



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**“Análisis sísmico de una estructura de concreto armado de
ocho niveles con y sin aisladores sísmicos, Lince, Lima -
2021”**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniera Civil

AUTORA:

Vidaurre Quispe, Christy Elena (ORCID:0000-0001-6230-3427)

ASESOR:

Mg. Pinto Barrantes, Raúl Antonio (ORCID:0000-0002-9573-0182)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Diseño Sísmico y Estructural

LIMA – PERÚ

2021

Dedicatoria

A Dios, por ser el inspirador y darme fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de mis anhelos más deseados. A mi papá Ceveriano, que siempre me apoyo en mis estudios, a mi mamá Feliciano, que me ayudo a superar toda decaída, a mi hermano Antony, por ayudarme con sus palabras, y a mi hermana Mari, por hacerme una mejor persona.

Agradecimiento

A Dios, quien con su bendición llena siempre mi vida, a toda mi familia por estar presente y a mi mejor amiga por apoyarme con todo.

Índice de contenidos

Carátula.....	i
Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento	iii
Índice de contenidos	iv
Índice de tablas.....	vi
Índice de figuras.....	ix
Resumen	xv
Abstract.....	xvi
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	5
III. METODOLOGÍA	26
3.1 Tipo y diseño de investigación	26
3.2 Variables y operacionalización	27
3.3 Población, muestra y muestreo	29
3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	30
3.5 Procedimiento.....	30
3.6 Método de análisis de datos	31
3.7 Aspectos éticos	31
IV. RESULTADOS	32
4.1 Descripción general del proyecto.....	32
4.2 Planta del proyecto.....	33
4.3 Modelado estructural	33
4.3.1 Materiales	33
4.3.2 Elementos estructurales.....	34

4.3.4 Modelo de la estructura de ocho niveles.....	41
4.4 Análisis sísmico de la estructura sin aisladores sísmicos	41
4.4.1 Análisis estático o de fuerzas equivalente	41
4.4.2 Análisis dinámico modal-espectral	53
4.4.3 Análisis dinámico tiempo-historia	61
4.5 Análisis sísmico de la estructura con aisladores LRB	67
4.5.1 Diseño de los aisladores elástoméricos con núcleo de plomo.....	67
4.5.2 Resultados del análisis estático o de fuerzas equivalentes	79
4.5.3 Resultados del análisis dinámico modal-espectral	85
4.5.4 Resultados del análisis dinámico tiempo-historia	89
4.6 Análisis sísmico de la estructura con aisladores FPD	92
4.6.1 Diseño de los aisladores de doble péndulo friccional	92
4.6.2 Resultados del análisis estático o de fuerzas equivalentes	104
4.6.3 Resultados del análisis dinámico modal-espectral	110
4.6.4 Resultados del análisis dinámico tiempo-historia	114
4.7 Resumen de los resultados	117
4.7.1 Comparación de las derivas	117
4.7.2 Comparación de las fuerzas cortantes en la base	125
4.7.3 Comparación de los modos, periodos y frecuencias	126
4.7.4 Comparación de las fuerzas sísmicas.....	127
V. DISCUSIÓN.....	130
VI. CONCLUSIONES	134
VII. RECOMENDACIONES.....	135
REFERENCIAS	136
ANEXOS.....	149

Índice de tablas

Tabla 1. <i>Tipos de aisladores sísmicos</i>	22
Tabla 2. <i>Desplazamientos laterales respecto al material predominante</i>	23
Tabla 3. <i>Factor de Suelo “S”</i>	42
Tabla 4. <i>Periodos TP y TL</i>	42
Tabla 5. <i>Categoría y regularidad de las edificaciones</i>	42
Tabla 5. <i>Sistemas estructurales</i>	43
Tabla 7. <i>Pesos de cada nivel en kg y Tn</i>	46
Tabla 8. <i>Fuerzas laterales en cada piso en el eje X</i>	48
Tabla 9. <i>Fuerzas laterales en cada piso en el eje Y</i>	49
Tabla 10. <i>Resultados de las derivas estáticas sin aisladores en X y Y</i>	53
Tabla 11. <i>Tabla de espectro de diseño</i>	54
Tabla 12. <i>Resultados de las derivas dinámicas en X y Y</i>	61
Tabla 13. <i>Resultados de las derivas del sismo de 5.1 Mw sin aisladores</i>	66
Tabla 14. <i>Resultados de las derivas del sismo de 5.8 Mw sin aisladores</i>	67
Tabla 15. <i>Resultados de las derivas del sismo de 7.1 Mw sin aisladores</i>	67
Tabla 16. <i>Periodos y modos de vibración</i>	68
Tabla 17. <i>Factor de amortiguamiento</i>	69
Tabla 17. <i>Dimensiones de fábrica del aislador LRB</i>	71
Tabla 18. <i>Diámetros cálculos del aislador</i>	72
Tabla 20. <i>Propiedades histeréticas de fábrica del aislador LRB</i>	73
Tabla 21. <i>Propiedades de rigidez a corte del aislador LRB</i>	75
Tabla 22. <i>Propiedades dinámicas del aislador LRB</i>	76

Tabla 23. <i>Coeficientes de amortiguamiento del aislador LRB.....</i>	77
Tabla 24. <i>Propiedades del aislador a ingresar en el software.....</i>	77
Tabla 25. <i>Fuerzas laterales con aisladores LRB en cada piso en el eje X.....</i>	81
Tabla 26. <i>Fuerzas laterales con aisladores LRB en cada piso en el eje Y.....</i>	82
Tabla 27. <i>Resultados de las derivas estáticas en X y Y con aisladores LRB.....</i>	85
Tabla 28. <i>Resultados de las derivas dinámicas en X y Y con aisladores LRB.....</i>	89
Tabla 29. <i>Resultados de las derivas del sismo de 5.1 Mw. con aisladores LRB..</i>	91
Tabla 30. <i>Resultados de las derivas del sismo de 5.8 Mw. con aisladores LRB..</i>	91
Tabla 31. <i>Resultados de las derivas del sismo de 7.1 Mw. con aisladores LRB..</i>	91
Tabla 32. <i>Periodos y modos de vibración.....</i>	93
Tabla 33. <i>Factor de amortiguamiento.....</i>	94
Tabla 34. <i>Lista de diámetros de la superficie y radio de curvatura.....</i>	97
Tabla 35. <i>Coeficientes de fricción recomendados por su uso.....</i>	98
Tabla 36. <i>Propiedades de rigidez a corte del aislador FPD.....</i>	98
Tabla 37. <i>Propiedades del régimen I.....</i>	100
Tabla 38. <i>Propiedades del régimen II.....</i>	100
Tabla 39. <i>Propiedades dinámicas del aislador FPD.....</i>	101
Tabla 40. <i>Coeficientes de amortiguamiento del aislador FPD.....</i>	101
Tabla 41. <i>Propiedades del aislador a ingresar en el software.....</i>	102
Tabla 42. <i>Fuerzas laterales con aisladores FPD en cada piso en el eje X.....</i>	106
Tabla 43. <i>Fuerzas laterales con aisladores FPD en cada piso en el eje Y.....</i>	107
Tabla 44. <i>Resultados de las derivas estáticas en X y Y con aisladores FPD.....</i>	110
Tabla 45. <i>Resultados de las derivas dinámicas en X y Y con aisladores FPD...</i>	114
Tabla 46. <i>Resultados de derivas del sismo de 5.1 Mw. con aisladores FPD.....</i>	116

Tabla 47. <i>Resultados de derivas del sismo de 5.8 Mw. con aisladores FPD.....</i>	116
Tabla 48. <i>Resultados de derivas del sismo de 7.1 Mw. con aisladores FPD.....</i>	116
Tabla 49. <i>Derivas en el sismo estático en X con y sin aisladores</i>	117
Tabla 50. <i>Derivas en el sismo estático en Y con y sin aisladores</i>	118
Tabla 51. <i>Derivas en el sismo dinámico en X con y sin aisladores</i>	118
Tabla 52. <i>Derivas en el sismo dinámico en Y con y sin aisladores</i>	119
Tabla 53. <i>Derivas en el sismo de 5.1 Mw en X con y sin aisladores</i>	120
Tabla 54. <i>Derivas en el sismo de 5.1 Mw en Y con y sin aisladores</i>	120
Tabla 55. <i>Derivas en el sismo de 5.8 Mw en X con y sin aisladores</i>	121
Tabla 56. <i>Derivas en el sismo de 5.8 Mw en Y con y sin aisladores</i>	121
Tabla 57. <i>Derivas en el sismo de 7.1 Mw en X con y sin aisladores</i>	122
Tabla 58. <i>Derivas en el sismo de 7.1 Mw en Y con y sin aisladores</i>	123
Tabla 59. <i>Resumen de las derivas máximas en cada sismo.....</i>	124
Tabla 60. <i>Fuerzas cortantes en la base con y sin aisladores</i>	126
Tabla 61. <i>Resumen de los modos de la estructura con y sin aisladores</i>	127
Tabla 62. <i>Resumen de las fuerzas sísmicas con y sin aisladores.....</i>	127

Índice de figuras

<i>Figura 1.</i> Sistema de un grado de libertad.....	10
<i>Figura 2.</i> Análisis estático de fuerzas equivalentes	12
<i>Figura 3.</i> Análisis modal espectral.....	12
<i>Figura 4.</i> Análisis tiempo-historia	12
<i>Figura 5.</i> Mapa de registro de sismos del Perú (1960-2019).....	14
<i>Figura 6.</i> Colocación de aisladores en una edificación de la FIC-UNI	15
<i>Figura 7.</i> Proyecto Atlantik Ocean Tower	16
<i>Figura 8.</i> Reacción sísmica de una edificación sin y con aisladores sísmicos	17
<i>Figura 9.</i> Periodo de vibración con y sin aisladores sísmicos.....	17
<i>Figura 10.</i> Desplazamiento con y sin aisladores sísmicos.....	18
<i>Figura 11.</i> Rigidez con y sin aisladores sísmicos	18
<i>Figura 12.</i> Curva de histéresis de los aisladores elástoméricos	19
<i>Figura 13.</i> Curva de histéresis de los aisladores de péndulo friccional.....	20
<i>Figura 14.</i> Criterio de colocación de los aisladores en la cimentación.....	23
<i>Figura 15.</i> Mapa de microzonificación sísmica de la ciudad de Lima actualizado al año 2018.....	24
<i>Figura 16.</i> Ubicación del proyecto vista satelital.....	32
<i>Figura 17.</i> Planta del edificio	33
<i>Figura 18.</i> Propiedades del concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$ en el software	34
<i>Figura 19.</i> Propiedades del acero grado 60 en el software	34
<i>Figura 20.</i> Especificaciones de la columna C-01 en el software	34
<i>Figura 21.</i> Especificaciones de la columna C-02 en el software.....	35

<i>Figura 22.</i> Especificaciones de la columna C-03 en el software	35
<i>Figura 23.</i> Especificaciones de la columna C-04 en el software	36
<i>Figura 24.</i> Especificaciones de la viga VP-01 en el software.....	36
<i>Figura 25.</i> Especificaciones de la viga VP-02 en el software.....	37
<i>Figura 26.</i> Especificaciones de la losa aligerada $e=0.20m$ en el software	37
<i>Figura 27.</i> Especificaciones de la losa aligerada $e=0.20m$ en el software	38
<i>Figura 28.</i> Especificaciones de la losa de la escalera en el software	38
<i>Figura 29.</i> Especificaciones del muro de corte M1 en el software	39
<i>Figura 30.</i> Especificaciones de la placa tipo “C” en el software	39
<i>Figura 31.</i> Estructura de ocho niveles sin aisladores modelada	41
<i>Figura 32.</i> Configuración de peso sísmico en la estructura en el software	44
<i>Figura 33.</i> Masas participativas de la estructura mediante el software	45
<i>Figura 34.</i> Historial de fuerzas del peso sísmico del software	46
<i>Figura 35.</i> Distribución de fuerzas sísmicas sin aisladores en dirección X	48
<i>Figura 36.</i> Distribución de fuerzas cortantes sin aisladores en dirección X	48
<i>Figura 37.</i> Distribución de fuerzas sísmicas sin aisladores en dirección Y	49
<i>Figura 38.</i> Distribución de fuerzas cortantes sin aisladores en dirección Y	49
<i>Figura 39.</i> Ingreso de las fuerzas sísmicas en X en el software	50
<i>Figura 40.</i> Ingreso de las fuerzas sísmicas en Y en el software	50
<i>Figura 41.</i> Vista 3D y de planta del resultado del análisis estático sin aisladores .	50
<i>Figura 42.</i> Resultado de derivas en dirección X sin aisladores.....	51
<i>Figura 43.</i> Gráfico de deriva máxima en dirección X sin aisladores.....	51
<i>Figura 44.</i> Resultado de derivas en dirección Y sin aisladores.....	52
<i>Figura 45.</i> Gráfico de deriva máxima en dirección Y sin aisladores.....	52

<i>Figura 46.</i> Espectro de Pseudo – Aceleraciones X-X.....	55
<i>Figura 47.</i> Espectro de Pseudo – Aceleraciones Y-Y.....	55
<i>Figura 48.</i> Espectro de pseudo aceleraciones ingresado al software.....	55
<i>Figura 49.</i> Ingreso de cargas dinámicas al software.....	56
<i>Figura 50.</i> Vista 3D y de planta del resultado del análisis dinámico modal espectral sin aisladores.....	56
<i>Figura 51.</i> Fuerzas cortantes dinámicas de la base sin aisladores.....	57
<i>Figura 52.</i> Resultados de los modos de vibración sin aisladores.....	58
<i>Figura 53.</i> Resultados del porcentaje de participación modal sin aisladores.....	58
<i>Figura 54.</i> Resultado de derivas en dirección X.....	59
<i>Figura 55.</i> Gráfico de deriva máxima en dirección X.....	59
<i>Figura 56.</i> Resultado de derivas en dirección Y.....	60
<i>Figura 57.</i> Gráfico de deriva máxima en dirección Y.....	60
<i>Figura 58.</i> Ingreso de los registros de aceleraciones.....	62
<i>Figura 59.</i> Ingreso de las aceleraciones de un sismo en el software.....	62
<i>Figura 60.</i> Ingreso de cargas de los sismos en el software.....	63
<i>Figura 61.</i> Vista 3D y de planta del resultado del análisis dinámico tiempo-historia sin aisladores.....	63
<i>Figura 62.</i> Resultados gráficos del sismo de 5.1 Mw en Callao, Lima sin aisladores.....	64
<i>Figura 63.</i> Resultados gráficos del sismo de 5.8 Mw en Mala, Lima sin aisladores.....	64
<i>Figura 64.</i> Resultados gráficos del sismo de 7.1 Mw en Mala, Lima sin aisladores.....	65

<i>Figura 65.</i> Resultado de derivas en el sismo de 5.1 Mw en Callao, Lima sin aisladores	65
<i>Figura 66.</i> Resultado de derivas en el sismo de 5.8 Mw en Mala, Lima sin aisladores	66
<i>Figura 67.</i> Resultado de derivas en el sismo de 7.1 Mw en Lomas, Arequipa sin aisladores	66
<i>Figura 68.</i> Masas de cada nivel de la estructura en el software	68
<i>Figura 69.</i> Parámetros para el factor de amplificación.....	70
<i>Figura 70.</i> Sección transversal del aislador LRB	72
<i>Figura 71.</i> Peso de servicio máximo de la estructura en el software	74
<i>Figura 72.</i> Propiedades del aislador LRB en dirección Z en el software	78
<i>Figura 73.</i> Propiedades del aislador LRB en dirección X en el software.....	78
<i>Figura 74.</i> Propiedades del aislador LRB en dirección Y en el software.....	78
<i>Figura 75.</i> Aisladores LRB ingresados en la planta base de la estructura	79
<i>Figura 76.</i> Periodos resultantes del análisis estático con aisladores LRB	80
<i>Figura 77.</i> Vista 3D del análisis estático con aisladores LRB	80
<i>Figura 78.</i> Distribución de fuerzas sísmicas con aisladores LRB en dirección X ..	81
<i>Figura 79.</i> Distribución de fuerzas cortantes con aisladores LRB en dirección X .	81
<i>Figura 80.</i> Distribución de fuerzas sísmicas con aisladores LRB en dirección Y ..	82
<i>Figura 81.</i> Distribución de fuerzas cortantes con aisladores LRB en dirección Y .	82
<i>Figura 82.</i> Resultado de derivas en dirección X con aisladores LRB.....	83
<i>Figura 83.</i> Gráfico de deriva máxima en dirección X con aisladores LRB.....	83
<i>Figura 84.</i> Resultado de derivas en dirección Y con aisladores LRB.....	84
<i>Figura 85.</i> Gráfico de deriva máxima en dirección Y con aisladores LRB.....	84

<i>Figura 86.</i> Periodos resultantes del análisis estático con aisladores LRB	85
<i>Figura 87.</i> Fuerzas cortantes dinámicas de la base con aisladores LRB.....	86
<i>Figura 88.</i> Resultado de derivas en dirección X con aisladores LRB.....	87
<i>Figura 89.</i> Gráfico de deriva máxima en dirección Y con aisladores LRB.....	87
<i>Figura 90.</i> Resultado de derivas en dirección X con aisladores LRB.....	88
<i>Figura 91.</i> Gráfico de deriva máxima en dirección Y con aisladores LRB.....	88
<i>Figura 92.</i> Participación modal con aisladores LRB	89
<i>Figura 93.</i> Resultado de derivas en el sismo de 5.1 Mw en Callao, Lima	90
<i>Figura 94.</i> Resultado de derivas en el sismo de 5.8 Mw en Mala, Lima	90
<i>Figura 95.</i> Resultado de derivas en el sismo de 7.1 Mw en Lomas, Arequipa	90
<i>Figura 96.</i> Masas de cada nivel de la estructura	92
<i>Figura 103.</i> Parámetros para el factor de amplificación.....	94
<i>Figura 104.</i> Sección transversal del aislador de doble péndulo friccional.....	96
<i>Figura 99.</i> Régimen I del aislador de doble péndulo friccional.....	99
<i>Figura 100.</i> Régimen II del aislador de doble péndulo friccional.....	100
<i>Figura 101.</i> Propiedades del aislador FPD en dirección Z.....	102
<i>Figura 102.</i> Propiedades del aislador FPD en dirección X	103
<i>Figura 103.</i> Propiedades del aislador FPD en dirección Y	103
<i>Figura 104.</i> Aisladores FPD ingresados en la planta base de la estructura	103
<i>Figura 105.</i> Periodos resultantes del análisis estático con aisladores FPD	104
<i>Figura 106.</i> Vista 3D del análisis estático con aisladores FPD	105
<i>Figura 107.</i> Distribución de fuerzas sísmicas con aisladores FPD en dirección X	106

<i>Figura 108.</i> Distribución de fuerzas cortantes con aisladores FPD en dirección X	106
<i>Figura 109.</i> Distribución de fuerzas sísmicas con aisladores FPD en dirección Y	107
<i>Figura 110.</i> Distribución de fuerzas cortantes con aisladores FPD en dirección Y	107
<i>Figura 111.</i> Resultado de derivas en dirección X con aisladores FPD	108
<i>Figura 112.</i> Gráfico de deriva máxima en dirección X con aisladores FPD	108
<i>Figura 113.</i> Resultado de derivas en dirección Y con aisladores FPD	109
<i>Figura 114.</i> Gráfico de deriva máxima en dirección Y con aisladores FPD	109
<i>Figura 115.</i> Periodos resultantes del análisis estático con aisladores FPD	110
<i>Figura 116.</i> Fuerzas cortantes dinámicas de la base con aisladores FPD.....	111
<i>Figura 117.</i> Resultado de derivas en dirección X con aisladores FPD	112
<i>Figura 118.</i> Gráfico de deriva máxima en dirección Y con aisladores FPD	112
<i>Figura 119.</i> Resultado de derivas en dirección X con aisladores FPD	113
<i>Figura 120.</i> Gráfico de deriva máxima en dirección Y con aisladores FPD	113
<i>Figura 121.</i> Participación modal con aisladores FPD	114
<i>Figura 122.</i> Resultado de derivas en el sismo de 5.1 Mw en Callao, Lima	115
<i>Figura 123.</i> Resultado de derivas en el sismo de 5.8 Mw en Mala, Lima	115
<i>Figura 124.</i> Resultado de derivas en el sismo de 7.1 Mw en Lomas, Arequipa ..	115

Resumen

La presente investigación “Análisis sísmico de una estructura de concreto armado de ocho niveles con y sin aisladores sísmicos, Lince, Lima - 2021” tiene como objetivo general evaluar los análisis sísmicos de una estructura de concreto armado de ocho niveles con y sin aisladores sísmicos, Lince, Lima - 2021. La metodología a usar será aplicada y de diseño experimental ya que los tipos de aisladores a usar serán: elastomericos con núcleo de plomo y de péndulo friccional doble; por lo cual se obtendrán resultados diferentes de acuerdo a los análisis sísmicos realizados según la norma técnica peruana E.030 Diseño Sismorresistente. Los resultados obtenidos dieron a conocer que la estructura con aisladores elastomericos con núcleo de plomo tuvo un porcentaje de reducción de derivas de 50.16%, mientras que la estructura con aisladores de doble péndulo friccional se obtuvo un porcentaje de reducción de derivas de 37.62%, siendo una diferencia significativa de 12.54%. Ante esto, se llegó a la conclusión de que la estructura con aisladores elastomericos con núcleo de plomo tiene un mejor rendimiento que la estructura con aisladores de doble péndulo friccional, así como también, que ante un evento sísmico de gran magnitud, la estructura sufriría daños graves.

Palabras clave: aisladores sísmicos, análisis sísmicos, estructura de concreto armado.

Abstract

The present investigation "Seismic analysis of an eight-level reinforced concrete structure with and without seismic isolators, Lince, Lima - 2021" has the general objective of evaluating the seismic analysis of an eight-level reinforced concrete structure with and without seismic isolators, Lince, Lima - 2021. The methodology to be used will be applied and experimental design since the types of insulators to be used will be: elastomeric with lead core and double frictional pendulum; Therefore, different results will be obtained according to the seismic analyzes carried out according to the Peruvian technical standard E.030 Seismic-resistant Design. The results obtained revealed that the structure with lead core elastomeric insulators had a percentage of reduction of drifts of 50.16%, while the structure with double frictional pendulum insulators obtained a percentage of reduction of drifts of 37.62%, being a significant difference of 12.54%. Given this, it was concluded that the structure with elastomeric insulators with lead core has a better performance than the structure with double frictional pendulum insulators, as well as that in the event of a large seismic event, the structure would suffer damage. serious.

Keywords: seismic isolators, seismic analysis, reinforced concrete structure.

I. INTRODUCCIÓN

El planeta Tierra está conformado por placas tectónicas que a lo largo de los años han generado movimientos telúricos ante la fricción de una sobre otra. Es por ello que el ser humano siempre ha buscado aislar esos eventos, un claro ejemplo es el obelisco egipcio (1450 a.C.) que tuvo capas de piedra donde se colocaron bloques de mármol y sobre estos bloques de bronce, para de esa forma, desde sus cimientos soportar el movimiento del suelo. En síntesis, cada cultura en la antigüedad buscaba la forma de protegerse de los sismos, sin embargo los que siempre han sido más afectados son aquellos que conforman el cinturón de fuego del Pacífico, como Estados Unidos, México, Japón, entre otros.

Siendo Perú uno de los países que conforman el cinturón de fuego, según INDECI (2020), el país siempre ha presentado movimientos telúricos de alta, mediana o baja magnitud. Es por ello mismo que en 1977, el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento aprobó la primera N.T.P. E.030 Diseño Sismorresistente, la cual a lo largo de los años iba comprándose que los parámetros manifestados en la norma no eran suficientes por lo que, con el avance de la tecnología y conocimiento, esta iba siendo actualizada hasta el punto de que también se decidió crear la Norma Técnica de Edificaciones E.031 Aislamiento Sísmico en 2019.

El concepto del aislamiento sísmico es separar el edificio del suelo, el cual es el que se mueve, y así de esa forma evitar que las personas dentro del edificio sientan el sismo. La principal característica de los dispositivos sísmicos es que su rigidez sea baja para que así de esa forma el suelo se mueva y la mayoría del movimiento sea absorbida en estos dispositivos. En síntesis, lo que buscan los aisladores sísmicos es concebir una edificación resiliente, es decir una edificación que no sufre daño estructural por lo que se mantendrá operativa o si es que sufre daño será mínimo por lo que con menos monto de dinero se podrá recuperar su estabilidad.

Los aisladores al ser dispositivos sísmicos que brindan seguridad al edificio donde viven o transitan personas, es fundamental su implementación a edificaciones como hospitales, colegios o edificios multifamiliares. En este caso, en el distrito de Lince,

al ser uno de los distritos con mucha afluencia ciudadana ya que se encuentra cerca de distritos importantes como el Cercado de Lima, la Victoria, Jesús María y San Isidro. Por tal motivo, sería ideal que las edificaciones cuenten con aisladores sísmicos, principalmente los edificios dado a que en su mayoría son edificaciones relativamente antiguas, por lo que ante un movimiento telúrico las vidas humanas correrían riesgo, mientras que, si se tuvieran los aisladores, el movimiento telúrico no podría afectar en gran escala a las personas y a la edificación.

La presente investigación se enfoca en el análisis sísmico de una estructura de concreto armado de ocho niveles la cual se modelará inicialmente sin aisladores y posteriormente con aisladores, para de esa forma comparar los resultados. Considerando que el análisis sísmico se divide en análisis estático y dinámico, se presentara ambos para una mayor obtención de resultados a interpretar y a dar a conocer. Cabe destacar que el principal análisis sísmico a interpretar será el de tiempo-historia, puesto que dará de resultados los desplazamientos, velocidades y aceleraciones de la estructura ya que se le ingresarán registros sísmicos peruanos. Considerando esto se podrá conseguir el espectro de respuesta de la edificación ante un movimiento telúrico de gran magnitud.

Con todo lo ya explicado, se procede a hacer la formulación del problema: ¿Cómo será el análisis sísmico de una estructura de concreto armado de ocho niveles con y sin aisladores sísmicos, Lince, Lima - 2021? Asimismo, se tienen los siguientes problemas específicos: ¿Cómo será el análisis estático o de fuerza estáticas equivalentes para una estructura de concreto armado de ocho niveles con y sin aisladores sísmicos, Lince, Lima - 2021? ¿Cómo será el análisis modal espectral para una estructura de concreto armado de ocho niveles con y sin aisladores sísmicos, Lince, Lima - 2021? ¿Cómo será el análisis tiempo-historia para una estructura de concreto armado de ocho niveles con y sin aisladores sísmicos, Lince, Lima - 2021?

Para conocer la importancia de este trabajo, se expone lo siguiente: justificación práctica, esta investigación se realizara porque existe la necesidad de demostrar que la implementación de aisladores sísmicos es fundamental en edificios de

concreto armado donde residan una gran cantidad de personas puesto que de esta forma se salvaguardara sus vidas en caso de un repentino movimiento telúrico; justificación teórica, la presente investigación se efectuara con el propósito de aportar conocimiento sobre los aisladores sísmicos en estructuras de concreto armado y como estos ayudan a la disipación de la energía de un sismo; justificación metodológica, la elaboración y aplicación de los análisis sísmicos con el software ETABS comprobaran que la estructura cumplen las indicaciones de las normas E.031, E.030 y ASCE 7-16 para así difundir el método que se aplica; justificación social, esta investigación se elaborara para el conocimiento de las personas que viven en edificaciones relativamente antigua ya que de esa forma sabrán que hay una opción para salvaguardar sus vidas.

Por ello mismo, se tienen el siguiente objetivo general de la investigación: evaluar los análisis sísmicos de una estructura de concreto armado de ocho niveles con y sin aisladores sísmicos, Lince, Lima - 2021. De esta manera se disgregan los siguientes objetivos específicos: realizar el análisis estático o de fuerza estáticas equivalentes para una estructura de concreto armado de ocho niveles con y sin aisladores sísmicos, Lince, Lima - 2021; realizar el análisis modal espectral para una estructura de concreto armado de ocho niveles con y sin aisladores sísmicos, Lince, Lima - 2021; realizar el análisis tiempo-historia para una estructura de concreto armado de ocho niveles con y sin aisladores sísmicos, Lince, Lima – 2021.

Teniendo todo claro, se obtuvo la hipótesis general de la investigación: existen diferencias entre los resultados de los análisis sísmicos de una estructura de concreto armado de ocho niveles con y sin aisladores sísmicos, Lince, Lima - 2021. De igual forma, se consideraron las siguientes hipótesis específicas: existen diferencias en los resultados del análisis estático o de fuerza estáticas equivalentes para una estructura de concreto armado de ocho niveles con y sin aisladores sísmicos, Lince, Lima – 2021; existen diferencias en los resultados del análisis modal espectral para una estructura de concreto armado de ocho niveles con y sin aisladores sísmicos, Lince, Lima – 2021; existen diferencias en los resultados del

análisis tiempo-historia para una estructura de concreto armado de ocho niveles con y sin aisladores sísmicos, Lince, Lima – 2021.

II. MARCO TEÓRICO

Para la concepción de la presente investigación, se ha tenido en consideración las siguientes investigaciones:

Carvalho (2020) ele afirma que o objetivo geral do seu trabalho é a aplicação de sistemas de isolamento de base em edifícios existentes de betão armado, utilizando apoios de borracha com núcleo de chumbo (LRB). Apresentam-se as diferentes metodologias de intervenção estrutural de reabilitação sísmica: (i) à intervenção no edifício ser relativamente localizada, (ii) a existirem diversas soluções disponíveis no mercado, não apenas de produtos, mas de empresas de construção aptas, e (iii) à análise e dimensionamento (pelo menos a fase de pré-dimensionamento geral, como se concluiu neste trabalho). Dado que foram utilizados dois tipos de isoladores, os resultados foram os seguintes: para o isolador tipo 1 houve um deslocamento em x de 107 mm e em y de 111 mm, enquanto no tipo 2 houve um deslocamento em x de 31 mm e assim por diante 33mm. Por fim, conclui-se que o isolamento sísmico de base também pode ser aplicado como técnica de reforço estrutural. A sua principal vantagem face às técnicas “tradicionais” de reforço é a proteção conferida à estrutura, que dispensa o aumento da capacidade resistente dos seus elementos.

Hongzhou (2018) had the general objective of analyzing the behavior of buildings with LRB insulators in the face of the faults they may have. The thesis methodology is sequential since initially the properties of the insulators will be calculated, later with a bilinear model and a design method the axial force capable of supporting the insulator will be obtained. As a result, he obtained that for building A it has a 35% to 55% chance of collapsing, while building B has a 30% to 55% chance of collapsing. In this way, it is concluded that, although the LRB as an insulation system is very common and economical throughout the world, it must have a factor of 2.5 to amplify the axial force that the LRB insulator needs, ensuring that in this way the building is within a 10% chance of collapsing.

Варданян (2017) имел общую цель - проанализировать реакцию резинометаллических изоляторов на теллурические движения в здании.

Аналогичным образом, его методология исследований сосредоточена на сравнительном изучении различных методов расчета сейсмических воздействий с использованием результатов реальных землетрясений и применении исследований нескольких ученых для работы сейсмических изоляторов, после чего было выполнено моделирование напряжения. применительно к нелинейной модели SRMOS с применением метода конечных чисел. Таким образом, он получил результаты, что для девятиэтажной конструкции смещения между этажами с применением изоляторов уменьшились в 2,1 раза по сравнению с той же конструкцией, но без изоляторов, а в отношении сил сдвига была получена разница в 2,5 раза. . Таким образом, я пришел к выводу, что изоляторы полезны для зданий, чтобы выдерживать теллурические движения, в дополнение к тому факту, что горизонтальные смещения зависят от вертикальной силы от землетрясения.

Trento (2015) aveva come obiettivo generale è quello di capire quale possa essere l'incidenza della singola combinazione di accelerogrammi sulla risposta della struttura ovvero valutare se la combinazione di accelerogrammi che ha l'effetto più severo su un determinato parametro. La sua metodologia si è concentrata sull'applicazione l'analisi modale con spettro di risposta, nel calcolo delle strutture sismicamente isolate può essere impedita da fattori che si potrebbero definire di disturbo, i quali allontanano il comportamento della struttura isolata da quello di un massa rigida collegata a terra dal sistema di isolamento modellabile a sua volta come elastico lineare. Dai risultati è emerso che l'utilizzo di accelerogrammi generati fornisce risultati più severi rispetto a quelli ottenuti con accelerogrammi registrati E allora i valori degli spostamenti del sistema d'isolaciones, valutati allo S.L.C., if ricorda che le analisi dinamiche non lineari sono state condotte ricorrendo sia ad accelerogrammi registrati sia generati. Quindi si è concluso che in via generale si ritiene comunque che sia possibile definire un dominio di applicabilità delle procedure di tipo lineare, qualora non siano soddisfatte le prescrizioni previste dalla normativa per la sua applicabilità, ottenendo risultati prossimi a quelli dell'analisi time - history, incrementando del 10 % i valori degli spostamenti ottenuti con una

modellazione lineare equivalente del sistema d'isolamento per i tre tipi di terreno considerati.

Carmona y Rosas (2015) indican que tuvieron como objetivo general hacer una comparación de análisis y diseño de una estructura aplicando aisladores elástométricos de alto amortiguamiento (HDR) colocados en los cimientos, para de esta forma observar el comportamiento de una edificación aporticada y una edificación de sistema dual, teniendo en consideración la normativa sismorresistente. Para realizar lo mencionado, la metodología a usar fue la siguiente: buscar métodos para tener un mejor comportamiento sísmico, aplicar un análisis dinámico usando un espectro correspondiente al tipo de suelo, colocar los aisladores HDR, realizar un modelamiento en el programa SAP2000 y de acuerdo a ello analizar el costo. Los resultados que obtuvo fue que, en el caso del sistema dual, los aisladores HDR es 36.73% más económico que en un sistema aporticado. Por lo tanto, llegó a la conclusión que el sistema aporticado es más favorable para los aisladores sísmicos y que con estos suceden menores desplazamientos entre pisos.

Ruiz y Torres (2018) tuvieron como objetivo general hacer una comparación de la reacción estructural de dos edificios de un hospital teniendo 7 pisos cada uno a los cuales se les aplicara disipadores y aisladores sísmicos. La metodología que aplicaron fue un análisis no lineal tiempo historia para así analizar el desempeño de cada uno de los edificios A y B, aplicando un registro de un sismo de gran magnitud respectivo al sitio en donde se hará el estudio. Como resultado se obtuvieron desplazamientos, en el caso del edificio A: siendo un edificio normal 0.46 m, con aisladores 0.22 m y con disipadores, 0.28 m; mientras que en el caso del edificio B: siendo un edificio normal 0.53 m, con aisladores 0.17 m y con disipadores 0.28 m. Por lo que se concluyó que las edificaciones convencionales tienen un alto nivel de colapso, mientras que con los sistemas de aislamiento y de disipación tiene un nivel total de aceptación.

Pérez y Vásquez (2016) indican que tuvieron como objetivo general diseñar el sistema de aislamiento sísmico de base para un edificio de oficinas de 10 niveles a

base de pórticos rígidos de concreto reforzado ubicado en la ciudad de Managua. La metodología que aplicaron fue un análisis comparativo de la estructura de base fija frente a estos dos tipos de aislación sísmica para las propiedades dinámicas: periodo, aceleración, distorsión y cortante basal. Los resultados con respecto al comportamiento de las cortantes basales y de entrepisos tanto para el caso de LRB como para FPS se reducen significativamente. Hasta en un 90% para el caso de LRB y hasta en un 85% para el caso de FPS. Esto permitió que se pudieran reducir en un 15% las secciones de los elementos estructurales para evitar el sobre diseño, reducir las cargas muertas y disminuir los costos. De esta forma, se llegó a la conclusión que los aisladores resultaron ser beneficiosos, en todo aspecto, como en el tópico de participación modal, en el cual se concentraron la participación modal prácticamente en un solo modo, alcanzando valores de hasta el 99% en el primer modo para ambos tipos de aislamiento.

Valerio (2015) tuvo como objetivo general hacer un análisis comparativo de la respuesta estructural de una edificación común y una edificación con sistema de aislamiento, aplicando una gran cantidad de tipos de aisladores mediante el análisis tiempo-historia. Para ello, su metodología de trabajo se dividió en cinco partes: conceptos básicos de edificios aisladores, análisis y modelamiento de una estructura fija, diseñar cada uno de los aisladores, hacer el modelamiento de la estructura con aisladores sísmicos y aplicar el análisis tiempo-historia. Como resultados obtuvo que, respecto a la fuerza cortante, en el edificio con aisladores HDRB disminuye un 77%, en el edificio con aisladores LRB se tiene un 76%, cuando se usan los aisladores FPS reduce un 78% y con los aisladores RNC disminuye un 84%. Por lo cual, se concluyó que el mejor aislador es el Roll N-Cage ya que respecto a las variables entrepisos se obtuvo un 86% en derivas, 92% en fuerza cortante y 333% de incremento del desplazamiento.

López (2017) manifiesta que tuvo como objetivo general hallar el modelo más óptimo de cimentación para la construcción del “Conjunto Residencial KALOTA”, considerando las normativas AISC, NEC-SE, ACI 318. La metodología aplicada en este caso fue cuantitativa ya que se procedió a hacer un análisis sísmico de seis

viviendas de un conjunto residencial, probando con una cimentación tradicional y una cimentación con aisladores sísmicos. El resultado obtenido respecto a los modos de vibración fue que en el primer modo se obtuvo 2.4s con aisladores y 0.352 sin aisladores, mientras que en el segundo modo se obtuvo 2.3s con aisladores y 0.166s sin aisladores, y finalmente el tercer modo se obtuvo 1.94s con aisladores y 0.138 sin aisladores. De esta forma se concluyó que los aisladores cumplen con los estándares normativos chilenos adecuados a las normativas ecuatorianas para que sea aceptable al proyecto, y que, si bien su costo es una gran suma para el proyecto, es preferible para salvaguardar las vidas humanas.

Mendo (2015) tuvo como objetivo general adecuar la situación actual de las edificaciones comunes en Perú a las solicitudes para el diseño y análisis de edificaciones con aisladores sísmicas, establecidos en las normas extranjeras NCh2745-2003 y NEHRP 2009. En este caso su metodología a usar fue en base al NEHRP: determinación de la aceleración de diseño, determinación de la aceleración para la máxima fricción, y por último, obtener una posibilidad de colapso respecto al cálculo de las aceleraciones. Como resultado principal tuvo que ambas normas, americana y chilena, establecen que, si las fuerzas obtenidas en el análisis dinámico son menores a las fuerzas del análisis estático, estas tendrán que ser incrementadas al valor calculado en el análisis estático. Por lo que se concluyó que, para el diseño de aisladores sísmicos en el Perú, es más adecuado trabajar con un espectro incorporado por ordenadas espectrales, S_1 para 1.0 seg y S_s para 0.2 seg, de forma similar a la norma americana.

Para poder comprender la presente investigación, se procede a presentar las siguientes bases teóricas a utilizar:

Considerando que la investigación se enfocará en estudiar la respuesta de la estructura ante los movimientos sísmicos, teniendo en cuenta las respectivas cargas. Se tomará al respecto el concepto del sistema de un grado de libertad, cuyo ejemplo más sencillo viene a ser una masa sometida al desplazamiento del suelo $x_g(t)$ y una carga $P(t)$ como se visualiza en la figura 1.

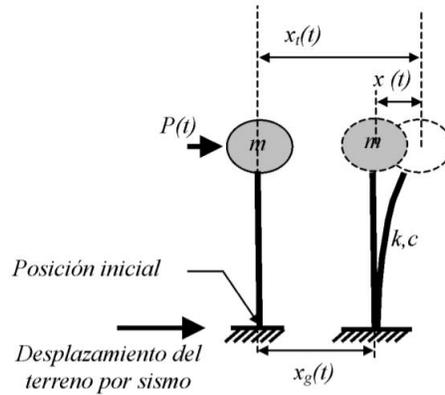


Figura 1. Sistema de un grado de libertad

Fuente: Juan Andrés Oviedo y María del Pilar Duque

Deduciendo los factores de la imagen, Oviedo y Duque (2006, p. 3) indican que se tendría la siguiente formula:

$$x_i(t) = x_g(t) + x(t) \quad (1)$$

La cual se podría interpretar de la siguiente forma:

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = -m\ddot{x}_g + p \quad (2)$$

Donde:

$m\ddot{x}$: es la fuerza de inercia representativa de la masa de la estructura.

$c\dot{x}$: es el amortiguamiento del sistema.

kx : es la fuerza elástica del sistema.

Dado a que la fórmula 2 planteada se encuentra en términos de fuerzas, éstas serán multiplicadas por un desplazamiento $\dot{x}dt$, que está en función de la velocidad, además de que agrega el tiempo de aplicación de la carga del sísmico. Por lo que se obtiene la ecuación de energía basado en el sistema estructural:

$$E_K + E_D + E_S = E_I \quad (3)$$

Donde:

$$E_K = \int m\dot{x}dx = \frac{m\dot{x}^2}{2} \quad \text{es la energía cinética de la masa } m \quad (4)$$

$$E_D = \int c \dot{x} dx = \int c \dot{x}^2 dt \quad \text{es la energía disipada por el amortiguamiento de la edificación} \quad (5)$$

$$E_K = \int k x dx = \frac{kx^2}{2} \quad \text{es la energía de deformación elástica de la edificación} \quad (6)$$

$$E_I = E_{IS} + E_{IW} \quad \text{es la energía impuesta por las cargas dinámicas} \quad (7)$$

Por lo que para la fórmula 7 se tienen los siguientes términos:

$$E_{IS} = - \int m \ddot{x}_g dx \quad \text{es la energía impuesta por el sismo} \quad (8)$$

$$E_{IW} = \int P(t) dx \quad \text{es la energía impuesta por el viento} \quad (9)$$

Sin embargo, como la investigación no solo se enfoca en un análisis sísmico de una edificación, al agregar aisladores sísmicos, los cuales se entienden que son amortiguadores de energía, se tendría un término más a la formula (3), siendo el siguiente:

$$E_A = \int \Gamma \bar{x} dx \quad (10)$$

Se considerará la energía de los aisladores como una contribución al lado izquierdo de la ecuación de energía, por lo que quedaría de la siguiente forma:

$$E_K + E_D + E_S + E_A = E_{IS} + E_{IW} \quad (11)$$

Estas interpretaciones de energías serán fundamentales para hacer el respectivo análisis sísmico. Enfocándonos ya en ello mismo, se entiende el análisis sísmico vendría a ser la observación de la respuesta de una edificación ante un evento sísmico, por lo que se pueden analizar los desplazamientos, deformaciones, aceleraciones, modos, periodos y frecuencias. Dado a la extensión de lo que se puede estudiar, el análisis sísmico está dividido, como indica Georgousis, Tsompanos y Makarios (2015, p. 6), en análisis estático, en el cual se tiene la fuerza lateral vs. la rigidez, y análisis dinámico, en el cual se tiene dos, modal espectral, en el cual está la masa más el espectro vs la rigidez, y el método modal tiempo-historia, en el que están las masas más los acelerogramas vs la rigidez.

Para tener una mayor apreciación en qué consisten estos análisis, se procede a mostrar las siguientes figuras:

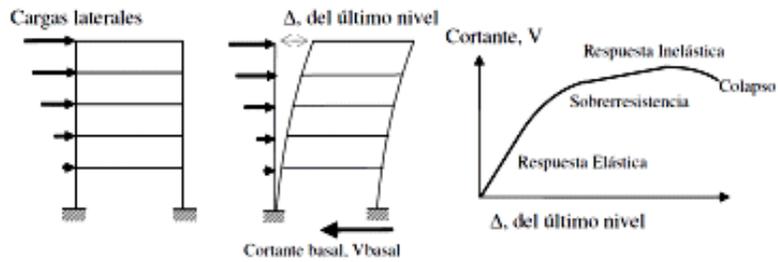


Figura 2. Análisis estático de fuerzas equivalentes
Fuente: Carlos A. Saavedra

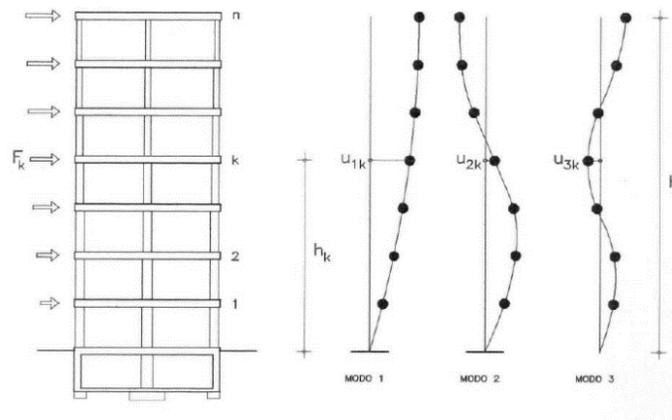


Figura 3. Análisis modal espectral
Fuente: Francisco Martínez Alonso

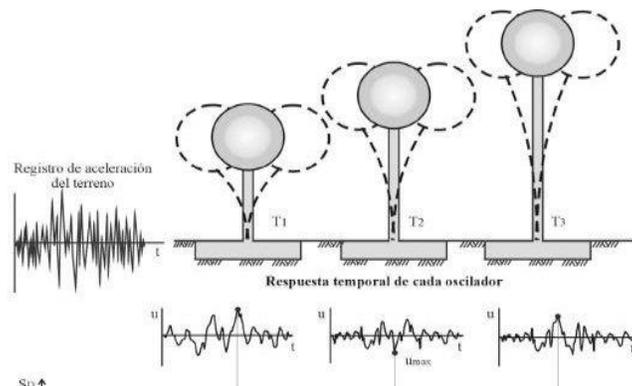


Figura 4. Análisis tiempo-historia
Fuente: Francisco Martínez Alonso

Estos tres análisis sísmicos están fundamentados y explicados a mayor profundidad por la N.T.P. E.030 Diseño Sismorresistente, la cual indica las solicitaciones mínimas para el diseño de las edificaciones sismorresistente, siendo esto una obligación para cualquier construcción que se desee realizar en la actualidad y que se deberá aplicar también al mejoramiento de las edificaciones existentes y a todo arreglo de cualquier estructura que sea afectada por un movimiento telúrico. (2018, p. 4)

Asimismo, la N.T.P. E.030 Diseño Sismorresistente (2018, p. 21) menciona que el análisis estático es un método en el cual se constituye las restricciones sísmicas mediante un componente de fuerzas actuando en el centro de masa de cada piso de la estructura. Al igual que respecto el análisis modal espectral, indica que los modos de vibración se obtienen mediante un procedimiento de análisis que haga una comparativa entre la rigidez y la distribución de masa (2018, p. 23). Mientras que para el análisis tiempo historia indica que se aplican como mínimo tres registros de aceleraciones correspondientes al lugar de ubicación, en los cuales contiene dos componentes en orientaciones ortogonales (2018, p. 25). Mencionar esta norma es fundamental ya que dentro de su anexo 1 indica el procedimiento sugerido para los análisis que solicita para la construcción de edificaciones sismorresistentes.

El problema principal por el cual se elaboró la E.030 fue el peligro sísmico al cual está expuesto el Perú, siendo definido por Sun et al. (2020, p. 1) como la ocurrencia de terremoto en un determinado lugar en el cual puedan haber consecuencias de vidas humanas, así como también de la infraestructura y el medio ambiente donde sucede el evento. Siendo este peligro, un hecho que se siempre se hace presente en el país, como lo notifica el Instituto Geofísico del Perú en cada momento que hay un movimiento telúrico, por lo que a continuación se presenta un mapa con el registro de movimientos sísmicos desde 1960 hasta 2019.

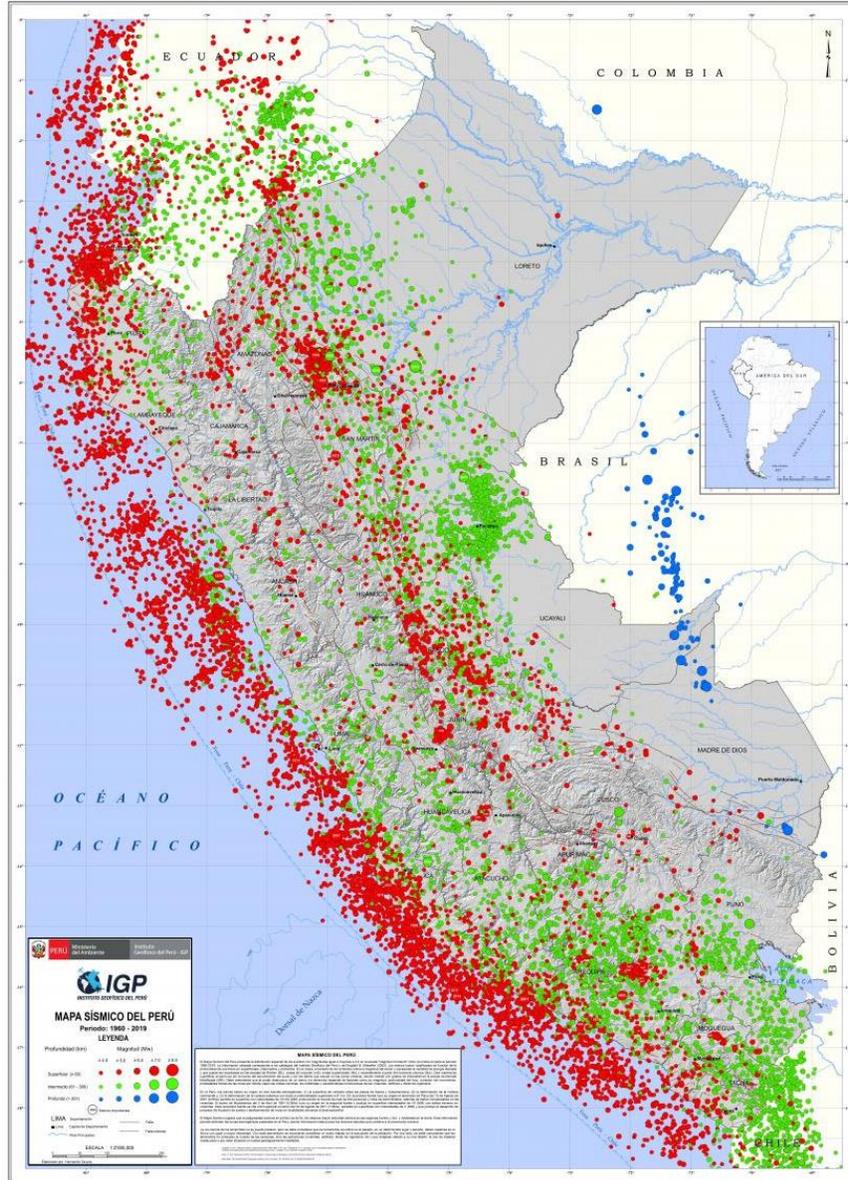


Figura 5. Mapa de registro de sismos del Perú (1960-2019)

Fuente: Instituto Geofísico del Perú

Siendo Lima, la capital del país, es el lugar donde más se exige el cumplimiento de esta norma desde su creación en 1977. Por lo que, las estructuras de concreto armado son las cuales tienen más restricción ya que son aquellas que tienen columnas, vigas, zapatas, losas, muros entre otros elementos cuya composición sea de concreto armado. Enfocándonos en la edificación que se analizara en la investigación, se sabe que esta es una estructura de sistema aporticado, puesto que tiene como únicos elementos vigas y columnas, las cuales están unidas por

medio de nudos rígidos que admiten la transferencia de cargas axiales y momentos flectores a las columnas y estas a su vez transmiten las cargas hacia la cimentación. (Aguirre y Zúñiga, 2019, p. 12)

Sin embargo, ante la posibilidad de un evento sísmico, los conocimientos de aislación sísmica se hicieron presente en el país con la construcción del primer edificio público del Perú construido con aisladores sísmico, como manifiesta Andina (2014), el Centro de Información e Investigación de la Facultad de Ingeniería Civil de la UNI, es una edificación de concreto armado de ocho pisos, en el cual se colocaron aisladores sísmicos en el sótano de la edificación, siendo estos cilindros de aproximadamente 40 centímetros. Esto se puede apreciar en la siguiente figura que fue tomada durante la colocación de los dispositivos sobre las columnas del sótano.



Figura 6. Colocación de aisladores en una edificación de la FIC-UNI

Fuente: CIP tv

Dado al gran público que capto esta construcción con aisladores sísmicos en 2014, desde entonces se han estado creando proyectos que de igual forma implementen sistemas de aislación sísmica como Atlantik Ocean Tower en San Miguel, el edificio Multifamiliar Madre en Miraflores y el Hospital Santa Gema de Yurimaguas. (Huanca y Meléndez, 2016, p. 25-31).



Figura 7. Proyecto Atlantik Ocean Tower

Fuente: Labok Grupo Inmobiliario

Con todas las edificaciones construidas y proyectadas con aisladores sísmicos, el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento aprobó la inclusión de la N.T.P. E.031 Aislamiento sísmico al Reglamento Nacional de Edificaciones. Siendo esta norma la cual da a conocer las disposiciones y requisitos generales respecto al diseño de edificaciones con aisladores sísmicos, así como también el procedimiento para el análisis dinámico y estático de estas estructuras. (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2019, p. 3)

Para enfocarnos en el tema de aislación sísmica, se debe de tener en claro el concepto principal, el cual es un sistema que se enfoca en proteger la estructura ante los efectos de los movimientos telúricos, teniendo como principal función “desacoplar parcialmente la estructura de los movimientos sísmicos del terreno, mediante dispositivos instalados entre la estructura y su cimentación” (Quispe, 2018, p. 67). Para comprender el movimiento y la reacción sísmica de una edificación sin aisladores y con aisladores, se muestra la figura 8.

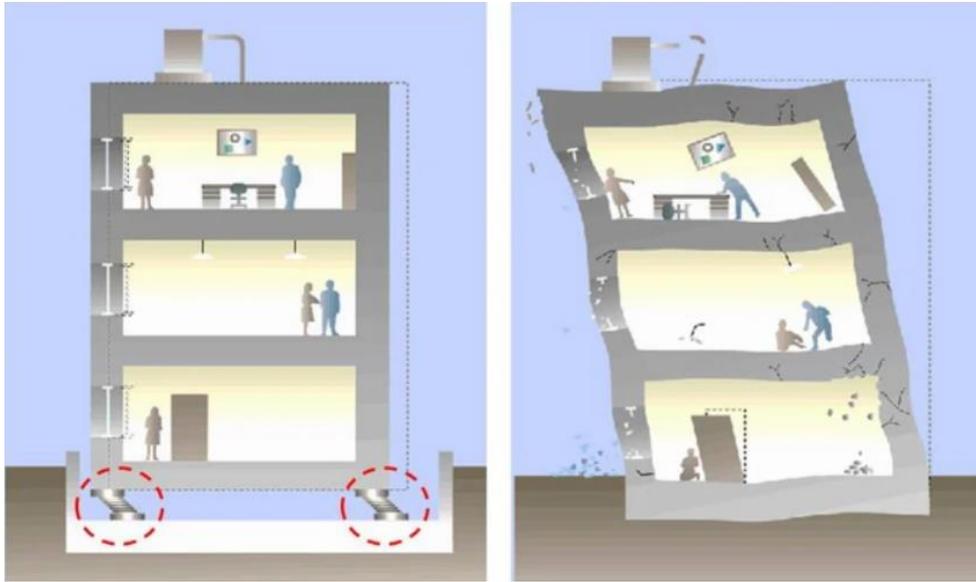


Figura 8. Reacción sísmica de una edificación sin y con aisladores sísmicos
Fuente: Nakamura and Okada

Como se visualiza en la figura, el movimiento del edificio ante los efectos del sismo se ve reducido con la implementación del sistema de aislación. Respecto a esto, la Agencia Federal para el Manejo de Emergencias de los Estados Unidos (FEMA, 2003, p. 1969) indica que existen tres principios fundamentales que debe de cumplir el sistema de aislación son los siguientes:

- Flexibilidad para aumentar el periodo de vibración y así reducir la respuesta sísmica.

