

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO



FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL

TEMA: “Estudio del comportamiento estructural de una edificación de 4 pisos de estructura metálica con aisladores sísmicos, en función de la dirección de la losa colaborante”

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de cuarto nivel de Magister en Ingeniería Civil con Mención en Estructuras Metálicas

Modalidad del trabajo de titulación: Proyecto de titulación con componentes de Investigación Aplicada y/o de Desarrollo

Autor: Ing. Alex Daniel Jiménez Gavilánez

Directora: Ing. Lourdes Gabriela Peñafiel Valla, Mg.

Ambato - Ecuador

2024

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. María Fernanda Pico Núñez, Mg. e Ing. José Luis Yunapanta Velastegui, Mg., designados por la Unidad Académica de Titulación de Posgrados de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, para receptor el Trabajo de Titulación con el tema: “ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE UNA EDIFICACIÓN DE 4 PISOS DE ESTRUCTURA METÁLICA CON AISLADORES SÍSMICOS, EN FUNCIÓN DE LA DIRECCIÓN DE LA LOSA COLABORANTE”, elaborado y presentado por el señor, Ing. Alex Daniel Jiménez Gavilánez, para optar por el Título de cuarto nivel de Magíster 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



Ing. María Fernanda Pico Núñez, Mg.

Miembro del Tribunal



Ing. José Luis Yunapanta Velastegui, Mg.

Miembro del Tribunal

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

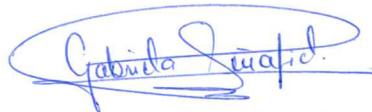
La responsabilidad de las opiniones, comentarios y críticas emitidas en el Trabajo de Titulación presentado con el tema: ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE UNA EDIFICACIÓN DE 4 PISOS DE ESTRUCTURA METÁLICA CON AISLADORES SÍSMICOS, EN FUNCIÓN DE LA DIRECCIÓN DE LA LOSA COLABORANTE, le corresponde exclusivamente a: Ing. Alex Daniel Jiménez Gavilánez, Autor bajo la Dirección de Ing. Lourdes Gabriela Peñafiel Valla, Mg., Directora del Trabajo de Titulación, y el patrimonio intelectual a la Universidad Técnica de Ambato.



Ing. Alex Daniel Jiménez Gavilánez

c.c.: 0503266322

AUTOR



Ing. Lourdes Gabriela Peñafiel Valla, Mg.

c.c.: 1804420220

DIRECTORA

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, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este, dentro de las regulaciones de la Universidad.



Ing. Alex Daniel Jiménez Gavilánez

c.c.: 0503266322

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

A la Unidad Académica de Titulación de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica	ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	iii
DERECHOS DE AUTOR.....	iv
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS.....	v
ÍNDICE DE TABLAS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
AGRADECIMIENTO.....	xiv
DEDICATORIA	xv
RESUMEN EJECUTIVO	xvi
EXECUTIVE SUMMARY	xviii
CAPITULO I.....	1
1.1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	1
1.3 OBJETIVOS GENERAL Y ESPECÍFICOS:.....	2
1.3.1 General	2
1.3.2 Específicos	2
CAPITULO II	3
2.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS	3
2.2 Fundamentación teórica	6
2.2.1 Peligro Sísmico	6

2.2.2	Periodos de retorno	7
2.2.3	Aisladores sísmicos.....	8
2.2.4	Sistemas de losas de cubierta de acero.....	11
CAPITULO III MARCO METODOLÓGICO		14
3.1	Ubicación.....	14
3.2	Equipos y materiales	14
3.3	Tipo de investigación.....	14
3.4	Hipótesis - pregunta científica – idea a defender	14
3.5	Población o muestra.	14
3.6	Recolección de información.	15
3.7	Procesamiento de la información y análisis estadístico.	15
3.8	Variables de respuesta o resultados alcanzados.....	15
CAPITULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		16
4.1	CÁLCULO DE CARGAS.....	16
4.1.1	Cálculo de cargas vivas	16
4.1.2	Cálculo de cargas muertas.....	17
4.1.3	CARGA SÍSMICA.....	20
4.2	RESULTADOS.....	29
4.2.1	MODELADO DE EDIFICACIÓN CON LOSA COLABORANTE ..	29
4.2.2	Análisis estructural edificación con losa colaborante en sentido “Y”, sin aisladores sísmicos	36

4.2.3	Simulación y análisis estructural edificación con losa colaborante en sentido “X”, con el sismo de diseño y sin uso de aisladores sísmicos.....	40
4.2.4	Simulación y análisis estructural edificación con losa colaborante en sentido “Y”, con el sismo diseño y sin uso de aisladores sísmicos	44
4.2.5	Simulación y análisis estructural de la edificación con losa colaborante con aisladores sísmicos	47
4.3	Resultados del comportamiento estructural bajo efectos de espectro con aisladores sísmicos	55
4.3.1	Estructura con losa colaborante en sentido X bajo efectos de espectro con aisladores sísmicos	55
4.3.2	Estructura con losa colaborante en sentido Y bajo efectos de espectro con aisladores sísmicos	59
4.3.3	Comparaciones entre estructura con losa colaborante en sentido X y en sentido Y	65
4.3.4	Resultados de la estructura sometida al sismo de pedernales (Tiempo-Historia).....	71
4.3.5	Comparación de estructuras por sismo de Pedernales TH.....	81
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	87
5.1	Conclusiones	87
5.2	Recomendaciones	88
5.3	BIBLIOGRAFÍA.....	89
	ANEXOS	92

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Porcentaje de relación rotación y la rotación elástica máxima de la sección..	4
Tabla 2. Comparación entre losa colaborante y losa aligerada	5
Tabla 3. Comparación entre tipos de Aisladores Elastómeros	9
Tabla 4. Factor de Amplificación F_a	21
Tabla 5. Coeficiente de amplificación F_d	22
Tabla 6. Coeficiente de amplificación F_s	22
Tabla 7. Amplificación Espectral η	23
Tabla 8. Coeficiente C_t y α por tipo de estructura.	25
Tabla 9. Coeficiente de Resistencia Sísmica, R	26
Tabla 10. Resumen de datos para espectro de respuesta	27
Tabla 11. Coeficiente k (depende del periodo).....	28
Tabla 12. Reacciones obtenidas en simulación con base fija para cargas solicitadas. Fuente: Autor	33
Tabla 13. Comprobación de derivas.....	34
Tabla 14. Desplazamientos máximos ocurridos en la estructura por niveles, con armado en sentido “X”. Fuente: Autor	34
Tabla 15. Forma de periodo, traslaciones u rotación de la estructura en los diferentes modos.	36
Tabla 16. Reacciones obtenidas en simulación con base fija para cargas solicitadas armado en dirección “Y” Fuente: Autor.....	38
Tabla 17. Comprobación de derivas.....	38

Tabla 18.Desplazamientos máximos ocurridos en la estructura por niveles, con armado en sentido “Y” Fuente: Autor.....	38
Tabla 19.Periodos y modos de vibración de la estructura Fuente: Autor.....	39
Tabla 20.Comparacion de criterios de aceptación.....	40
Tabla 21.Comprobación de deriva	41
Tabla 22. Derivas por sismo en losa dirección X.....	42
Tabla 23.Reacciones en la base de la estructura	43
Tabla 24.Comprobación de derivas.....	44
Tabla 25. Derivas maximas, losa sentido Y	45
Tabla 26.Reacciones máximas en la base.	45
Tabla 27.Reacciones producidas por el sismo en la estructura, para el caso de armado en dirección “Y”.....	46
Tabla 28. Comparación Estructuras por sismo base fija. Fuente: Autor	46
Tabla 29.Diseño de aislador Elastomérico de núcleo de plomo.....	54
Tabla 30. Derivas sismo con aislador, Losas dirección X.....	56
Tabla 31.Comprobación de derivas estructura con aisladores, Losa dirección X.....	57
Tabla 32.Desplazamiento en la estructura por efecto del sismo, con uso de aisladores, losa dirección X Fuente: Autor	58
Tabla 33.Derivas sismo con aislador, Losas dirección Y.....	61
Tabla 34. Comprobación de derivas estructura con aisladores, Losa dirección Y.	61
Tabla 35.Desplazamiento en la estructura por efecto del espectro con uso de aisladores, losa dirección Y.....	63
Tabla 36.Periodos de vibración, Losa en X, Aisladores.....	64

Tabla 37.Periodos de vibración, Losa en X, Aisladores Fuente: Autor.....	64
Tabla 38.Comparacion De Derivas Sismo ,Con Aislador,	65
Tabla 39.Comparación de Desplazamientos con Sismo , con Aislador,	67
Tabla 40.Comparación de modos de vibración bajo espectro.....	69
Tabla 41.Resumen comparación estructuras por sismo.	70
Tabla 42.Derivas sismo con aislador, Losas dirección X ajo TH-Pedernales	73
Tabla 43.Comprobación de derivas estructura con aisladores, Losa dirección X,TH.	74
Tabla 44.Derivas sismo con aislador, Losas dirección Y bajo TH-Pedernales	75
Tabla 45..Comprobación de derivas estructura con aisladores, Losa dirección Y ,TH.	76
Tabla 46.Desplazamientos máximos estructura losa dirección Y.....	77
Tabla 47.Desplazamiento en la estructura bajo TH con uso de aisladores, losa dirección Y	79
Tabla 48.Periodos de vibración por sismo estructura con aisladores, losa dirección X, bajo Tiempo Historia.....	80
Tabla 49.Periodos de vibración por sismo estructura con aisladores, losa dirección Y, bajo Tiempo Historia.....	81
Tabla 50.Comparación De Derivas con TH ,Con Aislador	82
Tabla 51.Comparación de Desplazamientos con TH ,Con Aislador	84
Tabla 52.Comparación de modos de vibración bajo TH Fuente: Autor.....	85
Tabla 53.Resumen comparación estructuras por TH	86

ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1. Terremotos mayores a 7 grados con indicios de recurrencia.	8
Ilustración 2. Geometría constitutiva	12
Ilustración 3. Calificación de las placas colaborantes.....	12
Ilustración 4. Tipo de uso, destino e importancia de la estructura	21
Ilustración 5. Espectro de Respuesta Inelástico	28
Ilustración 6. Vista elevación referencial estructura.	30
Ilustración 7. Vista en planta referencial estructura.	30
Ilustración 8. Estructura analizada estabilidad.....	31
Ilustración 9. Comportamiento de falla de la estructura con armado de losa en dirección "X"	32
Ilustración 10. Reacciones en la base estructura con losa dirección X.....	32
Ilustración 11. Gráfico de derivas máximas producidas en la estructura.....	35
Ilustración 12. Comportamiento de falla de la estructura con armado de losa en dirección "Y"	36
Ilustración 13. Reacciones en la base estructura con losa dirección X.....	37
Ilustración 14. Derivas máximas en la estructura	39
Ilustración 15. Acelerograma de sismo ocurrido en Ecuador en 2016	41
Ilustración 16. Derivas por pisos por efectos de sismo	42
Ilustración 17. Reacciones máximas en la base.	43
Ilustración 18. Derivas generadas por el sismo para caso armada en sentido "Y" Fuente: ETABS V.21 (2024)	44

Ilustración 19. Esquema representativo Aislador (mm).....	53
Ilustración 20. Ubicación de aisladores diseñados.....	54
Ilustración 21. Deriva en la estructura por efecto del sismo dirección X con uso de aisladores, losa dirección X Fuente: Autor	55
Ilustración 22. Deriva en la estructura por efecto del sismo dirección Y con uso de aisladores, losa dirección X Fuente: Fuente: Autor	55
Ilustración 23. Desplazamiento en la estructura por efecto del sismo dirección X con uso de aisladores, losa dirección X	57
Ilustración 24. Desplazamiento en la estructura por efecto del sismo dirección Y con uso de aisladores, losa dirección X	58
Ilustración 25. Deriva por efecto del sismo dirección X con uso de aisladores, losa dirección Y Fuente: Autor	59
Ilustración 26. Deriva por efecto del sismo dirección Y con uso de aisladores, losa dirección Y Fuente: Autor	60
Ilustración 27. Desplazamiento en la estructura por efecto del sismo dirección X con uso de aisladores, losa dirección Y	62
Ilustración 28. Desplazamiento en la estructura por efecto del sismo dirección Y con uso de aisladores, losa dirección Y	62
Ilustración 29. Comparación derivas máximos estructura, sismo X.....	66
Ilustración 30. Comparación desplazamientos máximos estructura, sismo Y	66
Ilustración 31. Comparación desplazamientos máximos estructura, sismo X	68
Ilustración 32. Comparación desplazamientos máximos estructura, sismo Y	68
Ilustración 33. Comparación Modos de Vibración, Aisladores.....	70
Ilustración 34. Espectro sismo de pedernales.	71

Ilustración 35. Deriva en la estructura bajo TH dirección X con uso de aisladores, losa dirección X	72
Ilustración 36. Deriva en la estructura bajo TH dirección Y con uso de aisladores, losa dirección X	72
Ilustración 37. Deriva en la estructura bajo TH dirección X con uso de aisladores, losa dirección Y	74
Ilustración 38. Deriva en la estructura bajo TH dirección y con uso de aisladores, losa dirección Y	75
Ilustración 39. Desplazamiento en la estructura por efecto del sismo dirección X con uso de aisladores, losa dirección X	76
Ilustración 40. Desplazamiento en la estructura por efecto del sismo dirección X con uso de aisladores, losa dirección X	77
Ilustración 41. Desplazamiento en la estructura bajo TH dirección X con uso de aisladores, losa dirección Y	78
Ilustración 42. Desplazamiento en la estructura bajo TH dirección Y con uso de aisladores, losa dirección Y	79
Ilustración 43. Comparación derivas en estructura, sismo TH dirección X.....	82
Ilustración 44. Comparación derivas en estructura, sismo TH dirección Y	83
Ilustración 45. Comparación desplazamientos en estructuras, sismo TH dirección X	84
Ilustración 46. Comparación desplazamientos en estructuras, sismo TH dirección Y	85
Ilustración 47. Comparación de modos de vibración bajo TH.....	86

AGRADECIMIENTO

Agradezco primeramente a Dios por darme la oportunidad de seguir aprendiendo a pesar de los obstáculos.

A mi familia por la paciencia y comprensión que me brindaron.

A la Ing. Gabriela Peñafiel por su guía y predisposición para ayudarme durante este proceso.

A la Ing. Marisol Bayas por el apoyo y aliento para la culminación de esta etapa.

Al personal administrativo del área de posgrados de la Facultad de ingeniería Civil y Mecánica por la paciencia y guía brindada durante los distintos tramites que fueron necesarios realizar.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi madre, Aida Licenia por su amor, sacrificio y apoyo incondicional durante todas las etapas de mi vida.

A mi hermana Melanie Victoria por su amistad y por demostrarme que siempre es posible avanzar a pesar de las dificultades.

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

TEMA:

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE UNA EDIFICACIÓN DE 4 PISOS DE ESTRUCTURA METÁLICA CON AISLADORES SÍSMICOS, EN FUNCIÓN DE LA DIRECCIÓN DE LA LOSA COLABORANTE

MODALIDAD DE TITULACIÓN: Proyecto de titulación con componentes de Investigación Aplicada y/o de Desarrollo

AUTOR: Ing. Alex Daniel Jiménez Gavilánez

DIRECTORA Ing. Lourdes Gabriela Peñafiel Valla, Mg.

FECHA: 15 de marzo de 2024

RESUMEN EJECUTIVO

Esta investigación, surge por la incertidumbre de, si la variación de la losa colaborante influye en el comportamiento de la estructura cuando ésta posee aisladores sísmicos de base, con la finalidad de identificar cual sería la mejor opción al momento de escoger la dirección en la que se colocaría este elemento estructural y brindar una guía para los posteriores análisis.

Por ello en esta investigación se procedió a realizar el modelado de una estructura mediante un software de simulación estructural teniendo como consideración las especificaciones sísmicas de la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-2015), para dar inicio en este trabajo de titulación, se ubicó una edificación en la ciudad de Ambato para la obtención de los factores de sitio, además ésta cuenta con regularidad en planta y elevación, con nivel de importancia para edificaciones

esenciales, esta edificación consta de un área de 540 metros cuadrados y altura de 14 metros; una vez estabilizada la estructura con la losa colaborante en dirección de las abscisas, se procedió a variar la dirección misma en sentido perpendicular a la primera es decir paralela a las ordenadas, de esta forma creándose una segunda estructura a estudiar. Para las estructuras ya estabilizadas por cargas de gravedad se procedió a realizar el cálculo de los aisladores sísmicos que fueron ubicados en las bases de las mismas, en el caso del presente estudio se consideró un aislador elastomérico de núcleo de plomo o de tipo LRB, cuyos datos fueron ingresados al software de simulación estructural para su procesamiento y análisis. De las estructuras simuladas se obtuvieron datos de derivas de piso, periodos de vibración, y desplazamientos provocados por la acción del espectro de diseño obtenido con los parámetros de la NEC 2015 y el análisis tiempo-historia (TH) basado en los registros sísmicos del terremoto ocurrido en la ciudad de Pedernales en el año 2016, con estos datos se pudo realizar un análisis comparativo del comportamiento de ambas estructuras planteadas.

DESCRIPTORES: AISLADOR SÍSMICO, ESTRUCTURA METÁLICA, LOSA COLABORANTE, SISMÓ, ACERO.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO3
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL CON MENCIÓN EN
ESTRUCTURAS METÁLICAS

THEME:

STUDY OF THE STRUCTURAL BEHAVIOR OF A 4-STORY METAL
STRUCTURE BUILDING WITH SEISMIC ISOLATORS, DEPENDING ON
THE DIRECTION OF THE COLLABORATING SLAB

DEGREE MODALITY: Degree project with components of Applied and/or
Development Research

AUTHOR: Eng. Alex Daniel Jiménez Gavilánez

DIRECTOR: Eng. Lourdes Gabriela Peñafiel Valla, Mg.

DATE: March 15, 2024

EXECUTIVE SUMMARY

This research arises from the uncertainty of whether the variation of the collaborating slab influences the behavior of the structure when it has base seismic isolators, with the purpose of identifying which would be the best option when choosing the direction in which This structural element would be placed and provide a guide for subsequent analyses.

For this reason, in this research, the modeling of a structure was carried out using structural simulation software, taking into consideration the seismic specifications of the Ecuadorian Construction Standard (NEC-2015), to begin this degree work, it was located a building in the city of Ambato to obtain the site factors, it also has regularity in plan and elevation, with a level of importance for essential buildings, this building has an area of 540 square meters and a height of 14 meters; Once the structure was stabilized with the collaborating slab in the direction of the abscissa, the direction itself was varied perpendicular to the first, that is, parallel to the

ordinates, thus creating a second structure to study. For the structures already stabilized by gravity loads, the calculation of the seismic isolators that were located at their bases was carried out. In the case of this study, an elastomeric isolator with a lead core or LRB type was considered, whose Data were entered into the structural simulation software for processing and analysis. Data on floor drifts, vibration periods, and displacements caused by the action of the design spectrum obtained with the parameters of the NEC 2015 and the time-history (TH) analysis based on the seismic records of the earthquake were obtained from the simulated structures. occurred in the city of Pedernales in 2016, with these data it was possible to carry out a comparative analysis of the behavior of both proposed structures.

KEYWORDS: SEISMIC ISOLATOR, METAL STRUCTURE, COLLABORATING SLAB, SEISMIC, STEEL.

CAPITULO I

1.1 INTRODUCCIÓN

La acción de los sismos en las estructuras de edificaciones en el Ecuador y países ubicados en el cinturón de fuego del Pacífico[1] hace necesario la investigación de los efectos que estos pueden causar en las mismas y en sus componentes, por esta razón el estudio del comportamiento estructural de una edificación de 4 pisos de estructura metálica con aisladores sísmicos, en función de la dirección de la losa colaborante, fue planteado para conocer como influyen los componentes de una estructura en el comportamiento sismorresistente de la misma.

1.2 JUSTIFICACIÓN

En países como el nuestro que se encuentra en el llamado cinturón de fuego del Pacífico, específicamente en la zona en que la placa de Nazca y la placa Sudamericana colisionan, la acción de los eventos sísmicos configura el mayor problema que enfrentan las edificaciones debido a la gran dificultad de predecirlos o conocer la magnitud con la que actuarán sobre una estructura y el daño que puedan causar en los elementos constituyentes de las mismas.[1]

Considerando que las construcciones actuales se están encaminando cada vez más a utilización de estructuras metálicas, por las facilidades constructivas que brindan estas, hace necesario conocer las formas en las que se puede mitigar el riesgo sísmico, y solventar la vulnerabilidad de las construcciones a través del diseño sismorresistente. Es así que en el presente trabajo se pretende conocer cómo influyen los elementos de aislación sísmica de base, en el comportamiento estructural, tomando en cuenta también la acción de elementos estructurales importantes como son las losas colaborantes, y de esta forma buscar que las nuevas construcciones sean seguras tanto para los ocupantes, como para la estructura en sí. [2]

1.3 OBJETIVOS GENERAL Y ESPECÍFICOS:

1.3.1 General

Estudiar el comportamiento estructural de una edificación de 4 pisos de estructura metálica con aisladores sísmicos, en función de la dirección de la losa colaborante.

1.3.2 Específicos

- Simular el comportamiento de la estructura con la placa colaborante paralela a las abscisas.
- Simular el comportamiento de la estructura con la placa colaborante paralela a las ordenadas.
- Analizar y comparar las reacciones y momentos generados en la estructura con la variación de la dirección de la placa colaborante.

CAPITULO II

2.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

Los aisladores sísmicos se utilizan como un concepto de diseño sísmico es decir se visualizan para disminuir la fuerza sísmica que se transfiere desde el suelo a las estructuras, mediante la colocación de elementos flexibles en la base o en entresijos de las construcciones, con esto se logra alargar el período natural de la estructura y al mismo tiempo desacoplarla del suelo protegiendo de esta forma de las sacudidas que puedan causar daño a la misma o a cualquiera de sus componentes.[3],[4]

Mkrtychev y Mingazova en su estudio “Análisis de la reacción de edificaciones de hormigón armado de número variable de pisos con cinta deslizante de aislamiento sísmico ante un sismo.” Encuentran que el uso una cinta deslizante con aislamiento sísmico en la cimentación permiten aumentar la resistencia sísmica de un edificio. Además, muestran como este sistema reduce el impacto sísmico a nivel de suelo en un edificio en un punto o más. Los resultados que presentan también indican la eficiencia de protección en edificios de menor altura como para edificios de gran altura pero recomiendan realizar estudios de un edificio específico y con la utilización un método dinámico no lineal.[5]

Saitta et al en su artículo “Base Isolation of Buildings with Curved Surface Sliders: Basic Design Criteria and Critical Issues”, estudian los aisladores de tipo deslizadores de superficie curvado péndulo de fricción, estos presentan características adecuadas para ser aplicados en las bases en estructuras. Estos tienen un comportamiento gobernado por tres coeficientes de fricción, respectivos al inicio del movimiento, a la fase dinámica y a la inversión del signo de velocidad. Se debe considerar que en el experimento se presenta rotación en la estructura que se supone que algunos aisladores perdieron contacto y presentaron distintos desplazamientos. Se da a considerar que la fricción estática debe ser adecuada para soportar cargas de viento y tráfico pero no tan alta para reaccionar en cargas de sismos.[6]

Bonilla y Cruzado en su investigación “Estudio sobre la respuesta sísmica de un edificio con aisladores sísmicos de base” comparan y demuestran que un edificio al que se colocaron aisladores sísmicos presentó mejor comportamiento ante acciones sísmicas una edificación con base fija. Sus conclusiones muestran que el edificio con aislamiento, da un aumento en el periodo fundamental en los primeros modos de vibración, en promedio de 58% y de 82% para el tercer modo de vibración. También se indica que la cortante basal disminuyó un porcentaje mayor al 80% en el espectro de respuesta de diseño. La flexibilidad del sistema aumenta en comparación con un edificio de base sin aislamiento en 100% en la base y 47% en la terraza , en desplazamientos laterales.[7]

En el estudio “Comparación del rendimiento sísmico de estructuras de acero equipadas con amortiguadores viscosos y aislamiento de base de soporte de caucho de plomo bajo un terremoto de campo cercano” realizado por Ganji y Kazem, comparan y evalúan el comportamiento sísmico entre los dos sistemas de disipación de energía sísmica, sometiendo a dos niveles de energía y peligro sísmico para edificios de 5,10 y 15 pisos, su comparación se muestra en la tabla siguiente:[8]

Porcentaje de relación rotación y la rotación elástica máxima de la sección						
Sistema	Nivel de riesgo					
	Nivel 1			Nivel 2		
Número de pisos	5	10	15	5	10	15
Amortiguadores sísmicos	41	40	18	39	35	20
Aislador sísmico	75	69	77	80	75	69

Tabla 1 Porcentaje de relación rotación y la rotación elástica máxima de la sección

Fuente:[8]

Por otro lado, en comparación con la edificación sin aislamiento sísmico se encontraron una reducción de 19% y de 52% en la fuerza cortante con amortiguador viscoso y aislador sísmico respectivamente. Además la energía de entrada se absorbió en un 63% en el nivel 1,y 56% en el nivel 2 cuando se trata del amortiguador y 58% en el nivel 1 y 62% en el nivel 2 con aislador.[8]

El estudio realizado por Rodríguez de la universidad de Cajamarca titulado “Comparación del comportamiento estructural y económico de losas colaborantes unidireccionales con losas aligeradas” encuentra varias diferencias en el comportamiento estructural de las losas, entre esa tenemos las siguientes presentadas en la siguiente tabla:[9]

Comparación entre losa colaborante y losa aligerada		
Parámetro	Losa Colaborante	Losa aligerada
Resistencia a flexión (Kg-m)	2145,89	735,18
Resistencia a esfuerzo de corte (Kg)	5299,41	913,97
deflexión (cm)	1,16	2,7
Cantidad de Concreto (m3/m2)	0,0933	0,08
Peso (Kg /m2)	232,32	280

Tabla 2. Comparación entre losa colaborante y losa aligerada

Fuente:[9].

En el estudio sobre los daños causados en el terremoto de 2016 en Ecuador, Castañeda y Bravo encuentran distintas fallas en los componentes estructurales de las edificaciones de la zona afectada entre estas se dan el fallo de las columnas que según la observación en sitio realizado encuentran la predominancia de columnas esbeltas, irregulares u omitidas con continuidad desde la siguiente planta, lo que permitió la falla en estos elementos tan esenciales. [10]

Una importante observación en este trabajo se da con respecto las fallas encontradas en los pisos con placa colaborante, que como se sabe se utilizan para alivianar la estructura, y que gracias a su acción no se encuentran daños relevantes en este tipo de elementos, los desplazamientos que se presentaron se dieron en la unión de viga metálica con la columna de hormigón, mientras en construcciones de acero con el mismo sistema deck presentaron fallas solucionables.[10]

En el estudio efectuado en la Universidad Politécnica Salesiana por Casierra y Pillajo titulado “Diseño y simulación de un aislador sísmico de elastómero para edificios en estructura metálica de hasta 4 pisos” En este estudio presentan como

conclusiones entre otras lo referente a las derivas de entrepiso que para una edificación sin aislamiento sísmico entrega valores de hasta 40.42 mm, mientras que para una estructura con aislamiento sísmico da valores de máximo 2.06mm pudiendo observar de esta forma la gran diferencia de los sistemas estructurales. Se indica también lo referente a las aceleraciones que en el caso de estructura con aislamiento se reducen en promedio un 87% con relación a la estructura sin aislar. Para el caso del periodo de vibración para la estructura sin aislamiento es de 0.412 s, que se ubica entre los valores máximos para un sismo, mientras que en el caso con aislamiento sísmico el periodo obtenido es de 2.868 s rango en que la aceleración es cinco veces menor.[11]

2.2 Fundamentación teórica

2.2.1 Peligro Sísmico

Según Quinde y Reinoso en su “Estudio de peligro sísmico de Ecuador y propuesta de espectros de diseño para la Ciudad de Cuenca”. define al peligro sísmico como la probabilidad de que ocurra un exceso de intensidad de las condiciones normales de movimiento de la corteza terrestre en un sitio de interés, sin que se pueda a ciencia cierta, conocer la frecuencia y la intensidad de los posibles eventos. Estas incertidumbres para predecir la ocurrencia de un evento sísmico son muy altas para esto se han creado los catálogos sísmicos en los que se encuentran distancias, magnitudes de eventos anteriores ocurridos para ser analizados mediante, un análisis probabilístico de amenaza sísmica (PSHA, por sus siglas en inglés).

En este estudio se menciona que el peligro sísmico en nuestro país principalmente proviene de dos tipos de fuentes, la primera subducción (interplaca e intraplaca), y la segunda los de tipo corticales o conocidos como superficiales. Los interplaca que se dan por el roce de la placa de Nasca con la placa sudamericana y se ocasionan en profundidades de hasta 40 km. Los sismos intraplaca que son sismos que se dan dentro de una sola placa normalmente en fallas geológicas y se producen a profundidades de entre 40 km y 300 km. Los de tipo cortical también se dan dentro de la placa en pero su profundidad alcanza hasta 40 km, estos son los que mayor daño pueden producir al momento de la liberación de energía.[12]

En Ecuador un país multiamenazas por su ubicación geográfica, es necesario la optimización de la calidad de las edificaciones puesto que, en los últimos 460 años, se han ocasionado gran cantidad de sismos de unas magnitudes altas. Ejemplo de estos es el sismo de 179 ocurrido en Riobamba que fue uno de las más considerables por la afectación que causó en gran parte del país principalmente en las provincias de Tungurahua, Cotopaxi, Bolívar y Pichincha en las que se encontraban viviendas construidas en su mayoría de una y dos plantas ,principalmente de ladrillo, adobes de barro, madera, bahareque y en pocos casos de piedra estas recubiertas con un empañetado de barro con paja picada y enlucida con una capa de barro fino, estas construcciones en presencia del terremoto cayeron desde sus cimientos, todas las iglesias, conventos, edificios públicos, hospitales y escuelas se destruyeron por completo. En agosto de 1898 en la ciudad de Ibarra que provocó daños muy considerables en la ciudad y todos sus alrededores.

