



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Respuesta dinámica del modelamiento de edificios con base fija
y con aisladores elastoméricos según las condiciones del suelo,
Trujillo

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Civil

AUTOR:

Abanto Burgos, Humberto Alamiro (ORCID: 0000-0003-1863-2674)

ASESOR:

Mg. Villar Quiroz, Josualdo Carlos (ORCID: 0000-0003-3392-9580)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Construcción Sostenible

Diseño sísmico estructural

Trujillo – Perú

2022

Dedicatoria

A mi familia por haberme forjado por el camino de Dios y del bien, muchos de mis logros se los debo a ustedes.

A mis amigos y compañeros, quienes sin esperar nada a cambio compartieron sus conocimientos y a todas aquellas personas que durante este tiempo siempre confiaron en mí.

**ABANTO BURGOS HUMBERTO
ALAMIRO**

Agradecimiento

Agradezco a Dios en primer lugar por permitirme tener y disfrutar a mi familia, gracias a ellos que me apoyaron siempre en cada decisión que tome.

No ha sido sencillo el camino, pero gracias a su apoyo, amor y su inmensa bondad, lo complicado de esta etapa se ha notado menos.

**ABANTO BURGOS HUMBERTO
ALAMIRO**

Índice de contenidos

Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Índice de contenidos	iv
Índice de tablas	vii
Índice de figuras	xi
Resumen	xvii
Abstract	xviii
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. <i>Realidad problemática</i>	1
1.2. <i>Planteamiento del problema</i>	6
1.3. <i>Justificación</i>	6
1.4. <i>Hipótesis</i>	8
1.5. <i>Objetivos</i>	9
1.5.1. <i>Objetivo general</i>	9
1.5.2. <i>Objetivos específicos</i>	9
II. MARCO TEÓRICO	10
2.1. <i>Antecedentes</i>	10
2.2. <i>Bases Teóricas</i>	17
2.2.1. <i>Aislamiento sísmico</i>	17
2.2.2. <i>Componente del aislamiento sísmico</i>	18
2.2.3. <i>Aisladores sísmicos</i>	19
2.2.4. <i>Elementos de protección sísmica</i>	20
2.2.5. <i>Peligro Sísmico</i>	24

2.2.6. Análisis sísmico.....	28
2.2.7. Respuesta dinámica.....	30
III. METODOLOGÍA.....	34
3.1. <i>Enfoque, Tipo y diseño de investigación</i>	34
3.1.1. Enfoque de investigación.....	34
3.1.2. Tipo de investigación.....	34
3.1.3. Diseño de investigación.....	34
3.2. <i>Operacionalización de variables</i>	35
3.2.1. Variable.....	35
3.2.2. Matriz de clasificación de variables.....	35
3.2.3. Matriz de operacionalización de variables.....	36
3.3. <i>Población, muestra y muestreo</i>	36
3.3.1. Población:.....	36
3.3.2. Población objetivo.....	37
3.3.3. Muestra:.....	37
3.4. <i>Técnicas e instrumentos de recolección de datos y validez</i>	38
3.4.1. Técnica.....	38
3.4.2. Instrumento de recolección de datos.....	38
3.4.3. Validación del instrumento de recolección de datos.....	38
3.5. <i>Procedimientos</i>	39
3.6. <i>Método de análisis de datos</i>	42
3.6.1. Técnicas de análisis de datos.....	42
3.6.2. Instrumentos (pruebas estadísticas para el tratamiento de datos)....	42
3.7. <i>Aspectos éticos</i>	44
3.8. <i>Desarrollo de tesis</i>	45
3.8.1 <i>Espectro de respuesta</i>	45
3.8.2 <i>Condiciones del suelo</i>	45

3.8.3	<i>Predimensionamiento</i>	46
3.8.4	<i>Metrado de cargas</i>	47
3.8.5	<i>Modelamiento estructural</i>	49
3.8.6	<i>Análisis sísmico</i>	82
3.8.6.1	<i>Análisis sísmico para modelo estructural de base fija</i>	82
3.8.6.2	<i>Análisis sísmico para modelo estructural de base aislada</i>	89
IV.	RESULTADOS.....	97
4.1.1.	Espectro de respuesta	97
4.1.2.	Condiciones del suelo	98
4.1.3.	Predimensionamiento.....	100
4.1.4.	Metrado de cargas	100
4.1.5.	Modelamiento estructural	101
4.1.6.	Análisis sísmico.....	101
V.	DISCUSIÓN	105
VI.	CONCLUSIONES	112
VII.	RECOMENDACIONES.....	114
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	115
	ANEXOS	121

Índice de tablas

Tabla 1.	Factores de zona	25
Tabla 2.	Factor de suelo “S” según zonificación	27
Tabla 3.	Periodos TP y TL según el tipo de perfil de suelo.....	27
Tabla 4.	Tabla de frecuencias, para edificios modelados de base fija, para cada condición del suelo presentes en el distrito de Trujillo.	43
Tabla 5.	Resumen de los parámetros lineales y no lineales de los aisladores LRB.....	77
Tabla 6.	Resumen de los parámetros lineales y no lineales de los aisladores HDR.	78
Tabla 7.	Velocidad de onda de corte de cada zona de la ciudad de Trujillo según el estudio de microzonificación sísmica, realizada por el CISMID.	98
Tabla 8.	Resultados del predimensionamiento para los modelos de edificios	100
Tabla 9.	Resultados del metrado x m2 para los modelos de edificios.	100
Tabla 10.	Datos generales de los sismos ocurridos en el Perú, obtenidos del CISMID.	134
Tabla 11.	Descripción de las zonas de isoperiodos clasificadas según el estudio de microzonificación sísmica en la ciudad de Trujillo, realizada por el CISMID.	140
Tabla 12.	Clasificación de los perfiles de suelo según la Norma Técnica Peruana E.030.	140
Tabla 13.	Velocidad de onda de corte de cada zona de la ciudad de Trujillo según el estudio de microzonificación sísmica, realizada por el CISMID. ...	141
Tabla 14.	Correspondencia entre los valores obtenidos de las velocidades de ondas de cortes (V_s) y la Norma Técnica Peruana E.030.	141
Tabla 15.	Descripción de las zonas de isoperiodos clasificadas según el estudio de microzonificación sísmica en la ciudad de Trujillo, realizada por el CISMID.	143

Tabla 16.	Clasificación de los perfiles de suelo según la Norma Técnica Peruana E.030.	144
Tabla 17.	Velocidad de onda de corte de cada zona de la ciudad de Trujillo según el estudio de microzonificación sísmica, realizada por el CISMID. ...	144
Tabla 18.	Correspondencia entre los valores obtenidos de las velocidades de ondas de cortes (V_s) y la Norma Técnica Peruana E.030.	146
Tabla 19.	Espesor de las losas aligeradas usadas en el presente proyecto. ...	149
Tabla 20.	Peralte y ancho de las vigas de concreto armado usadas en el presente proyecto.	149
Tabla 21.	Dimensiones de las columnas de concreto armado usada en el presente proyecto.	150
Tabla 22.	Espesor de las placas de concreto armado usada en el presente proyecto.	150
Tabla 23.	Espesor de las losas aligeradas usadas en el presente proyecto. ...	151
Tabla 24.	Peralte y ancho de las vigas de concreto armado usadas en el presente proyecto.	151
Tabla 25.	Dimensiones de las columnas de concreto armado usada en el presente proyecto.	152
Tabla 26.	Espesor de las placas de concreto armado usada en el presente proyecto.	152
Tabla 27.	Cargas muertas por metro cuadrado sobre las losas aligeradas en los pisos típicos.	153
Tabla 28.	Carga muerta por metro cuadrado sobre las losas aligeradas en la azotea.	153
Tabla 29.	Carga viva por metro cuadrado sobre las losas aligeradas en los pisos típicos.	154
Tabla 30.	Carga muerta por metro cuadrado sobre las losas aligeradas en la azotea.	154
Tabla 31.	Carga muerta por metro cuadrado sobre las vigas perimetrales en los	