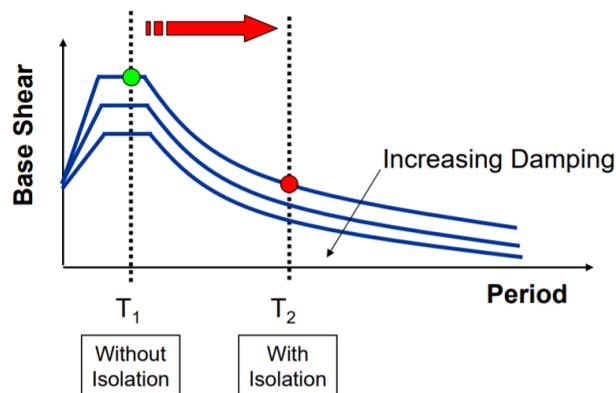


Figura 9. Periodo de vibración con y sin aisladores sísmicos
Fuente: FEMA

- Disipación de energía para controlar el desplazamiento generado por los movimientos telúricos.

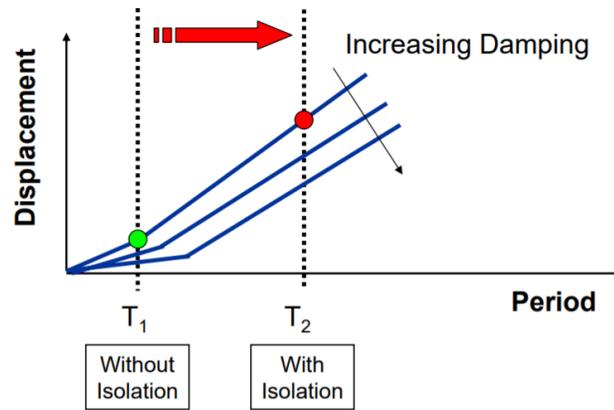


Figura 10. Desplazamiento con y sin aisladores sísmicos

Fuente: FEMA

- Rigidez respecto a los niveles de carga de viento y terremotos.

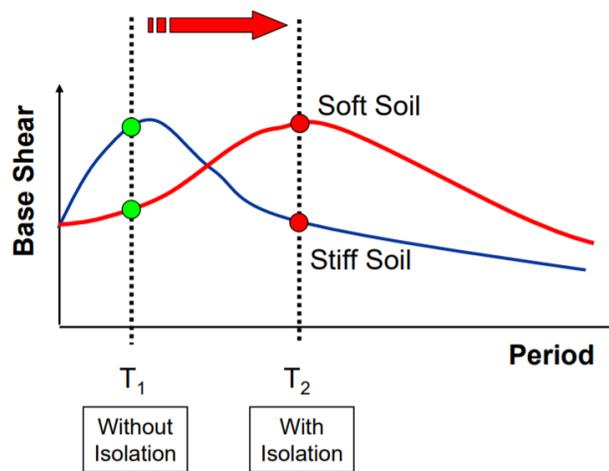


Figura 11. Rigidez con y sin aisladores sísmicos

Fuente: FEMA

Enfocándonos en los dispositivos, es decir los aisladores sísmicos, respecto a su definición, León (2016, p. 26) nos indica que estos son dispositivos de protección sísmicas que mediante altas deformaciones absorben la energía que el movimiento sísmico traspasa a la edificación, por ello mismo ya existen diversos tipos que son empleados en países de necesidad de protección sísmica, considerando que estos

aisladores tienen como el objetivo principal aislar la superestructura del suelo con el fin de reducir al mínimo la energía.

En síntesis, estos son elementos estructurales que ayudan a la disipación de energía, por lo que su utilidad, como el autor lo menciona, es fundamental para protección de la estructura. Además de que son comerciales en países los cuales están expuestos a movimientos telúricos, por ello mismo es que se empleara en la presente investigación.

Los tipos de aisladores sísmicos que son más conocidos en la actualidad son los siguientes:

- Aisladores elástoméricos, son aquellos que están conformados por placas de acero y capas de goma. Cada uno de estos es fundamental ya que mientras más capas de goma, el apoyo será más flexible ante los movimientos horizontales, mientras que las placas de acero ayudaran a controlar la rigidez vertical del apoyo. (Aguiar *et al.*, 2008, p. 23)

Para entender cómo trabajan estos aisladores elástoméricos, se presenta la siguiente curva de histéresis:

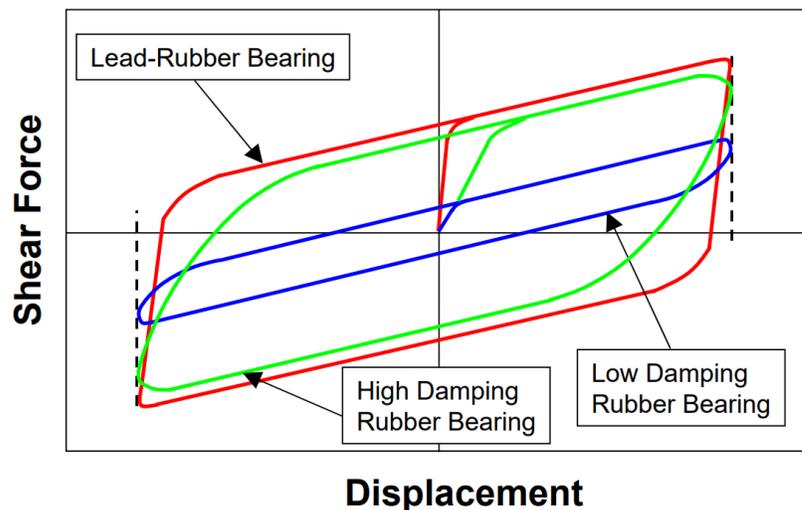


Figura 12. Curva de histéresis de los aisladores elástoméricos

Fuente: FEMA

En la cual se interpreta que en el eje X se tiene el desplazamiento que se generara gracias a la fuerza con el que vendrá el sismo, el cual vendría a ser

el eje Y. Esta curva en realidad es un ciclo que se generara en el momento que el sistema de aislación actué ante un movimiento telúrico, por lo cual parte del punto 0,0 del plano cartesiano.

- Aisladores de péndulo friccional, son los que tienen las características de tener una superficie cóncava de acero inoxidable y un deslizador de politetrafluoroetileno, cuyas propiedades de amortiguamiento y rigidez dependen del radio de curvatura y del coeficiente de fricción. (Ruiz, 2017, p. 8)

Para poder comprender de mejor manera como trabajan los aisladores respectivos, se puede observar la siguiente figura:

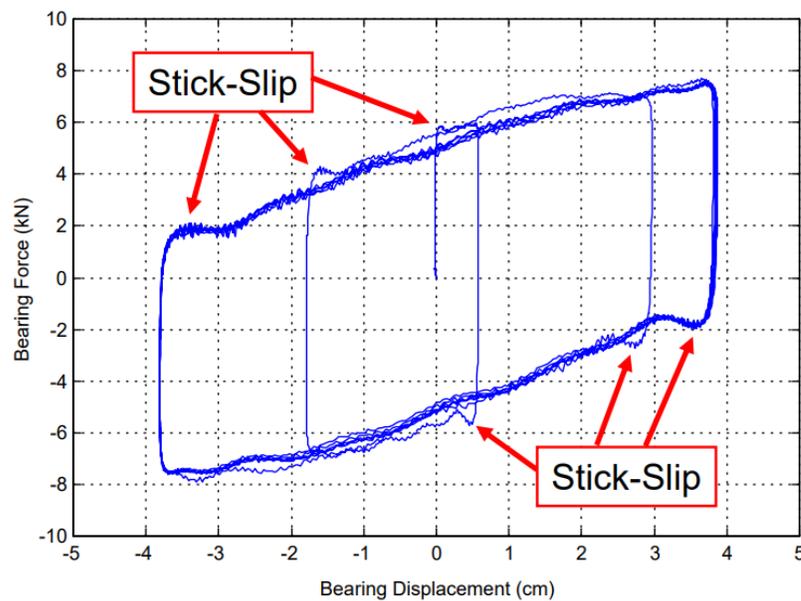


Figura 13. Curva de histéresis de los aisladores de péndulo friccional

Fuente: FEMA

Como se puede observar en la imagen, este ciclo se diferencia del anterior al no ser fijo ya que su desplazamiento es irregular dado a las oscilaciones de relajación de los aisladores de péndulo friccional.

Las curvas de histéresis mostradas para los aisladores elásticos y de péndulo friccional, es fundamental en el análisis, ya que como lo menciona la NTP E.031 en su artículo 13, para los cálculos, β_M es el amortiguamiento efectivo, el cual es un

factor fundamental para el cumplimiento de las solicitaciones normativas respecto a los aisladores, debiéndose calcular como se visualiza en la siguiente ecuación:

$$\beta_M = \frac{\sum E_M}{2\pi k_M D_M^2} \quad (12)$$

Donde:

D_M se calcula teniendo en consideración el límite superior e inferior de la curva de histéresis de cada aislador.

$\sum E_M$ es el total de energía disipada por los aisladores sísmicos que se obtiene en un ciclo de respuesta al desplazamiento, D_M , expresada en kN.mm.

k_M es la rigidez efectiva de los aisladores sísmicos para la deriva traslacional, aquella que se calcula de la siguiente forma:

$$k_M = \frac{\sum |F_M^+| + \sum |F_M^-|}{2D_M} \quad (13)$$

Donde:

$\sum |F_M^+|$ es la suma de todos los valores absolutos correspondientes de las fuerzas los aisladores usados para una edificación considerando el desplazamiento positivo así como al desplazamiento D_M expresado en kN.

$\sum |F_M^-|$ es la suma de todos los valores absolutos correspondientes de las fuerzas los aisladores usados para una edificación considerando el desplazamiento negativo así como al desplazamiento D_M expresado en kN.

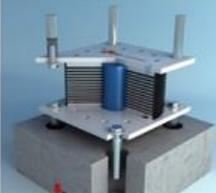
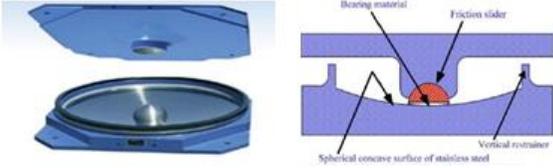
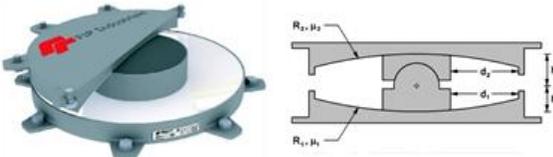
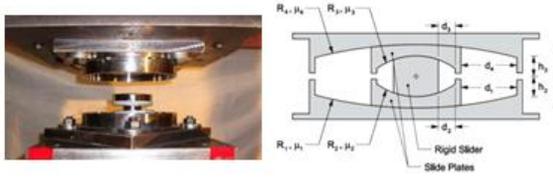
Este amortiguamiento viene a ser una fuerza la cual al considerar el desplazamiento se convierte en una fuerza, siendo esta la que se complementó a la fórmula de energía balanceada explicada anteriormente.

$$E_K + E_D + E_S + E_A = E_{I_s} + E_{I_w} \quad (11)$$

Retomando, lo que explica la norma E.031, estas fórmulas son empleadas para todo tipo de aisladores, y es que como se pudieron apreciar en las curvas de histéresis, los aisladores elásticos se dividen en tres de acuerdo a su composición, al

igual que los aisladores de péndulo friccional. Por lo que se realizó la siguiente tabla para mostrar la comparación:

Tabla 1. Tipos de aisladores sísmicos

Descripción:	Imágenes de referencia
<p>Aisladores elásticos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Placa superior e inferior de acero inoxidable - Laminas de goma - Laminas de acero 	
<p>Aisladores elásticos con núcleo de plomo:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Placa superior e inferior de acero inoxidable - Núcleo de plomo - Laminas de goma - Laminas de acero 	
<p>Aisladores elásticos de alto amortiguamiento:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Placa superior e inferior de acero inoxidable - Laminas de goma con aditivos - Laminas de acero 	
<p>Aisladores de péndulo de friccional:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Deslizador de politetrafluoroetileno - Placa superior plana de acero inoxidable - Placa inferior de superficie concava de acero inoxidable 	
<p>Aisladores de doble péndulo de friccional:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Deslizador de politetrafluoroetileno - Placa superior e inferior de superficie concava de acero inoxidable 	
<p>Aisladores de triple péndulo de friccional:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Deslizador de politetrafluoroetileno - Placa superior e inferior de superficie concava de acero inoxidable - Placa interna superior e inferior de superficie concava de acero inoxidable 	

Fuente: Elaboración propia

Para la colocación de los dispositivos se debe tener un criterio, por lo cual, Aguiar (2011, p. 73) indica que lo más común es colocar los aisladores en la cimentación,

no obstante, el proyectista también puede considerar posicionarlos sobre las columnas del primer piso, e inclusive en pisos intermedios de la edificación. Asimismo, Villavicencio (2015, p. 55) manifiesta que las instalaciones de los dispositivos pueden ser en la parte inferior, media o superior de la columna que parte de la zapata, dependiendo también de la dimensión de la cimentación.

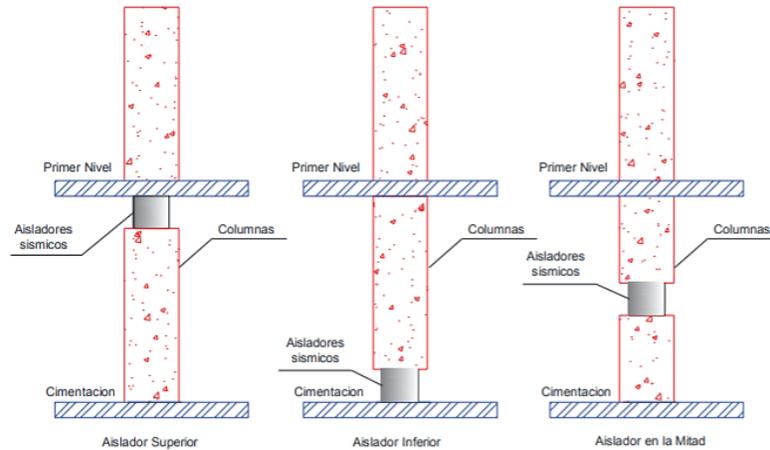


Figura 14. Criterio de colocación de los aisladores en la cimentación

Fuente: Erik Villavicencio

Toda estructura de concreto armado está en la obligación de tener cimientos, por lo que se deduce que en cualquiera se puede realizar la colocación de aisladores sísmicos. Sin embargo, lo que es fundamental en la estructura de concreto armado respecto a estos dispositivos es el desplazamiento lateral que tendrá ante un movimiento telúrico. Por lo cual, la norma E.030 exige lo siguiente:

Tabla 2. Desplazamientos laterales respecto al material predominante

Tabla N° 11 LÍMITES PARA LA DISTORSIÓN DEL ENTREPISO	
Material Predominante	(Δ_i / h_{ei})
Concreto Armado	0,007
Acero	0,010
Albañilería	0,005
Madera	0,010
Edificios de concreto armado con muros de ductilidad limitada	0,005

Fuente: N.T.P. E.030 Diseño Sismorresistente

Teniendo en cuenta la corroboración del desplazamiento entre piso en una estructura de concreto armado, se deberá de considerar un factor muy importante

no solo para el análisis sísmico sino también para los aisladores, siendo este el tipo de suelo donde está la edificación. Esto es fundamental ya que es ahí donde se siente el movimiento telúrico y desde se propaga la energía. Según la E.031 (2019, p. 10) existen tres tipos de suelo: S0, roca dura; S1, roca o suelos muy rígidos; S2, suelos intermedios; y S3: suelos blandos. Para determinar el tipo de suelo lo más común es hacer un estudio de mecánica de suelos. Sin embargo, no será necesario considerando dos fuentes de referencias que vienen del CISMID. Siendo el primero el siguiente mapa:

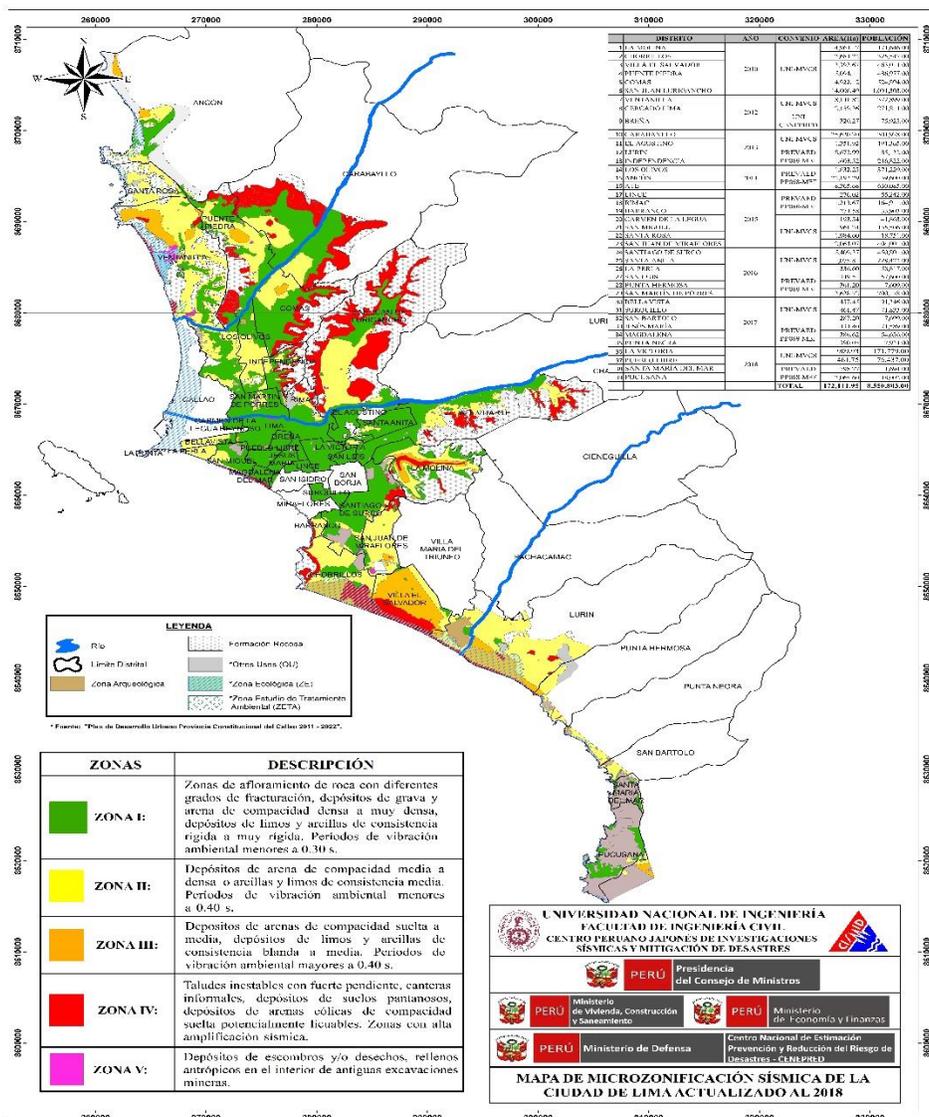


Figura 15. Mapa de microzonificación sísmica de la ciudad de Lima actualizado al año 2018

Fuente: CISMID

Respecto a la investigación presente, dado a que el lugar en el cual se encuentra la estructura de concreto armado es en Lince, se tendría que el tipo de suelo es S1, al encontrarse el distrito en la Zona 1. Esta zona es de abundante roca con diversos grados de fracturación, teniendo también depósitos de arena y grava de compacidad densa a muy densa, asimismo hay algunos estratos de arcillas y limo rígidos a muy rígidos. Además de tener en total un menor de 0.30 s en periodo de vibración ambiental.

Asimismo, la segunda fuente de información para la determinación del tipo de suelo es un estudio de microzonificación sísmica del distrito de Lince, realizada por el CISMID (2015, p. 13), donde se realizaron 60 calicatas y 2 sondajes de pozos de agua subterránea, indica que el material que predomina es la grava, siendo materiales pertenecientes a depósitos aluviales y coluviales, de bordes sub-redondeados a redondeados y de humedad baja. Esta grava se encuentra dentro del área de estudio por debajo de los rellenos superficiales como las arenas, los limos y arcillas.

III. METODOLOGÍA

3.1 Tipo y diseño de investigación

Tipo de investigación:

La presente investigación será de tipo aplicada puesto que, como mencionan Marotti y Pedro (2018, p. 2), “se origina en un problema práctico, que se estudia o se resuelve mediante la aplicación de elementos teóricos, preferiblemente con el uso de métodos científicos. Por lo cual, se fundamenta que la presente investigación sea aplicada, ya que se intenta resolver el problema de saber el comportamiento sísmico de una estructura de concreto armado de ocho niveles con y sin aisladores sísmicos.

Diseño de investigación:

El diseño de la presente investigación será experimental ya que se caracteriza por manipular de manera intencional la variable independiente sobre la variable dependiente. (Hernández *et al.*, 2014, p. 129). Este concepto se verá desarrollado en el respectivo proyecto ya que la variable independiente, los aisladores sísmicos mediante su uso en la estructura de concreto armado cambiara la variable dependiente que es el análisis sísmico puesto que se tendrán diferentes resultados en una estructura sin aisladores y en otra estructura con aisladores. Asimismo, este diseño de investigación se sub divide en tres: pre experimental, cuasi experimental y experimental puro (Pawar, 2020, p. 10). Siendo cuasi experimental la presente investigación puesto que es un experimento, con la diferencia de que la unidad de análisis no se asigna de forma aleatoria.

Enfoque de investigación:

El enfoque cuantitativo será el empleado en la presente investigación puesto que “pone énfasis en los números y cifras en la recopilación y análisis de datos” (Eysi, 2016, p. 4). Esto hace referencia a lo que se hará en la presente investigación puesto que para comprobar las hipótesis se realizaran análisis que tendrán resultados numéricos mediante los cuales se determinaran las conclusiones.

3.2 Variables y operacionalización

Variable independiente (X): Aisladores sísmicos

Definición conceptual:

Son dispositivos de protección sísmicas que mediante altas deformaciones absorben la energía que el movimiento sísmico traspasa a la edificación, por ello mismo ya existen diversos tipos que son empleados en países de necesidad de protección sísmica, considerando que estos aisladores tienen como el objetivo principal aislar la superestructura del suelo con el fin de reducir al mínimo la energía. (León, 2016, p. 26)

Definición operacional:

Los dispositivos de protección sísmica serán diseñados de acuerdo a las restricciones de la norma E.031 Aislamiento sísmico y la norma ASCE 7-16, para posteriormente ser modelados en el software ETABS y obtener así los resultados deseados.

Dimensiones:

Dimensión 1: Aisladores elásticos con núcleo de plomo

Indicadores:

- Núcleo de plomo
- Placas de acero
- Láminas de caucho

Escala de medición:

Nominal.

Dimensión 2: Aisladores de péndulo friccional

Indicadores:

- Deslizador de politetrafluoroetileno
- Placa superior e inferior de superficie cóncava de acero inoxidable

Escala de medición:

Nominal.

Dimensión 3: Propiedades de los aisladores**Indicadores:**

- Rigidez efectiva
- Energía total disipada
- Coeficiente de amortiguamiento

Escala de medición:

Nominal.

Variable dependiente (Y): Análisis sísmico

Definición conceptual:

Es la observación de la respuesta de una edificación ante un evento sísmico, por lo que se pueden analizar los desplazamientos, deformaciones, aceleraciones, modos, periodos y frecuencias, es por ello que dado a su extensión de análisis es que se dividen en estáticos y dinámicos. (Georgousis *et al.*, 2015, p. 6)

Definición operacional:

Se trata del método de análisis que se usara para la presente investigación considerando los análisis sísmicos indicados por la norma E.030 Diseño Sismorresistente, análisis estático o de fuerzas estáticas equivalentes, análisis modal espectral y análisis tiempo-historia.

Dimensiones:

Dimensión 1: Análisis estático o de fuerzas estáticas equivalentes.

Indicadores:

- Fuerzas sísmicas.
- Desplazamientos.

- Fuerza cortante basal.

Dimensión 2: Análisis modal espectral.

Indicadores:

- Modos.
- Periodos.
- Frecuencias.

Dimensión 3: Análisis tiempo – historia.

- Derivas.
- Aceleraciones.

Escala de medición:

De razón.

3.3 Población, muestra y muestreo

Población:

Respecto a esto, Banerjee y Chaudhury (2010) indican que “es un grupo completo sobre el que se requiere cierta información”. Por lo cual, el presente trabajo de investigación contara con una población de todas las estructuras de concreto armado del distrito de Lince, puesto aquel es el lugar donde se realizará el análisis sísmico.

Muestra:

Es un subconjunto de objetos representativos provenientes de la población de los cuales se obtendrán los datos necesarios para la investigación (López y Fachelli, 2015, p. 6). En tal sentido, la muestra a tomar en el respectivo trabajo será una estructura de concreto armado de ocho niveles en Lince.

Muestreo:

El muestreo no probabilístico por conveniencia será el empleado en la presente investigación, ya que este consiste en seleccionar los elementos convenientes por la accesibilidad y proximidad al investigador. (Otzen y Manterola, 2017, p. 4).

Unidad de análisis:

Es aquel o aquellos elementos que serán estudiados en una investigación, también llamado unidad de muestra. (Hernández *et al.*, 2017, p. 172). Por ello es que la unidad de análisis es la estructura de concreto armado de ocho niveles del distrito de Lince.

3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos**Técnicas:**

La recolección de datos será la técnica a emplear en el trabajo de investigación ya que consiste en recoger y organizar datos relaciones sobre variables, hechos, contextos, categorías y comunidades involucrados en la investigación. (Useche *et al.*, 2019, p. 29)

Instrumentos:

En la presente investigación los instrumentos a utilizar serán las normas técnicas peruanas E.030 Diseño Sismorresistente y E.031 Aislamiento Sísmico, la norma ASCE 7 – 16 y la dicha de recolección de datos respectiva.

3.5 Procedimiento

El primer paso a realizar en el presente trabajo de investigación viene a ser la recolección de datos de la estructura de concreto armado de ocho niveles, tanto en planos como en estudio de suelos. Además de recopilar información referente al lugar donde está ubicado, el cual es el distrito de Lince.

En el segundo paso respectivo se hará el modelamiento de la estructura sin aisladores mediante el software ETABS, obteniendo así los análisis estáticos o de fuerzas estáticas equivalente, el análisis modal espectral y el análisis tiempo historia

de acuerdo a lo indicado en la norma técnica peruana E.030 Diseño Sismorresistente.

El tercer paso a realizar, es la recopilación de los datos obtenidos de los primeros análisis sísmicos para así poder hacer el diseño de los aisladores de núcleo de plomo considerando la norma técnica peruana E.031 Aislamiento Sísmico y la norma ASCE 7 – 16.

En el cuarto paso se procederá a hacer el modelamiento de la estructura con aisladores sísmicos, obteniendo así los resultados de los análisis estáticos o de fuerzas estáticas equivalente, el análisis modal espectral y el análisis tiempo historia considerando las dos normas.

Para finalizar, en el quinto paso se hará una comparación de resultados de la estructura del sistema aperturado convencional con la estructura con el sistema de aislamiento para así obtener las conclusiones y las recomendaciones que se podrían hacer a la edificación.

3.6 Método de análisis de datos

Para el método de análisis de datos se usarán las normas peruanas E.030 y E.031, así como también la norma norteamericana ASCE 7-16, para verificar lo que debe de cumplir una edificación sismorresistente considerando los análisis sísmicos: estático o de fuerzas equivalentes, modal espectral y tiempo-historia. Siendo realizados estos análisis mediante el software ETABS v.19.

3.7 Aspectos éticos

En la presente investigación se respeta a la autoría de los investigadores que han sido citados y referenciados en toda la información, imágenes, tablas y formulas empleadas en los capítulos respectivos. Durante el proceso de análisis se empleará la N.T.P. E.030 y E.032, ASCE 7 – 16 y el software ETABS v.19 por lo que se velará la transparencia de todo ello, buscando que los resultados sean confiables y tengan veracidad.

IV. RESULTADOS

4.1 Descripción general del proyecto

La estructura es una edificación multifamiliar de ocho niveles que cuenta con dos departamentos por piso, estando localizado en el distrito de Lince, provincia de Lima, departamento de Lima.

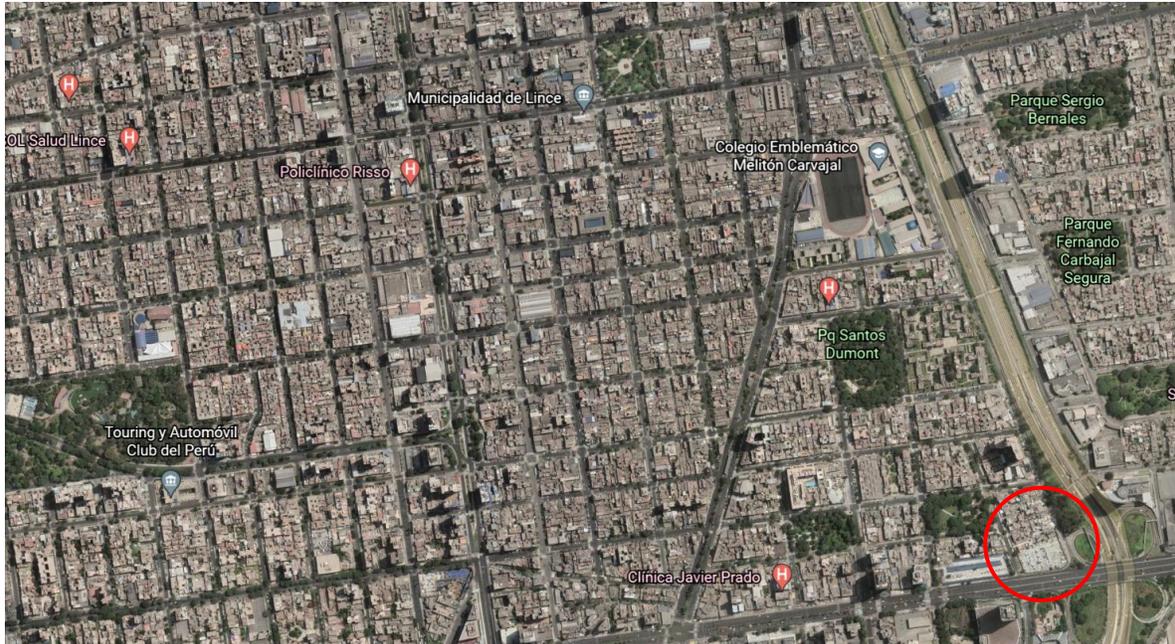


Figura 16. Ubicación del proyecto vista satelital

Fuente: Google maps

Norte: Limita con el distrito de Cercado de Lima.

Sur: Limita con el distrito de San Isidro.

Oeste: Limita con el distrito de Jesús María.

Este: Limita con el distrito de la Victoria.

Se eligió esta edificación puesto que está expuesta a un alto nivel de peligro sísmico debido a que se encuentra en el cinturón de fuego del pacifico lo cual le genera una elevada actividad sísmica. Además de que este proyecto fue elaborado en 1985, por lo que se podrá analizar si a pesar de haber tenido otros parámetros dada a la norma de esa época, pueda cumplir con los estándares de las normas actuales.

4.2 Planta del proyecto

La planta de la estructura es en forma de L, contando con una dimensión en el eje X de 24.70 m y en el eje Y de 14.75 m, además de tener una gran cantidad de ejes dado a su distribución por lo que en dirección de X tiene ejes del 1 hasta el 9 mientras que en dirección de Y tiene ejes de la A hasta la F.

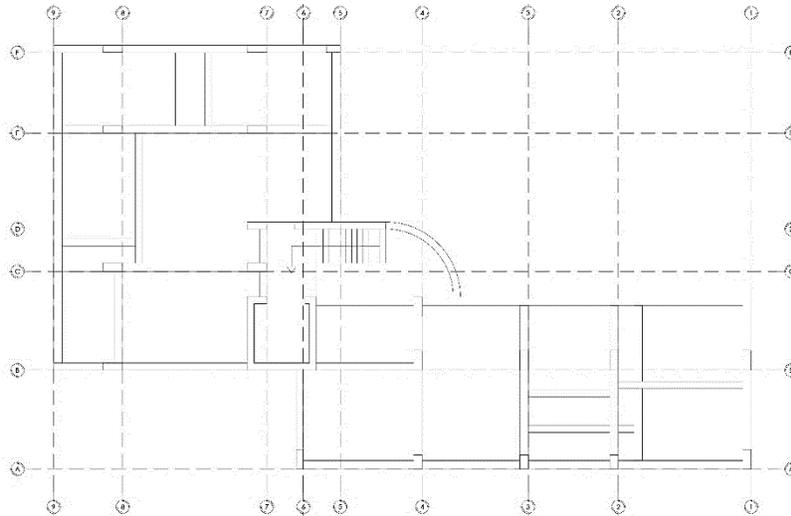


Figura 17. Planta del edificio

Fuente: Planos

4.3 Modelado estructural

El análisis sísmico de la estructura de ocho niveles se realizará haciendo uso del software ETABS en su versión 18.1.1, siguiendo las dimensiones, materiales y elementos estructurales indicados en el plano de planta.

4.3.1 Materiales

- Concreto:
 - ✓ $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$
 - ✓ $\gamma_c = 2.40 \text{ t/m}^3$
 - ✓ $E_c = 217000 \text{ kg/cm}^2$
- Acero Grado 60:
 - ✓ $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$
 - ✓ $E_a = 2000000 \text{ kg/cm}^2$

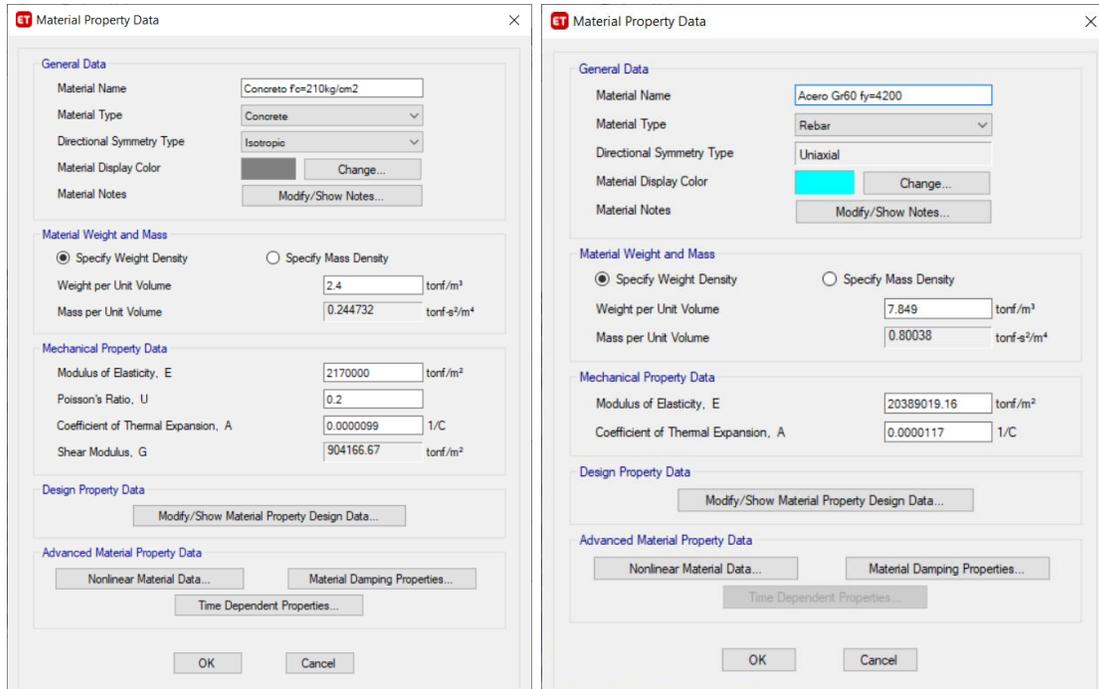


Figura 18. Propiedades del concreto $f'_c=210\text{kg/cm}^2$ en el software

Fuente: Elaboración propia

Figura 19. Propiedades del acero grado 60 en el software

Fuente: Elaboración propia

4.3.2 Elementos estructurales

- Columna C-01: 0.25x0.50m

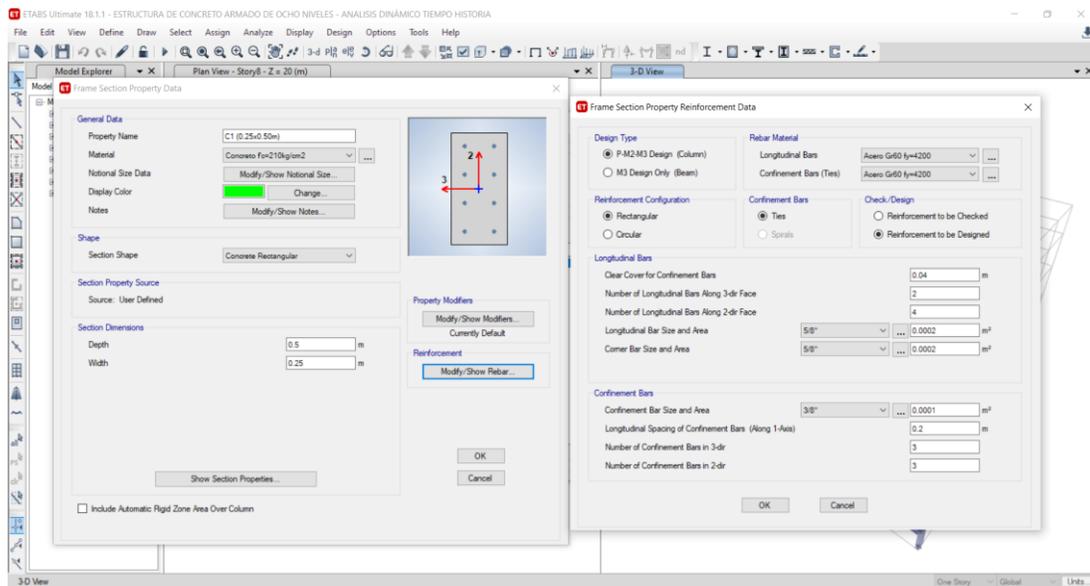


Figura 20. Especificaciones de la columna C-01 en el software

Fuente: Elaboración propia

- Columna C-02: 0.25x0.70m

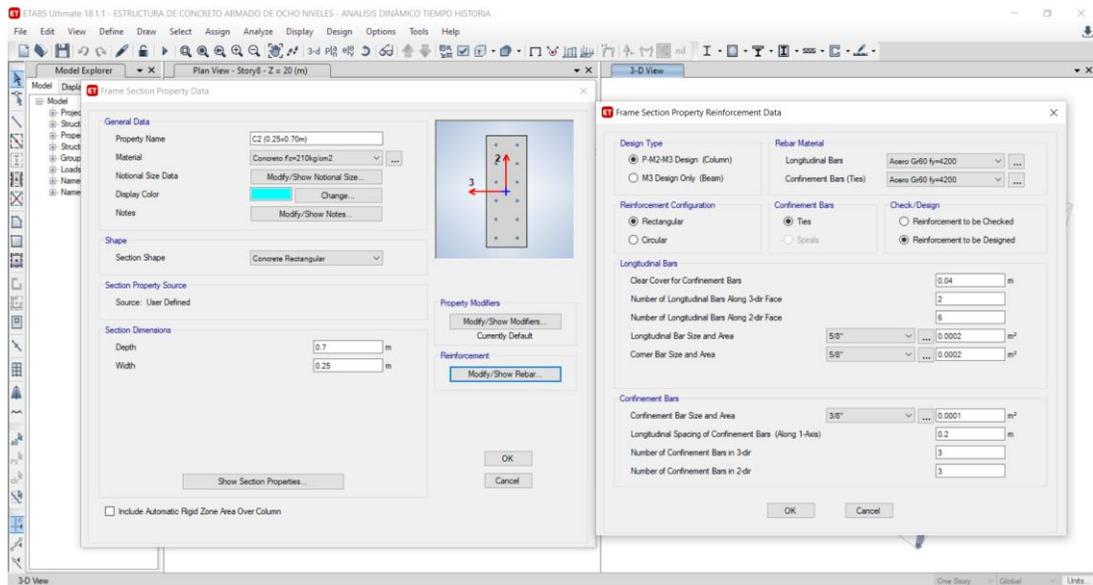


Figura 21. Especificaciones de la columna C-02 en el software

Fuente: Elaboración propia

- Columna C-03: 0.30x0.70m

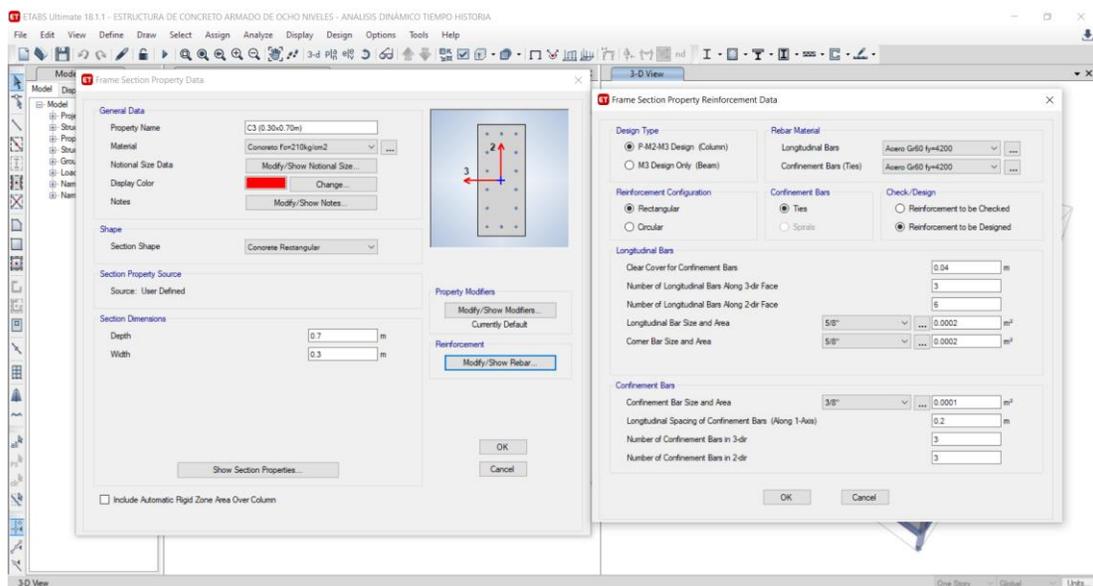


Figura 22. Especificaciones de la columna C-03 en el software

Fuente: Elaboración propia

- Columna C-04: 0.30x0.50m

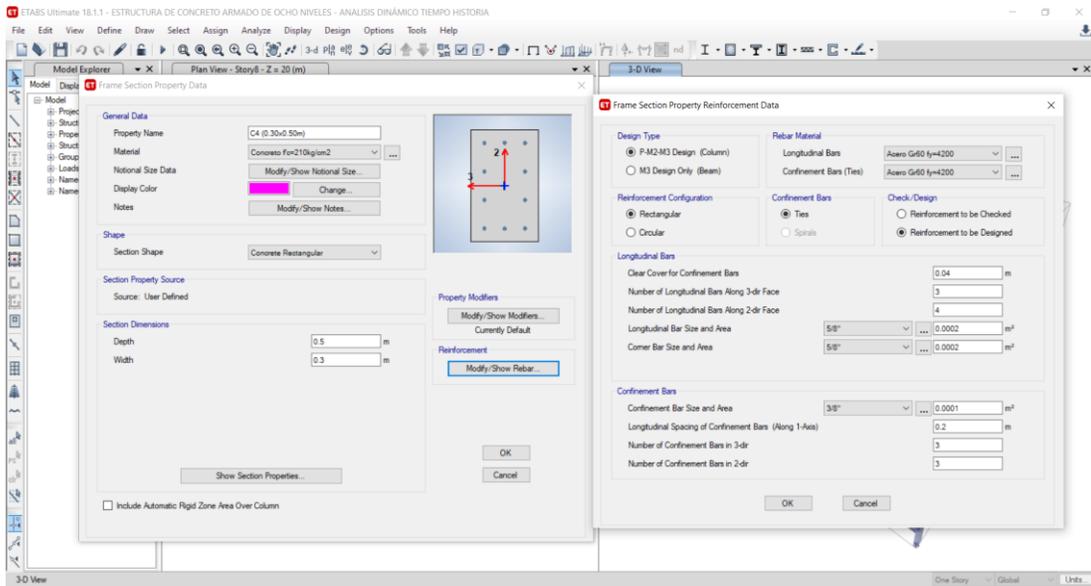


Figura 23. Especificaciones de la columna C-04 en el software

Fuente: Elaboración propia

- Viga VP-01: 0.25x0.40m

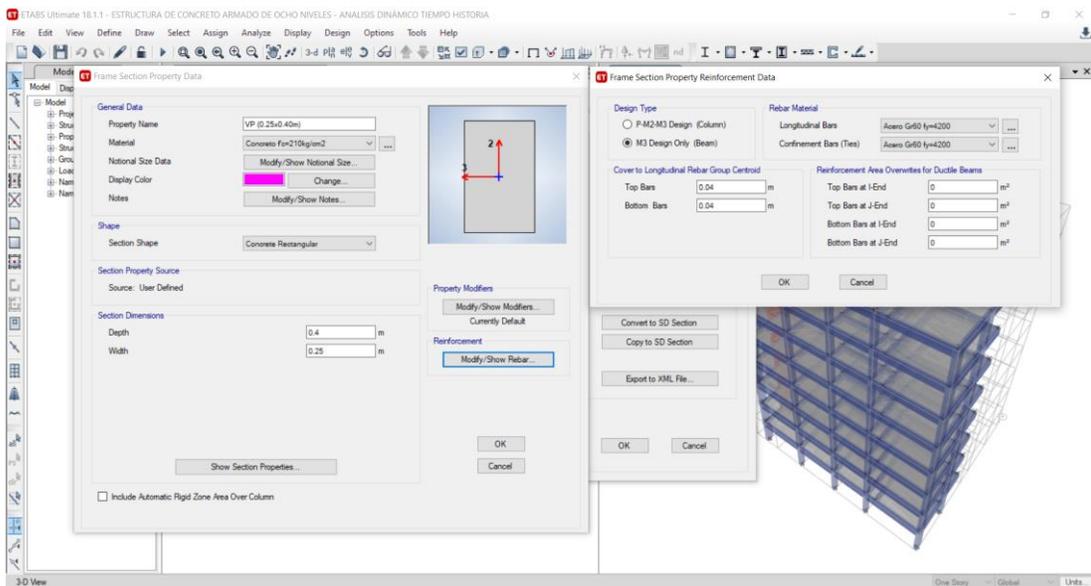


Figura 24. Especificaciones de la viga VP-01 en el software

Fuente: Elaboración propia

- Viga VP-02: 0.30x0.50m

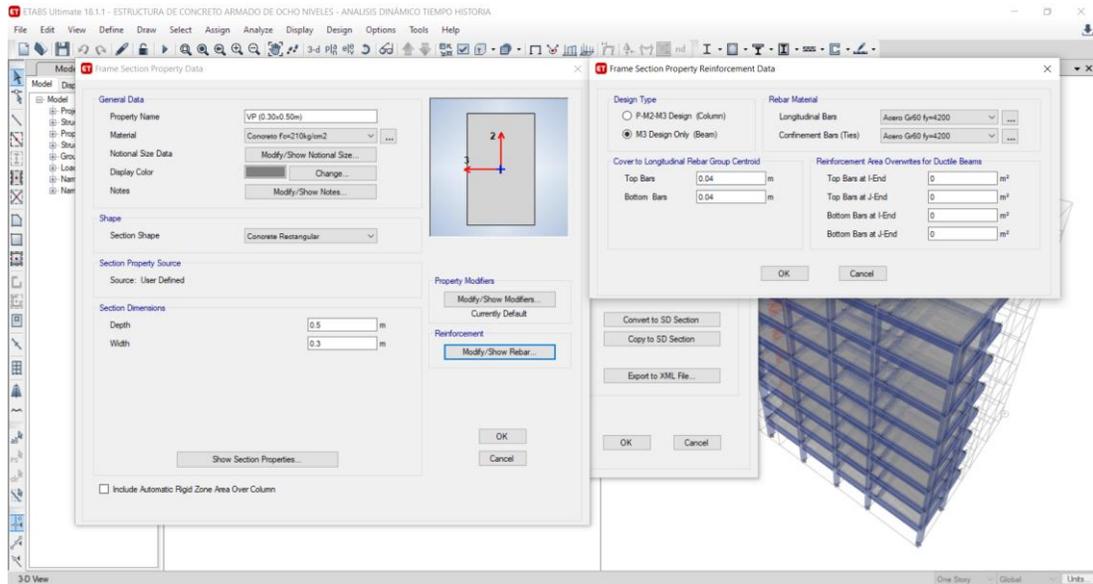


Figura 25. Especificaciones de la viga VP-02 en el software

Fuente: Elaboración propia

- Losa aligerada: $e=0.20m$

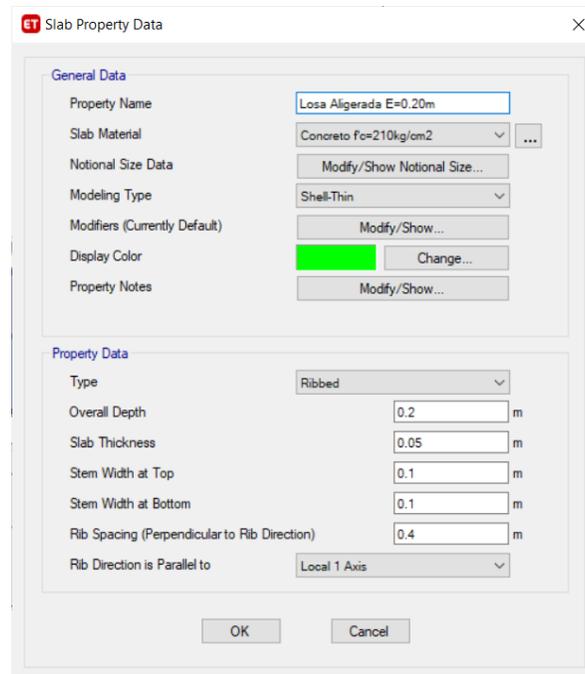


Figura 26. Especificaciones de la losa aligerada $e=0.20m$ en el software

Fuente: Elaboración propia

- Losa maciza: $e=0.20\text{m}$

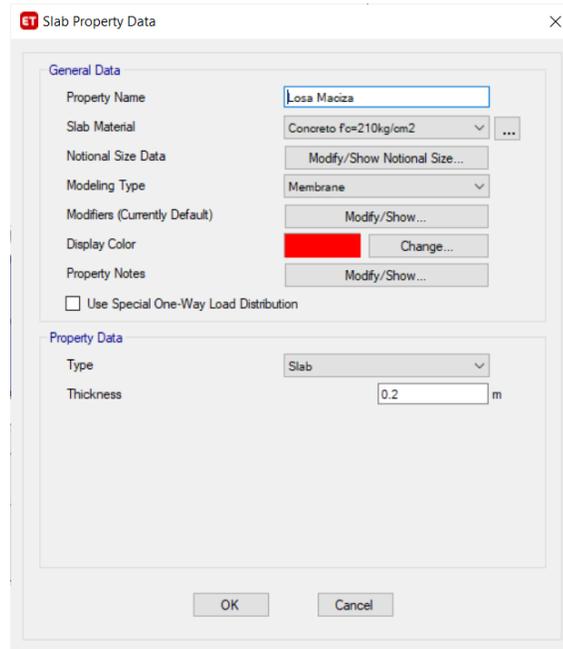


Figura 27. Especificaciones de la losa aligerada $e=0.20\text{m}$ en el software

Fuente: Elaboración propia

- Losa de escalera: $e=0.15\text{ m}$

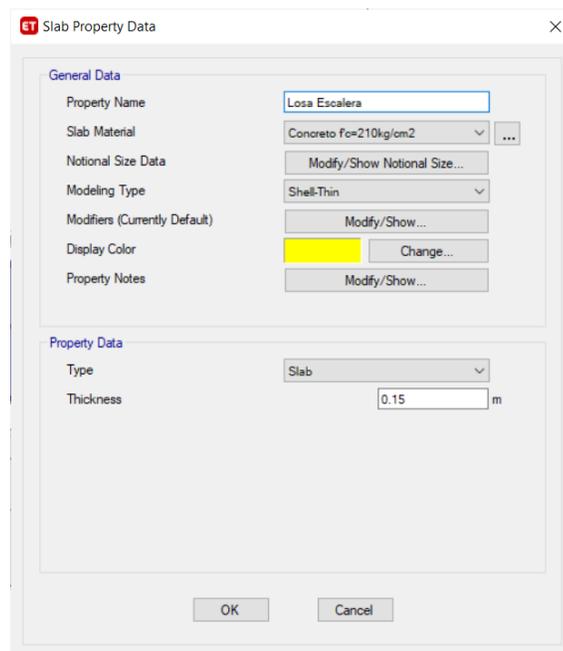


Figura 28. Especificaciones de la losa de la escalera en el software

Fuente: Elaboración propia

- Muro de corte M1

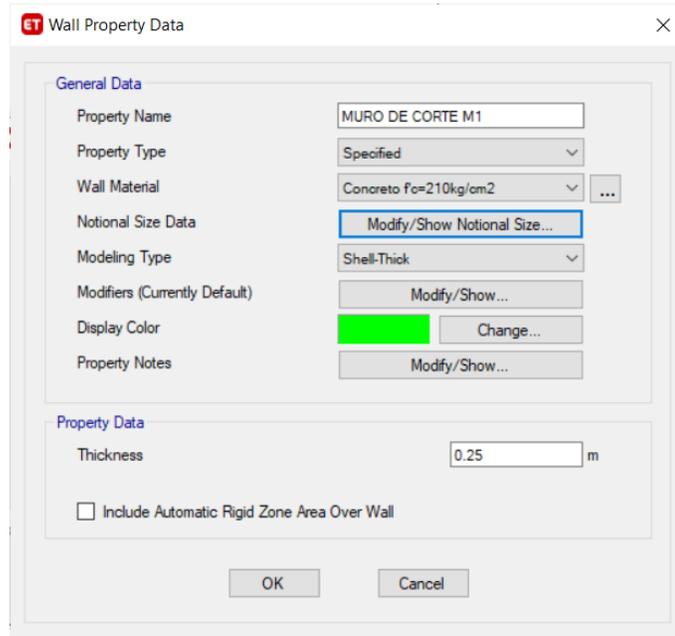


Figura 29. Especificaciones del muro de corte M1 en el software
Fuente: Elaboración propia

- Placa tipo "C"

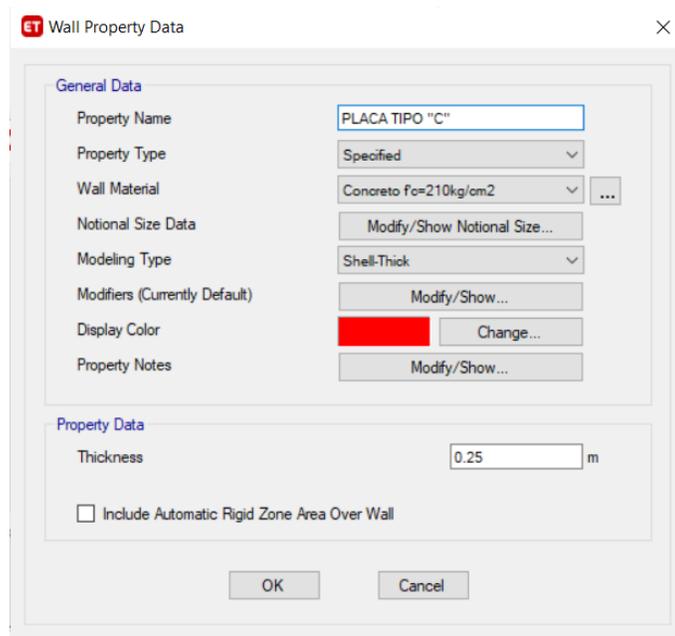


Figura 30. Especificaciones de la placa tipo "C" en el software
Fuente: Elaboración propia

4.3.3 Cargas de diseño

Para realizar el modelo estructural se deben considerar las cargas que contendrá la edificación según lo que estipula la norma E.020 del Reglamento Nacional de Edificaciones.