2.2.2 Periodos de retorno

Según Ramos, el periodo medio de retorno o periodo de recurrencia, se le considera al tiempo promedio de espera entre la ocurrencia de dos sismos consecutivos con mayor o igual magnitud. también, se considera como el número de años de distancia entre las ocurrencias de un evento telúrico en un área en determinada.

Se debe considerar también la peligrosidad de las zonas sísmicas tanto activas como las conocidas lagunas sísmicas que son zonas en las que no se producen eventos sísmicos en periodos mayores a cien años, localizadas en el borde oeste de Sudamérica[13], estas lagunas se pueden considerar como acumuladores de energía pues como se mencionó las placas están en constante movimiento unas con otras y mientras mayor sea la laguna sísmica y el tiempo de acumulación mayor será la liberación de energía.[14]

Moncayo et. al. En su estudio de “Análisis Sobre la recurrencia de terremotos severos en Ecuador” menciona que la costa de nuestro país al encontrarse sobre la placa sudamericana, se mueve aproximadamente 2 cm al año en dirección norte y las islas Galápagos, al estar en la placa de Nazca, se desplazan 5 cm al año en sentido este. Este movimiento de placas nunca se detiene, en consecuencia esta se

da en una región de choque que siempre está acumulando energía de deformación, el movimiento de las placas no es constante en lo que se refiere a distancia recorrida pero se asume que la placa en la que se encuentra Ecuador tiende a moverse 5cm al año, por lo que se puede decir que pasados 100 años acumulará 5 metros de energía de deformación, este proceso de acumulación y liberación tiene dos estados; el estado de reactivación sísmica en el cual se libera la energía en forma de fuertes sismos y el estado de tranquilidad sísmica en el que se acumula energía en donde los eventos sísmicos son poco frecuentes o nulos. En este estudio se nos muestra la siguiente tabla de datos con eventos sísmicos de magnitudes superiores a 7 grados, con periodos que van desde los 40 a 724 años en las zonas de mayor afectación.[15]

TERREMOTOS MAYORES A 7 GRADOS DESDE 1900 HASTA EL 2017 QUE MUESTRAN INDICIOS DE RECURRENCIA						
FECHA	HORA	LATITUD	LONGITUD	PROFUNDIDAD (Km)	MAGNITUD	EPICENTRO
14/5/1942	02:13:27.000Z	-0.025	-79.955	20	7.8	TERREMOTO DE PERDENALES DE 1942
16/4/2016	23:58:36.980Z	0.3819	-79.9218	20.59	7.8	TERREMOTO DE PEDERNALES DEL 2016
16/1/1956	23:37:45.000Z	-0.727	-80.213	20	7	TERREMOTO DE BAHÍA DE CARAQUEZ EN 1956
4/8/1998	18:59:20.100Z	-0.593	-80.393	33	7.2	TERREMOTO DE BAHÍA DE CARAQUEZ EN 1998
31/1/1906	15:36:10.000Z	0.955	-79.369	20	8.8	GRAN TERREMOTO DE ESMERALDAS EN 1906
19/1/1958	14:07:28.000Z	1.011	-79.489	27.5	7.6	TERREMOTO DE ESMERALDAS DE 1958
12/12/1953	17:31:29.000Z	-3.552	-80.636	25	7.3	TERREMOTO DE TUMBES DE 1953
10/12/1970	04:34:41.000Z	-4.026	-80.542	25	7.2	TERREMOTO DE TUMBES DE 1970
27/7/1971	02:02:49.000Z	-2.839	-77.322	120	7.4	SISMO DE MORONA SANTIAGO 1971
3/10/1995	01:51:23.900Z	-2.75	-77.881	24.4	7	SISMO DE MORONA SANTIAGO 1995

Ilustración 1. Terremotos mayores a 7 grados con indicios de recurrencia.

Fuente:[15]

2.2.3 Aisladores sísmicos

Radkia et al. en la investigación titulada “Investigating the effects of seismic isolators on steel asymmetric structures considering soil-structure interaction” mencionan la importancia del aislamiento sísmico en edificaciones pues es el método práctico para reducir derivas y aceleraciones en esta, al reducir la energía transmitida del suelo. En este estudio se analizan un total de 24 modelos estructurales de acero bajo cargas sísmica y con diferentes tipos de irregularidades de entre el 20% al 60%

Como resultados principales de la investigación se menciona que, en términos de deriva entre pisos y aceleraciones de pisos, los aisladores causaron un impacto significativo en las respuestas dinámicas de las edificaciones, en especial de las de baja altura. También se demostró que las irregularidades estructurales no afectaron

la respuesta dinámica de la estructura, incluido el desplazamiento y la aceleración de los pisos. [16]

En la investigación realizada en la universidad UPC Barcelonatech en el estudio de “Análisis comparativo de un edificio fijo en la base vs un edificio aislado utilizando 4 tipos de aisladores sísmicos”, en este estudio comparan el comportamiento de un edificio con la aplicación de 4 tipos de aisladores sísmicos, High Damping Rubber Bearings (HDRB), Lead Rubber Bearings (LRB), Friction Pendulum System (FPS) y el Roll N-Cage (RNC), presenta los siguientes resultados recopilados en la tabla.[17]

Resultados de comparación entre tipos de aisladores elastómeros					
Aislador	Deriva de piso	Aceleración en piso superior	Fuerza cortante	Desplazamiento	Unidades
HDRB	75	75	77	167	%
LRB	75	75	76	212	%
FPS	84	93	78	352	%
RCN	86	92	84	333	%

Tabla 3. Comparación entre tipos de Aisladores Elastómeros

Fuente:[17]

En la tabla de resultados se aprecia que los aisladores seleccionados para el estudio presentan reducciones significativas en los análisis de: deriva de piso, aceleración en piso superior, fuerza cortante, y un incremento muy apreciable del factor de desplazamiento relativo al terreno del edificio. [17]

Losanno et al. en su trabajo de investigación buscan encontrar alternativas más económicas a los aisladores sísmicos elastómeros de caucho vulcanizado, añadiendo materiales más económicos como el poliéster o nilón. Entre sus conclusiones se puede apreciar que el poliéster ha brindado un ahorro de costos del 20-50%, tanto en los diferentes refuerzos internos como en el proceso de fabricación mismo. Este proyecto lo lleva a cabo a escala 1/3 en una mesa vibratoria en la que someten a los cojinetes a pruebas de carga bidireccional en la que se llegaron a deformaciones de hasta dos veces la esperada en diseño, con una

capacidad de recuperación similar al aislador de caucho y sin presentar daños residuales. Al final de este estudio se menciona la posibilidad de sustituir al caucho por los materiales estudiados, ya que estos son más fáciles de conseguir.[18]

El estudio realizado por Van Engelen, en su estudio nos indica varias propiedades de los aisladores elastoméricos reforzados con fibra, como la rigidez vertical que viene a ser la capacidad de absorber la carga vertical de la estructura mediante la rigidez de sus componentes y a su vez absorber balanceo de esta, la deformación de las fibras del aislador va a ser restringidas por el refuerzo que tiene este. En lo referente a carga laterales se menciona que la rigidez debe ser menor a la vertical pues la forma en la que el aislador absorbe la energía sísmica al deformarse y su composición tiene la capacidad de retomar su forma original [19]

Otros parámetros necesarios para los aisladores sísmicos se nos mencionan en el trabajo de Rosales et al., como son la amenaza sísmica, que se entiende como la probabilidad de ocurrencia del sismo, el tipo de suelo que se diferencian por la velocidad de propagación de las ondas, el periodo de vibración, El espectro de diseño que es la relación de la aceleración en función del periodo, las derivas a controlar. Los parámetros mecánicos que se mencionan son:[20]

- El módulo de corte G, que es la rigidez bajo fuerzas de corte de proveedores se obtiene que va de 0.4 a 1 MPa.
- La rigidez horizontal Kh, de la que se habló anteriormente cuya ecuación viene es $K_h = Ga/tr$; donde Ga =Módulo de corte

A=Área de sección de goma

tr=Altura total de goma del aislador

- Factor de forma S, que es la relación entre el área del aislador cargada con el área no cargada. $Ec = \frac{\pi r^2}{2\pi r * t}$ donde; r=radio del aislador

t=espesor de capa de goma

- Módulo de compresión Ec , que se utiliza para la reducción del factor de forma debido al área del núcleo de plomo, y se calcula con $Ec = \frac{6GS^2K}{6GS^2+K}$,
k= rigidez[20]

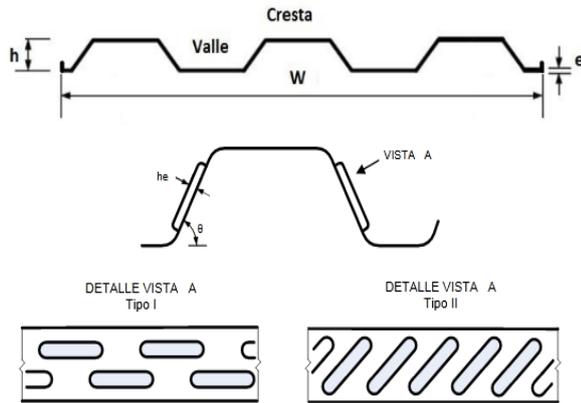
2.2.4 Sistemas de losas de cubierta de acero

Según Wilson et al., la losa mixta es un sistema producto de la combinación estructural de dos elementos principales: un encofrado metálico o Steel Deck propiamente dicho y una losa de hormigón, en donde sus elementos trabajan en conjunto para aprovechar sus mejores características mecánicas individuales. El Steel Deck a más de ser un reforzamiento de la losa durante la construcción se comporta como encofrado para la etapa de hormigonado de la losa. [21]

De este estudio se puede además extraer ciertas comparaciones que se hace entre la losa compuesta y una losa de hormigón entre las más relevantes tenemos que en relación de costos la losa deck puede llegar a ser más cara en losas de hasta 6m, pero lo compensa al compararlas con luces mayores pues las losas de hormigón tendrán mayor espesor lo que reducirá la altura de entrepiso, y hará que la estructura se más pesada, contrariamente la losa compuesta puede actuar en espesores menores aliviando el peso de la estructura y además presenta ventajas para el paso de tuberías sin acortar la altura de entrepiso. La facilidad constructiva también es una ventaja de la losa compuesta pues facilita la movilidad y contribuye en la disminución del tiempo de construcción. [21]

En la NTE INEN 2397 observamos algunas características que presentan las placas colaborantes, primeramente la parte de su geometría presentada en la siguiente gráfica:[22]

FIGURA 1. Dimensiones de las placas colaborantes, tipos de resaltes



NOTA. El detalle de vista A Tipo I y Tipo II muestra tipos referenciales de resaltes, los productos de diversos fabricantes pueden diferir en diseño y dimensiones.

- Ancho útil (w)
- Altura (h)
- Espesor (e)
- Ángulo de inclinación del alma (θ)
- Altura del resalte (he)

Ilustración 2. Geometría constitutiva

Fuente: [22]

La placa metálica como se aprecia generalmente tiene forma trapezoidal o corrugada, [21] diseñado para asegurar una mayor estabilidad de la estructura tanto durante la construcción, como cuando de que hormigón haya curado, según su configuración geométrica de la cresta se clasifican en: [22]

TABLA 1. Clasificación de la placa colaborante de acero

Tipo	Descripción	Geometrías	Comentarios
A	Con resaltes		Cuando el ángulo de inclinación θ entre el valle y la cresta es inferior a 90° (Figura 1)
B	Sin resaltes		Cuando el ángulo de inclinación θ entre el valle y la cresta es superior a 90° (Figura 1)

NOTA. Las figuras solo tienen valor explicativo. Productos de diversos fabricantes pueden diferir en diseño.

Ilustración 3. Calificación de las placas colaborantes

Fuente: [22]

Losas como elemento estructural

Como elemento estructural, las losas son las encargadas de recibir fuerzas verticales que las comprimen, mismas que las transmiten a los apoyos en este caso las viguetas transmitiéndolas a los apoyos. Actúa también como un diafragma horizontal rígido, pues distribuyen las acciones horizontales a las columnas de la estructura, esto contribuye a que la estructura sea estable en especial en edificios de gran altura. Además, se les atribuyen funciones adicionales: la de resistencia; pues soportan su propio peso y el de las sobrecargas accidentales, y la función

aislante; ya que las losas actúan como aislación térmica y acústicamente las distintas plantas de la estructura, diafragmas también pueden contribuir en la redirigir las fuerzas alrededor de las aberturas y redistribuir fuerzas de torsión. [22],[23]

CAPITULO III MARCO METODOLÓGICO

3.1 Ubicación

El presente trabajo se realizó en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

3.2 Equipos y materiales

Entre los equipos y materiales principales para el presente proyecto están los siguientes:

- Computadora con software de simulación estructural, procesador Intel i7, memoria RAM 16 Gb.
- Impresora Epson Ecotank L4260
- Norma NEC-15,
- Norma AISC 360-16
- Norma AISC 341-16

3.3 Tipo de investigación

Es de tipo estudio de casos debido a que se plantearon variaciones en los parámetros de la de dirección en la placa colaborante, los mismos que serán analizados e interpretados.

Se abordó también como tipo exploratoria puesto que se trata de una investigación con poca información previa ya que no ha sido estudiada a profundidad.

3.4 Hipótesis - pregunta científica – idea a defender

La variación de la dirección de la losa colaborante influirá en el comportamiento estructural de una edificación de 4 pisos de estructura metálica.

3.5 Población o muestra.

Para el presente proyecto como muestra se ha tomado el número de casos que surgen de la combinación de variables planteadas.

3.6 Recolección de información.

La información que fue analizada se recolectó mediante los datos generados por la simulación de la estructura a partir de la variación de los parámetros de estudio.

3.7 Procesamiento de la información y análisis estadístico.

Con la información del estudio se presentan mediante tablas y gráficas comparativas con los resultados que arroje cada caso de estudio.

3.8 Variables de respuesta o resultados alcanzados

Para el tratamiento de las variables de respuesta se analizaron las estructuras metálicas con aisladores sísmicos, con la ayuda de un software de análisis estructural de donde se pudieron obtener datos que permiten la comparación y análisis del comportamiento estructural, en lo que refiere a derivas y periodos de vibración según los parámetros planteados.

CAPITULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 CÁLCULO DE CARGAS

Se realizó en primer lugar la determinación de las cargas a las cuales estará sometida la estructura tanto cargas vivas como cargas muertas que se detallan a continuación.

4.1.1 Cálculo de cargas vivas

Del numeral 4.2.1 de la Nec-2015 Cargas (No sísmicas) se tomó el correspondiente a carga viva a hospitales de donde se Obtiene lo siguiente:

Carga Viva

$$CV_{\text{quirofanos}} := 290 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$CV_{\text{Pasillo}} := 400 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \cdot 0.25 = 100 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

Carga viva Piso N°1-N°4

$$CV := CV_{\text{quirofanos}} + CV_{\text{Pasillo}} = 390 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$CV = 0.39 \frac{\text{tonne}}{\text{m}^2}$$

Carga viva Cubierta

$$CV_{\text{cubierta}} := 70 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

4.1.2 Cálculo de cargas muertas

Del numeral 4.1 de la Nec-2015 Cargas (No sísmicas) se consideró las siguientes cargas para entrepiso y cubierta:

Carga Muerta

Cálculo Peso propio de la losa

Datos de la losa deck

Espesor de placa colaborante $e_{deck} := 0.65 \text{ mm}$

Peso de la placa colaborante $W_{deck} := 6.38 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$

Volumen de hormigón $Vh := 0.08 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2}$

Peso específico del hormigón $\gamma h := 2400 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

Altura del hormigón $h_h := 5 \text{ cm}$

Peso hormigón

$$W_h := Vh \cdot \gamma h = 192 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

Peso total losa $W_{t_{losa}} := W_{deck} + W_h = 198.38 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$

Cálculo Peso Mampostería

Datos para mampostería

$$\gamma b := 1200 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Peso específico bloque

Peso específico vidrio

$$\gamma_v := 2600 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Longitud $L_c := 6 \text{ m}$ de pared completa

Longitud $L_v := 6 \text{ m}$ de pared con ventana

Área del tablero $l_1 := 6 \text{ m}$ $l_2 := 6 \text{ m}$ $A_{\text{tablero}} := l_1 \cdot l_2 = 36 \text{ m}^2$

Pared Tipo 1

Altura de pared completa

$$h_p := 4 \text{ m}$$

Ancho de bloque

$$e_b := 0.15 \text{ m}$$

Peso pared por metro lineal

$$W_{pl} := \frac{(1 \text{ m} \cdot h_p \cdot e_b \cdot \gamma_b)}{1 \text{ m}} = 720 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

Peso pared completa

$$W_{pc} := \frac{(W_{pl} \cdot L_c)}{A_{\text{tablero}}} = 120 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

Pared Tipo 2

Altura de pared completa

$$h_{pv} := 1.4 \text{ m}$$

Altura ventana

$$h_v := 2.8 \text{ m}$$

Ancho de bloque

$$e_{bv} := 0.15 \text{ m}$$

Ancho ventana

$$e_v := 0.006 \text{ m}$$

Peso pared por metro lineal

$$W_{pvl} := \frac{(1 \text{ m} \cdot h_{pv} \cdot e_{bv} \cdot \gamma_b)}{1 \text{ m}} + \frac{(1 \text{ m} \cdot h_v \cdot e_v \cdot \gamma_v)}{1 \text{ m}}$$

$$W_{pvl} = 295.68 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

Peso pared con ventana

$$W_{pv} := \frac{(W_{pvl} \cdot L_v)}{A_{\text{tablero}}} = 49.28 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

Peso Mampostería

$$W_{mam} := W_{pc} + W_{pv} \cdot 0.5 = 144.64 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

Cálculo Peso Masillado

Peso específico masilla

$$\gamma_m := 2200 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Espesor masilla

$$e_m := 2 \text{ cm} \qquad L_{ma} := 1 \text{ m}$$

$$W_{masilla} := 1 \text{ m} \cdot 1 \text{ m} \cdot e_m \cdot \gamma_m = 44 \text{ kg}$$

$$W_{mas} := 44 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

Resumen Cargas Muertas

PESO MAMPOSTERÍA	$W_{mam} = 144.64 \frac{kg}{m^2}$
PESO LOSA	$W_{tlosa} = 198.38 \frac{kg}{m^2}$
PESO MASILLADO	$W_{mas} = 44 \frac{kg}{m^2}$
PESO BALDOSA	$W_{bal} := 20 \frac{kg}{m^2}$
PESO CIELO RAZO	$W_{cielo} := 20 \frac{kg}{m^2}$
PESO INSTALACIONES	$W_{ins} := 10 \frac{kg}{m^2}$

Carga Muerta Total

$$\text{Piso N}^\circ 1\text{-N}^\circ 4 \quad CM := W_{mam} + W_{tlosa} + W_{mas} + W_{bal} + W_{cielo} + W_{ins} = 0.437 \frac{tonne}{m^2}$$
$$CM = 437.02 \frac{kg}{m^2}$$

$$\text{Piso Cubierta} \quad CM_{cubierta} := W_{tlosa} + W_{mas} + W_{ins}$$
$$CM_{cubierta} = 252.38 \frac{kg}{m^2}$$

4.1.3 CARGA SÍSMICA

En este estudio se tomará en cuenta una edificación de 4 pisos que será utilizada como hospital básico en la ciudad de Ambato, en donde utilizaremos un el tipo de suelo predominante de la ciudad que es el tipo " D", Para la ciudad de Ambato según la norma NEC 2015-SE-DS el factor de zona $Z= 0.4$, este valor representara la aceleración máxima en roca para el sismo de diseño.[24]

4.1.3.1 Categoría de edificio y coeficiente de importancia

De acuerdo a la sección 4.1 de la NEC-15 (pg.39), la edificación se clasificara en el grupo de “edificaciones esenciales” , puesto que se lo planteó como un hospital básico, y según la norma el coeficiente tomará el siguiente valor: $I=1.5$ [24]

Categoría	Tipo de uso, destino e importancia	Coficiente I
Edificaciones esenciales	Hospitales, clínicas, Centros de salud o de emergencia sanitaria. Instalaciones militares, de policía, bomberos, defensa civil. Garajes o estacionamientos para vehículos y aviones que atienden emergencias. Torres de control aéreo. Estructuras de centros de telecomunicaciones u otros centros de atención de emergencias. Estructuras que albergan equipos de generación y distribución eléctrica. Tanques u otras estructuras utilizadas para depósito de agua u otras sustancias anti-incendio. Estructuras que albergan depósitos tóxicos, explosivos, químicos u otras sustancias peligrosas.	1.5
Estructuras de ocupación especial	Museos, iglesias, escuelas y centros de educación o deportivos que albergan más de trescientas personas. Todas las estructuras que albergan más de cinco mil personas. Edificios públicos que requieren operar continuamente	1.3
Otras estructuras	Todas las estructuras de edificación y otras que no clasifican dentro de las categorías anteriores	1.0

Tabla 6. Tipo de uso, destino e importancia de la estructura

Ilustración 4. Tipo de uso, destino e importancia de la estructura

Fuente:[24]

4.1.3.2 COEFICIENTES DE PERFIL DE SUELO

Tomando en cuenta la sección 3.2.2 de la norma NEC-2015 se sabe que los coeficientes de suelo son de Fa, Fd, y Fs

4.1.3.3 Coeficiente de Amplificación de suelo en la zona de período corto Fa

En la tabla 5 extraída de la norma NEC-2015 (pg.31) se puede obtener el coeficiente Fa. Que es el que amplifica las ordenadas del espectro elástico de aceleración cuando el diseño es en roca. Para el estudio presente el factor seleccionado es 1.20, tomando en cuenta el tipo de suelo y el factor de zona. [24]

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

Tabla 4. Factor de Amplificación Fa

Fuente:[24]

4.1.3.4 Coeficiente de amplificación, F_d

Coeficiente de amplificación de las ordenadas del espectro elástico de desplazamiento para diseño en roca. Se obtiene la tabla siguiente de la norma NEC-2015 (pg.31), el cual para el trabajo presente es 1.19. [24]

	Zona sísmica y factor Z					
Tipo de perfil del subsuelo	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
E	2.10	1.75	1.70	1.65	1.60	1.50

Tabla 5. Coeficiente de amplificación F_d

Fuente: [24]

4.1.3.5 Coeficiente de amplificación, F_s

F_s es el Coeficiente de comportamiento no lineal de los suelos que se presenta en la tabla siguiente recuperada de la norma NEC-2015 (pg.32) de la que se obtiene para el presente un valor de 1.28. [24]

	Zona sísmica y factor Z					
Tipo de perfil del subsuelo	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

Tabla 6. Coeficiente de amplificación F_s

Fuente:[24]

4.1.3.6 Amplificación espectral, η

La amplificación espectral, es la relación entre la aceleración espectral S_a en un periodo $t=0.1$ y el periodo de retorno η (S_a/Z , en roca), dependen de la región del Ecuador, la norma NEC-2015 (pg. 34) nos muestra los siguientes valores mostrados en la siguiente tabla: [24]

Amplificación Espectral η	
Provincias de la costa excepto Esmeraldas	1,8
Provincias de la Sierra, Esmeraldas y Galápagos	2,48
Provincias del Oriente	2,6

Tabla 7. Amplificación Espectral η

Fuente: [24]

De la tabla anterior para el presente proyecto se toma el valor de $\eta = 2.48$ por la ubicación del mismo. [24]

4.1.3.7 Aceleración Espectral, S_a

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 [24]

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

$$S_a = 0.4 * 1.2 * 2.48$$

$$S_a = 1.1904$$

4.1.3.8 Periodos límites

Periodos límites de vibración, T_o

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 (T_o) [24]

$$T_0 = 0.1 * F_S * \frac{Fd}{Fa}$$

$$T_0 = 0.1 * 1.28 * \frac{1.19}{1.20}$$

$$T_0 = 0.1269$$

Periodos 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) [24]

$$T_c = 0.55 * F_S * \frac{Fd}{Fa}$$

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

$$T_c = 0.6981$$

4.1.3.9 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[24]

$$T = C_t * h_n^a$$

C_t = *coeficiente que depende del tipo de edificio*

h_n^a = *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. [24]

Factores		
Tipo de estructura	Ct	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 rigidizadores	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

Tabla 8. Coeficiente C_t y α por tipo de estructura.

Fuente: [24]

Para nuestro caso se tomó como factores los siguientes extraídos de la tabla anterior:

$$C_t = 0.073, \alpha = 0.75$$

Para el valor de la altura h se tomó el valor de 16 m que es e la altura de la edificación.

Calculando con la fórmula para el periodo fundamental tenemos: [24]

$$T = C_t * h_n^\alpha$$

$$T = 0.073 * 14^{0.75}$$

$$T = 0.528$$

Período fundamental de vibración máximo de la estructura, $T_{\text{máx}}$

Considerando que el periodo de vibración no puede superar $1.3 * T$ se determina que: [24]

$$T_{max} = 1.3 * T$$

$$T_{max} = 1.3 * 0.528$$

$$T_{max} = 0.6864$$

4.1.3.10 Regularidad/configuración estructural

Se considera para el presente proyecto una edificación regular tanto en planta como elevación para que no exista variación geométrica que pueda causar sesgos en la interpretación de los resultados que se pretende encontrar. Por tal motivo de la NEC-2015 (pg.48) los coeficientes de configuración estructural son los siguientes: [24]

$\Phi P = 1$ (Regularidad en planta)

$\Phi E = 1$ (Regularidad en elevación)

4.1.3.11 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. Por el material y las configuración de la edificación se seleccionó un coeficiente de resistencia sísmica de 8 para el presente proyecto, que se extrae de la norma NEC-2015(pg. 72).[24]

Sistemas Estructurales Dúctiles	R
Pórticos especiales sismo resistentes, de hormigón armado con vigas banda, con muros estructurales de hormigón armado o con diagonales rigidizadoras.	7
Pórticos resistentes a momentos	
Pórticos especiales sismo resistentes, de hormigón armado con vigas descolgadas.	8
Pórticos especiales sismo resistentes, de acero laminado en caliente o con elementos armados de placas.	8
Pórticos con columnas de hormigón armado y vigas de acero laminado en caliente.	8
Otros sistemas estructurales para edificaciones	
Sistemas de muros estructurales dúctiles de hormigón armado.	5
Pórticos especiales sismo resistentes de hormigón armado con vigas banda.	5

Tabla 9. Coeficiente de Resistencia Sísmica, R

Fuente:[24]

4.1.3.12 Factor utilizado en espectro elástico, r

Podemos encontrar en la NEC-15, en su apartado 3.3.1 (pg.34). Espectro elástico horizontal de diseño en aceleraciones, este factor depende del tipo de suelo en el que estará la estructura y presenta los siguientes valores:[24]

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

$r = 1.5$ para tipo de suelo E.

Pera el proyecto presente se utilizará el valor de $r=1$, por la consideración de suelo hecha anteriormente que es un tipo de suelo D.

4.1.3.13 Espectro de diseño

Para calcular el espectro de respuesta que se ingresó al programa se tiene el siguiente resumen de datos presentados en la tabla siguiente:

RESUMEN DE DATOS ESPECTRO DE RESPUESTA SÍSMICA (NEC-2015)				
Parámetros	Símbolo	Valor	Apartado NEC	Pagina
Zona sísmica		V	3.1.1	27
Factor de importancia	I	1.5	4.1	39
Valor de factor Z	Z (%g)	0.4	3.1.1	27
Amplificación del suelo en la zona de periodo corto	fa	1.2	3.2.2	31
Coefficiente de amplificación del espectro para diseño en roca	fd	1.19	3.2.2	31
Comportamiento no lineal de los suelos	fs	1.28	3.2.2	32
Factor usado en el espectro de diseño elástico	r	1	3.3.1	34
Coefficiente de reducción de respuesta estructural	R	8	6.3.4,b	64
Relación de amplificación espectral	η	2.48	3.1.1	27
Irregularidad en planta	Φ_p	1	5.2	48
Irregularidad en elevación	Φ_e	1	5.2	48
Altura de la estructura	hn (m)	14		

Tabla 10. Resumen de datos para espectro de respuesta

Fuente:[24]

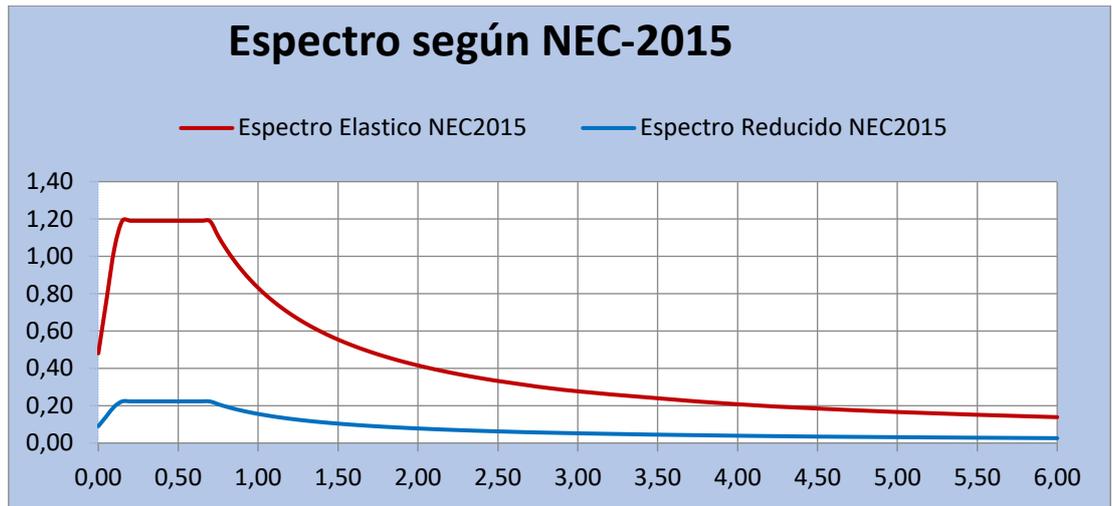


Ilustración 5. Espectro de Respuesta Inelástico

Fuente: Autor

4.1.3.14 Cortante basal de diseño, V

Aplicando la ecuación mostrada en la NEC- SE-DS, Parte 2, 2015, apartado 6.3.2. Cortante basal de diseño V, se obtiene los siguientes resultados:[24]

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

$$V = \frac{1.1904 * 1.5}{8 * 1 * 1}$$

$$V = 0.2232$$

Sa (Ta): aceleración espectral en función del periodo de vibración.

