	3218454.098		kN/m
Resistencia Característica Total (Qd) =	1802.093	4054.709	kN
Rigidez Inicial Total (K1) =	385400.861	998141.589	kN/m
Rigidez Post-elástica Total (K2) =	29646.220	76780.122	kN/m
Relación del Amortiguamiento Efectivo Total, β =	0.155	0.223	-
Factor B Total =	1.398	1.602	-
Peso Sísmico =	49449.244		kN
Masa Sísmica =	5042.420		kN-s ² /m
Resistencia del Sistema (Qd /W) =	0.036	0.082	
Periodo Efectivo =	2.244	1.281	s
Amortiguamiento =	81.964	237.085	kN-s/m

Fuente: Elaboración autónoma, 2022

TABLA 44. CÁLCULOS AL 50% DE DESPLAZAMIENTOS

CÁLCULO AL 50% DE DESPLAZAMIENTOS			
Parámetro	Límite		Unidades
	Inferior	Superior	
Cantidad de Aisladores =	36.000		mm
Área efectiva del Núcleo de Plomo, A_p =	7853.982		mm ²
Esfuerzo de Corte en Fluencia del Núcleo de Plomo, σ_{pb} =	7.967		-
Factor de Modificación de Propiedades para el Plomo =	0.800	1.800	-
Esfuerzo de Corte en Fluencia del Núcleo de Plomo Modificado =	6.374	14.341	N/mm ²
Desplazamientos Totales, $DM_{0.5}$ =	91.337	45.476	mm
Desplazamientos Totales, $DTM_{0.5}$ =	93.862	46.733	mm
Factor de Corrección a la Rigidez Post-fluencia, CK_d (para LRB) =	1.115	1.327	-
Factor de Corrección a la Resistencia Característica, CQ_d (para LRB) =	1.000	0.939	-
Factor de Modificación de Propiedades para Goma =	0.800	1.800	-
Relación de Amortiguamiento Equivalente, $Heq(Y)$ o β =	0.222	0.281	N/mm ²
Rigidez al Corte de la Goma Laminada, K_r (para LDR) =	823.518	1852.915	kN/m
Rigidez al Corte Adicional por el Núcleo de Goma, K_p (para LDR) =	25.979	58.454	kN/m
Rigidez Equivalente al Corte, Keq =	1494.959	4861.047	kN/m
Rigidez Postfluencia, $K_2(0.5) = K_d(0.5)$ =	946.901	2536.319	kN/m
Aporte a la Rigidez Postfluencia Total =	34088.441	91307.468	kN/m
Rigidez Inicial, K_1 =	12309.715	32972.141	kN/m
Aporte a la Rigidez Inicial Total =	443149.736	1186997.080	kN/m
Resistencia Característica, Q_d =	50.058	105.719	kN
Aporte a la Resistencia Característica Total =	1802.093	3805.892	kN
Energía por Ciclo, ΔW =	190574.815	390576.942	kN-mm
Desplazamiento de Fluencia, D_y =	4.405	3.474	mm
Fuerza de Fluencia, F_y =	54.230	114.529	kN
Fuerza en el Asiento de Apoyo $F_{ap0.5}$ =	136.546	221.061	kN
Factor B =	1.600	1.767	-
Aporte a la Rigidez Efectiva Total =	53818.526	174997.690	kN/m
Aporte a la Energía por Ciclo =	6860693.353	14060769.924	kN-mm

Fuente: Elaboración autónoma, 2022

TABLA 45. CÁLCULOS AL 50% DE DESPLAZAMIENTOS

CÁLCULO AL 50% DE DESPLAZAMIENTOS			
Parámetros	Límite		Unidades
	Inferior	Superior	
Cantidad de Aisladores =	36.000		mm
Área efectiva del Núcleo de Plomo, A_p =	7853.982		mm ²
Esfuerzo de Corte en Fluencia del Núcleo de Plomo, σ_{pb} =	7.967		-
Factor de Modificación de Propiedades para el Plomo =	0.800	1.800	-
Esfuerzo de Corte en Fluencia del Núcleo de Plomo Modificado =	6.374	14.341	N/mm ²
Desplazamientos Totales, $DM_{0.5}$ =	91.337	45.476	mm
Desplazamientos Totales, $DTM_{0.5}$ =	93.862	46.733	mm
Factor de Corrección a la Rigidez Post-fluencia, CK_d (para LRB) =	1.115	1.327	-
Factor de Corrección a la Resistencia Característica, CQ_d (para LRB) =	1.000	0.939	-
Factor de Modificación de Propiedades para Goma =	0.800	1.800	-
Relación de Amortiguamiento Equivalente, $Heq(Y)$ o β =	0.222	0.281	N/mm ²
Rigidez al Corte de la Goma Laminada, K_r (para LDR) =	823.518	1852.915	kN/m
Rigidez al Corte Adicional por el Núcleo de Goma, K_p (para LDR) =	25.979	58.454	kN/m
Rigidez Equivalente al Corte, Keq =	1494.959	4861.047	kN/m
Rigidez Postfluencia, $K_2(0.5) = K_d(0.5)$ =	946.901	2536.319	kN/m
Aporte a la Rigidez Postfluencia Total =	34088.441	91307.468	kN/m
Rigidez Inicial, K_1 =	12309.715	32972.141	kN/m
Aporte a la Rigidez Inicial Total =	443149.736	1186997.080	kN/m
Resistencia Característica, Q_d =	50.058	105.719	kN
Aporte a la Resistencia Característica Total =	1802.093	3805.892	kN
Energía por Ciclo, ΔW =	190574.815	390576.942	kN-mm
Desplazamiento de Fluencia, D_y =	4.405	3.474	mm
Fuerza de Fluencia, F_y =	54.230	114.529	kN
Fuerza en el Asiento de Apoyo $F_{ap0.5}$ =	136.546	221.061	kN
Factor B =	1.600	1.767	-
Aporte a la Rigidez Efectiva Total =	53818.526	174997.690	kN/m
Aporte a la Energía por Ciclo =	6860693.353	14060769.924	kN-mm

Fuente: Elaboración autónoma, 2022

TABLA 46. VERIFICACIÓN DE DEFORMACIONES POR CARGAS GRAVITACIONALES

VERIFICACIÓN DE DEFORMACIONES POR CARGAS GRAVITACIONALES			
Descripción	Límite		Unidades
	Inferior	Superior	
Área Reducida (AR)	0.255	0.320	m ²
Carga gravitacional =	605.662	759.038	Tn
Deformación por Corte $YD = DM / hr < 2.50$	0.648	0.323	-
Verificación $YD < 2.50$	OK	OK	-
Factor de fabricación. Recomendado $f=4.0$	4.000		-
Modulo elástico del aislador $Eo=f*G$	157.036		Tn/m ²
$EC=Eo(1+2kS^2)$	370265.782		Tn/m ²
Def. por compresión $Yc=(6*P*S)/(Ec*AR)=$	1.288	1.028	-
Def. angular $\Theta \geq 0.003$ rad	0.003		rad
Def. angular $\gamma\Theta=(0.375*De^2*\Theta)/(tr*Hr)$	1.188		-
Def. total por corte (YT)	3.124	2.539	-
Verificación $(YT) \leq 6$	OK	OK	-

Fuente: Elaboración autónoma, 2022

TABLA 47. VERIFICACIÓN DE FUERZA RESTAURADORA

VERIFICACIÓN FUERZA RESTAURADORA			
Parámetro	Límite		Unidades
	Inferior	Superior	
Fuerza al 100% del Desplazamiento (F_{ap})=	200.492	306.611	kN
Fuerza al 50% del Desplazamiento ($F_{ap 0.5}$) =	136.546	221.061	kN
$(f_{ap} - f_{ap 0.5}) =$	63.946	85.551	kN
2.5% W por cada aislador =	34.340		kN
Verificación fuerza restauradora =	OK	OK	

Fuente: Elaboración autónoma, 2022

TABLA 48. VERIFICACIÓN ÁREA REDUCIDA Y ÁREA EFECTIVA

VERIFICACIÓN ÁREA REDUCIDA Y ÁREA EFECTIVA			
Parámetros	Límite		Unidades
	Inferior	Superior	
Área efectiva A=	675.744	694.066	-
Área Reducida para DM, Ar =	258439.455	321358.378	mm ²

Fuente: Elaboración autónoma, 2022

TABLA 49. VERIFICACIÓN DE DEFORMACIONES POR CORTANTES

VERIFICACIÓN DE DEFORMACIONES POR CORTANTES < 5.5			
Parámetros	Límite		Unidades
	Inferior	Superior	
Deformación debido al Desplazamiento No Sísmico (5%DM), $\Delta_s = DM*0,05$	9.134	4.548	-
Deformación por Corte debido al Desplazamiento No Sísmico, $\epsilon_{s,eq} = \Delta_s/hr$	0.065	0.032	-
Rotación de Diseño por Efectos de DL, LL y construcción, θ (dato)=	0.010	0.010	-
Rotación de Diseño por Efectos de DL, LL y construcción, $\epsilon_r = 0.375 * (D^2 * \theta)/(tr * hr)$	2.773	2.773	-
$\epsilon_{s,eq} + 0.5\epsilon_r \leq 5.5$	1.451	1.419	-
Verificación de deformaciones por cortantes =	OK	OK	-

Fuente: Elaboración autónoma, 2022

TABLA 50. DATOS DE AMORTIGUAMIENTO

DATOS DE AMORTIGUAMIENTO			
Parámetro	Límite		Unidades
	Inferior	Superior	
Área de bucle de Histéresis $A_h = 4 * Q_d * (DM - D_y)$	35.56311834	38.99328155	kN-m
Amortiguamiento equivalente por aislamiento $B_{eq} = A_h / (2\pi * K_{eff} * DM^2)$	0.155	0.223	
Amortiguamiento efectivo real $B_{effreal\ min,max} = B_{eq\ min,max} - 0.05$	0.105	0.173	
Rigidez efectiva U1 $K_{eq}(U1) = K_{eq} * 1000$	1097535.07	3371137.207	kN/m

Fuente: Elaboración autónoma, 2022

4.6.5. Datos Obtenidos Para Software Estructural

TABLA 51. DATOS OBTENIDOS EN DISEÑO DE AISLADORES PARA INGRESAR AL SOFTWARE DE CÁLCULO

DATOS OBTENIDOS EN DISEÑO DE AISLADORES PARA INGRESAR AL SOFTWARE DE CÁLCULO				
Parámetros	Límite		Unidades	Observaciones
	Inferior	Superior		
Tipo de aislador	LS070G4-E		-	
Número Total Aisladores:	36.000		u	
Tipo =	Elastomérico Núcleo de Plomo		-	
Masa (Tn) =	663.27		kg	
Peso (kN) =	6.500		kN	
Momento de Inercia $I = \pi(D_o)^4/64$; (U1)=	0.011785881		kN/m	

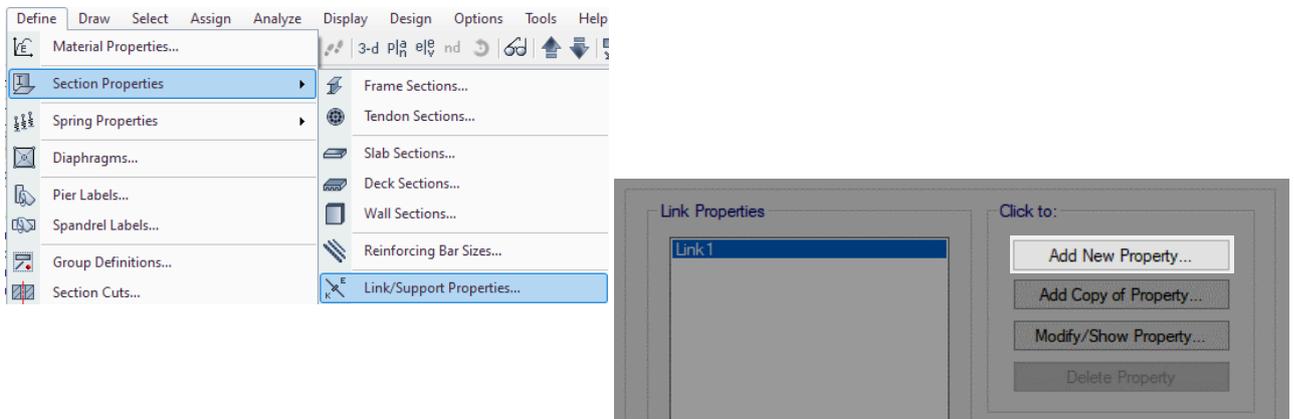
DATOS OBTENIDOS EN DISEÑO DE AISLADORES PARA INGRESAR AL SOFTWARE DE CÁLCULO				
Parámetros	Límite		Unidades	Observaciones
	Inferior	Superior		
Rigidez Efectiva (U1)(kN/m) =	1097535.07	3371137.21	kN/m	For U1 Effective Stiffness
Rigidez Efectiva (U2, U3)(kN/m) =	1097.54	3371.14	kN/m	For U2 & U3 Effective Stiffness
Amortiguamiento Efectivo (U2,U3) (kN-s/m) =	0.105	0.173	kN-s/m	For U2 & U3 Effective Damping
Desplazamiento de Fluencia, Dy (U2,U3)=	0.0051	0.0044	m	For U2 & U3 Distance from End-J
Rigidez (U2, U3) (kN/m) =	10705.58	27726.16	kN/m	For U2 & U3 Stiffness
Resistencia a la Fluencia (U2, U3) (kN) =	54.23	122.02	kN	Yield Straight
Relación de la Rigidez Post-Fluencia (U2, U3) =	0.0769	0.0769	K2/K1	Post Yield Stiffness Ratio
Rigidez Efectiva Vertical (U1)(kN/m) =	3218454.10		kN/m	

Fuente: Elaboración autónoma, 2022

4.6.6. Modelación De Aisladores En Software Estructural

Previo a cualquier ingreso de información es necesario mantener las unidades del Sistema Internacional (SI), ya que los datos obtenidos están preparados para ese sistema. Con los datos obtenidos en los cálculos de los parámetros anteriores, se ingresó en el software estructural para realizar el modelo correspondiente:

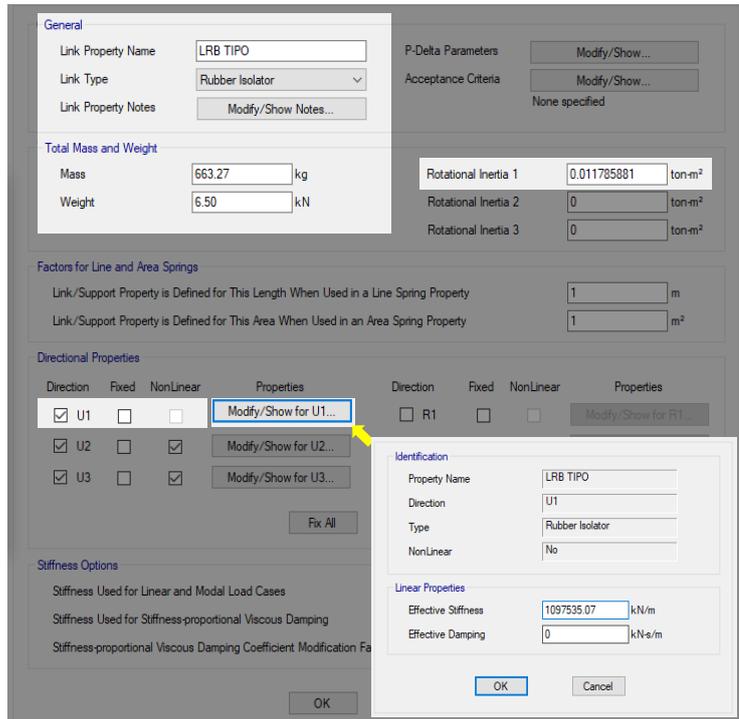
Figura 39. Definición de aislamiento



Fuente: Elaboración autónoma, 2022

Se realizó el ingreso de las propiedades del aislador

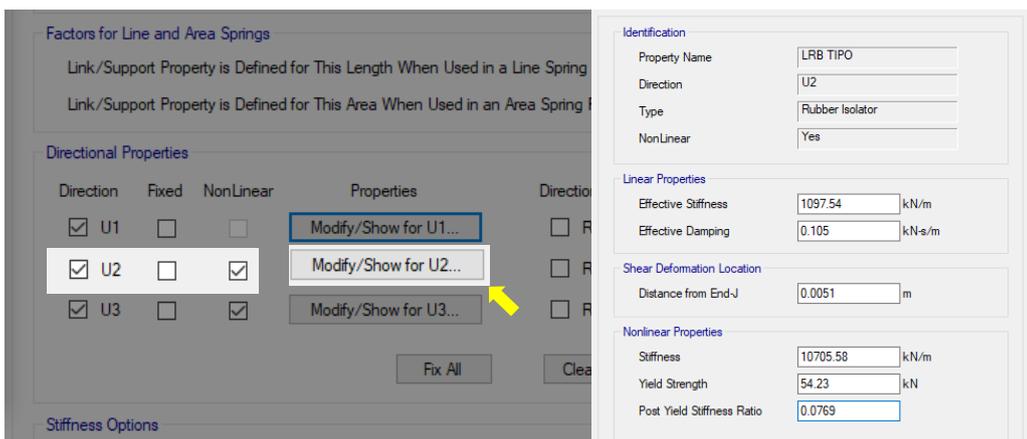
Figura 40. Ingreso de propiedades del aislador LRB (U1)



Fuente: Elaboración autónoma, 2022

De la misma manera se procede con la dirección U2

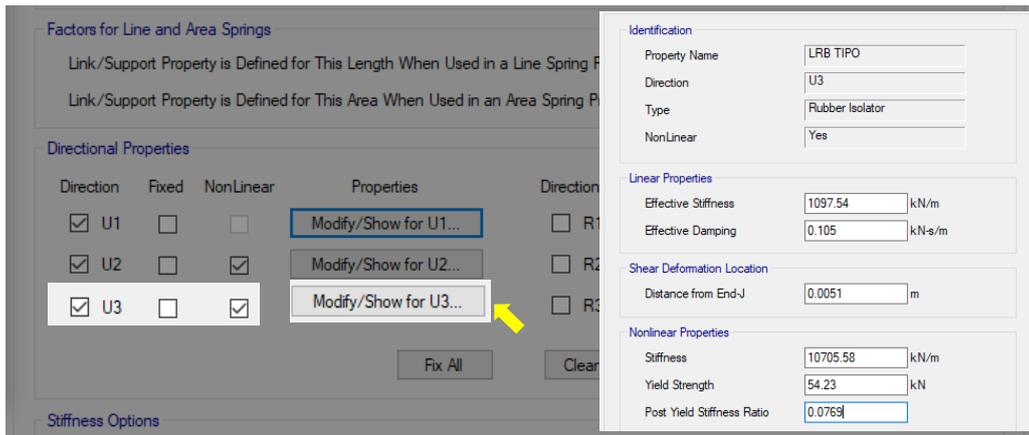
Figura 41. Ingreso de propiedades del aislador LRB (U2)



Fuente: Elaboración autónoma, 2022

Posteriormente se ingresó la información para la dirección U3 y se registró de esta manera los parámetros obtenidos en el diseño del aislador tipo.

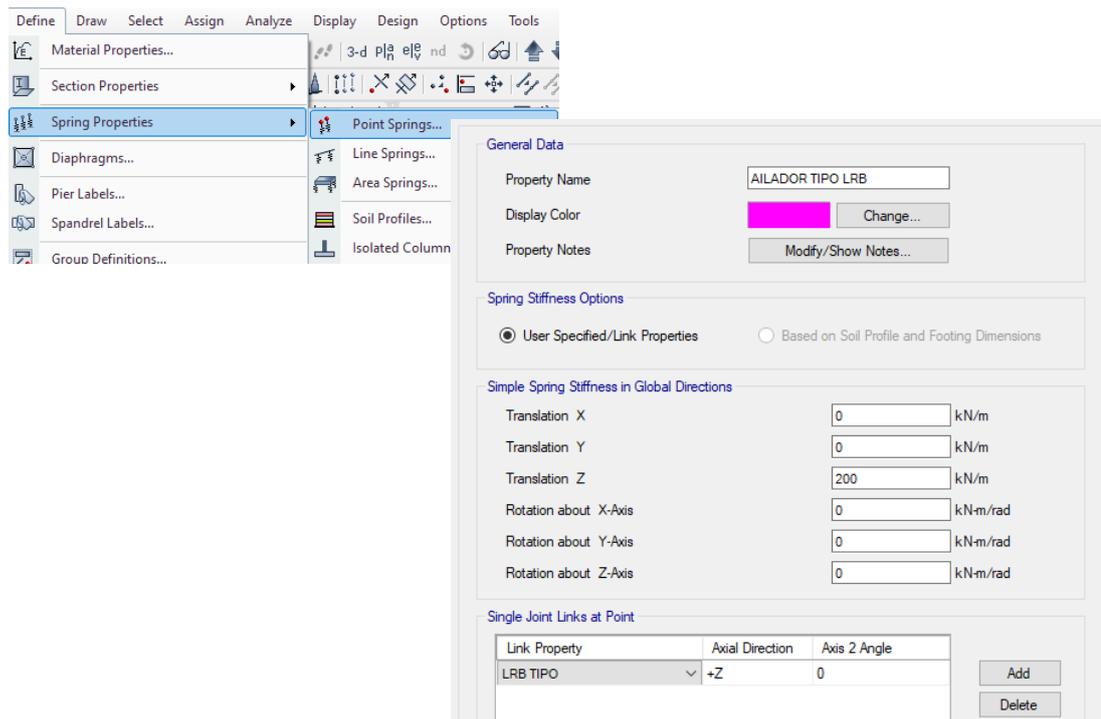
Figura 42. Ingreso de propiedades del aislador LRB (U3)



Fuente: Elaboración autónoma, 2022

Se creó los aisladores de acuerdo a las propiedades previamente definidas anteriormente.

Figura 43. Definición de propiedades del aislador



Fuente: Elaboración autónoma, 2022

Después se asignó todos los apoyos de la edificación, y se asignó las propiedades de los aisladores. Después se liberó restricciones en los apoyos, considerando la presencia de los aisladores sísmicos en la estructura

4.6.6.1. Análisis Dinámico No Lineal Tiempo-Historia

Con la finalidad de realizar un análisis tiempo – historia y determinar el comportamiento estructural de la edificación se registró un acelerograma debidamente escalado en el programa de cálculo y de esta manera determinar el comportamiento de la estructura ante el registro real, que para el caso se utilizó la base de datos del acelerógrafo para el sismo con epicentro en Pedernales ocurrido el 16 de abril de 2016. Como indica la normativa en el apartado 6.2.2 de la NEC-15, para los análisis tiempo – historia se deberán registrar no menos de 3 eventos sísmicos.

En el presente trabajo se ingresaron los registros de acelerogramas de los siguientes sismos:

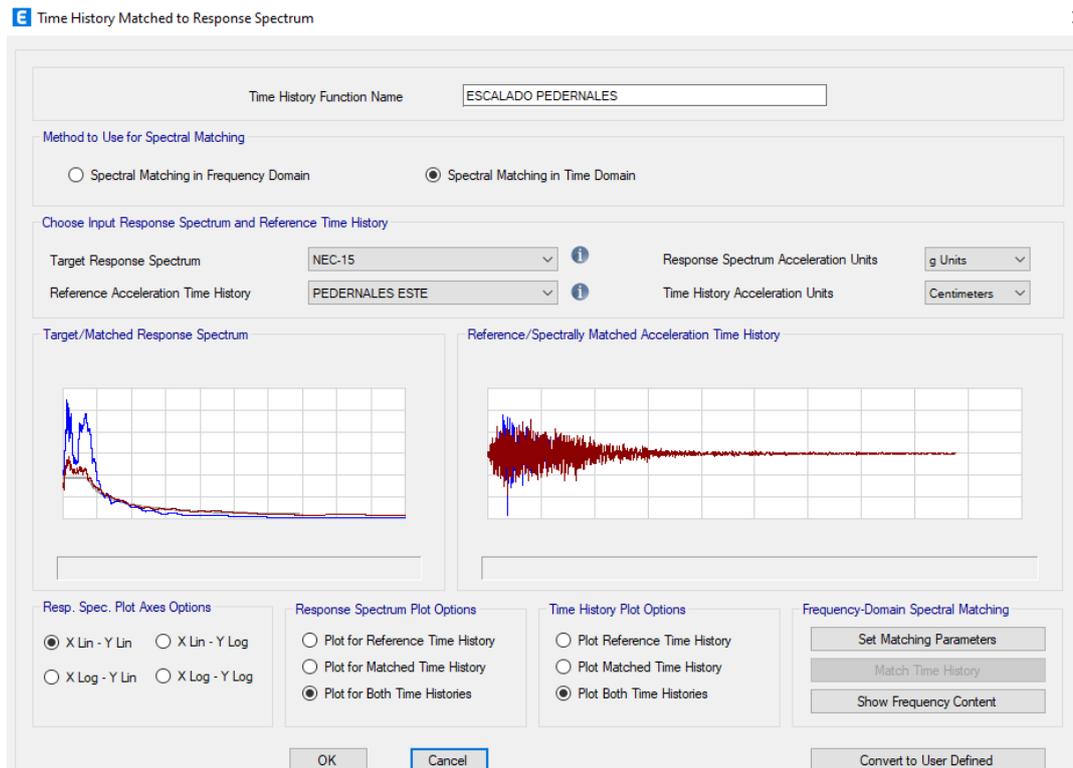
- Pedernales, 2016
- Cumandá, 2018
- Perú, 2021

Estos registros han sido tomados de los datos publicados por el Instituto Geofísico del Ecuador.

En Header Lines to Skip se ingresó 0 porque indica cuantas líneas va a obviar el programa, para tomar los datos desde la primera fila de la lista de datos. En números de puntos de línea se adecuó la lista de datos en una línea, de tal forma que por eso se ingresó 1. En Values at Equal Intervals of 0.01 se ingresó este valor porque es la separación de la muestra. Es decir, las mediciones del acelerógrafo es cada 0.01 segundos.

A continuación, se indica el registro del acelerograma escalado dentro del programa, este proceso se realizó para todos los registros en las 3 direcciones:

Figura 44. Ingreso del acelerograma de datos del Este



Fuente: Elaboración autónoma, 2022

Posteriormente se definió un nuevo caso de carga tiempo - historia. De la misma manera se realizó una creación de carga RITZ. Con el caso de carga de RITZ es necesario incluirle al tiempo historia para el análisis de la estructura

4.7. Diseño De Disipadores De Energía

Para realizar el diseño de los disipadores de energía es necesario determinar previamente la tabla de valores del periodo de vibración, para la estructura convencional una vez diseñada, ya que en tales condiciones se tomó de base el modelo para comparar el comportamiento con los disipadores, se tomaran en cuenta los tres primeros modos de vibración para el cálculo de los disipadores:

TABLA 52. PERÍODOS DE VIBRACIÓN EN ESTRUCTURA

Case	Mode	Period sec	UX	UY	UZ	RZ
ANALISIS MODAL	1	0.531	0.05	0.028	0	0.922
ANALISIS MODAL	2	0.224	0.003	0.972	0	0.026
ANALISIS MODAL	3	0.166	0.044	0.029	0	0.927

Fuente: Elaboración autónoma, 2022

Periodos Fundamentales:

T_x=0.531s - Traslacional

T_y=0.224s – Rotacional

T_z=0.166s – Traslacional

Como parte de la información requerida para el diseño de los disipadores es necesario los resultados de las cargas laterales, las cuales fueron obtenidas mediante el programa de cálculo.