- Carga muerta:

“Es el peso de los materiales, dispositivos de servicio, equipos, tabiques y otros elementos soportados por la edificación, incluyendo su peso propio, que se propone sean permanentes o con una variación en su magnitud pequeña en el tiempo” (E.020, p. 1, 2006). Teniendo en consideración lo mencionado es que se tendrán las siguientes cargas para la estructura:

- Peso de propio de losa: 300 kg/m²
- Peso de tabiquería: 100 kg/m²
- Peso de piso terminado: 100 kg/m²

Estos valores serán ingresados en el software ETABS v.18.1.1 antes de realizar el análisis sísmico.

- Carga viva:

“Es el peso de todos los ocupantes, materiales, equipos, muebles y otros elementos móviles soportados por la edificación” (E.020, p. 1, 2006). En consecuencia, las cargas vivas a tener en consideración serán las siguientes:

- Sobrecarga: 200 kg/m²
- Peso de techo: 100 kg/cm²

Estos valores serán ingresados en el software ETABS v.18.1.1 antes de realizar el análisis sísmico.

Adicional a esto, la norma E.030 menciona también que para la estimación del peso, a la carga total de la edificación se le aumenta un 25% de carga viva en el caso de edificaciones tipo C, lo cual se podrá observar en las siguientes páginas.

4.3.4 Modelo de la estructura de ocho niveles

Con todos los elementos necesarios para el modelamiento de la estructura es que se obtiene finalmente como se puede observar en la siguiente figura:

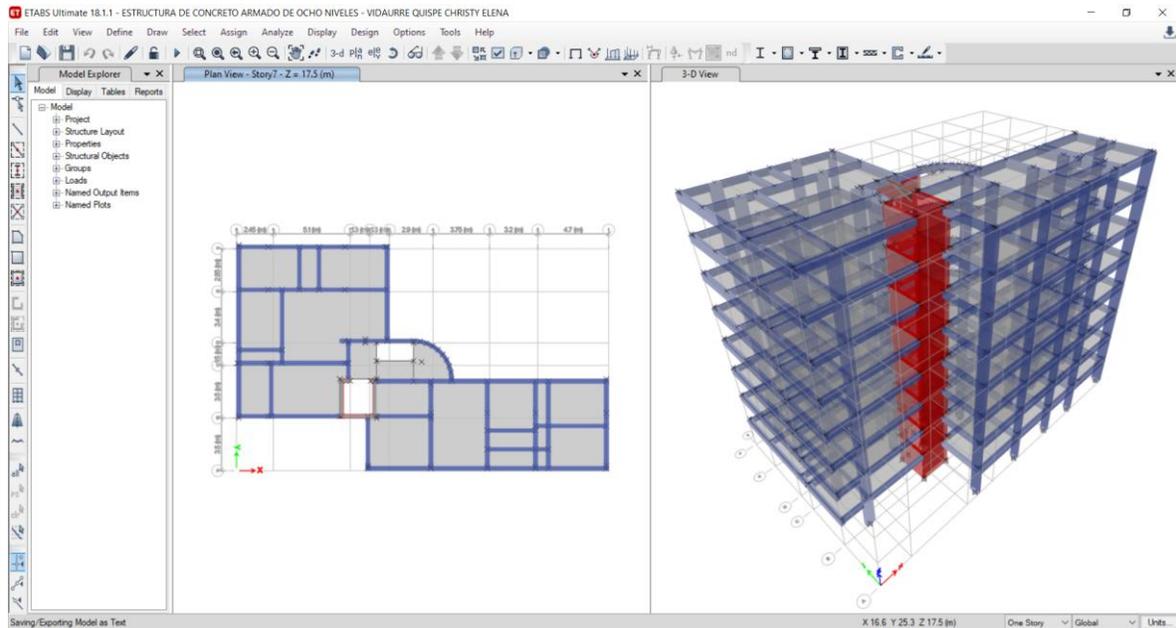


Figura 31. Estructura de ocho niveles sin aisladores modelada

Fuente: Elaboración propia

Teniendo la estructura en el software se puede proceder a realizar el respectivo análisis sísmico según indica la norma E.030 Diseño Sismorresistente.

4.4 Análisis sísmico de la estructura sin aisladores sísmicos

4.4.1 Análisis estático o de fuerzas equivalente

El presente análisis, como indican Gottala, Nanda y Yajdhani (2015, p. 1) es un método de análisis conocido por llevar coeficientes sísmicos, además de que este se basa en las fuerzas de inercia correspondientes a la segunda ley de Newton. Considerando esto, la norma E.030 Diseño Sismorresistente nos manifiesta que, para iniciar el análisis, primero se deben identificar los siguientes valores:

- Factor de Zonificación (Z):
Se determina dependiendo la zona en la que se ubica la edificación, considerando que la estructura de ocho niveles está localizada en Lima,

dentro de la Zona 4 como indica la norma E.030 en el anexo 1, el valor del factor de zonificación es 0.45.

- Tipo de perfil de suelo:

Según el mapa de tipos de suelos de la ciudad de Lima, Lince se encuentra en la zona del suelo tipo S1. Por otra parte, el CISMID realizó un estudio de mecánica de suelo en el distrito de Lince que indica que en su mayoría es suelo muy rígido, teniendo las características del perfil de suelo tipo S1.

- Parámetros de sitio (S , T_P y T_L):

Con el perfil de tipo de suelo y el factor de zonificación identificados se pueden obtener también de la norma los periodos T_P y T_L , y además el factor de suelo “S”, mediante las tablas que brinda la norma.

Tabla 3. Factor de Suelo “S”

Tabla N° 3 FACTOR DE SUELO “S”				
SUELO ZONA	S ₀	S ₁	S ₂	S ₃
Z ₄	0,80	1,00	1,05	1,10
Z ₃	0,80	1,00	1,15	1,20
Z ₂	0,80	1,00	1,20	1,40
Z ₁	0,80	1,00	1,60	2,00

Fuente: Norma E.030 Diseño Sismorresistente.

Tabla 4. Periodos T_P y T_L

Tabla N° 4 PERÍODOS “ T_P ” Y “ T_L ”				
	Perfil de suelo			
	S ₀	S ₁	S ₂	S ₃
T_P (s)	0,3	0,4	0,6	1,0
T_L (s)	3,0	2,5	2,0	1,6

Fuente: Norma E.030 Diseño Sismorresistente.

Por lo que se obtuvo un factor de suelo “S” de 1.00, y los periodos T_P y T_L de 0.40 y 2.50.

- Factor de uso (U):

Tabla 5. Categoría y regularidad de las edificaciones

Categoría de la Edificación	Zona	Restricciones
A1 y A2	4, 3 y 2	No se permiten irregularidades
	1	No se permiten irregularidades extremas

B	4, 3 y 2	No se permiten irregularidades extremas
	1	Sin restricciones
C	4 y 3	No se permiten irregularidades extremas
	2	No se permiten irregularidades extremas excepto en edificios de hasta 2 pisos u 8 m de altura total
	1	Sin restricciones

Fuente: Norma E.030 Diseño Sismorresistente.

Este factor depende de la utilidad de la edificación ya que la norma las separa por categorías, en este caso a las viviendas multifamiliares las considera en la categoría C, por lo que tiene un factor de 1.00.

- Coeficiente básico de reducción (R_0):

El valor del coeficiente se obtiene identificando el sistema estructural por lo que al ser aporticado vendría a ser 8.00 como indica la siguiente tabla:

Tabla 6. Sistemas estructurales

Sistema Estructural	Coeficiente Básico de Reducción R_0 (*)
Acero:	
Pórticos Especiales Resistentes a Momentos (SMF)	8
Pórticos Intermedios Resistentes a Momentos (IMF)	5
Pórticos Ordinarios Resistentes a Momentos (OMF)	4
Pórticos Especiales Concéntricamente Arriostrados (SCBF)	7
Pórticos Ordinarios Concéntricamente Arriostrados (OCBF)	4
Pórticos Excéntricamente Arriostrados (EBF)	8
Concreto Armado:	
Pórticos	8
Dual	7
De muros estructurales	6
Muros de ductilidad limitada	4
Albañilería Armada o Confinada	3
Madera	7(**)

Fuente: Norma E.030 Diseño Sismorresistente.

- Factores de Irregularidad (I_a , I_p):

Estos se determinan mediante las tablas que nos brinda la norma E.030 Diseño Sismorresistente donde se ubican las irregularidades estructurales en altura y las irregularidades estructurales en planta. En el caso del factor I_a se obtuvo una irregularidad de 1.00 puesto que no existe, mientras que para el

factor I_p se tiene una irregularidad de 0.90 ya que la estructura tiene sistemas no paralelos.

- Coeficiente de reducción de fuerzas sísmicas (R):

El valor se halla mediante la siguiente ecuación $R = R_0 * I_a * I_p$ por lo que al reemplazar los valores se obtiene 7.20.

Estos son todos los factores y coeficientes que se pudieron identificar gracias a la norma. Sin embargo, hacen falta hallar otros valores fundamentales, los cuales se obtendrán mediante el software ETABS v.18.1.1.

Siguiendo lo que menciona el artículo 23 de la Norma E.030 respecto a la estimación de peso, la cual en edificaciones de la categoría C es la carga permanente y total de la estructura más el 25% de la carga viva.

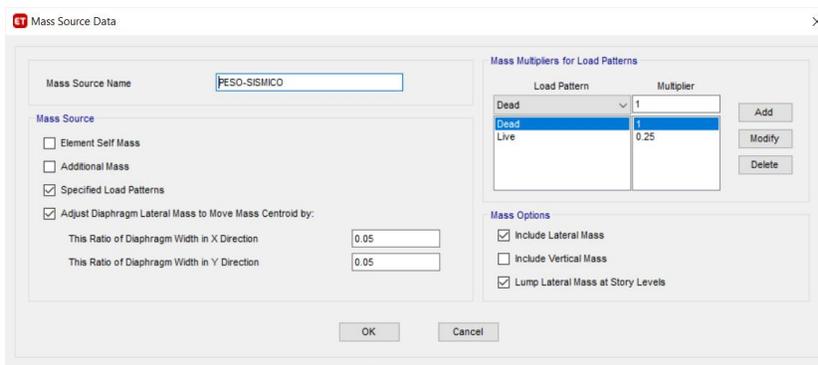


Figura 32. Configuración de peso sísmico en la estructura en el software
Fuente: Elaboración propia

Luego de asignar diafragmas, asignar brazos rígidos, configurar el peso sísmico y definir los casos modales se obtendrán finalmente los resultados deseados como se muestra en la siguiente figura.

Case	Mode	Period sec	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX	RY	RZ
Modal	1	1.399	0.0071	0.436	0	0.0071	0.436	0	0.133	0.0018	0.25
Modal	2	0.991	0.0366	0.2957	0	0.0436	0.7317	0	0.1029	0.0114	0.43
Modal	3	0.857	0.6511	0.0038	0	0.6947	0.7355	0	0.0011	0.2671	0.04
Modal	4	0.493	0.024	0.0001	0	0.7188	0.7356	0	3.216E-05	0.0085	0.00
Modal	5	0.435	0.0009	0.0654	0	0.7196	0.801	0	0.253	0.0073	0.00
Modal	6	0.303	0.0046	0.0522	0	0.7243	0.8532	0	0.2019	0.0176	0.00
Modal	7	0.277	0.0001	0.0298	0	0.7244	0.8829	0	0.0116	0.0001	0.00
Modal	8	0.233	0.0018	0.0247	0	0.7262	0.9076	0	0.0508	0.0038	0.01

Modal	9	0.225	0.136	0.0001	0	0.8622	0.9078	0	0.0005	0.3506	0.00
Modal	10	0.159	0.0019	0.0151	0	0.8642	0.9229	0	0.0292	0.0043	0.02
Modal	11	0.15	0.0002	0.0176	0	0.8643	0.9405	0	0.0531	0.0007	0.00
Modal	12	0.14	0.0048	0.0001	0	0.8692	0.9405	0	3.397E-05	0.004	0.00
Modal	13	0.113	0.0001	2.83E-06	0	0.8692	0.9405	0	1.561E-05	4.799E-05	1.595E-05
Modal	14	0.107	0.0078	2.426E-05	0	0.877	0.9405	0	2.656E-05	0.0091	0.00
Modal	15	0.106	0.0006	0.0047	0	0.8777	0.9453	0	0.012	0.0018	0.00
Modal	16	0.102	0.017	0.0096	0	0.8947	0.9549	0	0.0304	0.0345	0.00
Modal	17	0.101	0.0385	0.0054	0	0.9331	0.9602	0	0.0176	0.0864	0.00
Modal	18	0.088	0.0001	0.0002	0	0.9332	0.9604	0	0.0002	0.0001	0.00
Modal	19	0.081	0.0002	0.0045	0	0.9334	0.9649	0	0.0142	0.0006	0.00
Modal	20	0.072	0.0003	0.008	0	0.9337	0.9728	0	0.0222	0.0009	0.00
Modal	21	0.066	0.0001	0.0027	0	0.9339	0.9755	0	0.0079	0.0004	0.00
Modal	22	0.063	0.0002	0	0	0.9341	0.9755	0	8.65E-07	0.0005	2.625E-05
Modal	23	0.06	0.0288	4.743E-06	0	0.9628	0.9755	0	1.444E-05	0.0826	0.00
Modal	24	0.058	1.352E-06	0.001	0	0.9628	0.9766	0	0.0033	7.006E-06	0.00

Figura 33. Masas participativas de la estructura mediante el software

Fuente: Elaboración propia

Para el caso de los modos se consideraron 3 modos por cada nivel por lo que se obtuvieron 24 modos. Pero los modos principales que la norma indica tomar en consideración son los dos primeros, puesto que en se obtienen los periodos los cuales corresponderán al eje X o eje Y de acuerdo a la cantidad de masa participativa, por lo que se deduce lo siguiente:

$$T_x = 0.991 \text{ considerando que } U_x = 0.0364$$

$$T_y = 1.399 \text{ considerando que } U_y = 0.4339$$

Con el periodo respectivo de cada eje se puede obtener el coeficiente de amplificación sísmica (C), según indica la norma en el artículo 14. Considerando las restricciones del coeficiente, cumple con que $T_P < T < T_L$, por lo cual la formula a utilizar es la siguiente:

$$C = 2.5 * (T_P / T) \text{ reemplazando los valores } C = 1.01 \text{ en el eje X}$$

$$C = 2.5 * (T_P / T) \text{ reemplazando los valores } C = 0.71 \text{ en el eje Y}$$

De igual forma, se puede obtener el valor de k que es un exponente correspondiente al periodo fundamental (T). Teniendo dos casos como indica en el artículo 28.3.2, cumpliendo el segundo donde T es mayor a 0.5 segundos por lo que el valor de k se calcula con la siguiente formula:

$$k = (0.75 + 0.5 * T) \text{ reemplazando los valores } k = 1.25 \text{ en el eje X}$$

$$k = (0.75 + 0.5 * T) \text{ reemplazando los valores } k = 1.45 \text{ en el eje Y}$$

Con todos los coeficientes y factores completos en su totalidad, solo hace falta la estimación del peso cuyo factor es fundamental para la formula principal de la norma E.030 Diseño Sismorresistente. Por lo que continuando con el software ETABS v.18.1.1, se procede a visualizar ahora los resultados de las fuerzas.

Story	Output Case	Case Type	Step Type	Step Number	Location	P kgf	VX kgf	VY kgf	T kgf-m	MX kgf-m	MY kgf-m
Story8	P: 100%CM + 25%CV	Combination			Bottom	289970.1	0	0	0	1841898.25	-3113119.86
Story7	P: 100%CM + 25%CV	Combination			Bottom	579935.63	0	0	0	3684140.55	-6226074.99
Story6	P: 100%CM + 25%CV	Combination			Bottom	869901.17	0	0	-7.951E-05	5526382.84	-9339030.12
Story5	P: 100%CM + 25%CV	Combination			Bottom	1159866.7	0	0	-7.032E-05	7368625.14	-12451985.24
Story4	P: 100%CM + 25%CV	Combination			Bottom	1449832.23	0	0	-0.0001243	9210867.43	-15564940.37
Story3	P: 100%CM + 25%CV	Combination			Bottom	1739797.77	0	0	-0.0001262	11053109.72	-18677895.5
Story2	P: 100%CM + 25%CV	Combination			Bottom	2029763.3	0	0	-0.0001197	12895352.02	-21790850.62
Story1	P: 100%CM + 25%CV	Combination			Bottom	2319728.84	0	0	-0.0001126	14737594.31	-24903805.75

Figura 34. Historial de fuerzas del peso sísmico del software

Fuente: Elaboración propia

En el caso de los resultados de P, que es el peso, como se puede observar en la tabla en el lado derecho se ha realizado el cálculo del peso por cada nivel, puesto que el software da los resultados del peso en sumatoria del último piso al primer piso.

Tabla 7. Pesos de cada nivel en kg y Tn

TABLA: HISTORIAL DE FUERZAS				PESO	PESO	
Story	Output Case	Case Type	Location	P kgf	NIVEL Kg	NIVEL Tn
Story8	P: 100%CM+25%CV	Combination	Bottom	289970.1	289970.1	289.97
Story7	P: 100%CM+25%CV	Combination	Bottom	579935.63	289965.53	289.97
Story6	P: 100%CM+25%CV	Combination	Bottom	869901.17	289965.54	289.97
Story5	P: 100%CM+25%CV	Combination	Bottom	1159866.7	289965.53	289.97
Story4	P: 100%CM+25%CV	Combination	Bottom	1449832.23	289965.53	289.97
Story3	P: 100%CM+25%CV	Combination	Bottom	1739797.77	289965.54	289.97
Story2	P: 100%CM+25%CV	Combination	Bottom	2029763.3	289965.53	289.97
Story1	P: 100%CM+25%CV	Combination	Bottom	2319728.84	289965.54	289.97

Fuente: Elaboración propia

Con los pesos de cada nivel se procede a hacer una sumatoria en la cual se obtiene un total de 2319.73 Tn, cuyo valor será reemplazado en la fórmula de la fuerza

cortante en la base indicado en artículo 28.2.1 en la norma E.030 Diseño Sismorresistente.

$$V = \frac{Z * U * C * S}{R} * P$$

Asimismo, la ASCE 7-16 (2016, p. 101) respecto a esta fuerza indica que está determinada por el peso de la edificación y el coeficiente de respuesta sísmica, formula replicada para la norma peruana teniendo en consideración el coeficiente como la multiplicación y división de los coeficientes identificados.

Dado a que se hará análisis en el eje X y Y, principalmente por el factor C varia es que se tendrán dos cortantes como se muestra a continuación:

$$V_x = \frac{0.45 * 1.00 * 1.01 * 1.00}{7.20} * 2319.73 = 147.30 \text{ Tn}$$

$$V_y = \frac{0.45 * 1.00 * 0.71 * 1.00}{7.20} * 2319.73 = 103.63 \text{ Tn}$$

Con todos los valores necesarios es que se puede obtener las fuerzas laterales en cada piso siguiendo las siguientes formulas:

$$F_i = \alpha_i \cdot V \quad \alpha_i = \frac{P_i(h_i)^k}{\sum_{j=1}^n P_j(h_j)^k}$$

Considerando que la norma peruana se basó en el código ASCE 7-16 (2016, p. 102) se entiende “P” es peso sísmico correspondiente al piso, “hi” y “hj” es la altura desde la base hasta el nivel correspondiente, y finalmente “k” es el valor calculado anteriormente, con los respectivos valores se obtiene “α” que es identificado como factor de distribución vertical. Teniendo en cuenta lo mencionado, se obtiene este factor por cada piso por lo que al multiplicarlo con la fuerza cortante de la base de obtienen las fuerzas verticales. Este proceso se realizó mediante el software Microsoft Excel como se muestra a continuación:

Tabla 8. Fuerzas laterales en cada piso en el eje X

Piso	Peso (Tn)	hi (m)	hi ^k	P*h ^k	Alfa	Fi (Tn)	V (Tn)	MT accidental (Tn-m)
P8	289.97	20.00	41.73	12100.02	0.25	35.929	35.929	38.265
P7	289.97	17.50	35.33	10245.90	0.21	30.424	66.353	32.401
P6	289.97	15.00	29.16	8456.06	0.17	25.109	91.462	26.741
P5	289.97	12.50	23.24	6738.26	0.14	20.008	111.470	21.309
P4	289.97	10.00	17.60	5103.24	0.10	15.153	126.623	16.138
P3	289.97	7.50	12.30	3566.44	0.07	10.590	137.213	11.278
P2	289.97	5.00	7.42	2152.35	0.04	6.391	143.604	6.806
P1	289.97	2.50	3.13	907.78	0.02	2.696	146.300	2.871
Suma	2319.73			49270.06	1.00	146.300		

Fuente: Elaboración propia

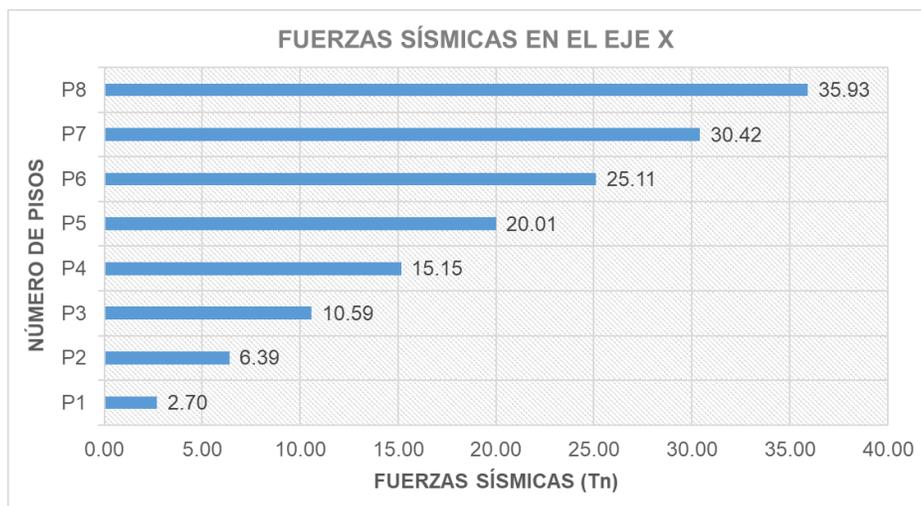


Figura 35. Distribución de fuerzas sísmicas sin aisladores en dirección X

Fuente: Elaboración propia

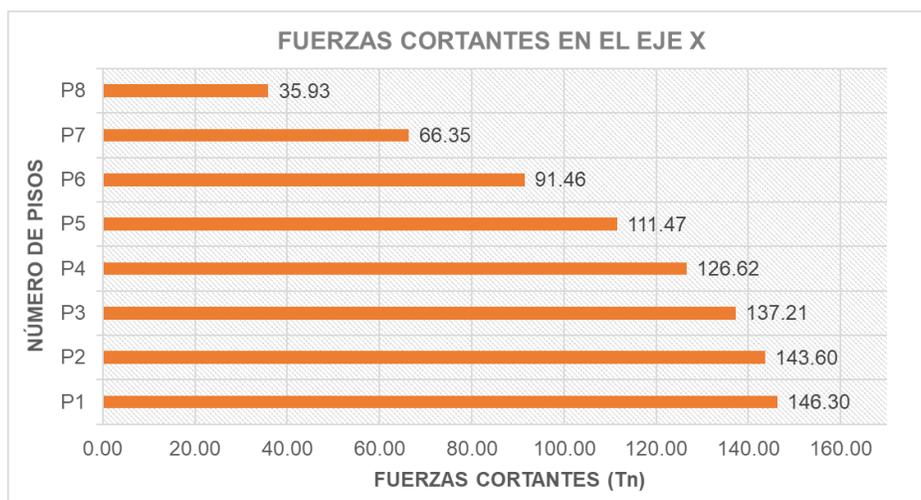


Figura 36. Distribución de fuerzas cortantes sin aisladores en dirección X

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9. Fuerzas laterales en cada piso en el eje Y

Piso	Peso (Tn)	hi (m)	hi ^k	P*h ^k	Alfa	Fi (Tn)	V (Tn)	MT accidental (Tn-m)
P8	289.97	20.00	76.89	22294.42	0.26	27.419	27.419	29.421
P7	289.97	17.50	63.36	18370.88	0.22	22.594	50.013	24.243
P6	289.97	15.00	50.67	14692.33	0.17	18.070	68.083	19.389
P5	289.97	12.50	38.90	11280.22	0.13	13.873	81.956	14.886
P4	289.97	10.00	28.15	8162.94	0.10	10.039	91.995	10.772
P3	289.97	7.50	18.55	5379.57	0.06	6.616	98.612	7.099
P2	289.97	5.00	10.31	2988.85	0.04	3.676	102.287	3.944
P1	289.97	2.50	3.77	1094.36	0.01	1.346	103.633	1.444
Suma	2319.73			84263.56	1.00	103.633		

Fuente: Elaboración propia

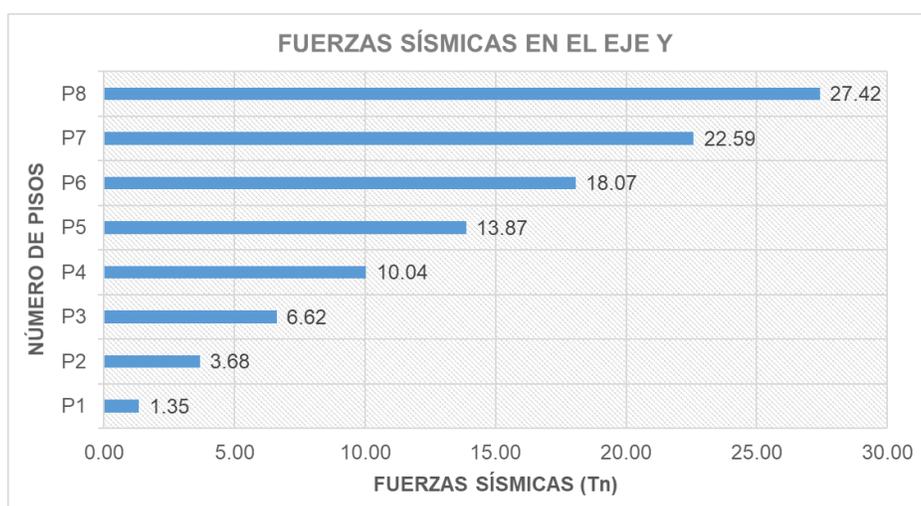


Figura 37. Distribución de fuerzas sísmicas sin aisladores en dirección Y

Fuente: Elaboración propia



Figura 38. Distribución de fuerzas cortantes sin aisladores en dirección Y

Fuente: Elaboración propia

Teniendo los valores calculados se procede a ingresarlos en el software.

Story	Diaphragm	Fx kgf	Fy kgf	Mz kgm
Story8	D8	3929 117	0	38264 50538
Story7	D7	30423 609	0	33401 14319
Story6	D6	25108 948	0	26741 02943
Story5	D5	20008 211	0	21308 74465
Story4	D4	15153 287	0	16138 25018
Story3	D3	10589 993	0	11278 34207
Story2	D2	6391 076	0	6806 49553
Story1	D1	2695 911	0	2870 71937

Figura 39. Ingreso de las fuerzas sísmicas en X en el software

Fuente: Elaboración propia

Story	Diaphragm	Fx kgf	Fy kgf	Mz kgm
Story8	D8	0	27419 271	29420 87775
Story7	D7	0	22593 823	24243 17261
Story6	D6	0	18069 676	19388 76278
Story5	D5	0	13873 216	14885 96063
Story4	D4	0	10039 361	10772 23458
Story3	D3	0	6616 181	7099 162518
Story2	D2	0	3675 895	3944 235371
Story1	D1	0	1345 923	1444 175123

Figura 40. Ingreso de las fuerzas sísmicas en Y en el software

Fuente: Elaboración propia

Con los datos ingresados se procede a hacer el análisis mediante el software el cual muestra en la vista 3D como sería el movimiento de la estructura ante las fuerzas sísmicas.

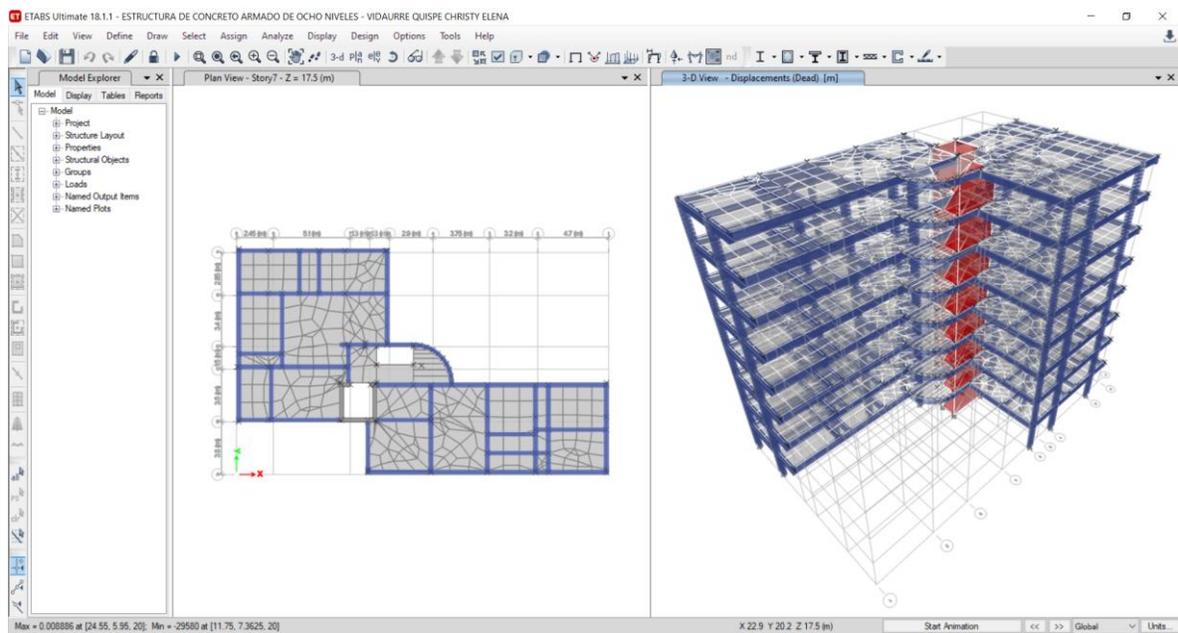


Figura 41. Vista 3D y de planta del resultado del análisis estático sin aisladores

Fuente: Elaboración propia

Según el artículo 32 de la norma E.030, la deriva máxima es 0.007 para una estructura donde su material predominante es el concreto armado. Por lo que al observar el resultado del software se hace evidente que la edificación no cumple con la restricción mencionada en la mayoría de sus niveles.

Story	Output Case	Case Type	Step Type	Step Number	Direction	Drift	Label	X m	Y m	Z m
Story8	DERIVA SE-X	Combination			X	0.004707	74	24.55	0.15	20
Story7	DERIVA SE-X	Combination			X	0.005614	74	24.55	0.15	17.5
Story6	DERIVA SE-X	Combination			X	0.006526	74	24.55	0.15	15
Story5	DERIVA SE-X	Combination			X	0.007195	74	24.55	0.15	12.5
Story4	DERIVA SE-X	Combination			X	0.007485	74	24.55	0.15	10
Story3	DERIVA SE-X	Combination			X	0.007206	74	24.55	0.15	7.5
Story2	DERIVA SE-X	Combination			X	0.00606	74	24.55	0.15	5
Story1	DERIVA SE-X	Combination			X	0.003047	72	19.85	0.25	2.5

Figura 42. Resultado de derivas en dirección X sin aisladores

Fuente: Elaboración propia

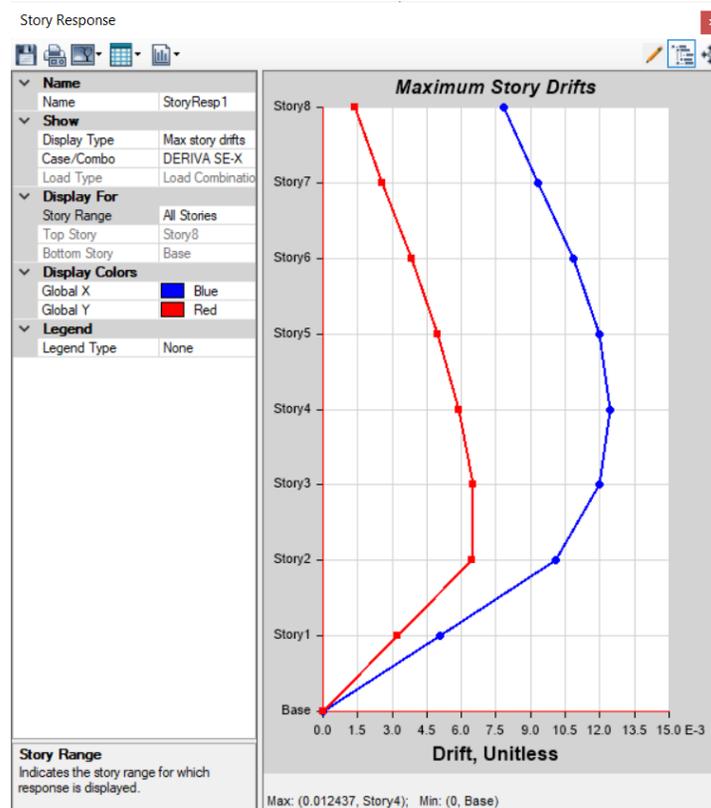


Figura 43. Gráfico de deriva máxima en dirección X sin aisladores

Fuente: Elaboración propia

Considerando que también se obtiene las derivas máximas en el eje Y, se observa en la siguiente figura que en la mayoría de los niveles no cumple con la restricción.

Story	Output Case	Case Type	Step Type	Step Number	Direction	Drift	Label	X m	Y m	Z m
Story8	DERIVA SE-Y	Combination			Y	0.004407	8	0.15	3.625	20
Story7	DERIVA SE-Y	Combination			Y	0.005999	8	0.15	3.625	17.5
Story6	DERIVA SE-Y	Combination			Y	0.007452	8	0.15	3.625	15
Story5	DERIVA SE-Y	Combination			Y	0.00854	8	0.15	3.625	12.5
Story4	DERIVA SE-Y	Combination			Y	0.009176	8	0.15	3.625	10
Story3	DERIVA SE-Y	Combination			Y	0.009213	8	0.15	3.625	7.5
Story2	DERIVA SE-Y	Combination			Y	0.008103	8	0.15	3.625	5
Story1	DERIVA SE-Y	Combination			Y	0.003881	47	2.1	3.625	2.5

Figura 44. Resultado de derivas en dirección Y sin aisladores

Fuente: Elaboración propia

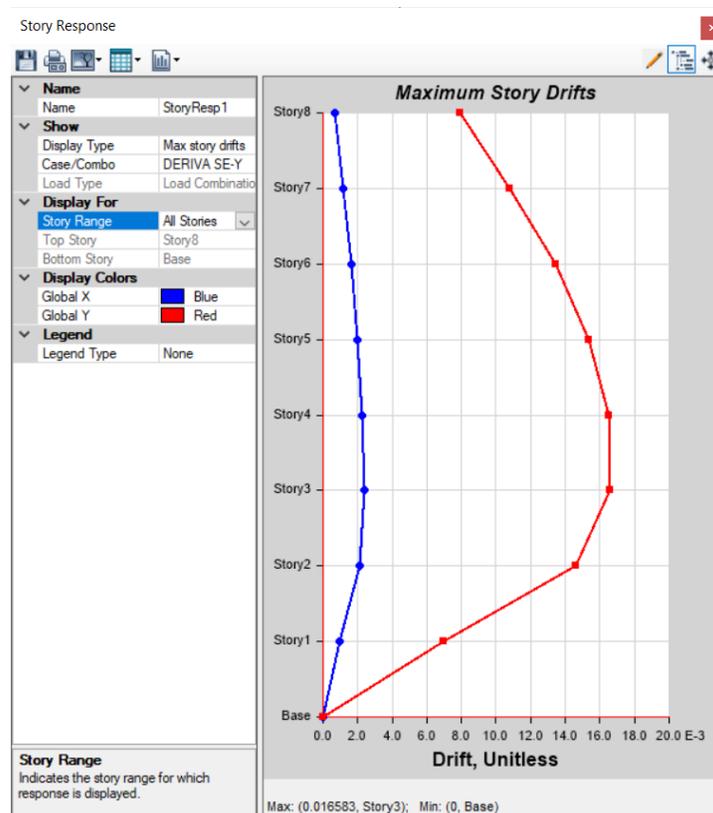


Figura 45. Gráfico de deriva máxima en dirección Y sin aisladores

Fuente: Elaboración propia

Con los resultados obtenidos en el análisis estático o de fuerzas estáticas equivalentes se realizó la siguiente tabla de resumen:

Tabla 10. Resultados de las derivas estáticas sin aisladores en X y Y

PISO	SISMO ESTÁTICO EN X			SISMO ESTÁTICA EN Y		
	DERIVA	E 030	RESULTADO	DERIVA	E 030	RESULTADO
8	0.004707	0.007	CUMPLE	0.004407	0.007	CUMPLE
7	0.005614	0.007	CUMPLE	0.005999	0.007	CUMPLE
6	0.006526	0.007	CUMPLE	0.007452	0.007	NO CUMPLE
5	0.007195	0.007	NO CUMPLE	0.00854	0.007	NO CUMPLE
4	0.007485	0.007	NO CUMPLE	0.009176	0.007	NO CUMPLE
3	0.007206	0.007	NO CUMPLE	0.009213	0.007	NO CUMPLE
2	0.00606	0.007	CUMPLE	0.008103	0.007	NO CUMPLE
1	0.003047	0.007	CUMPLE	0.003881	0.007	CUMPLE

Fuente: Elaboración propia

Por lo que se concluye, que los niveles 3, 4 y 5 no cumplen con la restricción de la norma E.030, llegando a derivas demasiado altas, al igual que en los niveles 6 y 2 en dirección en Y, puesto que sus derivas no cumplen tampoco. Sin embargo, cabe destacar que los niveles 8, 7 y 1 cumplen en su totalidad.

4.4.2 Análisis dinámico modal-espectral

Respecto al presenta análisis, Arvindreddy y Fernandes (2015, p. 3) mencionan que se diseña un espectro el cual es “la representación de la respuesta máxima de idealizado sistema de libertad de un solo grado que tiene cierto período y amortiguación, durante los movimientos de tierra de un terremoto”.

Asimismo, según lo indica la norma E.030, el análisis requiere inicialmente de haber pasado por el análisis estático puesto que además de ya tener todos los coeficientes y factores que necesita. Todo esto se empleará en la formula principal, la cual es la siguiente:

$$S_a = \frac{Z * U * C * S}{R} * g$$

El valor respectivo equivale al espectro de diseño que se procedera a insertar en una hoja del calculo del software Microsoft Excel para así obtener el grafico deseado en el eje X y en el eje Y como se muestra a continuación:

Tabla 11. Tabla de espectro de diseño

C	T	Sa Dir X-X	Sa Dir Y-Y
2.50	0.00	1.533	1.533
2.50	0.02	1.533	1.533
2.50	0.04	1.533	1.533
2.50	0.06	1.533	1.533
2.50	0.08	1.533	1.533
2.50	0.10	1.533	1.533
2.50	0.12	1.533	1.533
2.50	0.14	1.533	1.533
2.50	0.16	1.533	1.533
2.50	0.18	1.533	1.533
2.50	0.20	1.533	1.533
2.50	0.25	1.533	1.533
2.50	0.30	1.533	1.533
2.50	0.35	1.533	1.533
2.50	0.40	1.533	1.533
2.22	0.45	1.363	1.363
2.00	0.50	1.226	1.226
1.82	0.55	1.115	1.115
1.67	0.60	1.022	1.022
1.54	0.65	0.943	0.943
1.43	0.70	0.876	0.876
1.33	0.75	0.818	0.818
1.25	0.80	0.766	0.766
1.18	0.85	0.721	0.721
1.11	0.90	0.681	0.681
1.05	0.95	0.645	0.645
1.00	1.00	0.613	0.613
0.91	1.10	0.557	0.557
0.83	1.20	0.511	0.511
0.77	1.30	0.472	0.472
0.71	1.40	0.438	0.438
0.67	1.50	0.409	0.409
0.63	1.60	0.383	0.383
0.59	1.70	0.361	0.361
0.56	1.80	0.341	0.341
0.53	1.90	0.323	0.323
0.50	2.00	0.307	0.307
0.44	2.25	0.273	0.273
0.40	2.50	0.245	0.245
0.33	2.75	0.203	0.203
0.28	3.00	0.170	0.170
0.16	4.00	0.096	0.096
0.10	5.00	0.061	0.061
0.07	6.00	0.043	0.043
0.05	7.00	0.031	0.031
0.04	8.00	0.024	0.024
0.03	9.00	0.019	0.019
0.03	10.00	0.015	0.015

Fuente: Elaboración propia

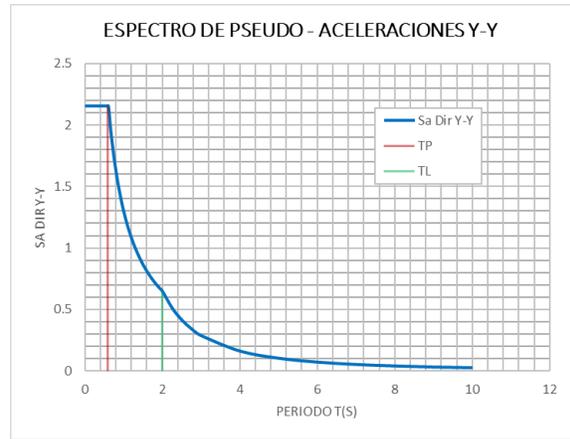
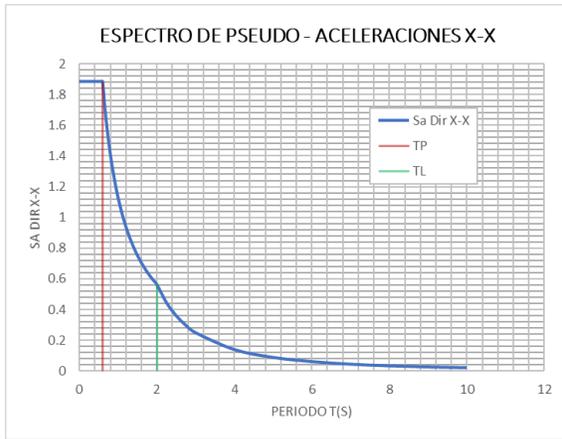


Figura 46. Espectro de Pseudo – Aceleraciones X-X

Figura 47. Espectro de Pseudo – Aceleraciones Y-Y

Fuente: Elaboración propia

Los valores mostrados en la tabla 13 fueron ingresados al software ETABS v.18.1.1 cómo se puede mostrar a continuación:

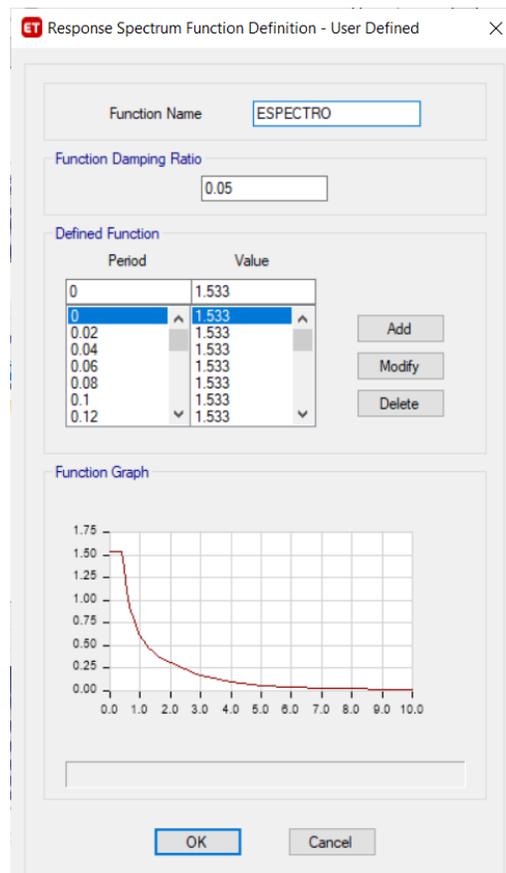


Figura 48. Espectro de pseudo aceleraciones ingresado al software

Fuente: Elaboración propia

Considerando que se realizara el análisis dinámico, se procede también a ingresar las cargas dinámicas para el eje X y el eje Y.

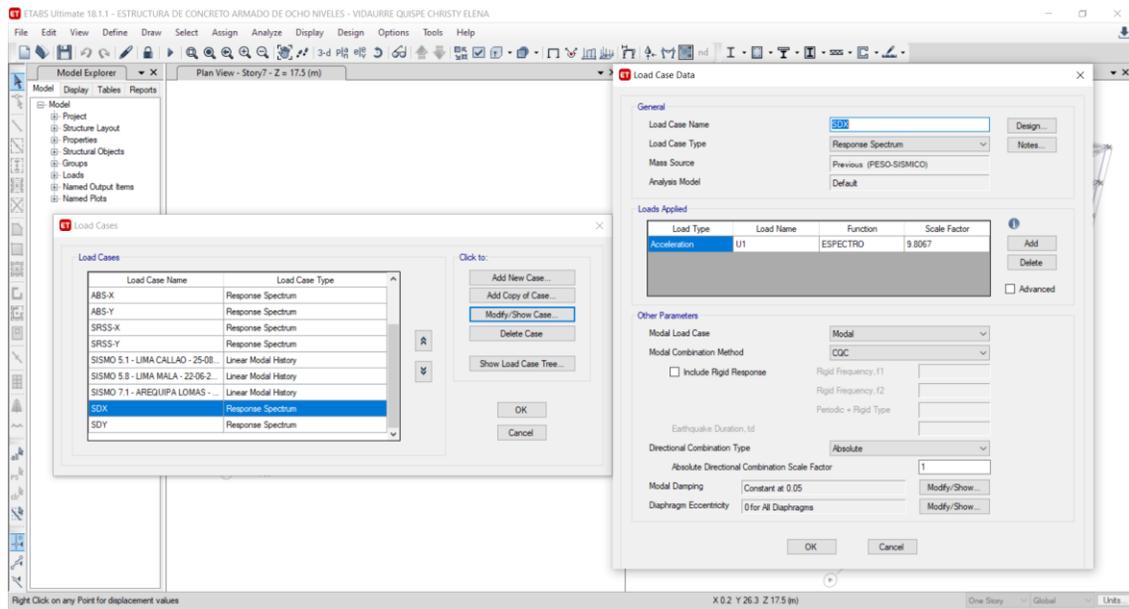


Figura 49. Ingreso de cargas dinámicas al software

Fuente: Elaboración propia

Teniendo los datos registrados en el software, se deja que este calcule la reacción de la edificación.

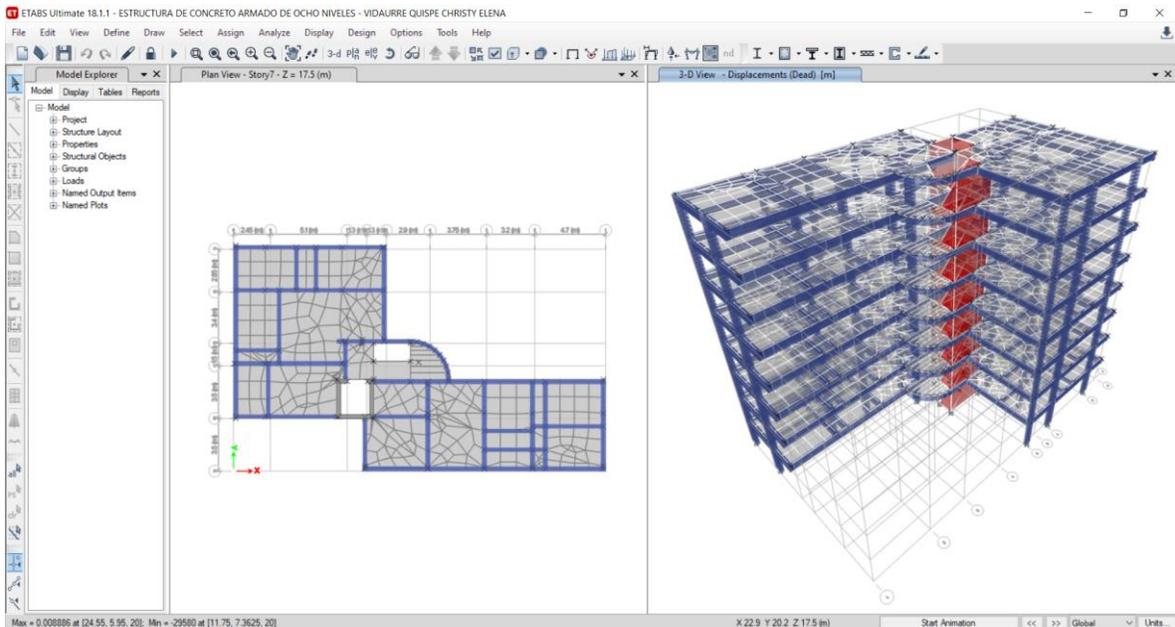


Figura 50. Vista 3D y de planta del resultado del análisis dinámico modal espectral sin aisladores

Fuente: Elaboración propia

En este caso al ser un análisis dinámico modal espectral, se desea conocer las fuerzas cortantes dinámicas en dirección X y Y para así compararlas con las fuerzas cortantes estáticas según lo que indica el artículo 29 inciso 4.

	Output Case	Case Type	Step Type	Step Number	FX kgf	FY kgf	FZ kgf	MX kgf-m	MY kgf-m	MZ kgf-m
▶	SD Y	LinRespSpec	Max		1020234.59	139542.4	0.003376	1812273.21	13364908.19	9583589.04
	SD X	LinRespSpec	Max		139542.41	625338.64	0.01	7628032.23	1804692.26	8589646.98

Figura 51. Fuerzas cortantes dinámicas de la base sin aisladores

Fuente: Elaboración propia

Los resultados indicados se tienen lo siguiente:

- Fuerzas cortantes dinámicas: $V_{DX} = 139.54 \text{ Tn}$ $V_{DY} = 139.54 \text{ Tn}$
- Fuerzas cortantes estáticas: $V_{EX} = 146.30 \text{ Tn}$ $V_{EY} = 103.63 \text{ Tn}$

Según lo que indica la norma para cada una de las direcciones consideradas en el análisis, la fuerza cortante dinámica en el primer entrepiso del edificio no puede ser menor que el 90% de la fuerza cortante estática para estructuras irregulares, lo cual es en el presente caso de la estructura si cumple como se muestra a continuación:

- ✓ $V_{DX} = 139.54 \text{ Tn} > 90\% V_{EX} = 107.00 \text{ Tn}$ (Cumple)
- ✓ $V_{DY} = 139.54 \text{ Tn} > 90\% V_{EY} = 112.37 \text{ Tn}$ (Cumple)

Respecto a la comparación de estas fuerzas estáticas y dinámicas, Kakpure y Mundhada (2016, p.19) indican que la diferencia de valores de desplazamiento entre análisis estático y dinámico es insignificante para pisos inferiores, conclusión que se comprueba con la presente investigación.

Continuando con los resultados del análisis dinámico modal espectral se obtienen también las frecuencias y periodos de los modos de vibración de la estructura, y de igual forma el porcentaje de participación modal.

ET Modal Periods And Frequencies

File Edit Format-Filter-Sort Select Options

Units: As Noted Hidden Columns: No 1 Frequ Sort: None

Filter: None

	Case	Mode	Period sec	Frequency cyc/sec	CircFreq rad/sec	Eigenvalue rad ² /sec ²
▶	Modal	1	1.399	0.715	4.4924	20.1813
	Modal	2	0.991	1.009	6.3406	40.2031
	Modal	3	0.857	1.168	7.3357	53.8132
	Modal	4	0.493	2.028	12.7415	162.3458
	Modal	5	0.435	2.3	14.4524	208.8732
	Modal	6	0.303	3.299	20.7269	429.603
	Modal	7	0.277	3.608	22.6727	514.0517
	Modal	8	0.233	4.285	26.9212	724.7519
	Modal	9	0.225	4.436	27.8726	776.8832
	Modal	10	0.159	6.291	39.5297	1562.5948
	Modal	11	0.15	6.658	41.8323	1749.9444
	Modal	12	0.14	7.13	44.796	2006.6795
	Modal	13	0.113	8.859	55.6655	3098.6435
	Modal	14	0.107	9.309	58.4875	3420.7891
	Modal	15	0.106	9.398	59.0464	3486.4721
	Modal	16	0.102	9.808	61.6273	3797.9226
	Modal	17	0.101	9.861	61.9605	3839.1014
	Modal	18	0.088	11.308	71.0498	5048.0754
	Modal	19	0.081	12.35	77.5975	6021.3725
	Modal	20	0.072	13.932	87.5368	7662.6868
	Modal	21	0.066	15.117	94.9814	9021.4609
	Modal	22	0.063	15.754	98.9827	9797.5758
	Modal	23	0.06	16.742	105.193	11065.5776
	Modal	24	0.058	17.183	107.9622	11655.8456

Record: << < 1 > >> of 24 Add Tables... Done

Figura 52. Resultados de los modos de vibración sin aisladores
Fuente: Elaboración propia

ET Modal Load Participation Ratios

File Edit Format-Filter-Sort Select Options

Units: As Noted Modal Load Hidden Columns: No 3 Sort: None

Filter: None

	Case	ItemType	Item	Static %	Dynamic %
▶	Modal	Acceleration	UX	99.99	96.28
	Modal	Acceleration	UY	100	97.66
	Modal	Acceleration	UZ	0	0

Record: << < 1 > >> Add Tables... Done

Figura 53. Resultados del porcentaje de participación modal sin aisladores
Fuente: Elaboración propia

Considerando que en el análisis de ingresaron cargas, además del espectro de pseudo aceleraciones, se tienen otras derivas en el sismo dinámico en dirección X así como en Y.