	pisos típicos.	154
Tabla 32.	Carga muerta por metro cuadrado sobre las vigas perimetrales en la azotea.	155
Tabla 33.	Cargas muertas por metro cuadrado sobre las losas aligeradas en los pisos típicos.	156
Tabla 34.	Carga muerta por metro cuadrado sobre las losas aligeradas en la azotea.	156
Tabla 35.	Carga viva por metro cuadrado sobre las losas aligeradas en los pisos típicos.	157
Tabla 36.	Carga muerta por metro cuadrado sobre las losas aligeradas en la azotea.	157
Tabla 37.	Carga muerta por metro cuadrado sobre las vigas perimetrales en los pisos típicos.	157
Tabla 38.	Carga muerta por metro cuadrado sobre las vigas perimetrales en la azotea.	158
Tabla 39.	Periodo fundamental de los modelos estructurales con base fija y aisladores LRB y HDR.	159
Tabla 40.	Deriva máxima de entrepiso de los modelos estructurales con base fija y aisladores LRB y HDR en suelos rígidos (S1).	160
Tabla 41.	Deriva máxima de entrepiso de los modelos estructurales con base fija y aisladores LRB y HDR en suelos intermedios (S2).	160
Tabla 42.	Deriva máxima de entrepiso de los modelos estructurales con base fija y aisladores LRB y HDR en suelos blandos (S3).	161
Tabla 43.	Cortante basal de los modelos estructurales con base fija y aisladores LRB y HDR en suelos rígidos (S1).	161
Tabla 44.	Cortante basal de los modelos estructurales con base fija y aisladores LRB y HDR en suelos intermedios (S2).	162
Tabla 45.	Cortante basal de los modelos estructurales con base fija y aisladores LRB y HDR en suelos blandos (S3).	162

Tabla 46.	Periodo fundamental de los modelos estructurales con base fija y aisladores LRB y HDR.	163
Tabla 47.	Deriva máxima de entrepiso de los modelos estructurales con base fija y aisladores LRB y HDR en suelos rígidos (S1).	164
Tabla 48.	Deriva máxima de entrepiso de los modelos estructurales con base fija y aisladores LRB y HDR en suelos intermedios (S2).	164
Tabla 49.	Deriva máxima de entrepiso de los modelos estructurales con base fija y aisladores LRB y HDR en suelos blandos (S3).	165
Tabla 50.	Cortante basal de los modelos estructurales con base fija y aisladores LRB y HDR en suelos rígidos (S1).	165
Tabla 51.	Cortante basal de los modelos estructurales con base fija y aisladores LRB y HDR en suelos intermedios (S2).	166
Tabla 52.	Cortante basal de los modelos estructurales con base fija y aisladores LRB y HDR en suelos blandos (S3).	166
Tabla 53.	Fórmulas para el Predimensionamiento de losas y vigas según la Norma Técnica Peruana E.060.	186
Tabla 54.	Cargas vivas mínimas repartidas según la Norma Técnica Peruana E.020.	190
Tabla 55.	Peso propio de losas aligeradas según la Norma Técnica Peruana E.020.	192

Índice de figuras

Figura 1. (a) Sistema de aislamiento sísmico.	17
Figura 2. (a) Sistema de base fija, (b) Sistema de aislación en la base.	19
Figura 3. Aislador sísmico de goma.	19
Figura 4. Disminución de la aceleración espectral por incorporación del aislador sísmico. (Adaptado de: Barmo et al. 2015, figura 2(A), open Access).	20
Figura 5. (a) Edificación sin aislamiento sísmico y (b) Edificación con aislamiento sísmico.	21
Figura 6. Aislador elastomérico.	22
Figura 7. Aislador tipo LDRB.	22
Figura 8. Aislador de capas de goma y acero y núcleo de plomo.	23
Figura 9. Zonificación sísmica del territorio peruano	24
Figura 10. Respuesta dinámica.	30
Figura 11. “Filtrado” de una señal sísmica.	31
Figura 12. Amplificación del movimiento del terreno en sistemas con distintos periodos fundamental de vibración.	32
Figura 13. Registros de aceleraciones en un edificio de la ciudad de México para un sismo moderado (28 de octubre de 1993)	33
Figura 14. Esquema del diseño de investigación	35
Figura 15. Diseño de Investigación	35
Figura 16. Matriz de clasificación de variables	35
Figura 17. Criterios de inclusión de la población	36
Figura 18. Procedimientos de la investigación	39
Figura 19. Gráfico de barras.	44
Figura 20. Gráfico lineal de deriva de entrepiso	44

Figura 21. Área tributaria para el cálculo del peso de un ladrillo por metro cuadrado.	48
Figura 22. Modelo estructural de 11 niveles, de base fija, en una vista 3D, obtenidas del software ETABS versión 2016.	50
Figura 23. Modelo estructural de 11 niveles, de base fija, en una vista en planta, obtenidas del software ETABS versión 2016.	51
Figura 24. Modelo estructural de 11 niveles, de base fija, en una vista en elevación, obtenidas del software ETABS versión 2016.	51
Figura 25. Modelo estructural de 11 niveles, de base fija, en una vista 3D, obtenidas del software ETABS versión 2016.	64
Figura 26. Modelo estructural de 11 niveles, de base fija, en una vista en planta, obtenidas del software ETABS versión 2016.	64
Figura 27. Modelo estructural de 11 niveles, de base fija, en una vista en elevación, obtenidas del software ETABS versión 2016.	65
Figura 28. Colocación de los parámetros de cada aislador (LRB y HDR), en el software ETABS versión 2016.....	79
Figura 29. Modelo estructural de 11 niveles, de base aislada, en una vista en 3D, obtenidas del software ETABS versión 2016.	80
Figura 30. Modelo estructural de 11 niveles, de base aislada, en una vista en planta, obtenidas del software ETABS versión 2016.....	81
Figura 31. Modelo estructural de 11 niveles, de base aislada, en una vista en elevación, obtenidas del software ETABS versión 2016.	81
Figura 32. Espectro de pseudo-aceleraciones para los modelos estructurales de base fija, con sistema estructural de muros estructurales, para los diferentes perfiles de suelos.....	84
Figura 33. Cortante basal máxima del modelo estructural de 11 niveles, de base fija, para un suelo tipo S1.	85
Figura 34. Cortante basal máxima del modelo estructural de 11 niveles, de base fija, para un suelo tipo S2.	86

Figura 35. Cortante basal máxima del modelo estructural de 11 niveles, de base fija, para un suelo tipo S3.	87
Figura 36. Deriva de entrepiso máxima del modelo estructural de 11 niveles, de base fija, para un suelo tipo S1.	88
Figura 37. Deriva de entrepiso máxima del modelo estructural de 11 niveles, de base fija, para un suelo tipo S2.	88
Figura 38. Deriva de entrepiso máxima del modelo estructural de 11 niveles, de base fija, para un suelo tipo S3.	89
Figura 39. Espectro de pseudo-aceleraciones para los modelos estructurales de base aislada, con un factor de reducción sísmica igual a 2, para los diferentes perfiles de suelos.	90
Figura 40. Cortante basal máxima del modelo estructural de 11 niveles, de base aislada con aislador tipo LRB, para un suelo tipo S1, para la superestructura, sin contar el sistema de aislamiento.	91
Figura 41. Cortante basal máxima del modelo estructural de 11 niveles, de base aislada con aislador tipo HDR, para un suelo tipo S1, para la superestructura, sin contar el sistema de aislamiento.	91
Figura 42. Cortante basal máxima del modelo estructural de 11 niveles, de base aislada con aislador tipo LRB, para un suelo tipo S2, para la superestructura, sin contar el sistema de aislamiento.	92
Figura 43. Cortante basal máxima del modelo estructural de 11 niveles, de base aislada con aislador tipo HDR, para un suelo tipo S2, para la superestructura, sin contar el sistema de aislamiento.	92
Figura 44. Cortante basal máxima del modelo estructural de 11 niveles, de base aislada con aislador tipo LRB, para un suelo tipo S3, para la superestructura, sin contar el sistema de aislamiento.	93
Figura 45. Deriva de entrepiso máxima del modelo estructural de 11 niveles, de base aislada con aislador tipo LRB, para un suelo tipo S1, para la superestructura, sin contar el sistema de aislamiento.	94
Figura 46. Deriva de entrepiso máxima del modelo estructural de 11 niveles, de	