TABLA 53. CARGAS LATERALES

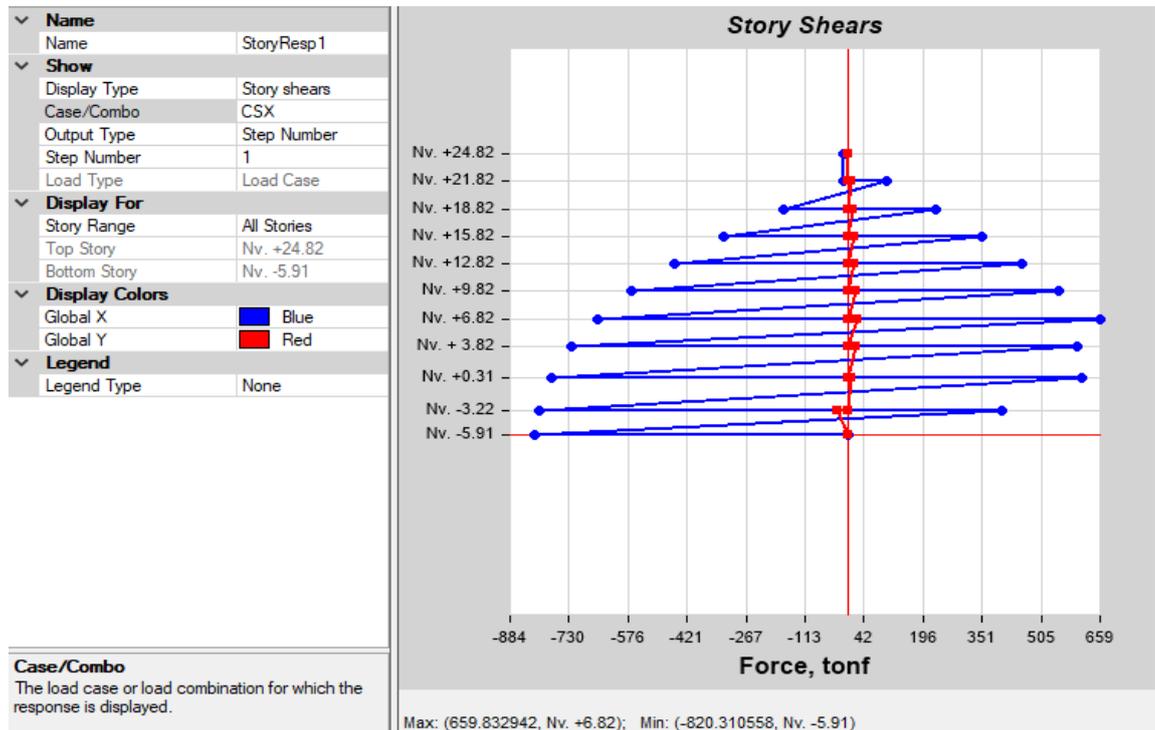
Story	Elevation	Location	X-Dir	Y-Dir	Máx
	m		tonf	tonf	tonf
Nv. +24.82	30.73	Top	-11.869	-11.869	11.869
		Bottom	-11.869	-11.869	
Nv. +21.82	27.73	Top	102.4668	97.6041	168.6972
		Bottom	-168.697	-168.697	
Nv. +18.82	24.73	Top	231.0401	222.4303	323.6869
		Bottom	-323.687	-323.687	
Nv. +15.82	21.73	Top	350.5383	335.2723	455.9451
		Bottom	-455.945	-455.945	
Nv. +12.82	18.73	Top	455.9015	434.4492	566.1734
		Bottom	-566.173	-566.173	
Nv. +9.82	15.73	Top	551.2995	522.2437	655.1593

Story	Elevation	Location	X-Dir	Y-Dir	Máx
	m		tonf	tonf	
		Bottom	-655.159	-655.159	
Nv. +6.82	12.73	Top	659.8329	626.8761	723.8051
		Bottom	-723.805	-723.805	
Nv. + 3.82	9.73	Top	599.4877	563.565	774.371
		Bottom	-774.371	-774.371	
Nv. +0.31	6.22	Top	609.1539	588.2306	806.8537
		Bottom	-806.854	-806.854	
Nv. -3.22	2.69	Top	400.5785	301.3717	820.3106
		Bottom	-820.311	-820.311	
Nv. -5.91	0	Top	0	0	0
		Bottom	0	0	

Fuente: Elaboración autónoma, 2022

Los datos detallados en la siguiente figura corresponden a la tabla anterior, en la cual se identifica las cargas laterales por cada piso en el sentido X-X

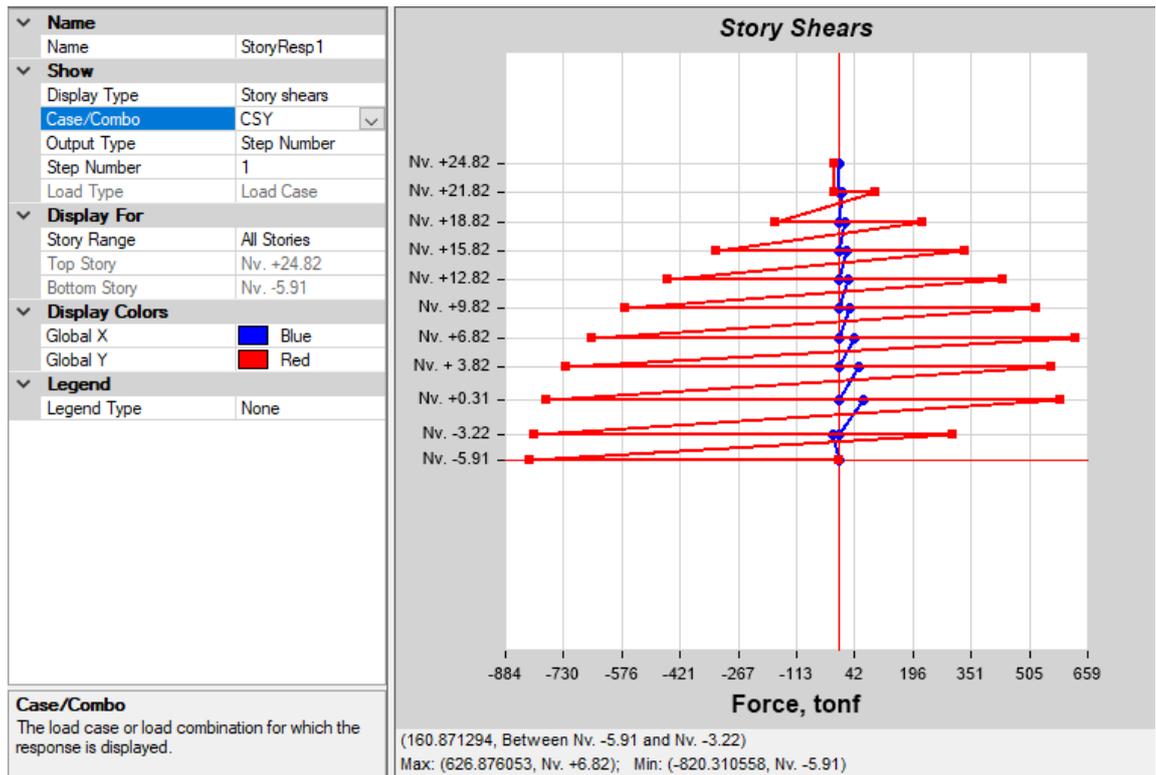
Figura 45. Disipador de energía SLB



Fuente: Elaboración autónoma, 2022

La información que se identifica en la siguiente figura corresponden a las cargas laterales por cada piso en el sentido Y-Y

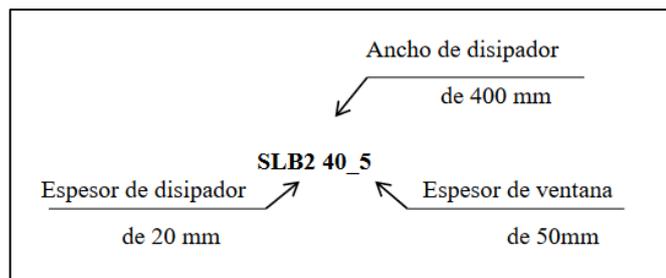
Figura 46. Disipador de energía SLB



Fuente: Elaboración autónoma, 2022

En función de las cargas se realizó la selección del dispositivo que se modeló en la estructura.

Figura 47. Disipador de energía SLB



Fuente: Luis Bozzo Estructuras y Proyectos S.L., 2016

Como la carga mayor determinada es 820.31 tnf,

TABLA 54. PARÁMETROS DE DISEÑO PARA LOS DISIPADORES DE ENERGÍA

Parámetros de diseño para los disipadores SHEAR LINK BOZZO										
Dispositivo	ed (mm)	er1 (mm)	er2 (mm)	ev (mm)	K ₁ (KN/cm)	K ₂ (KN/cm)	D _y (mm)	F _y (KN)	F _{Máx} (KN)	E _D (KN.cm)
SLB2 6_2	19	13	-	2	363.33	9.75	0.980	35.60	69.01	87.08
SLB2 6_3	19	13	-	3	397.80	10.75	1.031	41.00	79.21	99.25
SLB2 6_4	19	13	-	4	421.73	11.65	1.065	44.90	88.58	108.31
SLB2 6_5	19	13	-	5	439.60	12.78	1.078	47.40	96.67	115.18
SLB2 8_2	19	15	-	2	592.87	13.86	0.811	48.10	92.76	119.78
SLB2 8_3	19	15	-	3	676.27	15.38	0.858	58.00	107.57	141.77
SLB2 8_4	19	15	-	4	737.00	16.28	0.900	66.30	120.87	159.39
SLB2 8_5	19	15	-	5	784.27	17.43	0.927	72.70	133.29	173.71
SLB2 10_2	19	20	-	2	893.40	19.15	0.761	68.00	128.71	168.89
SLB2 10_3	19	20	-	3	1039.13	21.57	0.780	81.10	148.63	198.84
SLB2 10_4	19	20	-	4	1149.53	22.96	0.809	93.00	166.26	224.54
SLB2 10_5	19	20	-	5	1237.80	14.93	0.906	112.20	182.26	246.55
SLB2 15_2	19	20	-	2	1571.47	31.17	0.648	101.80	199.61	258.66
SLB2 15_3	19	20	-	3	1961.47	37.36	0.643	126.10	240.45	318.16
SLB2 15_4	19	20	-	4	2290.27	42.03	0.654	149.70	276.57	373.16
SLB2 15_5	19	20	-	5	2575.60	45.69	0.670	172.50	310.13	424.52
SLB2 20_2	19	25	5	2	2073.33	37.83	0.601	124.60	243.14	316.64
SLB2 20_3	19	25	5	3	2630.13	46.27	0.597	156.90	298.30	396.26
SLB2 20_4	19	25	5	4	3105.53	53.03	0.606	188.30	348.53	470.63
SLB2 20_5	19	25	5	5	3520.20	58.63	0.620	218.40	395.71	540.18
SLB3 25_2	25	30	5	2	3214.07	58.98	0.606	194.80	383.50	494.69
SLB3 25_3	25	30	5	3	4046.67	70.69	0.589	238.20	457.15	602.54
SLB3 25_4	25	30	5	4	4783.20	81.04	0.585	279.60	526.49	703.70
SLB3 25_5	25	30	5	5	5447.47	90.85	0.586	319.00	592.39	799.88
SLB3 25_6	25	30	5	6	6064.13	99.65	0.589	357.10	655.63	891.48
SLB3 25_7	25	30	5	7	6644.13	107.41	0.594	394.50	716.83	979.51
SLB3 25_8	25	30	5	8	7191.47	114.57	0.599	430.70	776.40	1064.12
SLB3 25_9	25	30	5	9	7711.07	120.73	0.605	466.40	834.90	1145.71
SLB3 30_2	25	30	5	2	3666.73	64.22	0.578	212.10	415.33	539.19
SLB3 30_3	25	30	5	3	4717.00	78.76	0.563	265.70	507.23	672.79
SLB3 30_4	25	30	5	4	5661.33	92.21	0.560	316.90	594.62	799.16
SLB3 30_5	25	30	5	5	6525.67	104.99	0.561	366.10	678.62	920.34
SLB3 30_6	25	30	5	6	7336.60	116.45	0.565	414.20	759.77	1036.63
SLB3 30_7	25	30	5	7	8106.07	126.92	0.569	461.30	838.79	1149.06
SLB3 30_8	25	30	5	8	8840.00	135.98	0.575	508.00	915.50	1257.99
SLB3 30_9	25	30	5	9	9542.20	145.74	0.579	552.50	992.12	1363.85
SLB3 40_2	25	30	5	2	4571.07	76.44	0.543	248.30	482.60	634.54
SLB3 40_3	25	30	5	3	6043.67	97.23	0.531	321.00	609.64	817.79
SLB3 40_4	25	30	5	4	7393.67	116.17	0.530	391.60	732.20	993.03
SLB3 40_5	25	30	5	5	8650.00	133.79	0.533	460.80	851.48	1162.82
SLB3 40_6	25	30	5	6	9843.00	149.92	0.537	528.70	967.95	1327.13
SLB3 40_7	25	30	5	7	10988.00	165.19	0.542	595.40	1082.30	1487.36
SLB3 40_8	25	30	5	8	12091.27	179.81	0.547	660.90	1195.00	1643.93
SLB3 40_9	25	30	5	9	13156.07	194.00	0.551	725.10	1306.30	1797.11
SLB3 50_2	25	30	5	2	5479.60	88.67	0.520	284.90	551.27	730.67
SLB3 50_3	25	30	5	3	7367.13	114.64	0.512	377.50	713.65	963.00
SLB3 50_4	25	30	5	4	9116.00	138.30	0.513	468.10	871.40	1186.77
SLB3 50_5	25	30	5	5	10759.13	160.81	0.518	557.00	1025.70	1404.77
SLB3 50_6	25	30	5	6	12328.87	181.80	0.523	644.40	1177.30	1616.83
SLB3 50_7	25	30	5	7	13844.20	202.03	0.528	730.30	1326.80	1824.36
SLB3 50_8	25	30	5	8	15312.67	221.80	0.532	814.70	1474.50	2028.05
SLB3 50_9	25	30	5	9	16737.00	241.37	0.536	897.70	1621.20	2228.51

Fuente: Luis Bozzo Estructuras y Proyectos S.L., 2016

De acuerdo a la tabla se asume el SLB3 50_9 el cual es ingresado al software de cálculo.