Story	Output Case	Case Type	Step Type	Step Number	Direction	Drift	Label	X m	Y m	Z m
Story8	SD-X	LinRespSpec	Max		X	0.007073	13	9.9	14.875	20
Story7	SD-X	LinRespSpec	Max		X	0.007885	13	9.9	14.875	17.5
Story6	SD-X	LinRespSpec	Max		X	0.00851	13	9.9	14.875	15
Story5	SD-X	LinRespSpec	Max		X	0.008865	13	9.9	14.875	12.5
Story4	SD-X	LinRespSpec	Max		X	0.008779	13	9.9	14.875	10
Story3	SD-X	LinRespSpec	Max		X	0.008024	13	9.9	14.875	7.5
Story2	SD-X	LinRespSpec	Max		X	0.006243	13	9.9	14.875	5
Story1	SD-X	LinRespSpec	Max		X	0.002863	13	9.9	14.875	2.5

Figura 54. Resultado de derivas en dirección X
Fuente: Elaboración propia

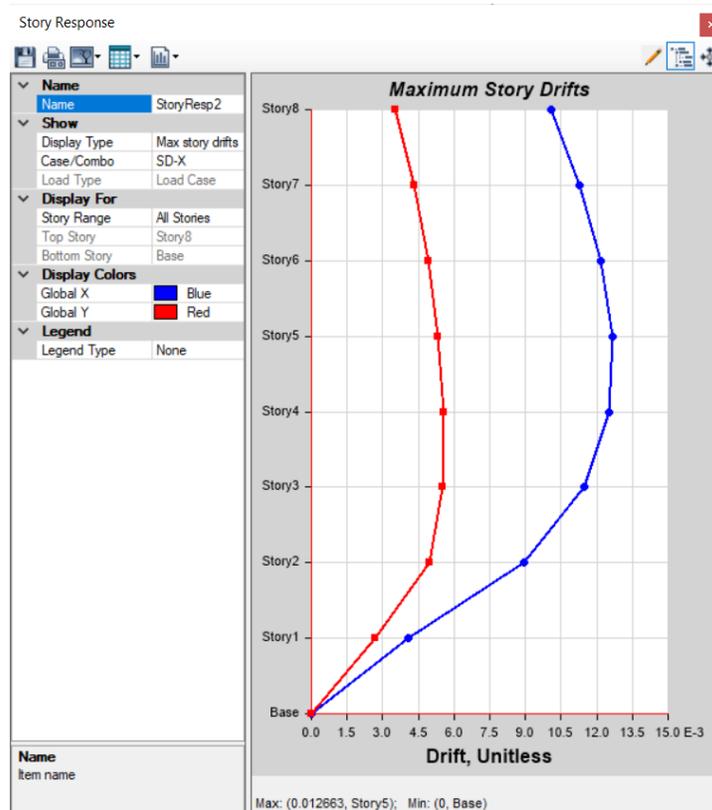


Figura 55. Gráfico de deriva máxima en dirección X
Fuente: Elaboración propia

Story	Output Case	Case Type	Step Type	Step Number	Direction	Drift	Label	X m	Y m	Z m
Story8	SD-Y	LinRespSpec	Max		Y	0.004458	8	0.15	3.625	20
Story7	SD-Y	LinRespSpec	Max		Y	0.006079	8	0.15	3.625	17.5
Story6	SD-Y	LinRespSpec	Max		Y	0.007316	8	0.15	3.625	15
Story5	SD-Y	LinRespSpec	Max		Y	0.008164	8	0.15	3.625	12.5
Story4	SD-Y	LinRespSpec	Max		Y	0.00884	8	0.15	3.625	10
Story3	SD-Y	LinRespSpec	Max		Y	0.009297	8	0.15	3.625	7.5
Story2	SD-Y	LinRespSpec	Max		Y	0.008826	8	0.15	3.625	5
Story1	SD-Y	LinRespSpec	Max		Y	0.004327	47	2.1	3.625	2.5

Figura 56. Resultado de derivas en dirección Y

Fuente: Elaboración propia

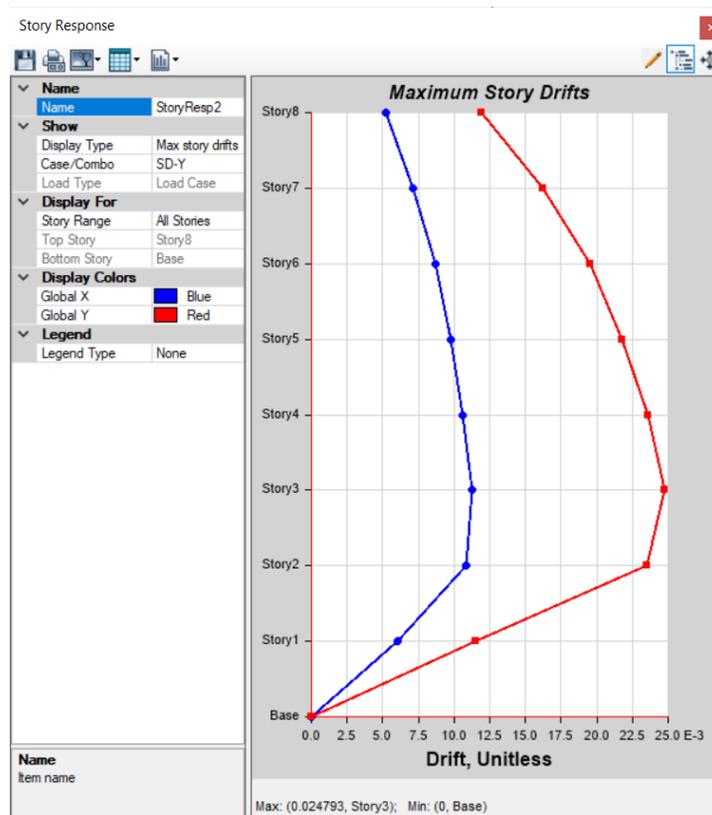


Figura 57. Gráfico de deriva máxima en dirección Y

Fuente: Elaboración propia

Mediante las figuras mostradas, se puede observar que para los dos casos de sismos dinámicos, en X y en Y, no se cumple las derivas correspondientes según lo indicado en la nombre. Para una mayor visión se presentan la siguiente tabla:

Tabla 12. Resultados de las derivas dinámicas en X y Y

PISO	SISMO DINÁMICA EN X			SISMO DINÁMICA EN Y		
	DERIVA	E 030	RESULTADO	DERIVA	E 030	RESULTADO
8	0.007073	0.007	NO CUMPLE	0.004458	0.007	CUMPLE
7	0.007885	0.007	NO CUMPLE	0.006079	0.007	CUMPLE
6	0.00851	0.007	NO CUMPLE	0.007316	0.007	NO CUMPLE
5	0.008865	0.007	NO CUMPLE	0.008164	0.007	NO CUMPLE
4	0.008779	0.007	NO CUMPLE	0.00884	0.007	NO CUMPLE
3	0.008024	0.007	NO CUMPLE	0.009297	0.007	NO CUMPLE
2	0.006243	0.007	CUMPLE	0.008826	0.007	NO CUMPLE
1	0.002863	0.007	CUMPLE	0.004327	0.007	CUMPLE

Fuente: Elaboración propia

Por lo que se concluye, que en los niveles 3, 4, 5 y 6 no se cumple en ambas direcciones con la restricción solicitada en la norma, asimismo, esto se encuentra presente en el nivel 8 y 7 en dirección X, y en el nivel 2 en dirección en Y. Por lo que se tiene el primer nivel como único nivel que cumple por completo la restricción.

4.4.3 Análisis dinámico tiempo-historia

El presente análisis, según Patil y Kumbhar (2013, p. 3) se utiliza para determinar la respuesta sísmica de una estructura bajo cargas dinámicas de un terremoto representativo. Es por ello que la norma E.030 Diseño Sismorresistente indica que como mínimo se deben de considerar tres conjuntos de registros de aceleraciones, estos serán ingresados en el software ETABS v.18.1.1 para así poder tener como resultados fuerzas sísmicas, la cortante basal y las derivas por cada nivel de la estructura.

Dado a que la edificación se encuentra en la ciudad de Lima se tomaron los tres sismos más destacados y cercanos que ha habido en los últimos años, siendo los siguientes:

- Sismo de 5.1 Mw en Callao, Lima el 25 de Agosto de 2021.
- Sismo de 5.8 Mw en Mala, Lima el 21 de Junio de 2021.
- Sismo de 7.1 Mw en Lomas, Arequipa el 14 de Enero de 2021.

Los registros se obtuvieron mediante el portal web del Instituto Geofísico del Perú (IGP), el cual brinda las aceleraciones de los sismos en tres direcciones las cuales

se reconocen como $E = X$, $N = Y$, $Z = Z$ para así individualmente ingresarlas al software utilizado y que a su vez estos en una combinación sean considerados cargas.

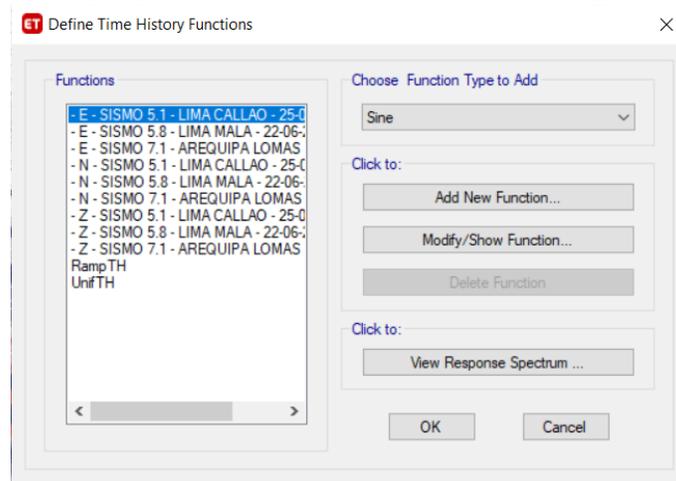


Figura 58. Ingreso de los registros de aceleraciones

Fuente: Elaboración propia

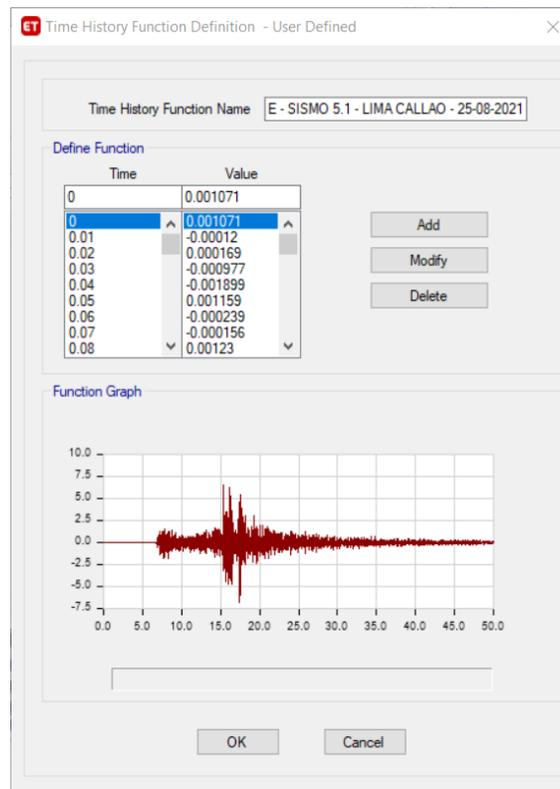


Figura 59. Ingreso de las aceleraciones de un sismo en el software

Fuente: Elaboración propia

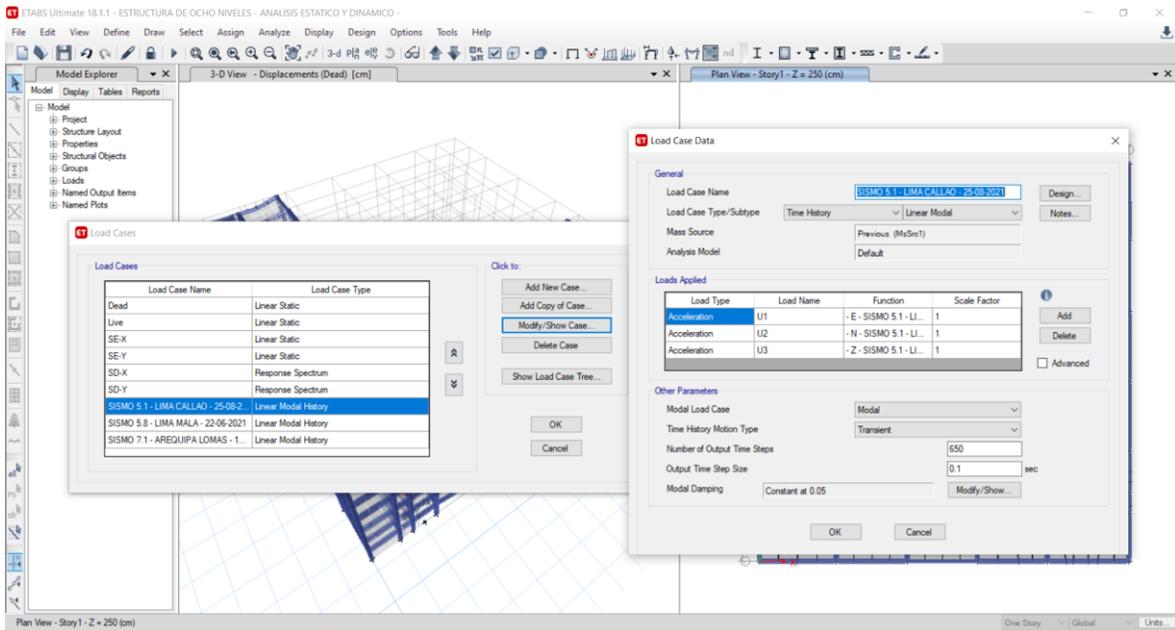


Figura 60. Ingreso de cargas de los sismos en el software
Fuente: Elaboración propia

Con los datos de las aceleraciones por cada sismo, se pudo proceder a dejar que el software analice la estructura con los valores últimos ingresados. Considerando ello, se obtuvo los siguientes resultados:

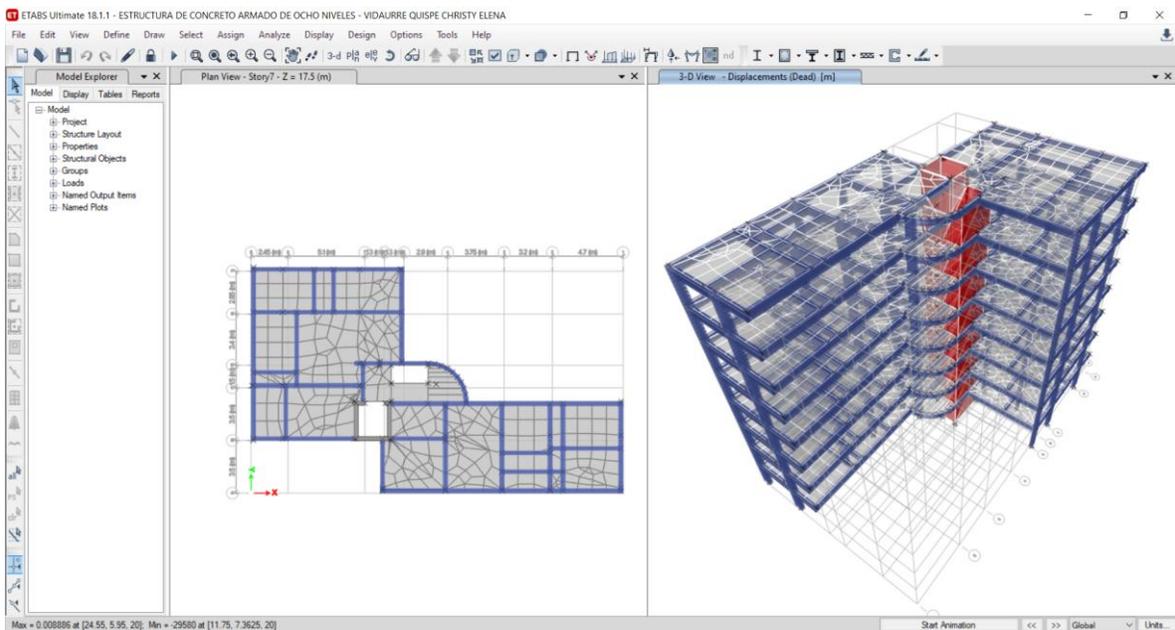


Figura 61. Vista 3D y de planta del resultado del análisis dinámico tiempo-historia sin aisladores
Fuente: Elaboración propia

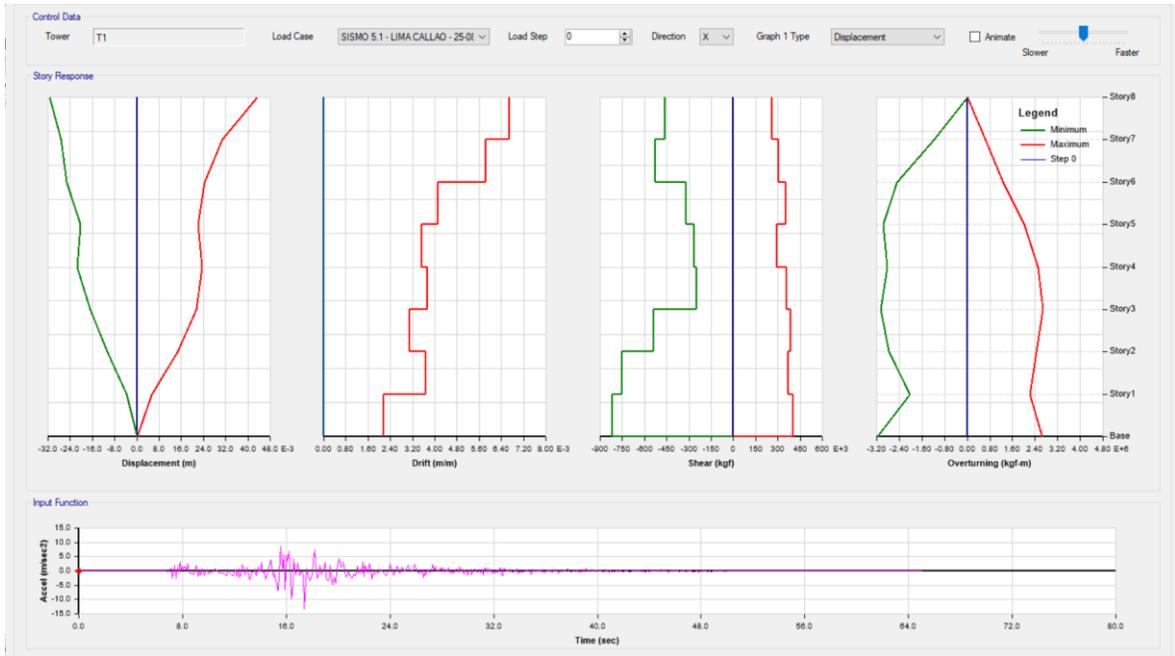


Figura 62. Resultados gráficos del sismo de 5.1 Mw en Callao, Lima sin aisladores
Fuente: Elaboración propia

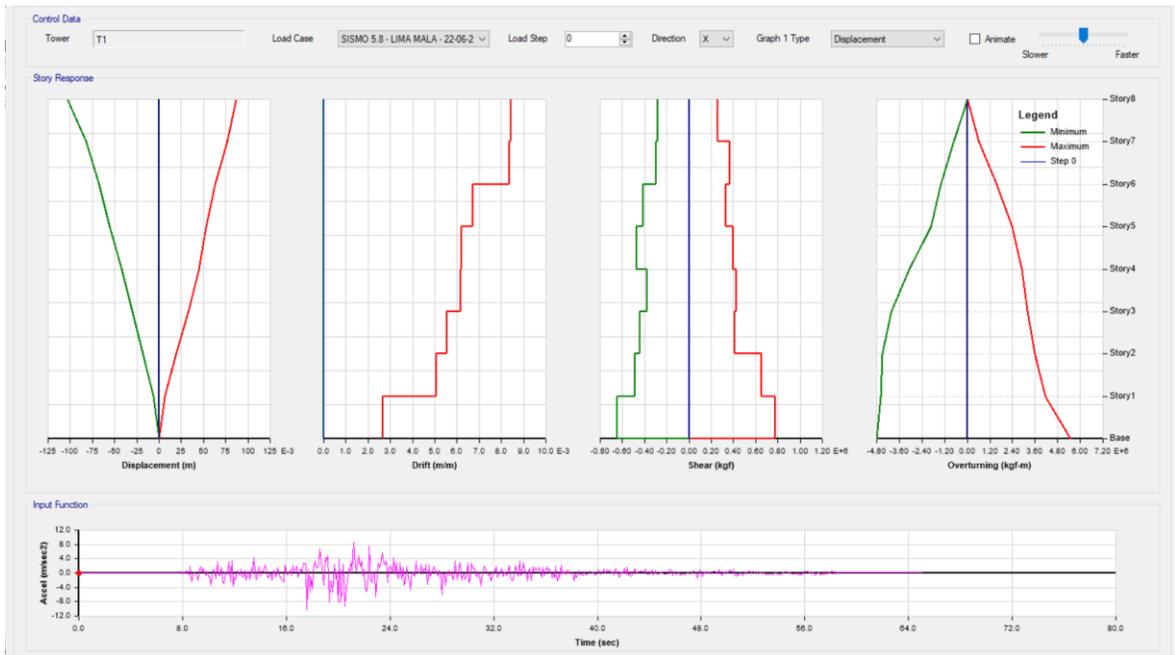


Figura 63. Resultados gráficos del sismo de 5.8 Mw en Mala, Lima sin aisladores
Fuente: Elaboración propia

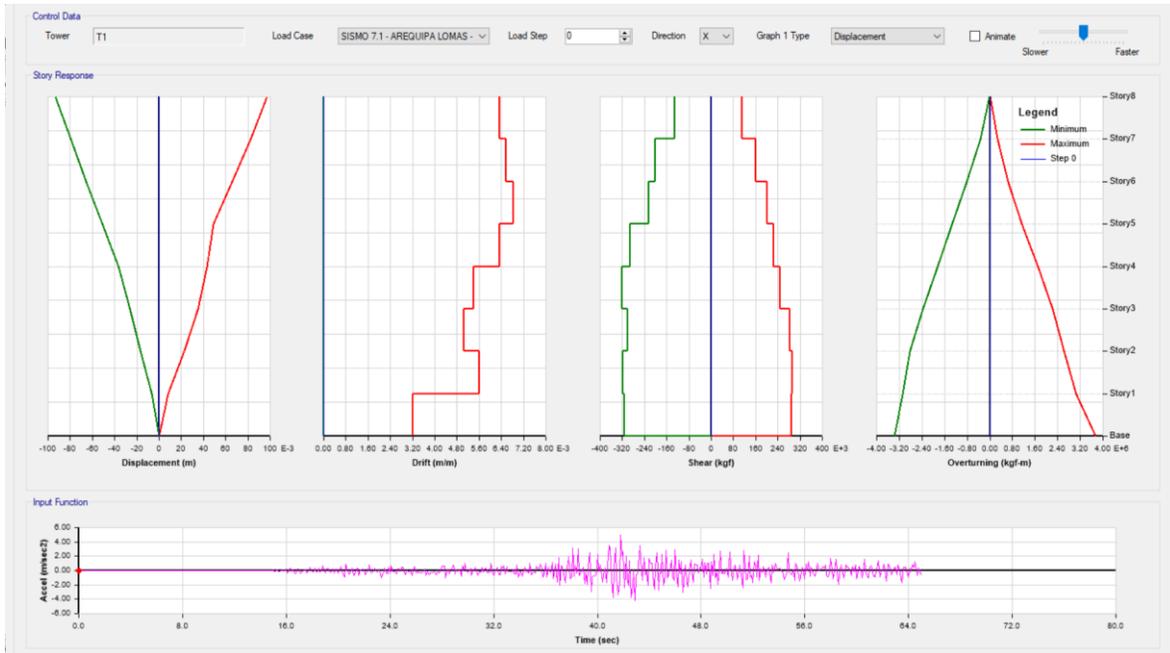


Figura 64. Resultados gráficos del sismo de 7.1 Mw en Mala, Lima sin aisladores

Fuente: Elaboración propia

Story Drifts

Units: As Noted Hidden Columns: No Sort: None
 Filter: ([Output Case] = 'SISMO 5.1 - LIMA CALLAO - 25-08-2021') AND ([Step Type] = 'Max') AND ([Direction] = 'X' OR [Direction] = 'Y')

Story	Output Case	Case Type	Step Type	Step Number	Direction	Drift	Label	X m	Y m	Z m
Story8	SISMO 5.1 - LIMA CALLAO - 25-08-2021	LinModHist	Max		X	0.00668	13	9.9	14.875	20
Story8	SISMO 5.1 - LIMA CALLAO - 25-08-2021	LinModHist	Max		Y	0.0052	8	0.15	3.625	20
Story7	SISMO 5.1 - LIMA CALLAO - 25-08-2021	LinModHist	Max		X	0.005847	74	24.55	0.15	17.5
Story7	SISMO 5.1 - LIMA CALLAO - 25-08-2021	LinModHist	Max		Y	0.004034	75	24.55	0.35	17.5
Story6	SISMO 5.1 - LIMA CALLAO - 25-08-2021	LinModHist	Max		X	0.004131	74	24.55	0.15	15
Story6	SISMO 5.1 - LIMA CALLAO - 25-08-2021	LinModHist	Max		Y	0.003406	8	0.15	3.625	15
Story5	SISMO 5.1 - LIMA CALLAO - 25-08-2021	LinModHist	Max		X	0.003086	13	9.9	14.875	12.5
Story5	SISMO 5.1 - LIMA CALLAO - 25-08-2021	LinModHist	Max		Y	0.004195	8	0.15	3.625	12.5
Story4	SISMO 5.1 - LIMA CALLAO - 25-08-2021	LinModHist	Max		X	0.002541	74	24.55	0.15	10
Story4	SISMO 5.1 - LIMA CALLAO - 25-08-2021	LinModHist	Max		Y	0.004843	8	0.15	3.625	10
Story3	SISMO 5.1 - LIMA CALLAO - 25-08-2021	LinModHist	Max		X	0.003109	74	24.55	0.15	7.5
Story3	SISMO 5.1 - LIMA CALLAO - 25-08-2021	LinModHist	Max		Y	0.005222	8	0.15	3.625	7.5
Story2	SISMO 5.1 - LIMA CALLAO - 25-08-2021	LinModHist	Max		X	0.003678	13	9.9	14.875	5
Story2	SISMO 5.1 - LIMA CALLAO - 25-08-2021	LinModHist	Max		Y	0.004957	8	0.15	3.625	5
Story1	SISMO 5.1 - LIMA CALLAO - 25-08-2021	LinModHist	Max		X	0.002174	13	9.9	14.875	2.5
Story1	SISMO 5.1 - LIMA CALLAO - 25-08-2021	LinModHist	Max		Y	0.003395	75	24.55	0.35	2.5

Record: 1 of 16

Figura 65. Resultado de derivas en el sismo de 5.1 Mw en Callao, Lima sin aisladores

Fuente: Elaboración propia

Story Drifts

Units: As Noted Hidden Columns: No Sort: None
 Filter: ([Output Case] = 'SISMO 5.8 - LIMA MALA - 22-06-2021') AND ([Step Type] = 'Max') AND ([Direction] = 'X' OR [Direction] = 'Y')

Story	Output Case	Case Type	Step Type	Step Number	Direction	Drift	Label	X m	Y m	Z m
Story8	SISMO 5.8 - LIMA MALA - 22-06-2021	LinModHist	Max		X	0.005121	13	9.9	14.875	20
Story8	SISMO 5.8 - LIMA MALA - 22-06-2021	LinModHist	Max		Y	0.006451	75	24.55	0.35	20
Story7	SISMO 5.8 - LIMA MALA - 22-06-2021	LinModHist	Max		X	0.005786	13	9.9	14.875	17.5
Story7	SISMO 5.8 - LIMA MALA - 22-06-2021	LinModHist	Max		Y	0.005908	75	24.55	0.35	17.5

Story6	SISMO 5.8 - LIMA MALA - 22-06-2021	LinModHist	Max		X	0.00604	13	9.9	14.875	15
Story6	SISMO 5.8 - LIMA MALA - 22-06-2021	LinModHist	Max		Y	0.007442	75	24.55	0.35	15
Story5	SISMO 5.8 - LIMA MALA - 22-06-2021	LinModHist	Max		X	0.005949	74	24.55	0.15	12.5
Story5	SISMO 5.8 - LIMA MALA - 22-06-2021	LinModHist	Max		Y	0.007615	75	24.55	0.35	12.5
Story4	SISMO 5.8 - LIMA MALA - 22-06-2021	LinModHist	Max		X	0.005598	74	24.55	0.15	10
Story4	SISMO 5.8 - LIMA MALA - 22-06-2021	LinModHist	Max		Y	0.006877	75	24.55	0.35	10
Story3	SISMO 5.8 - LIMA MALA - 22-06-2021	LinModHist	Max		X	0.005546	13	9.9	14.875	7.5
Story3	SISMO 5.8 - LIMA MALA - 22-06-2021	LinModHist	Max		Y	0.007008	75	24.55	0.35	7.5
Story2	SISMO 5.8 - LIMA MALA - 22-06-2021	LinModHist	Max		X	0.00507	13	9.9	14.875	5
Story2	SISMO 5.8 - LIMA MALA - 22-06-2021	LinModHist	Max		Y	0.006332	75	24.55	0.35	5
Story1	SISMO 5.8 - LIMA MALA - 22-06-2021	LinModHist	Max		X	0.002673	13	9.9	14.875	2.5
Story1	SISMO 5.8 - LIMA MALA - 22-06-2021	LinModHist	Max		Y	0.004187	75	24.55	0.35	2.5

Record: << < 1 > >> of 16

Figura 66. Resultado de derivas en el sismo de 5.8 Mw en Mala, Lima sin aisladores

Fuente: Elaboración propia

Story	Output Case	Case Type	Step Type	Step Number	Direction	Drift	Label	X m	Y m	Z m
Story8	SISMO 7.1 - AREQUIPA LOMAS - 14-01-2018	LinModHist	Max		X	0.006811	36	7.55	5.975	20
Story8	SISMO 7.1 - AREQUIPA LOMAS - 14-01-2018	LinModHist	Max		Y	0.009806	5	0.15	14.875	20
Story7	SISMO 7.1 - AREQUIPA LOMAS - 14-01-2018	LinModHist	Max		X	0.007069	35	6.975	5.975	17.5
Story7	SISMO 7.1 - AREQUIPA LOMAS - 14-01-2018	LinModHist	Max		Y	0.012843	8	0.15	3.625	17.5
Story6	SISMO 7.1 - AREQUIPA LOMAS - 14-01-2018	LinModHist	Max		X	0.007345	38	9.175	5.975	15
Story6	SISMO 7.1 - AREQUIPA LOMAS - 14-01-2018	LinModHist	Max		Y	0.012453	8	0.15	3.625	15
Story5	SISMO 7.1 - AREQUIPA LOMAS - 14-01-2018	LinModHist	Max		X	0.006834	38	9.175	5.975	12.5
Story5	SISMO 7.1 - AREQUIPA LOMAS - 14-01-2018	LinModHist	Max		Y	0.008154	8	0.15	3.625	12.5
Story4	SISMO 7.1 - AREQUIPA LOMAS - 14-01-2018	LinModHist	Max		X	0.005792	38	9.175	5.975	10
Story4	SISMO 7.1 - AREQUIPA LOMAS - 14-01-2018	LinModHist	Max		Y	0.004521	8	0.15	3.625	10
Story3	SISMO 7.1 - AREQUIPA LOMAS - 14-01-2018	LinModHist	Max		X	0.005426	13	9.9	14.875	7.5
Story3	SISMO 7.1 - AREQUIPA LOMAS - 14-01-2018	LinModHist	Max		Y	0.009075	8	0.15	3.625	7.5
Story2	SISMO 7.1 - AREQUIPA LOMAS - 14-01-2018	LinModHist	Max		X	0.006032	13	9.9	14.875	5
Story2	SISMO 7.1 - AREQUIPA LOMAS - 14-01-2018	LinModHist	Max		Y	0.012384	8	0.15	3.625	5
Story1	SISMO 7.1 - AREQUIPA LOMAS - 14-01-2018	LinModHist	Max		X	0.003452	13	9.9	14.875	2.5
Story1	SISMO 7.1 - AREQUIPA LOMAS - 14-01-2018	LinModHist	Max		Y	0.006729	47	2.1	3.625	2.5

Record: << < 1 > >> of 16

Figura 67. Resultado de derivas en el sismo de 7.1 Mw en Lomas, Arequipa sin aisladores

Fuente: Elaboración propia

Ante los resultados obtenidos mediante el software ETABS 18.1.1, se procedieron a realizar las siguientes tablas en las cuales se verificará si las derivas según a restricción indicada en la norma E.030 Diseño Sismorresistente.

Tabla 13. Resultados de las derivas del sismo de 5.1 Mw sin aisladores

PISO	SISMO DE 5.1 MW EN X			SISMO DE 5.1 MW EN Y		
	DERIVA	E 030	RESULTADO	DERIVA	E 030	RESULTADO
8	0.006680	0.007	CUMPLE	0.005200	0.007	CUMPLE
7	0.005847	0.007	CUMPLE	0.004034	0.007	CUMPLE
6	0.004131	0.007	CUMPLE	0.003406	0.007	CUMPLE
5	0.003086	0.007	CUMPLE	0.004195	0.007	CUMPLE
4	0.002541	0.007	CUMPLE	0.004843	0.007	CUMPLE
3	0.003109	0.007	CUMPLE	0.005222	0.007	CUMPLE

2	0.003676	0.007	CUMPLE	0.004957	0.007	CUMPLE
1	0.002174	0.007	CUMPLE	0.003395	0.007	CUMPLE

Fuente: Elaboración propia

Tabla 14. Resultados de las derivas del sismo de 5.8 Mw sin aisladores

PISO	SISMO DE 5.8 MW EN X			SISMO DE 5.8 MW EN Y		
	DERIVA	E 030	RESULTADO	DERIVA	E 030	RESULTADO
8	0.005121	0.007	CUMPLE	0.006451	0.007	CUMPLE
7	0.005786	0.007	CUMPLE	0.005908	0.007	CUMPLE
6	0.006040	0.007	CUMPLE	0.007442	0.007	NO CUMPLE
5	0.005949	0.007	CUMPLE	0.007615	0.007	NO CUMPLE
4	0.005598	0.007	CUMPLE	0.006877	0.007	CUMPLE
3	0.005546	0.007	CUMPLE	0.007008	0.007	NO CUMPLE
2	0.005070	0.007	CUMPLE	0.006332	0.007	CUMPLE
1	0.002673	0.007	CUMPLE	0.004187	0.007	CUMPLE

Fuente: Elaboración propia

Tabla 15. Resultados de las derivas del sismo de 7.1 Mw sin aisladores

PISO	SISMO DE 7.1 MW EN X			SISMO DE 7.1 MW EN Y		
	DERIVA	E 030	RESULTADO	DERIVA	E 030	RESULTADO
8	0.006811	0.007	CUMPLE	0.009806	0.007	NO CUMPLE
7	0.007069	0.007	NO CUMPLE	0.012843	0.007	NO CUMPLE
6	0.007345	0.007	NO CUMPLE	0.012453	0.007	NO CUMPLE
5	0.006834	0.007	CUMPLE	0.008154	0.007	NO CUMPLE
4	0.005792	0.007	CUMPLE	0.004521	0.007	CUMPLE
3	0.005428	0.007	CUMPLE	0.009075	0.007	NO CUMPLE
2	0.006032	0.007	CUMPLE	0.012384	0.007	NO CUMPLE
1	0.003452	0.007	CUMPLE	0.006729	0.007	CUMPLE

Fuente: Elaboración propia

En síntesis, la estructura sería capaz de soportar por si misma los sismos de magnitudes menores como 5.1 Mw y 5.8 Mw. Sin embargo, ante un sismo de 7.1 Mw se verifica que la mayoría de niveles no cumplen la restricción de la norma.

4.5 Análisis sísmico de la estructura con aisladores LRB

4.5.1 Diseño de los aisladores elástoméricos con núcleo de plomo

Siendo estos los aisladores más conocidos y utilizados, Mc Vitty y Constantinou (2015, p. 50) indican que esto se debe a las importantes propiedades que tiene el plomo al interactuar con el movimiento sísmico, siendo principal su resistencia y

amortiguación. Para iniciar con el diseño, se tomó en consideración la Norma Técnica Peruana E.031 Aislamiento Sísmico y el código ASCE 7-16, en especial su capítulo 18. De esta forma se tiene el siguiente procedimiento:

1. Datos de la estructura

- ✓ Masa del edificio:

Story	Diaphragm	Mass X tonf-s ² /m	Mass Y tonf-s ² /m	XCM m	YCM m	Cum Mass X tonf-s ² /m	Cum Mass Y tonf-s ² /m	XCCM m	YCCM m	XCR m	YCR m
Story1	D1	22.48929	22.48929	12.2868	7.224	22.48929	22.48929	12.2868	7.224	14.8705	8.515
Story2	D2	22.48929	22.48929	12.2868	7.224	22.48929	22.48929	12.2868	7.224	15.0409	8.3853
Story3	D3	22.48929	22.48929	12.2868	7.224	22.48929	22.48929	12.2868	7.224	15.0982	8.2572
Story4	D4	22.48929	22.48929	12.2868	7.224	22.48929	22.48929	12.2868	7.224	15.0943	8.1357
Story5	D5	22.48929	22.48929	12.2868	7.224	22.48929	22.48929	12.2868	7.224	15.0592	8.0203
Story6	D6	22.48929	22.48929	12.2868	7.224	22.48929	22.48929	12.2868	7.224	15.0018	7.9093
Story7	D7	22.48929	22.48929	12.2868	7.224	22.48929	22.48929	12.2868	7.224	14.9304	7.7971
Story8	D8	20.58868	20.58868	12.2815	7.2133	20.58868	20.58868	12.2815	7.2133	14.8545	7.6953

Figura 68. Masas de cada nivel de la estructura en el software

Fuente: Elaboración propia

La suma total de los niveles sería 178.01 tonf-s²/m, sin embargo, se tendrá en cuenta una masa de todo un nivel más al considerar los aisladores que serán colocados, por lo que se tendría una masa total de 198.60 tonf-s²/m.

- ✓ Los periodos fundamentales:

Tabla 16. Periodos y modos de vibración

1° Modo	T _y	1.399
2° Modo	T _x	0.991
3° Modo	T _z	0.857

Fuente: Elaboración propia

La norma E.031 Aislamiento Sísmico en el artículo 17.4.1 indica que el periodo aislado debe ser tres veces mayor al periodo con base fija. Por lo que se considerará 4.197 s el periodo aislado.

- ✓ Columnas del edificio:

Teniendo en consideración que, al no haber sótano, el aislador ira entre la zapata y el inicio de la columna, se contará con las 19 columnas de edificio

como puntos donde ira cada aislador, teniendo así 19 aisladores. Cabe destacar que la dimensión del aislador no depende de las columnas puestos que estos van entre la losa y la zapata.

2. Calculo del desplazamiento total máximo

- Rigidez del aislador:

Teniendo la masa y el periodo objetivos para el aislador se puede calcular la rigidez del aislador con la siguiente formula:

$$K_{ais} = \frac{4\pi^2}{T_{ais}^2} * M = \frac{4\pi^2}{(4.197)^2} * 445.11 = 445.11 \text{ Tn/m}$$

En este caso, considerando que se la estructura contaría con 19 aisladores, la rigidez por cada aislador sería de 24.43 Tn/m.

- Factor de amortiguamiento:

Para el respectivo valor, la norma ASCE 7-16 brinda la siguiente tabla:

Tabla 17. Factor de amortiguamiento

Effective Damping, β (percentage of critical)	$B_{v+1}, B_{1D}, B_R, B_{1M}, B_{mD}, B_{mM}$ (where period of the structure $\geq T_0$)
≤ 2	0.8
5	1.0
10	1.2
20	1.5
30	1.8
40	2.1
50	2.4
60	2.7
70	3.0
80	3.3
90	3.6
≥ 100	4.0

Fuente: ASCE 7-16, capitulo 18, inciso 18.6

En síntesis, lo que indica la tabla es que para obtener el factor de amortiguamiento se debe de tener el amortiguamiento efectivo β el cual es un porcentaje del amortiguamiento crítico.

Para la presente investigación se consideró un valor inicial de 15% de amortiguamiento efectivo, por lo que como indica la norma E.031 Aislamiento sísmico, para obtener ese valor se realiza una interpolación lineal la cual da como resultado 1.35 de β_M (factor de amortiguamiento).

- Aceleración sísmica:

Considerando que se tiene un nuevo periodo objetivo para los aisladores, el valor de la aceleración sísmica será modificada ya que el factor de amplificación sísmica depende del periodo. Por lo que, según lo estipulado en la norma se tienen los siguientes parámetros:

$$\begin{array}{lll}
 T < 0,2 T_P & \rightarrow & C = 1 + 7,5 \cdot \left(\frac{T}{T_P}\right) \\
 0,2 T_P < T < T_P & \rightarrow & C = 2,5 \\
 T_P < T < T_L & \rightarrow & C = 2,5 \cdot \left(\frac{T_P}{T}\right) \\
 T > T_L & \rightarrow & C = 2,5 \cdot \left(\frac{T_P \cdot T_L}{T^2}\right)
 \end{array}$$

Figura 69. Parámetros para el factor de amplificación

Fuente: E.031 Aislamiento Sísmico

Dado a que los valores son los siguientes: $T_P = 0.40$, $T_L = 2.50$ y $T_a = 4.20$. Se tendría que aplicar el cuarto parámetro, por lo que al aplicarse la ecuación correspondiente se tendría lo siguiente:

$$C = 2.5 * \left(\frac{0.40 * 2.50}{4.20^2}\right) = 0.14$$

Siendo ese factor el único valor que cambia, se puede recalcular nuevamente la aceleración sísmica según lo indicado en la norma E.031 Aislamiento Sísmico.

$$S_a = 1.5 * Z * U * C * S * g = 5 * 0.45 * 1.00 * 0.14 * 1.00 * 9.81 = 0.94$$

- Desplazamiento total máximo:

Según la norma E.031 Aislamiento Sísmico (2019, p. 74) “el sistema de aislamiento sísmico debe ser diseñado y construido para soportar, como

mínimo, el desplazamiento máximo”, por lo cual para el cálculo de este valor nos brinda la siguiente formula:

$$D_M = \frac{S_{aM} * T_M^2}{4 * \pi^2 * B_M}$$

Por lo que, reemplazando los valores se obtiene un desplazamiento máximo de 31.06 cm. Asimismo, se calcula el desplazamiento total máximo, el cual indica la norma que no debe ser menor a 1.15 del desplazamiento máximo, por lo que se tiene 35.72 cm de desplazamiento total máximo.

3. Diseño geométrico de los aisladores elásticos con núcleo de plomo

- Dimensiones del aislador según el fabricante:

Tabla 18. Dimensiones de fábrica del aislador LRB

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

Fuente: Dynamic Isolation Systems.

La presente tabla muestra las dimensiones estandarizadas que tiene el fabricante para que uno, según las características que calcula, pueda escoger.

- Diámetro del aislador y del núcleo de plomo:

Para el cálculo del diámetro del aislador se tuvieron tres fórmulas, las cuales dependían del desplazamiento total máximo = 35.72 cm, el peso asumido del

aislador = 255.57 Tn y el esfuerzo a tensión máxima a la compresión = 1000 Tn/m².

Tabla 19. Diámetros cálculos del aislador

$D_{LRB} = 1.25 * D_{TM}$	D _{LRB} (cm)
	44.65
$D_{LRB} = 0.80 * D_{TM}$	D _{LRB} (cm)
	28.58
$D_{LRB} = \sqrt{\frac{4 * P_{aislador}}{\pi * \sigma_{pb}}}$	D _{LRB} (cm)
	57.04

Fuente: Elaboración propia

Considerando los valores que brinda el fabricante, se optó por tomar el diámetro de 520 mm = 52 cm, en un intervalo dentro de las tres opciones que tenemos.

Para el caso de la dimensión del diámetro del núcleo de plomo, se sabe que el valor debe corresponder a la sexta parte del diámetro del aislador, por lo que se obtiene 8.67 cm de diámetro.

- Altura del aislador:

Para el cálculo de la altura tenemos la siguiente imagen:

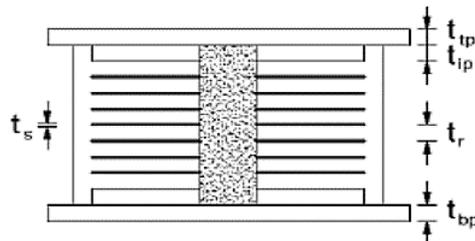


Figura 70. Sección transversal del aislador LRB

Fuente: DIESCON Ingenieros

Como se puede observar, se toman diferentes espesores para poder calcular la altura total, los cuales son:

- Espesor de la placa exterior superior e inferior (t_{tp} y t_{bp}): 2.50 cm

- Espesor de la placa interior (t_{ip}): 2.50 cm
- Espesor de la capa de caucho (t_r): 0.80 cm
- Espesor de la capa de acero (t_s): 0.20 cm

Teniendo en cuenta que, según el fabricante, el número de láminas de goma varía entre 8 y 24, se tomó en consideración 20 láminas de goma y 19 láminas de acero, por lo que, al sumarle las placas exteriores e interiores, se tiene un total de altura de 29.80 cm.

4. Propiedades histeréticas del aislador

- Propiedades histeréticas del aislador según el fabricante:

Tabla 20. Propiedades histeréticas de fábrica del aislador LRB

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

Fuente: Dynamic Isolation Systems.

La presente tabla muestra las propiedades estandarizadas que tiene el fabricante para que uno, según las características que calcula, pueda reconocer que, según la dimensión escogida, el aislador cumpla en el rango.

- Propiedades de resistencia del aislador:

Estas propiedades fueron obtenidas mediante la página web del fabricante más confiable de este tipo de aisladores, el cual es Dynamic Isolation Systems.

- ✓ Módulo de corte del caucho = 50 Tn/m²
- ✓ Módulo de compresibilidad del caucho = 203943.24 Tn/m²
- ✓ Esfuerzo axial permisible en el aislador = 1000 Tn/m²
- ✓ Esfuerzo a tensión máxima a la compresión = 1000 Tn/m²

En el caso del peso a considerar para el aislador, se tomó como referencia el P_{max} en el eje Z de las reacciones obtenidas con la combinación de 1.5*CM+1.25*CV.

- ✓ Peso del aislador = 225.57 Tn

Estos valores serán fundamentales para poder obtener las propiedades histeréticas del aislador a diseñar.

- Propiedades de rigidez a corte:

La fuerza de histéresis (Q_d) corresponde al 3% a 10% del peso de servicio máximo en la estructura.

Story	Label	Unique Name	Output Case	Case Type	Step Type	Step Number	FX kgf	FY kgf	FZ kgf
Base	9	49	P: 100%CM + ...	Combination			16.91	-241.28	78921.09
Base	12	76	P: 100%CM + ...	Combination			-336.79	-295.75	64640.23
Base	13	85	P: 100%CM + ...	Combination			285.07	-1241.08	43261.3
Base	14	94	P: 100%CM + ...	Combination			126.84	-423.36	165002.07
Base	18	130	P: 100%CM + ...	Combination			655.28	-372.42	136526.45
Base	21	157	P: 100%CM + ...	Combination			-117.42	114.58	60534.67
Base	23	175	P: 100%CM + ...	Combination			15360.57	-123.75	96869.15
Base	25	193	P: 100%CM + ...	Combination			-13686	-2218.95	79876.95
Base	28	220	P: 100%CM + ...	Combination			-411.72	321.82	207491.17

Figura 71. Peso de servicio máximo de la estructura en el software

Fuente: Elaboración propia

Por lo que al considerar el porcentaje de 7% para tener el valor dentro del rango establecido, de esta forma se tiene que la fuerza de histéresis es igual a 16599.29 Kg.

Con el valor correspondiente, podemos obtener todas las propiedades respectivas, como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 21. Propiedades de rigidez a corte del aislador LRB

Rígidez post fluencia					
Valor	Cantidad	Unid.	Fórmula		
Geq	50.000	Tn/m2	$K_d = \frac{G_{eq} * A_{sp}}{H}$		
Asp	0.206	m2			
H	0.298	m			
			Kd	41.57	Tn/m
Rígidez elástica					
Valor	Cantidad	Unid.	Fórmula		
Kd	41.57	Tn/m	$K_e = 10 * K_d$		
Ke	415.72	Tn/m			
Fuerza de fluencia					
Valor	Cantidad	Unid.	Fórmula		
Qd	16.60	Tn	$F_Y = \frac{Q_d * K_e}{K_e - K_d}$		
Kd	41.57	Tn/m			
Ke	415.72	Tn/m			
			Fy	18.44	Tn
Desplazamiento de fluencia					
Valor	Cantidad	Unid.	Fórmula		
Fy	18.44	Tn	$D_Y = \frac{F_Y}{K_e}$		
Ke	415.72	Tn/m			
Dy	4.44	cm			

Fuente: Elaboración propia.

Considerando los valores obtenidos, se tiene un resumen de lo fundamental para el fabricante, lo cual es lo siguiente:

- ✓ La rigidez post fluencia 41.57 Tn/m entre 40 a 70 Tn/m.
- ✓ La fuerza de histéresis 16599.29 Kg entre 0 a 18000 Kg.
- ✓ El desplazamiento máximo 300 mm, lo cual se aproxima al valor de 310.6 mm.

En síntesis, los valores cumplen según lo estandarizado por el fabricante.

- Propiedades dinámicas:

Tabla 22. Propiedades dinámicas del aislador LRB

Fuerza de corte					
Valor	Cantidad	Unid.	Fórmula		
Q _d	16.60	Tn	$F_{m\acute{a}x} = Q_d + K_d * D_M$		
D _M	0.3106	m			
K _d	41.57	Tn/m			
			F _{máx}	29.51	Tn
Rígidez efectiva					
Valor	Cantidad	Unid.	Fórmula		
Q _d	16.60	Tn	$K_{eff} = \frac{Q_d + K_d * D_M}{D_M}$		
D _M	0.3106	m			
K _d	41.57	Tn/m			
			K _{eff}	95.01	Tn/m
Energía disipada					
Valor	Cantidad	Unid.	Fórmula		
Q _d	16.60	Tn	$EDC = 4 * Q_d * (D_M - D_Y)$		
D _M	0.3106	m			
D _Y	0.0444	m			
			EDC	17.68	Tn.m
Amortiguamiento efectivo por ciclo					
Valor	Cantidad	Unid.	Fórmula		
EDC	17.68	Tn.m	$\beta_{eff} = \frac{1}{2 * \pi} * \left(\frac{EDC}{K_{eff} * D_M^2} \right)$		
D _M	0.3106	m			
K _{eff}	95.01	Tn/m			
			β _{eff}	0.3069	
			β _{eff}	30.69%	
Módulo de elasticidad del conjunto de las láminas de caucho y acero					
Valor	Cantidad	Unid.	Fórmula		
G	50.00	Tn/m ²	$E_C = \frac{6 * G * S^2 * K}{6 * G * S^2 + K}$		
K	203943.24	Tn/m ²			
S	16.250				
$S = D / (4 * (t_r))$			E _c	57056.13	Tn/m ²
Rígidez vertical					
Valor	Cantidad	Unid.	Fórmula		
E _c	57056.13	Tn/m ²	$K_V = \frac{E_C * A}{H}$		
A	0.212	m ²			
H	0.298	m			
			K _v	80061.19	Tn/m

Fuente: Elaboración propia.

- Coeficientes de amortiguamiento:

Tabla 23. *Coeficientes de amortiguamiento del aislador LRB*

Coeficiente de amortiguamiento vertical					
Valor	Cantidad	Unid.	Fórmula		
Kv	80061.19	Tn/m	$C_V = 2 * 5\% * \sqrt{K_V * \frac{P_a}{g}}$		
Paislador	255.57	Tn			
g	9.81	m/s ²			
			Cv	144.42	Tn-s/m
Coeficiente de amortiguamiento horizontal					
Valor	Cantidad	Unid.	Fórmula		
EDC	17.68	Tn.m	$C_H = \frac{EDC * T_a}{2 * \pi^2 * D_M^2}$		
Taislado	4.20	s			
DM	0.3106	m			
			CH	38.99	Tn-s/m

Fuente: Elaboración propia.

5. Modelamiento del aislador en el software ETABS 18.1.1

Teniendo ya en claro la geometría y propiedades de los aisladores, se tienen los siguientes valores fundamentales para su modelamiento.

Tabla 24. *Propiedades del aislador a ingresar en el software*

Dirección	Propiedades	Cantidad	Unidad
Eje X y Y	Rígidez efectiva (Keff)	95.01	Tn/m
	Coeficiente de amortiguamiento horizontal (CH)	30.69	Tn-s/m
	Rígidez inicial (Ke)	41.57	Tn/m
	Fluencia (Fy)	18.44	Tn
	Radio de rígeidez post fluencia (Kd/Ke)	0.10	
Eje Z	Rígidez vertical (Kv)	80061.19	Tn/m
	Coeficiente de amortiguamiento vertical (Cv)	30.69	Tn-s/m

Fuente: Elaboración propia.

Respecto a esto Anajafi (2020, p. 9) indica que las propiedades de los aisladores dependen de las direcciones, ya que en el caso de la dirección Z, la rigidez es superior al tener que soportar el peso de la estructura, mientras que en las direcciones X y Y tiene mayor diversidad de propiedades dado a que estos corresponden a las direcciones del sismo.