base aislada con aislador tipo LRB, para un suelo tipo S2, para la superestructura, sin contar el sistema de aislamiento.	94
Figura 47. Deriva de entrepiso máxima del modelo estructural de 11 niveles, de base aislada con aislador tipo LRB, para un suelo tipo S3, para la superestructura, sin contar el sistema de aislamiento.	95
Figura 48. Deriva de entrepiso máxima del modelo estructural de 11 niveles, de base aislada con aislador tipo HDR, para un suelo tipo S1, para la superestructura, sin contar el sistema de aislamiento.	95
Figura 49. Deriva de entrepiso máxima del modelo estructural de 11 niveles, de base aislada con aislador tipo HDR, para un suelo tipo S2, para la superestructura, sin contar el sistema de aislamiento.	96
Figura 50. Deriva de entrepiso máxima del modelo estructural de 11 niveles, de base aislada con aislador tipo HDR, para un suelo tipo S3, para la superestructura, sin contar el sistema de aislamiento.	96
Figura 51. Aceleraciones máximas escalados al espectro de diseño (Este – Oeste y Norte – Sur) para un suelo S1.....	97
Figura 52. Aceleraciones máximas de los sismos escalados al espectro de diseño en la dirección Este – Oeste y Norte – Sur para un suelo S2. .	97
Figura 53. Aceleraciones máximas de los sismos escalados al espectro de diseño en la dirección Este – Oeste y Norte – Sur para un suelo S3. .	98
Figura 54. Periodo fundamental de vibración de los modelos estructurales con base fija y aisladores LRB y HDR, según los tipos de suelos (S1, S2 Y S3).....	101
Figura 55. Cortante basal de los modelos estructurales con base fija y aisladores LRB y HDR en suelos intermedios (S1).	101
Figura 56. Cortante basal de los modelos estructurales con base fija y aisladores LRB y HDR en suelos intermedios (S2).	102
Figura 57. Cortante basal de los modelos estructurales con base fija y aisladores LRB y HDR en suelos intermedios (S3).	102

Figura 58. Deriva máxima de entrepiso de los modelos estructurales con base fija y aisladores LRB y HDR en suelos intermedios (S1).	103
Figura 59. Deriva máxima de entrepiso de los modelos estructurales con base fija y aisladores LRB y HDR en suelos intermedios (S2).	103
Figura 60. Deriva máxima de entrepiso de los modelos estructurales con base fija y aisladores LRB y HDR en suelos intermedios (S3).	104
Figura 61. Sismo de Ica del año 2007 en la dirección Este – Oeste y Norte – Sur.....	135
Figura 62. Sismo de Chimbote del año 1970 en la dirección Este – Oeste y Norte – Sur.....	135
Figura 63. Sismo de Lima del año 1974 en la dirección Este – Oeste y Norte – Sur.....	136
Figura 64. Sismo de Lima del año 1966 en la dirección Este – Oeste y Norte – Sur.....	136
Figura 65. Sismo de Lima del año 2003 en la dirección Este – Oeste y Norte – Sur.....	137
Figura 66. Sismo de Iquitos del año 2005 en la dirección Este – Oeste y Norte – Sur.....	137
Figura 67. Sismo de Lima del año 2013 en la dirección Este – Oeste y Norte – Sur.....	138
Figura 68. Aceleraciones máximas escalados al espectro de diseño (Este – Oeste y Norte – Sur) para un suelo S1.....	138
Figura 69. Aceleraciones máximas de los sismos escalados al espectro de diseño en la dirección Este – Oeste y Norte – Sur para un suelo S2.	139
Figura 70. Aceleraciones máximas de los sismos escalados al espectro de diseño en la dirección Este – Oeste y Norte – Sur para un suelo S3.	139
Figura 71. Mapa de ubicación y zonas de isoperiodos según el estudio de microzonificación sísmica en la ciudad de Trujillo, realizada por el CISMID.	142

Figura 72. Plano de ubicación de los elementos estructurales en AUTOCAD versión 2020.....	147
Figura 73. Área tributaria de la columna en planta en AUTOCAD versión 2020.	148
Figura 74. Planta de edificio con aparente simetría, pero que al tener abertura en la zona derecha no podrá transferir la fuerza sísmica hacia el eje 4.	185
Figura 75. Partes de un aislador elastomérico de núcleo de plomo (LRB)	205
Figura 76. Partes de un aislador elastomérico de alto amortiguamiento (HDR) .	206

Resumen

La presente investigación se realizó en Trujillo, en la Universidad Cesar Vallejo, se determinó el análisis comparativo de la respuesta dinámica de los modelos estructurales de edificios con base fija y aisladores elastoméricos, según las condiciones del suelo presentes en Trujillo. Para la realización de la tesis se realizó un diseño no experimental – descriptivo, el muestreo fue no probabilístico por juicio, la recolección de datos se realizó con la técnica de la observación y la revisión documentaria, los instrumentos aplicados fueron la guía de observación y la ficha resumen para el análisis de datos. Muchas veces se da por hecho que el uso de aisladores genera un efecto positivo en la respuesta dinámica de los edificios, ignorando las características sísmicas del suelo en el cual se encuentran cimentadas, y esto ocasiona un riesgo inminente en la estabilidad de la estructura y sobre todo en las vidas humanas que esta alberga, para ello en la ejecución de la presente tesis se encontró que la deriva para el modelo de 11 niveles con aislamiento sísmico, para un suelo S1, fue de 1.21/1000, mientras que para un suelo S3 fue de 2.04/1000; observándose que aumenta al cambiar el tipo de suelo.

Palabras clave: Respuesta dinámica, modelamiento de edificios, aisladores elastoméricos, base fija y condiciones de suelo.

Abstract

The present research was carried out in Trujillo, at the Universidad Cesar Vallejo, the comparative analysis of the dynamic response of structural models of buildings with fixed base and elastomeric isolators was determined, according to the soil conditions present in Trujillo. For the realization of the thesis a non-experimental - descriptive design was carried out, the sampling was non-probabilistic by judgment, the data collection was carried out with the observation technique and documentary review, the instruments applied were the observation guide and the summary sheet for data analysis. Many times it is taken for granted that the use of isolators generates a positive effect on the dynamic response of the buildings, ignoring the seismic characteristics of the soil in which they are founded, and this causes an imminent risk in the stability of the structure and above all in the human lives that it houses, for this in the execution of the present thesis it was found that the drift for the model of 11 levels with seismic isolation, for a soil S1, was of 1.21/1000, while for an S3 soil it was 2.04/1000; observing that it increases when changing the type of soil.

Keywords: Dynamic response, building modeling, elastomeric isolators, fixed base and soil conditions.

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

A través del tiempo, se ha estudiado el origen y efectos destructivos que producen los sismos en las estructuras, sin embargo, hasta la fecha no se ha llegado a predecir este tipo de fenómenos, el cual pone en riesgo muchas vidas. La rama de estructuras se encarga del estudio del diseño y análisis de los elementos estructurales en las edificaciones, permitiendo obtener la respuesta dinámica de las estructuras frente a cualquier evento sísmico, y así dotarlas de resistencia mediante el implemento de nuevas técnicas y tecnologías basadas en sistemas de protección sísmica, y en consecuencia salvaguardar las vidas de las personas.

En la ciudad de México, existen edificios de grandes alturas que están ubicados sobre terrenos blandos, los cuales generan una amplificación de la respuesta dinámica en las estructuras de concreto armado debido a excitaciones producidas por movimientos del terreno. Investigaciones mostraron que más del 38% de las estructuras presentaron fallas en pisos superiores e intermedios y que, durante los eventos sísmicos ocurrido, se observaron colapsos totales y daños significativos en diferentes estructuras de mediana altura, entre estos daños se llegaron a observar daños por torsión, piso blando y fallas por cortante (Garay, 2019).

Con el terremoto ocurrido en Ecuador en el 2016, este país se ha visto en la necesidad de dar el siguiente paso en la mejora de los sistemas de construcción, y esto debido a la inexistencia de verdadera protección sísmica en las estructuras que, como consecuencia de ello, generó un considerable número de edificios colapsados. Debido a esto, el Proyecto RADIUS y su plan de acción, junto con acciones específicas de las Instituciones en la ciudad de Guayaquil se comprometieron por la mejora la respuesta dinámica en las edificaciones. (Blacio & Herrera, 2018).

Debido a la amenaza sísmica en la que se encuentran expuestas las edificaciones de Venezuela, se hace crucial diseñar edificios con comportamientos adecuados frente a los sismos, lo cual permitirá obtener una buena respuesta dinámica, y en consecuencia poder dotarlas de capacidad

para disipar la energía, de buena resistencia y adecuada capacidad de deformación, sin llegar al colapso. (Vielma, Barrios & Alfaro, 2009).