Posteriormente se realizó el dibujo de los elementos que representaron las diagonales y los disipadores de energía de la estructura. La altura de los elementos corresponde a los 0.50 metros que está definido de acuerdo al catálogo del disipador que se seleccionó. Se ingresó la información correspondiente al disipador en función de las tablas técnicas del fabricante.

Se asignó el modelo histerético “Plastic (Wen)” para la representación no lineal del dispositivo, de acuerdo a las recomendaciones establecidas por el fabricante.

Como en este caso el disipador se colocó en el eje “A” de la estructura, es decir en el eje de las Y en planta, se ingresó la información en U3, la cual considera el plano (ZY).

Figura 48. Disipador de energía SLB

General

Link Property Name: DISIPADORES SLB P-Delta Parameters: Modify/Show...

Link Type: Plastic (Wen) Acceptance Criteria: Modify/Show...

Link Property Notes: Modify/Show Notes... None specified

Total Mass and Weight

Mass: 0 kg Rotational Inertia 1: 0 ton-m²

Weight: 0 kN Rotational Inertia 2: 0 ton-m²

Rotational Inertia 3: 0 ton-m²

Factors for Line and Area Springs

Link/Support Property is Defined for This Length When Used in a Line Spring Property: 1 m

Link/Support Property is Defined for This Area When Used in an Area Spring Property: 1 m²

Directional Properties

Direction	Fixed	NonLinear	Properties	Direction	Fixed	NonLinear	Properties
<input checked="" type="checkbox"/> U1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for U1...	<input type="checkbox"/> R1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for R1...
<input checked="" type="checkbox"/> U2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for U2...	<input type="checkbox"/> R2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for R2...
<input checked="" type="checkbox"/> U3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Modify/Show for U3...	<input type="checkbox"/> R3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for R3...

Fix All Clear All

Stiffness Options

Stiffness Used for Linear and Modal Load Cases: Effective Stiffness from Zero, Else Nonlinear

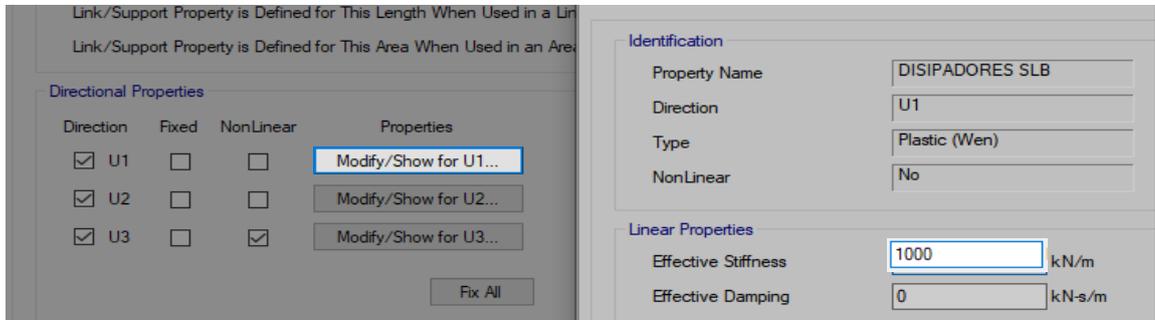
Stiffness Used for Stiffness-proportional Viscous Damping: Initial Stiffness (K0)

Stiffness-proportional Viscous Damping Coefficient Modification Factor: 1

Fuente: Elaboración autónoma, 2022

Después se definieron las propiedades direccionales de U1. De acuerdo a la ficha técnica de estos dispositivos se recomienda modificar las características “fixed”, asignando una rigidez de 1000 kN/cm, modificando los parámetros Ritz.

Figura 49. Disipador de energía SLB



Fuente: Elaboración autónoma, 2022

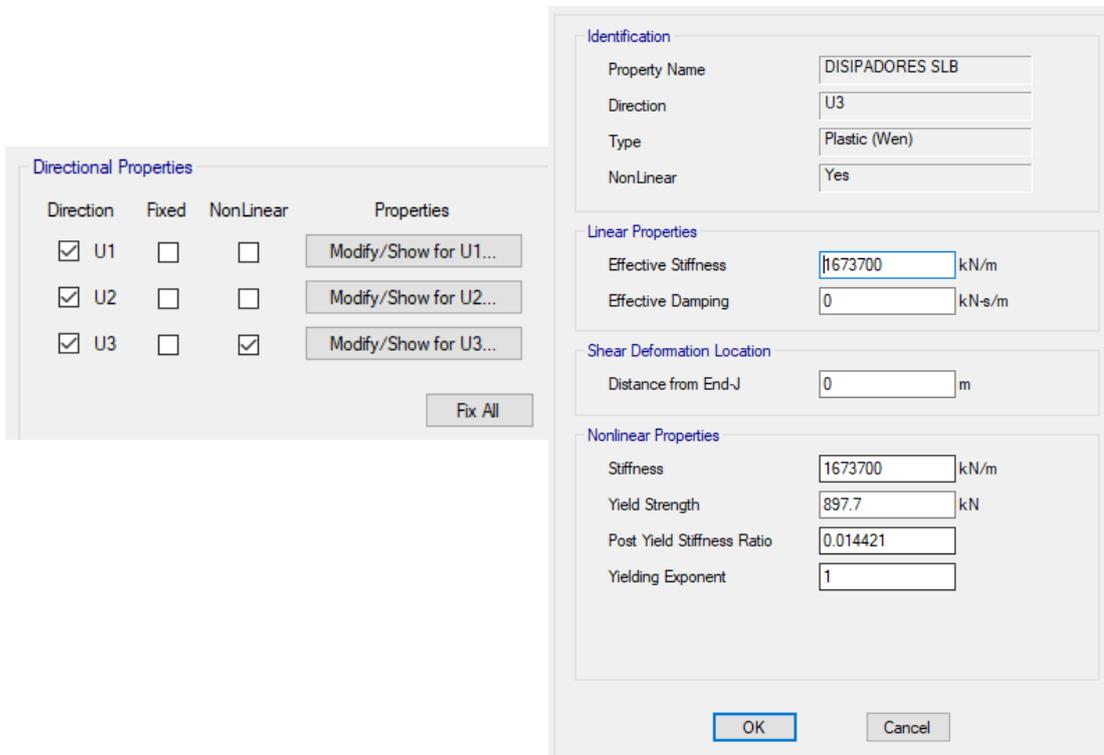
$$K_1 = 16737.00 \text{ kN/cm} = 1673700.00 \text{ kN/m}$$

$$K_2 = 241.37 \text{ kN/cm}$$

$$K_1/K_2 = 0.014421341937$$

$$F_y = 897.70$$

Figura 50. Propiedades disipador de energía



Fuente: Elaboración autónoma, 2022

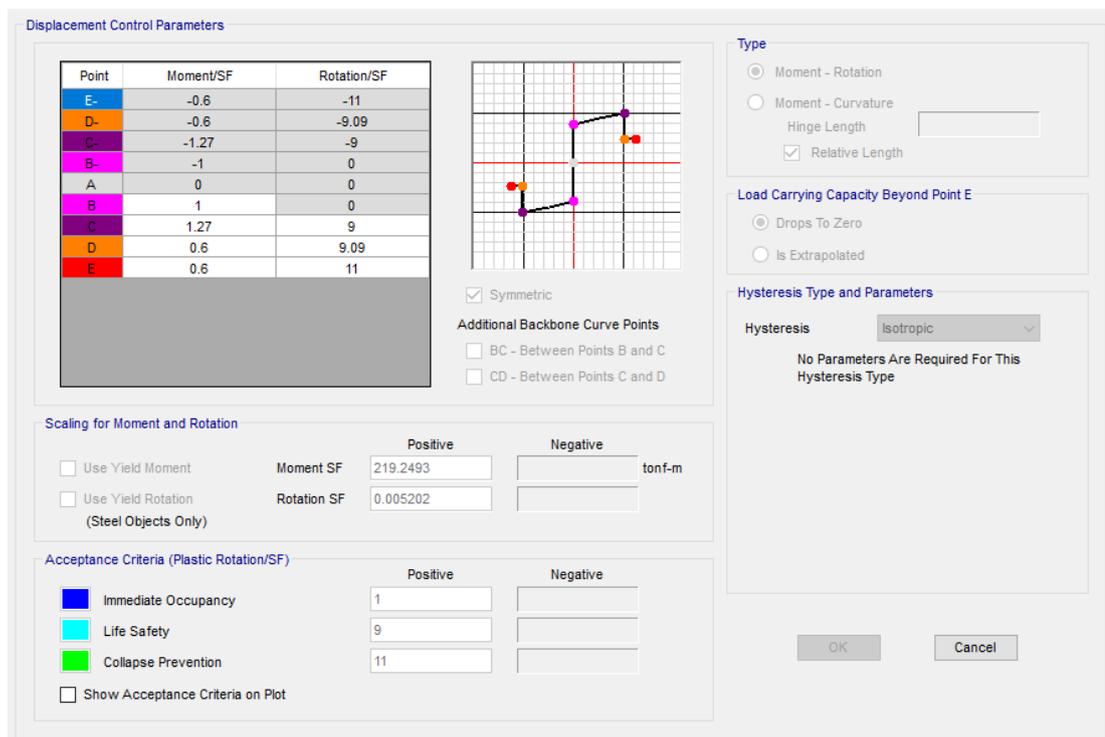
Se marcó los dispositivos y se ingresó la distancia desde el externo del disipador SLB (inserción) hasta el centro del mismo.

De la misma manera se realizó el análisis tiempo-historia, al igual que en la estructura con aisladores con la finalidad de realizar un análisis dinámico no lineal en la estructura y determinar de esta manera los desplazamientos de la estructura.

Mediante el acelerograma se determina el caso de carga tiempo historia

Se registra el 5% de amortiguamiento que de acuerdo a la NEC-15 es el valor que se debe considerar en el análisis de las estructuras. Adicionalmente se registra el primer y segundo periodo de vibración los cuales fueron determinados mediante análisis estático anteriormente.

Figura 51. Rótulas plásticas



Fuente: Elaboración autónoma, 2022

Se creó el estado de carga para la carga muerta más el 25% de carga viva, esto se realiza para la consideración del estado de carga de la masa sísmica

Una vez indicado el punto de control se procedió a configurar el programa para que el análisis se realice para múltiples estados

4.8. Resultados

4.8.1. Estructura De Base Fija (Convencional)

En los resultados de los análisis dinámicos para la estructura de base fija se determinaron los siguientes resultados:

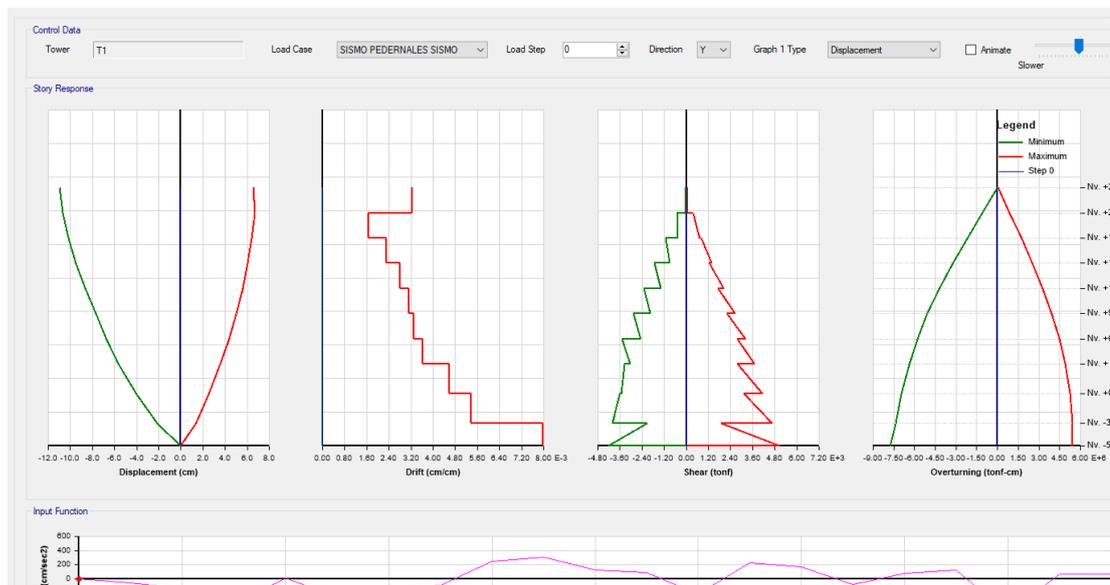
TABLA 55. RESULTADOS ANÁLISIS DINÁMICO NO LINEAL TIEMPO-HISTORIA

Parámetro	Unidad	Eje X		Eje Y	
		Inferior	Superior	Inferior	Superior
Desplazamiento	[cm]	-9.10	10.01	-10.46	6.70
Derivas	[cm/cm]	0.0011	0.0058	0.0016	0.0079
Cortante Basal	[Tnf]	-8382	11414	-4244	5036
Sobretensión	[Tnf-cm]	-3.90E+06	5.59E+06	-7.65E+06	5.39E+06

Fuente: Elaboración autónoma, 2022

Los valores de la tabla anterior corresponden a los siguientes diagramas obtenidos mediante el análisis dinámico no lineal.