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

Para determinar k depende del periodo de vibración, T, según el apartado 6.3.5 de la NEC (pg.6) el coeficiente k se lo determina de en función a las expresiones siguientes: [24]

Valor T (s)	k
T ≤ 0,5	1
0,5 ≤ T ≤ 2,5	0,75 + 0,5T
T > 2,5	2

Tabla 11. Coeficiente k (depende del periodo)

Fuente [24]

Según el cálculo del periodo para esta edificación tenemos $T = 0.584$, que según la tabla anterior entra en el caso 2 por lo que se debe utilizar la formula $0,75+0,5T$ para **determinar el factor k. [24]**

$$k = 0.75 + 0.5T$$

$$k = 0.75 + 0.5(0.584)$$

$$k = 1.042$$

4.2 RESULTADOS

4.2.1 MODELADO DE EDIFICACIÓN CON LOSA COLABORANTE

Para la simulación del sismo se hará tomando como referencia lo establecido en la norma NEC-11 en su capítulo II y la norma ecuatoriana NEC-SE-DS-2015, para la generación de los espectros de sismo en la región. De la misma manera se harán simulaciones con el uso de acelerogramas de sismos ocurridos para que esta sea más efectiva y vista en la realidad. Como se mencionó para la estructura se asumió dimensiones de alturas de entresijos y luces tales que el edificio mantenga una regularidad en planta y elevación las cuales no interfieran en los resultados que se desea conocer.

Como referencias para las interacciones entre la estructura y el suelo, se tomarán como punto de partidas las reacciones generadas en el mismo por las solicitaciones de la estructura.

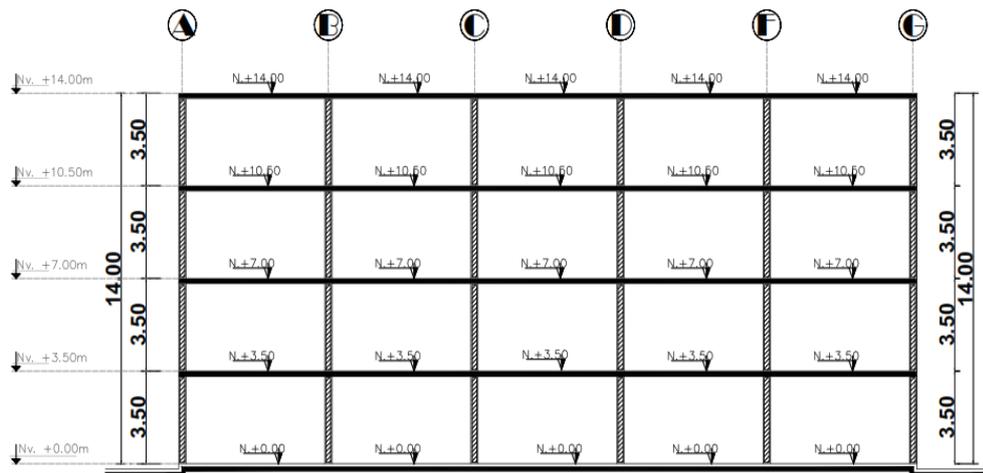


Ilustración 6. Vista elevación referencial estructura.

Fuente: Autor

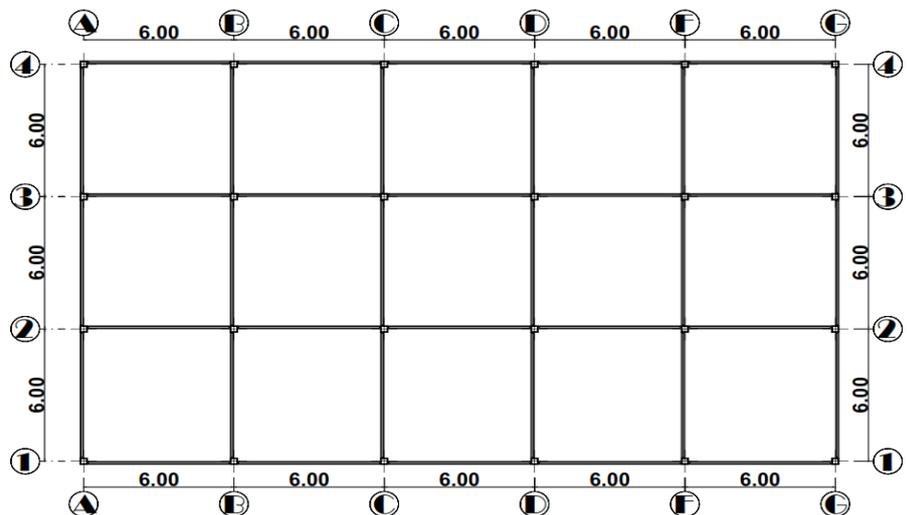


Ilustración 7. Vista en planta referencial estructura.

Fuente: Autor

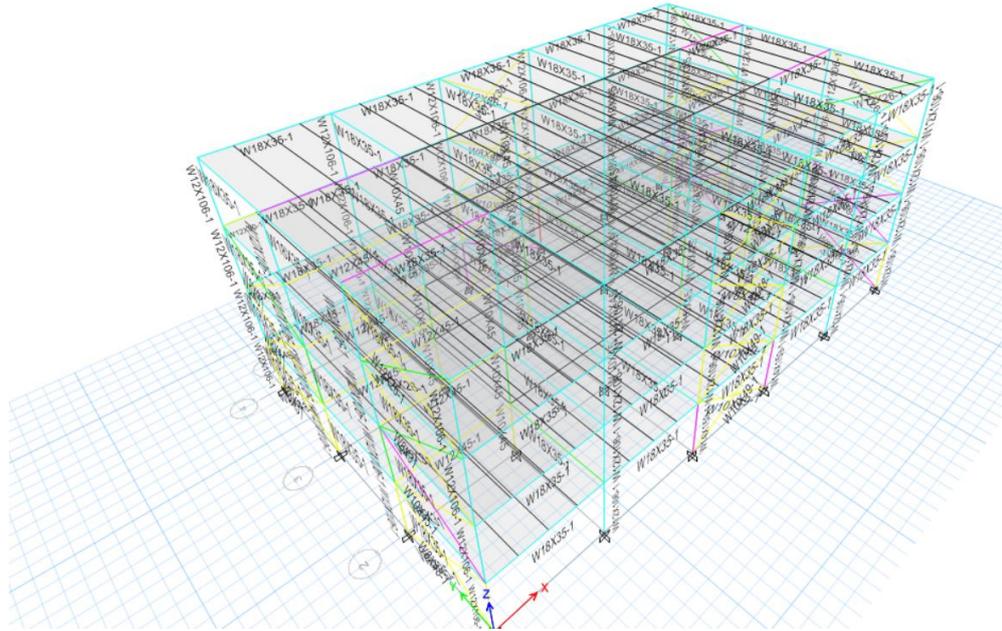


Ilustración 8. Estructura analizada estabilidad.

Fuente Autor

4.2.1.1 Análisis estructural de la edificación con losa colaborante en sentido “X”, sin aisladores sísmicos

En la siguiente imagen se aprecia la estructura, luego de ser simulada en el software de análisis estructural, con combinaciones de carga de $1,00 \text{ CM} + 0,25 \text{ CV}$ y solicitadas con las respectivas cargas analizadas en la sección anterior.

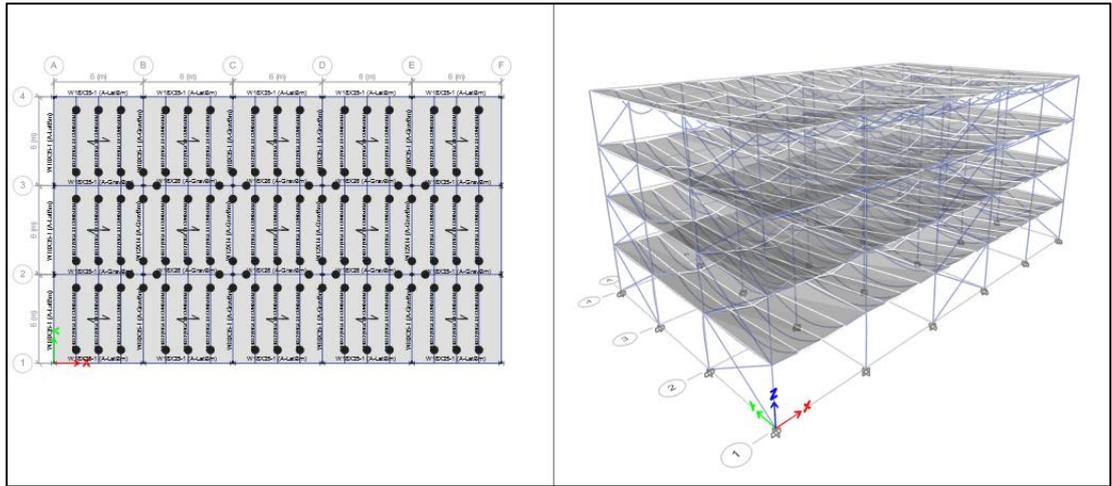


Ilustración 9. Comportamiento de falla de la estructura con armado de losa en dirección "X"

Fuente: :Autor

Del análisis realizado, se obtienen las reacciones para el sistema estructural de base fija, sometida análisis estático. Con losas de entrepiso con losa colaborante y concreto $f'c$ 210 Kg/cm², armado en dirección X.

4.2.1.2 Reacciones y momentos en la base de la estructura

A continuación, se observa en las reacciones en la base siendo la mayor reacción producida el de 127716.11kg, como se puede apreciar en la imagen se encuentra en el punto 22 correspondiente a la intersección de los ejes 3 y D de la estructura.

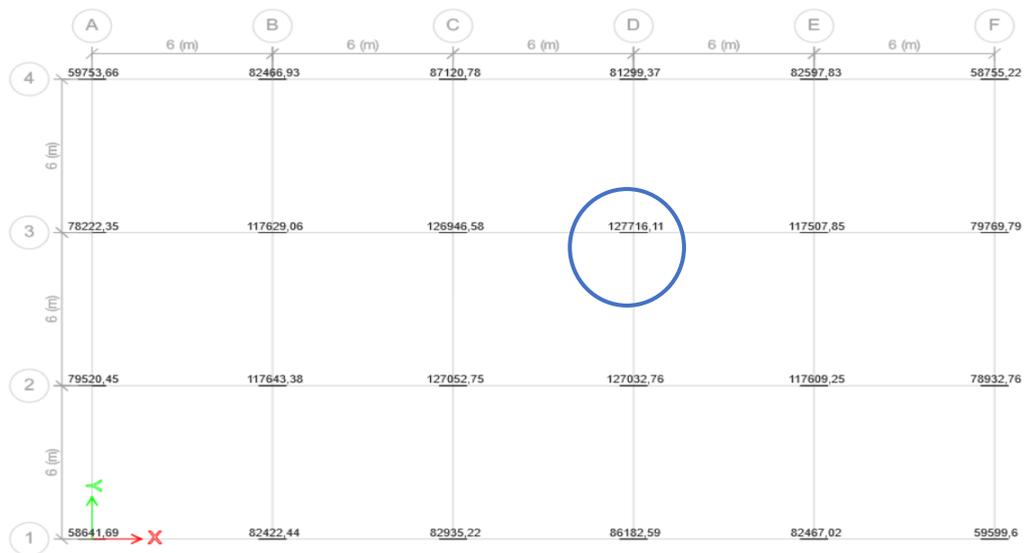


Ilustración 10. Reacciones en la base estructura con losa dirección X

Fuente: Autor

Reacciones en la Base							
Story	Label	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
		kgf	kgf	kgf	kgf-m	kgf-m	kgf-m
Base	1	1309,71	8065,83	58641,69	-588,99	1380,37	0,0049
Base	2	3123,40	-4206,82	79520,45	90,04	3597,00	0,0049
Base	3	3123,18	3615,21	78222,35	-56,53	3595,56	0,0049
Base	4	1304,60	-8256,89	59753,66	599,95	1364,27	0,0049
Base	5	-92,62	1141,93	82422,44	-1317,26	-127,67	0,0049
Base	6	5226,44	1842,94	82935,22	-2113,87	-112,55	0,0105
Base	7	-5973,26	1843,37	86182,59	-2117,12	-60,39	0,0105
Base	8	58,92	1143,75	82467,02	-1322,81	35,35	0,0049
Base	9	-1332,30	8237,96	59599,60	-598,11	-1460,70	0,0049
Base	10	-98,92	-1145,06	82466,93	1324,67	-145,11	0,0049
Base	11	7282,37	-1845,46	87120,78	2120,36	-120,20	0,0105
Base	12	-6341,40	-1100,83	81299,37	1271,01	-43,63	0,0049
Base	13	34,28	-1143,04	82597,83	1318,90	-1,82	0,0049
Base	14	-1336,13	-8057,50	58755,22	590,45	-1475,46	0,0049
Base	15	-3133,37	-5482,50	78932,76	61,50	-3628,80	0,0049
Base	16	-3133,52	5356,92	79769,79	-85,45	-3630,19	0,0049
Base	17	58,32	16,23	117643,38	-18,52	56,51	0,0008
Base	18	58,14	-16,60	117629,06	19,62	55,36	0,0008
Base	19	-1,89	19,68	127052,75	-22,73	-10,50	0,0008
Base	20	-5,04	-19,94	126946,58	23,30	-14,95	0,0008
Base	21	-1,65	19,18	127032,76	-22,35	-10,24	0,0008
Base	22	-8,09	-28,26	127716,11	32,60	-35,86	0,0016
Base	23	-61,98	16,36	117609,25	-19,28	-77,37	0,0008
Base	24	-59,18	-16,46	117507,85	18,84	-75,20	0,0008

Tabla 12. Reacciones obtenidas en simulación con base fija para cargas solicitadas. Fuente: Autor

4.2.1.3 Derivas máximas

Con este análisis se pudo obtener de la misma manera las derivas o desplazamientos máximos por cada uno de los niveles de la edificación, llegando a alcanzar una deriva elástica de 0,000024m en el eje “X” y 0,000017m en el eje “Y” ubicado en el nivel 4, bajo la combinación de carga 1,00 CM + 0,25 CV.

En la siguiente tabla se muestra la deriva en comparación con el requerimiento de la norma.

Comprobación de deriva			
Eje	Deriva inelástica(Di)	Deriva plástica(Dp) $D_p = D_i \cdot R \cdot 0.75$	Condición deriva $\leq 2\%$
X	0,000024	0,014%	Cumple
Y	0,000017	0,014%	Cumple

Tabla 13. Comprobación de derivas.

Fuente :Autor

La siguiente tabla obtenida del software de análisis estructural nos muestra las derivas de los diferentes pisos de la estructura.

Derivas de piso losa dirección X								
Story	Item	Max Drift	Avg Drift	Ratio	Label	Max Loc X	Max Loc Y	Max Loc Z
						m	m	M
Story4	Diaph D4 X	0,000024	0,000017	1,448	14	30	18	14
Story4	Diaph D4 Y	0,000022	0,000009	2,339	3	0	12	14
Story3	Diaph D3 X	0,000022	0,000018	1,21	14	30	18	10,5
Story2	Diaph D2 X	0,000022	0,000019	1,163	14	30	18	7
Story1	Diaph D1 X	0,000011	0,000009	1,16	14	30	18	3,5

Tabla 14. Desplazamientos máximos ocurridos en la estructura por niveles, con armado en sentido "X".

Fuente: Autor

En la imagen que se muestra a continuación se aprecia las derivas máximas en los pisos de la estructura.

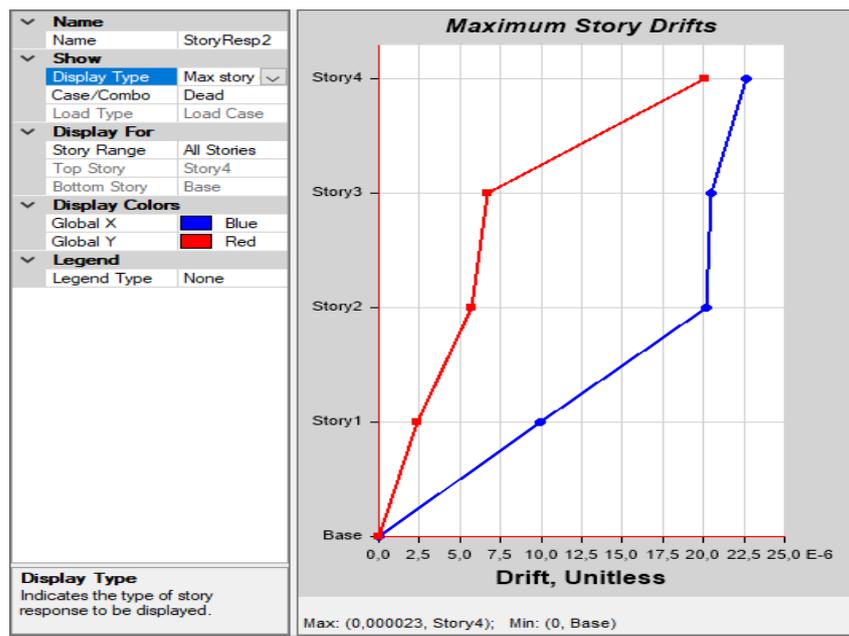


Ilustración 11. Gráfico de derivas máximas producidas en la estructura

Fuente: Autor

4.2.1.4 Periodo, traslaciones y rotación de la estructura

La estructura presenta un periodo fundamental en el cual por efectos del sismo empieza a vibrar debido a la resonancia del sismo. En este caso y con la configuración presentada, la estructura presenta un periodo de 0,548seg antes de que la misma sea afectada por el mismo, de tal manera que a los 0,8154 seg se traslada en el modo 1 para el eje “X”, a los 0,8049seg para el modo 2 en el eje “Y” y rota en “Z” en el modo 3 a los 0,8105seg, estos resultados se aprecian en la tabla siguiente.

Periodos y Modos de vibración , losa dirección X					
Case	Modo	Periodo	UX	UY	RZ
		Sec			
Modal	1	0,548	0,8154	1,913E-06	0,0001
Modal	2	0,452	2,617E-06	0,8049	0,0008
Modal	3	0,294	0,0001	0,0005	0,8105
Modal	4	0,189	0,1428	0	0
Modal	5	0,156	0	0,1534	0,0003
Modal	6	0,115	0,0323	9,10E-07	0,00004946
Modal	7	0,102	0,00001037	0,0019	0,1474

Modal	8	0,097	0	0,0255	0,003
Modal	9	0,089	0,0094	0	2,844E-06
Modal	10	0,079	0	0,0138	0,0003
Modal	11	0,064	0	0,0001	0,0263
Modal	12	0,052	0	0,00003738	0,0113

Tabla 15. Forma de periodo, traslaciones u rotación de la estructura en los diferentes modos.

Fuente: Autor

4.2.2 Análisis estructural edificación con losa colaborante en sentido “Y”, sin aisladores sísmicos

El análisis se realizó con los mismos parámetros, ejecutados en el caso anterior, la diferencia en este caso deriva del cambio de dirección en el armado de la losa.

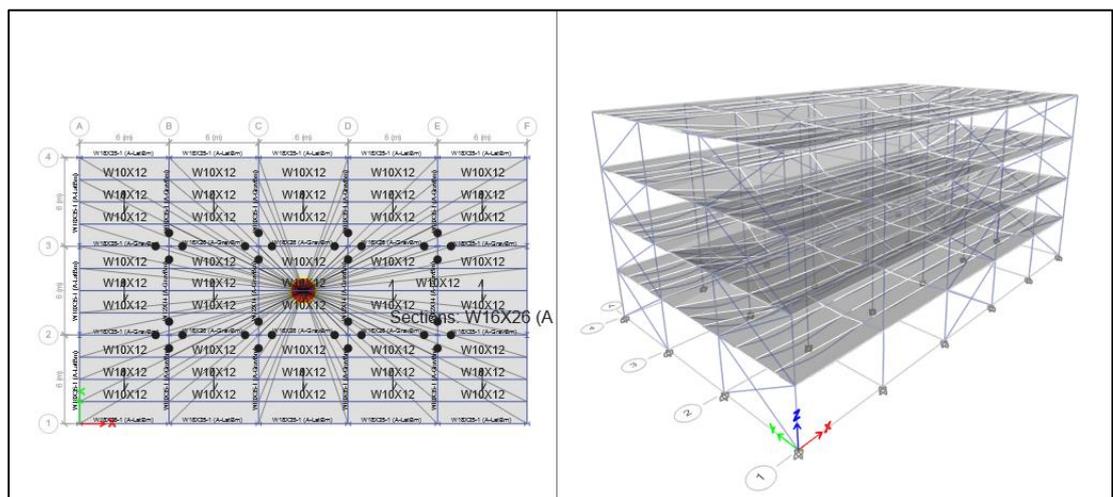


Ilustración 12. Comportamiento de falla de la estructura con armado de losa en dirección "Y"

Fuente: Autor

4.2.2.1 Reacciones y momentos de las juntas en la base de la estructura

En comparación con el caso anterior, se puede evidenciar que existe una reducción significativa en las reacciones y los momentos, de la estructura al variar el sentido del armado de la losa. En este caso el valor de reacción máxima se obtiene 122386,7 kg, como se puede apreciar en la imagen se encuentra en el punto 22 correspondiente a la intersección de los ejes 3 y D de la estructura. Lo que permite inferir que mediante el sentido del armado se pueden mejorar las condiciones de respuesta de la estructura ante las solicitaciones generadas por sismos. Sin embargo, para que esta aseveración pueda ser concretada, se pondrá a prueba más adelante cuando la estructura sea sometida a la aceleración de un sismo real en

función de los datos que se tienen de eventos de ocurrencia recientes o históricos de la región.

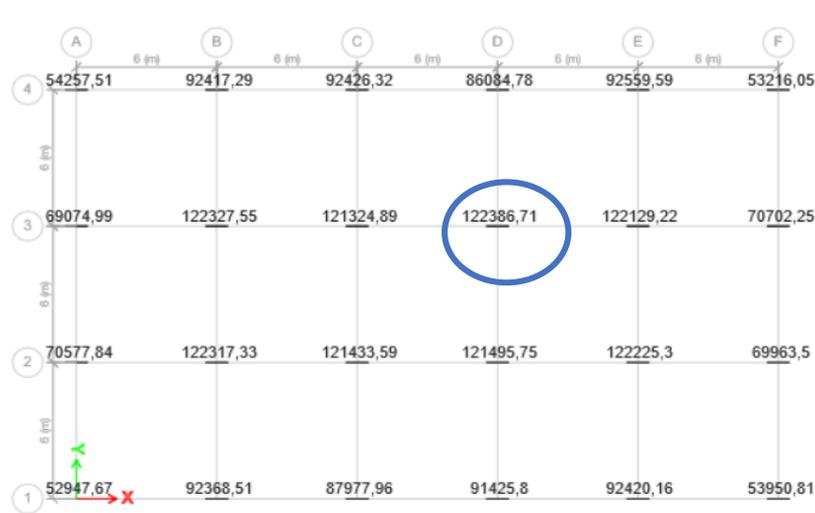


Ilustración 13.Reacciones en la base estructura con losa dirección X

Fuente: Autor

Reacciones en la Base							
Story	Label	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
		kgf	kgf	kgf	kgf-m	kgf-m	kgf-m
Base	1	627,5	7479,4	52947,7	-1063,3	644,9	0,0048
Base	2	1224,8	-3950,2	70577,8	117,3	1403,7	0,0048
Base	3	1224,7	3205,0	69075,0	-45,8	1402,5	0,0048
Base	4	623,4	-7925,5	54257,5	1088,4	630,0	0,0048
Base	5	-50,4	3177,8	92368,5	-3666,4	-84,1	0,0048
Base	6	5523,5	4560,1	87978,0	-5226,4	-129,6	0,0104
Base	7	-6322,5	4560,0	91425,8	-5229,0	-56,0	0,0104
Base	8	13,7	3179,3	92420,2	-3671,6	-15,2	0,0048
Base	9	-652,5	7651,3	53950,8	-1071,5	-731,6	0,0048
Base	10	-55,7	-3186,0	92417,3	3685,1	-100,4	0,0048
Base	11	7705,6	-4586,1	92426,3	5273,4	-134,4	0,0104
Base	12	-6702,6	-2800,6	86084,8	3236,8	-38,0	0,0048
Base	13	-11,2	-3192,2	92559,6	3688,9	-52,5	0,0048
Base	14	-655,2	-7748,8	53216,1	1078,0	-745,0	0,0048
Base	15	-1235,3	-5132,3	69963,5	88,7	-1437,4	0,0048
Base	16	-1235,3	4748,3	70702,3	-69,1	-1438,6	0,0048
Base	17	19,9	35,0	122317,3	-39,9	13,2	0,0008
Base	18	19,8	-36,8	122327,6	43,5	12,2	0,0008
Base	19	-1,9	57,9	121433,6	-66,7	-11,1	0,0008
Base	20	-3,3	-58,9	121324,9	69,0	-13,5	0,0008
Base	21	-1,9	58,2	121495,8	-67,2	-11,0	0,0008
Base	22	-8,5	-94,2	122386,7	110,1	-37,7	0,0016

Base	23	-23,8	34,3	122225,3	-39,6	-35,4	0,0008
Base	24	-22,6	-35,2	122129,2	41,1	-35,0	0,0008

Tabla 16. Reacciones obtenidas en simulación con base fija para cargas solicitadas armado en dirección "Y"
Fuente: Autor

4.2.2.2 Derivas máximas

De acuerdo a la norma ecuatoriana NEC-15, las derivas de la estructura no debe superar el 2 % para estructuras fijas. A continuación, se muestra la comprobación de las derivas máximas de la estructura con losa en sentido Y.

Comprobación de deriva			
Eje	Deriva inelástica(Di)	Deriva plástica(Dp) $Dp=Di*R*0.75$	Condición deriva $\leq 2\%$
X	0,000025	0,0150%	Cumple
Y	0,000018	0,0108%	Cumple

Tabla 17. Comprobación de derivas

Fuente: Autor

Derivas de piso losa dirección Y								
Story	Item	Max Drift	Avg Drift	Ratio	Label	Max Loc X	Max Loc Y	Max Loc Z
						m	m	m
Story4	Diaph D4 X	0,000025	0,000018	1,393	14	30	18	14
Story4	Diaph D4 Y	0,00002	0,000008	2,496	3	0	12	14
Story3	Diaph D3 X	0,000023	0,000019	1,21	14	30	18	10,5
Story2	Diaph D2 X	0,000023	0,00002	1,175	14	30	18	7
Story2	Diaph D2 Y	0,000008	0,000002	3,787	9	30	0	7
Story1	Diaph D1 X	0,000011	0,00001	1,15	14	30	18	3,5
Story1	Diaph D1 Y	0,000005	0,000003	1,967	3	0	12	3,5

Tabla 18. Desplazamientos máximos ocurridos en la estructura por niveles, con armado en sentido "Y"

Fuente: Autor

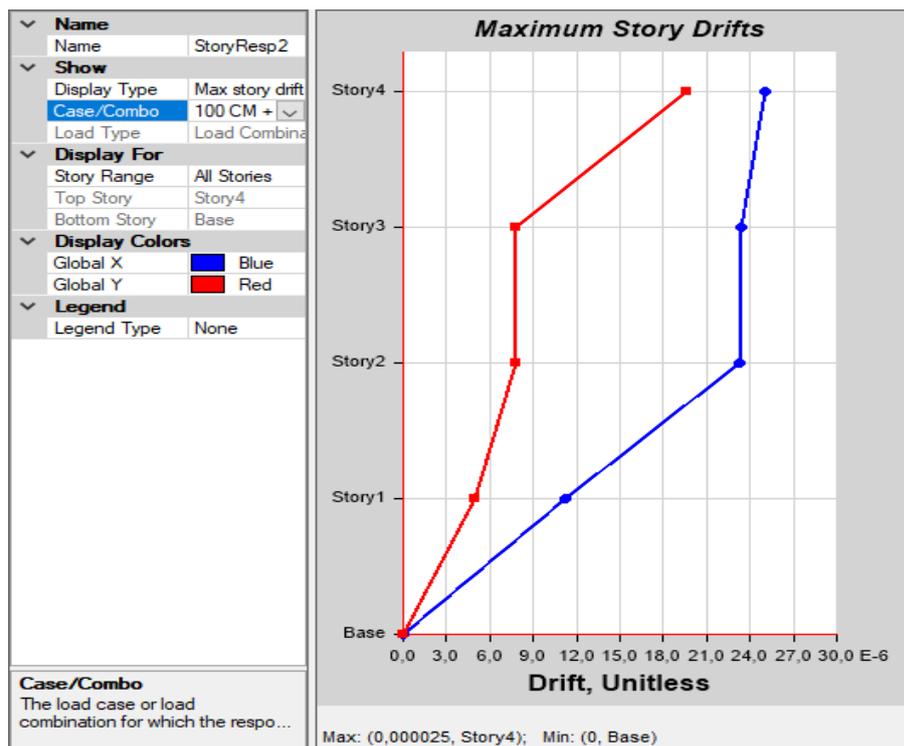


Ilustración 14. Derivas máximas en la estructura

Fuente: Autor

4.2.2.3 Periodo, traslaciones y rotación de la estructura

Como la estructura no ha variado ni en simetría y los elementos que conforman los pórticos siguen siendo los mismos, la variación de los periodos y los modos de vibración de la estructura no se ven afectados significativamente, por tal motivo los valores se mantienen semejantes o sin mucha diferencia en todos los casos.