Con el conocimiento de esto, se procedió a ingresar los datos al software ETABS 18.1.1, como se muestra en las siguientes figuras:

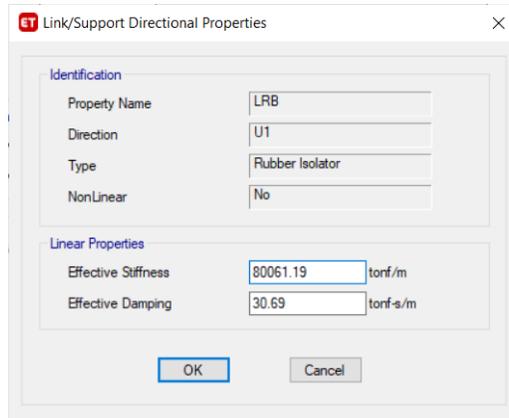


Figura 72. Propiedades del aislador LRB en dirección Z en el software
Fuente: Elaboración propia

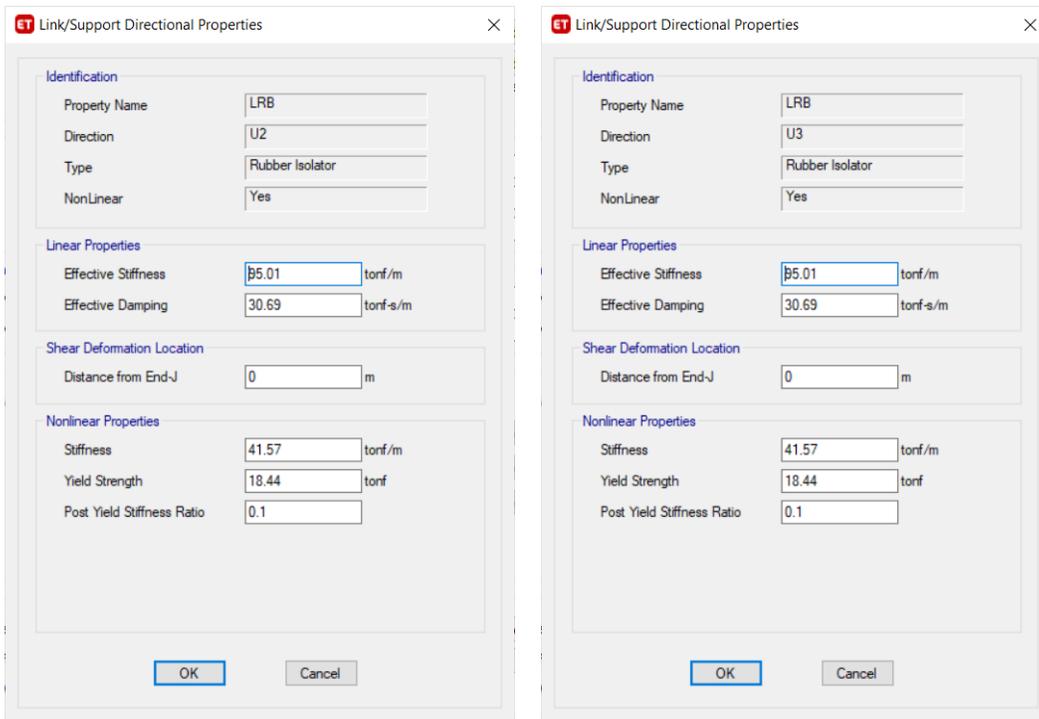


Figura 73. Propiedades del aislador LRB en dirección X en el software
Figura 74. Propiedades del aislador LRB en dirección Y en el software

Fuente: Elaboración propia

Con las propiedades de los aisladores ya ingresados, se procede a seleccionar cada punto de las columnas, siendo un total de 19, para así colocarle el aislador de núcleo de plomo como se visualiza en la siguiente imagen:

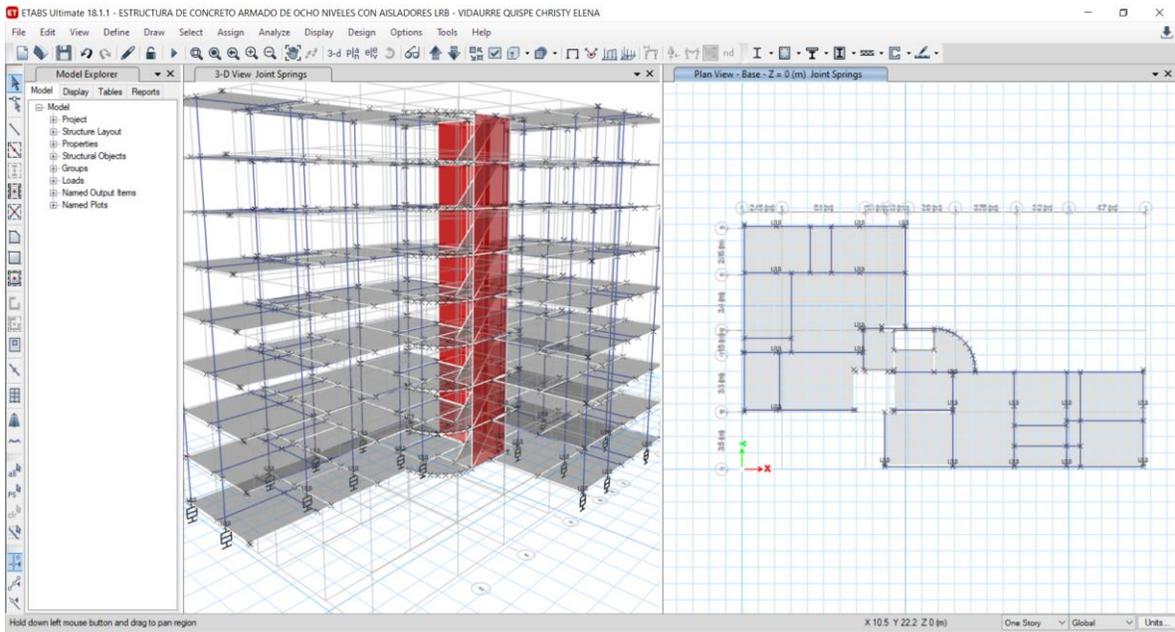


Figura 75. Aisladores LRB ingresados en la planta base de la estructura

Fuente: Elaboración propia

Teniendo la estructura con los aisladores, se procede a realizar tres análisis indicados en la norma E.030 Diseño Sismorresistente.

4.5.2 Resultados del análisis estático o de fuerzas equivalentes

- Modos y periodos:

Case	Mode	Period sec	Frequency cyc/sec	CircFreq rad/sec	Eigenvalue rad ² /sec ²
Modal	1	4.197	0.238	1.4972	2.2415
Modal	2	1.757	0.569	3.5768	12.7933
Modal	3	1.005	0.995	6.2513	39.0785
Modal	4	0.687	1.455	9.1431	83.5955
Modal	5	0.518	1.929	12.1203	146.901
Modal	6	0.51	1.962	12.3295	152.0161
Modal	7	0.319	3.133	19.6858	387.5296
Modal	8	0.28	3.569	22.4236	502.8186
Modal	9	0.277	3.612	22.6957	515.0927
Modal	10	0.238	4.196	26.3657	695.1511
Modal	11	0.197	5.085	31.9495	1020.7736
Modal	12	0.181	5.521	34.6873	1203.2087
Modal	13	0.158	6.338	39.8198	1585.6157
Modal	14	0.141	7.112	44.6874	1996.9645
Modal	15	0.126	7.963	50.0346	2503.4622
Modal	16	0.113	8.846	55.5809	3089.2351

	Modal	17	0.109	9.153	57.5098	3307.3767
	Modal	18	0.108	9.237	58.0363	3368.2083
	Modal	19	0.105	9.48	59.5661	3548.1246
	Modal	20	0.093	10.764	67.6322	4574.1194
	Modal	21	0.089	11.251	70.6898	4997.0548
	Modal	22	0.085	11.708	73.5616	5411.3053
	Modal	23	0.075	13.249	83.2468	6930.0354
	Modal	24	0.073	13.671	85.9	7378.8139

Record: << < 1 > >> of 24 Add Tables... Done

Figura 76. Periodos resultantes del análisis estático con aisladores LRB

Fuente: Elaboración propia

Si bien este análisis no es uno dinámico modal, se necesita los primeros periodos para los análisis estáticos ya que de acuerdo a eso se calculan varios factores que servirán para hablar las fuerzas sísmicas y cortantes.

Respecto a los resultados, como se puede observar, el primero modo tiene un periodo de 4.197 s, aproximándose al periodo por el cual se hizo el diseño de los aisladores. Por lo que se deduce que los aisladores han funcionado de forma efectiva.

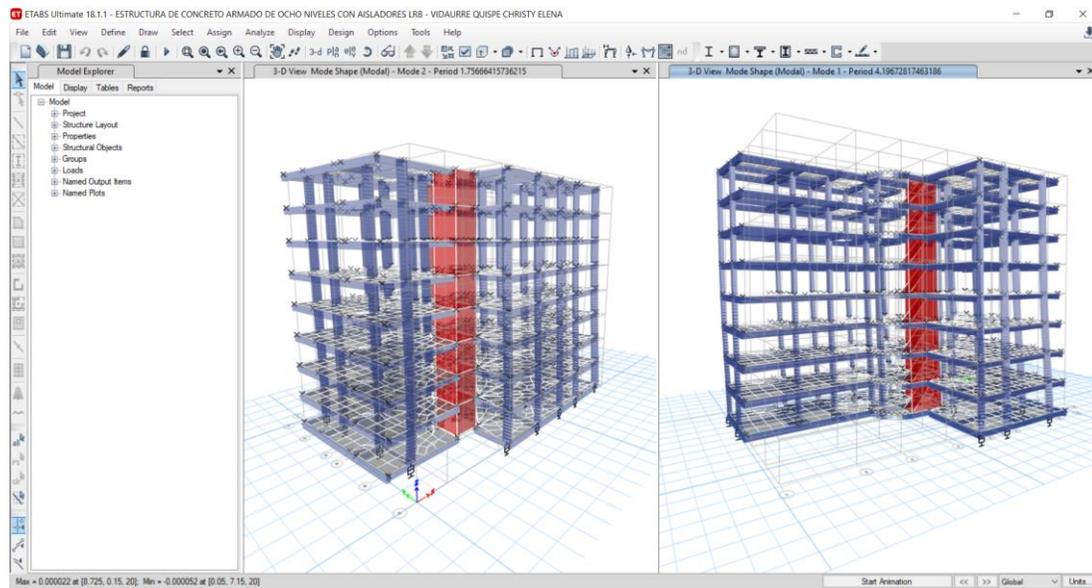


Figura 77. Vista 3D del análisis estático con aisladores LRB

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la figura 80, la estructura cumple con la iteración de los modos resultantes.

- Fuerzas sísmicas y cortantes:

Tabla 25. Fuerzas laterales con aisladores LRB en cada piso en el eje X

Piso	Peso (Tn)	hi (m)	hi ^k	P*h ^k	Alfa	Fi (Tn)	V (Tn)	MT accidental (Tn-m)
P8	289.97	20.00	131.44	38113.65	0.28	23.180	23.180	24.686
P7	289.97	17.50	105.75	30664.36	0.23	18.649	41.829	19.861
P6	289.97	15.00	82.27	23856.73	0.18	14.509	56.338	15.452
P5	289.97	12.50	61.14	17728.19	0.13	10.782	67.119	11.483
P4	289.97	10.00	42.51	12326.69	0.09	7.497	74.616	7.984
P3	289.97	7.50	26.61	7715.85	0.06	4.693	79.309	4.998
P2	289.97	5.00	13.75	3986.75	0.03	2.425	81.733	2.582
P1	289.97	2.50	4.45	1289.41	0.01	0.784	82.517	0.835
Suma	2319.73			135681.63	1.00	82.517		

Fuente: Elaboración propia

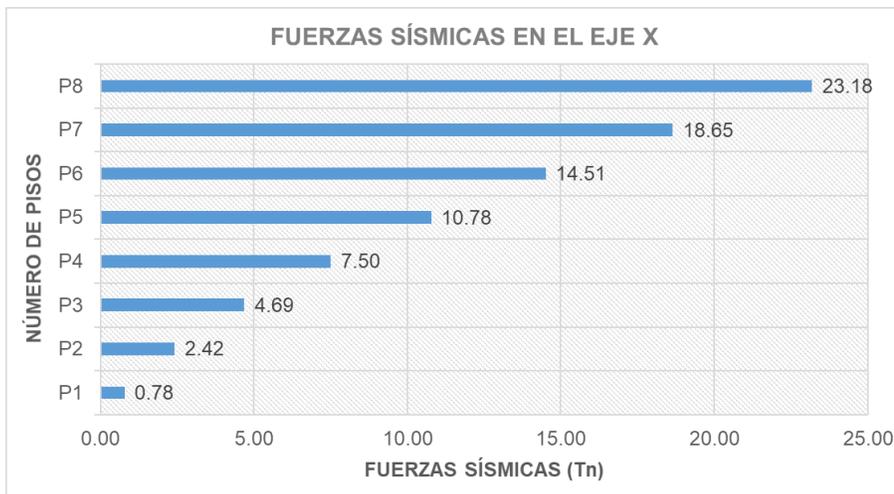


Figura 78. Distribución de fuerzas sísmicas con aisladores LRB en dirección X

Fuente: Elaboración propia

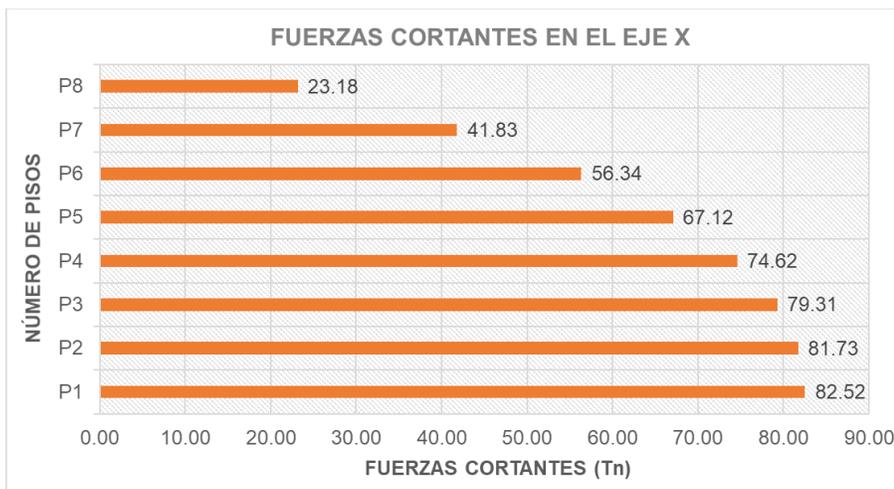


Figura 79. Distribución de fuerzas cortantes con aisladores LRB en dirección X

Fuente: Elaboración propia

Tabla 26. Fuerzas laterales con aisladores LRB en cada piso en el eje Y

Piso	Peso (Tn)	hi (m)	hi ^k	P*h ^k	Alfa	Fi (Tn)	V (Tn)	MT accidental (Tn-m)
P8	289.97	20.00	5081.41	1473455.96	0.38	13.244	13.244	14.210
P7	289.97	17.50	3473.71	1007256.91	0.26	9.053	22.297	9.714
P6	289.97	15.00	2239.22	649295.42	0.17	5.836	28.133	6.262
P5	289.97	12.50	1332.13	386273.17	0.10	3.472	31.605	3.725
P4	289.97	10.00	705.50	204572.09	0.05	1.839	33.443	1.973
P3	289.97	7.50	310.89	90148.48	0.02	0.810	34.254	0.869
P2	289.97	5.00	97.95	28402.88	0.01	0.255	34.509	0.274
P1	289.97	2.50	13.60	3943.47	0.00	0.035	34.544	0.038
Suma	2319.73			3843348.38	1.00	34.544		

Fuente: Elaboración propia

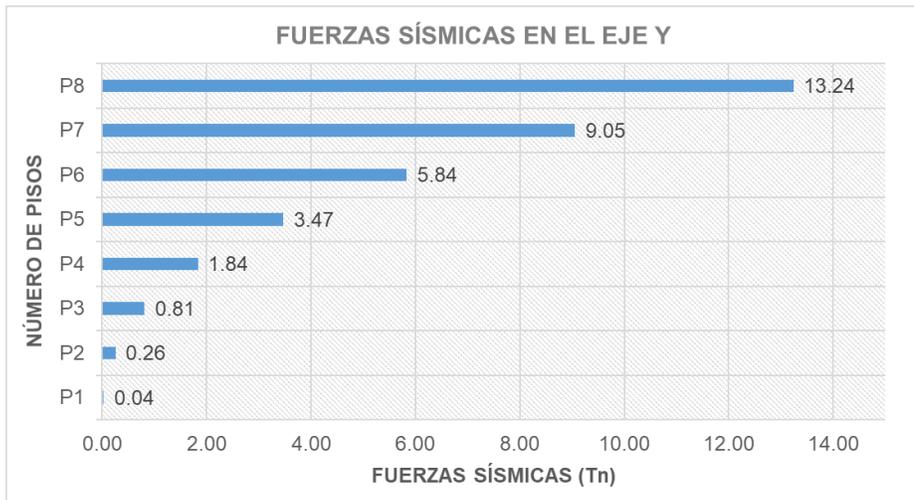


Figura 80. Distribución de fuerzas sísmicas con aisladores LRB en dirección Y

Fuente: Elaboración propia



Figura 81. Distribución de fuerzas cortantes con aisladores LRB en dirección Y

Fuente: Elaboración propia

- Derivas:

Story	Output Case	Case Type	Step Type	Step Number	Direction	Drift	Label	X m	Y m	Z m
Story8	DERIVA-X	LinStatic			X	0.001473	74	24.55	0.15	20
Story7	DERIVA-X	LinStatic			X	0.001839	74	24.55	0.15	17.5
Story6	DERIVA-X	LinStatic			X	0.002384	74	24.55	0.15	15
Story5	DERIVA-X	LinStatic			X	0.003022	74	24.55	0.15	12.5
Story4	DERIVA-X	LinStatic			X	0.003887	74	24.55	0.15	10
Story3	DERIVA-X	LinStatic			X	0.004567	74	24.55	0.15	7.5
Story2	DERIVA-X	LinStatic			X	0.004907	74	24.55	0.15	5
Story1	DERIVA-X	LinStatic			X	0.003841	68	12.9	0.25	2.5

Figura 82. Resultado de derivas en dirección X con aisladores LRB

Fuente: Elaboración propia

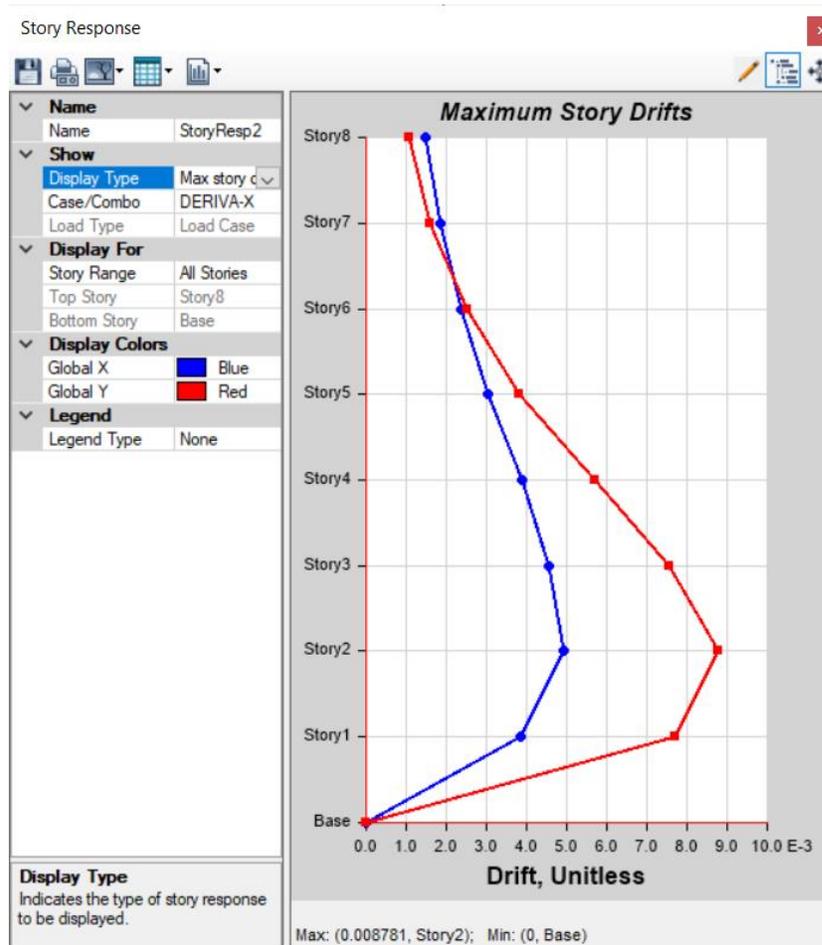


Figura 83. Gráfico de deriva máxima en dirección X con aisladores LRB

Fuente: Elaboración propia

Story	Output Case	Case Type	Step Type	Step Number	Direction	Drift	Label	X m	Y m	Z m
Story8	DERIVA-Y	LinStatic			Y	0.001379	8	0.15	3.625	20
Story7	DERIVA-Y	LinStatic			Y	0.001907	8	0.15	3.625	17.5
Story6	DERIVA-Y	LinStatic			Y	0.002702	8	0.15	3.625	15
Story5	DERIVA-Y	LinStatic			Y	0.003798	8	0.15	3.625	12.5
Story4	DERIVA-Y	LinStatic			Y	0.005213	8	0.15	3.625	10
Story3	DERIVA-Y	LinStatic			Y	0.006528	8	0.15	3.625	7.5
Story2	DERIVA-Y	LinStatic			Y	0.006855	8	0.15	3.625	5
Story1	DERIVA-Y	LinStatic			Y	0.004981	8	0.15	3.625	2.5

Figura 84. Resultado de derivas en dirección Y con aisladores LRB

Fuente: Elaboración propia

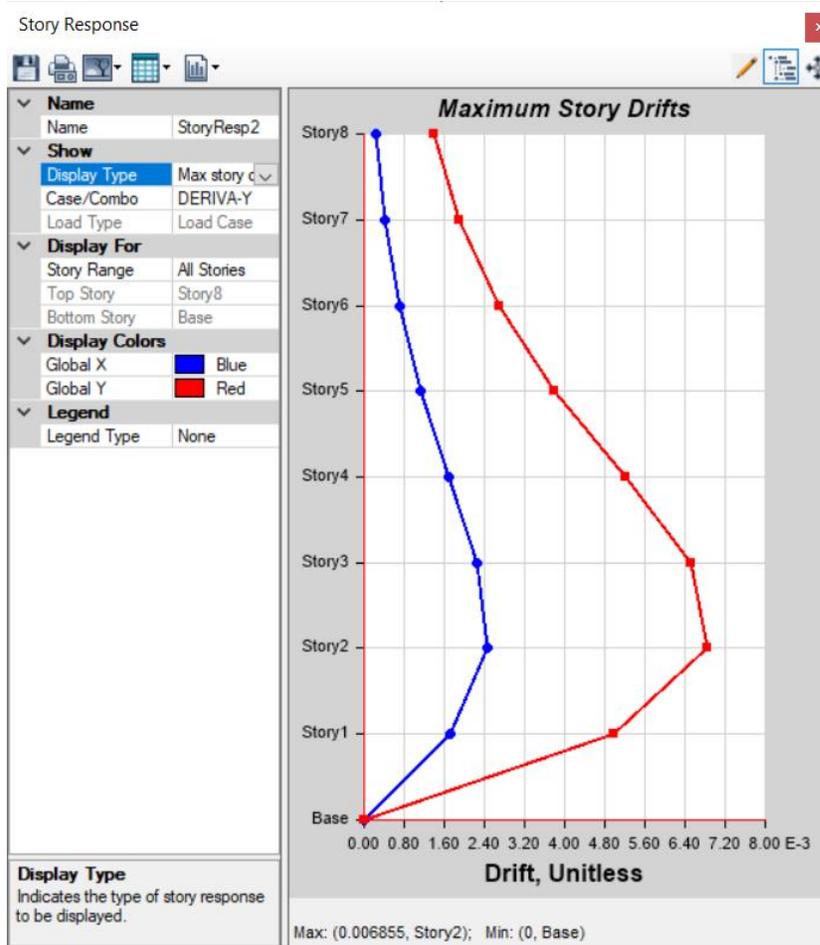


Figura 85. Gráfico de deriva máxima en dirección Y con aisladores LRB

Fuente: Elaboración propia

Con los resultados obtenidos se puede verificar que las derivas cumplen con lo indicado en la norma E.030 Diseño Sismorresistente.

Tabla 27. Resultados de las derivas estáticas en X y Y con aisladores LRB

PISO	SISMO ESTÁTICO EN X			SISMO ESTÁTICA EN Y		
	DERIVA	E 030	RESULTADO	DERIVA	E 030	RESULTADO
8	0.001473	0.007	CUMPLE	0.001379	0.007	CUMPLE
7	0.001839	0.007	CUMPLE	0.001907	0.007	CUMPLE
6	0.002384	0.007	CUMPLE	0.002702	0.007	CUMPLE
5	0.003022	0.007	CUMPLE	0.003798	0.007	CUMPLE
4	0.003887	0.007	CUMPLE	0.005213	0.007	CUMPLE
3	0.004567	0.007	CUMPLE	0.006528	0.007	CUMPLE
2	0.004907	0.007	CUMPLE	0.006855	0.007	CUMPLE
1	0.003841	0.007	CUMPLE	0.004981	0.007	CUMPLE

Fuente: Elaboración propia

4.5.3 Resultados del análisis dinámico modal-espectral

- Modos y periodos:

Case	Mode	Period sec	Frequency cyc/sec	CircFreq rad/sec	Eigenvalue rad ² /sec ²
Modal	1	4.197	0.238	1.4972	2.2415
Modal	2	1.757	0.569	3.5768	12.7933
Modal	3	1.005	0.995	6.2513	39.0785
Modal	4	0.687	1.455	9.1431	83.5955
Modal	5	0.518	1.929	12.1203	146.901
Modal	6	0.51	1.962	12.3295	152.0161
Modal	7	0.319	3.133	19.6858	387.5296
Modal	8	0.28	3.569	22.4236	502.8186
Modal	9	0.277	3.612	22.6957	515.0927
Modal	10	0.238	4.196	26.3657	695.1511
Modal	11	0.197	5.085	31.9495	1020.7736
Modal	12	0.181	5.521	34.6873	1203.2087
Modal	13	0.158	6.338	39.8198	1585.6157
Modal	14	0.141	7.112	44.6874	1996.9645
Modal	15	0.126	7.963	50.0346	2503.4622
Modal	16	0.113	8.846	55.5809	3089.2351
Modal	17	0.109	9.153	57.5098	3307.3767
Modal	18	0.108	9.237	58.0363	3368.2083
Modal	19	0.105	9.48	59.5661	3548.1246
Modal	20	0.093	10.764	67.6322	4574.1194
Modal	21	0.089	11.251	70.6898	4997.0548
Modal	22	0.085	11.708	73.5616	5411.3053
Modal	23	0.075	13.249	83.2468	6930.0354
Modal	24	0.073	13.671	85.9	7378.8139

Figura 86. Periodos resultantes del análisis estático con aisladores LRB

Fuente: Elaboración propia

Según los resultados obtenidos, el primer modo tiene un periodo de 4.197 s por lo que se cumple el valor objetivo con el cual se diseñó el aislador elástico de núcleo de plomo.

- Fuerzas cortantes de la base:

	Output Case	Case Type	Step Type	Step Number	FX kgf	FY kgf	FZ kgf	MX kgf-m	MY kgf-m	MZ kgf-m
▶	SD Y	LinRespSpec	Max		33332.31	47396.55	0.0002274	929754.22	480875.19	720673.64
	SD X	LinRespSpec	Max		97652.1	21330.33	0.0003941	344192.34	1475865.85	934310.68

Figura 87. Fuerzas cortantes dinámicas de la base con aisladores LRB

Fuente: Elaboración propia

Con los resultados se obtiene el siguiente resumen:

- Fuerzas cortantes dinámicas: $V_{DX} = 97.65 \text{ Tn}$ $V_{DY} = 82.52 \text{ Tn}$
- Fuerzas cortantes estáticas: $V_{EX} = 47.39 \text{ Tn}$ $V_{EY} = 34.54 \text{ Tn}$

Como indica la norma, la fuerza cortante dinámica en el primer entrepiso del edificio no puede ser menor que el 90% de la fuerza cortante estática para estructuras irregulares. Restricción que se cumple como se puede observar de la siguiente manera:

- ✓ $V_{DX} = 97.65 \text{ Tn} > 90\% V_{EX} = 82.52 \text{ Tn}$ (Cumple)
- ✓ $V_{DY} = 47.39 \text{ Tn} > 90\% V_{EY} = 34.54 \text{ Tn}$ (Cumple)

Cabe destacar que la estructura sin aisladores igual cumple la restricción, por lo que se deducía que igual con aisladores debía de cumplir. En este caso con valores de fuerzas más reducidas debido a que ahora se tienen los aisladores colocados en la base de la estructura, los cuales son los que acumulan esas fuerzas.

- Derivas:

Story	Output Case	Case Type	Step Type	Step Number	Direction	Drift	Label	X m	Y m	Z m
Story8	SD-X	LinRespSpec	Max		X	0.000563	74	24.55	0.15	20
Story7	SD-X	LinRespSpec	Max		X	0.000722	74	24.55	0.15	17.5
Story6	SD-X	LinRespSpec	Max		X	0.000856	74	24.55	0.15	15
Story5	SD-X	LinRespSpec	Max		X	0.001029	74	24.55	0.15	12.5
Story4	SD-X	LinRespSpec	Max		X	0.001364	74	24.55	0.15	10
Story3	SD-X	LinRespSpec	Max		X	0.001706	74	24.55	0.15	7.5
Story2	SD-X	LinRespSpec	Max		X	0.002024	74	24.55	0.15	5
Story1	SD-X	LinRespSpec	Max		X	0.001931	66	8.725	0.35	2.5

Figura 88. Resultado de derivas en dirección X con aisladores LRB

Fuente: Elaboración propia

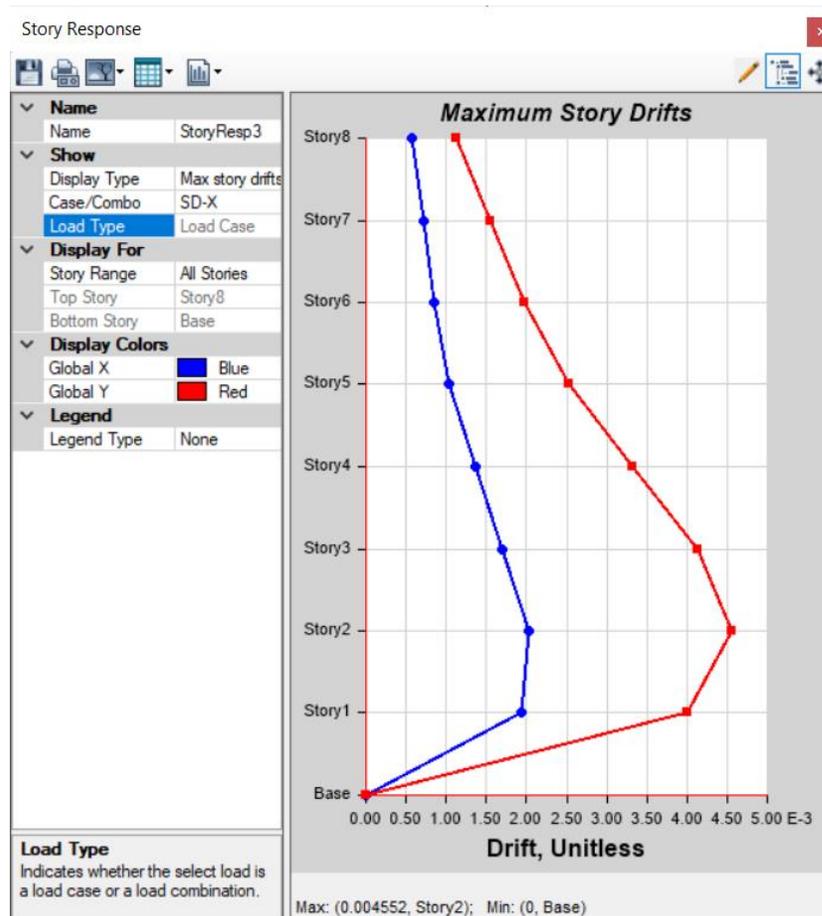


Figura 89. Gráfico de deriva máxima en dirección Y con aisladores LRB

Fuente: Elaboración propia

Story	Output Case	Case Type	Step Type	Step Number	Direction	Drift	Label	X m	Y m	Z m
Story8	SD-Y	LinRespSpec	Max		Y	0.000489	5	0.15	14.875	20
Story7	SD-Y	LinRespSpec	Max		Y	0.000636	8	0.15	3.625	17.5
Story6	SD-Y	LinRespSpec	Max		Y	0.00078	8	0.15	3.625	15
Story5	SD-Y	LinRespSpec	Max		Y	0.000966	5	0.15	14.875	12.5
Story4	SD-Y	LinRespSpec	Max		Y	0.001228	8	0.15	3.625	10
Story3	SD-Y	LinRespSpec	Max		Y	0.00152	8	0.15	3.625	7.5
Story2	SD-Y	LinRespSpec	Max		Y	0.00167	8	0.15	3.625	5
Story1	SD-Y	LinRespSpec	Max		Y	0.001477	8	0.15	3.625	2.5

Figura 90. Resultado de derivas en dirección X con aisladores LRB
Fuente: Elaboración propia

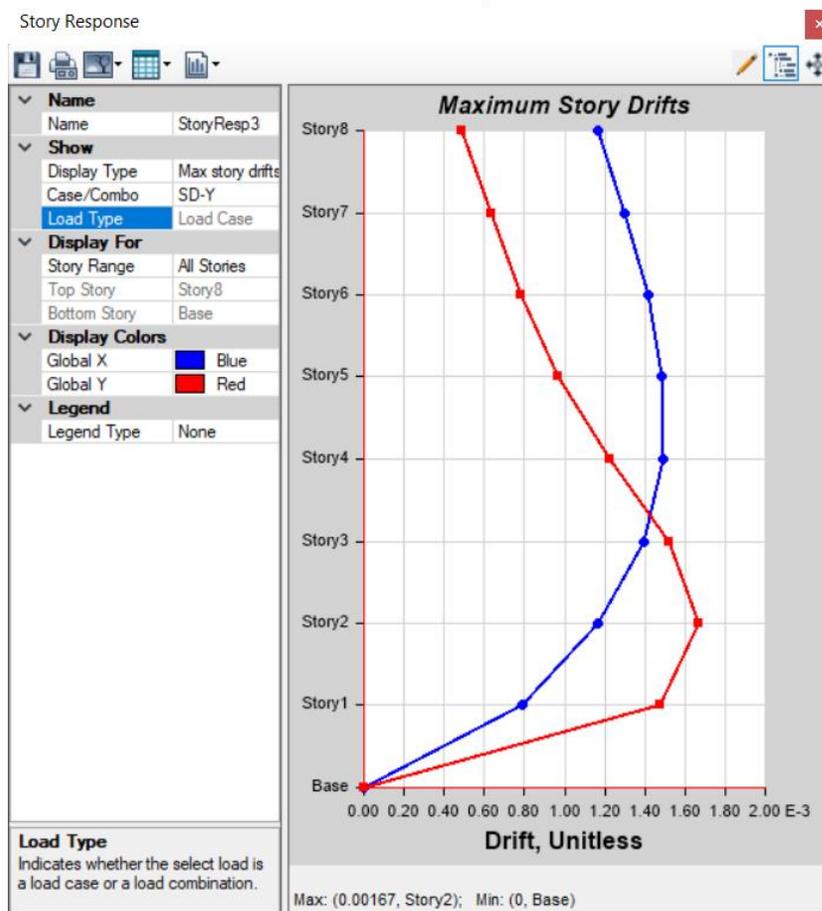


Figura 91. Gráfico de deriva máxima en dirección Y con aisladores LRB
Fuente: Elaboración propia

Con los resultados obtenidos se puede verificar que las derivas cumplen con lo indicado en la norma E.030 Diseño Sismorresistente.

Tabla 28. Resultados de las derivas dinámicas en X y Y con aisladores LRB

PISO	SISMO DINÁMICA EN X			SISMO DINÁMICA EN Y		
	DERIVA	E 030	RESULTADO	DERIVA	E 030	RESULTADO
8	0.000563	0.007	CUMPLE	0.000489	0.007	CUMPLE
7	0.000722	0.007	CUMPLE	0.000636	0.007	CUMPLE
6	0.000856	0.007	CUMPLE	0.00078	0.007	CUMPLE
5	0.001029	0.007	CUMPLE	0.000966	0.007	CUMPLE
4	0.001364	0.007	CUMPLE	0.001228	0.007	CUMPLE
3	0.001706	0.007	CUMPLE	0.001520	0.007	CUMPLE
2	0.002024	0.007	CUMPLE	0.00167	0.007	CUMPLE
1	0.001931	0.007	CUMPLE	0.001477	0.007	CUMPLE

Fuente: Elaboración propia

- Participación de los modos de vibración:

Case	ItemType	Item	Static %	Dynamic %
Modal	Acceleration	UX	99.98	92.21
Modal	Acceleration	UY	100	91.11
Modal	Acceleration	UZ	0	0

Figura 92. Participación modal con aisladores LRB

Fuente: Elaboración propia

Con la figura se puede observar que la participación de los modos es mayor al 90%, siendo aceptable según el requisito indicado en el artículo 29.1.2 de la norma E.030 Diseño Sismorresistente. Por lo que se deduce que la estructura con aisladores elásticos de núcleo de plomo cumple con esa restricción.

4.5.4 Resultados del análisis dinámico tiempo-historia

- Derivas:

Story	Output Case	Case Type	Step Type	Step Number	Direction	Drift	Label	X m	Y m	Z m
Story8	SISMO 5.1 - LMA CALLAO - 25-08-2021	LinModHist	Max		X	0.000705	13	9.9	14.875	20

Story	Output Case	Case Type	Step Type	Step Number	Direction	Drift	Label	X m	Y m	Z m
Story8	SISMO 5.1 - LIMA CALLAO - 25-08-2021	LinModHist	Max		Y	0.00101	8	0.15	3.625	20
Story7	SISMO 5.1 - LIMA CALLAO - 25-08-2021	LinModHist	Max		X	0.000823	74	24.55	0.15	17.5
Story7	SISMO 5.1 - LIMA CALLAO - 25-08-2021	LinModHist	Max		Y	0.001423	8	0.15	3.625	17.5
Story6	SISMO 5.1 - LIMA CALLAO - 25-08-2021	LinModHist	Max		X	0.000605	74	24.55	0.15	15
Story6	SISMO 5.1 - LIMA CALLAO - 25-08-2021	LinModHist	Max		Y	0.002115	8	0.15	3.625	15
Story5	SISMO 5.1 - LIMA CALLAO - 25-08-2021	LinModHist	Max		X	0.000862	13	9.9	14.875	12.5
Story5	SISMO 5.1 - LIMA CALLAO - 25-08-2021	LinModHist	Max		Y	0.003128	8	0.15	3.625	12.5
Story4	SISMO 5.1 - LIMA CALLAO - 25-08-2021	LinModHist	Max		X	0.001295	13	9.9	14.875	10
Story4	SISMO 5.1 - LIMA CALLAO - 25-08-2021	LinModHist	Max		Y	0.004562	8	0.15	3.625	10
Story3	SISMO 5.1 - LIMA CALLAO - 25-08-2021	LinModHist	Max		X	0.00171	13	9.9	14.875	7.5
Story3	SISMO 5.1 - LIMA CALLAO - 25-08-2021	LinModHist	Max		Y	0.005974	8	0.15	3.625	7.5
Story2	SISMO 5.1 - LIMA CALLAO - 25-08-2021	LinModHist	Max		X	0.001963	13	9.9	14.875	5
Story2	SISMO 5.1 - LIMA CALLAO - 25-08-2021	LinModHist	Max		Y	0.00664	8	0.15	3.625	5
Story1	SISMO 5.1 - LIMA CALLAO - 25-08-2021	LinModHist	Max		X	0.001509	5	0.15	14.875	2.5
Story1	SISMO 5.1 - LIMA CALLAO - 25-08-2021	LinModHist	Max		Y	0.005328	8	0.15	3.625	2.5

Figura 93. Resultado de derivas en el sismo de 5.1 Mw en Callao, Lima

Fuente: Elaboración propia

Story	Output Case	Case Type	Step Type	Step Number	Direction	Drift	Label	X m	Y m	Z m
Story8	SISMO 5.8 - LIMA MALA - 22-06-2021	LinModHist	Max		X	0.002823	13	9.9	14.875	20
Story8	SISMO 5.8 - LIMA MALA - 22-06-2021	LinModHist	Max		Y	0.002268	8	0.15	3.625	20
Story7	SISMO 5.8 - LIMA MALA - 22-06-2021	LinModHist	Max		X	0.00289	13	9.9	14.875	17.5
Story7	SISMO 5.8 - LIMA MALA - 22-06-2021	LinModHist	Max		Y	0.002773	8	0.15	3.625	17.5
Story6	SISMO 5.8 - LIMA MALA - 22-06-2021	LinModHist	Max		X	0.003086	13	9.9	14.875	15
Story6	SISMO 5.8 - LIMA MALA - 22-06-2021	LinModHist	Max		Y	0.003364	8	0.15	3.625	15
Story5	SISMO 5.8 - LIMA MALA - 22-06-2021	LinModHist	Max		X	0.003208	13	9.9	14.875	12.5
Story5	SISMO 5.8 - LIMA MALA - 22-06-2021	LinModHist	Max		Y	0.003136	8	0.15	3.625	12.5
Story4	SISMO 5.8 - LIMA MALA - 22-06-2021	LinModHist	Max		X	0.002882	13	9.9	14.875	10
Story4	SISMO 5.8 - LIMA MALA - 22-06-2021	LinModHist	Max		Y	0.002696	8	0.15	3.625	10
Story3	SISMO 5.8 - LIMA MALA - 22-06-2021	LinModHist	Max		X	0.002607	13	9.9	14.875	7.5
Story3	SISMO 5.8 - LIMA MALA - 22-06-2021	LinModHist	Max		Y	0.003066	8	0.15	3.625	7.5
Story2	SISMO 5.8 - LIMA MALA - 22-06-2021	LinModHist	Max		X	0.002569	13	9.9	14.875	5
Story2	SISMO 5.8 - LIMA MALA - 22-06-2021	LinModHist	Max		Y	0.003102	8	0.15	3.625	5
Story1	SISMO 5.8 - LIMA MALA - 22-06-2021	LinModHist	Max		X	0.002296	68	12.9	0.25	2.5
Story1	SISMO 5.8 - LIMA MALA - 22-06-2021	LinModHist	Max		Y	0.003581	8	0.15	3.625	2.5

Figura 94. Resultado de derivas en el sismo de 5.8 Mw en Mala, Lima

Fuente: Elaboración propia

Story	Output Case	Case Type	Step Type	Step Number	Direction	Drift	Label	X m	Y m	Z m
Story8	SISMO 7.1 - AREQUIPA LOMAS - 14-01-2018	LinModHist	Max		X	0.003691	36	7.55	5.975	20
Story8	SISMO 7.1 - AREQUIPA LOMAS - 14-01-2018	LinModHist	Max		Y	0.003913	8	0.15	3.625	20
Story7	SISMO 7.1 - AREQUIPA LOMAS - 14-01-2018	LinModHist	Max		X	0.003848	38	9.175	5.975	17.5
Story7	SISMO 7.1 - AREQUIPA LOMAS - 14-01-2018	LinModHist	Max		Y	0.004969	8	0.15	3.625	17.5
Story6	SISMO 7.1 - AREQUIPA LOMAS - 14-01-2018	LinModHist	Max		X	0.003994	38	9.175	5.975	15
Story6	SISMO 7.1 - AREQUIPA LOMAS - 14-01-2018	LinModHist	Max		Y	0.005621	8	0.15	3.625	15
Story5	SISMO 7.1 - AREQUIPA LOMAS - 14-01-2018	LinModHist	Max		X	0.003697	38	9.175	5.975	12.5
Story5	SISMO 7.1 - AREQUIPA LOMAS - 14-01-2018	LinModHist	Max		Y	0.004564	8	0.15	3.625	12.5
Story4	SISMO 7.1 - AREQUIPA LOMAS - 14-01-2018	LinModHist	Max		X	0.003119	38	9.175	5.975	10
Story4	SISMO 7.1 - AREQUIPA LOMAS - 14-01-2018	LinModHist	Max		Y	0.004135	8	0.15	3.625	10
Story3	SISMO 7.1 - AREQUIPA LOMAS - 14-01-2018	LinModHist	Max		X	0.002869	74	24.55	0.15	7.5
Story3	SISMO 7.1 - AREQUIPA LOMAS - 14-01-2018	LinModHist	Max		Y	0.006543	8	0.15	3.625	7.5
Story2	SISMO 7.1 - AREQUIPA LOMAS - 14-01-2018	LinModHist	Max		X	0.002802	74	24.55	0.15	5
Story2	SISMO 7.1 - AREQUIPA LOMAS - 14-01-2018	LinModHist	Max		Y	0.006958	8	0.15	3.625	5
Story1	SISMO 7.1 - AREQUIPA LOMAS - 14-01-2018	LinModHist	Max		X	0.002276	5	0.15	14.875	2.5
Story1	SISMO 7.1 - AREQUIPA LOMAS - 14-01-2018	LinModHist	Max		Y	0.005494	8	0.15	3.625	2.5

Figura 95. Resultado de derivas en el sismo de 7.1 Mw en Lomas, Arequipa

Fuente: Elaboración propia

De los resultados obtenidos se puede deducir que los aisladores cumplen con su función, puesto que en este caso ya se cumple la restricción de las derivas como indica la norma. No obstante, si bien esto sucede en la mayoría de derivas, existen cuatro niveles en el caso del último sismo que esto no se cumple, como se visualiza en las siguientes tablas:

Tabla 29. Resultados de las derivas del sismo de 5.1 Mw. con aisladores LRB

PISO	SISMO DE 5.51 MW EN X			SISMO DE 5.1 MW EN Y		
	DERIVA	E 030	RESULTADO	DERIVA	E 030	RESULTADO
8	0.000705	0.007	CUMPLE	0.00101	0.007	CUMPLE
7	0.000823	0.007	CUMPLE	0.001423	0.007	CUMPLE
6	0.000605	0.007	CUMPLE	0.002115	0.007	CUMPLE
5	0.000862	0.007	CUMPLE	0.003128	0.007	CUMPLE
4	0.001295	0.007	CUMPLE	0.004562	0.007	CUMPLE
3	0.001710	0.007	CUMPLE	0.005974	0.007	CUMPLE
2	0.001963	0.007	CUMPLE	0.00664	0.007	CUMPLE
1	0.001509	0.007	CUMPLE	0.005328	0.007	CUMPLE

Fuente: Elaboración propia

Tabla 30. Resultados de las derivas del sismo de 5.8 Mw. con aisladores LRB

PISO	SISMO DE 5.8 MW EN X			SISMO DE 5.8 MW EN Y		
	DERIVA	E 030	RESULTADO	DERIVA	E 030	RESULTADO
8	0.002823	0.007	CUMPLE	0.002268	0.007	CUMPLE
7	0.00289	0.007	CUMPLE	0.002773	0.007	CUMPLE
6	0.003086	0.007	CUMPLE	0.003364	0.007	CUMPLE
5	0.003208	0.007	CUMPLE	0.003136	0.007	CUMPLE
4	0.002882	0.007	CUMPLE	0.002696	0.007	CUMPLE
3	0.002607	0.007	CUMPLE	0.003066	0.007	CUMPLE
2	0.002569	0.007	CUMPLE	0.003102	0.007	CUMPLE
1	0.002296	0.007	CUMPLE	0.003581	0.007	CUMPLE

Fuente: Elaboración propia

Tabla 31. Resultados de las derivas del sismo de 7.1 Mw. con aisladores LRB

PISO	SISMO DE 7.1 MW EN X			SISMO DE 7.1 MW EN Y		
	DERIVA	E 030	RESULTADO	DERIVA	E 030	RESULTADO
8	0.003691	0.007	CUMPLE	0.003913	0.007	CUMPLE
7	0.003848	0.007	CUMPLE	0.004969	0.007	CUMPLE
6	0.003994	0.007	CUMPLE	0.005621	0.007	CUMPLE
5	0.003697	0.007	CUMPLE	0.004564	0.007	CUMPLE
4	0.003119	0.007	CUMPLE	0.004135	0.007	CUMPLE
3	0.002869	0.007	CUMPLE	0.006543	0.007	CUMPLE

2	0.002802	0.007	CUMPLE	0.006958	0.007	CUMPLE
1	0.002276	0.007	CUMPLE	0.005494	0.007	CUMPLE

Fuente: Elaboración propia

4.6 Análisis sísmico de la estructura con aisladores FPD

4.6.1 Diseño de los aisladores de doble péndulo friccional

Este tipo de aisladores según Landi, Grazi y Diotallevi (2015, p. 1) indican que el sistema de aislamiento de péndulo de fricción combina dos mecanismos: el deslizamiento por fricción de las superficies de acero, que se separa clasificado por una capa de teflón, y el movimiento pendular del deslizador en una superficie perfectamente esférica. A través de estos mecanismos, el dispositivo es capaz de volver a centrarse por sí mismo y puede disipar una gran cantidad de energía a través del deslizamiento sobre una superficie curva.

Para iniciar con el diseño, se tomó en consideración la Norma Técnica Peruana E.031 Aislamiento Sísmico y el código ASCE 7-16, en especial su capítulo 18. De esta forma se tiene el siguiente procedimiento:

1. Datos de la estructura

- ✓ Masa del edificio:

Story	Diaphragm	Mass X tonf-s ² /m	Mass Y tonf-s ² /m	XCM m	YCM m	Cum Mass X tonf-s ² /m	Cum Mass Y tonf-s ² /m	XCCM m	YCCM m	XCR m	YCR m
Story1	D1	22.48929	22.48929	12.2868	7.224	22.48929	22.48929	12.2868	7.224	14.8705	8.515
Story2	D2	22.48929	22.48929	12.2868	7.224	22.48929	22.48929	12.2868	7.224	15.0409	8.3853
Story3	D3	22.48929	22.48929	12.2868	7.224	22.48929	22.48929	12.2868	7.224	15.0982	8.2572
Story4	D4	22.48929	22.48929	12.2868	7.224	22.48929	22.48929	12.2868	7.224	15.0943	8.1357
Story5	D5	22.48929	22.48929	12.2868	7.224	22.48929	22.48929	12.2868	7.224	15.0592	8.0203
Story6	D6	22.48929	22.48929	12.2868	7.224	22.48929	22.48929	12.2868	7.224	15.0018	7.9093
Story7	D7	22.48929	22.48929	12.2868	7.224	22.48929	22.48929	12.2868	7.224	14.9304	7.7971
Story8	D8	20.58868	20.58868	12.2815	7.2133	20.58868	20.58868	12.2815	7.2133	14.8545	7.6953

Figura 96. Masas de cada nivel de la estructura

Fuente: Elaboración propia

La suma total de los niveles sería 178.01 tonf-s²/m, sin embargo, se tendrá en cuenta una masa de todo un nivel más al considerar los aisladores que

serán colocados por debajo de las columnas, por lo que se tendría una masa total de 198.60 tonf-s²/m.

- ✓ Los periodos fundamentales:

Tabla 32. *Periodos y modos de vibración*

1° Modo	T _y	1.399
2° Modo	T _x	0.991
3° Modo	T _z	0.857

Fuente: Elaboración propia

La norma E.031 Aislamiento Sísmico en el artículo 17.4.1 indica que el periodo aislado debe ser tres veces mayor al periodo con base fija. Por lo que se considerará 4.197 s el periodo aislado.

- ✓ Columnas del edificio:

Teniendo en consideración que, al no haber sótano, el aislador ira entre la zapata y el inicio de la columna, se contará con las 19 columnas de edificio como puntos donde ira cada aislador, teniendo así 19 aisladores. Cabe destacar que la dimensión del aislador no depende de las columnas puestos que estos van entre la losa y la zapata.

2. Calculo del desplazamiento total máximo

- Rigidez del aislador:

Teniendo la masa y el periodo objetivos para el aislador se puede calcular la rigidez del aislador con la siguiente formula:

$$K_{ais} = \frac{4\pi^2}{T_{ais}^2} * M = \frac{4\pi^2}{(4.197)^2} * 445.11 = 445.11 \text{ Tn/m}$$

En este caso, considerando que se la estructura contaría con 19 aisladores, la rigidez por cada aislador sería de 24.43 Tn/m.

- Factor de amortiguamiento:

Para el respectivo valor, la norma ASCE 7-16 brinda la siguiente tabla:

Tabla 33. Factor de amortiguamiento

Effective Damping, β (percentage of critical)	$B_{v+i}, B_{1D}, B_R, B_{1M}, B_{mD}, B_{mM}$ (where period of the structure $\geq T_0$)
≤ 2	0.8
5	1.0
10	1.2
20	1.5
30	1.8
40	2.1
50	2.4
60	2.7
70	3.0
80	3.3
90	3.6
≥ 100	4.0

Fuente: ASCE 7-16, capítulo 18, inciso 18.6

En síntesis, lo que indica la tabla es que para obtener el factor de amortiguamiento se debe de tener el amortiguamiento efectivo β el cual es un porcentaje del amortiguamiento crítico. Para la presente investigación se consideró un valor inicial de 15% de amortiguamiento efectivo, por lo que como indica la norma E.031 Aislamiento sísmico, para obtener ese valor se realiza una interpolación lineal la cual da como resultado 1.35 de β_M (factor de amortiguamiento).

- Aceleración sísmica:

Considerando que se tiene un nuevo periodo objetivo para los aisladores, el valor de la aceleración sísmica será modificada ya que el factor de amplificación sísmica depende del periodo. Por lo que, según lo estipulado en la norma se tienen los siguientes parámetros:

$$\begin{aligned}
 T < 0,2 T_P & \rightarrow C = 1 + 7,5 \cdot \left(\frac{T}{T_P}\right) \\
 0,2 T_P < T < T_P & \rightarrow C = 2,5 \\
 T_P < T < T_L & \rightarrow C = 2,5 \cdot \left(\frac{T_P}{T}\right) \\
 T > T_L & \rightarrow C = 2,5 \cdot \left(\frac{T_P \cdot T_L}{T^2}\right)
 \end{aligned}$$

Figura 97. Parámetros para el factor de amplificación

Fuente: E.031 Aislamiento Sísmico

Dado a que los valores son los siguientes: $T_P = 0.40$, $T_L = 2.50$ y $T_a = 4.20$. Se tendría que aplicar el cuarto parámetro, por lo que al aplicarse la ecuación correspondiente se tendría lo siguiente:

$$C = 2.5 * \left(\frac{0.40 * 2.50}{4.20^2} \right) = 0.14$$

Siendo ese factor el único valor que cambia, se puede recalcular nuevamente la aceleración sísmica según lo indicado en la norma E.031 Aislamiento Sísmico.

$$S_a = 1.5 * Z * U * C * S * g$$

$$S_a = 1.5 * 0.45 * 1.00 * 0.14 * 1.00 * 9.81 = 0.94$$

- Desplazamiento total máximo:

Según la norma E.031 Aislamiento Sísmico (2019, p. 74) “el sistema de aislamiento sísmico debe ser diseñado y construido para soportar, como mínimo, el desplazamiento máximo”, por lo cual para el cálculo de este valor nos brinda la siguiente formula:

$$D_M = \frac{S_{aM} * T_M^2}{4 * \pi^2 * B_M}$$

Por lo que, reemplazando los valores se obtiene un desplazamiento máximo de 31.06 cm. Asimismo, se calcula el desplazamiento total máximo, el cual indica la norma que no debe ser menor a 1.15 del desplazamiento máximo, por lo que se tiene 35.72 cm de desplazamiento total máximo.