En el Perú se registran aproximadamente alrededor de 130 sismos al año con intensidades de hasta VII en la Escala de Mercalli Modificada, además se tiene que, en los últimos 500 años de historia, es posible observar por lo menos 30 sismos de gran poder destructivo, teniendo registrado los sismos más recientes ocurridos en la ciudad de Arequipa (2001) y en la ciudad de Ica (2007). Debido a esto, la ingeniería sísmica peruana ha adecuado lineamientos y parámetros aplicables al análisis y diseño de edificaciones bajo condiciones y requerimientos de la sismicidad, propias del territorio nacional, preocupándose por una óptima respuesta dinámica que tendrán las edificaciones frente a cualquier evento telúrico. (Flores & Cahuata, 2015).

Hoy por hoy la ciudad de Tacna se encuentra en silencio sísmico y es uno de los departamentos que integran la zona de alto riesgo de sismicidad en el Perú, la población está en incremento y a su vez, el desarrollo de zonas urbanas, muchas de ellas en superficies montañosas, no contando con un respaldo o seguridad en las estructuras ante un evento sísmico, por lo tanto, es crucial un estudio en la respuesta dinámica de las edificaciones con aislamiento sísmico, con el fin de proporcionar un soporte adecuado manifestado en reducir los daños estructurales por causas sísmicas. (Alfaro, 2019).

Debido a que el Perú ha presentado considerable cantidad de sismos, Trujillo no ha sido exento a esto, puesto que han ocurrido varios eventos sísmicos, de los cuales resalta el sismo del año 1619, el cual fue un sismo severo de importante magnitud causando grandes daños en todo el territorio con un considerable número de fallecidos, y en la actualidad, la ciudad se encuentra pasados 100 años de silencio sísmico, por el alto índice de riesgo de sismicidad en la localidad es oportuno presentar estudios orientado al mejoramiento de la respuesta dinámica haciendo uso del aislamiento sísmico en las edificaciones. (Liñan & Carrasco, 2015).

La normativa que controla el análisis y respuesta sísmica de las estructuras de concreto armado es la Norma Técnica Peruana E.030 la cual establece

condiciones mínimas para el diseño sismorresistente de las edificaciones, con lo cual generar una adecuada respuesta dinámica en todas las estructuras, basándose también en la filosofía sismorresistente de diseño, las cuales consisten en salvaguardar las vidas humanas, minimizar los daños en la propiedad y asegurar la continuidad de los servicios básicos. Además, actualmente se cuenta con la Norma Técnica Peruana E.031 la cual tiene como finalidad mejorar el desempeño sísmico de las edificaciones, con lo cual se mejorará la respuesta dinámica para poder proteger a las estructuras de cualquier evento telúrico y buscar una operatividad continua.

Chacón, 2018) Encontró que las estructuras con aislador triple péndulo de fricción (TFP) presentan la mejor respuesta dinámica, considerando en el análisis la flexibilidad del suelo, más que con los aisladores de alto amortiguamiento (HDR), los cuales presentan la segunda mejor respuesta, dejando en último lugar, pero no menos eficiente que con la base empotrada, las estructuras con aisladores de núcleo de plomo (LRB), llegando a reducir las fuerzas sísmicas y en consecuencia mejorando la respuesta dinámica de las estructuras.

(Flores & Cahuata, 2015) Encontró que la respuesta dinámica, debido a acciones sísmicas, de las estructuras aisladas son reducidas con respecto a las estructuras convencionales, obteniendo así una reducción del 40% en los desplazamientos de entrepiso, una reducción del 73% de las aceleraciones de piso y una reducción del 52% de la cortante basal en la edificación aislada respecto de la convencional.

(Villavicencio, 2015) Encontró que para un tipo de suelo blando con más de 3 m. de espesor en el cual se encuentre una estructura aislada, no importando el tipo de estructuración y sistema de aislamiento sísmico, los desplazamientos y las cortantes tuvieron un auge considerable. Además, encontró que los sistemas de aislamiento elastoméricos de núcleo de plomo (LBR) son los que se comportan de una manera más favorable ante un evento sísmico, es decir, tienen una óptima respuesta dinámica para edificios de diferentes configuraciones estructurales.

Se puede observar que la respuesta dinámica de una estructura se ve

mejorada al aplicar algún sistema de aislamiento, llegando a observar la utilidad de muchos tipos de aisladores, pues con estos se llegan a disminuir los desplazamientos de entresijos, las fuerzas cortantes y las aceleraciones en las estructuras, producto de los sismos.

Frente a las diferentes maneras que pueda intervenir un sismo en cualquier edificación, se tiene varios proyectos por medio de los cuales se ha hecho estudios para determinar la respuesta dinámica de una edificación ante una fuerza externa y como contrarrestar el efecto de esta sobre la estructura, proporcionando un aporte en el positivo comportamiento de las estructuras evitando el colapsos y mal funcionamiento de las mismas.

En el año 2016, en el distrito de Ilave, provincia de El Collao, región Puno, la empresa PRISMA INGENIEROS S.A.C. ejecutó la construcción del hospital de Ilave, para el Gobierno Regional de Puno, el cual tuvo un área techada de 12 000 m², contando con cinco bloques estructurales independientes sobre una única placha de aislamiento con 110 dispositivos.

En el año 2018, en la localidad de Lima, la entidad CDV INGENIERÍA ANTISÍSMICA, realizó el proyecto Clínica Aviva, en el cual se priorizó la normativa para el sistema de salud sobre la cual se detalla el uso de aisladores sísmicos, esta edificación cuenta con un sótano en el cual se involucró el uso de aisladores para cada columna con el fin de contrarrestar los efectos del sismo en la estructura.

El Perú es un país de alta sismicidad puesto que se encuentra ubicado en el cinturón de fuego del Pacífico, teniendo en su territorio el encuentro de las placas tectónicas de Nazca y Sudamericana. Muchas ciudades localizadas en la zona costera del país se encuentran en un largo silencio sísmico, originando un temor en la población con respecto a un impredecible evento sísmico. (Chávez, 2019)

Además, la ex decana del colegio de arquitectos del Perú, Shirley Chilet, declaró que el 80% de las viviendas construidas en todo el país son productos de la autoconstrucción (RPP Noticias, 2017), es decir, no existe supervisión técnica en todo su proceso de análisis y construcción. Produciendo un efecto negativo en las edificaciones debido a las fuerzas sísmicas. Esto conlleva a

una inseguridad frente a cualquier evento telúrico, los cuales son inevitables. Es por ello que para realizar un buen diseño estructural y obtener una buena respuesta sísmica, es mejor contar con un profesional, el cual pueda evaluar todos estos riesgos y pueda asegurar la eficiencia de la edificación frente a cualquier evento ya antes mencionado.

Todo lo anterior mencionado se basa en las estructuras en sí, obviando el entorno en el cual estará cimentada la edificación, la cual tendrá una influencia importante en la respuesta dinámica de las estructuras. Puesto que el comportamiento del aislador también dependerá del medio en el cual se encuentra indirectamente instalado, la cual definirá la eficiencia de estos y el grado de mejoramiento en la respuesta sísmica de las estructuras, frente a cualquier evento sísmico.

Actualmente, en el Perú, se están desarrollando nuevas tecnologías para contrarrestar los efectos destructivos que tienen los sismos en las edificaciones, uno de estas metodologías nuevas es la aplicación de los aisladores sísmico en edificios de concreto armado, las cuales ayudan a mejorar la respuesta dinámica y con ello reducir los daños en los elementos estructurales de los edificios convencionales, siendo una solución muy viable a largo plazo, y necesaria en edificaciones que requieren mantenerse operativas después de cualquier evento sísmico.

Así mismo Yesenia Lugo, analista en Normas Técnicas de Construcción de la Dirección General de Políticas y Regulación en Construcción y Saneamiento del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS), declaró que “la norma de aislamiento sísmico será de aplicación obligatoria para la construcción de los grandes establecimientos de salud tanto públicos y privados, debido a que el aislador permite disipar el 70% de la energía sísmica de dichas edificaciones en comparación a las edificaciones con sistema convencional o de base fija. Además, señaló que el ministerio está evaluando medidas para promover el uso del aislamiento sísmico en otras construcciones como edificios multifamiliares, lo cual generaría un mejor comportamiento en la respuesta dinámica de dichos sistemas frente a los convencionales”. (Diario de Economía y Negocios – GESTIÓN PERÚ, 2019)

Por lo tanto, el presente proyecto de investigación se enfoca en el análisis comparativo de la respuesta dinámica de los edificios con aisladores sísmicos en comparación a los de base fija para cada condición del suelo presente en la ciudad de Trujillo, y así poder analizar la efectividad de los aisladores elastoméricos en las edificaciones como también analizar la reducción de las sollicitaciones sísmicas en los elementos estructurales de los edificios aislados en comparación a los de base fija según las condiciones del suelo de dicha ciudad antes mencionada.