Periodos y Modos de vibración , losa dirección Y						
Case	Modo	Periodo	UX	UY	UZ	RZ
		sec				
Modal	1	0,547	0,8156	0,00000186	0	0,0001
Modal	2	0,452	2,553E-06	0,8048	0	0,0008
Modal	3	0,294	0,0001	0,0005	0	0,8105
Modal	4	0,189	0,1426	0	0	0
Modal	5	0,156	0	0,1534	0	0,0003
Modal	6	0,115	0,0324	9,14E-07	0	0,00004967
Modal	7	0,102	0,00001042	0,0019	0	0,1474
Modal	8	0,097	0	0,0255	0	0,003
Modal	9	0,089	0,0094	0	0	2,851E-06
Modal	10	0,079	0	0,0138	0	0,0003
Modal	11	0,063	0	0,0001	0	0,0263
Modal	12	0,052	0	0,0000374	0	0,0113

Tabla 19. Periodos y modos de vibración de la estructura Fuente: Autor

4.2.2.4 Comparación de criterios de aceptación entre las estructuras sin sismo

A continuación, se muestra la comparación de valores máximos obtenidos con la variación de la dirección de la losa colaborante, en la que se muestra una diferencia de 4 % en derivas y reacciones máximas, mientras que los periodos no sufren variación significativa.

Comparación de criterios			
	Losa Dirección X	Losa Dirección Y	Variación
Deriva Máxima	0,000144	0,00015	4%
Reacción máxima	127716,11	122386,7	4%
Periodo Modo 1	0,548	0,547	0%
Periodo Modo 2	0,452	0,452	0%
Periodo Modo 3	0,294	0,294	0%

Tabla 20. Comparación de criterios de aceptación.

Fuente : Autor

4.2.3 Simulación y análisis estructural edificación con losa colaborante en sentido "X", con el sismo de diseño y sin uso de aisladores sísmicos

Debido a que Ambato se encuentra en una zona sísmica de categoría 5, se puede tomar como referencia cualquier sismo que haya ocurrido en una localidad con las mismas características sísmicas. Cabe destacar que los registros se llevan tomando en consideración los sentidos de ocurrencia del movimiento ya sea en dirección norte-sur (NS) o en dirección este-oeste (EO) y en sentido vertical "Z".

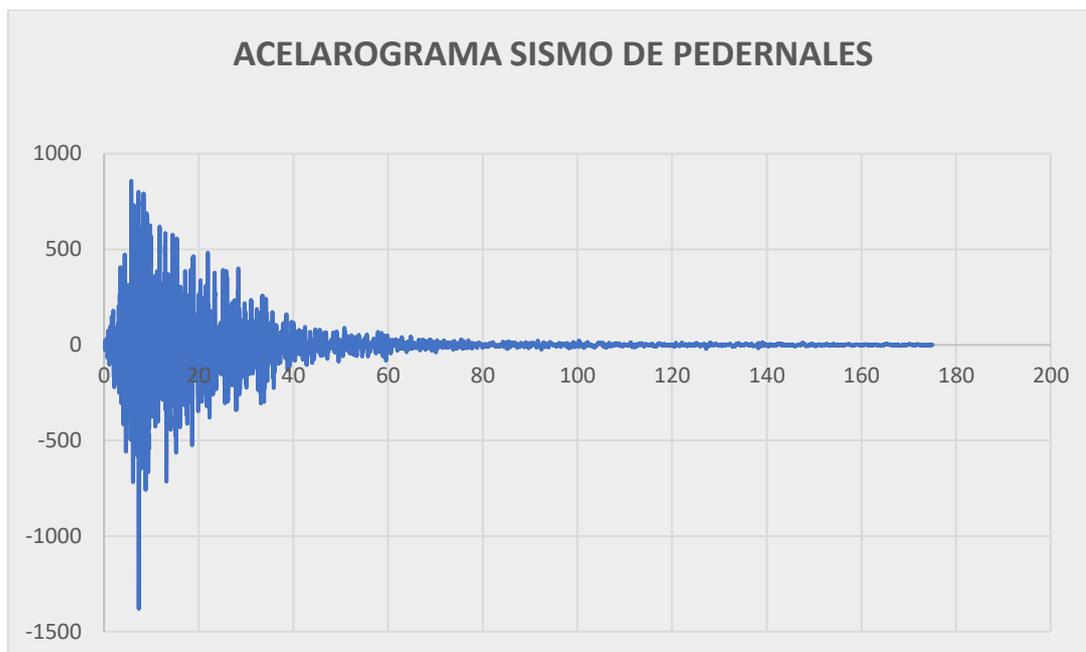


Ilustración 15. Acelerograma de sismo ocurrido en Ecuador en 2016

Fuente: IGM (2024)

En la figura anterior se muestra los datos sísmicos de un sismo ocurrido en el poblado de Pedernales, Ecuador. Ubicado en una zona sísmica 5, el cual presento una magnitud de 7,6 y donde hubo gran cantidad de afectados y víctimas fatales.

La simulación demostró que la estructura que se presenta, se encuentra bajo los parámetros de diseño sísmico, de acuerdo a los valores de las derivas obtenidas en las corridas del programa bajo la influencia del sismo.

Comprobación de deriva			
Eje	Deriva inelástica(Di)	Deriva plástica(Dp) $Dp=Di*R*0.75$	Condición deriva $\leq 2\%$
X	0,00029	0,174%	Cumple
Y	0,000307	0,184%	Cumple

Tabla 21. Comprobación de deriva

Fuente :Autor

En las gráficas que se presentan se observan las variaciones de las derivas por efectos del sismo tanto en dirección “X”, como en “Y” en los distintos niveles de la estructura.

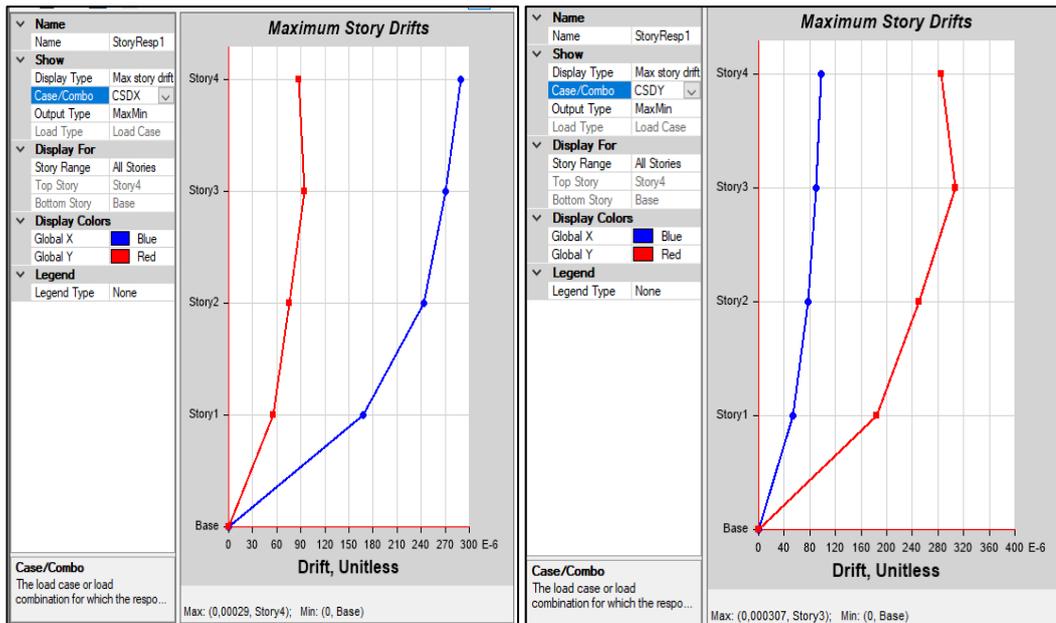


Ilustración 16. Derivas por pisos por efectos de sismo

Fuente: Autor

Derivas por sismo , losa dirección X							
Story	Output Case	Dirección	Drift	Label	X	Y	Z
Story4	CSDX	X	0,00029	14	30	18	14
Story4	CSDX	Y	0,000088	3	0	12	14
Story4	CSDY	X	0,000097	14	30	18	14
Story4	CSDY	Y	0,000284	3	0	12	14
Story3	CSDX	X	0,000271	14	30	18	10,5
Story3	CSDX	Y	0,000095	3	0	12	10,5
Story3	CSDY	X	0,00009	14	30	18	10,5
Story3	CSDY	Y	0,000307	3	0	12	10,5
Story2	CSDX	X	0,000243	14	30	18	7
Story2	CSDX	Y	0,000076	3	0	12	7
Story2	CSDY	X	0,000077	14	30	18	7
Story2	CSDY	Y	0,00025	3	0	12	7
Story1	CSDX	X	0,000154	14	30	18	3,5
Story1	CSDX	Y	0,000056	3	0	12	3,5
Story1	CSDY	X	0,000053	14	30	18	3,5
Story1	CSDY	Y	0,000184	3	0	12	3,5

Tabla 22. Derivas por sismo en losa dirección X

Fuente: Autor

Las reacciones en este caso presentaron los siguientes valores máximos en caso del sismo en dirección X un valor de 25326.93 kgf en el punto 7 correspondiente a la intersección de los ejes 1 y E, mientras que con el sismo en Y entrega un valor máximo de 23502.52 kgf, en el punto 14, intersección de los ejes 4 y F.

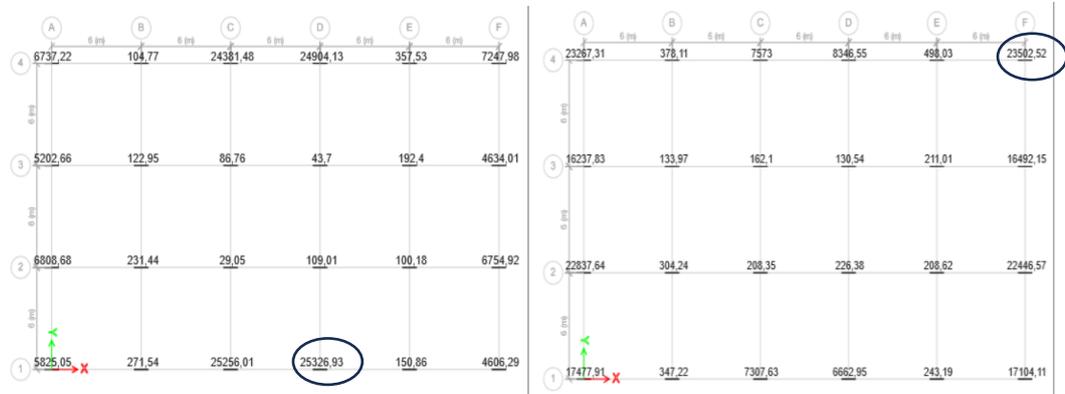


Ilustración 17. Reacciones máximas en la base.

Fuente: Autor

Story	Label	Output Case	Step Type	FX	FY	FZ	MX	M Y	MZ
Base	6	CSDX	Max	8806,56	130,01	25256,01	256,97	2070,62	0,03
Base	6	CSDY	Max	2488,21	451	7307,63	869,94	584,08	0,05
Base	7	CSDX	Max	8801,18	139,86	25326,93	259,52	2070,35	0,03
Base	7	CSDY	Max	2470,3	448,52	6662,95	847,35	583,16	0,05
Base	8	CSDX	Max	637,39	84,92	150,86	109,19	1148,75	0,01
Base	8	CSDY	Max	186,86	283,6	243,19	364,39	332,49	0,03
Base	9	CSDX	Max	582,55	1661,67	4606,29	110,78	1048,87	0,01
Base	9	CSDY	Max	172,32	5681,02	17104,11	369,43	304,85	0,03
Base	10	CSDX	Max	647,1	88,22	104,77	118,93	1167,82	0,01
Base	10	CSDY	Max	213,08	292,73	378,11	396,06	379,92	0,03
Base	11	CSDX	Max	8450,37	141,87	24381,48	269,48	2093,02	0,03
Base	11	CSDY	Max	2681,27	454,56	7573	873,91	664,95	0,05
Base	12	CSDX	Max	8679,4	94,56	24904,13	109,72	1142,48	0,01
Base	12	CSDY	Max	2768,62	314,31	8346,55	372,99	364,04	0,03
Base	13	CSDX	Max	642,11	84,66	357,53	109,1	1161,96	0,01
Base	13	CSDY	Max	197	283,52	498,03	364,37	360,8	0,03
Base	14	CSDX	Max	585,93	1692,47	7247,98	110,65	1060,29	0,01
Base	14	CSDY	Max	178,32	5675,71	23502,52	369,29	328,04	0,03
Base	15	CSDX	Max	341,72	1769,46	6754,92	313,39	369,11	0,01
Base	15	CSDY	Max	98,47	5868,38	22446,57	1044,91	104,82	0,03
Base	16	CSDX	Max	342,94	1596,31	4634,01	313,26	373,54	0,01

Tabla 23. Reacciones en la base de la estructura

Fuente: Autor

4.2.4 Simulación y análisis estructural edificación con losa colaborante en sentido “Y”, con el sismo diseño y sin uso de aisladores sísmicos

Bajo efectos sísmicos en a estructura con osa colaborante en sentido Y se presentan las siguientes derivas máximas:

Comprobación de deriva			
Eje	Deriva inelástica(Di)	Deriva plástica(Dp) $Dp=Di \cdot R \cdot 0.75$	Condición deriva $\leq 2\%$
X	0,00029	0,174%	Cumple
Y	0,000307	0,184%	Cumple

Tabla 24. Comprobación de derivas.

Fuente: Autor

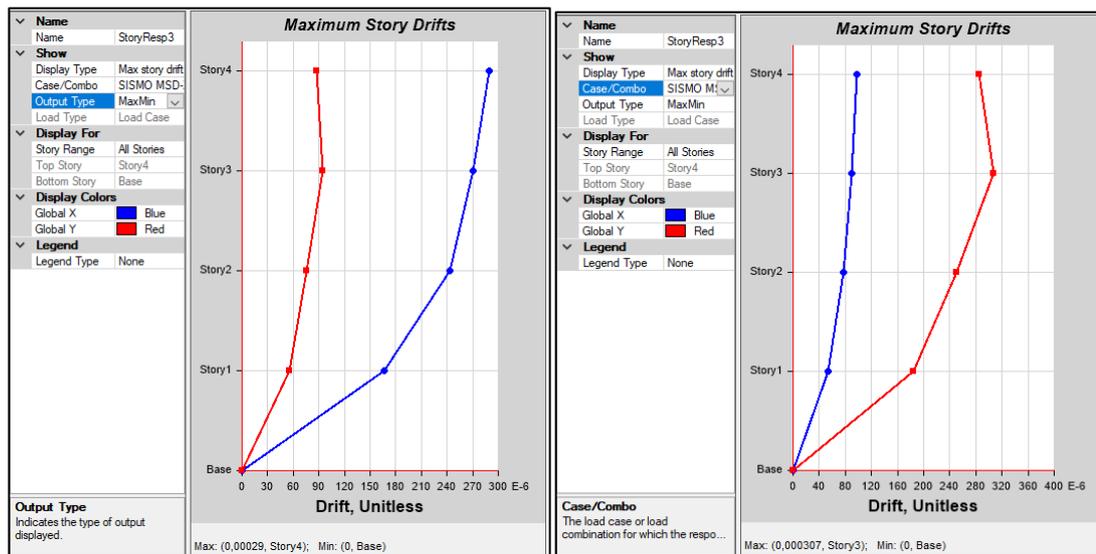


Ilustración 18. Derivas generadas por el sismo para caso armada en sentido "Y" Fuente: ETABS V.21 (2024)

Derivas por sismo , losa dirección Y							
Story	Output Case	Dirección	Drift	Label	X	Y	Z
Story4	CSDX	X	0,00029	14	30	18	14
Story4	CSDX	Y	0,000088	3	0	12	14
Story4	CSDY	X	0,000097	14	30	18	14
Story4	CSDY	Y	0,000284	3	0	12	14
Story3	CSDX	X	0,000271	14	30	18	10,5
Story3	CSDX	Y	0,000095	3	0	12	10,5
Story3	CSDY	X	0,00009	14	30	18	10,5
Story3	CSDY	Y	0,000307	3	0	12	10,5
Story2	CSDX	X	0,000244	14	30	18	7
Story2	CSDX	Y	0,000076	3	0	12	7
Story2	CSDY	X	0,000077	14	30	18	7
Story2	CSDY	Y	0,00025	3	0	12	7
Story1	CSDX	X	0,000154	14	30	18	3,5
Story1	CSDX	Y	0,000056	3	0	12	3,5
Story1	CSDY	X	0,000053	14	30	18	3,5
Story1	CSDY	Y	0,000184	3	0	12	3,5

Tabla 25. Derivas máximas, losa sentido Y

Fuente: Autor

Las reacciones en este caso presentaron los siguientes valores máximos en caso del sismo en dirección X un valor de 25340.4 kgf en el punto 7 correspondiente a la intersección de los ejes 1 y D, mientras que con el sismo en Y entrega un valor máximo de 23503.6 kgf, en el punto 14, intersección de los ejes 4 y F.

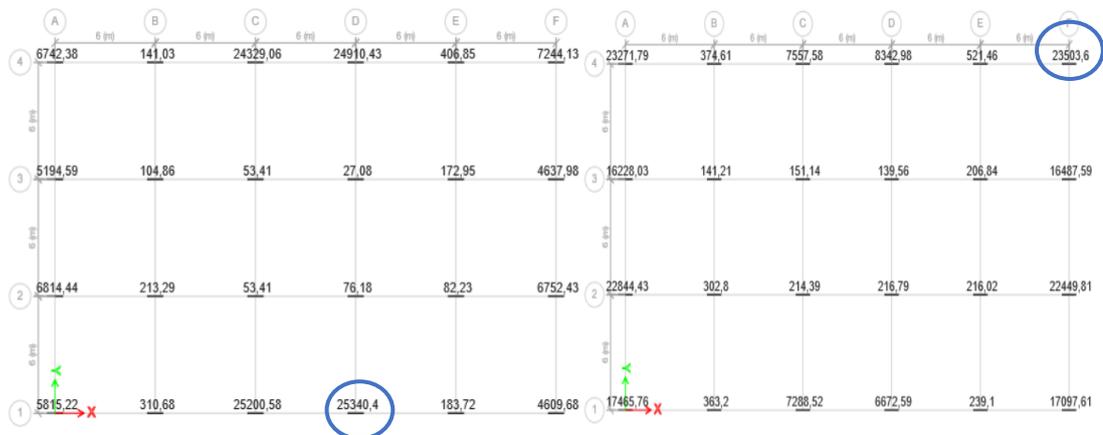


Tabla 26. Reacciones máximas en la base.

Fuente: Autor

Story	Label	Output Case	Step Type	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
Base	6	CSDX	Max	8806,47	128,11	25200,58	255,85	2070,2	0,03
Base	6	CSDY	Max	2488,12	450,11	7288,52	869,32	583,98	0,05
Base	7	CSDX	Max	8801,2	141,53	25340,4	261,87	2069,93	0,03
Base	7	CSDY	Max	2470,58	448,66	6672,59	847,67	583,07	0,05
Base	8	CSDX	Max	637,26	84,31	183,72	109,08	1148,52	0,01
Base	8	CSDY	Max	186,83	283,47	239,1	364,74	332,44	0,03
Base	9	CSDX	Max	582,45	1661,03	4609,68	110,82	1048,7	0,01
Base	9	CSDY	Max	172,3	5677,68	17097,61	369,49	304,81	0,03
Base	10	CSDX	Max	646,97	87,53	141,03	118,6	1167,58	0,01
Base	10	CSDY	Max	213,03	292,49	374,61	396,27	379,84	0,03
Base	11	CSDX	Max	8451,52	143,92	24329,06	272,36	2092,6	0,03
Base	11	CSDY	Max	2681,84	455,12	7557,58	874,97	664,8	0,05
Base	12	CSDX	Max	8679,32	96,51	24910,43	109,08	1142,24	0,01
Base	12	CSDY	Max	2768,37	313,4	8342,98	372,28	363,95	0,03
Base	13	CSDX	Max	641,97	85,51	406,85	109,6	1161,72	0,01
Base	13	CSDY	Max	196,95	283,99	521,46	365,17	360,71	0,03
Base	14	CSDX	Max	585,84	1690,67	7244,13	110,59	1060,11	0,01
Base	14	CSDY	Max	178,28	5671,97	23503,6	369,27	327,98	0,03
Base	15	CSDX	Max	341,68	1767,76	6752,43	313,47	369,1	0,01
Base	15	CSDY	Max	98,46	5864,87	22449,81	1045,46	104,81	0,03

Tabla 27. Reacciones producidas por el sismo en la estructura, para el caso de armado en dirección "Y".

Fuente: Autor

4.2.4.1 Comparación estructuras fijas con aplicación de sismo

En la siguiente tabla se puede apreciar la comparación entre las estructuras estudiadas con base fija bajo la acción del sismo de pedernales y se aprecia que no presentan variación significativa respecto a este parámetro.

Comparación estructuras por sismo			
	Losa Dirección X	Losa Dirección X	Variación
Deriva Máxima X	0,00174	0,00174	0,00%
Deriva Máxima Y	0,001842	0,001842	0,00%
Reacción máxima Y	25326,93	25340,4	0,05%
Reacción máxima X	23502,52	23503,6	0,005%

Tabla 28. Comparación Estructuras por sismo base fija. Fuente: Autor

4.2.5 Simulación y análisis estructural de la edificación con losa colaborante con aisladores sísmicos

Como en el país no se cuenta con normas que permitan realizar diseños con uso de aisladores, esta investigación se apoyará en normas internacionales, como la norma chilena NCH-2745. De la misma manera se utilizará un acelerograma de un sismo ocurrido en la región, cabe destacar que estos valores son obtenidos de los archivos de fuentes sismológicas que mantienen estos registros. Los mismos serán analizados tanto para que los mismos sean reconocidos por el programa y serán codificados para un sismo de diseño y para un evento de máxima magnitud.

Los aisladores serán diseñados de acuerdo a las normas NCH-2745 y a la guía internacional para países que no poseen normas para el diseño de estructuras con aisladores sísmicos. Los análisis serán realizados bajo el análisis modal de tiempo historia.[25]

4.2.5.1 Diseño de aisladores

En el mercado existen muchos fabricantes de este tipo de elementos estructurales, que hoy en día en aquellos países donde los fenómenos sismológicos cobran mucha importancia, sobre todo cuando se trata de salvar vidas. Dentro de la gran gama que existe los aisladores friccionales y los elastoméricos con o sin núcleo de plomo son los más comunes y sencillos de utilizar. Dependiendo de cómo se utilicen estos cumplen funciones específicas desde cambiar los periodos fundamentales para evitar la resonancia hasta ofrecer amortiguamiento de la estructura.

Inicialmente se hará un diseño en función de los parámetros sísmicos y las condiciones de solicitaciones, pesos y características de la edificación, para a partir de estos poder escoger dentro de los catálogos de fabricantes los mejores aparatos para colocar en los diseños estructurales finales.

Periodo objetivo

El periodo objetivo se lo puede considerar $T_m=2.4 \text{ seg}$ o $3*T$, donde T es el periodo de la estructura.

En este caso se tomó el valor de $T=2.4 \text{ seg}$.

Amortiguamiento

El amortiguamiento β_D de los aisladores puede ir de 15%, 20% o 25%. Para este trabajo el valor será:

$$\beta_D = 20\%$$

Coeficiente de amortiguamiento.

Este coeficiente depende del porcentaje de amortiguamiento seleccionado

Amortiguamiento	Coeficiente
15%	$BM = 1.35$
20%	$BM = 1.50$
25%	$BM = 1.60$

De la tabla seleccionamos $BM=1.5$

Desplazamiento traslacional DM

$$DM = \frac{S_a * T_{ob}^2 * g}{4 * \pi^2 * BM}$$

$$DM = 3.56cm$$

De la ecuación;

- S_a : pseudo aceleración
- T_{ob} : periodo objetivo
- g : gravedad

Desplazamiento Total DTM

Este factor se calcula con la ecuación siguiente

$$DTM = 1.15 * DM$$

$$DTM = 4.094 \text{ cm}$$

Peso Sobre Aisladores W.

W se calcula con el peso de la estructura dividido para el número de aisladores de la estructura.

$$DTM = \frac{We}{\# \text{ de Aisladores}}$$

$$DTM = \frac{2200 \text{ kg}}{24} = 91.67 \text{ kg}$$

Rigidez efectiva

La rigidez efectiva Keff se la calculó con la siguiente fórmula:

$$K_{eff} = \frac{4 * \pi^2 * W}{T^2 * g}$$

$$K_{eff} = 20,407488 \text{ T/m}^2$$

Energía disipada

Con la siguiente fórmula se calculó la energía disipada W_D :

$$W_D = 2 * \pi * K_{eff} * D_M^2 * \beta_D$$

$$W_D = 325.0128 \text{ T.m}$$

Fuerza Característica Q

$$Q = \frac{W_D}{4 * (D_M - D_y)}$$

$$Q = 22.8239 \text{ T}$$

$D_y = \text{desplazamiento de fluencia}$

Resistencia post fluencia K2

$$K2 = K_{eff} - Q/D_M$$

$$K2 = 13.99 \text{ T/m}^2$$

Rigidez elástica

$$K1 = \alpha * K2$$

$$K1 = 139.96 \text{ T/m}^2$$

$\alpha = 10$; Factor de amplificación

Desplazamiento de fluencia Dy

$$Dy = \frac{Q}{K1 - K2}$$

$$Dy = 0.18m$$

Área Núcleo de plomo Ap

El área del núcleo de plomo lo calculamos con la siguiente fórmula:

$$Ap = \frac{Q}{\tau_y}$$

$$Ap = 0.022m^2$$

$\tau_y = 1019 \text{ T/m}^2$ valor de tensión de fluencia del plomo

Diámetro de núcleo de plomo Dpb

$$Dpb = 2 * \sqrt{\frac{Ap}{\pi}}$$

$$Dpb = 0.169m$$

Altura del aislador de goma

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

$$Hr = 0.0237m$$

$\gamma_s = 150\%$; deformación lateral por corte

Altura total del Aislador, H

La altura del aislador se calculó con la siguiente fórmula:

$$H = h + 2t_{ext} = 0.185$$

$$h = n * tr + (n - 1) * ts = 0.0246$$

$$n = \frac{Hr}{tr} = 3.95 = 4$$

$$ts = 0.0003$$

H: altura total del aislador

t_{ext}: placas externas de acero

h: altura de aislador de goma y acero

n: número de láminas de goma, debe ser número entero

tr: espesor de la goma, comúnmente $e = 0.006$ m

ts: espesor del acero, comúnmente $e = 0.0003$ m

Longitud placa de montaje

$L = 510$ mm. Longitud placa de montaje Dato tomado de [26]

Área del aislador A

$$A = \frac{P_{max}}{\sigma_{AC}} = 0.10 m^2$$

P_{max} : Carga máxima de un aislador

σ_{AC} : tensión admisible de la goma, igual a 900 T/m²

Diámetro del aislador D

El diámetro del aislador viene dado por:

$$D = 2 * \sqrt{\frac{A + Ap}{\pi}}$$

$$D = 0.397\text{m}$$

Módulo de corte de la goma G

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

$$G = 4.75\text{T/m}^2$$

Factor de forma S

$$S = \frac{D^2 - Dpb^2}{A4 * D * tr}$$

$$S = 13.58$$

Rigidez de aislador de plomo Kp

$$Kp = 1.15 * Keff$$

$$Kp = 23.47 \text{ T/m}^2$$

Rigidez postfluencia K2p

$$K2p = Kp - \frac{Q}{DM}$$

$$K2p = 17.057 \text{ T/m}^2$$

Rigidez Elástica aislador núcleo de plomo K1p

$$K1p = (6.5 \text{ a } 13) * K2p$$

$$K1p = 461.85 \text{ T/m}^2$$

Fuerza de fluencia del aislador Fy

$$Fy = Q + Kp * Dy$$

$$Fy = 27.08 T/m$$

Rigidez Vertical Kv

$$Kv = \frac{Ev * A}{Hr} + \frac{El * Ap}{Hl}$$

$$Kv = 1295500,45 T/m$$

$$Ev = \frac{1}{\frac{1}{6 * G * S^2} + \frac{4}{3 * k}}$$

Kv: módulo de rigidez vertical

El : módulo de elasticidad del plomo es 1400000 T/m²

K: módulo de compresibilidad de la goma 200000 T/m²

Hl = h: altura de goma + acero del aislador

Esquema representativo del Aislador

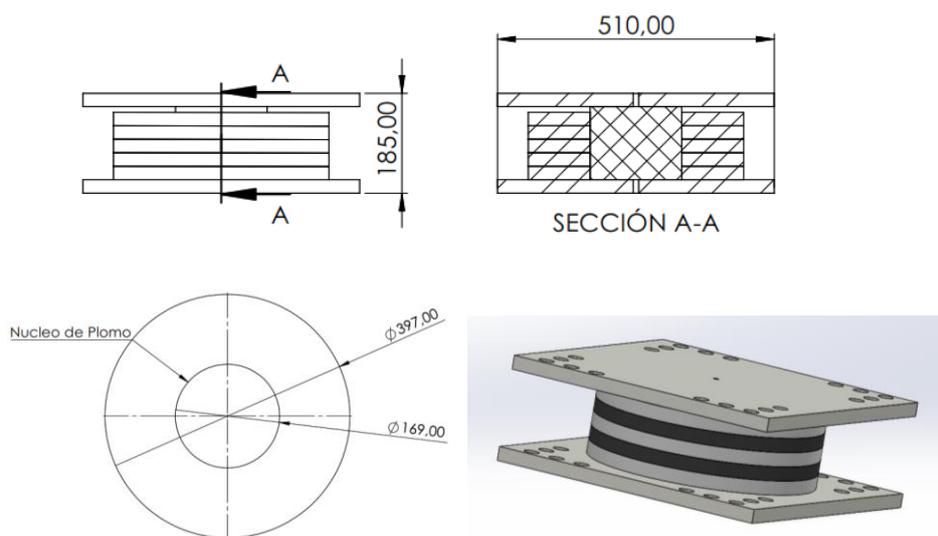


Ilustración 19. Esquema representativo Aislador (mm).