3. Diseño geométrico de los aisladores de doble péndulo friccional

- Propiedades de resistencia del aislador:
 - ✓ Esfuerzo axial permisible en servicio del teflón = 2243 Tn.m2
 - ✓ Esfuerzo axial permisible en combinación del teflón = 4598 Tn.m2

En el caso de los pesos, se tomó en consideración dos, uno que tiene la combinación de $1.5 * CM + 1.25 * CV$ y otro con la combinación de

1.5*CM+1.25*CV+SISMO. Por lo que se tuvo los siguientes resultados máximos en la base:

- ✓ Peso a: 255.57 Tn
- ✓ Peso b: 337.61 Tn

Estos valores serán fundamentales para poder obtener las propiedades histeréticas del aislador a diseñar. Así como también será de suma importancia comprender como se compone el aislador.

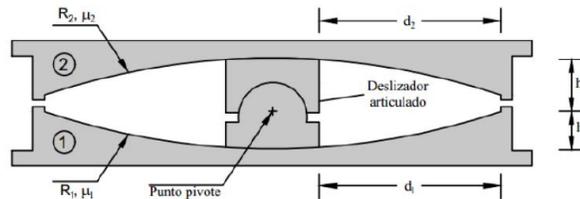


Figura 98. Sección transversal del aislador de doble péndulo friccional

Fuente: DIESCON Ingenieros

- Diámetro del teflón, del POT y del deslizador:

Con los datos que tenemos se puede hallar el área máxima y mínima del aislador de la siguiente manera:

$$A = \max\left(\frac{P_a}{\sigma_s}, \frac{P_b}{\sigma_u}\right)$$

Al reemplazar los valores se tiene: $A_{max} = 0.114 \text{ m}^2$ y $A_{min} = 0.074 \text{ m}^2$. En este caso se utilizará el área máxima posible, por lo que al tener la cantidad de área se puede hallar el diámetro del teflón.

$$D_{t_mín} = \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0.114}{\pi}} = 38.09 \cong 38.00 \text{ cm}$$

Por otra parte, para hallar el diámetro del POT se consideraría la agregar 2.5 cm por cada lado, teniendo un valor de 43 cm, puesto que el POT se refiere a la segunda parte interna del aislador, por debajo de la placa principal. Por lo que teniendo este diámetro se puede obtener el diámetro del deslizador, ya que este es la quinta parte del POT, siendo su dimensión 7.60 cm.

- Radio de curvatura y efectivo:

Según la norma ASCE 7-16 (2016, p. 154), el radio de curvatura del aislador debe ser menor al desplazamiento total máximo del mismo, por lo que se tendría un radio máximo de 7.144 m.

Por otra parte, el radio de curvatura también se puede calcular de la siguiente manera:

$$R = \left(\frac{T}{2 * \pi} \right)^2 * g$$

Considerando que el periodo objetivo es de 4.197 s se hubiera obtenido un radio de 4.377 m, cumpliendo así con lo indicado en la norma. Sin embargo, para la presente investigación se empleará un radio de curvatura de 1.555 m al emplearse la siguiente tabla:

Tabla 34. Lista de diámetros de la superficie y radio de curvatura

TABLE 4-2 Partial List of Standard Sizes of FP Bearing Concave Plates	
Radius of Curvature, mm (inch)	Diameter of Concave Surface, mm (inch)
1555 (61)	356 (14)
	457 (18)
	559 (22)
	787 (31)
	914 (36)
2235 (88)	686 (27)
	787 (31)
	914 (36)
	991 (39)
	1041 (41)
	1118 (44)
	1168 (46)
	1295 (51)
3048 (120)	1422 (56)
	686 (27)
3962 (156)	1422 (56)
	1600 (63)
	1778 (70)
	2692 (106)
6045 (238)	3150 (124)
	1981 (78)
	2388 (94)
	2692 (106)
	3327 (131)
	3632 (143)

Fuente: Constantinou *et al*, 2011

Asimismo, al saber que el radio efectivo es menor que el radio de curvatura, se asumirá un radio de efectivo 1 y 2 de 1.455 m para los siguientes cálculos.

4. Propiedades histeréticas del aislador

- Coeficientes de fricción:

Este valor es un porcentaje que se da al aislador al existir el rozamiento entre es deslizador y la superficie cóncava. Por lo que para escoger el valor se tomara en consideración la siguiente tabla:

Tabla 35. *Coeficientes de fricción recomendados por su uso*

Use	Value
Analysis under seismic load conditions (high speed)	0.06
Analysis under service load conditions (low speed)	0.03
Design of bearings, substructure and superstructure under service load conditions*	0.10
Design of bearings, substructure and superstructure under seismic load conditions	0.15
* Use value of 0.06 only when checking equation (7-1)	

Fuente: Constantinou *et al*, 2011

Considerando que se tomara el coeficiente para los dos tipos de análisis, se optó por tomar el valor de 0.04 para el primer coeficiente de fricción (μ_1), ya que como se puede observar en la figura 80, existen dos coeficientes para cada superficie cóncava. Por lo que para el segundo coeficiente de fricción (μ_2) se utilizó la siguiente ecuación:

$$\mu_2 = \frac{1}{3} * \left(\frac{D_M}{R_{eff1}} - \mu_1 \right)$$

Siendo R_{eff1} el radio de curvatura 1, D_M el desplazamiento máximo y μ_1 el primer coeficiente de fricción, al reemplazar los valores se obtiene 5.81% como el segundo coeficiente de fricción (μ_2).

- Propiedades de rigidez a corte:

Tabla 36. *Propiedades de rigidez a corte del aislador FPD*

Coeficiente de fricción absoluto			
Valor	Cantidad	Unid.	Fórmula
R_{eff1}	1.45	m	$\mu_e = \frac{\mu_1 * R_{eff1} + \mu_2 * R_{eff2}}{R_{eff1} + R_{eff2}}$
R_{eff2}	1.45	m	
μ_2	5.81%		
μ_e	4.90%		μ_e 5.36%

Fuerza de histéresis			
Valor	Cantidad	Unid.	Fórmula
Paislador	255.57	Tn	$Q_d = \mu_e * P$
μ_e	5.36%		
		Q_d	13.69 Tn
Rígidez post fluencia			
Valor	Cantidad	Unid.	Fórmula
Paislador	255.57	Tn	$K_d = \frac{P}{R_{eff1} + R_{eff2}}$
R_{eff1}	1.45	m	
R_{eff2}	1.45	m	
		K_d	88.13 Tn/m
Rígidez efectiva			
Valor	Cantidad	Unid.	Fórmula
Q_d	12.53	Tn	$K_{ef} = K_d + \frac{Q_d}{D_M}$
D_M	0.311	m	
K_d	88.13	Tn/m	
		K_{ef}	128.48 Tn/m
Fuerza efectiva			
Valor	Cantidad	Unid.	Fórmula
K_{ef}	128.48	Tn/m	$F = K_{ef} * D_M$
D_M	0.311	m	
		F	39.91 Tn

Fuente: Elaboración propia.

- Propiedades del régimen I:

Este régimen es conocido como el primer movimiento del deslizador sobre las superficies cóncavas, donde se cumple que $\mu_1 < \mu_2$.

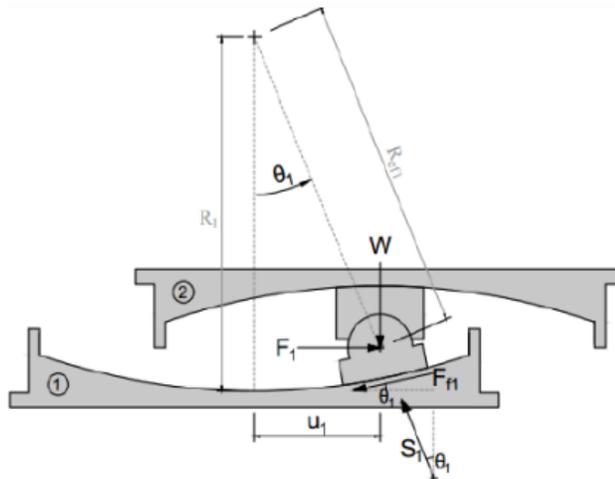


Figura 99. Régimen I del aislador de doble péndulo friccional

Fuente: DIESCON Ingenieros

Como se observa la figura, se tiene el peso que soportara el aislador al cual lo llamaremos P_{aislador} , así como también el radio efectivo, por lo que entendiendo la distribución de propiedades, se procede a calcularlas:

Tabla 37. Propiedades del régimen I

Fuerza de fricción 1					
Valor	Cantidad	Unid.	Fórmula		
P_{aislador}	255.57	Tn	$F_{f1} = \mu_1 * P$		
μ_1	4.00%				
			F_{f1}	10.22	Tn
Desplazamiento de fricción 1					
Valor	Cantidad	Unid.	Fórmula		
F	39.91	Tn	$D_{u1} = (F - F_{f1}) * \frac{R_{eff1}}{P}$		
F_{f1}	10.22	Tn			
R_{eff1}	1.45	m			
P_{aislador}	255.57	Tn	D_{u1}	16.84	cm

Fuente: Elaboración propia

- Propiedades del régimen II:

Este régimen es conocido como el segundo movimiento del deslizador sobre las superficies cóncavas, donde se cumple que $\mu_1 = \mu_2$.

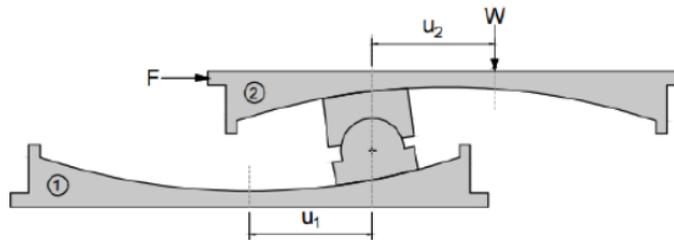


Figura 100. Régimen II del aislador de doble péndulo friccional

Fuente: DIESCON Ingenieros

Las propiedades correspondientes al régimen son las siguientes:

Tabla 38. Propiedades del régimen II

Fuerza de fricción 2					
Valor	Cantidad	Unid.	Fórmula		
P_{aislador}	255.57	Tn	$F_{f2} = \mu_2 * P$		
μ_2	5.81%				
			F_{f2}	14.84	Tn

Desplazamiento de fricción 2					
Valor	Cantidad	Unid.	Fórmula		
F	39.91	Tn	$D_{u2} = (F - F_{f1}) * \frac{R_{eff1}}{P}$		
Ff1	14.84	Tn			
Reff1	1.45	m			
Paislador	255.57	Tn	Du2	14.22	cm

Fuente: Elaboración propia

- Propiedades dinámicas:

Tabla 39. Propiedades dinámicas del aislador FPD

Energía disipada					
Valor	Cantidad	Unid.	Fórmula		
Qd	12.53	Tn	$E_D = 4 * Q_d * D_M$		
DM	0.311	m			
			ED	15.57	Tn.m
Energía elástica					
Valor	Cantidad	Unid.	Fórmula		
Kef	128.48	Tn/m	$E_E = K_{ef} * (D_M)^2$		
DM	0.311	m			
			EE	12.40	Tn.m
Amortiguamiento efectivo					
Valor	Cantidad	Unid.	Fórmula		
ED	15.57	Tn.m	$\beta = \frac{E_D}{2 * \pi * E_E}$		
EE	12.40	Tn.m			
β	19.99%				

Fuente: Elaboración propia

- Coeficientes de amortiguamiento:

Tabla 40. Coeficientes de amortiguamiento del aislador FPD

Coeficiente de amortiguamiento vertical					
Valor	Cantidad	Unid.	Fórmula		
Kv	408399	Tn/m	$C_V = 2 * 5\% * \sqrt{K_V * \frac{P_a}{g}}$		
Pa	255.57	Tn			
g	9.81	m/s2			
			Cv	326.19	Tn-s/m
Coeficiente de amortiguamiento horizontal					
Valor	Cantidad	Unid.	Fórmula		
ED	15.57	Tn.m	$C_H = \frac{E_D * T_a}{2 * \pi^2 * D_M^2}$		
Taislado	4.20	s			
DM	0.3106	m			
			CH	34.31	Tn-s/m

Fuente: Elaboración propia.

5. Modelamiento del aislador en el software ETABS 18.1.1

Respecto a esto, Sarkisian *et al.* (2013, p. 6) mencionan que el software ETABS es el más comercial y útil para los análisis sísmicos ya que despliega una gran gama de resultados, además que toma los valores fundamentales de los aisladores. Por ello mismo es que se ingresaron los siguientes resultados al software.

Tabla 41. *Propiedades del aislador a ingresar en el software*

Propiedades del aislador a ingresar en el software			
Dirección	Propiedades	Cantidad	Unidad
Eje X y Y	Rígidez efectiva (K_{ef})	128.48	Tn
	Coeficiente de amortiguamiento horizontal (C_H)	34.31	Tn/m
	Rígidez	1800.00	Tn-s/m
	Coeficiente de fricción, lento (μ)	0.04	
	Coeficiente de fricción, rápido (μ)	0.06	
	Parametro de tasa	1.00	s/m
	Radio neto del péndulo	1000.00	m
Eje Z	Rígidez efectiva (K_v)	408399	Tn.m
	Coeficiente de amortiguamiento vertical (C_v)	326.19	Tn-s/m
	Rígidez (K_v)	408399	Tn.m
	Coeficiente de amortiguamiento vertical (C_v)	326	Tn-s/m

Fuente: Elaboración propia.

Asimismo, para mostrar la veracidad del proyecto, se procede a mostrar el ingreso de esos datos al software ETABS 18.1.1.

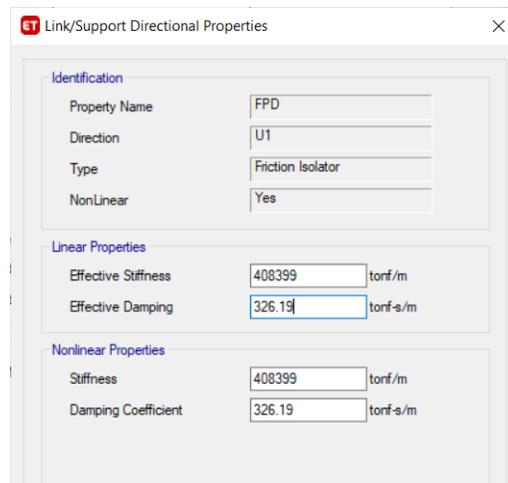


Figura 101. Propiedades del aislador FPD en dirección Z

Fuente: Elaboración propia

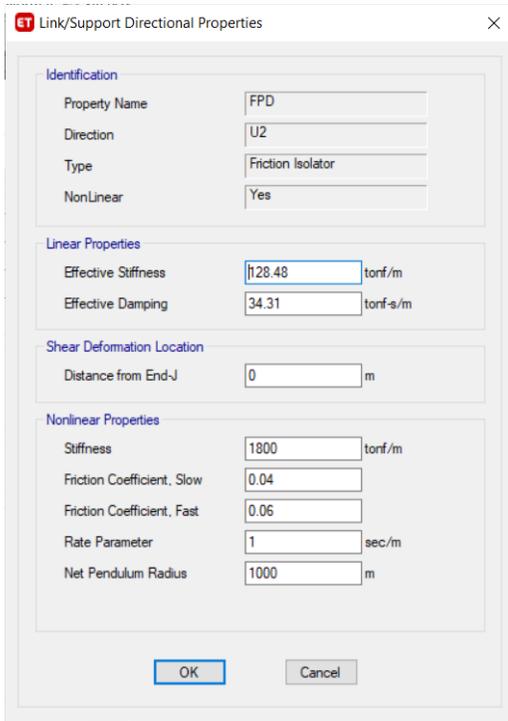


Figura 102. Propiedades del aislador FPD en dirección X

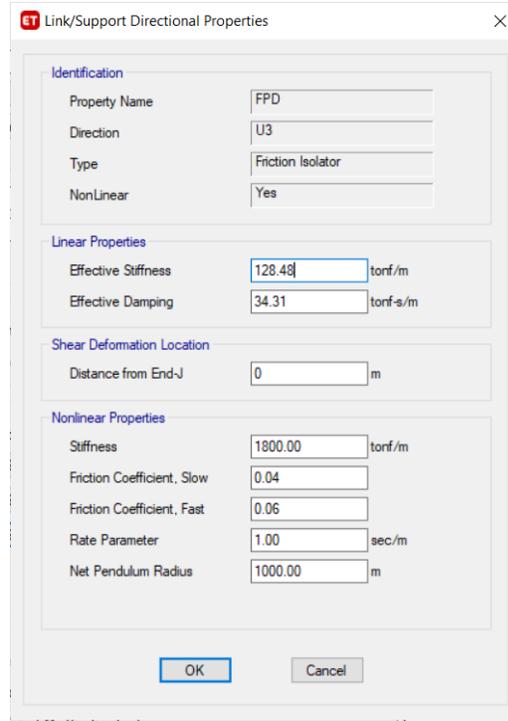


Figura 103. Propiedades del aislador FPD en dirección Y

Fuente: Elaboración propia

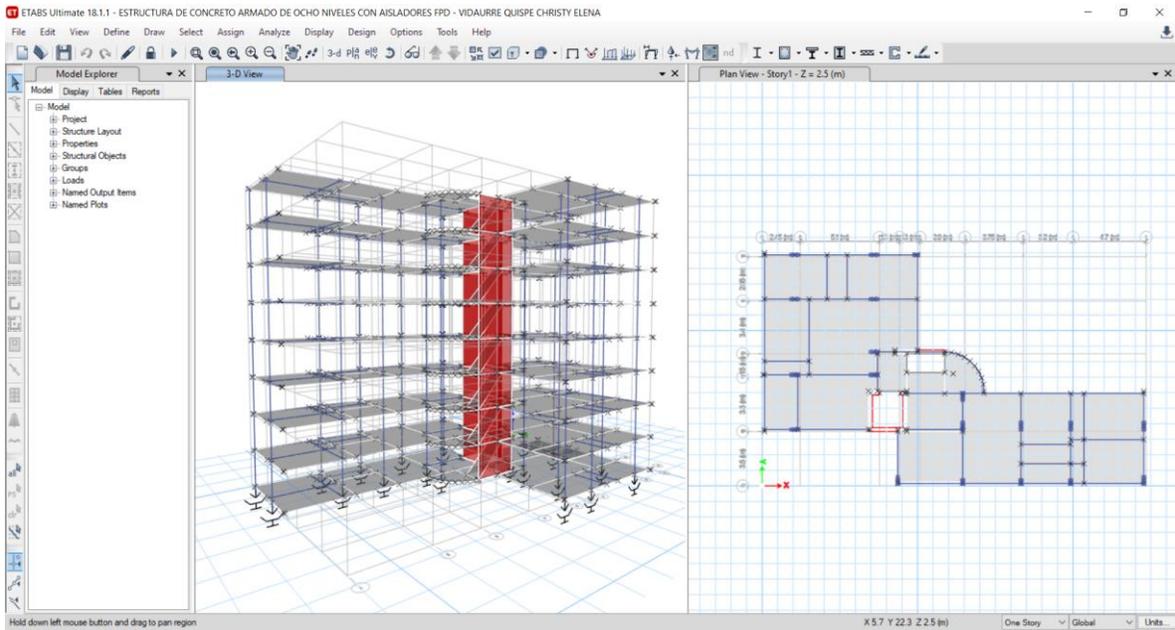
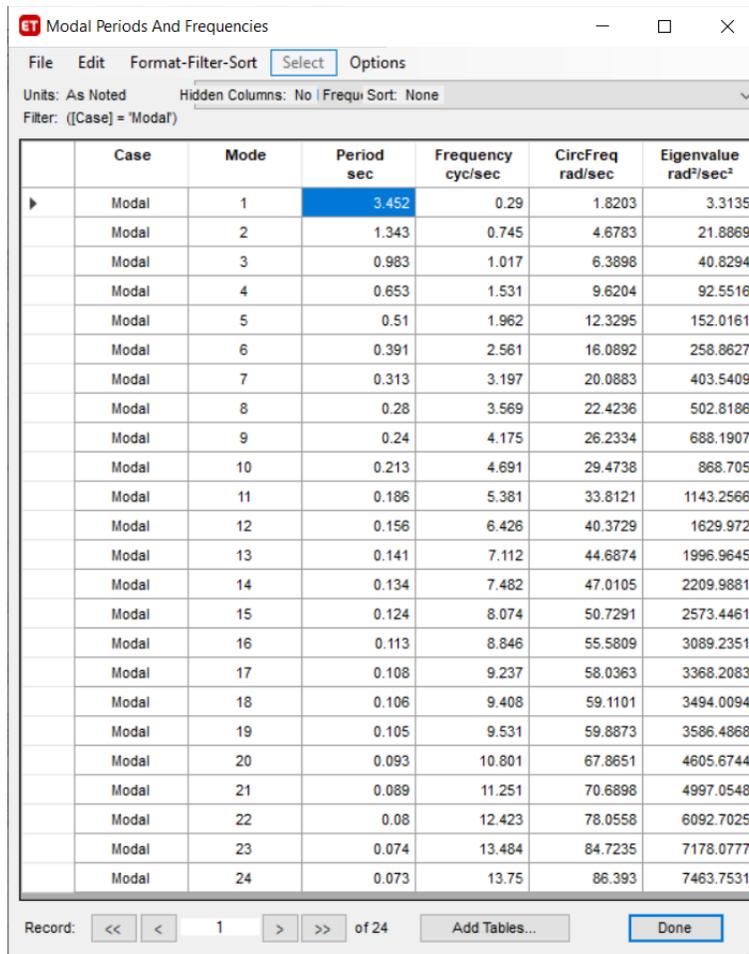


Figura 104. Aisladores FPD ingresados en la planta base de la estructura

Fuente: Elaboración propia

4.6.2 Resultados del análisis estático o de fuerzas equivalentes

- Modos y periodos:



The screenshot shows the 'Modal Periods And Frequencies' window in ETABS. The window title is 'ET Modal Periods And Frequencies'. The menu bar includes 'File', 'Edit', 'Format-Filter-Sort', 'Select', and 'Options'. The status bar shows 'Units: As Noted', 'Hidden Columns: No', and 'Frequency Sort: None'. The filter is set to 'Filter: ((Case) = "Modal")'. The table below displays the results for 24 modal cases.

	Case	Mode	Period sec	Frequency cyc/sec	CircFreq rad/sec	Eigenvalue rad ² /sec ²
▶	Modal	1	3.452	0.29	1.8203	3.3135
	Modal	2	1.343	0.745	4.6783	21.8869
	Modal	3	0.983	1.017	6.3898	40.8294
	Modal	4	0.653	1.531	9.6204	92.5516
	Modal	5	0.51	1.962	12.3295	152.0161
	Modal	6	0.391	2.561	16.0892	258.8627
	Modal	7	0.313	3.197	20.0883	403.5409
	Modal	8	0.28	3.569	22.4236	502.8186
	Modal	9	0.24	4.175	26.2334	688.1907
	Modal	10	0.213	4.691	29.4738	868.705
	Modal	11	0.186	5.381	33.8121	1143.2566
	Modal	12	0.156	6.426	40.3729	1629.972
	Modal	13	0.141	7.112	44.6874	1996.9645
	Modal	14	0.134	7.482	47.0105	2209.9881
	Modal	15	0.124	8.074	50.7291	2573.4461
	Modal	16	0.113	8.846	55.5809	3089.2351
	Modal	17	0.108	9.237	58.0363	3368.2083
	Modal	18	0.106	9.408	59.1101	3494.0094
	Modal	19	0.105	9.531	59.8873	3586.4868
	Modal	20	0.093	10.801	67.8651	4605.6744
	Modal	21	0.089	11.251	70.6898	4997.0548
	Modal	22	0.08	12.423	78.0558	6092.7025
	Modal	23	0.074	13.484	84.7235	7178.0777
	Modal	24	0.073	13.75	86.393	7463.7531

Record: << < 1 > >> of 24 Add Tables... Done

Figura 105. Periodos resultantes del análisis estático con aisladores FPD

Fuente: Elaboración propia

Como se mencionó anteriormente, el periodo es fundamental para realizar el análisis estático o de fuerzas equivalentes. Respecto a esto, según lo que indica Fajfar (2018, p. 18) es que los periodos de vibración son fundamentales para cualquier análisis al tener una naturaleza dinámica e intervenir en las cargas estáticas, además de que este es el espacio de tiempo en que estará en movimiento telúrico en la estructura.

Es por ello mismo que la norma E.031 Aislamiento Sísmico busca diseñar los aisladores con el triple valor del periodo del primer modo ya que el objetivo

es que la estructura aislada pueda alcanzar niveles tan altos y cumplir con las restricciones normativas. No obstante, si bien la norma indica que ese valor objetivo para el periodo aislado, el valor resultante en este caso que es de 3.452 s, por lo que, si bien no cumple como aislador, tampoco es que sea un valor bajo como periodo.

En secuencia a lo descrito, se procedió a seguir trabajando con los periodos obtenidos en los modos como se puede apreciar en la siguiente figura:

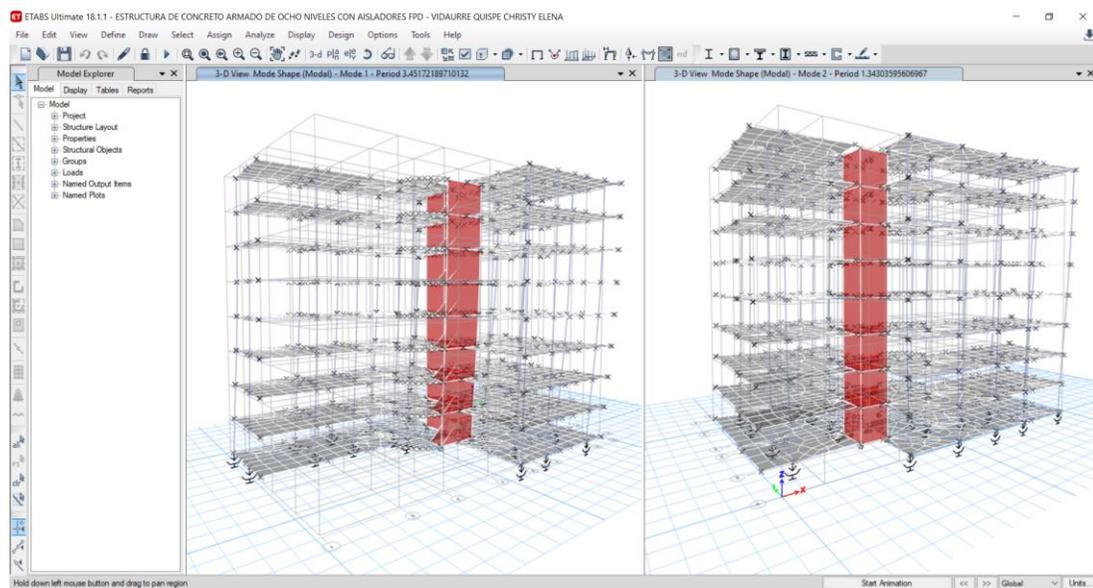


Figura 106. Vista 3D del análisis estático con aisladores FPD

Fuente: Elaboración propia

Para fundamentar el uso de nuestro periodo resultante, Domínguez (2014, p.10) indica que “a mayor rigidez menor periodo de vibración”, por lo que teniendo una rigidez efectiva de 95.01 Tn/m para el aislador elástomérico con núcleo de plomo y una rigidez efectiva de 128.48 Tn/m para el aislador de doble péndulo friccional, se interpreta que dado a su mayor rigidez se obtuvo un menor periodo.

- Fuerzas sísmicas y cortantes:

Tabla 42. Fuerzas laterales con aisladores FPD en cada piso en el eje X

Piso	Peso (Tn)	hi (m)	hi ^k	P*h ^k	Alfa	Fi (Tn)	V (Tn)	MT accidental (Tn-m)
P8	289.97	20.00	70.70	20500.64	0.26	28.284	28.284	30.122
P7	289.97	17.50	58.48	16956.06	0.22	23.393	51.677	24.914
P6	289.97	15.00	46.97	13619.47	0.17	18.790	70.467	20.011
P5	289.97	12.50	36.25	10510.03	0.13	14.500	84.968	15.443
P4	289.97	10.00	26.39	7653.26	0.10	10.559	95.526	11.245
P3	289.97	7.50	17.53	5084.47	0.06	7.015	102.541	7.471
P2	289.97	5.00	9.85	2857.14	0.04	3.942	106.483	4.198
P1	289.97	2.50	3.68	1066.64	0.01	1.472	107.955	1.567
Suma	2319.73			78247.71	1.00	107.955		

Fuente: Elaboración propia

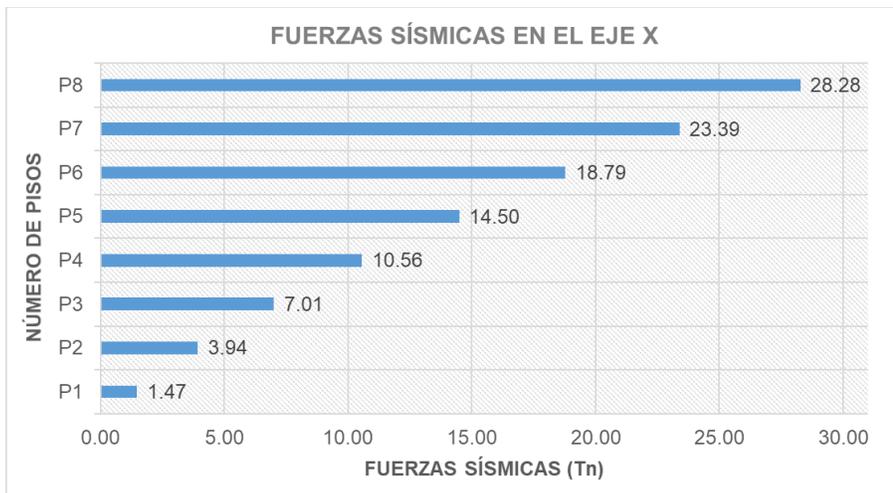


Figura 107. Distribución de fuerzas sísmicas con aisladores FPD en dirección X

Fuente: Elaboración propia

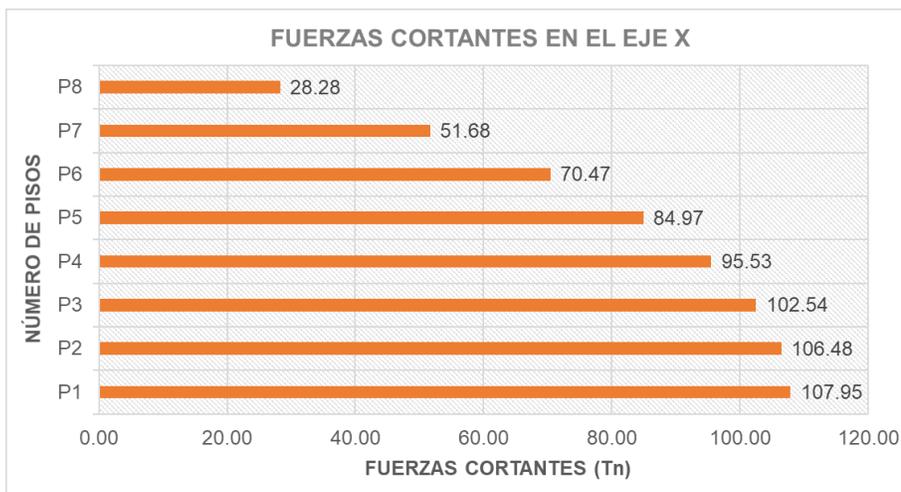


Figura 108. Distribución de fuerzas cortantes con aisladores FPD en dirección X

Fuente: Elaboración propia

Tabla 43. Fuerzas laterales con aisladores FPD en cada piso en el eje Y

Piso	Peso (Tn)	hi (m)	hi ^k	P*h ^k	Alfa	Fi (Tn)	V (Tn)	MT accidental (Tn-m)
P8	289.97	20.00	1664.75	482729.11	0.35	14.855	14.855	15.939
P7	289.97	17.50	1196.09	346823.55	0.25	10.673	25.528	11.452
P6	289.97	15.00	816.59	236781.82	0.17	7.287	32.814	7.818
P5	289.97	12.50	519.94	150763.28	0.11	4.639	37.454	4.978
P4	289.97	10.00	299.23	86765.36	0.06	2.670	40.124	2.865
P3	289.97	7.50	146.77	42559.65	0.03	1.310	41.434	1.405
P2	289.97	5.00	53.78	15595.39	0.01	0.480	41.913	0.515
P1	289.97	2.50	9.67	2803.15	0.00	0.086	42.000	0.093
Suma	2319.73			1364821.30	1.00	42.000		

Fuente: Elaboración propia

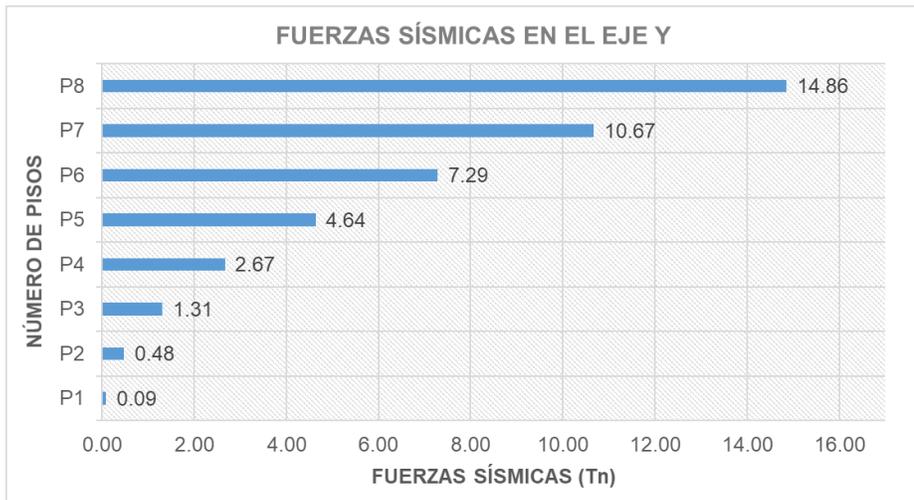


Figura 109. Distribución de fuerzas sísmicas con aisladores FPD en dirección Y

Fuente: Elaboración propia



Figura 110. Distribución de fuerzas cortantes con aisladores FPD en dirección Y

Fuente: Elaboración propia

- Derivas:

Story	Output Case	Case Type	Step Type	Step Number	Direction	Drift	Drift/	Label	X m	Y m	Z m
Story8	DERIVA SE-X	LinStatic			X	0.001619		74	24.55	0.15	20
Story7	DERIVA SE-X	LinStatic			X	0.00203		74	24.55	0.15	17.5
Story6	DERIVA SE-X	LinStatic			X	0.002605		74	24.55	0.15	15
Story5	DERIVA SE-X	LinStatic			X	0.003283		74	24.55	0.15	12.5
Story4	DERIVA SE-X	LinStatic			X	0.004075		74	24.55	0.15	10
Story3	DERIVA SE-X	LinStatic			X	0.004688		74	24.55	0.15	7.5
Story2	DERIVA SE-X	LinStatic			X	0.00473		74	24.55	0.15	5
Story1	DERIVA SE-X	LinStatic			X	0.003308		68	12.9	0.25	2.5

Figura 111. Resultado de derivas en dirección X con aisladores FPD

Fuente: Elaboración propia

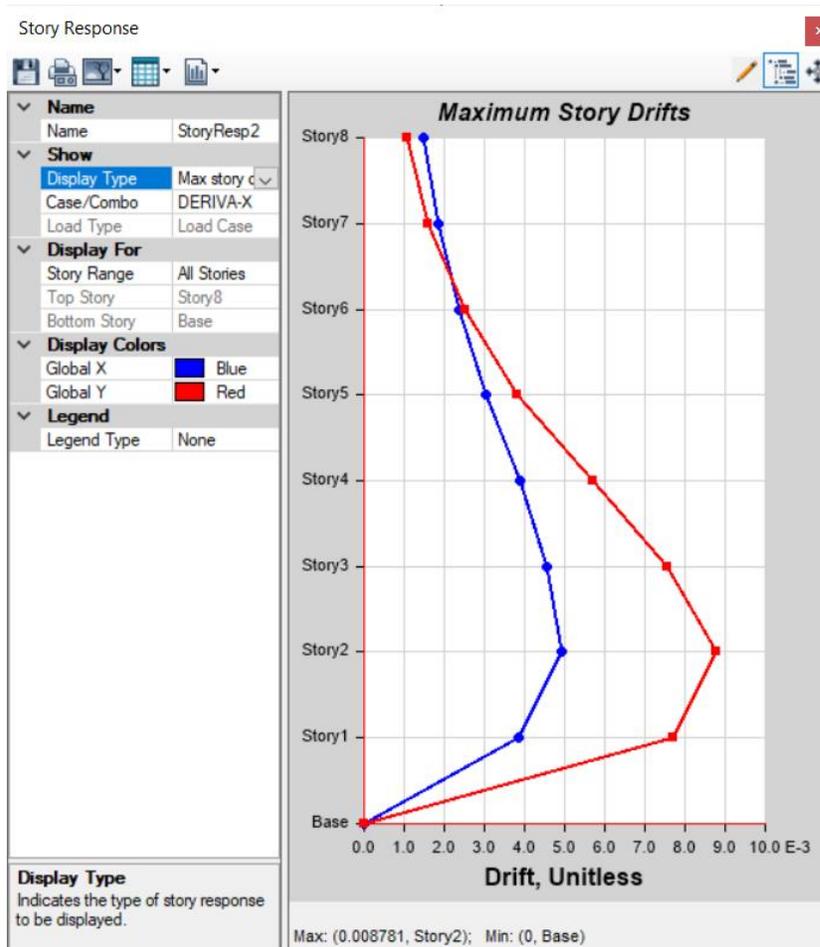


Figura 112. Gráfico de deriva máxima en dirección X con aisladores FPD

Fuente: Elaboración propia

Story	Output Case	Case Type	Step Type	Step Number	Direction	Drift	Drift/Label	X _m	Y _m	Z _m
Story8	DERIVA SE-Y	LinStatic			Y	0.001173	8	0.15	3.625	20
Story7	DERIVA SE-Y	LinStatic			Y	0.001682	8	0.15	3.625	17.5
Story6	DERIVA SE-Y	LinStatic			Y	0.002428	8	0.15	3.625	15
Story5	DERIVA SE-Y	LinStatic			Y	0.003431	8	0.15	3.625	12.5
Story4	DERIVA SE-Y	LinStatic			Y	0.004679	8	0.15	3.625	10
Story3	DERIVA SE-Y	LinStatic			Y	0.005802	8	0.15	3.625	7.5
Story2	DERIVA SE-Y	LinStatic			Y	0.005988	8	0.15	3.625	5
Story1	DERIVA SE-Y	LinStatic			Y	0.004201	8	0.15	3.625	2.5

Figura 113. Resultado de derivas en dirección Y con aisladores FPD

Fuente: Elaboración propia

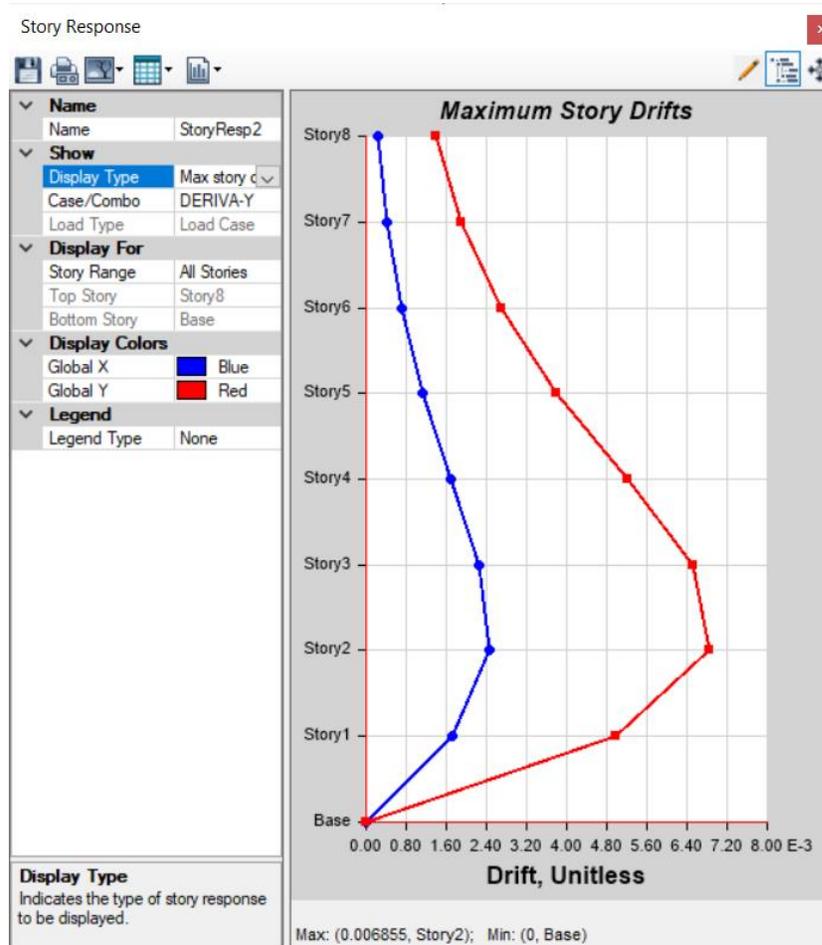


Figura 114. Gráfico de deriva máxima en dirección Y con aisladores FPD

Fuente: Elaboración propia

Con los resultados obtenidos se puede verificar que las derivas cumplen con lo indicado en la norma E.030 Diseño Sismorresistente.

Tabla 44. Resultados de las derivas estáticas en X y Y con aisladores FPD

PISO	SISMO ESTÁTICO EN X			SISMO ESTÁTICA EN Y		
	DERIVA	E 030	RESULTADO	DERIVA	E 030	RESULTADO
8	0.001619	0.007	CUMPLE	0.001173	0.007	CUMPLE
7	0.002030	0.007	CUMPLE	0.001682	0.007	CUMPLE
6	0.002605	0.007	CUMPLE	0.002428	0.007	CUMPLE
5	0.003283	0.007	CUMPLE	0.003431	0.007	CUMPLE
4	0.004075	0.007	CUMPLE	0.004679	0.007	CUMPLE
3	0.004688	0.007	CUMPLE	0.005802	0.007	CUMPLE
2	0.004730	0.007	CUMPLE	0.005988	0.007	CUMPLE
1	0.003308	0.007	CUMPLE	0.004201	0.007	CUMPLE

Fuente: Elaboración propia

4.6.3 Resultados del análisis dinámico modal-espectral

- Modos y periodos:

The screenshot shows the 'Modal Periods And Frequencies' window in ETABS. The table displays the following data:

Case	Mode	Period sec	Frequency cyc/sec	CircFreq rad/sec	Eigenvalue rad ² /sec ²
Modal	1	3.452	0.29	1.8203	3.3135
Modal	2	1.343	0.745	4.6783	21.8869
Modal	3	0.983	1.017	6.3898	40.8294
Modal	4	0.653	1.531	9.6204	92.5516
Modal	5	0.51	1.962	12.3295	152.0161
Modal	6	0.391	2.561	16.0892	258.8627
Modal	7	0.313	3.197	20.0883	403.5409
Modal	8	0.28	3.569	22.4236	502.8186
Modal	9	0.24	4.175	26.2334	688.1907
Modal	10	0.213	4.691	29.4738	868.705
Modal	11	0.186	5.381	33.8121	1143.2566
Modal	12	0.156	6.426	40.3729	1629.972
Modal	13	0.141	7.112	44.6874	1996.9645
Modal	14	0.134	7.482	47.0105	2209.9881
Modal	15	0.124	8.074	50.7291	2573.4461
Modal	16	0.113	8.846	55.5809	3089.2351
Modal	17	0.108	9.237	58.0363	3368.2083
Modal	18	0.106	9.408	59.1101	3494.0094
Modal	19	0.105	9.531	59.8873	3586.4868
Modal	20	0.093	10.801	67.8651	4605.6744
Modal	21	0.089	11.251	70.6898	4997.0548
Modal	22	0.08	12.423	78.0558	6092.7025
Modal	23	0.074	13.484	84.7235	7178.0777
Modal	24	0.073	13.75	86.393	7463.7531

Figura 115. Periodos resultantes del análisis estático con aisladores FPD

Fuente: Elaboración propia

Según los resultados obtenidos, el primer modo tiene un periodo de 3.452, que, si bien no cumple con el periodo objetivo de diseño, es un valor aceptable.

- Fuerzas cortantes de la base:

	Output Case	Case Type	Step Type	Step Number	FX kgf	FY kgf	FZ kgf	MX kgf-m	MY kgf-m	MZ kgf-m
▶	SD Y	LinRespSpec	Max		32325.69	44568.24	0.0002044	926510.55	506176.71	739471.99
	SD X	LinRespSpec	Max		90211.97	20002.79	0.0003635	371856.31	1363652.27	900965.56

Figura 116. Fuerzas cortantes dinámicas de la base con aisladores FPD

Fuente: Elaboración propia

Con los resultados se obtiene el siguiente resumen:

- Fuerzas cortantes dinámicas: $V_{DX} = 90.21 \text{ Tn}$ $V_{DY} = 44.57 \text{ Tn}$
- Fuerzas cortantes estáticas: $V_{EX} = 107.95 \text{ Tn}$ $V_{EY} = 42.00 \text{ Tn}$

Como indica la norma, la fuerza cortante dinámica en el primer entrepiso del edificio no puede ser menor que el 90% de la fuerza cortante estática para estructuras irregulares. Restricción que se cumple como se puede observar de la siguiente manera:

- ✓ $V_{DX} = 90.21 \text{ Tn} > 90\% V_{EX} = 97.16 \text{ Tn}$ (No cumple)
- ✓ $V_{DY} = 44.57 \text{ Tn} > 90\% V_{EY} = 37.80 \text{ Tn}$ (Cumple)

Considerando que las cortantes en X no cumplen con se procede a hacer un escalamiento:

- ✓ $V_{EX} / V_{DX} = 97.16 \text{ Tn} / 90.21 \text{ Tn} = 1.08$ (Facto de escala)
- ✓ $V_{DX} = 90.21 * 1.08 = 97.43 \text{ Tn} > 90\% V_{EX} = 97.16 \text{ Tn}$ (Cumple)

De los resultados se observa que el valor de escala no es tan grande puesto que los valores de las cortantes no eran tan alejados.

- Derivas:

Story	Output Case	Case Type	Step Type	Direction	Drift	Label	X m	Y m	Z m
Story8	SD-X	LinRespSpec	Max	Y	0.002797	8	0.15	3.625	20
Story7	SD-X	LinRespSpec	Max	Y	0.003918	8	0.15	3.625	17.5
Story6	SD-X	LinRespSpec	Max	Y	0.005224	8	0.15	3.625	15
Story5	SD-X	LinRespSpec	Max	Y	0.006996	8	0.15	3.625	12.5
Story4	SD-X	LinRespSpec	Max	Y	0.009456	8	0.15	3.625	10
Story3	SD-X	LinRespSpec	Max	Y	0.012028	8	0.15	3.625	7.5
Story2	SD-X	LinRespSpec	Max	Y	0.013264	8	0.15	3.625	5
Story1	SD-X	LinRespSpec	Max	Y	0.010573	8	0.15	3.625	2.5

Figura 117. Resultado de derivas en dirección X con aisladores FPD

Fuente: Elaboración propia

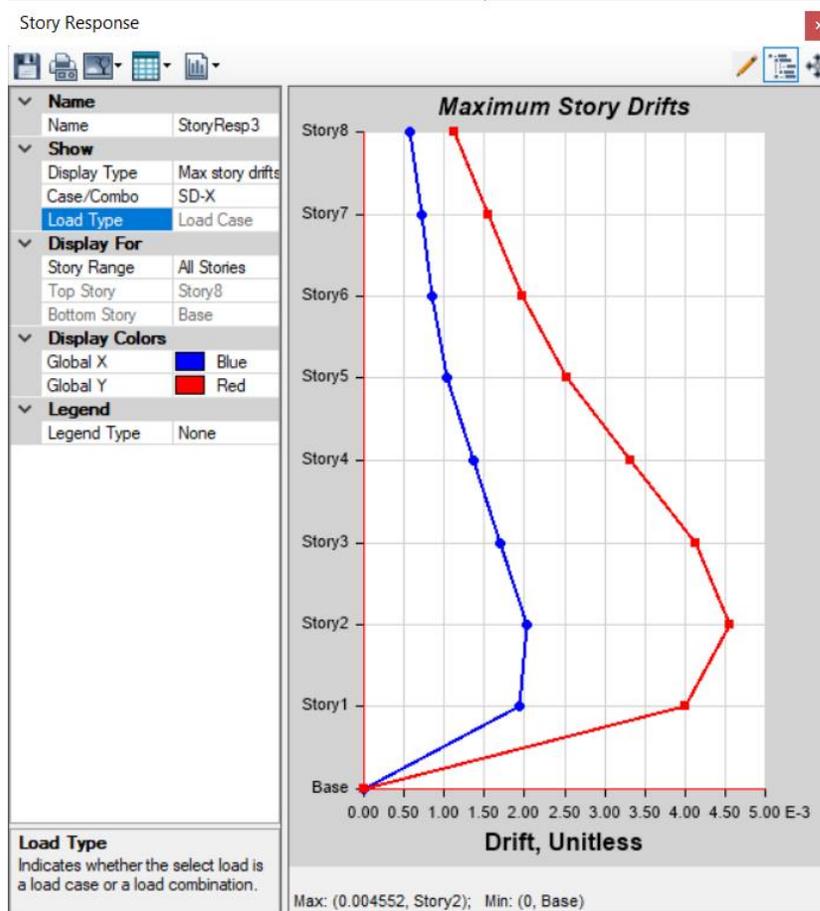


Figura 118. Gráfico de deriva máxima en dirección Y con aisladores FPD

Fuente: Elaboración propia

Story	Output Case	Case Type	Step Type	Direction	Drift	Label	X _m	Y _m	Z _m
Story8	SD-Y	LinRespSpec	Max	Y	0.001588	5	0.15	14.875	20
Story7	SD-Y	LinRespSpec	Max	Y	0.002166	8	0.15	3.625	17.5
Story6	SD-Y	LinRespSpec	Max	Y	0.002831	8	0.15	3.625	15
Story5	SD-Y	LinRespSpec	Max	Y	0.003742	8	0.15	3.625	12.5
Story4	SD-Y	LinRespSpec	Max	Y	0.005019	8	0.15	3.625	10
Story3	SD-Y	LinRespSpec	Max	Y	0.00636	8	0.15	3.625	7.5
Story2	SD-Y	LinRespSpec	Max	Y	0.007002	8	0.15	3.625	5
Story1	SD-Y	LinRespSpec	Max	Y	0.005615	8	0.15	3.625	2.5

Figura 119. Resultado de derivas en dirección X con aisladores FPD
Fuente: Elaboración propia

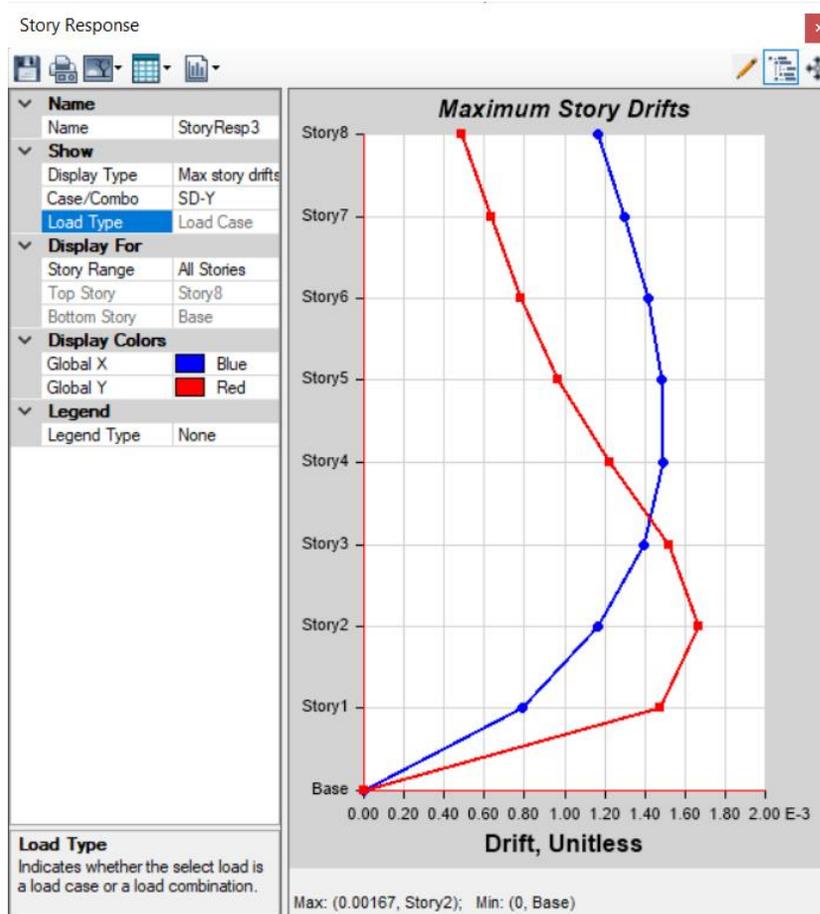


Figura 120. Gráfico de deriva máxima en dirección Y con aisladores FPD
Fuente: Elaboración propia

Con los resultados obtenidos se puede verificar que las derivas cumplen con lo indicado en la norma E.030 Diseño Sismorresistente.