1.2. Planteamiento del problema

¿Cuál es el análisis comparativo de la respuesta dinámica del modelamiento de edificios con base fija y con aisladores elastoméricos según las condiciones del suelo, Trujillo, 2021?

1.3. Justificación

a) Justificación general

La ciudad de Trujillo, se encuentra en un crecimiento poblacional, por ende, se están empezando a construir edificios de mediana y gran altura, haciendo uso de los aisladores elastoméricos, en algunas ocasiones, sin tener presente el tipo de suelo sobre el cual estarán cimentadas y la baja efectividad que pueden presentar estos sistemas de protección debido a las diferentes características de los diversos tipos de suelos que presenta esta ciudad.

La presente investigación sirve para comparar los sistemas de aislamiento sísmico frente a los de sistemas convencionales, evaluando la efectividad de los aisladores elastoméricos en la respuesta dinámica para diferentes condiciones del suelo de la ciudad de Trujillo, de acuerdo a un estudio de microzonificación sísmica realizada en dicha zona, que en muchas ocasiones llegan a amplificar las ondas sísmicas y por ende perjudicar a las estructuras y a las personas que esta alberga.

Lo que lograremos con la presente tesis, mediante una comparación en la respuesta dinámica de los sistemas antes mencionados, es determinar en

qué condiciones del suelo será beneficioso el uso de aisladores elastoméricos y cuan efectivos serán los mismos, en la optimización de la respuesta dinámica, en las edificaciones de base aislada frente a los de base fija, producto de la disminución en los desplazamientos y la fuerza cortante en la base de los edificios.

Ésta presente tesis va dirigida para las empresas de edificaciones que quieran realizar algún diseño o rehabilitación de alguna edificación, teniendo presente el comportamiento de las estructuras como también de los aisladores elastoméricos, frente a cualquier evento sísmico, con respecto a las condiciones del suelo que presentan las zonas de la ciudad de Trujillo, de acuerdo a un estudio de microzonificación sísmica, así mismo se verán beneficiadas las personas que albergarán los edificios con aisladores elastoméricos, de la ciudad de Trujillo, frente a eventos sísmicos severos.

b) Justificación teórica

La presente investigación usará la NORMA ASCE7-16 y la NORMA E.031, puesto que permiten diseñar los aisladores elastoméricos haciendo uso de un análisis sísmico, el cual permitirá obtener la respuesta dinámica de la estructura. Así mismo, la NORMA E.030, brinda parámetros los cuales permitirán realizar el análisis modal de respuesta espectral y el análisis dinámico historia de respuesta, los cuales servirán para la obtención de los desplazamientos de los edificios a analizar.

c) Justificación practica

Con el paso de los años se ha visto un aumento en la construcción de edificaciones con el uso de aisladores sísmicos, lo cual no se daba anteriormente. La finalidad de la aplicación de este sistema de protección sísmica es muy positiva con respecto a los sistemas convencionales, sin embargo, no existe la certeza de que éste será totalmente efectivo ante la llegada de un evento sísmico importante, dejando la posibilidad de poner en riesgo vidas humanas, puesto que no se ha podido realizar esta implementación teniendo en cuenta las condiciones de los suelos de la ciudad de Trujillo. Por lo tanto, lo que se pretende con esta investigación

es comparar las respuestas dinámicas de los edificios con aisladores elastoméricos y con base fija, para las diferentes condiciones de suelo, según estudios de microzonificación sísmica hechas en la ciudad de Trujillo, y poder así establecer qué edificio presenta una óptima respuesta dinámica.

d) Justificación metodológica

Para este presente trabajo de investigación se hará uso del análisis dinámico historia de respuesta y el análisis modal espectral, exigidos por la norma E.030 y la norma E.031. Para lo cual la norma E.031 exige que se tome como mínimo siete registros sísmicos ocurrido en el Perú, para dicho análisis. Los datos recolectados serán siete registros sísmicos, los cuales se obtendrán del Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID). Además, se hará uso del software SEISMOSOFT, el cual permitirá hacer un tratamiento a los registros sísmicos obtenidos, y el software SEISMOMATCH, el cual permitirá escalar dichos registros obtenidos a un espectro normado.

La norma E.031 exige el uso del análisis dinámico tiempo historia para todo sistema con protección sísmica, y la norma E.030 exige el uso del análisis modal espectral para sistemas sin aislamiento.

Para todo lo antes mencionado, se hará uso del software ETABS 2016, debido a que es un programa certificado internacionalmente y el cual está estandarizado en nuestro país, para los análisis mencionados.

1.4. Hipótesis

El análisis comparativo de la respuesta dinámica del modelamiento de edificios con aisladores elastómeros nos dará mayores valores de deriva, cortante basal y periodo fundamental de vibración en comparación a la respuesta dinámica del modelamiento de edificios con base fija, Trujillo, 2021.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

Determinar la respuesta dinámica de los modelos estructurales de edificios con aisladores elastoméricos y con base fija según las condiciones del suelo, Trujillo, 2021.

1.5.2. Objetivos específicos

- **O.E.1** Describir las condiciones del suelo según el estudio de microzonificación sísmica en la ciudad de Trujillo.
- **O.E.2** Determinar las aceleraciones máximas del suelo para el modelamiento de los edificios con base fija y con aisladores elastoméricos.
- **O.E.3** Calcular la deriva de entrepiso en el modelamiento de edificios con base fija y con aisladores elastoméricos.
- **O.E.4.** Calcular la cortante basal en el modelamiento de edificios con base fija y con aisladores elastoméricos.
- **O.E.5.** Determinar el periodo fundamental de vibración, para los tres primeros modos de vibración, en el modelamiento de edificios con base fija y con aisladores elastoméricos.

-

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

“Análisis Sísmico Estructural comparativo para edificios con aisladores de base tipo elastoméricos y friccionantes, para los diferentes tipos de suelos del Ecuador”.

(Villavicencio, 2015). Realizó el análisis sísmico estructural comparativo para edificios con aisladores elastoméricos y friccionantes, para los diferentes tipos de suelos del Ecuador (pág. 2). Desarrolló una metodología simple de comparación de resultados del análisis estructural que presentan los edificios aislados con respecto a los edificios empotrados en la base, teniendo como muestra dos tipos de sistemas estructurales: El sistema aporticado y el de muros de corte, todo ello variando los espectros de diseño de acuerdo al tipo de suelo. Se obtuvo los valores de la cortante basal de los edificios aporticados, los cuales fueron similares ya sea contando con aislador o empotrados. Mientras que en los edificios con muros de corte se observó una marcada diferencia. Pero para ambos igualmente se observó que las fuerzas laterales para edificios con sistemas de aislación tipo FPS, son mayores que los edificios con sistemas de aislación tipo LRB. Pero particularmente en el suelo tipo E, no se redujeron las fuerzas sísmicas, por el contrario, se magnificaron (pág. 225). En este trabajo de investigación se concluyó que en el tipo de suelo E para los edificios aislados, independientemente de su configuración estructural y de su sistema de aislación, se magnificaron las fuerzas cortantes y desplazamientos. Además, se pudo concluir que los sistemas de aislamiento elásticos de núcleo de plomo (LRB) son los que mejor respuesta sísmica presentan, tanto para edificios aporticados como para edificios de muros de corte (pág. 234).

La presente investigación nos aporta la importancia que proporcionan los sistemas de aislación a cualquier edificación, dando mejor respuesta dinámica los aisladores del tipo LRB que del tipo FPS. Aunque se presenta una amplificación de la fuerza cortante y los desplazamientos en los sistemas aislados para el tipo de suelo E (Suelos blandos), observando que los aisladores no son muy eficiencia para estos tipos de suelos.

“Análisis del efecto de aisladores sísmicos en la respuesta dinámica de un edificio aporticado de 4 niveles, según las condiciones de suelo de la zona noroeste de la ciudad de Managua, Nicaragua”.