Figura 52. Resultados tiempo – historia



Fuente: Elaboración autónoma, 2022

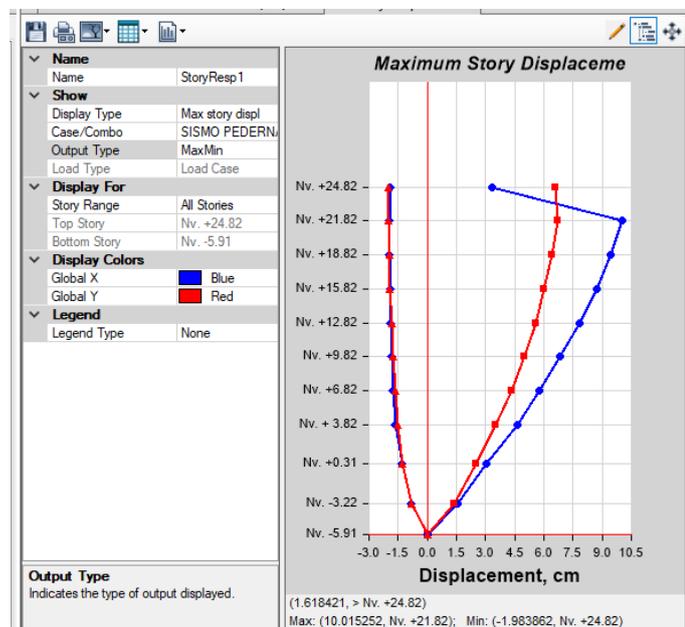
En la siguiente tabla se puede visualizar que los máximos desplazamientos se producen en los niveles Nv.+21.82

TABLA 56. RESULTADOS DE DESPLAZAMIENTOS MEDIANTE ANÁLISIS DINÁMICO TIEMPO – HISTORIA

Story	Elevation cm	X-Dir cm	Y-Dir cm	X-Dir Min cm	Y-Dir Min cm
Nv. +24.82	3073	3.3148	6.5764	-1.898	-1.9839
Nv. +21.82	2773	10.0153	6.7071	-1.9249	-1.9769
Nv. +18.82	2473	9.4621	6.426	-1.9131	-1.9504
Nv. +15.82	2173	8.71	5.9984	-1.8886	-1.9049
Nv. +12.82	1873	7.8066	5.5661	-1.8498	-1.8394
Nv. +9.82	1573	6.8139	5.0118	-1.7989	-1.7366
Nv. +6.82	1273	5.7671	4.3369	-1.7433	-1.6124
Nv. + 3.82	973	4.6087	3.537	-1.6252	-1.5214
Nv. +0.31	622	3.0554	2.5065	-1.2542	-1.2909
Nv. -3.22	269	1.5808	1.3699	-0.7832	-0.8384
Nv. -5.91	0	0	0	0	0

Fuente: Elaboración autónoma, 2022

Figura 53. Resultados desplazamientos en estructura



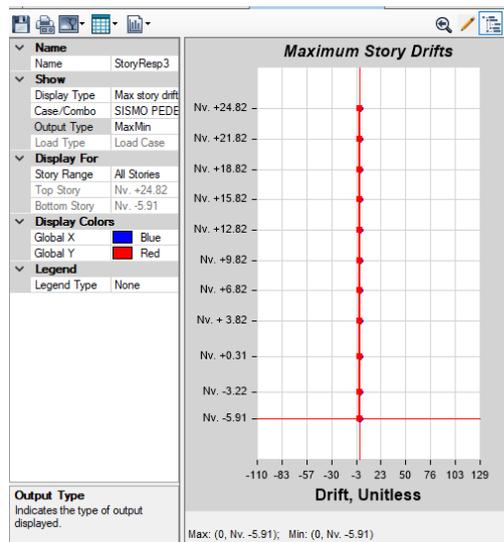
Fuente: Elaboración autónoma, 2022

TABLA 57. RESULTADOS DE DERIVAS DE PISO MEDIANTE ANÁLISIS DINÁMICO TIEMPO – HISTORIA

Story	Output Case	Direction	Drift	X cm	Y cm	Z cm
Nv. +24.82	TIEMPO HISTORIA	X	0.000696	0	2100	3073
Nv. +24.82	TIEMPO HISTORIA	Y	0.003233	0	1500	3073
Nv. +21.82	TIEMPO HISTORIA	X	0.001844	2806	0	2773
Nv. +21.82	TIEMPO HISTORIA	Y	0.00141	0	2400	2773
Nv. +18.82	TIEMPO HISTORIA	X	0.002507	2806	0	2473
Nv. +18.82	TIEMPO HISTORIA	Y	0.001882	0	2400	2473
Nv. +15.82	TIEMPO HISTORIA	X	0.003011	2806	0	2173
Nv. +15.82	TIEMPO HISTORIA	Y	0.002288	0	2400	2173
Nv. +12.82	TIEMPO HISTORIA	X	0.003309	2806	0	1873
Nv. +12.82	TIEMPO HISTORIA	Y	0.002537	0	0	1873
Nv. +9.82	TIEMPO HISTORIA	X	0.00349	2806	0	1573
Nv. +9.82	TIEMPO HISTORIA	Y	0.002706	0	2400	1573
Nv. +6.82	TIEMPO HISTORIA	X	0.003861	2806	0	1273
Nv. +6.82	TIEMPO HISTORIA	Y	0.002862	0	2400	1273
Nv. + 3.82	TIEMPO HISTORIA	X	0.004425	2806	0	973
Nv. + 3.82	TIEMPO HISTORIA	Y	0.003176	0	0	973
Nv. +0.31	TIEMPO HISTORIA	X	0.004717	2806	0	622
Nv. +0.31	TIEMPO HISTORIA	Y	0.003459	0	2400	622
Nv. -3.22	TIEMPO HISTORIA	X	0.005877	2806	3000	269
Nv. -3.22	TIEMPO HISTORIA	Y	0.005093	2806	2400	269

Fuente: Elaboración autónoma, 2022

Figura 54. Resultados derivas de piso en estructura de base fija



Fuente: Elaboración autónoma, 2022

Es posible determinar los tipos de energía que se desarrollan internamente en la estructura con la finalidad de disipar la energía sísmica que se trasfiere del suelo a la estructura, para ello es necesario métodos dinámicos no lineales. Entre los tipos de energía que se producen internamente en la estructura son los siguientes:

- Cinética (Inercia de la masa relacionada con la fuerza restauradora)
- Potencial (Movimientos verticales en la estructura como resultado de la energía cinética),
- Amortiguamiento global,
- Amortiguamiento viscoso no lineal (por deformaciones inelásticas debido a sismos muy fuertes)
- Amortiguamiento histérico no lineal (respuesta de la estructura que se relaciona daño acumulado)

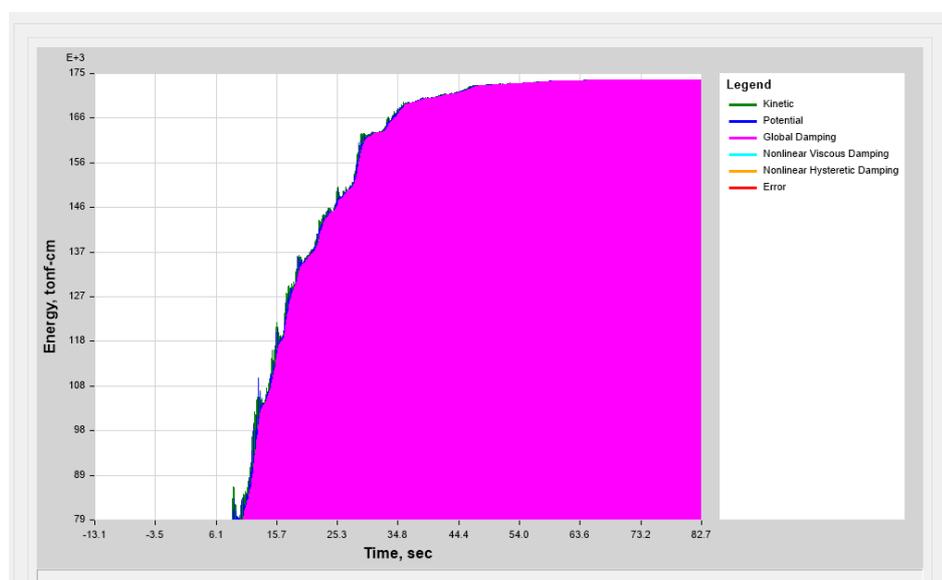
Mediante estos parámetros se puede establecer criterios de diseño en las estructuras, tal puede ser el caso como acondicionamientos o mejoramiento de las características de los elementos o miembros estructurales o la incorporación de elementos de aislamiento o disipación de energía (viscosos o histéricos).

Es decir, se debe cumplir con la condición:

Capacidad de respuesta sísmica de energía > Demanda sísmica de energía

De acuerdo al siguiente cuadro de demanda capacidad de energía disipada se puede observar que para el sismo registrado en el programa de cálculo es 216027520.91 kg-cm, en el caso de una estructura sin aislamiento de base.

Figura 55. Disipación de energía



Fuente: Elaboración autónoma, 2022

4.8.2. Estructura Con Aisladores Sísmicos

En los resultados obtenidos del análisis tiempo historia se puede visualizar de la siguiente manera:

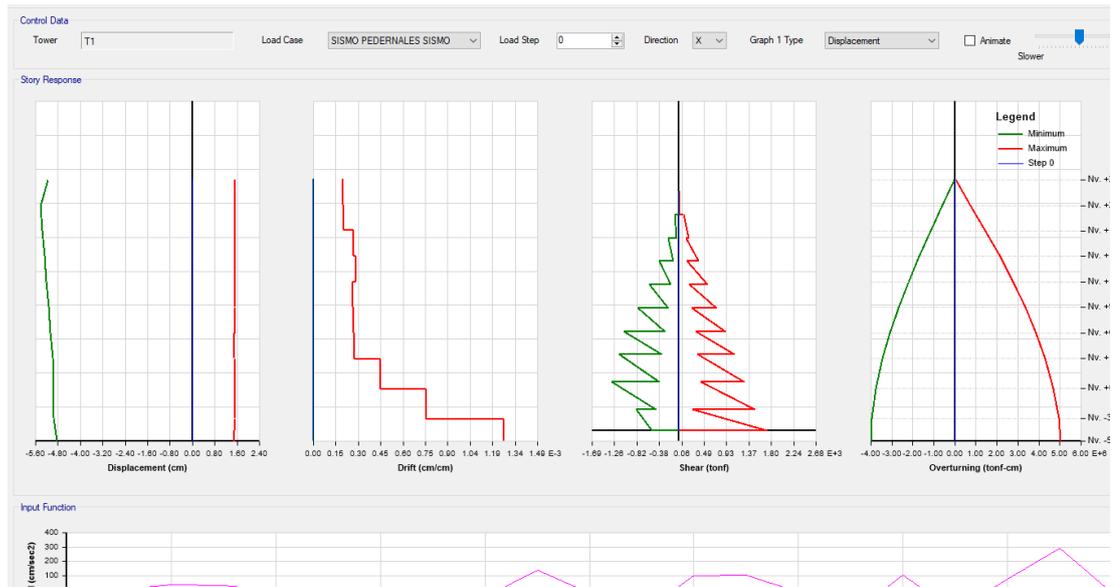
TABLA 58. RESULTADOS ANÁLISIS DINÁMICO NO LINEAL TIEMPO-HISTORIA CON AISLADORES SÍSMICOS

Parámetro	Unidad	Eje X		Eje Y	
		Inferior	Superior	Inferior	Superior
Desplazamiento	[cm]	-4.83	1.58	-1.17	0.78
Derivas	[cm/cm]	0.000205	0.0012	0.000179	0.000649
Cortante Basal	[Tnf]	-521	1727	-242	375
Sobretensión	[Tnf-cm]	-4.00E+06	5.00E+06	-6.00E+06	4.80E+06

Fuente: Elaboración autónoma, 2022

Los datos de la tabla anterior obedecen a los siguientes diagramas de aceleración por tiempo-historia (forma dinámica).

Figura 56. Resultados tiempo – historia con aisladores sísmicos eje X



Fuente: Elaboración autónoma, 2022

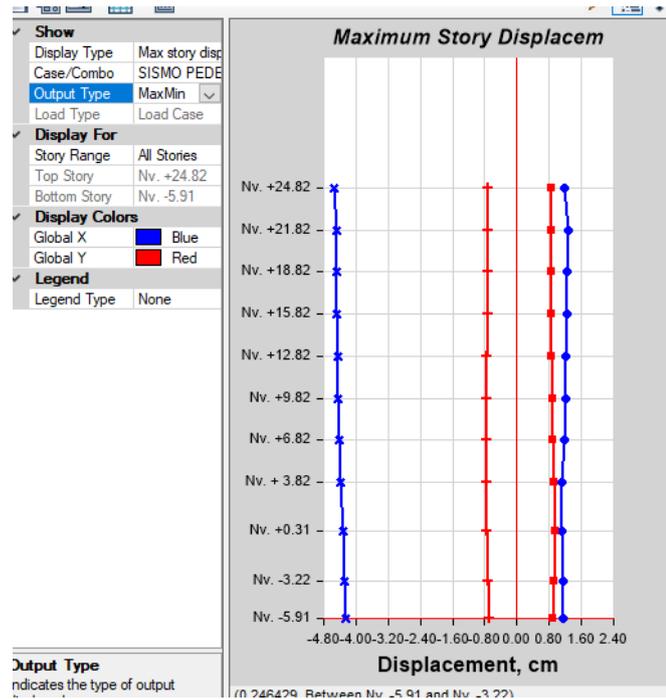
En la presente figura se pueden observar el resultado de las derivas de piso de la estructura al colocarse aisladores sísmicos.