Tabla 45. Resultados de las derivas dinámicas en X y Y con aisladores FPD

PISO	SISMO DINÁMICA EN X			SISMO DINÁMICA EN Y		
	DERIVA	E 030	RESULTADO	DERIVA	E 030	RESULTADO
8	0.001663	0.007	CUMPLE	0.001588	0.007	CUMPLE
7	0.002063	0.007	CUMPLE	0.002166	0.007	CUMPLE
6	0.002593	0.007	CUMPLE	0.002831	0.007	CUMPLE
5	0.003287	0.007	CUMPLE	0.003742	0.007	CUMPLE
4	0.004298	0.007	CUMPLE	0.005019	0.007	CUMPLE
3	0.005361	0.007	CUMPLE	0.00636	0.007	CUMPLE
2	0.006019	0.007	CUMPLE	0.007002	0.007	NO CUMPLE
1	0.004845	0.007	CUMPLE	0.005615	0.007	CUMPLE

Fuente: Elaboración propia

- Participación de los modos de vibración:

Case	ItemType	Item	Static %	Dynamic %
Modal	Acceleration	UX	99.98	92.31
Modal	Acceleration	UY	100	91.11
Modal	Acceleration	UZ	0	0

Figura 121. Participación modal con aisladores FPD

Fuente: Elaboración propia

Con la figura se puede observar que la participación de los modos es mayor al 90%, siendo aceptable según el requisito indicado en el artículo 29.1.2 de la norma E.030 Diseño Sismorresistente. Po lo que se deduce que la estructura con aisladores elástomericos de núcleo de plomo cumple con esa restricción.

4.6.4 Resultados del análisis dinámico tiempo-historia

- Derivas:

Story	Output Case	Case Type	Step Type	Step Number	Direction	Drift	Label	X m	Y m	Z m
Story6	SISMO 5.1 - LIMA CALLAO - 25-08-2021	LinModHist	Max		X	0.000746	74	24.55	0.15	20
Story6	SISMO 5.1 - LIMA CALLAO - 25-08-2021	LinModHist	Max		Y	0.000718	8	0.15	3.625	20

Story	Output Case	Case Type	Step Type	Step Number	Direction	Drift	Label	X m	Y m	Z m
Story7	SISMO 5.1 - LIMA CALLAO - 25-08-2021	LinModHist	Max		X	0.000778	74	24.55	0.15	17.5
Story7	SISMO 5.1 - LIMA CALLAO - 25-08-2021	LinModHist	Max		Y	0.001054	8	0.15	3.625	17.5
Story6	SISMO 5.1 - LIMA CALLAO - 25-08-2021	LinModHist	Max		X	0.000557	13	9.9	14.875	15
Story6	SISMO 5.1 - LIMA CALLAO - 25-08-2021	LinModHist	Max		Y	0.001605	8	0.15	3.625	15
Story5	SISMO 5.1 - LIMA CALLAO - 25-08-2021	LinModHist	Max		X	0.000664	13	9.9	14.875	12.5
Story5	SISMO 5.1 - LIMA CALLAO - 25-08-2021	LinModHist	Max		Y	0.002412	8	0.15	3.625	12.5
Story4	SISMO 5.1 - LIMA CALLAO - 25-08-2021	LinModHist	Max		X	0.000998	13	9.9	14.875	10
Story4	SISMO 5.1 - LIMA CALLAO - 25-08-2021	LinModHist	Max		Y	0.003498	8	0.15	3.625	10
Story3	SISMO 5.1 - LIMA CALLAO - 25-08-2021	LinModHist	Max		X	0.001329	13	9.9	14.875	7.5
Story3	SISMO 5.1 - LIMA CALLAO - 25-08-2021	LinModHist	Max		Y	0.004596	8	0.15	3.625	7.5
Story2	SISMO 5.1 - LIMA CALLAO - 25-08-2021	LinModHist	Max		X	0.001474	13	9.9	14.875	5
Story2	SISMO 5.1 - LIMA CALLAO - 25-08-2021	LinModHist	Max		Y	0.005016	8	0.15	3.625	5
Story1	SISMO 5.1 - LIMA CALLAO - 25-08-2021	LinModHist	Max		X	0.001108	5	0.15	14.875	2.5
Story1	SISMO 5.1 - LIMA CALLAO - 25-08-2021	LinModHist	Max		Y	0.003763	8	0.15	3.625	2.5

Figura 122. Resultado de derivas en el sismo de 5.1 Mw en Callao, Lima

Fuente: Elaboración propia

Story	Output Case	Case Type	Step Type	Step Number	Direction	Drift	Label	X m	Y m	Z m
Story8	SISMO 5.8 - LIMA MALA - 22-06-2021	LinModHist	Max		X	0.003991	13	9.9	14.875	20
Story8	SISMO 5.8 - LIMA MALA - 22-06-2021	LinModHist	Max		Y	0.004016	5	0.15	14.875	20
Story7	SISMO 5.8 - LIMA MALA - 22-06-2021	LinModHist	Max		X	0.004169	13	9.9	14.875	17.5
Story7	SISMO 5.8 - LIMA MALA - 22-06-2021	LinModHist	Max		Y	0.004874	8	0.15	3.625	17.5
Story6	SISMO 5.8 - LIMA MALA - 22-06-2021	LinModHist	Max		X	0.00452	13	9.9	14.875	15
Story6	SISMO 5.8 - LIMA MALA - 22-06-2021	LinModHist	Max		Y	0.005878	8	0.15	3.625	15
Story5	SISMO 5.8 - LIMA MALA - 22-06-2021	LinModHist	Max		X	0.00444	13	9.9	14.875	12.5
Story5	SISMO 5.8 - LIMA MALA - 22-06-2021	LinModHist	Max		Y	0.00585	8	0.15	3.625	12.5
Story4	SISMO 5.8 - LIMA MALA - 22-06-2021	LinModHist	Max		X	0.004173	13	9.9	14.875	10
Story4	SISMO 5.8 - LIMA MALA - 22-06-2021	LinModHist	Max		Y	0.005153	8	0.15	3.625	10
Story3	SISMO 5.8 - LIMA MALA - 22-06-2021	LinModHist	Max		X	0.003898	74	24.55	0.15	7.5
Story3	SISMO 5.8 - LIMA MALA - 22-06-2021	LinModHist	Max		Y	0.003628	8	0.15	3.625	7.5
Story2	SISMO 5.8 - LIMA MALA - 22-06-2021	LinModHist	Max		X	0.00375	13	9.9	14.875	5
Story2	SISMO 5.8 - LIMA MALA - 22-06-2021	LinModHist	Max		Y	0.005754000...	8	0.15	3.625	5
Story1	SISMO 5.8 - LIMA MALA - 22-06-2021	LinModHist	Max		X	0.003266	5	0.15	14.875	2.5
Story1	SISMO 5.8 - LIMA MALA - 22-06-2021	LinModHist	Max		Y	0.00588	8	0.15	3.625	2.5

Figura 123. Resultado de derivas en el sismo de 5.8 Mw en Mala, Lima

Fuente: Elaboración propia

Story	Output Case	Case Type	Step Type	Step Number	Direction	Drift	Label	X m	Y m	Z m
Story8	SISMO 7.1 - AREQUIPA LOMAS - 14-01-2018	LinModHist	Max		X	0.004353	36	7.55	5.975	20
Story8	SISMO 7.1 - AREQUIPA LOMAS - 14-01-2018	LinModHist	Max		Y	0.003811	75	24.55	0.35	20
Story7	SISMO 7.1 - AREQUIPA LOMAS - 14-01-2018	LinModHist	Max		X	0.004538	38	9.175	5.975	17.5
Story7	SISMO 7.1 - AREQUIPA LOMAS - 14-01-2018	LinModHist	Max		Y	0.005043	75	24.55	0.35	17.5
Story6	SISMO 7.1 - AREQUIPA LOMAS - 14-01-2018	LinModHist	Max		X	0.004709	38	9.175	5.975	15
Story6	SISMO 7.1 - AREQUIPA LOMAS - 14-01-2018	LinModHist	Max		Y	0.005737	75	24.55	0.35	15
Story5	SISMO 7.1 - AREQUIPA LOMAS - 14-01-2018	LinModHist	Max		X	0.004359	38	9.175	5.975	12.5
Story5	SISMO 7.1 - AREQUIPA LOMAS - 14-01-2018	LinModHist	Max		Y	0.005486	75	24.55	0.35	12.5
Story4	SISMO 7.1 - AREQUIPA LOMAS - 14-01-2018	LinModHist	Max		X	0.003678	38	9.175	5.975	10
Story4	SISMO 7.1 - AREQUIPA LOMAS - 14-01-2018	LinModHist	Max		Y	0.005943	8	0.15	3.625	10
Story3	SISMO 7.1 - AREQUIPA LOMAS - 14-01-2018	LinModHist	Max		X	0.003365	74	24.55	0.15	7.5
Story3	SISMO 7.1 - AREQUIPA LOMAS - 14-01-2018	LinModHist	Max		Y	0.007201	8	0.15	3.625	7.5
Story2	SISMO 7.1 - AREQUIPA LOMAS - 14-01-2018	LinModHist	Max		X	0.003099	74	24.55	0.15	5
Story2	SISMO 7.1 - AREQUIPA LOMAS - 14-01-2018	LinModHist	Max		Y	0.0068	8	0.15	3.625	5
Story1	SISMO 7.1 - AREQUIPA LOMAS - 14-01-2018	LinModHist	Max		X	0.00298	68	12.9	0.25	2.5
Story1	SISMO 7.1 - AREQUIPA LOMAS - 14-01-2018	LinModHist	Max		Y	0.006317	8	0.15	3.625	2.5

Figura 124. Resultado de derivas en el sismo de 7.1 Mw en Lomas, Arequipa

Fuente: Elaboración propia

De los resultados obtenidos se puede deducir que los aisladores de doble péndulo friccional cumplen en su mayoría con la restricción de deriva.

Tabla 46. Resultados de derivas del sismo de 5.1 Mw. con aisladores FPD

PISO	SISMO DE 5.1 MW EN X			SISMO DE 5.1 MW EN Y		
	DERIVA	E 030	RESULTADO	DERIVA	E 030	RESULTADO
8	0.00075	0.007	CUMPLE	0.000718	0.007	CUMPLE
7	0.00078	0.007	CUMPLE	0.001054	0.007	CUMPLE
6	0.00056	0.007	CUMPLE	0.001605	0.007	CUMPLE
5	0.00066	0.007	CUMPLE	0.002412	0.007	CUMPLE
4	0.00100	0.007	CUMPLE	0.003498	0.007	CUMPLE
3	0.00133	0.007	CUMPLE	0.004596	0.007	CUMPLE
2	0.00147	0.007	CUMPLE	0.005016	0.007	CUMPLE
1	0.00111	0.007	CUMPLE	0.003763	0.007	CUMPLE

Fuente: Elaboración propia

Tabla 47. Resultados de derivas del sismo de 5.8 Mw. con aisladores FPD

PISO	SISMO DE 5.8 MW EN X			SISMO DE 5.8 MW EN Y		
	DERIVA	E 030	RESULTADO	DERIVA	E 030	RESULTADO
8	0.003991	0.007	CUMPLE	0.004016	0.007	CUMPLE
7	0.004169	0.007	CUMPLE	0.004874	0.007	CUMPLE
6	0.004520	0.007	CUMPLE	0.005878	0.007	CUMPLE
5	0.004440	0.007	CUMPLE	0.005650	0.007	CUMPLE
4	0.004173	0.007	CUMPLE	0.005153	0.007	CUMPLE
3	0.003898	0.007	CUMPLE	0.003628	0.007	CUMPLE
2	0.003750	0.007	CUMPLE	0.005754	0.007	CUMPLE
1	0.003266	0.007	CUMPLE	0.005880	0.007	CUMPLE

Fuente: Elaboración propia

Tabla 48. Resultados de derivas del sismo de 7.1 Mw. con aisladores FPD

PISO	SISMO DE 7.1 MW EN X			SISMO DE 7.1 MW EN Y		
	DERIVA	E 030	RESULTADO	DERIVA	E 030	RESULTADO
8	0.004353	0.007	CUMPLE	0.003811	0.007	CUMPLE
7	0.004538	0.007	CUMPLE	0.005043	0.007	CUMPLE
6	0.004709	0.007	CUMPLE	0.005737	0.007	CUMPLE
5	0.004359	0.007	CUMPLE	0.005486	0.007	CUMPLE
4	0.003678	0.007	CUMPLE	0.005943	0.007	CUMPLE
3	0.003365	0.007	CUMPLE	0.007201	0.007	NO CUMPLE
2	0.003099	0.007	CUMPLE	0.0068	0.007	CUMPLE
1	0.00298	0.007	CUMPLE	0.006317	0.007	CUMPLE

Fuente: Elaboración propia

En síntesis, cabe resaltar que solo en el sismo mayor una gran serie de niveles no cumple con la restricción en dirección en Y.

4.7 Resumen de los resultados

4.7.1 Comparación de las derivas

Los desplazamientos relativos entre piso, mejor conocidos como derivas, son valores fundamentales para los análisis que se realizaron en la presente investigación. Según lo que indica la norma técnica peruana E.030 Diseño Sismorresistente, la deriva máxima debe de ser 0.007 para una estructura que tiene como material predominante el concreto armado.

Por lo que entre los resultados tendremos las tablas de resúmenes de las derivas para cada sismo, en cada dirección y con los tres casos de estructuras (sin aisladores, con aisladores LRB y con aisladores FPD). Como se puede mostrar a continuación:

Tabla 49. Derivas en el sismo estático en X con y sin aisladores

SISMO ESTÁTICO EN X								
PISO	ESTRUCTURA SIN AISLADOR		ESTRUCTURA CON AISLADOR LRB			ESTRUCTURA CON AISLADOR FPD		
	DERIVA	E 030	DERIVA	E 030	% REDUC.	DERIVA	E 030	% REDUC.
8	0.00471	CUMPLE	0.00147	CUMPLE	68.71%	0.00162	CUMPLE	65.60%
7	0.00561	CUMPLE	0.00184	CUMPLE	67.24%	0.00203	CUMPLE	63.84%
6	0.00653	CUMPLE	0.00238	CUMPLE	63.47%	0.00261	CUMPLE	60.08%
5	0.00720	NO CUMPLE	0.00302	CUMPLE	58.00%	0.00328	CUMPLE	54.37%
4	0.00749	NO CUMPLE	0.00389	CUMPLE	48.07%	0.00408	CUMPLE	45.56%
3	0.00721	NO CUMPLE	0.00457	CUMPLE	36.62%	0.00469	CUMPLE	34.94%
2	0.00606	CUMPLE	0.00491	CUMPLE	19.03%	0.00473	CUMPLE	21.95%
1	0.00305	CUMPLE	0.00384	CUMPLE	-26.06%	0.00331	CUMPLE	-8.57%

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la tabla 49, la deriva máxima en la estructura sin aislador es de 0.0749, mientras que para el edificio con aislador LRB (Lead Rubber Bearing) su deriva máxima es 0.00491, y finalmente para la estructura con el aislador FPD (Frictional Pendulum Double) la deriva máxima es 0.00473. Cabe destacar que las derivas máximas aisladas se encuentran en el segundo nivel de la estructura. Asimismo, se aprecia en la tabla que en el mayor porcentaje de reducción que se logra es de 68.71% con los aisladores elásticos con núcleo de plomo, sin embargo, haciendo un promedio, se tiene que los aisladores LRB

relucieron las derivas en un total de 41.88% mientras que los aisladores FPD tuvo un total de 42.22%.

Tabla 50. Derivas en el sismo estático en Y con y sin aisladores

SISMO ESTÁTICO EN Y								
PISO	ESTRUCTURA SIN AISLADOR		ESTRUCTURA CON AISLADOR LRB			ESTRUCTURA CON AISLADOR FPD		
	DERIVA	E 030	DERIVA	E 030	% REDUC.	DERIVA	E 030	% REDUC.
8	0.00441	CUMPLE	0.00138	CUMPLE	68.71%	0.00117	CUMPLE	73.38%
7	0.00600	CUMPLE	0.00191	CUMPLE	68.21%	0.00168	CUMPLE	71.96%
6	0.00745	NO CUMPLE	0.00270	CUMPLE	63.74%	0.00243	CUMPLE	67.42%
5	0.00854	NO CUMPLE	0.00380	CUMPLE	55.53%	0.00343	CUMPLE	59.82%
4	0.00918	NO CUMPLE	0.00521	CUMPLE	43.19%	0.00468	CUMPLE	49.01%
3	0.00921	NO CUMPLE	0.00653	CUMPLE	29.14%	0.00580	CUMPLE	37.02%
2	0.00810	NO CUMPLE	0.00686	CUMPLE	15.40%	0.00599	CUMPLE	26.10%
1	0.00388	CUMPLE	0.00498	CUMPLE	-28.34%	0.00420	CUMPLE	-8.25%

Fuente: Elaboración propia

Mediante la tabla 50, se aprecia que la deriva máxima de la estructura sin aisladores es de 0.00921, mientras que la estructura con aisladores LRB (Lead Rubber Bearing) tiene como deriva máxima al valor de 0.00686, y por su parte, el edificio con aisladores FPD (Frictional Pendulum Double) cuenta con una deriva máxima de 0.00599. En este caso, las derivas máximas con ambos edificios aislados coinciden en el nivel, siendo el segundo, mientras que, para la estructura sin aisladores, la deriva máxima se encuentra en el tercer nivel. Respecto a los porcentajes totales de reducción, se tiene 39.45% de reducción para la estructura con aisladores LRB y 47.06% de reducción para la estructura con aisladores FPD.

Tabla 51. Derivas en el sismo dinámico en X con y sin aisladores

SISMO DINÁMICO EN X								
PISO	ESTRUCTURA SIN AISLADOR		ESTRUCTURA CON AISLADOR LRB			ESTRUCTURA CON AISLADOR FPD		
	DERIVA	E 030	DERIVA	E 030	% REDUC.	DERIVA	E 030	% REDUC.
8	0.00707	NO CUMPLE	0.00056	CUMPLE	92.04%	0.00166	CUMPLE	76.49%
7	0.00789	NO CUMPLE	0.00072	CUMPLE	90.84%	0.00206	CUMPLE	73.84%
6	0.00851	NO CUMPLE	0.00086	CUMPLE	89.94%	0.00259	CUMPLE	69.53%
5	0.00887	NO CUMPLE	0.00103	CUMPLE	88.39%	0.00329	CUMPLE	62.92%
4	0.00878	NO CUMPLE	0.00136	CUMPLE	84.46%	0.00430	CUMPLE	51.04%
3	0.00802	NO CUMPLE	0.00171	CUMPLE	78.74%	0.00536	CUMPLE	33.19%
2	0.00624	CUMPLE	0.00202	CUMPLE	67.58%	0.00602	CUMPLE	3.59%
1	0.00286	CUMPLE	0.00193	CUMPLE	32.55%	0.00485	CUMPLE	-69.23%

Fuente: Elaboración propia

Según lo que se observa en la tabla 51, la deriva máxima para la estructura sin aisladores es de 0.00887, en el caso para la estructura con aisladores LRB (Lead Rubber Bearing) es de 0.00202, y para la estructura con aisladores FPD (Frictional Pendulum Double) es de 0.00602, coincidiendo ambas estructuras aisladas en el segundo nivel donde tienen sus derivas máximas, pero que, a pesar de ello, cumplen con la norma E.030. Como se aprecia también, los porcentajes de reducción son más elevados en el caso de los aisladores LRB, teniendo un total de 78.07% de reducción, mientras que los aisladores FPD reducen las derivas en un total de 37.67%.

Tabla 52. Derivas en el sismo dinámico en Y con y sin aisladores

SISMO DINÁMICO EN Y								
PISO	ESTRUCTURA SIN AISLADOR		ESTRUCTURA CON AISLADOR LRB			ESTRUCTURA CON AISLADOR FPD		
	DERIVA	E 030	DERIVA	E 030	% REDUC.	DERIVA	E 030	% REDUC.
8	0.00446	CUMPLE	0.00049	CUMPLE	89.03%	0.00159	CUMPLE	64.38%
7	0.00608	CUMPLE	0.00064	CUMPLE	89.54%	0.00217	CUMPLE	64.37%
6	0.00732	NO CUMPLE	0.00078	CUMPLE	89.34%	0.00283	CUMPLE	61.30%
5	0.00816	NO CUMPLE	0.00097	CUMPLE	88.17%	0.00374	CUMPLE	54.16%
4	0.00884	NO CUMPLE	0.00123	CUMPLE	86.11%	0.00502	CUMPLE	43.22%
3	0.00930	NO CUMPLE	0.00152	CUMPLE	83.65%	0.00636	CUMPLE	31.59%
2	0.00883	NO CUMPLE	0.00167	CUMPLE	81.08%	0.00700	NO CUMPLE	20.67%
1	0.00433	CUMPLE	0.00148	CUMPLE	65.87%	0.00562	CUMPLE	-29.77%

Fuente: Elaboración propia

Como se puede apreciar en la tabla 52, la deriva máxima en la estructura sin aisladores es de 0.00930 estando ubicada en el tercer nivel, mientras que en las estructuras con aisladores sus derivas máximas se encuentran en el segundo nivel, teniendo 0.00167 en la estructura con aisladores LRB (Lead Rubber Bearing) y 0.0070 en la estructura con aislador FPD (Frictional Pendulum Double), siendo esta última deriva el límite máximo que exige la norma por lo que se interpreta que en el segundo nivel no cumple. Respecto a los porcentajes de reducción, se ve que, en su mayoría, con los aisladores LRB, sus porcentajes sobrepasan al 80%, teniendo un promedio de 84.10%, y en el caso de los aisladores FPD se tiene un porcentaje total de 38.74%.

Tabla 53. Derivas en el sismo de 5.1 Mw en X con y sin aisladores

SISMO DE 5.1 MW EN X								
PISO	ESTRUCTURA SIN AISLADOR		ESTRUCTURA CON AISLADOR LRB			ESTRUCTURA CON AISLADOR FPD		
	DERIVA	E 030	DERIVA	E 030	% REDUC.	DERIVA	E 030	% REDUC.
8	0.00668	CUMPLE	0.00071	CUMPLE	89.45%	0.00075	CUMPLE	88.83%
7	0.00585	CUMPLE	0.00082	CUMPLE	85.92%	0.00078	CUMPLE	86.69%
6	0.00413	CUMPLE	0.00061	CUMPLE	85.35%	0.00056	CUMPLE	86.52%
5	0.00309	CUMPLE	0.00086	CUMPLE	72.07%	0.00066	CUMPLE	78.48%
4	0.00254	CUMPLE	0.00130	CUMPLE	49.04%	0.00100	CUMPLE	60.72%
3	0.00311	CUMPLE	0.00171	CUMPLE	45.00%	0.00133	CUMPLE	57.25%
2	0.00368	CUMPLE	0.00196	CUMPLE	46.60%	0.00147	CUMPLE	59.90%
1	0.00217	CUMPLE	0.00151	CUMPLE	30.59%	0.00111	CUMPLE	49.03%

Fuente: Elaboración propia

Mediante la tabla 53, se observa que la estructura sin aisladores cuenta con una deriva máxima de 0.00668 en el último nivel, por su parte, en la estructura con aisladores LRB (Lead Rubber Bearing) se tiene la deriva máxima en el segundo nivel con un valor de 0.00196, de igual forma en ese mismo nivel se encuentra la deriva máxima para la estructura con aisladores FPD (Frictional Pendulum Double) siendo de 0.00147. Para ambos casos de aisladores, se observa que la reducción es muy significativa, teniendo un total de porcentaje de 63.00% en la estructura con aisladores LRB, y 70.93% en la estructura con aisladores FPD.

Tabla 54. Derivas en el sismo de 5.1 Mw en Y con y sin aisladores

SISMO DE 5.1 MW EN Y								
PISO	ESTRUCTURA SIN AISLADOR		ESTRUCTURA CON AISLADOR LRB			ESTRUCTURA CON AISLADOR FPD		
	DERIVA	E 030	DERIVA	E 030	% REDUC.	DERIVA	E 030	% REDUC.
8	0.00520	CUMPLE	0.00101	CUMPLE	80.58%	0.00072	CUMPLE	86.19%
7	0.00403	CUMPLE	0.00142	CUMPLE	64.72%	0.00105	CUMPLE	73.87%
6	0.00341	CUMPLE	0.00212	CUMPLE	37.90%	0.00161	CUMPLE	52.88%
5	0.00420	CUMPLE	0.00313	CUMPLE	25.44%	0.00241	CUMPLE	42.50%
4	0.00484	CUMPLE	0.00456	CUMPLE	5.80%	0.00350	CUMPLE	27.77%
3	0.00522	CUMPLE	0.00597	CUMPLE	-14.40%	0.00460	CUMPLE	11.99%
2	0.00496	CUMPLE	0.00664	CUMPLE	-33.95%	0.00502	CUMPLE	-1.19%
1	0.00340	CUMPLE	0.00533	CUMPLE	-56.94%	0.00376	CUMPLE	-10.84%

Fuente: Elaboración propia

Según lo que se aprecia en la tabla 54, la deriva máxima en la estructura sin aisladores es de 0.00522, mientras que en la estructura con aisladores LRB (Lead Rubber Bearing) se tiene una deriva máxima de 0.00664, y finalmente en la

estructura con aisladores FPD (Frictional Pendulum Double) su deriva es de 0.00502, estando estas dos últimas derivas en el segundo nivel. Asimismo, se observa que los mayores porcentajes de reducción se encuentran en el último nivel, siendo de 13.64%, para la estructura con aisladores LRB, y 35.40%, para la estructura con aisladores FPD.

Tabla 55. Derivas en el sismo de 5.8 Mw en X con y sin aisladores

SISMO DE 5.8 MW EN X								
PISO	ESTRUCTURA SIN AISLADOR		ESTRUCTURA CON AISLADOR LRB			ESTRUCTURA CON AISLADOR FPD		
	DERIVA	E 030	DERIVA	E 030	% REDUC.	DERIVA	E 030	% REDUC.
8	0.00512	CUMPLE	0.00282	CUMPLE	44.87%	0.00399	CUMPLE	22.07%
7	0.00579	CUMPLE	0.00289	CUMPLE	50.05%	0.00417	CUMPLE	27.95%
6	0.00604	CUMPLE	0.00309	CUMPLE	48.91%	0.00452	CUMPLE	25.17%
5	0.00595	CUMPLE	0.00321	CUMPLE	46.07%	0.00444	CUMPLE	25.37%
4	0.00560	CUMPLE	0.00288	CUMPLE	48.52%	0.00417	CUMPLE	25.46%
3	0.00555	CUMPLE	0.00261	CUMPLE	52.99%	0.00390	CUMPLE	29.72%
2	0.00507	CUMPLE	0.00257	CUMPLE	49.33%	0.00375	CUMPLE	26.04%
1	0.00267	CUMPLE	0.00230	CUMPLE	14.10%	0.00327	CUMPLE	-22.18%

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la tabla 55, la estructura sin aisladores tiene derivas mucho más altas dado a la magnitud del sismo, siendo su deriva máxima de 0.00604 en el sexto nivel, de igual forma se observa en el mismo nivel la deriva máxima de la estructura con aisladores FPD (Frictional Pendulum Double) con un valor de 0.00452, mientras que la estructura con aisladores LRB (Lead Rubber Bearing) tiene una deriva máxima de 0.00321 en el quinto nivel. Respecto a los porcentajes de reducción, en ambos casos se observan valores altos, esto se debe también a que este porcentaje depende de las dos derivas obtenidas y al ser el valor de la primera deriva muy elevado, se tienen los siguientes porcentajes totales de reducción: 44.36% (aisladores LRB) y 19.95% (aisladores FPD).

Tabla 56. Derivas en el sismo de 5.8 Mw en Y con y sin aisladores

SISMO DE 5.8 MW EN Y								
PISO	ESTRUCTURA SIN AISLADOR		ESTRUCTURA CON AISLADOR LRB			ESTRUCTURA CON AISLADOR FPD		
	DERIVA	E 030	DERIVA	E 030	% REDUC.	DERIVA	E 030	% REDUC.
8	0.00645	CUMPLE	0.00227	CUMPLE	64.84%	0.00402	CUMPLE	37.75%
7	0.00591	CUMPLE	0.00277	CUMPLE	53.06%	0.00487	CUMPLE	17.50%

6	0.00744	NO CUMPLE	0.00336	CUMPLE	54.80%	0.00588	CUMPLE	21.02%
5	0.00762	NO CUMPLE	0.00314	CUMPLE	58.82%	0.00565	CUMPLE	25.80%
4	0.00688	CUMPLE	0.00270	CUMPLE	60.80%	0.00515	CUMPLE	25.07%
3	0.00701	NO CUMPLE	0.00307	CUMPLE	56.25%	0.00363	CUMPLE	48.23%
2	0.00633	CUMPLE	0.00310	CUMPLE	51.01%	0.00575	CUMPLE	9.13%
1	0.00419	CUMPLE	0.00358	CUMPLE	14.47%	0.00588	CUMPLE	-40.43%

Fuente: Elaboración propia

Mediante la tabla 56, se puede apreciar que la deriva máxima de la estructura sin aisladores corresponde al valor de 0.00762 en el quinto nivel, a diferencia de ambas estructuras aisladas que tienen sus derivas máximas en el sexto nivel, siendo los valores de 0.00336, en la estructura con aisladores LRB (Lead Rubber Bearing), y 0.00588, en la estructura con aisladores FPD (Frictional Pendulum Double). Asimismo, se observa que los porcentajes de reducción son altos, más allá de la efectividad de los dispositivos de protección sísmica, esto se debe a la gran dimensión de las derivas, por lo que los porcentajes totales de reducción son de 51.76%, en la estructura con aisladores LRB, y 18.01%, en la estructura con aisladores FPD.

Tabla 57. Derivas en el sismo de 7.1 Mw en X con y sin aisladores

SISMO DE 7.1 MW EN X								
PISO	ESTRUCTURA SIN AISLADOR		ESTRUCTURA CON AISLADOR LRB			ESTRUCTURA CON AISLADOR FPD		
	DERIVA	E 030	DERIVA	E 030	% REDUC.	DERIVA	E 030	% REDUC.
8	0.00681	CUMPLE	0.00369	CUMPLE	45.81%	0.00435	CUMPLE	36.09%
7	0.00707	NO CUMPLE	0.00385	CUMPLE	45.57%	0.00454	CUMPLE	35.80%
6	0.00735	NO CUMPLE	0.00399	CUMPLE	45.62%	0.00471	CUMPLE	35.89%
5	0.00683	CUMPLE	0.00370	CUMPLE	45.90%	0.00436	CUMPLE	36.22%
4	0.00579	CUMPLE	0.00312	CUMPLE	46.15%	0.00368	CUMPLE	36.50%
3	0.00543	CUMPLE	0.00287	CUMPLE	47.14%	0.00337	CUMPLE	38.01%
2	0.00603	CUMPLE	0.00280	CUMPLE	53.55%	0.00310	CUMPLE	48.62%
1	0.00345	CUMPLE	0.00228	CUMPLE	34.07%	0.00298	CUMPLE	13.67%

Fuente: Elaboración propia

Según lo observado en la tabla 57, en la estructura sin aisladores, la deriva máxima es de 0.00735 en el sexto nivel, coincidiendo con las estructuras de aisladores puesto que tienen derivas de 0.00560 y 0.00637 para el caso de aisladores LRB (Lead Rubber Bearing) y aisladores FPD (Frictional Pendulum Double) respectivamente. En este caso como en los anteriores, se observa que al haber

derivas que si cumplan, los porcentajes de reducción no son tan elevados, por lo que, los porcentajes totales de reducción vienen a ser de 45.48% en el caso de la estructura con aisladores LRB y de 35.10% en el caso de la estructura con aisladores FPD.

Tabla 58. Derivas en el sismo de 7.1 Mw en Y con y sin aisladores

SISMO DE 7.1 MW EN Y								
PISO	ESTRUCTURA SIN AISLADOR		ESTRUCTURA CON AISLADOR LRB			ESTRUCTURA CON AISLADOR FPD		
	DERIVA	E 030	DERIVA	E 030	% REDUC.	DERIVA	E 030	% REDUC.
8	0.00981	NO CUMPLE	0.00391	CUMPLE	60.10%	0.00381	CUMPLE	61.14%
7	0.01284	NO CUMPLE	0.00497	CUMPLE	61.31%	0.00504	CUMPLE	60.73%
6	0.01245	NO CUMPLE	0.00562	CUMPLE	54.86%	0.00574	CUMPLE	53.93%
5	0.00815	NO CUMPLE	0.00456	CUMPLE	44.03%	0.00549	CUMPLE	32.72%
4	0.00452	CUMPLE	0.00414	CUMPLE	8.54%	0.00594	CUMPLE	-31.45%
3	0.00908	NO CUMPLE	0.00654	CUMPLE	27.90%	0.00720	NO CUMPLE	20.65%
2	0.01238	NO CUMPLE	0.00696	CUMPLE	43.81%	0.00680	CUMPLE	45.09%
1	0.00673	CUMPLE	0.00549	CUMPLE	18.35%	0.00632	CUMPLE	6.12%

Fuente: Elaboración propia

Como se puede apreciar en la tabla 58, existen derivas altas dado a la magnitud del sismo, por lo que la deriva máxima que se tiene es de 0.01284 en el séptimo nivel, mientras que en el caso de la estructura con aisladores LRB (Lead Rubber Bearing) la deriva máxima se encuentra en el segundo nivel con un valor de 0.00696, no cumpliendo con lo establecido en la norma E.030, sucediendo lo mismo en la estructura con aisladores FPD (Frictional Pendulum Double) teniendo una deriva máxima de 0.00720 en el tercer nivel. Asimismo, sus porcentajes de reducción totales son los siguientes: 39.86% (aisladores LRB) y 31.12% (aisladores FPD).

En concierne a los resultados totales obtenidos cabe destacar las siguientes aclaraciones:

- ✓ En los casos que los porcentajes de reducción sean negativos, esto se deberá a que la estructura sin aisladores tiene un mejor accionar en ese nivel por lo que su deriva puede ser un poco menor a la deriva con la que puede actuar la estructura con cualquiera de los aisladores.
- ✓ El porcentaje de reducción se refiere a la cantidad que la estructura con aisladores ha logrado reducir la deriva de la estructura sin aisladores, esto

es fundamental ya que se puede ver que tan efectivo ha sido el accionar del aislador.

Con ello aclarado, se procedió a realizar una tabla general de resumen respecto a las derivas.

Tabla 59. Resumen de las derivas máximas en cada sismo

ANÁLISIS	SISMOS	ESTRUCTURA SIN AISLADOR			ESTRUCTURA CON AISLADOR LRB				ESTRUCTURA CON AISLADOR FPD			
		PISO	DERIVA	E 030	PISO	DERIVA	E 030	% REDUC. TOTAL	PISO	DERIVA	E 030	% REDUC. TOTAL
ESTÁTICO O DE FUERZAS EQUIVALENTES	ESTÁTICO EN X	4	0.00749	NO CUMPLE	2	0.00491	CUMPLE	41.88%	2	0.00473	CUMPLE	42.22%
	ESTÁTICO EN Y	3	0.00921	NO CUMPLE	2	0.00686	CUMPLE	39.45%	2	0.00599	CUMPLE	47.06%
DINÁMICO MODAL-ESPECTRAL	DINÁMICO EN X	5	0.00887	NO CUMPLE	2	0.00202	CUMPLE	78.07%	2	0.00602	CUMPLE	37.67%
	DINÁMICO EN Y	3	0.00930	NO CUMPLE	2	0.00167	CUMPLE	84.10%	2	0.00700	NO CUMPLE	38.74%
DINÁMICO TIEMPO-HISTORIA	5.1 MW EN X	8	0.00668	CUMPLE	2	0.00196	CUMPLE	63.00%	2	0.00147	CUMPLE	70.93%
	5.1 MW EN Y	3	0.00522	CUMPLE	2	0.00664	CUMPLE	13.64%	2	0.00502	CUMPLE	35.40%
	5.5 MW EN X	6	0.00604	CUMPLE	5	0.00321	CUMPLE	44.36%	6	0.00452	CUMPLE	19.95%
	5.5 MW EN Y	5	0.00762	NO CUMPLE	1	0.00358	CUMPLE	51.76%	1	0.00588	CUMPLE	18.01%
	7.1 MW EN X	6	0.00735	NO CUMPLE	6	0.00399	CUMPLE	45.48%	6	0.00471	CUMPLE	35.10%
	7.1 MW EN Y	7	0.01284	NO CUMPLE	2	0.00696	CUMPLE	39.86%	3	0.00720	NO CUMPLE	31.12%
RESULTADOS FINALES		7	0.01284	30% CUMPLE	2	0.00696	100% CUMPLE	50.16%	3	0.00720	80% CUMPLE	37.62%

Fuente: Elaboración propia

Para finalizar, se tiene la tabla 59, en un resumen total de los resultados obtenidos por cada sismo, considerando las derivas máximas y los porcentajes de reducción totales. Por lo que se tienen las siguientes interpretaciones:

- La deriva máxima que se tiene en la estructura sin aisladores es en el caso del sismo de 7.1 Mw en dirección de Y, con un valor de 0.01284, al igual que en el mismo sismo se tienen los valores máximos de las derivas en la estructura con aisladores LRB (Lead Rubber Bearing) de 0.00696 y en la estructura con aisladores FPD (Frictional Pendulum Double) de 0.00720, siendo en el primero y el último de los casos que no se cumple la restricción de la norma E.030 Diseño Sismorresistente, a diferencia del segundo que se trata de la estructura con aisladores elásticos con núcleo de plomo. Cabe destacar que estas derivas no se encuentran en los mismos niveles como se puede observar en la tabla 59, sin embargo, sus direcciones son la misma, es decir Y, y son altas debido al sismo de 7.1 Mw que se utilizó.

- Como se puede apreciar en la tabla, se tienen los porcentajes de reducción promedios por cada sismo de los cuales se tuvieron resultados, por lo que de igual forma se procedió a sacar un promedio obteniendo que en con los aisladores LRB (Lead Rubber Bearing) se obtuvo un porcentaje de reducción de derivas de 50.16% y con los aisladores FPD (Frictional Pendulum Double) se obtuvo un porcentaje de reducción de derivas de 37.62%, siendo una diferencia de 12.54%. Por lo que, se concluye que los aisladores elástoméricos con núcleo de plomo tienen una mayor efectividad a los aisladores de doble péndulo friccional, aunque esto no quiera decir que estos últimos sean menos efectivos ya que cumplieron con su función, al menos en la mayoría sí.
- Asimismo, se puede observar que el segundo nivel es donde mayormente se encuentran las derivas máximas de las estructuras con aisladores LRB (Lead Rubber Bearing) y FPD (Frictional Pendulum Double), esto se puede deber a que el primer nivel es el cual cuenta con los aisladores sísmicos, por lo que el movimiento despliega su mayor energía en el nivel siguiente, correspondiente al segundo. Otro nivel que destaca es el primero, siendo su base donde se colocan los aisladores, y el sexto, dado a que la magnitud del sismo 7.1 Mw, que es donde se repite el nivel para los tres casos de la estructura.
- Las derivas en su mayoría son elevadas en el eje Y de la estructura de concreto armado, esto se comprueba en las derivas máximas de los tres casos puesto que están ubicadas en ese eje. Esto probablemente suceda debido a que el periodo objetivo que se utilizó para los aisladores sísmicos fue el periodo del eje Y, al ser el del primer modo, en manera que el accionar de la estructura fue mayor en ese eje debido a ello, provocando que las derivas en Y sean más altas.

4.7.2 Comparación de las fuerzas cortantes en la base

Las fuerzas cortantes en la base son fundamentales para el análisis estático o de fuerzas equivalentes y el análisis dinámico modal-espectral, puesto que la norma

técnica peruana E.030 Diseño Sismorresistente indica que, para cada una de las direcciones, la fuerza cortante dinámica no puede ser menor al 90% de la fuerza cortante estática para estructuras irregulares.

Tabla 60. Fuerzas cortantes en la base con y sin aisladores

FUERZAS CORTANTES EN LA BASE (TN)					
ESTRUCTURA	DIRECCIÓN	DINÁMICA	E.030	ESTÁTICA	ESTADO
SIN AISLADOR	X	138.54	>	107.00	CUMPLE
	Y	139.54	>	112.37	CUMPLE
CON AISLADOR LRB	X	97.65	>	74.27	CUMPLE
	Y	47.40	>	31.09	CUMPLE
CON AISLADOR FPD	X	90.21	>	97.16	NO CUMPLE
	Y	44.57	>	37.80	CUMPLE

Fuente: Elaboración propia

Como se puede visualizar en la tabla 60, para ambas direcciones, la restricción del artículo 29.4 de la norma se cumple en la estructura sin aisladores y con aisladores LRB (Lead Rubber Bearing). Sin embargo, en el caso de la estructura con aisladores FPD (Frictional Pedulum Double) no cumple lo indicado, puesto que la fuerza cortante basal dinámica en dirección de X es de 90.21 Tn, mientras que la fuerza cortante basal estática es de 97.16 Tn. Ante este problema se procedió a seguir el artículo 29.5, que indica que si fuera necesario incrementar la cortante se deberá de escalar, por lo que se usó un factor de 1.08 para que cumpla con lo indicado.

En síntesis, la estructura con los aisladores elásticos con núcleo de plomo cumplen con la restricción de las fuerzas cortantes en la base, a diferencia de la estructura con aisladores de doble péndulo friccional, en el cual es necesario hacer un escalamiento.

4.7.3 Comparación de los modos, periodos y frecuencias

Los modos de vibración son la forma representativa en el que oscilará una estructura, entendiéndose que se tendrán frecuencias y periodos por cada modo en representación cada patrón de movimiento de la estructura. (Gutierrez *et. al*, parr. 1, 2012). Por lo que en la presente investigación se obtuvieron los siguientes resultados respecto a los modos de la estructura en cada caso (sin aisladores, con aisladores LRB y con aisladores FPD).

Tabla 61. Resumen de los modos de la estructura con y sin aisladores

MODO	ESTRUCTURA SIN AISLADOR		ESTRUCTURA CON AISLADOR LRB			ESTRUCTURA CON AISLADOR FPD		
	PERIODO	FRECUENCIA	PERIODO	FRECUENCIA	% AUMENTO	PERIODO	FRECUENCIA	% AUMENTO
	sec	cyc/sec	sec	cyc/sec		sec	cyc/sec	
1	1.399	0.715	4.197	0.238	300.00%	3.452	0.29	246.75%
2	0.991	1.009	1.757	0.569	177.30%	1.343	0.745	135.52%
3	0.857	1.168	1.005	0.995	117.27%	0.983	1.017	114.70%
4	0.493	2.028	0.687	1.455	139.35%	0.653	1.531	132.45%
5	0.435	2.3	0.518	1.929	119.08%	0.51	1.962	117.24%
6	0.303	3.299	0.51	1.962	168.32%	0.391	2.561	129.04%
7	0.277	3.608	0.319	3.133	115.16%	0.313	3.197	113.00%
8	0.233	4.285	0.28	3.569	120.17%	0.28	3.569	120.17%
9	0.225	4.436	0.277	3.612	123.11%	0.24	4.175	106.67%
10	0.159	6.291	0.238	4.196	149.69%	0.213	4.691	133.96%
11	0.15	6.658	0.197	5.085	131.33%	0.186	5.381	124.00%
12	0.14	7.13	0.181	5.521	129.29%	0.156	6.426	111.43%
13	0.113	8.859	0.158	6.338	139.82%	0.141	7.112	124.78%
14	0.107	9.309	0.141	7.112	131.78%	0.134	7.482	125.23%
15	0.106	9.398	0.126	7.963	118.87%	0.124	8.074	116.98%
16	0.102	9.808	0.113	8.846	110.78%	0.113	8.846	110.78%
17	0.101	9.861	0.109	9.153	107.92%	0.108	9.237	106.93%
18	0.088	11.308	0.108	9.237	122.73%	0.106	9.408	120.45%
19	0.081	12.35	0.105	9.48	129.63%	0.105	9.531	129.63%
20	0.072	13.932	0.093	10.764	129.17%	0.093	10.801	129.17%
21	0.066	15.117	0.089	11.251	134.85%	0.089	11.251	134.85%
22	0.063	15.754	0.085	11.708	134.92%	0.08	12.423	126.98%
23	0.06	16.742	0.075	13.249	125.00%	0.074	13.484	123.33%
24	0.058	17.183	0.073	13.671	125.86%	0.073	13.75	125.86%

Fuente: Elaboración propia

Respecto a los resultados, se puede observar como en el primer modo de la estructura sin aisladores se tiene un valor de 1.399 segundos, mientras que en la estructura con aisladores LRB (Lead Rubber Bearing) se tuvo un periodo de 4.197 segundos, y en la estructura con aisladores FPD (Fricional Pendulum Double) su periodo fue de 3.452 segundos. Esto se debe a que ambos aisladores fueron diseñados con el objetivo que indica el artículo 17.4.1 de la norma técnica peruana E.031 Aislamiento sísmico, puesto que el periodo aislado debe ser tres veces mayor al periodo con base fija. Por lo que se triplico el valor del primer periodo de la estructura sin aisladores.

Ante lo mencionado y con los resultados visualizados de la tabla 61, se aprecia que el aislador elástomérico con núcleo de plomo cumplió con su obtenido al tener un periodo con un porcentaje de aumento del 300%, mientras que por su parte el aislador de doble péndulo friccional solo tuvo un porcentaje de aumento de

246.75%, de tal forma que, si bien no cumplió con lo solicitado en la norma, se comprobó que ello no afectó con los otros resultados como las derivas y fuerzas. De esta forma se concluye que los aisladores más efectivos son los aisladores elástoméricos con núcleo de plomo.

4.7.4 Comparación de las fuerzas sísmicas

Las fuerzas sísmicas más representativas según la norma E.030 Diseño Sismorresistente son las obtenidas mediante el análisis estático o de fuerzas equivalentes. Como se pudo apreciar en la presente investigación, se realizó tres análisis para cada caso, por lo que como resultados finales se obtuvieron los mostrados en la siguiente tabla:

Tabla 62. Resumen de las fuerzas sísmicas con y sin aisladores

FUERZAS SÍSMICAS (Tn)										
PISO	ESTRUCTURA SIN AISLADORES		ESTRUCTURA CON AISLADORES LRB				ESTRUCTURA CON AISLADORES FPD			
	X	Y	X	% RED.	Y	% RED.	X	% RED.	Y	% RED.
8	35.93	27.42	23.18	35.49%	13.24	51.70%	28.28	21.28%	14.86	45.82%
7	30.42	22.59	18.65	38.70%	9.05	59.93%	23.39	23.11%	10.67	52.76%
6	25.11	18.07	14.51	42.22%	5.84	67.70%	18.79	25.17%	7.29	59.68%
5	20.01	13.87	10.78	46.11%	3.47	74.97%	14.50	27.53%	4.64	66.56%
4	15.15	10.04	7.50	50.53%	1.84	81.68%	10.56	30.32%	2.67	73.40%
3	10.59	6.62	4.69	55.69%	0.81	87.75%	7.01	33.76%	1.31	80.20%
2	6.39	3.68	2.42	62.06%	0.26	93.06%	3.94	38.32%	0.48	86.94%
1	2.70	1.35	0.78	70.91%	0.04	97.37%	1.47	45.41%	0.09	93.59%
TOTAL			50.21%		76.77%		30.61%		69.87%	

Fuente: Elaboración propia

En síntesis, las mayores fuerzas sísmicas de la estructura son las que se encuentran en el último nivel, teniendo un porcentaje de reducción de 35.49% con los aisladores LRB y de 21.28% con los aisladores FPD. Asimismo, se observa que existe una menor intensidad de fuerzas sísmicas en dirección Y, mientras que X es mayor. En su mayoría, los aisladores cumplen su objetivo de disminuir las fuerzas sísmicas que se propagan hacia la estructura mediante el suelo, siendo los aisladores LRB (Lead Rubber Bearing) los de mejor rendimiento al tener porcentajes totales de reducción de 50.21% en X y de 76.77% en Y, mientras que los aisladores FPD (Fricitional Pedulum Double) también cumplen con aminorar la magnitud de las

fuerzas, pero en un porcentaje menor, teniendo un promedio de 30.61% en X y 69.87% en Y.

V. DISCUSIÓN

Los aisladores sísmicos son herramientas y dispositivos que permiten proteger las estructuras de concreto armado, para que durante el momento de un movimiento telúrico este no cause grandes daños a la estructura. Es por ello, y ante la publicación de la norma E.031 Aislamiento Sísmico, es que la presente tesis se enfoca en el diseño de dos tipos de aisladores sísmicos para una estructura de concreto armado de ocho niveles en el distrito de Lince. Ante lo explicado, en la presente investigación se obtuvieron los siguientes resultados:

En el objetivo general: “evaluar los análisis sísmicos de una estructura de concreto armado de ocho niveles con y sin aisladores sísmicos, Lince, Lima – 2021”, siendo lo realizado en la respectiva investigación, se afirma que existen diferencias en la estructura con y sin aisladores sísmicos, incluso difiriendo también los resultados de los dos tipos de aisladores utilizados: elastoméricos con núcleo de plomo y doble péndulo de fricción, siendo la primera opción el cual tiene mejores resultados. Así mismo, Pérez y Vásquez (2016) utilizaron los análisis estáticos y dinámicos, puesto que su norma utilizada destaca los dos como los más fundamentales para poder conocer los diferentes resultados que se obtienen de la iteración de la estructura con el sismo; dentro de los cuales el sistema LRB presenta mejores reducciones de las fuerzas cortantes y aceleraciones, teniendo un comportamiento estructural muy superior respecto a la versión convencional del edificio, exhibiendo altos de niveles de seguridad y protección sísmica tanto de la estructura como de los contenidos. Por su parte, Carmona y Rosas (2015), indican que con la aplicación de los análisis indicados por la Norma E.030 Diseño sismorresistente, se pudo apreciar que al utilizar los aisladores de base, se obtienen mayores periodos de la estructura, por lo tanto, menores aceleraciones y como consecuencia las fuerzas sísmicas disminuirán; de igual forma, se obtuvo que en el sistema aislado ocurren menores desplazamientos horizontales relativos de entrepiso, lo cual ayudará a un mejor comportamiento de la estructura.

En el primer objetivo específico: “realizar el análisis estático o de fuerza estáticas equivalentes para una estructura de concreto armado de ocho niveles con y sin

aisladores sísmicos, Lince, Lima – 2021”, se tuvo como resultados la ejecución del análisis mencionado siguiendo la Norma E.030 Diseño Sismorresistente, siendo usado para la estructura convencional, con aisladores LRB y con aisladores FPD, por lo que dentro de este se pudo obtener el primer periodo el cual aumento considerablemente con la implementación de los aisladores sísmicos. Este suceso es respaldado por Carvalho (2020), quien indica que en sus resultados existe un aumento de periodo efectivo, lo que se traduce en una reducción significativa de las aceleraciones debido a la acción sísmico con los aisladores, y en consecuencia, en una reducción proporcional de los esfuerzos en los elementos estructurales.

En el segundo objetivo específico: “realizar el análisis dinámico modal-espectral para una estructura de concreto armado de ocho niveles con y sin aisladores sísmicos, Lince, Lima – 2021”, cumpliéndose al ejecutar el análisis en mención el cual tuvo como resultados los modos, periodos, frecuencias y sobre todo derivas gracias al espectro de pseudo aceleraciones diseñado; con respecto a lo último, la estructura sin aisladores no cumplió en ninguna dirección la restricción de las derivas, mientras que con aisladores LRB si cumplió en su totalidad, pero con aisladores FPD cumplió solo en dirección de X, ya que en dirección de Y llego al límite de 0.007. Por su parte, Варданян (2017) menciona que su análisis modal-espectral utilizado en ambos casos muestra cambios en las características deformativas, reduciéndose en 2.1 veces los valores de los desplazamientos y 2.5 veces las fuerzas cortantes de cada piso. Así mismo, Trento (2014) indica en la comparación de sus resultados le permitió destacar que pasando de los pisos más bajos a los más altos hay un aumento en la diferencia especialmente en términos de tensión de flexión, se cree que esta variabilidad en los pisos superiores puede estar asociada a los modos de vibración secundaria a la estructura.

En el tercer objetivo específico: “realizar el análisis dinámico tiempo-historia para una estructura de concreto armado de ocho niveles con y sin aisladores sísmicos, Lince, Lima – 2021”, dentro de la investigación se realizó el análisis mencionado con tres registros de aceleraciones más cercanos, actuales y de magnitud relevante a la estructura de concreto armado; los resultados obtenidos evidenciaron que ante

sismos de baja y mediana magnitud la estructura es lo suficientemente capaz de soportar, más ante un sismo de gran magnitud puede correr un riesgo de fisuras, mientras que con los aisladores LRB se tiene un porcentaje de reducción de 50.16%, mientras que con los aisladores FPD se obtuvo un porcentaje de reducción de 37.62%. Discerniendo respecto a ello, Valerio (2015), quien utilizó una gran cantidad de sismos para su análisis, indica que tuvo como resultado que los aisladores LRB reducen en 74% las derivas de la estructura convencional, mientras que los aisladores FPS reducen en un 84%, esto se debe principalmente a las grandes dimensiones con la cual diseñó sus aisladores. Por otra parte, Mendo (2015) manifiesta que para tener un mayor aporte y análisis se deben de utilizar por lo mínimo 7 registros de aceleraciones, ya que de esa forma se podrá observar como reacciona mejor la estructura ante los eventos telúricos.

Como se pudo observar, los análisis utilizados son los más destacados a nivel internacional. Sin embargo, existen otros tipos de análisis lineal y no lineal mediante el cual otros autores comentan que si se puede hacer una comparativa con y sin aisladores. Respecto a lo mencionado, Ruiz y Torres (2018) indican que se efectuó un análisis dinámico no lineal tiempo-historia para obtener el desempeño de los sistemas estructurales analizados, determinando que para la estructura convencional se alcanza un nivel de desempeño de prevención de colapso, para la estructura con aisladores de base se ubica en el nivel totalmente operacional y un nivel de ocupación inmediata para la estructura con disipadores de energía. De igual forma Zhang (2018) indica que como se muestra en los resultados del análisis del historial de tiempo no lineal, cuando el LRB se modela como modelo bilineal, la demanda axial del análisis dinámico está cerca de la demanda estimada calculado utilizando el procedimiento de fuerza estática equivalente. Dentro de lo cual se tuvo como resultado de que a medida que aumenta el período de aislamiento, la probabilidad de falla disminuye en consecuencia. Asimismo, si la demanda axial del LRB se obtiene directamente de la carga de diseño estático equivalente, análisis de historia de tiempo utilizando un modelo bilineal, la base del edificio aislado podría tener un alto probabilidad de falla. Se propone un factor de amplificación simple de

2.5 para aumentar la capacidad axial requerida del LRB (cuando la demanda se calcula a partir del modelo bilineal).