(Pastora & Ríos, 2016). Analizó la respuesta sísmica de un edificio típico de baja altura implementando un sistema de aislación para las condiciones de suelo presentes en la zona noroeste de la ciudad de Managua (pág. 6). Se escogieron dos tipos de aisladores elastoméricos (LRB y HDR) los cuales fueron considerados en una estructura convencional y analizados en un programa computacional, con lo cual se llegó a obtener los desplazamientos relativos de la superestructura, la cortante basal, las fuerzas absolutas y los modos de vibración de dicha estructura. Los desplazamientos de entrepiso para bases flexibles, resultaron ser menores que los obtenidos en la base fija, el porcentaje de reducción de los desplazamientos en dirección X para la demanda sísmica de 6.2 Mw alcanzaron el 83.3% y en la demanda de 7.2Mw el porcentaje de reducción de los desplazamientos se dieron en un 96.0% (pág. 49). Por lo tanto, en este trabajo de investigación se concluyó que los aisladores LRB y HDR son una combinación ideal para el buen comportamiento dinámico del edificio. Los desplazamientos relativos se redujeron en un 96% haciendo que el edificio aislado se mueva horizontalmente como un cuerpo rígido (pág. 73).

La presente investigación nos da a conocer la importancia de los aisladores de tipo LRB y HDR en las edificaciones, llegando a obtener una reducción en los desplazamientos de las edificaciones con base flexible respecto a las edificaciones con base fija.

“Comparación del comportamiento estructural de edificación de concreto, utilizando aisladores elastoméricos en la base”

(Monzón, 2016) Comparó el comportamiento de una edificación de tipo hospitalaria de concreto reforzado de cinco niveles, con y sin aisladores elastoméricos en la base. Se utilizó aisladores elastoméricos de base para poder determinar las diferencias con respecto a la estructura fija, para esto, se realizó como primer paso el diseño arquitectónico y estructural, luego se realizaron los respectivos análisis (análisis modal y análisis de marcos) para

los dos tipos de estructuras y de esta forma determinar los parámetros que ayudaron a responder y concluir con lo planteado (pág. 15). La estructura aislada tuvo período de vibración más amplia, reduciendo la carga lateral que se produce en el momento del sismo. El corte basal fue mayor, (35 %) en una estructura fija con respecto a una estructura aislada. Las derivas en una estructura aislada fueron menores (pág. 105). De todo esto se llegó que los aisladores elastoméricos mejoran el desempeño estructural de una edificación. Esto es debido a que los aisladores proporcionan un método de disipación de energía muy eficiente cuando es sometido a cargas sísmicas (pág. 107).

El aporte de la presente investigación es que nos brinda una manera de afrontar las diferencias de resultados en cuanto a los parámetros entre los sistemas aislados respecto de los fijos, además de esto, nos corrobora la ventaja de la presencia de aisladores en las estructuras motivo por el cual se lleva a cabo este trabajo de investigación, además de otros aspectos.

“Eficiencia de respuesta sísmica de la infraestructura del Hospital Materno Infantil de la Ciudad de Juliaca, diseñado con aisladores de base considerando la flexibilidad del suelo”.

(Chacón, 2018). Determinó la respuesta sísmica más eficiente de tres tipos de aisladores de base (High Damping Rubber – HDR, Lead Rubber Bearings – LRB y Triple Friction Pendulum – TFP) considerando la flexibilidad del suelo de fundación en un análisis tiempo historia del Hospital Materno Infantil de la Ciudad de Juliaca, frente a la estructura aislada fija en la base (p.24). Inicialmente estudió los fundamentos de los sistemas de aislación y la interacción suelo - estructura para luego diseñar los dispositivos de aislación, los cuales se ensayaron en un programa computacional de análisis estructural, en la infraestructura del centro hospitalario materno infantil de la ciudad de Juliaca. Las dimensiones a partir de las cuales se buscó determinar el aislador más eficiente son la fuerza cortante en la base, la distorsión de entrepiso, el desplazamiento máximo, aceleración máxima, y los modos de vibración y su participación de la masa a través del análisis modal tiempo – historia y el método de integración directa en el que se usó siete registros de

aceleración de estaciones ubicados en suelo tipo S2 para obtener la mejor performance de la estructura (p.19). Los resultados obtenidos mostraron una reducción de cortante basal, con respecto a la estructura convencional con empotramiento en la base, de 35% cuando se usan los aisladores HDR, 25% en los aisladores LRB y 57% en los aisladores TFP. La reducción de la distorsión para los aisladores HDR es de 88%, 85% en aisladores LRB y 92% en aisladores TFP (p.121). En este trabajo de investigación se concluyó que la estructura con aisladores que presentó la mejor respuesta sísmica, con la reducción de la fuerza cortante y además superior a la cortante mínima, fue el aislador de Triple Péndulo de Fricción (TFP). Siendo este el aislador más eficiente (p.170).

La presente investigación nos brinda la importancia que tienen ciertos tipos de aisladores para el mejoramiento de la respuesta dinámica de las estructuras, tal como se pudo corroborar con el Hospital Infantil de la Ciudad de Juliaca. Se pudo observar también como se redujo la cortante basal y las distorsiones de entrepisos, llegando a ver con ello una mejora en la respuesta dinámica de la estructura.

“Análisis comparativo de la respuesta sísmica de estructuras de concreto armado con y sin aisladores sísmicos en la base según su variación en la altura”

(Reyna, 2017). Determinó la respuesta sísmica de las edificaciones mediante el análisis dinámico tiempo-historia con y sin el empleo de aisladores sísmicos (pág. 33). En este trabajo de investigación se realizó el empleo del análisis tiempo-historia, con lo cual llegó a determinar el porcentaje de efectividad del uso de Aisladores Sísmicos en edificaciones de gran altura. Para poder comparar resultados y observar la efectividad de los aisladores en cualquier tipo de edificación, se fue variando las alturas de las edificaciones, llegando hasta un máximo de 50 niveles (pág. 34). Se obtuvieron las distorsiones para cada edificación con diferentes alturas, con lo cual se llegó a observar una reducción de las distorsiones de un 20% aproximadamente, afirmándose así que las estructuras redujeron sus niveles de daños. Además, también se obtuvo una reducción en la cortante sísmica, llegando hasta una reducción del

55% aproximadamente (pág. 55). En este trabajo de investigación se concluyó que existen respuestas que aumentan, al aumentar los niveles. Estos casos particulares son debidos que al usar un registro sísmico para el análisis tiempo-historia, el espectro producido por este genera no necesariamente una disminución de la demanda al aumentar los periodos, esto no es suavizado como el espectro de diseño de la Norma E030 (pág. 102).

Se evaluaron las respuestas dinámicas de edificios con/sin aisladores en la base, variando en altura a dichas edificaciones, y nos aportó que hubo una reducción en las distorsiones, lo cual generó una mejor respuesta dinámica en las mismas, esto debido al uso de los aisladores en la base de estas estructuras.

“Influencia de las condiciones del suelo en el comportamiento estructural de un hospital con aislamiento sísmico en la base”

(Solórzano, 2019) Evaluó el efecto de las condiciones del suelo en el comportamiento estructural de un hospital con aislamiento sísmico (pág. 3). Se desarrolló una metodología marcada proyectando dos tipos de estructuras, una aislada y la otra empotrada, dando inicio con la estructuración, predimensionamiento y posteriormente el análisis estructural el cual se llevó a cabo para cada caso del tipo de suelo y en la zona donde se encuentra, y procediendo a comparar las diferencias presentadas (pág. 26). Como producto de esto se encontró que la eficiencia de los aisladores elastoméricos en Z4S1 es 8 veces más que en el caso Z2S3 y 16 en comparación a Z4S3 (pág. 96). Al ser la eficiencia en Z2S3 el doble que en Z4S3 puede considerarse también el uso de aisladores para este caso, de esto, se concluye que la eficiencia de los aisladores sísmicos varía considerablemente dependiendo del tipo de terreno donde se apoye la estructura (pág. 104).

La presente investigación nos aporta una valiosa guía para determinar análisis dinámico de edificios con aisladores teniendo presente como punto importante los parámetros del suelo y cómo afectará este al desempeño del aislador, así como también, una manera de clasificar los casos dependiendo de la zona y el tipo de suelo, lo cual ayuda al presente proyecto investigativo.