Fuente: Autor

Valores de diseño calculado para Aislador elastomérico con núcleo de plomo que se ingresan al software				
Rigidez efectiva	K_{eff}	20,4075	Ton/m ²	Rigidez efectiva lineal
Rigidez elástica	K_1	139,9627	Ton/m ²	Rigidez no Lineal
Desplazamiento de fluencia	D_y	0,1812	m	Radio de rigidez post fluencia
Fuerza de fluencia del aislador	F_y	27,0762	Ton/m	Fluencia
Rigidez vertical	K_v	1295500,4540	Ton/m ²	Rigidez efectiva

Tabla 29. Diseño de aislador Elastomérico de núcleo de plomo

Fuente: Autor

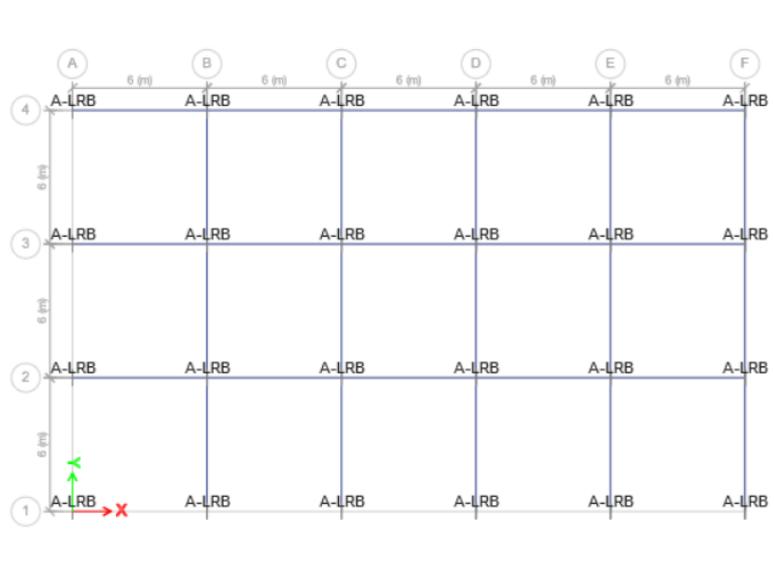


Ilustración 20. Ubicación de aisladores diseñados

Fuente: Autor

4.3 Resultados del comportamiento estructural bajo efectos de espectro con aisladores sísmicos

4.3.1 Estructura con losa colaborante en sentido X bajo efectos de espectro con aisladores sísmicos

4.3.1.1 Derivas por sismo estructura con aisladores, losa dirección X

En las siguientes graficas se aprecian los resultados de las derivas máximas generadas por el espectro sísmico calculado, aplicado a la estructura con losa colaborante en sentido X, considerando la aplicación de los aisladores sísmicos en las bases. En este primer caso se nos presenta valores de 0.00161 en el piso 2 bajo en aplicación del sismo en sentido X , y un valor máximo de 0.00118 localizado en el piso 1 con el sismo en sentido Y.

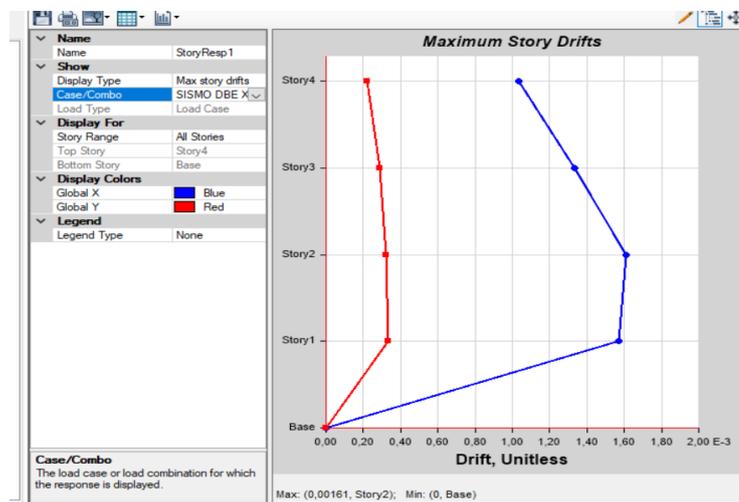


Ilustración 21. Deriva en la estructura por efecto del sismo dirección X con uso de aisladores, losa dirección X Fuente: Autor

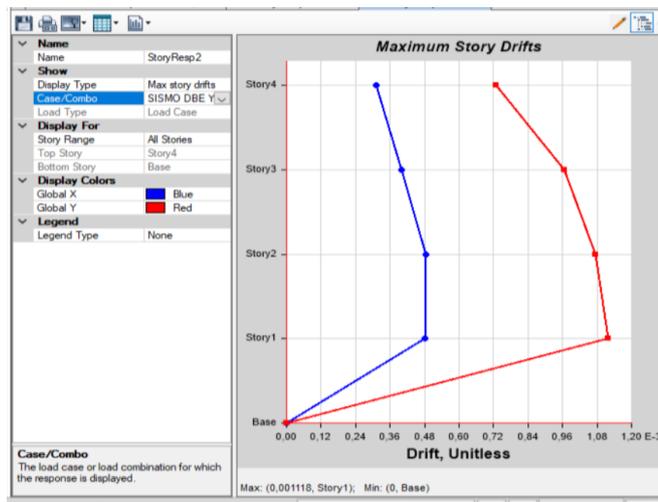


Ilustración 22. Deriva en la estructura por efecto del sismo dirección Y con uso de aisladores, losa dirección X Fuente: Fuente: Autor

DERIVAS POR SISMO DIRECCIÓN DE LOSA X									
Story	Output Case	Case Type	Step Type	Dirección	Drift	Label	X m	Y m	Z m
Story4	SISMO DBE X	LinRespSpec	Max	X	0,001035	14	30	18	14
Story4	SISMO DBE X	LinRespSpec	Max	Y	0,000219	3	0	12	14
Story4	SISMO DBE Y	LinRespSpec	Max	X	0,000311	14	30	18	14
Story4	SISMO DBE Y	LinRespSpec	Max	Y	0,000729	3	0	12	14
Story3	SISMO DBE X	LinRespSpec	Max	X	0,001332	14	30	18	10,5
Story3	SISMO DBE X	LinRespSpec	Max	Y	0,00029	3	0	12	10,5
Story3	SISMO DBE Y	LinRespSpec	Max	X	0,0004	14	30	18	10,5
Story3	SISMO DBE Y	LinRespSpec	Max	Y	0,000966	3	0	12	10,5
Story2	SISMO DBE X	LinRespSpec	Max	X	0,00161	14	30	18	7
Story2	SISMO DBE X	LinRespSpec	Max	Y	0,000322	3	0	12	7
Story2	SISMO DBE Y	LinRespSpec	Max	X	0,000483	14	30	18	7
Story2	SISMO DBE Y	LinRespSpec	Max	Y	0,001073	3	0	12	7
Story1	SISMO DBE X	LinRespSpec	Max	X	0,001573	4	0	18	3,5
Story1	SISMO DBE X	LinRespSpec	Max	Y	0,000336	6	12	0	3,5
Story1	SISMO DBE Y	LinRespSpec	Max	X	0,00048	14	30	18	3,5
Story1	SISMO DBE Y	LinRespSpec	Max	Y	0,001118	6	12	0	3,5

Tabla 30. Derivas sismo con aislador; Losas dirección X

Fuente: Autor

Se aprecia el valor máximo de deriva con el sismo en dirección X que es de 0.00161 en el piso 2, mientras que el valor obtenido cuando el sismo se da en dirección Y es de 0.001118 en el piso 1. Las derivas obtenidas en el análisis siguen estando dentro de las normas, de acuerdo a lo establecido para el aislamiento de base de acuerdo a la FEMA 450 y la E031, las estructuras diseñadas no deberían exceder 3.5%. [27],[28]

Comprobación de deriva			
Dirección del sismo	Deriva inelástica(Di)	Deriva plástica(Dp) $D_p = D_i * R * 0.75$	Condición deriva $\leq 3,5\%$
X	0,00161	0,966%	Cumple
Y	0,001118	0,671%	Cumple

Tabla 31. Comprobación de derivas estructura con aisladores, losa dirección X

Fuente: Autor

4.3.1.2 Desplazamientos por sismo de la estructura con aisladores, losa dirección X

En las siguientes graficas se muestran los desplazamientos provocados por la acción del espectro de diseño sobre la estructura con losa colaborante en sentido X.

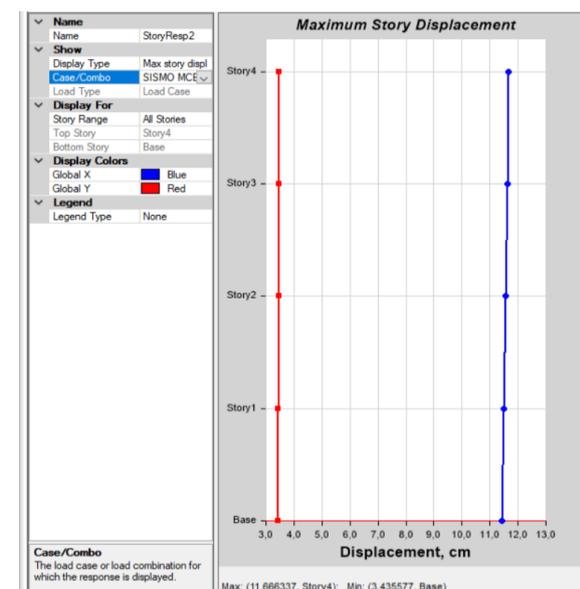


Ilustración 23. Desplazamiento en la estructura por efecto del sismo dirección X con uso de aisladores, losa dirección X

Fuente: Autor

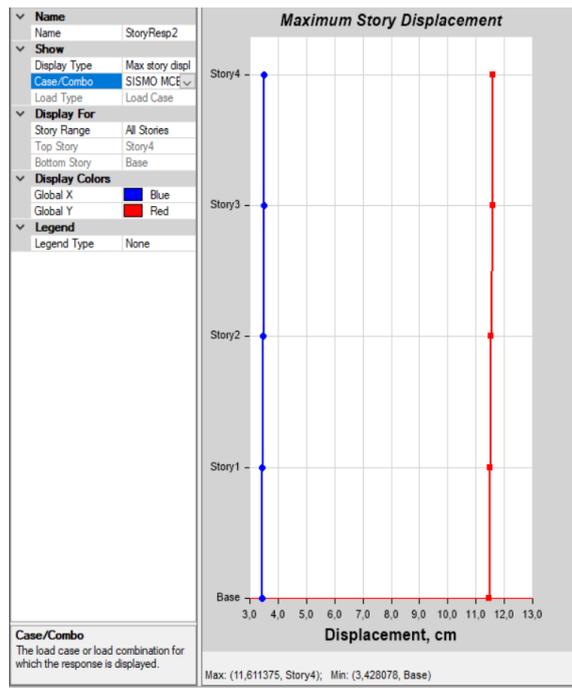


Ilustración 24. Desplazamiento en la estructura por efecto del sismo dirección Y con uso de aisladores, losa dirección X

Fuente: Autor

DESPLAZAMIENTOS MÁXIMOS ESTRUCTURA LOSA DIRECCIÓN X							
Story	Output Case	Case Type	Step Type	Dirección	Máximo	Average	Ratio
					cm	cm	
Story4	SISMO MCE X	LinRespSpec	Max	X	11,6663	11,666	1
Story4	SISMO MCE X	LinRespSpec	Max	Y	3,4834	3,4822	1
Story3	SISMO MCE X	LinRespSpec	Max	X	11,6214	11,6207	1
Story3	SISMO MCE X	LinRespSpec	Max	Y	3,4743	3,4728	1
Story2	SISMO MCE X	LinRespSpec	Max	X	11,5635	11,5625	1
Story2	SISMO MCE X	LinRespSpec	Max	Y	3,4618	3,4602	1
Story1	SISMO MCE X	LinRespSpec	Max	X	11,4933	11,492	1
Story1	SISMO MCE X	LinRespSpec	Max	Y	3,4479	3,4461	1,001
Story4	SISMO MCE Y	LinRespSpec	Max	X	3,4999	3,4998	1
Story4	SISMO MCE Y	LinRespSpec	Max	Y	11,6114	11,6071	1
Story3	SISMO MCE Y	LinRespSpec	Max	X	3,4864	3,4862	1
Story3	SISMO MCE Y	LinRespSpec	Max	Y	11,5808	11,5758	1
Story2	SISMO MCE Y	LinRespSpec	Max	X	3,4691	3,4688	1
Story2	SISMO MCE Y	LinRespSpec	Max	Y	11,5392	11,5338	1
Story1	SISMO MCE Y	LinRespSpec	Max	X	3,448	3,4476	1
Story1	SISMO MCE Y	LinRespSpec	Max	Y	11,493	11,4871	1,001

Tabla 32. Desplazamiento en la estructura por efecto del sismo, con uso de aisladores, losa dirección X

Fuente: Autor

De lo anterior se puede observar un desplazamiento máximo de 11.66cm que ocurre en el piso 4 con el sismo en dirección X, mientras que al aplicar el sismo en dirección Y se muestra un desplazamiento de 11.6114 cm en el piso 4, este sismo esta aplicado sobre la estructura con losa colaborante en dirección Y con aisladores elastoméricos en la base.

4.3.2 Estructura con losa colaborante en sentido Y bajo efectos de espectro con aisladores sísmicos

4.3.2.1 Derivas por sismo estructura con aisladores, losa dirección Y

En las siguientes graficas se muestran las máximas derivas causadas por el espectro calculado, sobre la estructura con losa colaborante en sentido Y.

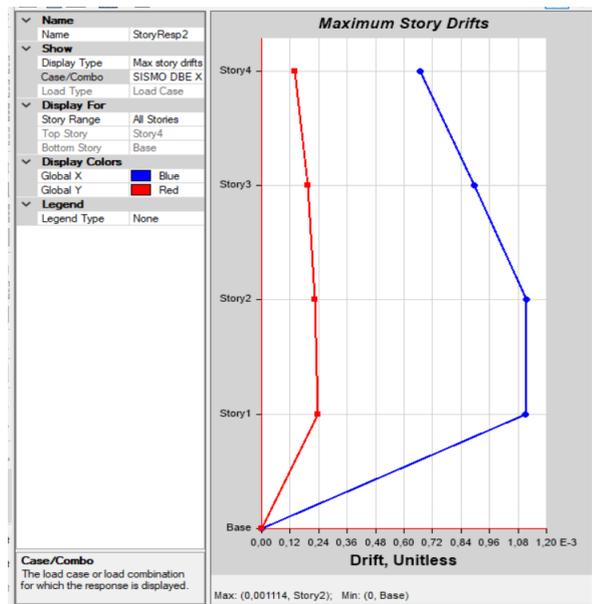


Ilustración 25. Deriva por efecto del sismo dirección X con uso de aisladores, losa dirección Y Fuente: Autor

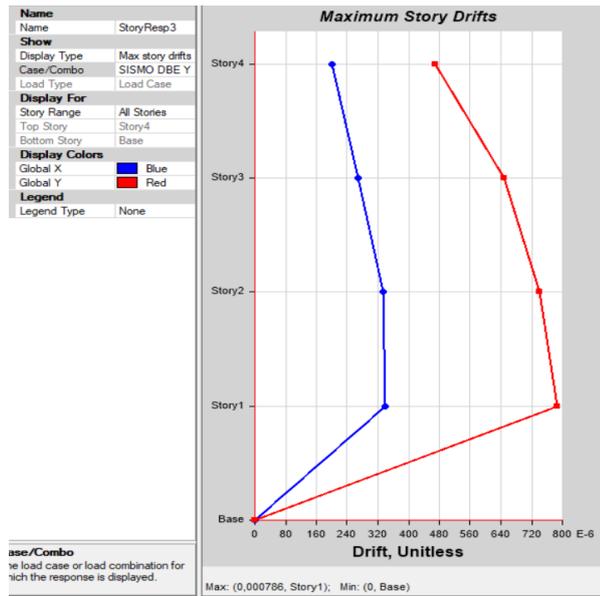


Ilustración 26. Deriva por efecto del sismo dirección Y con uso de aisladores, losa dirección Y Fuente: Autor

DERIVAS POR SISMO DIRECCIÓN DE LOSA Y									
Story	Output Case	Case Type	Step Type	Dirección	Drift	Label	X m	Y m	Z m
Story4	SISMO DBE X	LinRespSpec	Max	X	0,000666	14	30	18	14
Story4	SISMO DBE X	LinRespSpec	Max	Y	0,000141	3	0	12	14
Story4	SISMO DBE Y	LinRespSpec	Max	X	0,0002	14	30	18	14
Story4	SISMO DBE Y	LinRespSpec	Max	Y	0,000468	3	0	12	14
Story3	SISMO DBE X	LinRespSpec	Max	X	0,000894	14	30	18	10,5
Story3	SISMO DBE X	LinRespSpec	Max	Y	0,000195	3	0	12	10,5
Story3	SISMO DBE Y	LinRespSpec	Max	X	0,000268	14	30	18	10,5
Story3	SISMO DBE Y	LinRespSpec	Max	Y	0,000648	3	0	12	10,5
Story2	SISMO DBE X	LinRespSpec	Max	X	0,001114	14	30	18	7
Story2	SISMO DBE X	LinRespSpec	Max	Y	0,000223	3	0	12	7
Story2	SISMO DBE Y	LinRespSpec	Max	X	0,000334	14	30	18	7
Story2	SISMO DBE Y	LinRespSpec	Max	Y	0,000742	3	0	12	7
Story1	SISMO DBE X	LinRespSpec	Max	X	0,001111	4	0	18	3,5

Story1	SISMO DBE X	LinRespSpec	Max	Y	0,000236	6	12	0	3,5
Story1	SISMO DBE Y	LinRespSpec	Max	X	0,000339	14	30	18	3,5
Story1	SISMO DBE Y	LinRespSpec	Max	Y	0,000786	6	12	0	3,5

Tabla 33. Derivas sismo con aislador, Losas dirección Y

Fuente: Autor

De la tabla anterior se puede apreciar el valor máximo de deriva de 0.001114 provocado por el sismo en dirección X sobre la estructura con losa colaborante en sentido Y en el piso 2. Mientras tanto al aplicar el sismo en sentido Y el valor de deriva es de 0.000786.

Comprobación de deriva			
Dirección del sismo	Deriva inelástica(Di)	Deriva plástica(Dp) $D_p = D_i * R * 0.75$	Condición deriva $\leq 3,5\%$
X	0,001114	0,668%	Cumple
Y	0,000786	0,472%	Cumple

Tabla 34. Comprobación de derivas estructura con aisladores, Losa dirección Y.

Fuente: Autor

4.3.2.2 Desplazamientos por espectro sobre estructura con aisladores, losa colaborante dirección Y

En las siguientes graficas encontramos los desplazamientos obtenidos al aplicar el espectro sobre la estructura con losa colaborante en sentido Y , con la inclusión de aisladores sísmicos en las bases.

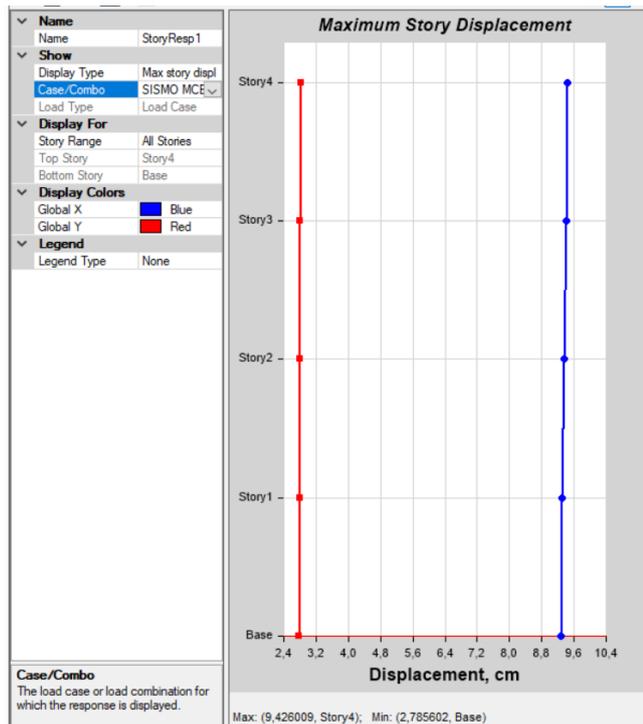


Ilustración 27. Desplazamiento en la estructura por efecto del sismo dirección X con uso de aisladores, losa dirección Y

Fuente: Autor

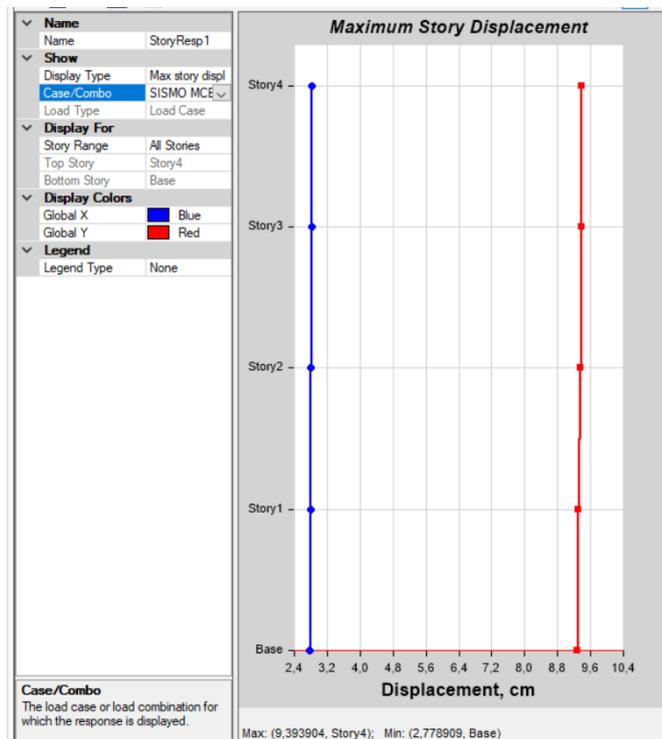


Ilustración 28. Desplazamiento en la estructura por efecto del sismo dirección Y con uso de aisladores, losa dirección Y

Fuente: Autor

DESPLAZAMIENTOS MÁXIMOS ESTRUCTURA LOSA DIRECCIÓN Y							
Story	Output Case	Case Type	Step Type	Dirección	Maximum	Average	Ratio
					cm	cm	
Story4	SISMO MCE X	LinRespSpec	Max	X	9,426	9,4245	1
Story4	SISMO MCE X	LinRespSpec	Max	Y	2,8182	2,8154	1,001
Story3	SISMO MCE X	LinRespSpec	Max	X	9,3971	9,3954	1
Story3	SISMO MCE X	LinRespSpec	Max	Y	2,8123	2,8093	1,001
Story2	SISMO MCE X	LinRespSpec	Max	X	9,3583	9,3563	1
Story2	SISMO MCE X	LinRespSpec	Max	Y	2,8039	2,8009	1,001
Story1	SISMO MCE X	LinRespSpec	Max	X	9,3097	9,3076	1
Story1	SISMO MCE X	LinRespSpec	Max	Y	2,7943	2,7912	1,001
Story4	SISMO MCE Y	LinRespSpec	Max	X	2,8278	2,8274	1
Story4	SISMO MCE Y	LinRespSpec	Max	Y	9,3939	9,3845	1,001
Story3	SISMO MCE Y	LinRespSpec	Max	X	2,8192	2,8187	1
Story3	SISMO MCE Y	LinRespSpec	Max	Y	9,3741	9,3644	1,001
Story2	SISMO MCE Y	LinRespSpec	Max	X	2,8075	2,8069	1
Story2	SISMO MCE Y	LinRespSpec	Max	Y	9,3462	9,3362	1,001
Story1	SISMO MCE Y	LinRespSpec	Max	X	2,793	2,7923	1
Story1	SISMO MCE Y	LinRespSpec	Max	Y	9,3143	9,3039	1,001

Tabla 35. Desplazamiento en la estructura por efecto del espectro con uso de aisladores, losa dirección Y

Fuente: Autor

De la tabla anterior se puede observar los desplazamientos provocados por el espectro calculado para la estructura con el uso de aisladores sísmicos y con losa colaborante en sentido Y, en la que destaca un desplazamiento de 9.426 provocado por el sismo en dirección X en el piso 4, y en con el sismo en sentido Y el valor máximo es de 9.3939 cm.

4.3.2.3 Periodos de vibración por espectro sobre la estructura con aisladores, losa colaborante dirección X

A continuación, se muestran los periodos de vibración causados por el sismo sobre la estructura con losa en sentido X.

Periodos de vibración estructura con losas en X, con aisladores					
Case	Modo	Periodo	RX	RY	RZ
		sec			
Modal	1	4,535	0	0,00004773	0
Modal	2	4,528	0,00002273	0	0
Modal	3	4,009	0	0	1
Modal	4	0,34	1,906E-06	0,9768	0
Modal	5	0,285	0,9739	2,318E-06	0
Modal	6	0,182	0,0004	0,0000357	6,013E-06
Modal	7	0,154	0	0,0132	0
Modal	8	0,127	0,0157	0	0
Modal	9	0,107	0	0,0085	0
Modal	10	0,093	0,0084	0	0
Modal	11	0,087	0	0,0014	0
Modal	12	0,081	0,00004979	7,101E-07	0

Tabla 36. Periodos de vibración, Losa en X, Aisladores.

Fuente: Autor

De la tabla anterior se puede apreciar que para este caso los primeros periodos de vibración que superan los 4 seg.

4.3.2.4 Periodos de vibración por espectro sobre la estructura con aisladores, losa colaborante dirección Y

En la siguiente tabla se aprecian los periodos de vibración producidos en la estructura con losa colaborante en sentido Y, con aisladores sísmicos, y bajo la influencia del sismo.

Periodos de vibración estructura con losas en Y, con aisladores					
Caso	Modo	Periodo	RX	RY	RZ
		sec			
Modal	1	3,674	0	0,0000368	0
Modal	2	3,669	0,00001739	0	3,026E-06
Modal	3	3,318	0	0	1
Modal	4	0,273	0,0000017	0,9877	0
Modal	5	0,228	0,9853	2,144E-06	0
Modal	6	0,148	0,0004	0,0001	4,835E-06
Modal	7	0,122	0	0,0066	0
Modal	8	0,102	0,0089	0	0
Modal	9	0,083	0	0,0053	0
Modal	10	0,071	0,0047	0	0
Modal	11	0,068	0	0,0003	0
Modal	12	0,066	0	0	0

Tabla 37. Periodos de vibración, Losa en X, Aisladores Fuente: Autor

En la tabla anterior se puede observar que los tres primeros periodos de vibración son superiores a 3 seg.