TABLA 59. RESULTADOS DE DESPLAZAMIENTOS EN ESTRUCTURA CON AISLADORES SÍSMICOS

Story	Elevation cm	Location	X-Dir cm	Y-Dir cm	X-Dir Min cm	Y-Dir Min cm
Nv. +24.82	3073	Top	1.528	0.7834	-4.8288	-1.0941
Nv. +21.82	2773	Top	1.5386	0.7395	-4.6548	-1.1165
Nv. +18.82	2473	Top	1.5354	0.7368	-4.6968	-1.1074
Nv. +15.82	2173	Top	1.5338	0.7347	-4.7466	-1.0937
Nv. +12.82	1873	Top	1.5305	0.731	-4.7957	-1.0755
Nv. +9.82	1573	Top	1.5215	0.7229	-4.8378	-1.0548
Nv. +6.82	1273	Top	1.5038	0.7083	-4.8744	-1.0358
Nv. + 3.82	973	Top	1.4934	0.7024	-4.9185	-1.0248
Nv. +0.31	622	Top	1.5119	0.7293	-4.8266	-1.0139
Nv. -3.22	269	Top	1.5172	0.7525	-4.5612	-1.0043
Nv. -5.91	0	Top	1.4757	0.7449	-4.2197	-0.9644

Fuente: Elaboración autónoma, 2022

Figura 57. Resultados desplazamientos en estructura con aisladores sísmicos



Fuente: Elaboración autónoma, 2022

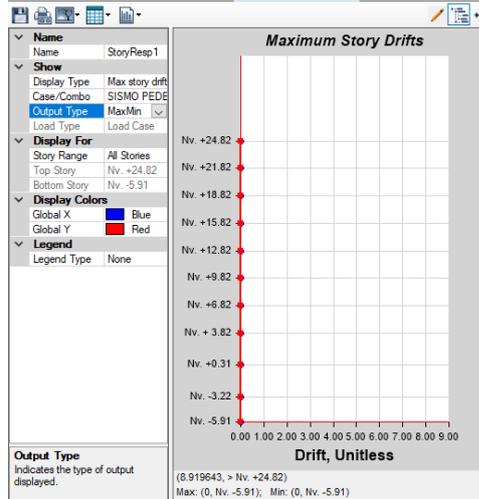
TABLA 60. RESULTADOS DE DERIVAS DE PISO EN ESTRUCTURA CON AISLADORES SÍSMICOS

Story	Output Case	Direction	Drift	X cm	Y cm	Z cm
Nv. +24.82	SISMO PEDERNALES SISMO	X	0.0002	0	2100	3073
Nv. +24.82	SISMO PEDERNALES SISMO	Y	0.000688	0	1500	3073
Nv. +21.82	SISMO PEDERNALES SISMO	X	0.00014	2806	3000	2773
Nv. +21.82	SISMO PEDERNALES SISMO	Y	0.000179	0	600	2773
Nv. +18.82	SISMO PEDERNALES SISMO	X	0.000166	2806	3000	2473
Nv. +18.82	SISMO PEDERNALES SISMO	Y	0.000227	0	2400	2473
Nv. +15.82	SISMO PEDERNALES SISMO	X	0.000173	2806	0	2173
Nv. +15.82	SISMO PEDERNALES SISMO	Y	0.000233	0	1200	2173
Nv. +12.82	SISMO PEDERNALES SISMO	X	0.000188	2806	0	1873
Nv. +12.82	SISMO PEDERNALES SISMO	Y	0.000211	0	2400	1873
Nv. +9.82	SISMO PEDERNALES SISMO	X	0.000178	2806	0	1573
Nv. +9.82	SISMO PEDERNALES SISMO	Y	0.000214	0	0	1573
Nv. +6.82	SISMO PEDERNALES SISMO	X	0.000161	2806	3000	1273
Nv. +6.82	SISMO PEDERNALES SISMO	Y	0.000211	0	600	1273
Nv. + 3.82	SISMO PEDERNALES SISMO	X	0.000161	2806	0	973
Nv. + 3.82	SISMO PEDERNALES SISMO	Y	0.000275	0	2400	973
Nv. +0.31	SISMO PEDERNALES SISMO	X	0.000215	2806	0	622

Story	Output Case	Direction	Drift	X cm	Y cm	Z cm
Nv. +0.31	SISMO PEDERNALES SISMO	Y	0.000431	0	0	622
Nv. -3.22	SISMO PEDERNALES SISMO	X	0.000318	2806	0	269
Nv. -3.22	SISMO PEDERNALES SISMO	Y	0.000223	0	24	2.69

Fuente: Elaboración autónoma, 2022

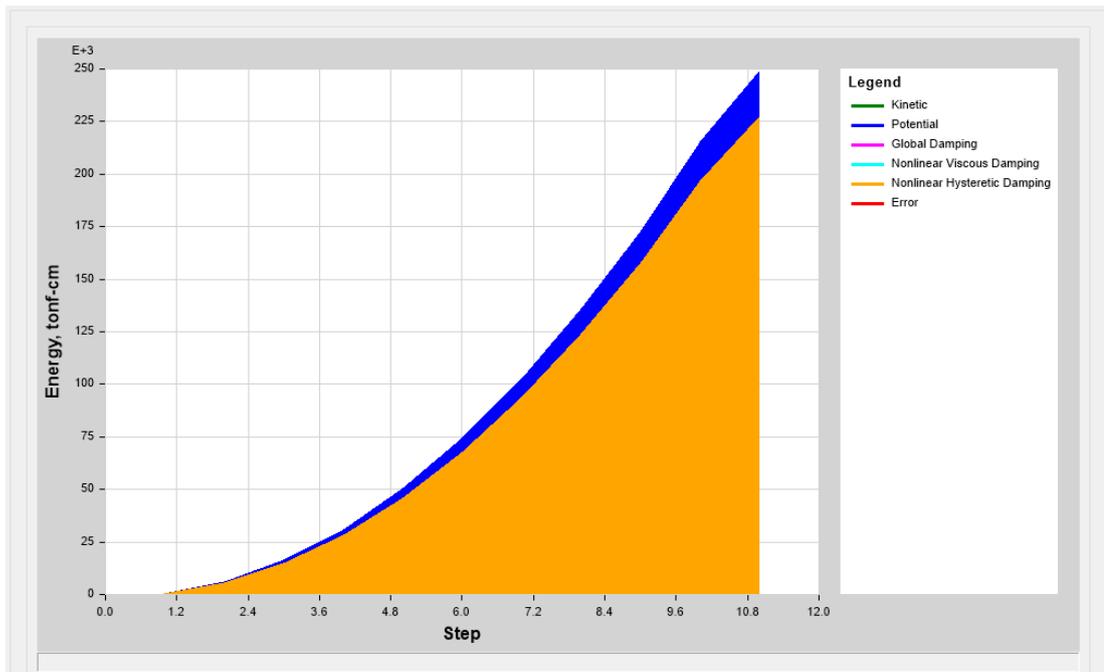
Figura 58. Resultados de derivas de piso en estructura con aisladores sísmicos



Fuente: Elaboración autónoma, 2022

De acuerdo al siguiente cuadro de demanda capacidad de energía disipada se puede observar que para el sismo registrado.

Figura 59. Disipación de energía



Fuente: Elaboración autónoma, 2022

4.8.3. Estructura Con Disipadores De Energía

En los resultados de los análisis dinámicos para la estructura con disipadores de energía se determinaron los siguientes resultados:

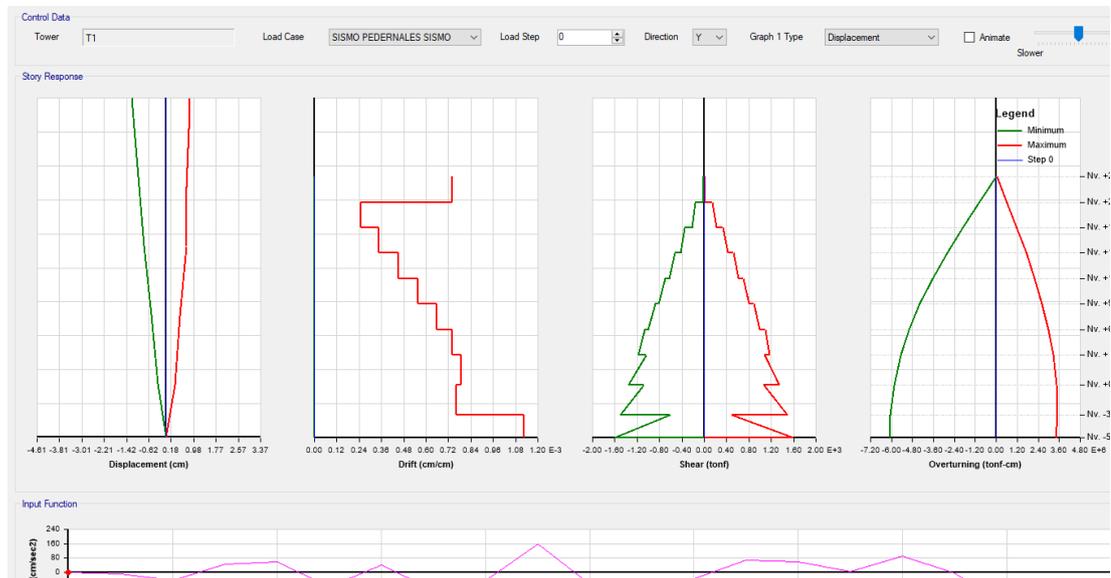
TABLA 61. RESULTADOS ANÁLISIS DINÁMICO NO LINEAL TIEMPO-HISTORIA CON DISIPADORES DE ENERGÍA

Parámetro	Unidad	Eje X		Eje Y	
		Inferior	Superior	Inferior	Superior
Desplazamiento	[cm]	-1.29	3.58	-0.975	0.747
Derivas	[cm/cm]	0.000239	0.001309	0.00025	0.001125
Cortante Basal	[Tnf]	-2915	3719	-1608	1589
Sobretensión	[Tnf-cm]	-2.50E+06	3.84E+06	-6.08E+06	3.42E+06

Fuente: Elaboración autónoma, 2022

Los valores de la tabla anterior corresponden a los siguientes diagramas obtenidos mediante el análisis dinámico no lineal.

Figura 60. Resultados tiempo – historia con disipadores de energía sísmicos eje Y



Fuente: Elaboración autónoma, 2022

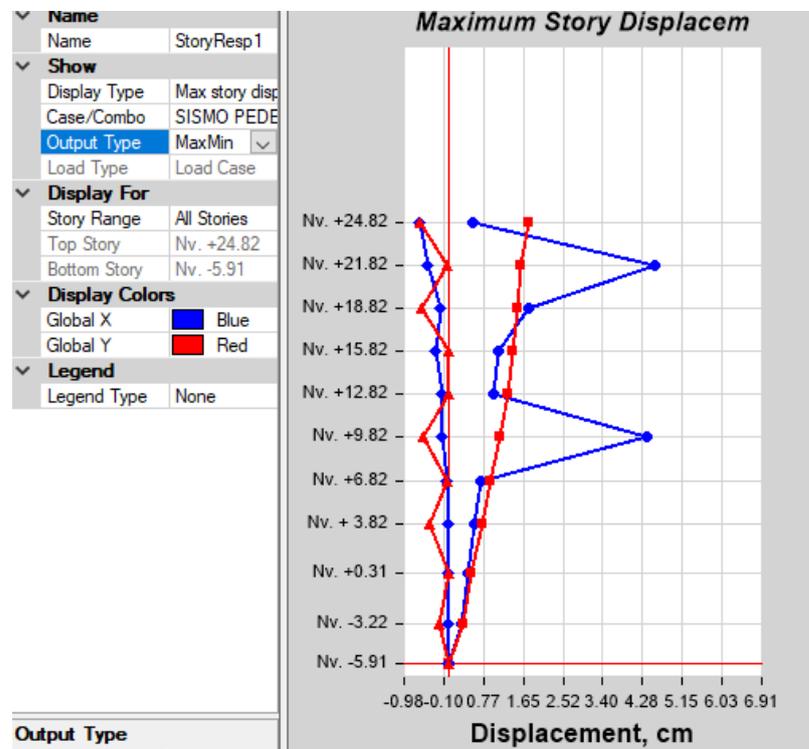
En la siguiente tabla se puede visualizar que los máximos desplazamientos se producen en los niveles Nv.+21.82 y Nv.+24.82

TABLA 62. RESULTADOS DE DESPLAZAMIENTOS MEDIANTE ANÁLISIS DINÁMICO TIEMPO – HISTORIA

Story	Elevation cm	Location	X-Dir cm	Y-Dir cm	X-Dir Min cm	Y-Dir Min cm
Nv. +24.82	3073	Top	0.2837	1.0297	-0.2617	-0.418
Nv. +21.82	2773	Top	3.5878	1.0467	-0.2447	-0.0099
Nv. +18.82	2473	Top	1.2039	1.0036	-0.0726	-0.4168
Nv. +15.82	2173	Top	0.7878	0.9392	-0.0494	-0.0003
Nv. +12.82	1873	Top	0.7194	0.854	-0.0216	-0.0001
Nv. +9.82	1573	Top	0.6347	0.7485	-0.0549	-0.3568
Nv. +6.82	1273	Top	0.534	0.623	-0.0496	-0.0081
Nv. + 3.82	973	Top	0.4192	0.5112	-0.0255	-0.2593
Nv. +0.31	622	Top	0.2692	0.3419	-0.00001594	-0.0059
Nv. -3.22	269	Top	0.1496	0.2468	-0.0004	-0.1457
Nv. -5.91	0	Top	0	0	0	0