“Análisis dinámico modal espectral de una edificación convencional y otra con aisladores sísmicos a nivel intermedio de la estructura en la ciudad de Tacna”

(Huanca & Meléndez, 2016). Determinó el comportamiento sismorresistente más eficiente, entre una edificación convencional de 5 niveles con 2 sótanos y otra con aisladores sísmicos a nivel intermedio de la estructura, teniendo presente en todo momento lo que dicta la norma E.030 de Diseño Sismorresistente (pág. 4). Se desarrolló una metodología comparativa en la cual primero se realizó un análisis sismorresistente de la estructura convencional y de la estructura que presenta aislación a nivel intermedio, esto se hizo en el programa Matlab enfocándose en el comportamiento dinámico debido a sismo del RNE. Posteriormente se diseñó el sistema de aislamiento, escogiéndose los aisladores elastoméricos convencionales (HDR) debido a su mayor aplicación y ventaja en estructuras. Finalmente se realizó el análisis comparativo con el fin de determinar la efectividad del aislador frente a un sistema convencional en la edificación. En el presente trabajo se pudo observar que para un edificio convencional la mayor fuerza cortante se presenta en el primer piso y es igual a 111.4315 toneladas, teniendo así una deriva máxima de 0.00480, mientras que, en el edificio con base aislada, dicha cortante es de 50.29 toneladas para el primer piso, teniendo así una deriva máxima de 0.000940 (pág. 104). En este trabajo de investigación se concluyó que, para la estructura de 5 pisos con 2 sótanos, el empleo de aislador redujo la fuerza cortante más alta aproximadamente un 54.86%, con lo cual se logró una reducción de la deriva de entrepiso de 80.42% (pág. 111).

La presente investigación nos aporta una mejor visión de la efectividad del aislador tipo HDR en la respuesta dinámica de la estructura analizada, ya que tal como lo indican los investigadores, hubo una reducción considerable en la fuerza sísmica y por consiguiente en la deriva de entrepiso de la estructura de 5 pisos con 2 sótanos.

“Desempeño sísmico de una estructura de concreto armado con aisladores sísmicos LRB para uso esencial en la ciudad de Trujillo, Región La Libertad, 2018.”

(Tocto, 2018). Determinó el desempeño sísmico de una estructura de concreto armado con aisladores sísmico LRB para uso esencial en la ciudad de Trujillo, región La Libertad, 2018 (pág. 76). Para el desarrollo se tomó como muestra un bloque típico de un centro educativo, a esta misma se le desarrolló el modelado como estructura empotrada y como estructura con aisladores de núcleo de plomo, el tipo de análisis que se realizó fue el análisis estático no lineal en ambos sistemas, y de esto evaluar el desempeño sísmico (pág. 79). Se obtuvo que los periodos de la estructura empotrada fueron menores que de la estructura aislada, la fuerza cortante con mayor magnitud se obtuvo en el análisis sísmico modal espectral para la estructura de base empotrada, de igual forma fueron los resultados para los desplazamientos, por consecuente también las derivas (pág. 169). Con todo ello se concluyó que las estructuras con aisladores de tipo LRB en la base optimizan el desempeño sísmico en las estructuras teniendo un menor rango de vulnerabilidad ante diversos tipos de amenazas sísmicas (pág. 192).

La presente investigación nos aporta el panorama esencial y guía para el proyecto a realizar, tanto para el análisis sísmico al que se va a someter las estructuras de muestra como la idea en general para determinar la influencia de los aisladores en la respuesta sísmica de la estructura, así como también su comportamiento estructural.

“Análisis sísmico comparativo entre los sistemas de concreto armado y con aislamiento sísmico en la base para un edificio de 5 pisos”

(Liñan & Carrasco, 2015). Realizó el análisis comparativo y diseño estructural utilizando aisladores con núcleo de plomo en la base (LRB) y un sistema dual (pág. 3). Para el desarrollo del presente trabajo se realizó el modelamiento del sistema dual como del sistema estructural con aislamiento sísmico del tipo LRB, en un programa computacional, con lo cual se pretendió calcular las derivas y los desplazamientos para ambos sistemas, y con ello se realizó un análisis comparativo entre ambos sistemas (pág. 3). De todo esto se obtuvo que los periodos en el sistema aislado fueron mayores respecto al sistema empotrado o fijo teniendo en algunas ocasiones hasta una relación aproximada de 2 a 1, así mismo hubo un mejoramiento en las derivas puesto que se redujeron hasta un 35% haciendo el uso de aisladores sísmicos (pág.

49). La respuesta dinámica en los edificios con aislamiento sísmico, especificando en los elementos estructurales, será óptimo de tratarse de sismos moderados, y eficiente durante sismos severos evitando la posibilidad de colapsos y privarse de daños serios en la estructura (pág. 51).

En la presente investigación se añadió un aislador (del tipo LRB) entre la base y la superestructura, llegando a aportarnos una mejora en el desempeño de la edificación, esto debido a que se añadió amortiguamiento, lo cual viene a ser un mecanismo de disipación de la energía. Además, nos brinda una reducción en los desplazamientos relativos (derivas) de la estructura, con respecto al sistema dual con base empotrada.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Aislamiento sísmico

Según la Norma Técnica E.031 (2019) nos indica que “el aislamiento sísmico es un conjunto de elementos estructurales que incluye los aisladores, así como todos los elementos que transfieren fuerzas entre elementos del sistema de aislamiento sísmico, como vigas, losas, capiteles y sus conexiones. Asimismo, incluye los sistemas de restricción contra viento, los dispositivos de disipación de energía y los sistemas de restricción de desplazamiento, siempre que estos elementos sean usados para satisfacer los requisitos mínimos de diseño de esta Norma” (p. 4).

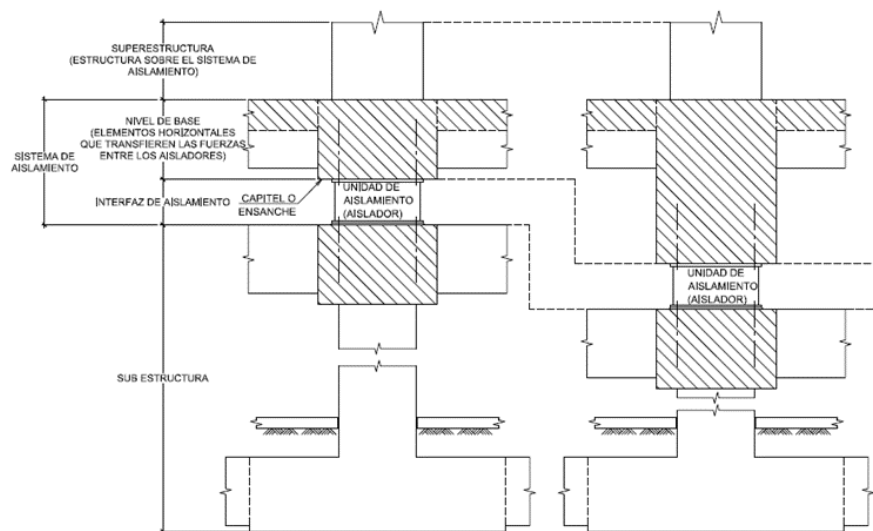


Figura 1. (a) Sistema de aislamiento sísmico.

Fuente. Norma Técnica Peruana E.031 (p. 67), 2016.

2.2.2. Componente del aislamiento sísmico

Interfaz de aislamiento.

Según la Norma Técnica E.031 (2019) nos indica que “la interfaz de aislamiento es una zona generada por el sistema de aislamiento sísmico que está limitado en la parte superior por la superestructura, la cual se encuentra aislada, y en la parte inferior por la cimentación, que se desplaza rígidamente con el terreno producto de los sismos”.

Unidad de aislamiento.

(Ramos, 2019, como se citó en Mesa, 2010) nos indica que “la unidad de aislamiento es un elemento estructural muy flexible en la dirección horizontal ante cargas sísmicas, y muy rígido en la dirección vertical ante cargas gravitacionales”. (p. 12)

Sistema de aislación.

(Ramos, 2019, como se citó en Mesa, 2010) nos indica que “los sistemas de aislación incluyen a todas las unidades de aislamiento, disipadores de energía y sistemas de restricción de desplazamientos”. (p.12)

Filosofía de diseño para estructuras con aislamiento sísmico

Según Ramos (2019) nos indica que “los sistemas de aislamiento usados en las estructuras, buscan brindar un desempeño equitativo ya sea enfocándose en la protección de la vida humana como también en la reducción del daño de la estructura y sus contenidos durante algún sismo severo”.

Además, la Agencia Federal para el Manejo de Emergencia, FEMA-450 indica el cumplimiento de los siguientes objetivos de desempeño que deben presentar cualquier tipo de estructura:

- Resistir sismos pequeños y moderados sin daño en elementos estructurales y no estructurales de la estructura.
- Resistir sismos severos sin que exista falla o colapso en el sistema de aislación, ni daños significativos en los elementos estructurales, ni daños masivos en elementos no estructurales, que pongan en riesgo las vidas de las personas.