4.3.3 Comparaciones entre estructura con losa colaborante en sentido X y en sentido Y

4.3.3.1 Comparación derivas provocadas por sismo a estructura con aisladores sísmicos

En la siguiente tabla podemos apreciar la variación en las derivas dependiendo de la dirección de la losa colaborante sobre la estructura con aisladores sísmicos y se aprecia que existe una variación de hasta un 35.69 % entre ambas estructuras, siendo la de más baja deriva la estructura de losa colaborante en dirección Y, y en las gráficas se aprecian la diferencia de derivas por piso según la dirección del sismo.

COMPARACIÓN DE DERIVAS SISMO ,CON AISLADOR					
PISO	SISMO	Dirección	DERIVA Losa dirección X	DERIVA Losa dirección Y	VARIACIÓN
Story4	SISMO DBE X	X	0,001035	0,000666	35,65%
Story4	SISMO DBE X	Y	0,000219	0,000141	35,62%
Story4	SISMO DBE Y	X	0,000311	0,0002	35,69%
Story4	SISMO DBE Y	Y	0,000729	0,000468	35,80%
Story3	SISMO DBE X	X	0,001332	0,000894	32,88%
Story3	SISMO DBE X	Y	0,00029	0,000195	32,76%
Story3	SISMO DBE Y	X	0,0004	0,000268	33,00%
Story3	SISMO DBE Y	Y	0,000966	0,000648	32,92%
Story2	SISMO DBE X	X	0,00161	0,001114	30,81%
Story2	SISMO DBE X	Y	0,000322	0,000223	30,75%
Story2	SISMO DBE Y	X	0,000483	0,000334	30,85%
Story2	SISMO DBE Y	Y	0,001073	0,000742	30,85%
Story1	SISMO DBE X	X	0,001573	0,001111	29,37%
Story1	SISMO DBE X	Y	0,000336	0,000236	29,76%
Story1	SISMO DBE Y	X	0,00048	0,000339	29,38
Story1	SISMO DBE Y	Y	0,001118	0,000786	29,70

Tabla 38.Comparacion De Derivas Sismo ,Con Aislador;

Fuente: Autor

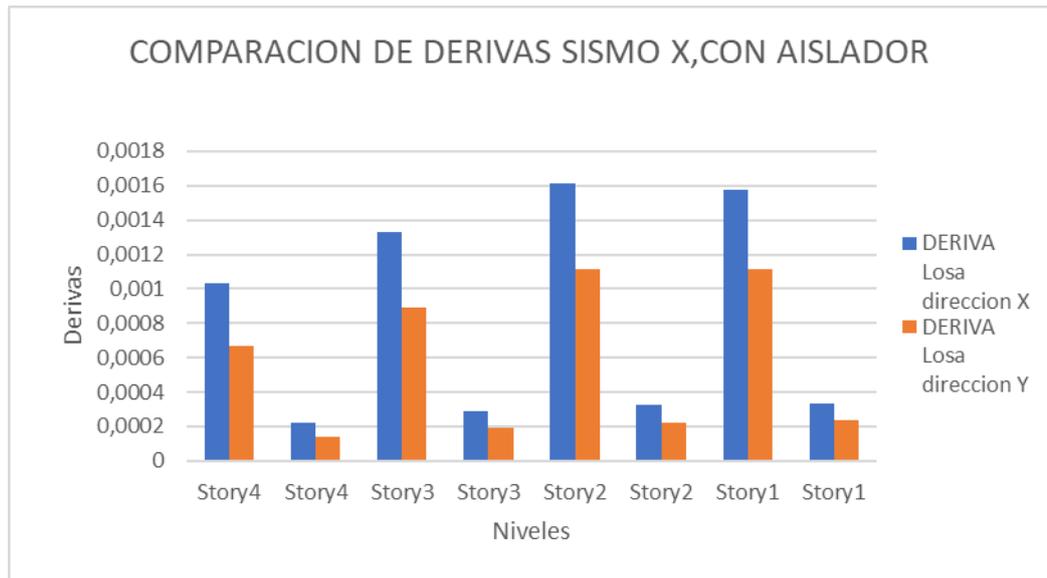


Ilustración 29. Comparación derivas máximos estructura, sismo X

Fuente: Autor

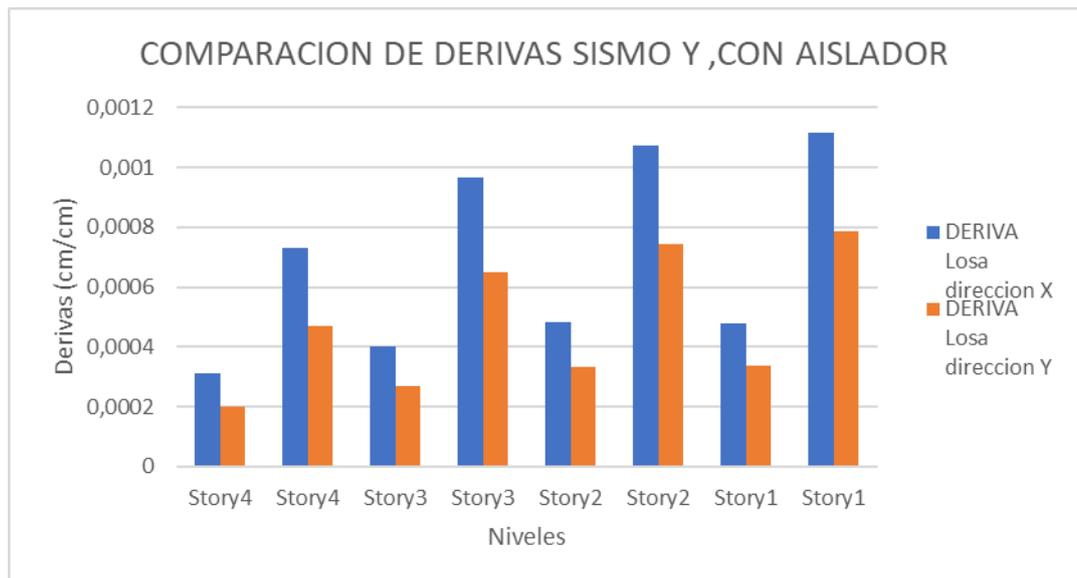


Ilustración 30. Comparación desplazamientos máximos estructura, sismo Y

Fuente: Autor

4.3.3.2 Comparación de los desplazamientos provocadas por el sismo a la estructura con aisladores sísmicos

En el presente apartado podemos observar la diferencia que existe entre los desplazamientos que se producen en las estructuras al variar la dirección de la losa colaborante, se aprecia que existe en este caso con el espectro calculado la

variación tiende a ser mayor al 10% presentando menor desplazamiento la estructura con la losa en dirección Y, y en las gráficas se puede apreciar esta diferencia por piso y dirección de aplicación del sismo.

COMPARACIÓN DESPLAZAMIENTOS MÁXIMOS ESTRUCTURA					
Story	Output Case	Dirección	Losa dirección X	Losa dirección Y	Variación
			cm	cm	
Story4	SISMO X	X	11,6663	9,426	10,62%
Story4	SISMO X	Y	3,4834	2,8182	10,56%
Story3	SISMO X	X	11,6214	9,3971	10,58%
Story3	SISMO X	Y	3,4743	2,8123	10,53%
Story2	SISMO X	X	11,5635	9,3583	10,54%
Story2	SISMO X	Y	3,4618	2,8039	10,50%
Story1	SISMO X	X	11,4933	9,3097	10,50%
Story1	SISMO X	Y	3,4479	2,7943	10,47%
Story4	SISMO Y	X	3,4999	2,8278	10,62%
Story4	SISMO Y	Y	11,6114	9,3939	10,56%
Story3	SISMO Y	X	3,4864	2,8192	10,58%
Story3	SISMO Y	Y	11,5808	9,3741	10,53%
Story2	SISMO Y	X	3,4691	2,8075	10,54%
Story2	SISMO Y	Y	11,5392	9,3462	10,50%
Story1	SISMO Y	X	3,448	2,793	10,50%
Story1	SISMO Y	Y	11,493	9,3143	10,47%

Tabla 39. Comparación de Desplazamientos con Sismo, con Aislador;

Fuente: Autor

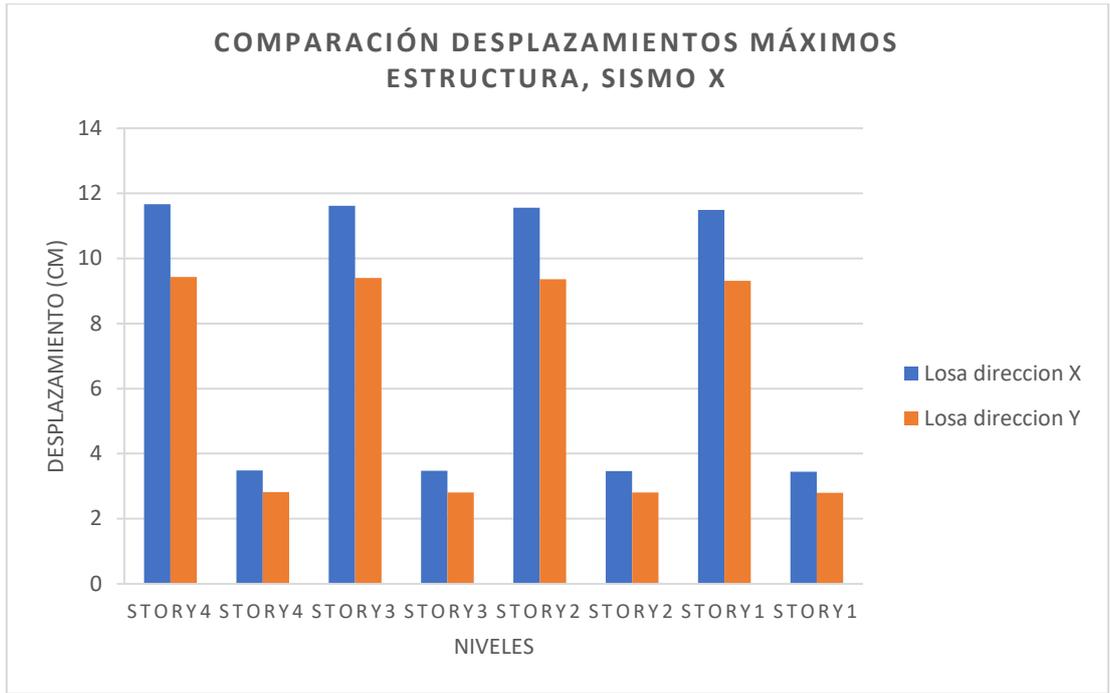


Ilustración 31. Comparación desplazamientos máximos estructura, sismo X

Fuente: Autor

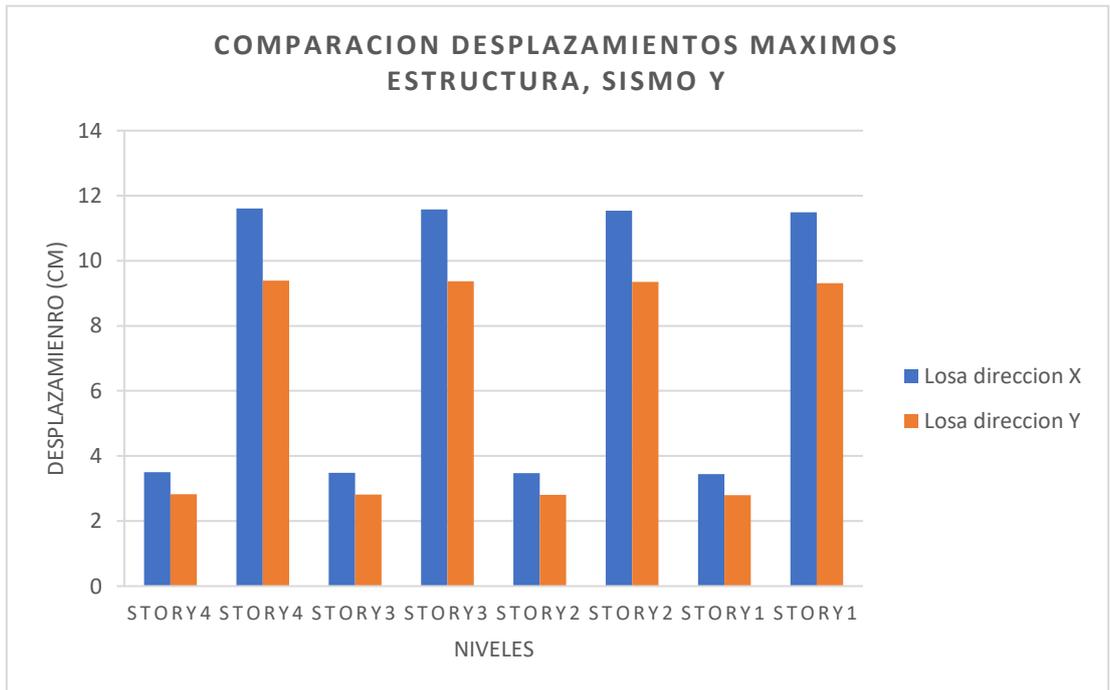


Ilustración 32. Comparación desplazamientos máximos estructura, sismo Y

Fuente: Autor

4.3.3.3 Comparación de los periodos de vibración provocados por el sismo a la estructura con aisladores sísmicos

En la tabla siguiente se puede observar la variación que se da en los modos de vibración de las estructuras estudiadas, dándose en el primer modo el periodo más alto en ambos casos, presentando un valor en la estructura de losa en dirección X de 4.535 seg y en el caso de la estructura con losa en dirección Y un valor de periodo de 3.674 seg, lo que conlleva a una variación de 18.99% entre ambas estructuras.

Comparación de modos de vibración bajo espectro				
Caso	Modo	Losa dirección X	Losa dirección Y	Variación
Modal 1	1	4,535	3,674	18,99%
Modal 2	2	4,528	3,669	18,97%
Modal 3	3	4,009	3,318	17,24%
Modal 4	4	0,34	0,273	19,71%
Modal 5	5	0,285	0,228	20,00%
Modal 6	6	0,182	0,148	18,68%
Modal 7	7	0,154	0,122	20,78%
Modal 8	8	0,127	0,102	19,69%
Modal 9	9	0,107	0,083	22,43%
Modal 10	10	0,093	0,071	23,66%
Modal 11	11	0,087	0,068	21,84%
Modal 12	12	0,081	0,066	18,52%

Tabla 40. Comparación de modos de vibración bajo espectro.

Fuente: Autor

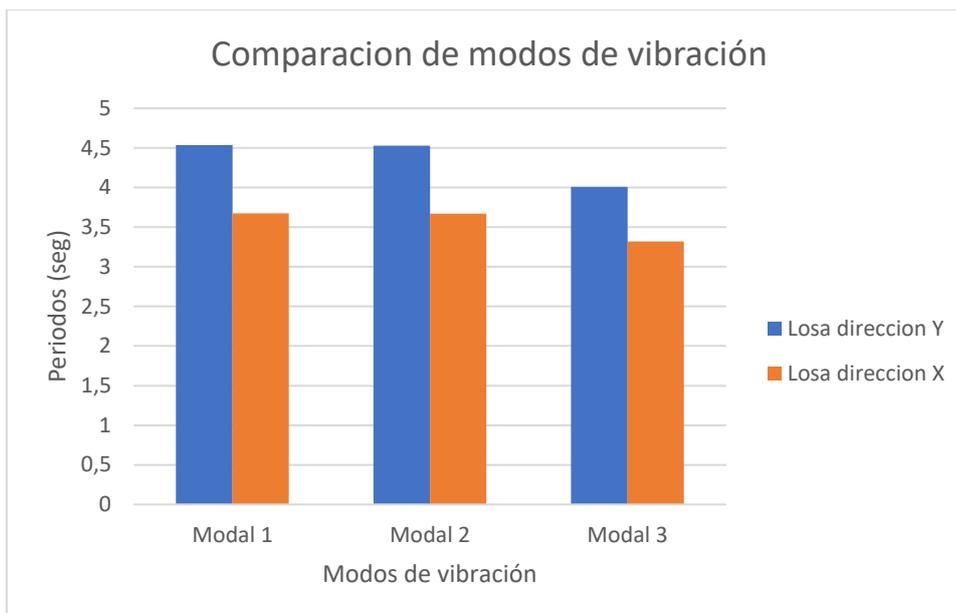


Ilustración 33. Comparación Modos de Vibración, Aisladores

Fuente: Autor

4.3.3.4 Resumen de comparaciones de las estructuras bajo el sismo de diseño

A continuación, se muestra un resumen de los parámetros máximos comparados, cuando la estructura está sometida al espectro de diseño calculado.

Comparación estructuras por sismo				
Parámetro	Unidad	Losa Dirección X	Losa Dirección Y	Variación
Deriva máxima X	cm/cm	0,00161	0,001114	30,81%
Deriva máxima Y	cm/cm	0,001118	0,000786	29,70%
Desplazamiento máximo X	cm	11,6663	9,426	10.62%
Desplazamiento máximo Y	cm	11,6114	9,3939	10,56%
Periodo máximo	seg	4,535	3,674	18.99%

Tabla 41. Resumen comparación estructuras por sismo.

Fuente: Autor

4.3.4 Resultados de la estructura sometida al sismo de pedernales (Tiempo-Historia)

Se sometió a la estructura con aisladores sísmicos, a un análisis tiempo historia a partir del registro sísmico del terremoto ocurrido en Pedernales en 2016, a continuación, se muestra el espectro generado de este registro:

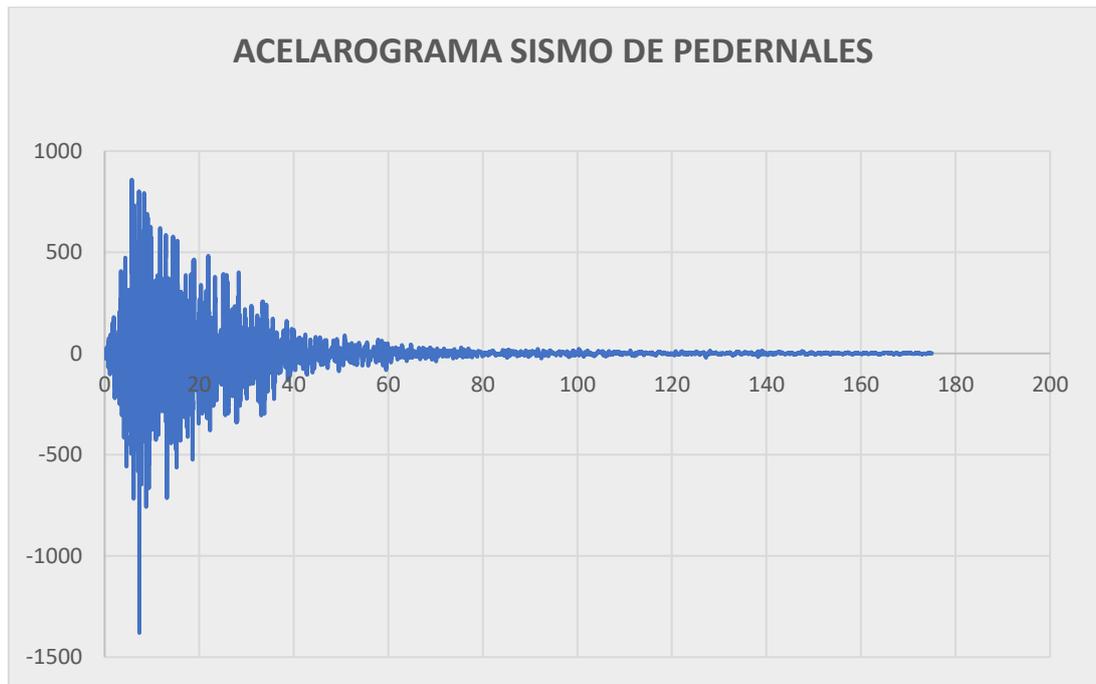


Ilustración 34. Espectro sismo de pedernales.

Fuente: Autor

4.3.4.1 Derivas por sismo de la estructura con aisladores, losa dirección X, Tiempo Historia

En las siguientes imágenes se aprecia las derivas máximas provocadas por el sismo de Pedernales del 2016, en la estructura con losa colaborante en dirección X.

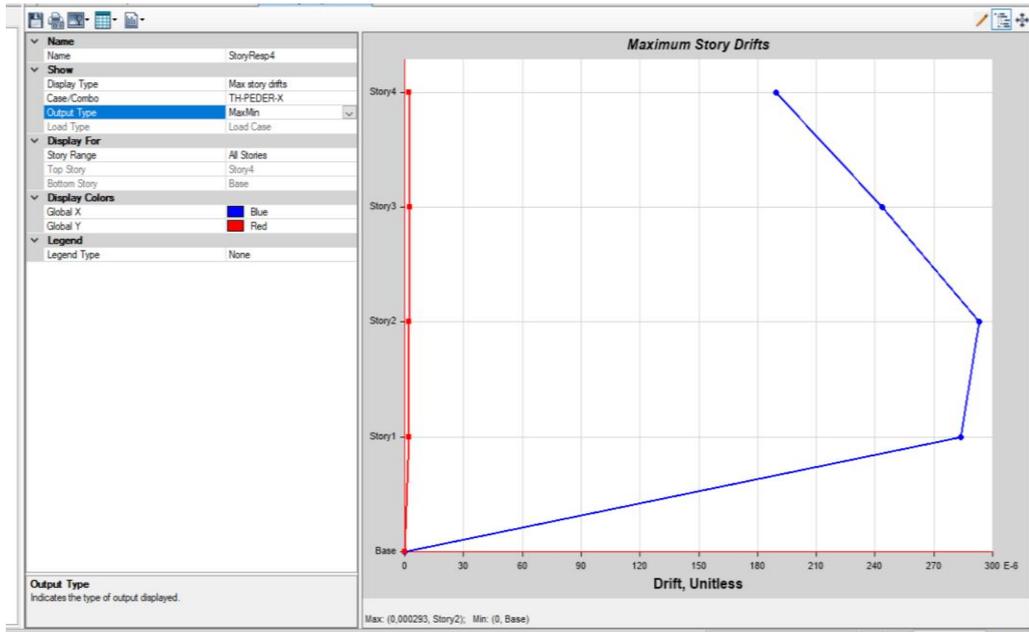


Ilustración 35. Deriva en la estructura bajo TH dirección X con uso de aisladores, losa dirección X

Fuente: Autor

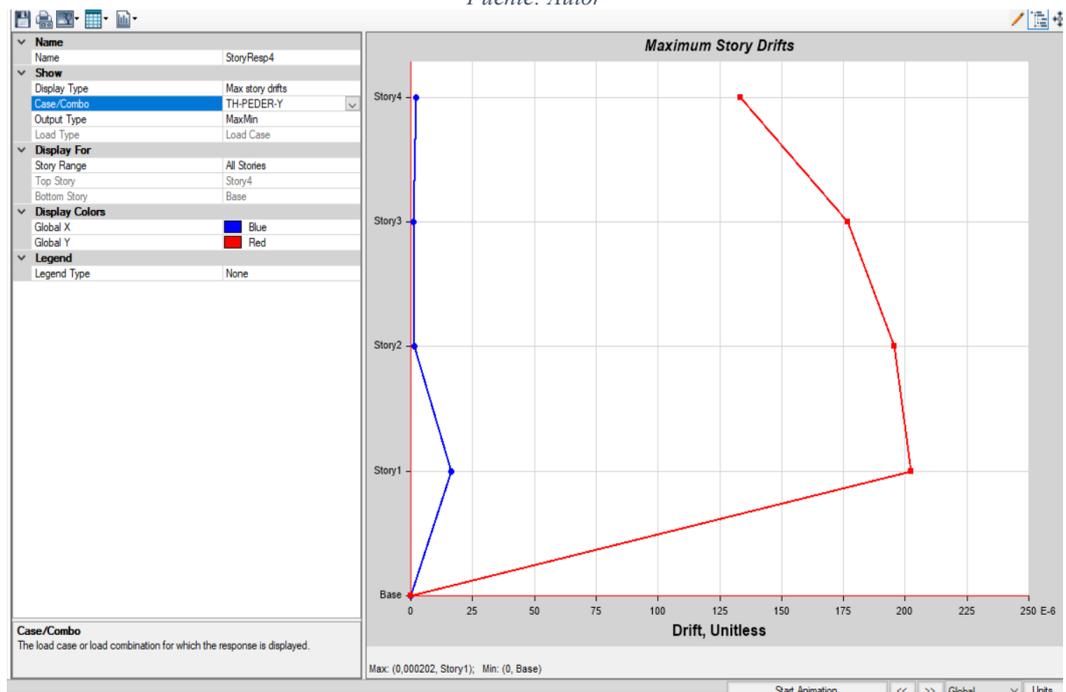


Ilustración 36. Deriva en la estructura bajo TH dirección Y con uso de aisladores, losa dirección X

Fuente: Autor

DERIVAS POR SISMO DIRECCIÓN DE LOSA X BAJO TH-PEDERNALES									
Story	Output Case	Case Type	Step Type	Dirección	Drift	Label	X	Y	Z
							m	m	m
Story4	TH-PEDER-X	LinModHist	Max	X	0,000185	14	30	18	14
Story4	TH-PEDER-X	LinModHist	Min	X	0,00019	14	30	18	14
Story4	TH-PEDER-Y	LinModHist	Max	Y	0,000124	3	0	12	14
Story4	TH-PEDER-Y	LinModHist	Min	Y	0,000133	3	0	12	14
Story3	TH-PEDER-X	LinModHist	Max	X	0,000237	14	30	18	10,5
Story3	TH-PEDER-X	LinModHist	Min	X	0,000244	14	30	18	10,5
Story3	TH-PEDER-Y	LinModHist	Max	Y	0,000164	3	0	12	10,5
Story3	TH-PEDER-Y	LinModHist	Min	Y	0,000177	3	0	12	10,5
Story2	TH-PEDER-X	LinModHist	Max	X	0,000282	14	30	18	7
Story2	TH-PEDER-X	LinModHist	Min	X	0,000293	14	30	18	7
Story2	TH-PEDER-Y	LinModHist	Max	Y	0,000182	3	0	12	7
Story2	TH-PEDER-Y	LinModHist	Min	Y	0,000195	3	0	12	7
Story1	TH-PEDER-X	LinModHist	Max	X	0,000269	4	0	18	3,5
Story1	TH-PEDER-X	LinModHist	Min	X	0,000284	4	0	18	3,5
Story1	TH-PEDER-Y	LinModHist	Max	Y	0,000188	6	12	0	3,5
Story1	TH-PEDER-Y	LinModHist	Min	Y	0,000202	6	12	0	3,5

Tabla 42. Derivas sismo con aislador, Losas dirección X ajo TH-Pedernales

Fuente: Autor

De la tabla anterior se puede encontrar la máxima deriva generada por el sismo de Pedernales , en la estructura con un valor de 0.000293 con el sismo en dirección X, considerando la losa colaborante en dirección X. Cuando se aplica el sismo en dirección Y la máxima deriva ocurre en el piso 1 con un valor de 0.000202.

Comprobación de deriva			
Dirección del sismo	Deriva inelástica(Di)	Deriva plástica(Dp) $D_p = D_i * R * 0.75$	Condición deriva $\leq 3,5\%$
X	0,000293	0,176%	Cumple
Y	0,000202	0,121%	Cumple

Tabla 43. Comprobación de derivas estructura con aisladores, Losa dirección X, TH.

Fuente: Autor

4.3.4.2 Derivas por sismo de la estructura con aisladores, losa dirección Y, Tiempo Historia

En el presente apartado podemos apreciar las derivas causadas por el sismo de Pedernales en la estructura con losa colaborante en dirección Y, considerando aisladores sísmicos en la base.