Fuente: Elaboración autónoma, 2022

Figura 61. Resultados desplazamientos en estructura de base fija



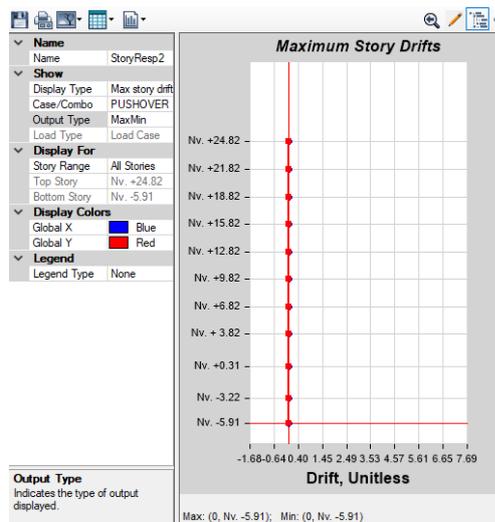
Fuente: Elaboración autónoma, 2022

TABLA 63. RESULTADOS DE DERIVAS DE PISO MEDIANTE ANÁLISIS
DINÁMICO TIEMPO – HISTORIA

Story	Output Case	Direction	Drift	X cm	Y cm	Z cm
Nv. +24.82	SISMO PEDERNALES SISMO	X	0.000175	1800	1200	3073
Nv. +24.82	SISMO PEDERNALES SISMO	Y	0.000741	0	1500	3073
Nv. +21.82	SISMO PEDERNALES SISMO	X	0.000202	2806	3000	2773
Nv. +21.82	SISMO PEDERNALES SISMO	Y	0.00025	0	2400	2773
Nv. +18.82	SISMO PEDERNALES SISMO	X	0.000273	2806	3000	2473
Nv. +18.82	SISMO PEDERNALES SISMO	Y	0.000346	0	2400	2473
Nv. +15.82	SISMO PEDERNALES SISMO	X	0.000353	2806	3000	2173
Nv. +15.82	SISMO PEDERNALES SISMO	Y	0.00045	0	2400	2173
Nv. +12.82	SISMO PEDERNALES SISMO	X	0.000437	2806	3000	1873
Nv. +12.82	SISMO PEDERNALES SISMO	Y	0.000557	0	0	1873
Nv. +9.82	SISMO PEDERNALES SISMO	X	0.000516	2806	3000	1573
Nv. +9.82	SISMO PEDERNALES SISMO	Y	0.000656	0	2400	1573
Nv. +6.82	SISMO PEDERNALES SISMO	X	0.000585	2806	3000	1273
Nv. +6.82	SISMO PEDERNALES SISMO	Y	0.000742	0	2400	1273
Nv. +3.82	SISMO PEDERNALES SISMO	X	0.000615	2806	3000	973
Nv. +3.82	SISMO PEDERNALES SISMO	Y	0.000788	0	0	973
Nv. +0.31	SISMO PEDERNALES SISMO	X	0.000563	2806	3000	622
Nv. +0.31	SISMO PEDERNALES SISMO	Y	0.000739	0	2400	622
Nv. -3.22	SISMO PEDERNALES SISMO	X	0.001075	2806	3000	269
Nv. -3.22	SISMO PEDERNALES SISMO	Y	0.001125	0	2400	269

Fuente: Elaboración autónoma, 2022

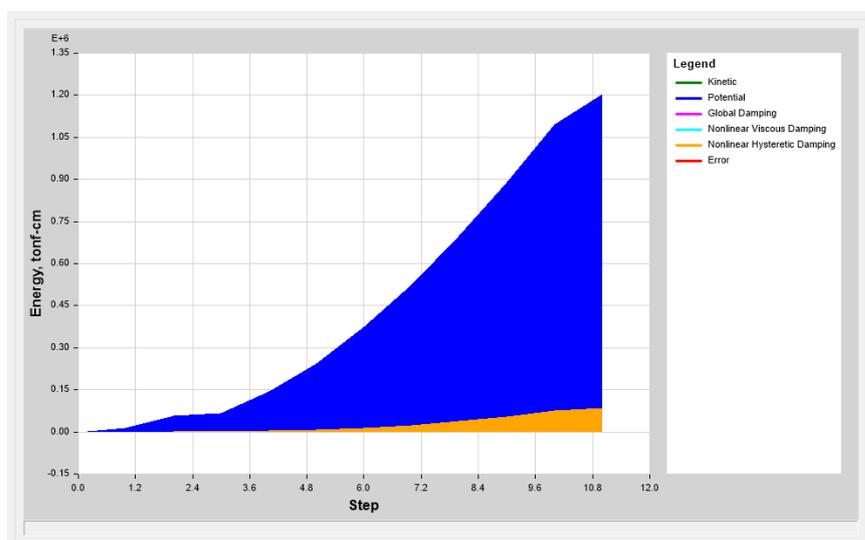
Figura 62. Resultados derivas de piso en estructura de base fija



Fuente: Elaboración autónoma, 2022

En la siguiente figura se puede visualizar la disipación obtenida en los resultados de balances de energía.

Figura 63. Disipación de energía



Fuente: Elaboración autónoma, 2022

4.8.4. Comparación De Resultados

Con los resultados obtenidos, se detalla un cuadro comparativo con los resultados obtenidos de cada una de las estructuras, en los que se visualizan los resultados de los desplazamientos y derivas de piso.

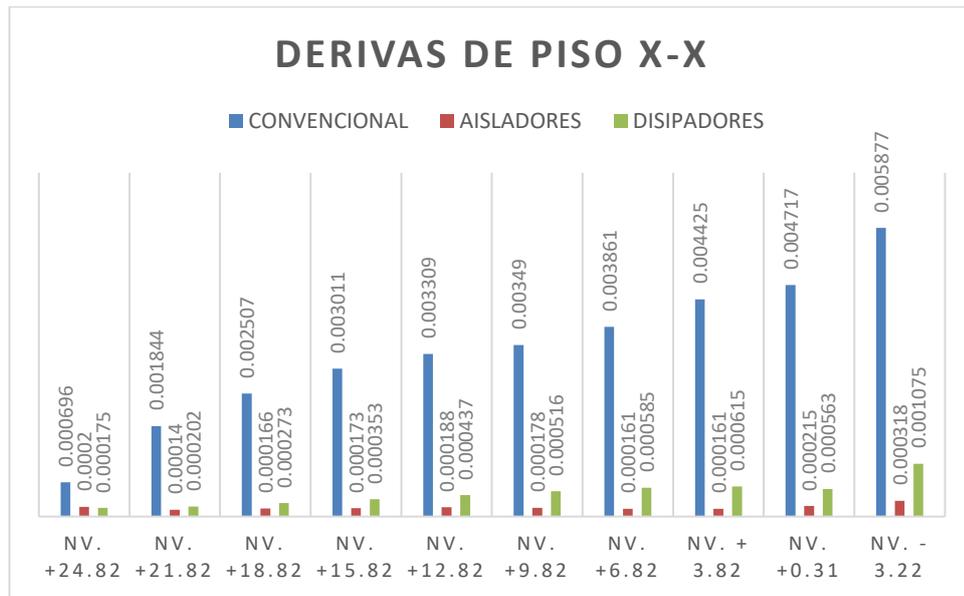
TABLA 64. ANÁLISIS COMPARATIVO DE DERIVAS DE PISO DE DISEÑOS ESTRUCTURALES

Story	Output Case	Direction	Drift Convencional	Drift Aisladores	Drift Disipadores
Nv. +24.82	ANÁLISIS DINÁMICO	X	0.000696	0.0002	0.000175
Nv. +24.82	ANÁLISIS DINÁMICO	Y	0.003233	0.000688	0.000741
Nv. +21.82	ANÁLISIS DINÁMICO	X	0.001844	0.00014	0.000202
Nv. +21.82	ANÁLISIS DINÁMICO	Y	0.00141	0.000179	0.00025
Nv. +18.82	ANÁLISIS DINÁMICO	X	0.002507	0.000166	0.000273
Nv. +18.82	ANÁLISIS DINÁMICO	Y	0.001882	0.000227	0.000346

Story	Output Case	Direction	Drift Convencional	Drift Aisladores	Drift Disipadores
Nv. +15.82	ANÁLISIS DINÁMICO	X	0.003011	0.000173	0.000353
Nv. +15.82	ANÁLISIS DINÁMICO	Y	0.002288	0.000233	0.00045
Nv. +12.82	ANÁLISIS DINÁMICO	X	0.003309	0.000188	0.000437
Nv. +12.82	ANÁLISIS DINÁMICO	Y	0.002537	0.000211	0.000557
Nv. +9.82	ANÁLISIS DINÁMICO	X	0.00349	0.000178	0.000516
Nv. +9.82	ANÁLISIS DINÁMICO	Y	0.002706	0.000214	0.000656
Nv. +6.82	ANÁLISIS DINÁMICO	X	0.003861	0.000161	0.000585
Nv. +6.82	ANÁLISIS DINÁMICO	Y	0.002862	0.000211	0.000742
Nv. + 3.82	ANÁLISIS DINÁMICO	X	0.004425	0.000161	0.000615
Nv. + 3.82	ANÁLISIS DINÁMICO	Y	0.003176	0.000275	0.000788
Nv. +0.31	ANÁLISIS DINÁMICO	X	0.004717	0.000215	0.000563
Nv. +0.31	ANÁLISIS DINÁMICO	Y	0.003459	0.000431	0.000739
Nv. -3.22	ANÁLISIS DINÁMICO	X	0.005877	0.000318	0.001075
Nv. -3.22	ANÁLISIS DINÁMICO	Y	0.005093	0.000651	0.001125

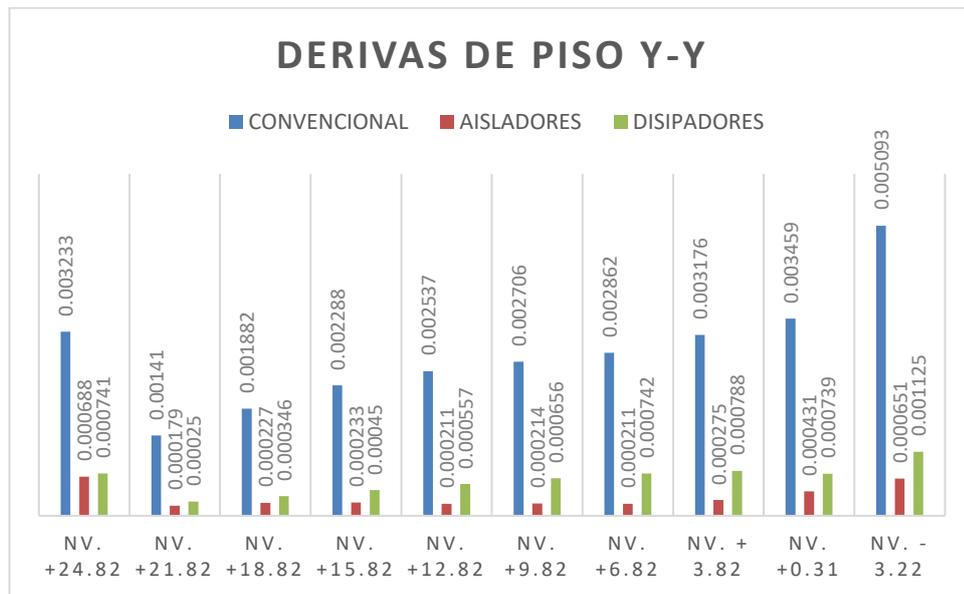
Fuente: Elaboración autónoma, 2022

Figura 64. Comparación derivas de piso sentido X-X



Fuente: Elaboración autónoma, 2022

Figura 65. Comparación derivas de piso sentido Y-Y



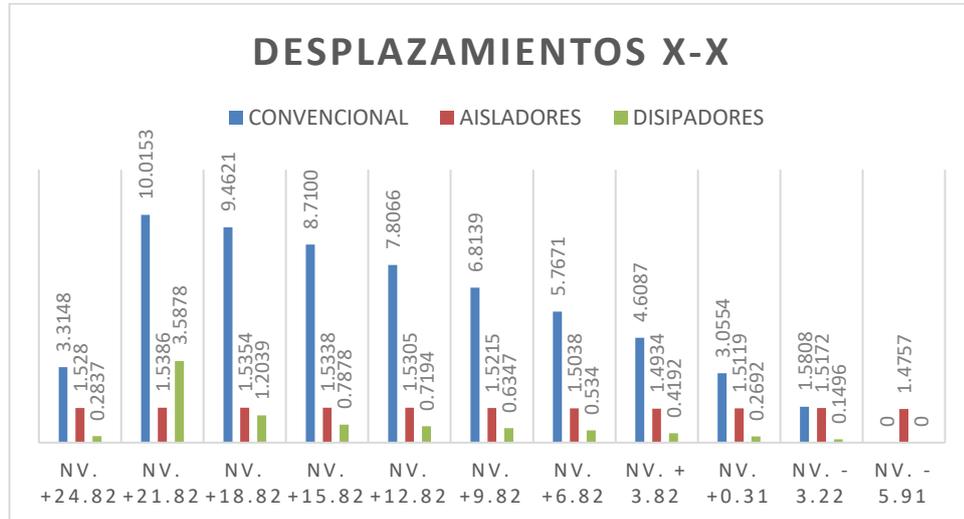
Fuente: Elaboración autónoma, 2022

TABLA 65. ANÁLISIS COMPARATIVO DE DERIVAS DE PISO DE DISEÑOS ESTRUCTURALES

Story	Elevation	Location	CONVENCIONAL		AISLADORES		DISIPADORES	
			X-Dir	Y-Dir	X-Dir	Y-Dir	X-Dir	Y-Dir
	cm		cm	cm	cm	cm	cm	
Nv. +24.82	3073	Top	3.3148	6.5764	1.528	0.7834	0.2837	1.0297
Nv. +21.82	2773	Top	10.0153	6.7071	1.5386	0.7395	3.5878	1.0467
Nv. +18.82	2473	Top	9.4621	6.426	1.5354	0.7368	1.2039	1.0036
Nv. +15.82	2173	Top	8.7100	5.9984	1.5338	0.7347	0.7878	0.9392
Nv. +12.82	1873	Top	7.8066	5.5661	1.5305	0.731	0.7194	0.854
Nv. +9.82	1573	Top	6.8139	5.0118	1.5215	0.7229	0.6347	0.7485
Nv. +6.82	1273	Top	5.7671	4.3369	1.5038	0.7083	0.534	0.623
Nv. +3.82	973	Top	4.6087	3.537	1.4934	0.7024	0.4192	0.5112
Nv. +0.31	622	Top	3.0554	2.5065	1.5119	0.7293	0.2692	0.3419
Nv. -3.22	269	Top	1.5808	1.3699	1.5172	0.7525	0.1496	0.2468
Nv. -5.91	0	Top	0	0	1.4757	0.7449	0	0