VI. CONCLUSIONES

1. Se afirma que existen diferencias entre los resultados de los análisis sísmicos de una estructura de concreto armado de ocho niveles con y sin aisladores sísmicos, puesto que los valores de las derivas, periodos y fuerzas cambian en cada análisis y para cada caso.
2. Con el análisis estático y/o de fuerzas equivalentes se pudo observar como las magnitudes de las fuerzas sísmicas se reducían con el uso de aisladores, siendo los valores máximos: 35.93 Tn sin aisladores, 23.18 Tn con aisladores LRB y 28.28 Tn con aisladores FPD.
3. Mediante el análisis dinámico modal espectral se comprobó que el periodo del primer modo de cada estructura iba en aumento, puesto que los aisladores sísmicos se diseñan con el objetivo de que su periodo sea mayor al de la estructura sin aisladores, de esa forma se obtuvieron los siguientes valores: 1.399 s sin aisladores, 4.197 s con aisladores y 3.452 s con aisladores FPD.
4. Al utilizar registros de aceleraciones sísmicas, debido al análisis dinámico tiempo historia, se pudo comprobar que la estructura sin aisladores ante sismos leves es capaz de soportar las fuerzas sísmicas, sin embargo, en sismos de magnitudes superiores se pudo comprobar que tendría un deficiente comportamiento sismorresistente. Mientras que cuando se tienen aisladores LRB y FPD, la estructura de concreto armado se encuentra totalmente salvaguardada de daños.
5. Los aisladores elastoméricos con núcleo de plomo son más efectivos que los aisladores de doble péndulo de fricción, no obstante, ambos sirven para poder disipar la energía y cumplir en su mayoría con las restricciones de las normas E.030 Diseño Sismorresistente y E.031 Aislamiento sísmico.
6. Las estructuras con aisladores reducen en gran porcentaje sus derivas: 50.16% con aisladores LRB y 37.62% con aisladores FPD; otorgándole a la edificación un mejor comportamiento sismorresistente, esto se debe a que los dispositivos sísmicos se comportan como un cuerpo rígido, siendo el aislador elastomérico con núcleo de plomo (LRB) el más efectivo.

VII. RECOMENDACIONES

- ❖ Es recomendable el correcto modelamiento del software ETABS, para que dentro de la investigación no vayan a haber fallas dentro de los resultados al momento de procesarlos, así como también se recomienda usar las normas peruanas necesarias para las cargas, combinaciones, materiales y entre otros valores que serán fundamentales para el análisis.
- ❖ Para el diseño de los aisladores sísmicos se recomienda usar y leer bien las normas ASCE 7-16 y E.031 Aislamiento sísmico, para poder comprender sus propiedades, y de igual forma es favorable recurrir a la búsqueda de la información que brindan los propios fabricantes de los aisladores, o en todo caso participar en cursos que enseñen el diseño de estos mismos.
- ❖ Se sugiere que para el diseño de los aisladores se tengan en cuenta principalmente los niveles de pisos y las dimensiones de las columnas donde se encajarán, para que de esta forma los dispositivos sean capaces de soportar la energía y tengan resultados sismorresistentes favorables en su totalidad.
- ❖ Se recomienda seguir líneas de investigación relacionadas a los sistemas de protección para las estructuras de concreto armado, con el propósito de brindar un mayor aporte a la ingeniería estructural del país, puesto que fue así también como el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento en 2019 decidió implementar la norma E.031 Aislamiento sísmico.

REFERENCIAS

AGUIRRE Almache, Raquel Carolina y ZUÑIGA Chimbo, Adriana Verónica. Análisis comparativo de los sistemas constructivos – aporcado y manoportable empleados en la construcción de conjuntos habitacionales. Tesis (Titulo de Ingeniera Civil). Quito: Universidad Central del Ecuador, 2019. 446 pp. Disponible en:

<http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/18896/1/T-UCE-0011-ICF-148.pdf>

AGUIAR Falconí, Roberto. El megasismo de Chile de 2010 y lecciones para Ecuador. Quito: Instituto Panamericano de Geografía e Historia, 2011. Disponible en:

https://www.researchgate.net/profile/Roberto-Aguar/publication/280495058_El_mega_sismo_de_Chile_de_2010_y_lecciones_para_Ecuador/links/55b6c89308ae092e9656f1f2/El-mega-sismo-de-Chile-de-2010-y-lecciones-para-Ecuador.pdf

ISBN: 9789978301043

AISLADORES de base elástométricos y FPS por Aguiar Falconí, Roberto [et al.]. Quito: Fondo editorial de la Escuela Politécnica del Ejército, 2008. Disponible en:

https://www.researchgate.net/publication/277302150_Aisladores_de_base_Elasto_mericos_y_FPS

ISBN: 9789978301043

AMERICAN Society of Civil Engineers, (USA). ASCE/SEI 7-16: Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures. Virginia: ASCE, 2010, 658pp.

ARVINDREDDY and FERNANDES. Seismic analysis of RC regular and irregular frame structures. International Research Journal of Engineering and Technology [online]. Agust, 2015, Vol. 2.

Disponible en: <https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/38776118/IRJET-V2I508-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1633034349&Signature=W62uvYikPljq9KMXhbd~WES6TErEt8znmX82ecW5Tp9gQKVT1DcJ23y9r4ZAypFxA1cIJ0Jb3Aql4XErvhw5qQes0sEHjg~fGJxSWreJi7SLQBk7~gvhBOOLCNFsCQbtqu~yKYAEDiQbaU7nocIDNZS1DRbw0p2lniRiL0KST3PYtlx2Sw6OoYycSWCuVCquO5zCnQLch3nPzImTOk4W3UTHbQXqli1pp71vo9HUIHqGZd6cG~dFTRKpax3~ip~7jlywN4WO39dJqR8lbWjh2fLJgyZ6jWekN7Eh5el3o2~FXJI2R2W7bY7e9rrZYpCc0nRuaGyQcuWjcHKQ7Shjmw &Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA>

ISSN: 23950056

BANERJEE Amitav and CHAUDHURY Suprakash. Statistics without tears: Populations and samples. Industrial Psychiatry Journal [online]. Jan-Jun, 2010, n°19.

Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3105563/>

ISSN: 21694795

CARMONA Ramírez, Pedro y ROSAS Fetta, Angello Jesús. Análisis comparativo del comportamiento sísmico dinámico del diseño normativo sismo-resistente de un sistema dual frente al modelo con aisladores elastómeros de alto amortiguamiento (HDR) de un sistema aporticado, del Edificio de Oficinas Schell de seis pisos ubicado en la Provincia de Lima – Perú. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Lima: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, 2015. 121 pp. Disponible en:

<https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/592408/Tesis%20Carmona%20-%20Rosas.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

CARVALHO Henriques, Ana Mafalda. Isolamento de base para reabilitação sísmica de edifícios de betão armado. Tese (Mestrado Integrado em Engenharia Civil). Portugal: Universidade de Coimbra, 2020. 74 pp. Disponível em:

<https://estudogeral.sib.uc.pt/bitstream/10316/92116/1/Isolamento%20de%20Base%20para%20Reabilita%C3%A7%C3%A3o%20S%C3%ADsmica%20de%20Edif%C3%ADcios%20de%20Bet%C3%A3o%20Armado.pdf>

CISMID. Estudio de microzonificación sísmica del distrito de Lince. 27 pp.

Disponível em: http://sigrid.cenepred.gob.pe/docs/PARA%20PUBLICAR/CISMID/Informe_Lince.pdf

CONSTANTINO, M.C. [et al.]. LRFD-Based Analysis and Design Procedures for Bridge Bearings and Seismic Isolators. Technical Report MCEER-11-0004 [online]. September, 2011, Vol. 26.

Available in: <https://www.eng.buffalo.edu/mceer-reports/11/11-0004.pdf>

ISSN: 1520-295X

DOMÍNGUEZ Calcedo, Mauricio. Periodos de vibración de las edificaciones. Revista de Arquitectura e Ingeniería [online]. Agosto, 2014, Vol. 8.

Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/1939/193932724001.pdf>

ISSN: 1990-8830

DYNAMIC isolation systems. Isolator Engineering Properties. 2011.

Disponible en: <http://www.dis-inc.com/engineering.html>

EFFECTIVENESS of seismic isolation for long-period structures subject to far-field and near-field excitations for Anajafi, Hamidreza [et al.]. Front Built Environ, 17 April 2020.

Disponible en: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fbuil.2020.00024/full>

EYISI, Daniel. The Usefulness of Qualitative and Quantitative Approaches and Methods in Researching Problem-Solving Ability in Science Education Curriculum. Journal of Education and Practice [online]. December, 2016, Vol. 7, No. 15.

Aviable in: <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1103224.pdf>

ISSN: 2222288X

FEMA 451B. (June de 2007). NEHRP Recommended Provisions for New Buildings and Other Structures: Training and Instructional Materials. USA.

FAJFAR, Peter. Analysis in seismic provisions for buildings: past, present and future. Bull Earthquake Eng [online]. March, 2018, Vol. 16.

Aviable jn: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10518-017-0290-8>

ISSN: 2567-2608

GEORGOUSIS George, TSOMPANOS Achilleas and MAKARIOS Triantafyllos. Approximate Seismic Analysis of Multi-story Buildings with Mass and Stiffness Irregularities. Procedia Engineering [online]. July, 2015, Vol. 125.

Aviable in: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705815034645>

ISSN: 18777058

GOTTALA Anirudh, NANDA Kintali and YAJDHANI Shaik. Comparative Study of Static and Dynamic Seismic Analysis of a Multistoried Building. International Research Journal of Engineering and Technology [online]. July, 2015, Vol. 2, No. 1.

Disponibile en: <https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/38820776/IJSTE211059-with-cover-page->

[v2.pdf?Expires=1633035654&Signature=BHD05tR4gZ8CeLrpCmjQA7hUNpWiKwDBh2U2j7unvcGfY3PGleTgo7cifTn47HA~kw~bTTGRJeoyL8zcW2vldL-8wYLkN6uz5fnhyOgb3U3Ze5D2bS9iSla309VxDgoahT0ldAu0fWsaeKy~m1ISwwRtjW3TJUQA~63CMNEI8o21HWn3tkuRMYmcpwL1NzbC0TOjKaaq-vDXTw5i5Y93yVg3g7RIdRXmACWk9DPFawn~NbQA3BIZ4feSjW-VW17z7hDS~il253vhngHMqo92wSjQW91LCEsLByOAYkrazZc1DIE1Mt5fFwI2NSa fFoRriYOMz7Y4lrphYFKVbEdA_&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/38820776/IJSTE211059-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1633035654&Signature=BHD05tR4gZ8CeLrpCmjQA7hUNpWiKwDBh2U2j7unvcGfY3PGleTgo7cifTn47HA~kw~bTTGRJeoyL8zcW2vldL-8wYLkN6uz5fnhyOgb3U3Ze5D2bS9iSla309VxDgoahT0ldAu0fWsaeKy~m1ISwwRtjW3TJUQA~63CMNEI8o21HWn3tkuRMYmcpwL1NzbC0TOjKaaq-vDXTw5i5Y93yVg3g7RIdRXmACWk9DPFawn~NbQA3BIZ4feSjW-VW17z7hDS~il253vhngHMqo92wSjQW91LCEsLByOAYkrazZc1DIE1Mt5fFwI2NSa fFoRriYOMz7Y4lrphYFKVbEdA_&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA)

ISSN: 2349784X

HERNÁNDEZ Sampieri Roberto, FERNÁNDEZ Collado Carlos y BAPTISTA Lucio María del Pilar. Metodología de la investigación. 6ta ed. México: Interamericana Editores S.A. de C.V., 2014. 589 pp.

Disponibile en: <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>

ISBN: 9781456223960

HONGZHOU, Zang. Seismic safety assessment of base isolated building using lead-rubber bearings. Thesis (Master of Applied Science). Vancouver: University of British Columbia, 2018. 96 pp. Available in:

<https://open.library.ubc.ca/cIRcle/collections/ubctheses/24/items/1.0365767>

HUANCA Chambilla, Jhessenia Eveling y MELÉNDEZ Limache, Marienela Astrid. Análisis dinámico modal espectral de una edificación convencional y otra con aisladores sísmicos a nivel intermedio de la estructura en la ciudad de Tacna. Tesis (Titulo de Ingeniera Civil). Tacna: Universidad Privada de Tacna, 2016. 140 pp. Disponible en:

<http://repositorio.upt.edu.pe/handle/UPT/158>

INDECI. Compendio estadístico de prevención y atención de desastres, sismos ocurridos en el Perú. Lima: 2020, 112 pp.

Disponible en: <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1689973/CAPITULO%20III.%20Estadística%20Series%202003-2019.pdf>

KAKPURE Gauri and MUNDHADA Ashok. Comparative Study of Static and Dynamic Seismic Analysis of Multistoried RCC Building by ETAB: A Review. International Journal of Emerging Research in Management & Technology [online]. December, 2016, Vol. 5.

Disponible en: <http://www.kresttechnology.com/krest-academic-projects/krest-mtech-projects/Civil/Civil%20M.tech%20Projects%202017/1.Simulations/Base%20papers/23.Comparative%20Study%20of%20Static%20and%20Dynamic%20Seismic%20Analysis%20of.pdf>

ISSN: 22789359

LANDI Luca, GRAZI Gianluca and DIOTALLEVI Pier Paolo. Comparison of different models for friction pendulum isolators in structures subjected to horizontal and vertical ground motions. Elsevier [online]. Decembre, 2015, Vol. 81.

Disponible

en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0267726115002560>

ISSN: 02677261

LIMA. Centro peruano-japones de investigaciones sismicas y mitigacion de desastres (CISMID) (Perú). Escala: s/n. Mapa de microzonificación sísmica de la ciudad de Lima actualizado al año 2018. 1 mapa, col., 100 x 140 cm.

LEON Joya, Laura Tatiana. Disipadores y aisladores sísmicos, modelo de puente vehicular con disipador y sin disipador de energía, comparación de la respuesta sísmica. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Bogotá: Universidad Católica de Colombia, 2016. 98 pp. Disponible en:

https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/13931/4/Laura%20Tatiana%20Leon_Trabajo%20de%20grado.pdf

LÓPEZ Paredes, Diego Fernando. Análisis comparativo entre, sistemas estructurales para edificaciones de acero, en la provincia de Pichincha, Cantón Quito, utilizando los sistemas: tradicional de cimentación y aisladores sísmicos para un conjunto residencial. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Quito: Universidad Politécnica Salesiana, 2017. 136 pp. Disponible en:

<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/14414/1/UPS%20-%20ST003141.pdf>

LÓPEZ-Roldán, Pedro y FACHELLI, Sandra. Metodología de la investigación social cuantitativa. Barcelona: Universidad Autónoma de Barcelona. 2015. 64 pp. Disponible en:

https://ddd.uab.cat/pub/caplli/2016/163564/metinvsoccua_a2016_cap1-2.pdf

MAROTTI de Mello, Adriana and PEDROSO, Marcelo. Applied Research Articles: narrowing the gap between research and organizations. Revista de Gestao [online]. October, 2018, Vol. 25.

Disponible en: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/REGE-10-2018-075/full/html>

ISSN: 21778736

MC VITTY, J. William and CONSTANTINOU, Michael C. Property modification factors for seismic isolators: design guidance for buildings [en línea]. June 30, 2015.

Disponible en: <https://www.eng.buffalo.edu/mceer-reports/15/15-0005.pdf>

ISSB: 1520295X

MINISTERIO de Vivienda, Construcción y Saneamiento. N.020 Cargas. N°015-2004-VIVIENDA. Lima: El Peruano, 2006. 8 pp. Disponible en:

https://cdn-web.construccion.org/normas/rne2012/rne2006/files/titulo3/02_E/RNE2006_E_020.pdf

MINISTERIO de Vivienda, Construcción y Saneamiento. N.030 Diseño Sismorresistente. N°355-2018-VIVIENDA. Lima: El Peruano, 2018. 32 pp. Disponible en:

<https://busquedas.elperuano.pe/download/url/anexo-de-rm-n-355-2018-vivienda-mediante-la-cual-se-modi-anexo-rm-n355-2018-vivienda-1720685-1>

MINISTERIO de Vivienda, Construcción y Saneamiento. N.031 Aislamiento Sísmico. N°030-2019-VIVIENDA. Lima: El Peruano, 2019. 21 pp. Disponible en:

<https://busquedas.elperuano.pe/download/url/decreto-supremo-que-aprueba-la-norma-tecnica-e031-aislamie-decreto-supremo-n-030-2019-vivienda-1823291-2>

MENDO Rodríguez, Arnold Ramsey. Bases para la implementación de la norma peruana de análisis y diseño de edificios con aislación sísmica. Tesis (Magister en Ingeniería Civil). Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, 2015. 162 pp. Disponible en:

http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/6817/MENDO_ARNOLD_BASES_IMPLEMENTACION_NORMA_PERUANA_EDIFICIOS.pdf?sequence=1&isAllowed=y

NAKAMURA, Y. and OKADA K. Review on seismic isolation and response control methods of buildings in Japan. Geoenviron Disasters [online]. July 2019, n° 6.

Disponible en: <https://geoenvironmental-disasters.springeropen.com/articles/10.1186/s40677-019-0123-y#citeas>

PATIL and KUMBHAR. Time history analysis of multistoried RCC buildings for different seismic intensities. International Journal of Sctructural and Civil Engineering Research [online]. August, 2013, Vol. 2, No. 3.

Disponible en: <http://www.ijscer.com/uploadfile/2015/0429/20150429075958589.pdf>

ISSN: 23196009

PAWAR Neelam. Type of research and type research design. Chaundhary Bansilal University Bhiwani [online] December, 2020.

Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/352055750_6_Type_of_Research_and_Type_Research_Design

ISSN: 9788194875581

OTZEN, Tamara y MANTEROLA, Carlos. Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio. Revista International Journal of Morphology [en línea] Vol. 35, num. 01, 2017.

Disponible en: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0717-95022017000100037&script=sci_abstract

ISSN: 0717-9502

OEVIEDO, Juan Andrés y DUQUE, María del Pilar. Sistemas de control de respuesta sísmica en edificaciones. Revista EIA [en línea]. Diciembre 2006, n°6, 2006.

Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/237024737_SISTEMAS_DE_CONTROL_DE_RESPUESTA_SISMICA_EN_EDIFICACIONES

ISSN: 1794-1237

PÉREZ Zamora, Naxalia Amanda y VÁSQUEZ Ortega, María José. Diseño de aisladores sísmicos de base para edificios de oficinas de 10 niveles con sistema estructural de pórticos rígidos de concreto reforzado. Tesis (Título de Ingeniera Civil). Nicaragua: Universidad Centroamericana, 2016. 135 pp. Disponible en:

<http://repositorio.uca.edu.ni/3675/1/UCANI4609.pdf>

QUISPE Solózano, Henry Alfredo. Aislamiento sísmico de base para minimizar los daños en el centro de salud “Pedro Sánchez Meza” – Chupaca 2016. Tesis (Maestro en Gerencia de la Construcción Moderna). Lima: Universidad Nacional Federico Villareal, 2018. 295 pp. Disponible en:

<http://repositorio.unfv.edu.pe/bitstream/handle/UNFV/3643/QUISPE%20SOLORZA%20NO%20%20HENRY%20ALFREDO%20-%20MAESTRIA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

RUIZ Carrillo, Christian Nicolás y TORRES Reino, Ángel Ismael. Análisis comparativo del comportamiento sísmico dinámico de estructuras esenciales con aisladores de base del tipo elástométricos con núcleo de plomo LRB y disipadores tipo contra venteos restringidos al pandeo BRB, y su incidencia en la relación costo/beneficio del sistema estructural. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Ecuador: Universidad Técnica de Ambato, 2018. 322 pp. Disponible en:

<https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/29198/1/Tesis%20I.%20C.%201281%20-%20Ruiz%20Carrillo%20Christian%20Nicol%c3%a1s%20y%20Torres%20Reino%20Angel%20Ismael.pdf>

RUIZ Castro, Paul William. Análisis y diseño de edificios con aisladores sísmicos de péndulo friccional doble y triple. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, 2017. 122 pp. Disponible en:

http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/9330/RUIZ_PA_UL_AISLADORES_SISMICOS_PENDULO.pdf?sequence=1&isAllowed=y

REAL-time probabilistic seismic hazard assessment based on seismicity anomaly for Sun, Yu-Sheng [et al.]. Nat. Hazards Earth Syst [online]. March, 2020, Vol. 20.

Disponibile en: <https://nhess.copernicus.org/articles/20/743/2020/>

ISSN: 745-753

SARKISIAN, M. [et. al]. Experiences with Friction Pendulum™ seismic isolation in California. WIT Transactions on The Built Environment [online]. January, 2013, Vol. 132.

Disponibile en: <https://www.witpress.com/elibrary/wit-transactions-on-the-built-environment/132/25007>

ISSN: 1743-3509

TRENTO, Stefano. Domino di applicabilità delle procedure di analisi lineare nella progettazione di isolatori sismici a scorrimento a superficie curva. Tesi (Magistrale in Ingegneria Civile). Italia: Università Degli Studi Di Padova, 2015. 197 pp. Disponibile in:

http://tesi.cab.unipd.it/45818/1/TESI_TRENTO_STEFANO.pdf

ВАРДАНЯН ХАЧАТУР ГРИГОРЬЕВИЧ (2017). Строительные конструкции, здания, сооружения, строительные материалы и строительная механика. Тезис (кандидат технических наук). Россия: Опор Сейсмоизоляции При Сейсмических Воздействиях, 2017. 167 pp. Доступно в:

[http://etd.asi-
oa.am/6902/2/%D0%94%D0%B8%D1%81%D1%81%D0%B5%D1%80%D1%82%
D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F_09.11.17_OK.pdf](http://etd.asi-
oa.am/6902/2/%D0%94%D0%B8%D1%81%D1%81%D0%B5%D1%80%D1%82%
D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F_09.11.17_OK.pdf)

USECHE Maria Cristina [et. al]. Técnicas e instrumentos de recolección de datos cuali-cuantitativos. Colombia: Universidad de la Guajira, 2019. 83 pp.

Disponible en:

https://www.academia.edu/44142559/T%C3%A9cnicas_e_instrumentos_de_recolecci%C3%B3n_de_datos_Cuali_cuantitativos

ISBN: 9789566037

VALERIO Zacarias, Jacob Jonatan. Análisis comparativo de un edificio fijo en la base vs un edificio aislado utilizando 4 tipos de aisladores sísmicos. Tesis (Magister en Ingeniería Estructural y de la Construcción). Barcelona: Escola Técnica Superior d'Engineria de Camins, 2015. 160 pp. Disponible en:

<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/80231/TFM-Jacob%20Valerio.pdf>

VILLAVICENCIO Cedeño, Erick Gabriel. Análisis sísmico estructural comparativo para edificios con aisladores de base tipo elástoméricos y friccionantes, para los diferentes tipos de suelos del Ecuador. Tesis (Magister en Estructuras). Quito: Escuela Politécnica Nacional, 2015. 272 pp. Disponible en:

<https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/15639/1/CD-7073.pdf>

ANEXOS

Anexo 1: Matriz de consistencia

TITULO: Análisis sísmico de una estructura de concreto armado de ocho niveles con y sin aisladores sísmicos, Lince, Lima - 2021.						
Autora: Vidaurre Quispe, Christy Elena						
PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTOS
Problema General:	Objetivo general:	Hipótesis general:	Variable independiente (X): Aisladores sísmicos	Aisladores elastoméricos con núcleo de plomo	- Núcleo de plomo - Placas de acero - Láminas de caucho	- Norma Técnica E.031 Aislamiento sísmico - ASCE 7 - 16 - Ficha de recolección de datos
¿Cómo será el análisis sísmico de una estructura de concreto armado de ocho niveles con y sin aisladores sísmicos, Lince, Lima - 2021?	Evaluar los análisis sísmicos de una estructura de concreto armado de ocho niveles con y sin aisladores sísmicos, Lince, Lima - 2021.	Existen diferencias entre los resultados de los análisis sísmicos de una estructura de concreto armado de ocho niveles con y sin aisladores sísmicos, Lince, Lima - 2021.		Aisladores de péndulo friccional	- Deslizador de politetrafluoroetileno - Placa superior e inferior de superficie cóncava de acero inoxidable	
Problemas Específicos:	Objetivos Específicos:	Hipótesis específicas:		Propiedades de los aisladores	- Rigidez efectiva - Energía total disipada - Coeficiente de amortiguamiento	
¿Cómo será el análisis estático o de fuerza estáticas equivalentes para una estructura de concreto armado de ocho niveles con y sin aisladores sísmicos, Lince, Lima - 2021?	Realizar el análisis estático o de fuerza estáticas equivalentes para una estructura de concreto armado de ocho niveles con y sin aisladores sísmicos, Lince, Lima - 2021.	Existen diferencias en los resultados del análisis estático o de fuerza estáticas equivalentes para una estructura de concreto armado de ocho niveles con y sin aisladores sísmicos, Lince, Lima - 2021.	Variable dependiente (Y): Análisis sísmico	Análisis estático o de fuerzas estáticas equivalentes	- Fuerzas sísmicas - Derivas - Fuerza cortante basal	- Software ETABS - Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente - Norma Técnica E.031 Aislamiento sísmico - ASCE 7 - 16 - Ficha de recolección de datos
¿Cómo será el análisis modal espectral para una estructura de concreto armado de ocho niveles con y sin aisladores sísmicos, Lince, Lima - 2021?	Realizar el análisis modal espectral para una estructura de concreto armado de ocho niveles con y sin aisladores sísmicos, Lince, Lima - 2021.	Existen diferencias en los resultados del análisis modal espectral para una estructura de concreto armado de ocho niveles con y sin aisladores sísmicos, Lince, Lima - 2021.		Análisis modal espectral	- Modos - Periodos - Frecuencias	
¿Cómo será el análisis tiempo-historia para una estructura de concreto armado de ocho niveles con y sin aisladores sísmicos, Lince, Lima - 2021?	Realizar el análisis tiempo-historia para una estructura de concreto armado de ocho niveles con y sin aisladores sísmicos, Lince, Lima - 2021.	Existen diferencias en los resultados del análisis tiempo-historia para una estructura de concreto armado de ocho niveles con y sin aisladores sísmicos, Lince, Lima - 2021.		Análisis tiempo - historia	- Derivas - Aceleraciones	

Anexo 2: Matriz de operacionalización de las variables

TITULO: Análisis sísmico de una estructura de concreto armado de ocho niveles con y sin aisladores sísmicos, Lince, Lima - 2021.					
Autora: Vidaurre Quispe, Christy Elena					
VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
Variable Independiente (X) Aisladores sísmicos	Son dispositivos de protección sísmicas que mediante altas deformaciones absorben la energía que el movimiento sísmico traspasa a la edificación, por ello mismo ya existen diversos tipos que son empleados en países de necesidad de protección sísmica, considerando que estos aisladores tienen como el objetivo principal aislar la superestructura del suelo con el fin de reducir al mínimo la energía. (León, 2016, p. 26)	Los dispositivos de protección sísmica serán diseñados de acuerdo a las restricciones de la norma E.031 Aislamiento sísmico y la norma ASCE 7-16, para posteriormente ser modelados en el software ETABS y obtener así los resultados deseados.	Aisladores elastoméricos con núcleo de plomo	- Núcleo de plomo - Placas de acero - Láminas de caucho	Nominal
			Aisladores de péndulo friccional	- Deslizador de politetrafluoroetileno - Placa superior e inferior de superficie cóncava de acero inoxidable	
			Propiedades de los aisladores	- Rigidez efectiva - Energía total disipada - Coeficiente de amortiguamiento	
Variable dependiente (Y) Análisis sísmico	Es la observación de la respuesta de una edificación ante un evento sísmico, por lo que se pueden analizar los desplazamientos, deformaciones, aceleraciones, modos, periodos y frecuencias, es por ello que dado a su extensión de análisis es que se dividen en estáticos y dinámicos. (López, 2014, p. 103)	Se trata del método de análisis que se usará para la presente investigación considerando los análisis sísmicos indicados por la norma E.030 Diseño Sismorresistente, análisis estático o de fuerzas estáticas equivalentes, análisis modal espectral y análisis tiempo-historia.	Análisis estático o de fuerzas estáticas equivalentes	- Fuerzas sísmicas - Derivas - Fuerza cortante basal	Razón
			Análisis modal espectral	- Modos - Periodos - Frecuencias	
			Análisis tiempo - historia	- Derivas - Aceleraciones	

Anexo 3: Solicitud de permiso de uso de planos



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

Solicitud de permiso de uso de planos

Señor Moisés Cajaleán Bautista

Encargado administrativo del edificio Casanova

Yo, Christy Elena Vidaurre Quispe identificada con DNI N°70497680, estudiante de 9no ciclo de la carrera profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Cesar Vallejo, registrada con el código universitario N° 7001151829.

Por el medio presente, tengo el grato gusto de dirigirme a usted con la finalidad de solicitar el permiso para el uso de los planos de estructura del Edificio Casanova, ubicado en la Av. Los Geranios 476 en el distrito de Lince, para la aplicación práctica de mi proyecto de investigación titulado "Análisis sísmico de una estructura de concreto armado de ocho niveles con y sin aisladores sísmicos, Lince, Lima – 2021" que se basara en realizar los tres análisis sísmicos mencionados en la Norma Técnica de Edificación E.030 Diseño Sismorresistente mediante el software ETABS 18.1.1, así como también diseñare dos tipos de aisladores para ser colocados en la edificación modelada, teniendo así resultados de la reacción de la estructura ante un sismo representativo que le podrá servir para el conocimiento suyo y de sus inquilinos.

Lima, 21 de Septiembre de 2021.


Recibido

Anexo 4: Carta de aceptación de uso de planos



CARTA N°052-2021-EDIFICIO-CASANOVA

Para:

Srta. Christy Elena Vidaurre Quispe
Estudiante universitaria de la carrera profesional de Ing. Civil
Universidad Cesar Vallejo - Lima Norte

Presente:

Asunto: ACEPTACIÓN A LA SOLICITUD DE PERMISO DE USO DE PLANOS

Referencia: SOLICITUD DE PERMISO DE USO DE PLANOS

De mi especial consideración:

Tengo el grato gusto de dirigirme hacia usted para darle a conocer que yo, Moisés Cajaleán Bautista con DNI N°07629721 y con mi responsabilidad de encargado administrativo del Edificio Casanova, ubicado en Av. Los Geranios 476 en el distrito de Lince, acepto su solicitud de permiso de uso de los planos que se han puesto a disposición suya para que así pueda realizar su proyecto de investigación.

Agradeciendo la atención al presente, aprovecho la oportunidad para expresarle mis buenos deseos con la elaboración de su proyecto, esperando también poder visualizarlo prontamente.

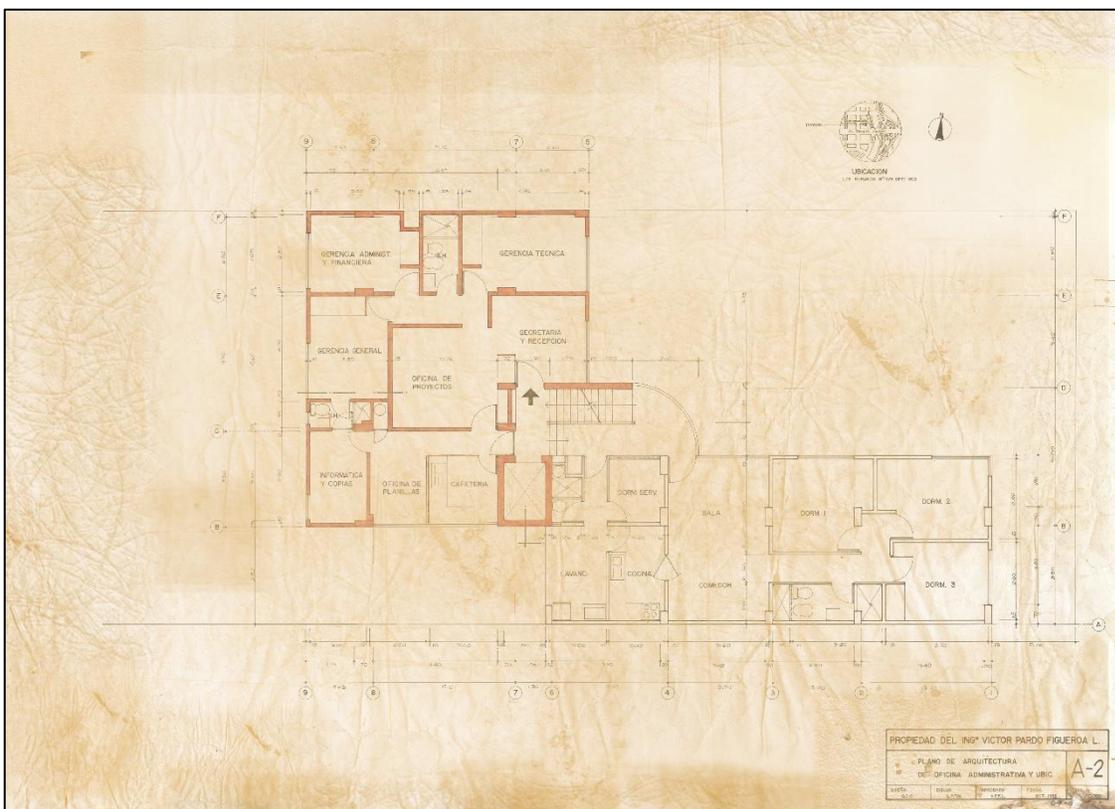
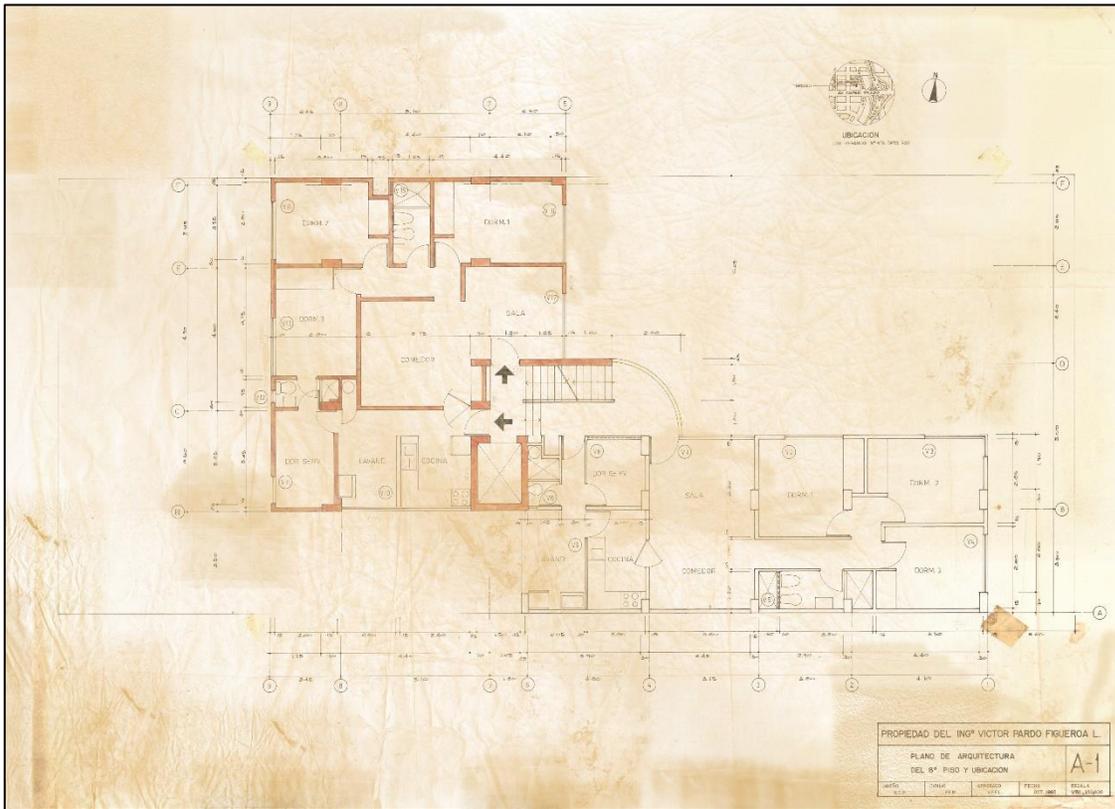
Atentamente:

Lima, 24 de Septiembre de 2021.

CANCELADO
Edificio Casanova

Fecha: 24 / 09 / 21

Anexo 5: Planos originales de arquitectura



Anexo 7: Reporte de turnitin

Christy Vidaurre Quispe | Análisis sísmico de una estructura de concreto armado de ocho niveles con y sin aisladore... ?

 **UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

"Análisis sísmico de una estructura de concreto armado de ocho niveles con y sin aisladores sísmicos, Lince, Lima - 2021"

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERA CIVIL

AUTORA:
Vidaurre Quispe, Christy Eliena
<https://orcid.org/0000-0001-6230-3427>

ASESOR:
Mg. Pinto Barrantes, Raúl Antonio
<https://orcid.org/0000-0002-9573-0182>

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:
Diseño sísmico y estructural

LIMA – PERÚ
2021

Resumen de coincidencias ✕

14 %

Se están viendo fuentes estándar

[Ver fuentes en inglés \(Beta\)](#)

Coincidencias

1	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	3 %	>
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	1 %	>
3	Entregado a Universida... Trabajo del estudiante	1 %	>
4	repositorio.urp.edu.pe Fuente de Internet	1 %	>
5	Entregado a Universida... Trabajo del estudiante	1 %	>
6	Entregado a Universida... Trabajo del estudiante	1 %	>
7	es.scribd.com Fuente de Internet	1 %	>
8	repositorio.uca.edu.ni	1 %	>

Anexo 8: Ficha de recolección de los datos



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FICHA DE VALIDACIÓN DE RECOLECCIÓN DE DATOS

I. INFORMACIÓN GENERAL:

TÍTULO: Análisis sísmico de una estructura de concreto armado de ocho niveles con y sin aisladores sísmicos, Lince, Lima – 2021.

AUTORA: Christy Elena Vidaurre Quispe

II. AISLADORES SÍSMICOS:

DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTOS	VALIDEZ
Análisis estático o de fuerzas estáticas equivalentes	- Fuerzas sísmicas - Derivas - Fuerza cortante basal	- Software ETABS - Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente	08
Análisis modal espectral	- Modos - Periodos - Frecuencias	- Norma Técnica E.031 Aislamiento sísmico - ASCE 7 - 16	
Análisis tiempo - historia	- Derivas - Registros de aceleraciones	- Ficha de recolección de datos	

III. ANÁLISIS SÍSMICOS:

DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTOS	VALIDEZ
Aisladores elastoméricos con núcleo de plomo	- Núcleo de plomo - Placas de acero - Láminas de caucho	- Norma Técnica E.031 Aislamiento sísmico - ASCE 7 - 16 - Ficha de recolección de datos	08
Aisladores de péndulo friccional	- Deslizador de politetrafluoroetileno - Placa superior e inferior de superficie cóncava de acero inoxidable		
Propiedades de los aisladores	- Rigidez efectiva - Energía total disipada - Coeficiente de amortiguamiento		

III. VALIDEZ:

VALIDEZ	MUY BAJA	BAJA	MEDIA	ALTA	MUY ALTA
RANGO	0.00 – 0.20	0.21 – 0.40	0.41 – 0.60	0.61 – 0.80	0.81 – 1.00

IV. FIRMA DEL EXPERTO:

Mg. Santos Ricardo Padilla Pichen:

SANTOS RICARDO PADILLA PICHEN
INGENIERO CIVIL
CIP 51630



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FICHA DE VALIDACIÓN DE RECOLECCIÓN DE DATOS

I. INFORMACIÓN GENERAL:

TÍTULO: Análisis sísmico de una estructura de concreto armado de ocho niveles con y sin aisladores sísmicos, Lince, Lima – 2021.

AUTORA: Christy Elena Vidaurre Quispe

II. AISLADORES SÍSMICOS:

DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTOS	VALIDEZ
Análisis estático o de fuerzas estáticas equivalentes	- Fuerzas sísmicas - Derivas - Fuerza cortante basal	- Software ETABS - Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente - Norma Técnica E.031 Aislamiento sísmico - ASCE 7 - 16 - Ficha de recolección de datos	0.90
Análisis modal espectral	- Modos - Periodos - Frecuencias		
Análisis tiempo - historia	- Derivas - Registros de aceleraciones		

III. ANÁLISIS SÍSMICOS:

DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTOS	VALIDEZ
Aisladores elastoméricos con núcleo de plomo	- Núcleo de plomo - Placas de acero - Láminas de caucho	- Norma Técnica E.031 Aislamiento sísmico - ASCE 7 - 16 - Ficha de recolección de datos	0.90
Aisladores de péndulo friccional	- Deslizador de politetrafluoroetileno - Placa superior e inferior de superficie cóncava de acero inoxidable		
Propiedades de los aisladores	- Rigidez efectiva - Energía total disipada - Coeficiente de amortiguamiento		

III. VALIDEZ:

VALIDEZ	MUY BAJA	BAJA	MEDIA	ALTA	MUY ALTA
RANGO	0.00 – 0.20	0.21 – 0.40	0.41 – 0.60	0.61 – 0.80	0.81 – 1.00

IV. FIRMA DEL EXPERTO:

Ing. Victor Hugo Sipion Fernández:

VICTOR HUGO SIPION FERNANDEZ
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 73075



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FICHA DE VALIDACIÓN DE RECOLECCIÓN DE DATOS

I. INFORMACIÓN GENERAL:

TÍTULO: Análisis sísmico de una estructura de concreto armado de ocho niveles con y sin aisladores sísmicos, Lince, Lima – 2021.

AUTORA: Christy Elena Vidaurre Quispe

II. AISLADORES SÍSMICOS:

DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTOS	VALIDEZ
Análisis estático o de fuerzas estáticas equivalentes	- Fuerzas sísmicas - Derivas - Fuerza cortante basal	- Software ETABS - Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente	0,80
Análisis modal espectral	- Modos - Periodos - Frecuencias	- Norma Técnica E.031 Aislamiento sísmico - ASCE 7 - 16	
Análisis tiempo - historia	- Derivas - Registros de aceleraciones	- Ficha de recolección de datos	

III. ANÁLISIS SÍSMICOS:

DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTOS	VALIDEZ
Aisladores elastoméricos con núcleo de plomo	- Núcleo de plomo - Placas de acero - Láminas de caucho	- Norma Técnica E.031 Aislamiento sísmico - ASCE 7 - 16 - Ficha de recolección de datos	0,80
Aisladores de péndulo friccional	- Deslizador de politetrafluoroetileno - Placa superior e inferior de superficie cóncava de acero inoxidable		
Propiedades de los aisladores	- Rigidez efectiva - Energía total disipada - Coeficiente de amortiguamiento		

III. VALIDEZ:

VALIDEZ	MUY BAJA	BAJA	MEDIA	ALTA	MUY ALTA
RANGO	0.00 – 0.20	0.21 – 0.40	0.41 – 0.60	0.61 – 0.80	0.81 – 1.00

IV. FIRMA DEL EXPERTO:

Mg. Pinto Barrantes, Raúl Antonio:

RAÚL ANTONIO PINTO BARRANTES
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP Nº 51304

Anexo 9: Fichas de confiabilidad de los resultados



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

FICHA DE CONFIABILIDAD DE LOS RESULTADOS

I. INFORMACIÓN GENERAL:

TÍTULO: Análisis sísmico de una estructura de concreto armado de ocho niveles con y sin aisladores sísmicos, Lince, Lima – 2021.

AUTORA: Christy Elena Vidaurre Quispe.

II. RESULTADOS:

ANÁLISIS	SISMOS	ESTRUCTURA SIN AISLADOR			ESTRUCTURA CON AISLADOR LRB				ESTRUCTURA CON AISLADOR FPD			
		PISO	DERIVA	E 030	PISO	DERIVA	E 030	% REDUC. TOTAL	PISO	DERIVA	E 030	% REDUC. TOTAL
ESTÁTICO O DE FUERZAS EQUIVALENTES	ESTÁTICO EN X	4	0.00749	NO CUMPLE	2	0.00491	CUMPLE	41.88%	2	0.00473	CUMPLE	42.22%
	ESTÁTICO EN Y	3	0.00921	NO CUMPLE	2	0.00686	CUMPLE	39.45%	2	0.00599	CUMPLE	47.06%
DINÁMICO MODAL-ESPECTRAL	DINÁMICO EN X	5	0.00887	NO CUMPLE	2	0.00202	CUMPLE	78.07%	2	0.00602	CUMPLE	37.67%
	DINÁMICO EN Y	3	0.00930	NO CUMPLE	2	0.00167	CUMPLE	84.10%	2	0.00700	NO CUMPLE	38.74%
DINÁMICO TIEMPO-HISTORIA	5.1 MW EN X	8	0.00668	CUMPLE	2	0.00196	CUMPLE	63.00%	2	0.00147	CUMPLE	70.93%
	5.1 MW EN Y	3	0.00522	CUMPLE	2	0.00664	CUMPLE	13.64%	2	0.00502	CUMPLE	35.40%
	5.5 MW EN X	6	0.00604	CUMPLE	5	0.00321	CUMPLE	44.36%	6	0.00452	CUMPLE	19.95%
	5.5 MW EN Y	5	0.00762	NO CUMPLE	1	0.00358	CUMPLE	51.76%	1	0.00588	CUMPLE	18.01%
	7.1 MW EN X	6	0.00735	NO CUMPLE	6	0.00399	CUMPLE	45.48%	6	0.00471	CUMPLE	35.10%
	7.1 MW EN Y	7	0.01284	NO CUMPLE	2	0.00696	CUMPLE	39.86%	3	0.00720	NO CUMPLE	31.12%
RESULTADOS FINALES		7	0.01284	30% CUMPLE	2	0.00696	100% CUMPLE	50.16%	3	0.00720	80% CUMPLE	37.62%

III. CONFIABILIDAD:

CONFIABILIDAD	MUY BAJA	BAJA	MEDIA	ALTA	MUY ALTA
RANGO	0.00 – 0.20	0.21 – 0.40	0.41 – 0.60	0.61 – 0.80	0.81 – 1.00

08

IV. FIRMA DEL EXPERTO:

Mg. Santos Ricardo Padilla Pichen:

SANTOS RICARDO PADILLA PICHEN
INGENIERO CIVIL
CP 51630



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

FICHA DE CONFIABILIDAD DE LOS RESULTADOS

I. INFORMACIÓN GENERAL:

TÍTULO: Análisis sísmico de una estructura de concreto armado de ocho niveles con y sin aisladores sísmicos, Lince, Lima – 2021.

AUTORA: Christy Elena Vidaurre Quispe.

II. RESULTADOS:

ANÁLISIS	SISMOS	ESTRUCTURA SIN AISLADOR			ESTRUCTURA CON AISLADOR LRB				ESTRUCTURA CON AISLADOR FPD			
		PISO	DERIVA	E 030	PISO	DERIVA	E 030	% REDUC. TOTAL	PISO	DERIVA	E 030	% REDUC. TOTAL
ESTÁTICO O DE FUERZAS EQUIVALENTES	ESTÁTICO EN X	4	0.00749	NO CUMPLE	2	0.00491	CUMPLE	41.88%	2	0.00473	CUMPLE	42.22%
	ESTÁTICO EN Y	3	0.00921	NO CUMPLE	2	0.00686	CUMPLE	39.45%	2	0.00599	CUMPLE	47.06%
DINÁMICO MODAL-ESPECTRAL	DINÁMICO EN X	5	0.00887	NO CUMPLE	2	0.00202	CUMPLE	78.07%	2	0.00602	CUMPLE	37.67%
	DINÁMICO EN Y	3	0.00930	NO CUMPLE	2	0.00167	CUMPLE	84.10%	2	0.00700	NO CUMPLE	38.74%
DINÁMICO TIEMPO-HISTORIA	5.1 MW EN X	8	0.00668	CUMPLE	2	0.00196	CUMPLE	63.00%	2	0.00147	CUMPLE	70.93%
	5.1 MW EN Y	3	0.00522	CUMPLE	2	0.00664	CUMPLE	13.64%	2	0.00502	CUMPLE	35.40%
	5.5 MW EN X	6	0.00604	CUMPLE	5	0.00321	CUMPLE	44.36%	6	0.00452	CUMPLE	19.95%
	5.5 MW EN Y	5	0.00762	NO CUMPLE	1	0.00358	CUMPLE	51.76%	1	0.00588	CUMPLE	18.01%
	7.1 MW EN X	6	0.00735	NO CUMPLE	6	0.00399	CUMPLE	45.48%	6	0.00471	CUMPLE	35.10%
	7.1 MW EN Y	7	0.01284	NO CUMPLE	2	0.00696	CUMPLE	39.86%	3	0.00720	NO CUMPLE	31.12%
RESULTADOS FINALES		7	0.01284	30% CUMPLE	2	0.00696	100% CUMPLE	50.16%	3	0.00720	80% CUMPLE	37.62%

III. CONFIABILIDAD:

CONFIABILIDAD	MUY BAJA	BAJA	MEDIA	ALTA	MUY ALTA
RANGO	0.00 – 0.20	0.21 – 0.40	0.41 – 0.60	0.61 – 0.80	0.81 – 1.00

0.90

IV. FIRMA DEL EXPERTO:

Ing. Victor Hugo Sipion Fernández:


VICTOR HUGO SIPION FERNANDEZ
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 73075



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

FICHA DE CONFIABILIDAD DE LOS RESULTADOS

I. INFORMACIÓN GENERAL:

TÍTULO: Análisis sísmico de una estructura de concreto armado de ocho niveles con y sin aisladores sísmicos, Lince, Lima – 2021.

AUTORA: Christy Elena Vidaurre Quispe

II. RESULTADOS:

ANÁLISIS	SISMAS	ESTRUCTURA SIN AISLADOR			ESTRUCTURA CON AISLADOR LRB				ESTRUCTURA CON AISLADOR FPD			
		PISO	DERIVA	E 030	PISO	DERIVA	E 030	% REDUC. TOTAL	PISO	DERIVA	E 030	% REDUC. TOTAL
ESTÁTICO O DE FUERZAS EQUIVALENTES	ESTÁTICO EN X	4	0.00749	NO CUMPLE	2	0.00491	CUMPLE	41.88%	2	0.00473	CUMPLE	42.22%
	ESTÁTICO EN Y	3	0.00921	NO CUMPLE	2	0.00686	CUMPLE	39.45%	2	0.00599	CUMPLE	47.06%
DINÁMICO MODAL-ESPECTRAL	DINÁMICO EN X	5	0.00887	NO CUMPLE	2	0.00202	CUMPLE	78.07%	2	0.00602	CUMPLE	37.67%
	DINÁMICO EN Y	3	0.00930	NO CUMPLE	2	0.00167	CUMPLE	84.10%	2	0.00700	NO CUMPLE	38.74%
DINÁMICO TIEMPO-HISTORIA	5.1 MW EN X	8	0.00668	CUMPLE	2	0.00196	CUMPLE	63.00%	2	0.00147	CUMPLE	70.93%
	5.1 MW EN Y	3	0.00522	CUMPLE	2	0.00664	CUMPLE	13.64%	2	0.00502	CUMPLE	35.40%
	5.5 MW EN X	6	0.00604	CUMPLE	5	0.00321	CUMPLE	44.36%	6	0.00452	CUMPLE	19.95%
	5.5 MW EN Y	5	0.00762	NO CUMPLE	1	0.00358	CUMPLE	51.76%	1	0.00588	CUMPLE	18.01%
	7.1 MW EN X	6	0.00735	NO CUMPLE	6	0.00399	CUMPLE	45.48%	6	0.00471	CUMPLE	35.10%
	7.1 MW EN Y	7	0.01284	NO CUMPLE	2	0.00696	CUMPLE	39.86%	3	0.00720	NO CUMPLE	31.12%
RESULTADOS FINALES		7	0.01284	30% CUMPLE	2	0.00696	100% CUMPLE	50.16%	3	0.00720	80% CUMPLE	37.62%

III. CONFIABILIDAD:

0,80

CONFIABILIDAD	MUY BAJA	BAJA	MEDIA	ALTA	MUY ALTA
RANGO	0.00 – 0.20	0.21 – 0.40	0.41 – 0.60	0.61 – 0.80	0.81 – 1.00

IV. FIRMA DEL EXPERTO:

Mg. Pinto Barrantes, Raúl Antonio:


 RAÚL ANTONIO PINTO BARRANTES
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP Nº 51304

Anexo 10: Precio del aislador elastomérico con núcleo de plomo (LRB).

The screenshot shows the Alibaba.com product page for a "Bridge Seismic Isolation Reinforced PTFE Pot Fixed Bearing". The product is displayed with a main image and a gallery of smaller images below it. The price is listed as \$145.00 - \$36,500.00 per set. The page includes a search bar at the top, navigation menus, and a sidebar with a "Verified supplier" profile for Hebei Baoli Engineering Equipme... The supplier profile lists details such as response time (≤3h), floor space (900000 m²), and various certifications. A "Contact Supplier" button is prominently displayed.

Alibaba.com Products What are you looking for... Search

Categories Ready to Ship Personal Protective Eq... Trade Shows Buyer Central Sell on Alibaba Help

Home > All Industries > Rubber & Plastics > Rubber Products > Other Rubber Products [Subscribe to Trade Alert](#)

Bridge Seismic Isolation Reinforced PTFE Pot Fixed Bearing

FOB Reference Price [Get Latest Price](#)

\$145.00 - \$36,500.00 / Set | 1 Set/Sets (Min. Order)

Benefits **Pro** US \$3,000 Coupons Apply Now >

Shipping Support Sea freight

Alibaba.com Freight Compare Rates Learn more

Protection: Trade Assurance protection your alibaba.com order Refund Policy

For product pricing, customization, or other inquiries: [Contact Supplier](#) [Chat Now](#)

Verified supplier

Hebei Baoli Engineering Equipme...
Manufacturer, Trading Company

Response Time On-time delivery rate
≤3h 100.0%

FloorSpace(m²) Certificate
900000

QA/QC Inspectors R&D employees
50+ 50+

ODM Services Available
Global Export Expertise

You may also like [Messenger](#) [TOP](#)

Anexo 11: Precio del aislador de doble péndulo friccional (FPD).

The screenshot shows the Alibaba.com product page for "Seismic isolation spherical hinged steel bearings for buildings with friction pendulum Isolation Bridge Spherical Bearing". The product is displayed with a main image and a gallery of smaller images below it. The price is listed as \$145.00 - \$36,500.00 per set. The page includes a search bar at the top, navigation menus, and a sidebar with a "Verified supplier" profile for Hebei Baoli Engineering Equipme... The supplier profile lists details such as response time (≤3h), floor space (900000 m²), and various certifications. A "Contact Supplier" button is prominently displayed.

Alibaba.com Products What are you looking for... Search

Categories Ready to Ship Personal Protective Eq... Trade Shows Buyer Central Sell on Alibaba Help

Home > All Industries > Rubber & Plastics > Rubber Products > Other Rubber Products [Subscribe to Trade Alert](#)

Seismic isolation spherical hinged steel bearings for buildings with friction pendulum Isolation Bridge Spherical Bearing

FOB Reference Price [Get Latest Price](#)

\$145.00 - \$36,500.00 / Set | 1 Set/Sets (Min. Order)

Benefits **Pro** US \$3,000 Coupons Apply Now >

Shipping Support Sea freight

Alibaba.com Freight Compare Rates Learn more

Protection: Trade Assurance protection your alibaba.com order Refund Policy

For product pricing, customization, or other inquiries: [Contact Supplier](#) [Chat Now](#)

Verified supplier

Hebei Baoli Engineering Equipme...
Manufacturer, Trading Company

Response Time On-time delivery rate
≤3h 100.0%

FloorSpace(m²) Certificate
900000

QA/QC Inspectors R&D employees
50+ 50+

ODM Services Available
Global Export Expertise

Company highlights [View company profile >](#) [Messenger](#) [TOP](#)