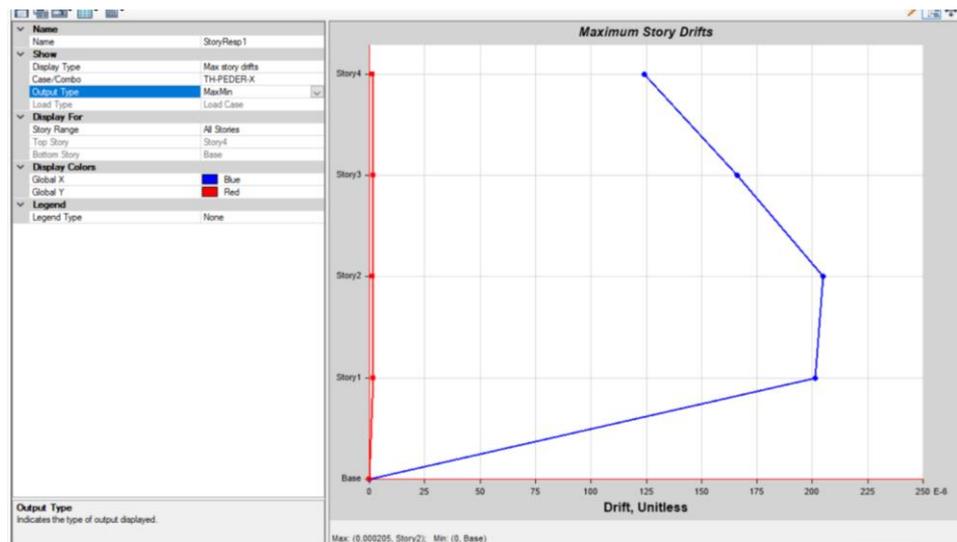


Ilustración 37. Deriva en la estructura bajo TH dirección X con uso de aisladores, losa dirección Y

Fuente: Autor

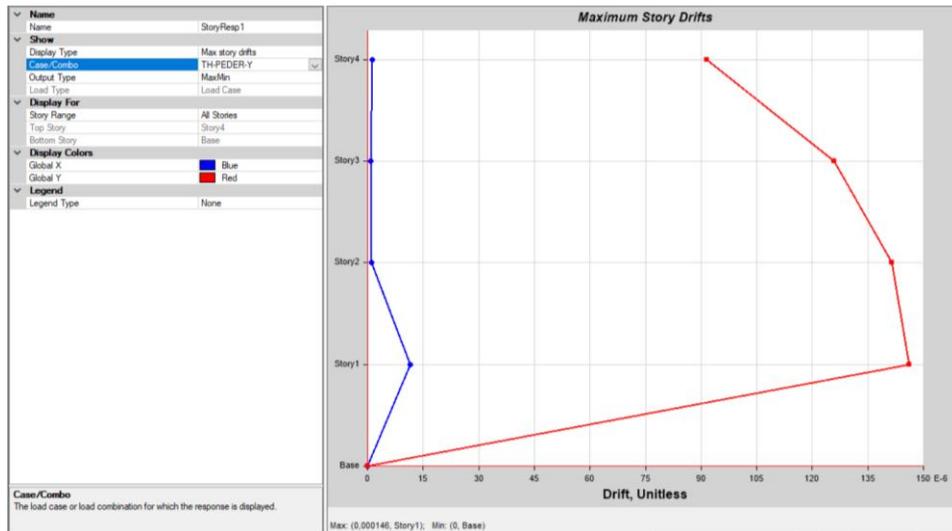


Ilustración 38. Deriva en la estructura bajo TH dirección y con uso de aisladores, losa dirección Y

Fuente: Autor

DERIVAS POR SISMO DIRECCIÓN DE LOSA X BAJO TH-PEDERNALES									
Story	Output Case	Case Type	Step Type	Dirección	Drift	Label	X	Y	Z
							m	m	m
Story4	TH-PEDER-X	LinModHist	Max	X	0,000124	14	30	18	14
Story4	TH-PEDER-X	LinModHist	Min	X	0,000106	14	30	18	14
Story4	TH-PEDER-Y	LinModHist	Max	Y	0,000091	3	0	12	14
Story4	TH-PEDER-Y	LinModHist	Min	Y	0,00008	3	0	12	14
Story3	TH-PEDER-X	LinModHist	Max	X	0,000166	14	30	18	10,5
Story3	TH-PEDER-X	LinModHist	Min	X	0,000142	14	30	18	10,5
Story3	TH-PEDER-Y	LinModHist	Max	Y	0,000126	3	0	12	10,5
Story3	TH-PEDER-Y	LinModHist	Min	Y	0,000111	3	0	12	10,5
Story2	TH-PEDER-X	LinModHist	Max	X	0,000205	14	30	18	7
Story2	TH-PEDER-X	LinModHist	Min	X	0,000177	14	30	18	7
Story2	TH-PEDER-Y	LinModHist	Max	Y	0,000141	3	0	12	7
Story2	TH-PEDER-Y	LinModHist	Min	Y	0,000124	3	0	12	7
Story1	TH-PEDER-X	LinModHist	Max	X	0,000201	4	0	18	3,5
Story1	TH-PEDER-X	LinModHist	Min	X	0,000175	4	0	18	3,5
Story1	TH-PEDER-Y	LinModHist	Max	Y	0,000146	6	12	0	3,5
Story1	TH-PEDER-Y	LinModHist	Min	Y	0,000128	6	12	0	3,5

Tabla 44. Derivas sismo con aislador, Losas dirección Y bajo TH-Pedernales

Fuente: Autor

De la tabla anterior se puede apreciar que existe una deriva de 0,000205 provocada por el sismo en dirección X en el piso 2, mientras que con el sismo en dirección Y se da la deriva máxima en el piso 1 con valor de 0.000146.

Comprobación de deriva			
Dirección del sismo	Deriva inelástica(Di)	Deriva plástica(Dp) $D_p = D_i * R * 0.75$	Condición deriva $\leq 3,5\%$
X	0,000205	0,123%	Cumple
Y	0,000146	0,088%	Cumple

Tabla 45..Comprobación de derivas estructura con aisladores, Losa dirección Y ,TH.

Fuente: Autor

4.3.4.3 Desplazamientos por sismo de la estructura con aisladores, losa dirección X, bajo Tiempo Historia

En las siguientes gráficas y tabla se muestran los desplazamientos máximos causados por el sismo de Pedernales sobre la estructura con losa colaborante en sentido X.

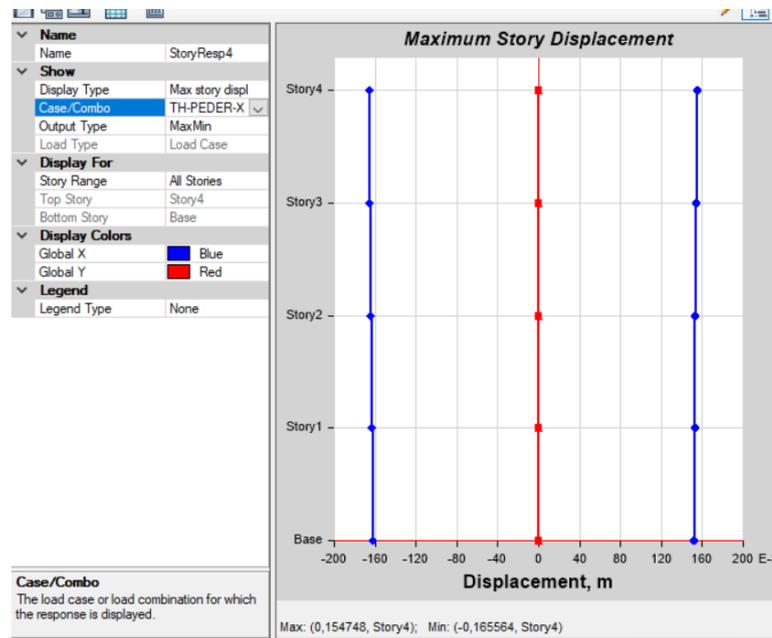


Ilustración 39.Desplazamiento en la estructura por efecto del sismo dirección X con uso de aisladores, losa dirección X

Fuente: Autor

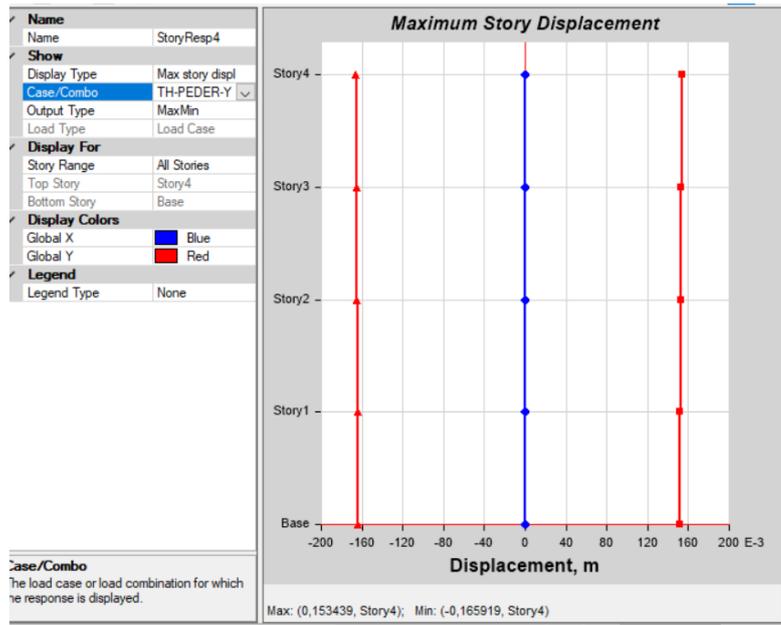


Ilustración 40. Desplazamiento en la estructura por efecto del sismo dirección X con uso de aisladores, losa dirección X

Fuente: Autor

DESPLAZAMIENTOS MÁXIMOS ESTRUCTURA LOSA DIRECCIÓN Y							
Story	Output Case	Case Type	Step Type	Dirección	Maximum	Average	Ratio
					cm	cm	
Story4	TH-PEDER-X	LinModHist	Max	X	15,4748	15,4746	1
Story3	TH-PEDER-X	LinModHist	Max	X	15,4107	15,4102	1
Story2	TH-PEDER-X	LinModHist	Max	X	15,3288	15,3278	1
Story1	TH-PEDER-X	LinModHist	Max	X	15,2311	15,2296	1
Story4	TH-PEDER-X	LinModHist	Min	X	16,5564	16,5563	1
Story3	TH-PEDER-X	LinModHist	Min	X	16,4907	16,4904	1
Story2	TH-PEDER-X	LinModHist	Min	X	16,4065	16,4057	1
Story1	TH-PEDER-X	LinModHist	Min	X	16,3049	16,3037	1
Story4	TH-PEDER-Y	LinModHist	Max	Y	15,3439	15,3395	1
Story3	TH-PEDER-Y	LinModHist	Max	Y	15,3027	15,2973	1
Story2	TH-PEDER-Y	LinModHist	Max	Y	15,2466	15,2406	1
Story1	TH-PEDER-Y	LinModHist	Max	Y	15,1844	15,1777	1
Story4	TH-PEDER-Y	LinModHist	Min	Y	16,5919	16,5894	1
Story3	TH-PEDER-Y	LinModHist	Min	Y	16,5474	16,5438	1
Story2	TH-PEDER-Y	LinModHist	Min	Y	16,4869	16,4827	1
Story1	TH-PEDER-Y	LinModHist	Min	Y	16,42	16,415	1

Tabla 46. Desplazamientos máximos estructura losa dirección Y.

Fuente: Autor

Se puede apreciar de la tabla y gráficas anteriores , que en este caso cuando se aplica el sismo en dirección X y en dirección Y los desplazamientos máximos se dan en el piso 4 con valores de 15.474 cm y 15.3439 cm respectivamente.

4.3.4.4 Desplazamientos por sismo de la estructura con aisladores, losa dirección Y, bajo Tiempo Historia

En las siguientes graficas se muestran los desplazamientos provocados por espectro del sismo de Pedernales 2016, en la estructura con placa colaborante en dirección Y.

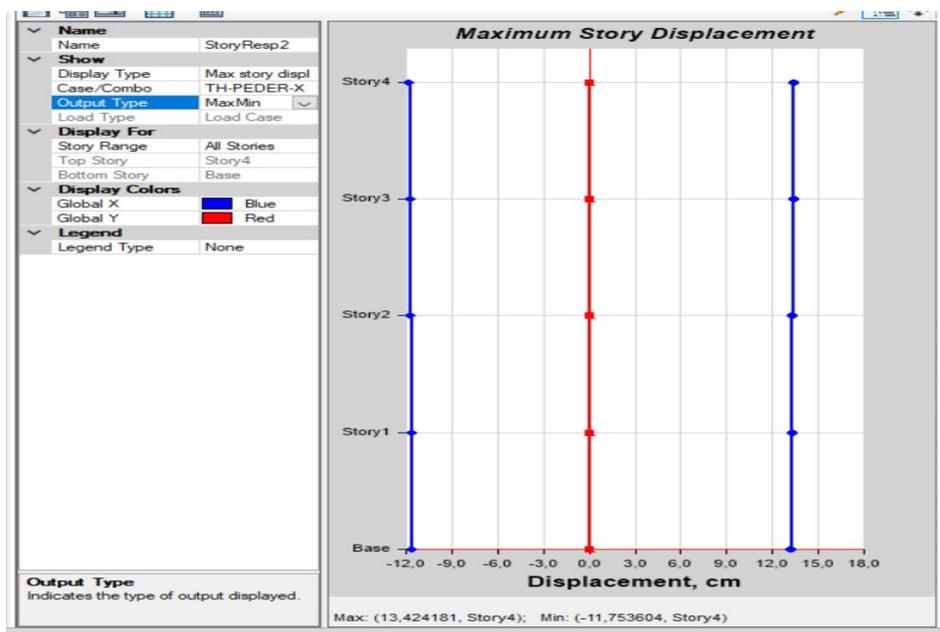


Ilustración 41. Desplazamiento en la estructura bajo TH dirección X con uso de aisladores, losa dirección Y

Fuente: Autor

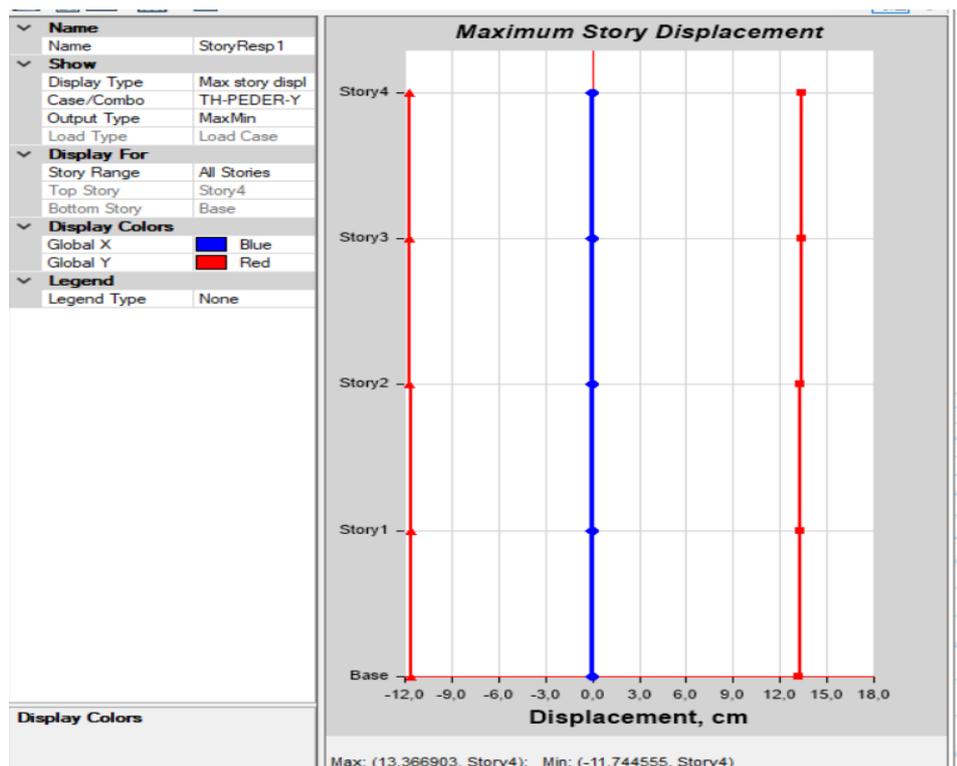


Ilustración 42.Desplazamiento en la estructura bajo TH dirección Y con uso de aisladores, losa dirección Y

Fuente: Autor

DESPLAZAMIENTOS MÁXIMOS ESTRUCTURA LOSA DIRECCIÓN Y							
Story	Output Case	Case Type	Step Type	Dirección	Maximum	Average	Ratio
					cm	cm	
Story4	TH-PEDER-X	LinModHist	Max	X	13,4242	13,4234	1
Story3	TH-PEDER-X	LinModHist	Max	X	13,3824	13,3814	1
Story2	TH-PEDER-X	LinModHist	Max	X	13,3265	13,3251	1
Story1	TH-PEDER-X	LinModHist	Max	X	13,2566	13,255	1
Story4	TH-PEDER-X	LinModHist	Min	X	11,7536	11,7534	1
Story3	TH-PEDER-X	LinModHist	Min	X	11,7169	11,7169	1
Story2	TH-PEDER-X	LinModHist	Min	X	11,6682	11,6679	1
Story1	TH-PEDER-X	LinModHist	Min	X	11,6074	11,6069	1
Story4	TH-PEDER-Y	LinModHist	Max	Y	13,3669	13,3613	1
Story3	TH-PEDER-Y	LinModHist	Max	Y	13,3364	13,33	1
Story2	TH-PEDER-Y	LinModHist	Max	Y	13,2933	13,2865	1,001
Story1	TH-PEDER-Y	LinModHist	Max	Y	13,245	13,2376	1,001
Story4	TH-PEDER-Y	LinModHist	Min	Y	11,7445	11,7442	1
Story3	TH-PEDER-Y	LinModHist	Min	Y	11,7177	11,7168	1
Story2	TH-PEDER-Y	LinModHist	Min	Y	11,68	11,6787	1
Story1	TH-PEDER-Y	LinModHist	Min	Y	11,6376	11,6358	1

Tabla 47.Desplazamiento en la estructura bajo TH con uso de aisladores, losa dirección Y

Fuente: Autor

De la tabla anterior podemos apreciar que el desplazamiento máximo de produce en sentido X con un valor de 13.4242 cm producido por el sismo en sentido X. Mientras tanto con el sismo en dirección Y el valor máximo de desplazamiento es 13.3669 cm en el piso 4.

4.3.4.5 Periodos de vibración por sismo de la estructura con aisladores, losa dirección X, bajo Tiempo Historia

A continuación, se muestran los periodos de vibración causados por el sismo de Pedernales sobre la estructura con losa colaborante en sentido X.

Periodos de vibración estructura con losas en X, con aisladores, bajo TH					
Caso	Modo	Periodo	RX	RY	RZ
		sec			
Modal	1	4,535	0	0,00004773	0
Modal	2	4,528	0,00002273	0	0
Modal	3	4,009	0	0	1
Modal	4	0,34	1,906E-06	0,9768	0
Modal	5	0,285	0,9739	2,318E-06	0
Modal	6	0,182	0,0004	0,0000357	6,013E-06
Modal	7	0,154	0	0,0132	0
Modal	8	0,127	0,0157	0	0
Modal	9	0,107	0	0,0085	0
Modal	10	0,093	0,0084	0	0
Modal	11	0,087	0	0,0014	0
Modal	12	0,081	0,00004979	7,101E-07	0

Tabla 48. Periodos de vibración por sismo estructura con aisladores, losa dirección X, bajo Tiempo Historia

Fuente: Autor

De la tabla se puede observar que los tres primeros modos de vibración presentan valores superiores a 4 seg.

4.3.4.6 Periodos de vibración por sismo de la estructura con aisladores, losa dirección Y, bajo Tiempo Historia

En a siguiente tabla se aprecian los modos de vibración de la estructura con losa colaborante en sentido Y, con aisladores sísmicos y bajo acción de del sismo de Pedernales.

Periodos de vibración estructura con losas en Y, con aisladores, bajo TH					
Caso	Modo	Periodo	RX	RY	RZ
		sec			
Modal	1	3,674	0	0,0000368	0
Modal	2	3,669	0,00001739	0	3,026E-06
Modal	3	3,318	0	0	1
Modal	4	0,273	0,0000017	0,9877	0
Modal	5	0,228	0,9853	2,144E-06	0
Modal	6	0,148	0,0004	0,0001	4,835E-06
Modal	7	0,122	0	0,0066	0
Modal	8	0,102	0,0089	0	0
Modal	9	0,083	0	0,0053	0
Modal	10	0,071	0,0047	0	0
Modal	11	0,068	0	0,0003	0
Modal	12	0,066	0	0	0

Tabla 49. Periodos de vibración por sismo estructura con aisladores, losa dirección Y, bajo Tiempo Historia

Fuente: Autor

4.3.5 Comparación de estructuras por sismo de Pedernales TH

4.3.5.1 Comparación derivas provocadas por sismo de Pedernales en TH a la estructura con aisladores sísmicos

En la siguiente tabla podemos apreciar la variación en las derivas dependiendo de la dirección de la losa colaborante sobre la estructura con aisladores sísmicos, bajo la consideración Tiempo Historia tomada del registro del sismo de 2016 de Pedernales y se aprecia que existe una variación de máxima de 44.21 % entre ambas estructuras, siendo al igual que el caso espectral la estructura que más baja deriva presenta la que consta de losa colaborante en dirección Y. Mientras en las gráficas se presentan las derivas que se generan por piso, en relación de la dirección del sismo.

COMPARACIÓN DE DERIVAS POR TH ,CON AISLADOR					
PISO	SISMO	Dirección	DERIVA Losa dirección X	DERIVA Losa dirección Y	VARIACIÓN
Story4	TH-PEDER-X	X	0,000185	0,000124	32,97%
Story4	TH-PEDER-X	X	0,00019	0,000106	44,21%
Story4	TH-PEDER-Y	Y	0,000124	0,000091	26,61%
Story4	TH-PEDER-Y	Y	0,000133	0,00008	39,85%
Story3	TH-PEDER-X	X	0,000237	0,000166	29,96%
Story3	TH-PEDER-X	X	0,000244	0,000142	41,80%
Story3	TH-PEDER-Y	Y	0,000164	0,000126	23,17%
Story3	TH-PEDER-Y	Y	0,000177	0,000111	37,29%
Story2	TH-PEDER-X	X	0,000282	0,000205	27,30%
Story2	TH-PEDER-X	X	0,000293	0,000177	39,59%
Story2	TH-PEDER-Y	Y	0,000182	0,000141	22,53%
Story2	TH-PEDER-Y	Y	0,000195	0,000124	36,41%
Story1	TH-PEDER-X	X	0,000269	0,000201	25,28%
Story1	TH-PEDER-X	X	0,000284	0,000175	38,38%
Story1	TH-PEDER-Y	Y	0,000188	0,000146	22,34%
Story1	TH-PEDER-Y	Y	0,000202	0,000128	36,63%

Tabla 50. Comparación De Derivas con TH ,Con Aislador

Fuente: Autor

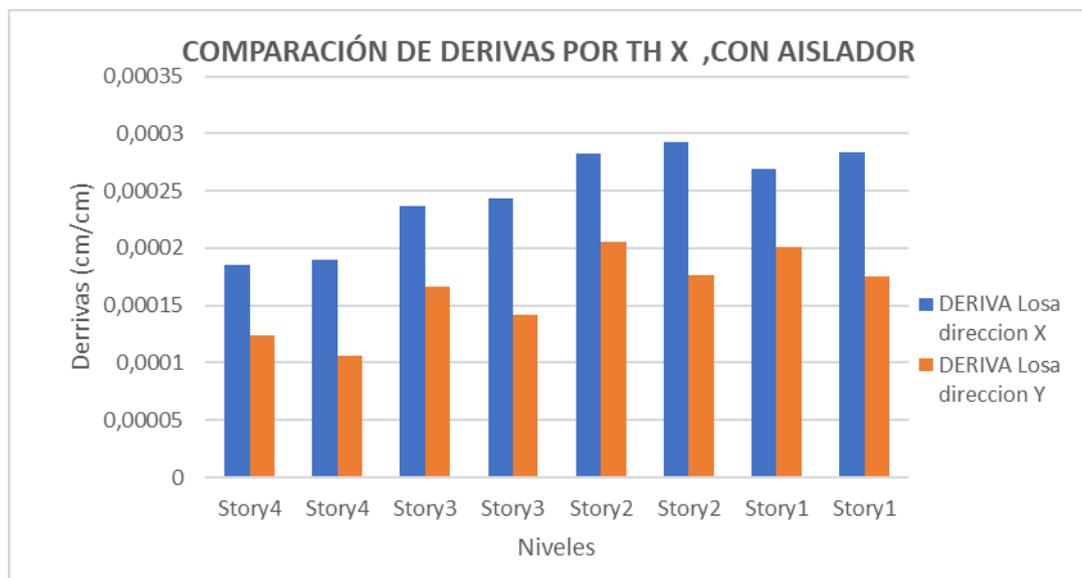


Ilustración 43. Comparación derivas en estructura, sismo TH dirección X

Fuente: Autor

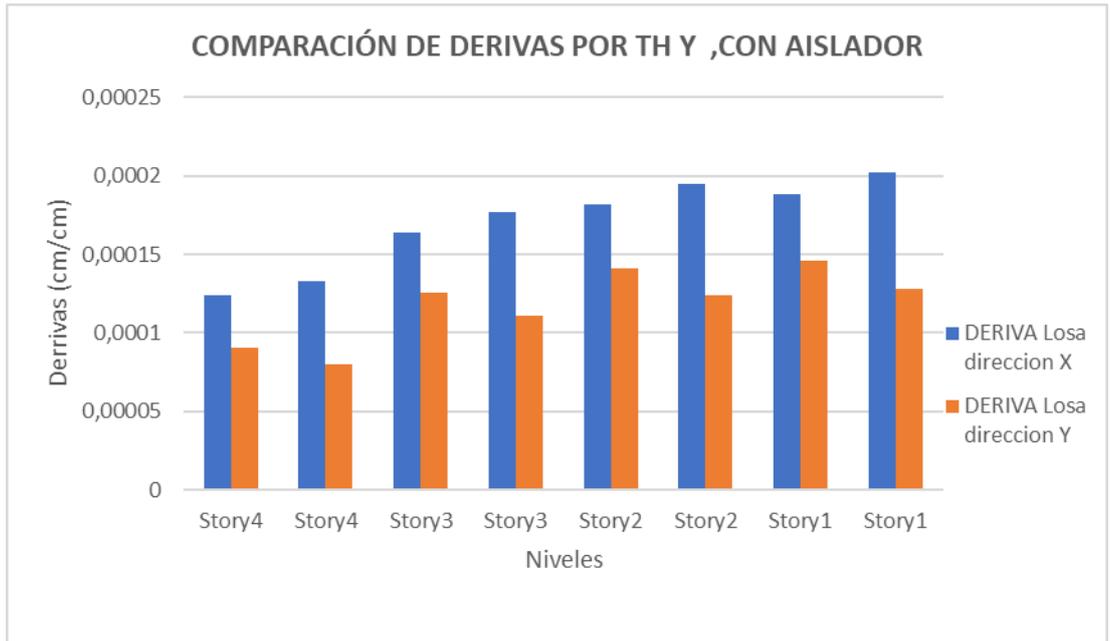


Ilustración 44. Comparación derivas en estructura, sismo TH dirección Y

Fuente: Autor

4.3.5.2 Comparación de los desplazamientos provocados por sismo de Pedernales en TH a la estructura con aisladores sísmicos

En la siguiente tabla se evidencia la variación en los desplazamientos dependiendo de la dirección de la losa colaborante cuando sobre la estructura actúan aisladores sísmicos y está bajo la consideración Tiempo Historia tomada del registro del sismo de 2016 de Pedernales, esta variación de máxima de 29.19 % entre ambas estructuras, mostrando la estructura que más baja deriva presenta la que costa de losa colaborante en dirección Y. Adicionalmente en las gráficas se presentan las derivas que se generan por piso, en relación de la dirección del sismo.