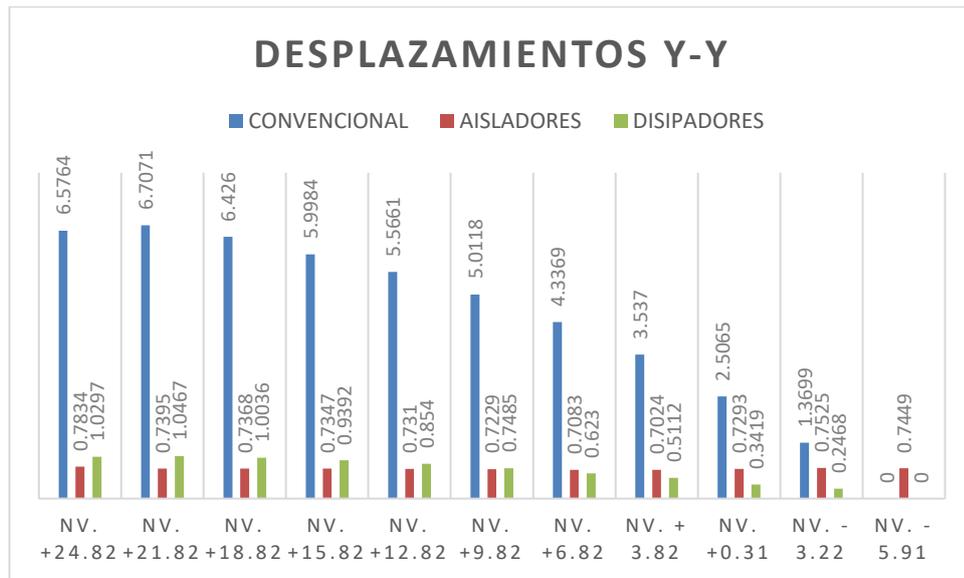
Fuente: Elaboración autónoma, 2022

Figura 66. Comparación de desplazamientos sentido X-X



Fuente: Elaboración autónoma, 2022

Figura 67. Comparación de desplazamientos sentido Y-Y



Fuente: Elaboración autónoma, 2022

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES, BIBLIOGRAFÍA Y ANEXOS

5.1 Conclusiones

- Luego de realizar un 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, se determinó que en la edificación convencional frente a sus similares con aisladores sísmicos y disipadores de energía existe una notable disminución en las derivas de piso; y de estos últimos se obtuvo un mejor comportamiento en el modelo de la estructura con aisladores sísmicos, lo cual se puede verificar en los resultados obtenidos en los diagramas de balances de energía, ya que dichos dispositivos aportaron con mayor absorción de la energía liberada por el sismo.
- Una vez propuestos los diseño estructurales, mediante la incorporación de aisladores sísmicos tipo elastomérico y disipadores de energía, se lograron disminuir notablemente los desplazamientos, a diferencia de la estructura convencional en la cual fue necesario incluir arriostramientos diagonales para proporcionar su estabilidad lateral; para el análisis correspondiente al modelo con aisladores, se colocó un dispositivos aislador de base de tipo elastomérico con núcleo de plomo, en cada uno de los ejes de la estructura y en la edificación con disipadores, los mismos se colocaron además de las diagonales, debido a que la estructura guarda relación en los tres modelos propuestos
- Del análisis comparativo se determinó que los mayores valores de desplazamiento, se registraron en el piso de mayor altura de la edificación, para el sentido x-x en la estructura convencional se obtuvo un valor de 10.01 cm, para el modelo con aisladores 1.54 cm y la estructura con disipadores 6.58 cm. En cuanto al sentido y-y, la estructura convencional se desplazó 6.70 cm, con aisladores 0.74 cm y con disipadores 1.04 cm.
- De las gráficas comparativas indicadas en el apartado de resultados, se observó mayor desplazamiento en la estructura convencional, además un menor desplazamiento en la estructura con disipadores de energía y aunque en el

modelo con aisladores sísmicos se obtuvieron desplazamientos superiores en los pisos intermedios, los esfuerzos en los elementos estructurales de la edificación son inferiores a los otros modelos debido al sistema de trabajo que presentan estos dispositivos frente a un sismo.

- Como se puede visualizar en las tablas comparativas con relación a la deriva de piso del edificio analizado, en ambos sentidos, no sobrepasa el 0.02 permitido por la Norma Ecuatoriana NEC-15 para este tipo de estructuras, tanto en la estructura convencional, como en las estructuras referentes al aisladores y disipadores.
- Tomando en cuenta la media de las derivas producidas en el eje x-x, para la estructura convencional se obtuvo un valor de 0.0033, en tanto que en el modelo con aisladores sísmicos un valor de 0.00019 y en el modelo con disipadores 0.00047, mientras que en el sentido y-y, la estructura convencional presenta un valor de 0.0028, la estructura con aisladores 0.00033 y la estructura con disipadores 0.00064, estos valores dependen del sentido del sismo utilizado en el análisis.
- En concordancia con los resultados presentados se observó que, en relación a la deriva máxima producida en cada uno de los modelos, la edificación con el mejor comportamiento estructural es aquella en la que se colocó aisladores de base, la cual presenta valores menores en la deriva en cada piso.
- De acuerdo a los diagramas de balances de energía, se puede visualizar que los aisladores presentan mayor energía absorbida que los disipadores, permitiendo que los componentes de la edificación no presenten esfuerzos debido a cargas sísmicas.
- A partir del trabajo realizado se pueden desarrollar varias investigaciones y realizar un análisis comparativo entre varias tipologías de dispositivos, tanto de aislamiento de base, como disipación de energía sísmica, con la finalidad de obtener resultados representativos que aporten a la comunidad científica.

5.2 Recomendaciones

- Cuando se realice un análisis del comportamiento estructural, se recomienda realizar la estabilización de la estructura considerando los criterios de la normativa con sus valores establecidos.

- Se recomienda la incorporación de dispositivos para aislar o disipar la energía sísmica, que se transmite en el suelo a la estructura de las edificaciones propuestas
- Para los análisis comparativos de estas características es necesario considerar unos parámetros que permitan identificar la energía aislada o disipada, así como derivas de piso y desplazamientos.
- La norma NEC-15 recomienda utilizar un espectro reducido, con la finalidad de adquirir máxima ductilidad estructural sin perder seguridad estructural.
- Es necesario un análisis previo para evitar sobredimensionamiento en la estructura.
- La información relacionada con los registros sísmicos utilizados debe ser en lo posible de la zona en la que se ubica la estructura, para garantizar de esta manera el buen comportamiento estructural.

5.3 BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. B. Tary, R. W. Hobbs, C. Peirce, C. Lesmes Lesmes, and M. J. Funnell, “Local rift and intraplate seismicity reveal shallow crustal fluid-related activity and sub-crustal faulting,” *Earth and Planetary Science Letters*, vol. 562, p. 116857, 2021, doi: 10.1016/j.epsl.2021.116857.
- [2] S. Radkia, R. Rahnavard, H. Tuwair, F. Abbas Gandomkar, and R. Napolitano, “Investigating the effects of seismic isolators on steel asymmetric structures considering soil-structure interaction,” *Structures*, vol. 27, no. March, pp. 1029–1040, 2020, doi: 10.1016/j.istruc.2020.07.019.
- [3] G. del Ecuador, *Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC*. 2014. doi: 10.1533/9781782420477.27.
- [4] T.-Y. Hsu, P.-S. Dai, and S.-J. Wang, “Numerical study on smart sloped rolling-type seismic isolators integrated with early prediction of peak velocity,” *Engineering Structures*, vol. 246, no. 43, p. 113032, 2021, doi: 10.1016/j.engstruct.2021.113032.
- [5] J. A. Oviedo and M. del P. Duque, “Sistemas de control de respuesta sísmica en edificaciones,” *Revista EIA*, no. 11, pp. 51–63, 2009.
- [6] S. Rezaei, A. Akbari Hamed, and M. C. Basim, “Seismic performance evaluation of steel structures equipped with dissipative columns,” *Journal of Building Engineering*, vol. 29, no. October 2019, p. 101227, 2020, doi: 10.1016/j.jobe.2020.101227.
- [7] Ö. YILDIZ, “Geotechnical Seismic Isolation Method Using Rubber-Soil Mixtures,” *NATURENGS MTU Journal of Engineering and Natural Sciences Malatya Turgut Ozal University*, vol. 1, pp. 34–43, 2021, doi: 10.46572/naturengs.872231.
- [8] M. T. Herrera Mena, “Seismic performance in reinforced concrete structures and confined masonry using elastomeric insulators,” *Proceedings of the LACCEI international Multi-conference for Engineering, Education and Technology*, vol. 2017-July, no. July 2017, pp. 19–21, 2017.
- [9] C. Zhang, A. Ali, and L. Sun, “Investigation on low-cost friction-based isolation systems for masonry building structures: Experimental and numerical studies,” *Engineering Structures*, vol. 243, no. 11, p. 112645, 2021, doi: 10.1016/j.engstruct.2021.112645.
- [10] X. Geng and H. Ding, “Analytical , numerical and experimental study of an enhanced nonlinear energy sink”.
- [11] Y. Y. Chen, Z. C. Qian, W. Zhao, and C. M. Chang, “A magnetic Bi-stable nonlinear energy sink for structural seismic control,” *Journal of Sound and Vibration*, vol. 473, p. 115233, 2020, doi: 10.1016/j.jsv.2020.115233.
- [12] M. Saravanan, R. Goswami, and G. S. Palani, “Energy dissipative beam-column connection for earthquake resistant moment frames,” *Journal of Constructional Steel Research*, vol. 176, p. 106428, 2021, doi: 10.1016/j.jcsr.2020.106428.
- [13] F. Mezghani, A. Fernandez del Rincón, P. Garcia Fernandez, A. de-Juan, J. Sanchez-Espiga, and F. Viadero Rueda, “Effectiveness study of wire mesh vibration damper for sensitive equipment protection from seismic events,” *Mechanical Systems and Signal Processing*, vol. 164, no. June 2021, 2022, doi: 10.1016/j.ymsp.2021.108160.
- [14] M. Moufid, F. Mohamed, and E. Noroozinejad, “Comparative seismic RISK assessment of existing RC buildings using seismic vulnerability index approach,” *Structures*, vol. 32, no. December 2020, pp. 889–913, 2021, doi: 10.1016/j.istruc.2021.03.032.
- [15] A. U. Kadiri and A. Kijko, “Journal of African Earth Sciences Seismicity and seismic hazard assessment in West Africa,” *Journal of African Earth Sciences*, vol. 183, no. June, p. 104305, 2021, doi: 10.1016/j.jafrearsci.2021.104305.
- [16] Y. Chen, J. Song, S. Zhong, Z. Liu, and W. Gao, “Effect of destructive earthquake on the population-economy-space urbanization at county level-A Case Study on

- Dujiangyan county, China,” *Sustainable Cities and Society*, p. 103345, 2021, doi: 10.1016/j.scs.2021.103345.
- [17] V. Lapin, S. Yerzhanov, N. Makish, and A. Azhibayeva, “Reducing Seismic and Traffic Loads Using Seismic Isolating Systems,” *Transportation Research Procedia*, vol. 54, no. 2020, pp. 23–30, 2021, doi: 10.1016/j.trpro.2021.02.042.
- [18] H. Hernandez Ramirez and A. Tena Colunga, “Evaluación Del Diseño Sísmico Resiliente Conforme Al Método De Las Fuerzas De Marcos Dúctiles De Acero Con Disipadores De Energía Histeréticos,” *Revista de Ingeniería Sísmica*, vol. 76, no. 98, p. 45, 2018, doi: 10.18867/ris.98.495.
- [19] P. Usta, “Investigation of a Base-Isolator System ’ s Effects on the Seismic Behavior of a Historical Structure,” 2021.
- [20] D. Taboada Saavedra and V. Fernández-Dávila, “Seismic response of a five story building with isolation system and supplemental viscous dampers for peruvian seismicity,” *Tecnia*, vol. 29, no. 2, pp. 75–79, 2019, doi: 10.21754/tecnia.v29i2.712.
- [21] N. C. van Engelen, “Fiber-reinforced elastomeric isolators: A review,” *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, vol. 125, no. January, 2019, doi: 10.1016/j.soildyn.2019.03.035.
- [22] J. Pimiento, A. Salas, and D. Ruiz, “Desempeño sísmico de un pórtico con disipadores de energía pasivos de placas ranuradas de acero,” *Revista ingeniería de construcción*, vol. 29, no. 3, pp. 283–298, 2014, doi: 10.4067/s0718-50732014000300005.
- [23] L. M. Bozzo, “Modeling, analysis and seismic design of structures using energy dissipators SLB,” *Tecnia*, vol. 29, no. 2, pp. 81–90, 2019, doi: 10.21754/tecnia.v29i2.713.
- [24] J. M. Jara, E. J. Hernández, and B. A. Olmos, “Effect of epicentral distance on the applicability of base isolation and energy dissipation systems to improve seismic behavior of RC buildings,” *Engineering Structures*, vol. 230, no. May 2020, 2021, doi: 10.1016/j.engstruct.2020.111727.
- [25] R. Aguiar *et al.*, “Análisis sísmico de gradas con tres modelos mediante los métodos: espectral y del espectro de capacidad, que sirven de acceso a una estructura con aisladores sísmicos,” *Revista ingeniería de construcción*, vol. 32, no. 3, pp. 113–130, 2017, doi: 10.4067/s0718-50732017000300113.
- [26] R. Aguiar, “Reinforcement of an industrial structure with two types of energy dispensers,” 2016.
- [27] Q. N. Fu and K. H. Tan, “Steel-concrete composite floor systems with different structural and loading configurations under a corner column removal scenario: Experimental tests,” *Engineering Structures*, vol. 244, no. May, p. 112736, 2021, doi: 10.1016/j.engstruct.2021.112736.
- [28] W. M. Hassan, J. C. Reyes, C. González, F. J. Pallarés, and J. S. Spinel, “Seismic vulnerability and resilience of steel-reinforced concrete (SRC) composite column buildings with non-seismic details,” *Engineering Structures*, vol. 244, no. October 2020, 2021, doi: 10.1016/j.engstruct.2021.112810.