COMPARACIÓN DE DESPLAZAMIENTOS POR TH SISMO DE PEDERNALES					
Story	Output Case	Dirección	Desplazamiento Losa dirección X	Desplazamiento Losa dirección Y	Variación
			cm	cm	
Story4	TH-PEDER-X	X	15,4748	13,4242	13,25%
Story3	TH-PEDER-X	X	15,4107	13,3824	13,16%
Story2	TH-PEDER-X	X	15,3288	13,3265	13,06%
Story1	TH-PEDER-X	X	15,2311	13,2566	12,96%
Story4	TH-PEDER-X	X	16,5564	11,7536	29,01%
Story3	TH-PEDER-X	X	16,4907	11,7169	28,95%
Story2	TH-PEDER-X	X	16,4065	11,6682	28,88%
Story1	TH-PEDER-X	X	16,3049	11,6074	28,81%
Story4	TH-PEDER-Y	Y	15,3439	13,3669	12,88%
Story3	TH-PEDER-Y	Y	15,3027	13,3364	12,85%
Story2	TH-PEDER-Y	Y	15,2466	13,2933	12,81%
Story1	TH-PEDER-Y	Y	15,1844	13,245	12,77%
Story4	TH-PEDER-Y	Y	16,5919	11,7445	29,22%
Story3	TH-PEDER-Y	Y	16,5474	11,7177	29,19%
Story2	TH-PEDER-Y	Y	16,4869	11,68	29,16%
Story1	TH-PEDER-Y	Y	16,42	11,6376	29,13%

Tabla 51. Comparación de Desplazamientos con TH, Con Aislador

Fuente: Autor

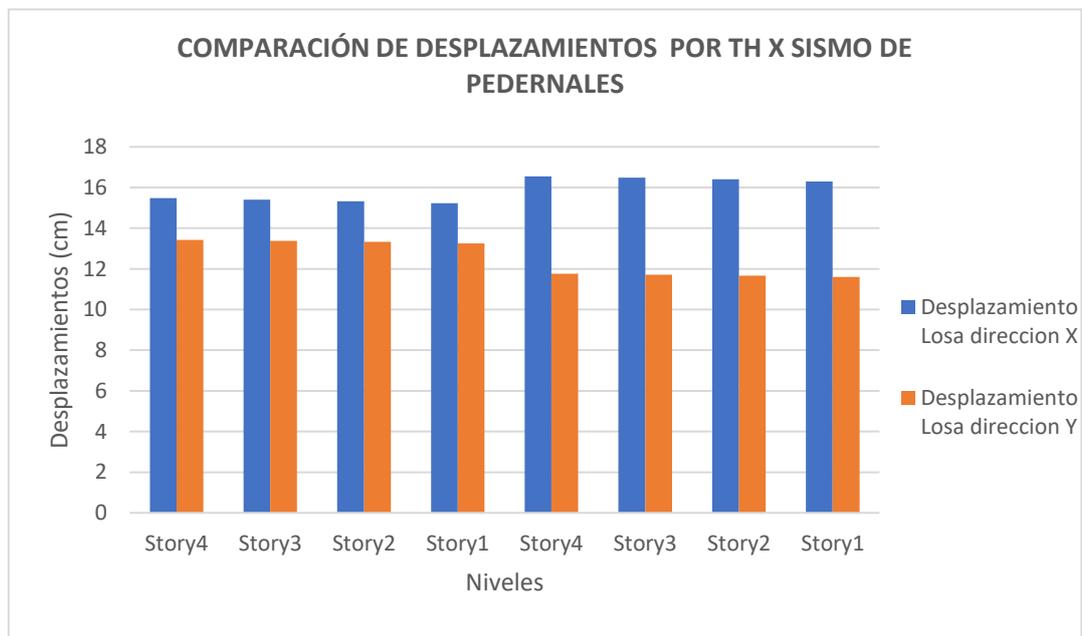


Ilustración 45. Comparación desplazamientos en estructuras, sismo TH dirección X

Fuente: Autor

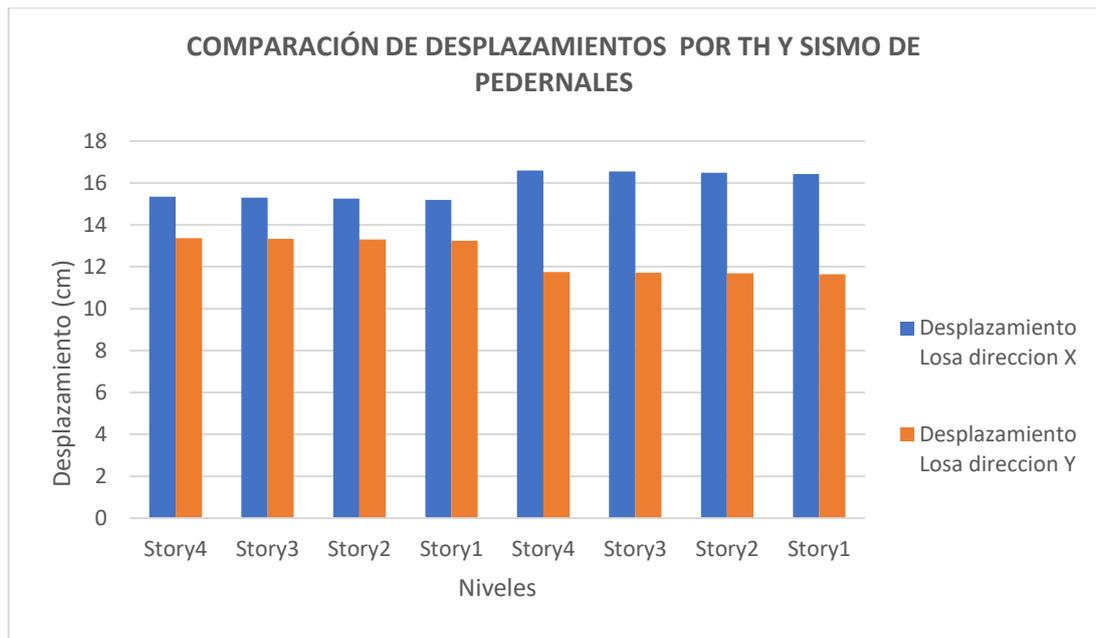


Ilustración 46. Comparación desplazamientos en estructuras, sismo TH dirección Y

Fuente: Autor

4.3.5.3 Comparación de los periodos de vibración provocados por el sismo de Pedernales en TH a la estructura con aisladores sísmicos

En la siguiente tabla y grafica se muestran las variaciones existentes en los periodos de vibración que se dan entre las estructuras de losa colaborante en dirección X y dirección Y, con valores de los periodos máximos de 4.535 seg. y 3.674 seg respectivamente, observándose una variación de 18.99% en este caso, siendo la estructura de losa en dirección Y la que menor periodo presenta.

Comparación de modos de vibración bajo TH				
Caso	Modo	Losa dirección X	Losa dirección Y	Variación
Modal 1	1	4,535	3,674	18,99%
Modal 2	2	4,528	3,669	18,97%
Modal 3	3	4,009	3,318	17,24%
Modal 4	4	0,34	0,273	19,71%
Modal 5	5	0,285	0,228	20,00%
Modal 6	6	0,182	0,148	18,68%
Modal 7	7	0,154	0,122	20,78%
Modal 8	8	0,127	0,102	19,69%
Modal 9	9	0,107	0,083	22,43%
Modal 10	10	0,093	0,071	23,66%
Modal 11	11	0,087	0,068	21,84%
Modal 12	12	0,081	0,066	18,52%

Tabla 52. Comparación de modos de vibración bajo TH Fuente: Autor

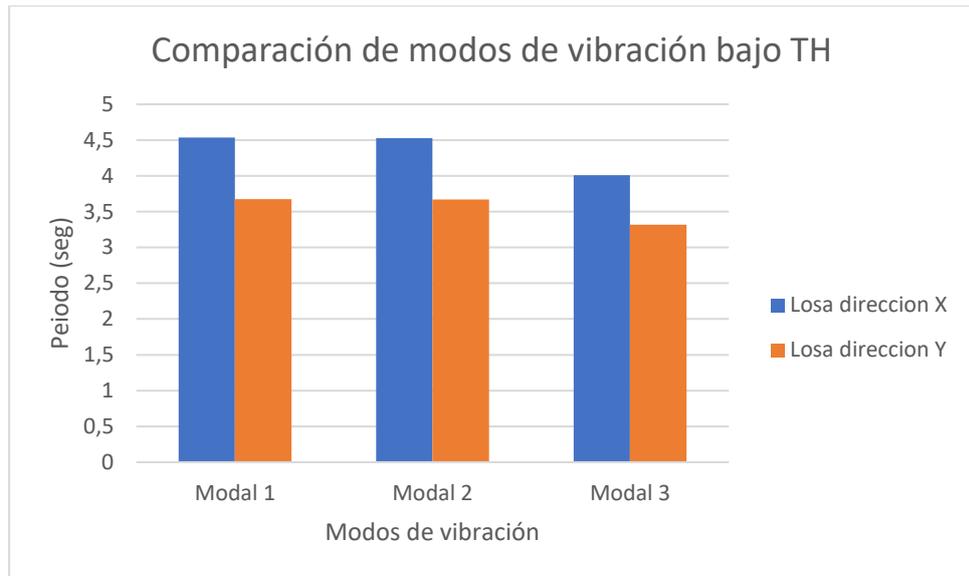


Ilustración 47. Comparación de modos de vibración bajo TH

Fuente: Autor

4.3.5.4 Resumen comparativo de los parámetros provocados por el sismo de Pedernales en TH a la estructura con aisladores sísmicos

En la siguiente tabla se muestra un resumen de los parámetros máximos comparados, entre las estructuras cuando fueron sometidas al sismo de Pedernales.

Resumen comparación estructuras por TH				
Parámetro	Unidad	Losa Dirección X	Losa Dirección Y	Variación
Deriva máxima X	cm/cm	0,000293	0,000205	42,93%
Deriva máxima Y	cm/cm	0,000202	0,000146	38,36%
Desplazamiento máximo X	cm	15,4748	13,4242	15,28%
Desplazamiento máximo Y	cm	15,3439	13,3669	14,790%
Periodo máximo	seg	4,535	3,674	18.99%

Tabla 53. Resumen comparación estructuras por TH

Fuente: Autor

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- Se pudo apreciar la variación de derivas bajo espectro de diseño dependiendo de la dirección de la losa colaborante sobre la estructura con aisladores sísmicos de hasta un 35.69 % entre ambas estructuras, siendo la que más baja deriva presentó la estructura de losa colaborante en dirección Y, que coincide con el sentido de la estructura que menor inercia.
- Con respecto a los desplazamientos de las estructuras con aisladores sísmicos, bajo la acción del espectro de diseño existe una variación considerable, esta tiende a ser mayor al 10% en los diferentes niveles de la estructura, siendo la estructura con losa colaborante en dirección Y la que presenta menores desplazamientos.
- Observando el comportamiento de las estructuras con aisladores sísmicos, con respecto al periodo de vibración se determinó que existe un 18.99% de variación entre las estructuras estudiadas.
- En el análisis comparativo de las estructuras en función a la dirección de la losa colaborante, bajo el acelerograma obtenido por el registro sísmico de Pedernales -2016 bajo la consideración Tiempo Historia, se puede apreciar una variación máxima de 44.21 % en lo referente a derivas.
- En lo que refiere a desplazamientos en el análisis tiempo historia la comparación de las estructuras evidencian una variación en los desplazamientos máxima de 29.19 % entre ambas estructuras, mostrando la estructura que más bajo desplazamiento presenta la que consta de losa colaborante en dirección Y.
- Al someter a las estructuras al sismo de Pedernales, se obtuvieron periodos de vibración máximos en el primer modo, estos valores diferían en un 18.99% entre las estructuras con losas colaborantes en sentidos X y Y, cuando estas cuentan con aisladores sísmicos.
- Del análisis comparativo de las estructuras con aisladores sísmicos elastoméricos, y bajo consideraciones sísmicas, se puede concluir que, al ubicar la losa colaborante en dirección coincidente con el sentido de menor

inercia de la estructura, esta presenta mejor comportamiento en lo referente a derivas y desplazamientos.

5.2 Recomendaciones

- La primera recomendación está dirigida, a las autoridades y entes encargados de las investigaciones en cuanto a la implementación de normas y reglamentos para que se avoquen a las investigaciones que permitan regular una ley o norma que permita realizar diseños sísmicos con elementos aislantes o amortiguadores más adecuados y adaptados a la realidad del país, ya que actualmente se rigen por métodos y normas internacionales que pueden o no estar óptimos para las condiciones sísmicas del país, como las norma Chilena NCH-2745. Esto debe hacerse muy pronto ya que Ecuador se encuentra en una zona de alto riesgo, con esto se permitiría reducir los riesgos de ocurrencia de daños materiales y víctimas como lo ocurrido hace años atrás en el sismo de Pedernales del 2016.
- Para los estudiantes, es necesario promover las investigaciones que permitan formular una guía o material de apoyo, que permita llegar de manera más sencilla a los datos necesarios para el diseño de los aisladores, ya que las fuentes existentes en ocasiones son un poco confusas u obvian parámetros que son necesarios en la escogencia de este tipo de dispositivos.
- Las universidades deberían, contar con instalaciones adecuadas donde se permitan ejecutar simulaciones a escalas de las interacciones del suelo y las estructuras y así facilitar la visión de los estudiantes a que se interesen por este tema tan importante como lo es el diseño de edificaciones sismorresistente con el uso o no de elementos aislantes y disipadores de energía sísmica.

5.3 BIBLIOGRAFÍA

- [1] «Instituto Geofísico - EPN - Sismos - Instituto Geofísico - EPN». Accedido: 9 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.igepn.edu.ec/component/fsf/?view=faq&catid=2>
- [2] R. Landolfo, «Seismic Design of Steel Structures: New Trends of Research and Updates of Eurocode 8», en *Recent Advances in Earthquake Engineering in Europe: 16th European Conference on Earthquake Engineering-Thessaloniki 2018*, K. Pitilakis, Ed., en Geotechnical, Geological and Earthquake Engineering., Cham: Springer International Publishing, 2018, pp. 413-438. doi: 10.1007/978-3-319-75741-4_18.
- [3] P. Clemente, «Seismic isolation: past, present and the importance of SHM for the future», *J. Civ. Struct. Health Monit.*, vol. 7, n.º 2, pp. 217-231, abr. 2017, doi: 10.1007/s13349-017-0219-6.
- [4] T. Nishi, S. Suzuki, M. Aoki, T. Sawada, y S. Fukuda, «International investigation of shear displacement capacity of various elastomeric seismic-protection isolators for buildings», *J. Rubber Res.*, vol. 22, n.º 1, pp. 33-41, mar. 2019, doi: 10.1007/s42464-019-00006-x.
- [5] O. Mkrtychev y S. Mingazova, «Analysis of the reaction of reinforced concrete buildings with a varying number of stories with a seismic isolation sliding belt to an earthquake», *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 869, n.º 5, p. 052065, jun. 2020, doi: 10.1088/1757-899X/869/5/052065.
- [6] F. Saitta, P. Clemente, G. Buffarini, G. Bongiovanni, A. Salvatori, y C. Grossi, «Base Isolation of Buildings with Curved Surface Sliders: Basic Design Criteria and Critical Issues», *Adv. Civ. Eng.*, vol. 2018, p. e1569683, sep. 2018, doi: 10.1155/2018/1569683.
- [7] W. Bonilla-García, «Estudio sobre la respuesta sísmica de un edificio con aisladores sísmicos de base».
- [8] M. Ganji y H. Kazem, «Comparing Seismic Performance of Steel Structures Equipped with Viscous Dampers and Lead Rubber Bearing Base Isolation under Near-Field Earthquake», *Civ. Eng. J.*, vol. 3, n.º 2, Art. n.º 2, mar. 2017, doi: 10.28991/cej-2017-00000079.
- [9] A. Rodríguez Chavarry, «Comparación del comportamiento estructural y económico de losas colaborantes unidireccionales con losas aligeradas.», *Univ. Nac. Cajamarca*, 2015, Accedido: 9 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/482>
- [10] Á. E. Castañeda y Y. M. Bravo, «Overview of the Structural Behavior of Columns, Beams, Floor Slabs and Buildings during the Earthquake of 2016 in Ecuador Una mirada al comportamiento estructural de columnas, vigas, entresijos y edificaciones durante el sismo de Ecuador 2016», vol. 32, 2017.

- [11] I. N. Casierra Prado y M. L. Pillajo Romero, «Diseño y simulación de un aislador sísmico de elastómero para edificios en estructura metálica de hasta 4 pisos», bachelorThesis, 2021. Accedido: 8 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/20722>
- [12] P. Quinde Martínez, E. Reinoso Angulo, P. Quinde Martínez, y E. Reinoso Angulo, «Estudio de peligro sísmico de Ecuador y propuesta de espectros de diseño para la Ciudad de Cuenca», *Ing. Sísmica*, n.º 94, pp. 1-26, jun. 2016.
- [13] M. D. Petersen *et al.*, «Seismic Hazard, Risk, and Design for South America», *Bull. Seismol. Soc. Am.*, vol. 108, n.º 2, pp. 781-800, ene. 2018, doi: 10.1785/0120170002.
- [14] I. G. del Perú, «Compendio de investigaciones en geofísica: trabajos de investigación realizados por estudiantes durante el año 2016», oct. 2016, Accedido: 27 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.igp.gob.pe/handle/20.500.12816/762>
- [15] M. M. Theurer, J. V. Jiménez, G. M. Velasco, y I. B. Zambrano, «Análisis sobre la recurrencia de terremotos severos en Ecuador», *Prisma Tecnológico*, vol. 8, n.º 1, Art. n.º 1, oct. 2017.
- [16] S. Radkia, R. Rahnavard, H. Tuwair, F. Abbas Gandomkar, y R. Napolitano, «Investigating the effects of seismic isolators on steel asymmetric structures considering soil-structure interaction», *Structures*, vol. 27, pp. 1029-1040, oct. 2020, doi: 10.1016/j.istruc.2020.07.019.
- [17] J. J. V. Zacarias, J. R. C. Rius, y M. Ismail, «ANALISIS COMPARATIVO DE UN EDIFICIO FIJO EN LA BASE VS UN EDIFICIO AISLADO UTILIZANDO 4 TIPOS DE AISLADORES SISMICOS».
- [18] D. Losanno, I. E. Madera Sierra, M. Spizzuoco, J. Marulanda, y P. Thomson, «Experimental performance of unbonded polyester and carbon fiber reinforced elastomeric isolators under bidirectional seismic excitation», *Eng. Struct.*, vol. 209, p. 110003, abr. 2020, doi: 10.1016/j.engstruct.2019.110003.
- [19] N. C. Van Engelen, «Fiber-reinforced elastomeric isolators: A review», *Soil Dyn. Earthq. Eng.*, vol. 125, p. 105621, oct. 2019, doi: 10.1016/j.soildyn.2019.03.035.
- [20] J. Orihuela Davila, A. Rosales Villanueva, y J. Sandivar Ramirez, «Propuesta de parámetros para el diseño de aisladores sísmicos mediante un análisis comparativo de la respuesta sísmica de una edificación esencial con aislamiento antisísmico bajo diversas normas internacionales», en *Proceedings of the 18th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: Engineering, Integration, And Alliances for A Sustainable Development* "Hemispheric Cooperation for Competitiveness and Prosperity on A Knowledge-Based Economy", Latin American and Caribbean Consortium of Engineering Institutions, 2020. doi: 10.18687/LACCEI2020.1.1.40.

- [21] W. W. D. Santos *et al.*, «Comparative Analysis between Ribbed and Steel Deck Slabs», *Int. J. Adv. Eng. Res. Sci.*, vol. 7, n.º 7, pp. 176-183, 2020, doi: 10.22161/ijaers.77.20.
- [22] «NTE INEN 2397 - Servicio Ecuatoriano de Normalización», studylib.es. Accedido: 28 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://studylib.es/doc/7567332/nte-inen-2397---servicio-ecuatoriano-de-normalización>
- [23] A. W. Fischer, J. K. Guest, y B. W. Schafer, «Topology optimization of steel deck building diaphragms», *J. Constr. Steel Res.*, vol. 191, p. 107186, abr. 2022, doi: 10.1016/j.jcsr.2022.107186.
- [24] «1.-NEC-SE-CG-Cargas-No-Sismicas.pdf». Accedido: 1 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2023/03/1.-NEC-SE-CG-Cargas-No-Sismicas.pdf>
- [25] J. Orihuela, L. Meza, y M. Quintanilla, «International guidelines for the design of seismic isolators for countries that do not have a seismic isolator standard.», en *Proceedings of the 20th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology: "Education, Research and Leadership in Post-pandemic Engineering: Resilient, Inclusive and Sustainable Actions"*, Latin American and Caribbean Consortium of Engineering Institutions, 2022. doi: 10.18687/LACCEI2022.1.1.343.
- [26] «Dynamic Isolation Systems - Products». Accedido: 18 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.dis-inc.com/products.html>
- [27] «2019_E031_DS-030-2019-VIVIENDA.pdf». Accedido: 17 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: https://cdn-web.construccion.org/normas/rne2012/rne2006/files/titulo3/02_E/2019_E031_DS-030-2019-VIVIENDA.pdf
- [28] «fema450provisions.pdf». Accedido: 17 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.nehrp.gov/pdf/fema450provisions.pdf>

ANEXOS

ANEXO 1. Ficha técnica de aisladores, empresa Dynamic Isolation Systems

DYNAMIC ISOLATION SYSTEMS Isolator Engineering Properties

U. S. Units

DEVICE SIZE				MOUNTING PLATE DIMENSIONS					
Isolator Diameter, D _i (in)	Isolator Height, H (in)	Number of Rubber Layers, N	Lead Diameter D _L (in)	L (in)	t (in)	Hole Qty.	Hole Ø (in)	A (in)	B (in)
12.0	5-11	4-14	0-4	14	1	4	1 1/16	2	-
14.0	6-12	5-16	0-4	16	1	4	1 1/16	2	-
16.0	7-13	6-20	0-5	18	1	4	1 1/16	2	-
18.0	7-14	6-20	0-5	20	1	4	1 1/16	2	-
20.5	8-15	8-24	0-7	22.5	1	8	1 1/16	2	2
22.5	8-15	8-24	0-7	24.5	1	8	1 1/16	2	2
25.5	8-15	8-24	0-8	27.5	1.25	8	1 1/16	2	2
27.5	8-17	8-30	0-8	29.5	1.25	8	1 5/16	2.5	3
29.5	9-18	8-30	0-9	31.5	1.25	8	1 5/16	2.5	3
31.5	9-20	8-33	0-9	33.5	1.25	8	1 5/16	2.5	3
33.5	9-21	8-35	0-10	35.5	1.5	12	1 5/16	2.5	3.75
35.5	10-22	9-37	0-10	37.5	1.5	12	1 5/16	2.5	3.75
37.5	10-23	10-40	0-11	39.5	1.5	12	1 5/16	2.5	3.75
39.5	11-25	11-40	0-11	41.5	1.5	12	1 9/16	3	4.5
41.5	12-26	12-45	0-12	43.5	1.75	12	1 9/16	3	4.5
45.5	13-30	14-45	0-13	47.5	1.75	12	1 9/16	3	4.5
49.5	14-30	16-45	0-14	52.5	1.75	16	1 9/16	3	4.5
53.5	16-30	18-45	0-15	56.5	2	16	1 9/16	3	4.5
57.1	17-30	20-45	0-16	60	2	20	1 9/16	3	4.5
61.0	18-30	22-45	0-16	64	2	20	1 9/16	3	4.5

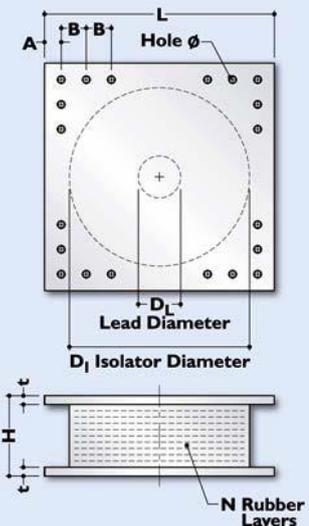
(1) The axial load capacities provided correspond to maximum displacements based on design limits of 250% rubber shear strain or 2/3 the isolator diameter. An isolator's actual displacement and load capacity are dependent on the rubber modulus and number of rubber layers.

(2) Rubber Shear Moduli (G) are available from 55 psi to 100 psi.

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

Isolator Diameter, D _i (in)	DESIGN PROPERTIES			Maximum Displacement, D _{max} (in)	Axial Load Capacity, P _{max} (kips)
	Yielded Stiffness, K _d (k/in)	Characteristic Strength, Q _d (kips)	Compression Stiffness, K _c (k/in)		
12.0	1-2	0-15	>250	6	100
14.0	1-2	0-15	>500	6	150
16.0	2-3	0-25	>500	8	200
18.0	2-4	0-25	>500	10	250
20.5	2-4	0-40	>1,000	12	300
22.5	3-5	0-40	>3,000	14	400
25.5	3-6	0-50	>4,000	16	600
27.5	3-8	0-50	>4,500	18	700
29.5	4-9	0-60	>5,000	18	800
31.5	4-9	0-60	>6,000	20	900
33.5	4-10	0-80	>7,000	22	1,100
35.5	4-11	0-80	>8,000	22	1,300
37.5	4-12	0-110	>10,000	24	1,500
39.5	5-12	0-110	>11,000	26	1,700
41.5	5-12	0-130	>12,000	28	1,900
45.5	6-12	0-150	>16,000	30	3,100
49.5	7-13	0-170	>21,000	32	4,600
53.5	8-14	0-200	>29,000	34	6,200
57.1	9-14	0-230	>30,000	36	7,500
61.0	10-14	0-230	>37,000	36	9,000

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





Metric Units

DEVICE SIZE				MOUNTING PLATE DIMENSIONS					
Isolator Diameter, D_1 (mm)	Isolator Height, H (mm)	Number of Rubber Layers, N	Lead Diameter D_L (mm)	L (mm)	t (mm)	Hole Qty.	Hole ϕ (mm)	A (mm)	B (mm)
305	125-280	4-14	0-100	355	25	4	27	50	-
355	150-305	5-16	0-100	405	25	4	27	50	-
405	175-330	6-20	0-125	455	25	4	27	50	-
455	175-355	6-20	0-125	510	25	4	27	50	-
520	205-380	8-24	0-180	570	25	8	27	50	50
570	205-380	8-24	0-180	620	25	8	27	50	50
650	205-380	8-24	0-205	700	32	8	27	50	50
700	205-430	8-30	0-205	750	32	8	33	65	75
750	230-455	8-30	0-230	800	32	8	33	65	75
800	230-510	8-33	0-230	850	32	8	33	65	75
850	230-535	8-35	0-255	900	38	12	33	65	95
900	255-560	9-37	0-255	955	38	12	33	65	95
950	255-585	10-40	0-280	1005	38	12	33	65	95
1000	280-635	11-40	0-280	1055	38	12	40	75	115
1050	305-660	12-45	0-305	1105	44	12	40	75	115
1160	330-760	14-45	0-330	1205	44	12	40	75	115
1260	355-760	16-45	0-355	1335	44	16	40	75	115
1360	405-760	18-45	0-380	1435	51	16	40	75	115
1450	430-760	20-45	0-405	1525	51	20	40	75	115
1550	455-760	22-45	0-405	1625	51	20	40	75	115

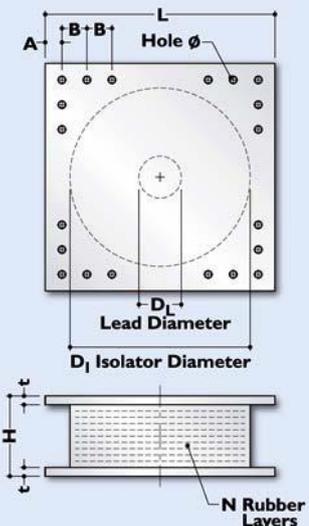
(1) The axial load capacities provided correspond to maximum displacements based on design limits of 250% rubber shear strain or 2/3 the isolator diameter. An isolator's actual displacement and load capacity are dependent on the rubber modulus and number of rubber layers.

(2) Rubber Shear Moduli (G) are available from 0.38 N/mm² to 0.70 N/mm².

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

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

Isolator Diameter, D_1 (mm)	DESIGN PROPERTIES			Maximum Displacement, D_{max} (mm)	Axial Load Capacity P_{max} (kN)
	Yielded Stiffness, K_d (kN/mm)	Characteristic Strength Q_d (kN)	Compression Stiffness, K_v (kN/mm)		
305	0.2-0.4	0-65	>50	150	450
355	0.2-0.4	0-65	>100	150	700
405	0.3-0.5	0-110	>100	200	900
455	0.3-0.7	0-110	>100	250	1,150
520	0.4-0.7	0-180	>200	300	1,350
570	0.5-0.9	0-180	>500	360	1,800
650	0.5-1.1	0-220	>700	410	2,700
700	0.5-1.4	0-220	>800	460	3,100
750	0.7-1.6	0-265	>900	460	3,600
800	0.7-1.6	0-265	>1,000	510	4,000
850	0.7-1.8	0-355	>1,200	560	4,900
900	0.7-1.9	0-355	>1,400	560	5,800
950	0.7-2.0	0-490	>1,800	610	6,700
1000	0.8-2.0	0-490	>1,900	660	7,600
1050	0.9-2.1	0-580	>2,100	710	8,500
1160	1.1-2.1	0-665	>2,800	760	13,800
1260	1.2-2.3	0-755	>3,700	810	20,500
1360	1.4-2.5	0-890	>5,100	860	27,600
1450	1.6-2.5	0-1,025	>5,300	910	33,400
1550	1.8-2.5	0-1,025	>6,500	910	40,000

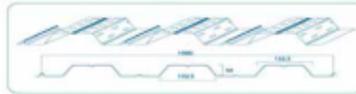


ANEXO 2. Catálogo de Losa colaborante, empresa Import Aceros

Altura	Espesor	Peso	Peso Lineal	Largo
mm	mm	kg/m ²	kg/m	m
55	0,05	6,30	6,20	2 hasta 12
	0,76	7,42	7,31	
	0,90	8,77	8,64	

PROPIEDADES DE LA SECCIÓN								
Espesor	H (onda)	Peso	Y+	Y-	I+	I-	S+	S-
mm	mm	kg/m ²	mm	mm	cm ⁴ /m	cm ⁴ /m	cm ⁴ /m	cm ⁴ /m
0,05	55	6,30	26,96	26,04	39,97	37,02	13,92	17,71
0,76		7,42	26,93	26,07	46,39	43,17	15,94	17,69
0,90		8,77	26,90	26,10	54,43	50,90	15,95	17,67

Geometría:



Espesor de placa	Altura de Losa sobre cresta de placa	SOBRE CARGAS ADMISIBLES (kg/m ²) Hormigón												
		Separación entre apoyos (m)												
mm	cm	1,6	1,8	2	2,2	2,4	2,6	2,8	3	3,2	3,4	3,6	3,8	4
0,05	5	1723	1361	1103	911	766	652	563	490	431	382	340	305	276
	6	1875	1481	1200	992	833	710	612	533	469	415	370	332	300
	8	2261	1786	1447	1196	1005	856	738	643	565	501	447	401	362
	10	2750	2137	1747	1444	1213	1034	891	777	682	605	539	484	437
	12	3269	2583	2092	1729	1483	1238	1067	930	817	724	646	580	523
0,76	5	1831	1447	1172	968	814	693	598	521	458	405	362	325	295
	6	1988	1571	1272	1051	884	753	649	565	497	440	393	352	318
	8	2388	1857	1529	1265	1061	904	780	679	597	529	472	423	382
	10	2875	2272	1840	1521	1276	1089	939	818	719	637	568	510	460
	12	3434	2713	2198	1816	1526	1300	1121	977	858	760	678	609	549
0,90	5	1826	1522	1233	1019	856	729	629	548	481	427	380	341	308
	6	2082	1645	1333	1101	925	798	680	592	521	461	411	369	333
	8	2487	1963	1581	1315	1105	942	812	707	622	551	491	441	398
	10	2982	2336	1908	1577	1323	1129	974	848	743	660	589	529	477
	12	3551	2806	2273	1878	1578	1345	1160	1010	888	786	701	630	568