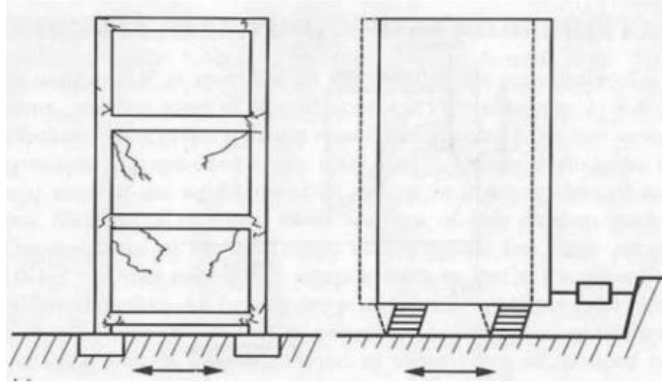


Figura 2. (a) Sistema de base fija, (b) Sistema de aislamiento en la base.

Nota. Tomado de análisis sísmico comparativo de un edificio de mediana altura, con base fija empotrada, y con aisladores sísmico elastoméricos (p. 15).

Fuente. Ramos, 2019.

2.2.3. Aisladores sísmicos

Genatios & Lafuente (2016) nos indican que “los aisladores sísmicos son elementos muy flexibles que se colocan entre la estructura y la cimentación, con la finalidad de transmitir la menor cantidad de movimiento a la superestructura, en el momento de un evento sísmico. Estos dispositivos que se incorporan al sistema estructural, cambian las propiedades dinámicas de este último, llegando a incrementar el periodo fundamental de vibración, llevando a la estructura a un sistema de bajas aceleraciones, con lo cual las fuerzas inducidas en los elementos estructurales disminuyen significativamente. Por lo contrario, las deformaciones se incrementan de manera importante, llegando a concentrar en los aisladores sísmicos, con lo cual la superestructura sufrirá sólo pequeñas deformaciones.” (p. 50)



Figura 3. Aislador sísmico de goma.

Nota. Tomado de Introducción al uso de aisladores y disipadores en estructuras (p. 50), por Genatios & Lafuente, 2016, © Corporación Andina de Fomento.

(Fuente: Kelly, 2013).

“Dentro de las funciones principales que presentan las estructuras con aisladores sísmicos con respecto a las de base fija, se puede observar en la Figura 5, que la incluir el aislador a la estructura, el periodo de vibración del sistema se incrementa, lo que supone una menor carga sísmica (medida en términos de la cortante basal). Adicionalmente, los espectros de fuerzas se reducen por el efecto del amortiguamiento introducido por el aislador en el sistema estructural.”

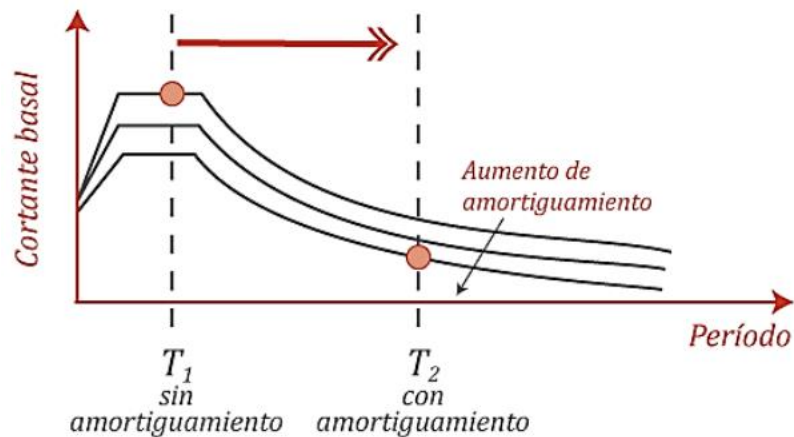


Figura 4. Disminución de la aceleración espectral por incorporación del aislador sísmico. (Adaptado de: Barro et al. 2015, figura 2(A), open Access).

Nota. Tomado de Introducción al uso de aisladores y disipadores en estructuras (p. 52), por Genatios & Lafuente, 2016, © Corporación Andina de Fomento.

2.2.4. Elementos de protección sísmica

Sistemas de control de vibración

Gómez et al. (2008) nos indica que “los sistemas de control de vibración son métodos alternos para disminuir las sollicitaciones (fuerzas internas) de una estructura, mejorando sus propiedades dinámicas con base en esquemas de control pasivo o activo” (p.80).

Sistemas activos

Gómez et al. (2008) nos indica que “los sistemas activos requieren de una fuente externa de potencia para alimentar los actuadores que aplican fuerzas a la estructura, dichas fuerzas son usadas para suministrar como para disipar energía en la estructura. En este sistema con retroalimentación, las señales enviadas a los actuadores de control son función de las respuestas de la estructura, medidas con sensores físicos”.

Sistemas pasivos

Gómez et al. (2008) nos indica que “los dispositivos de control pasivo producen fuerzas en respuesta al movimiento de la estructura, con lo cual no hay un aumento de energía en el sistema estructural acoplados a dichos dispositivos”.

Genatios & Lafuente (2016) nos indican que “los sistemas pasivos son los más usados en la actualidad, debido a la sencillez de sus mecanismos de funcionamiento y por la gran efectividad de su desempeño, frente a eventos sísmicos, reduciendo los daños en los elementos estructurales, garantizando la seguridad de vidas humanas y disminuyendo pérdidas económicas. Entre los de control pasivo se clasifican los disipadores de energía y los de aislamiento sísmico en la base. Dichos dispositivos demostraron gran eficiencia en la ingeniería sismorresistente, por ejemplo, la exigencia que deben tener los hospitales, los cuales pueden presentar mínimamente daños estructurales y no estructurales de tal manera que permanezcan operativos y en servicio después de eventos sísmicos importantes.” (p. 40)

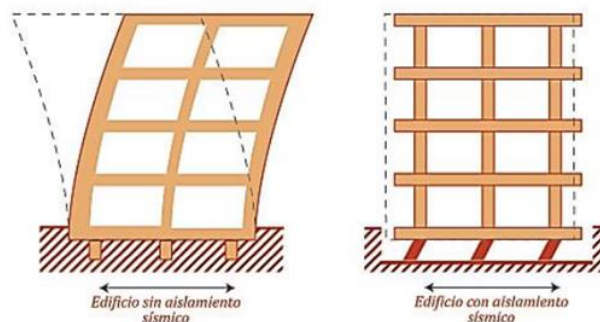


Figura 5. (a) Edificación sin aislamiento sísmico y (b) Edificación con aislamiento sísmico.

Nota. Tomado de Introducción al uso de aisladores y disipadores en estructuras (p. 51), por Genatios & Lafuente, 2016, © Corporación Andina de Fomento.

Aisladores elastoméricos.

Aguiar et al. (2008) nos indican que “los aisladores elastoméricos son dispositivos de amortiguamiento los cuales están compuestos por dos capas alternadas de goma y placas de acero unidas entre sí por un proceso de vulcanización, de este modo, la rigidez del apoyo es controlada por el

espesor de las capas de goma. Así mientras más gruesas son esas capas, más flexibles serán los apoyos en la dirección horizontal. En contraste, la rigidez vertical del apoyo es controlada por la alta rigidez en planta de las placas de acero que inhibe la expansión lateral de la goma que resulta de la presión vertical” (p. 24).

“Además, indica que estos dispositivos, debido a sus componentes, son muy flexibles horizontalmente, por la presencia de una goma, y muy rígidos verticalmente, por la presencia de las láminas de acero, las cuales impiden la deformación lateral de la goma” (p. 58).

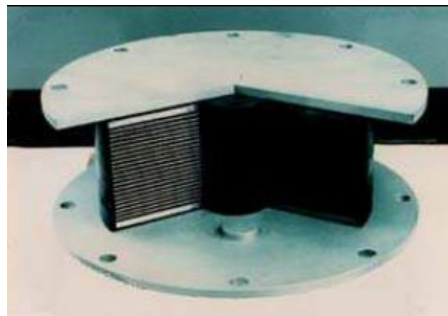


Figura 6. Aislador elastomérico.

Nota. Tomado de Aisladores de base elastoméricos y FPS (p. 24), por Aguiar et al., 2008, Copyright ©.

Aisladores elastoméricos de bajo amortiguamiento (LDRB). (Corporación de Desarrollo Tecnológico, 2011) nos indican que “estos tipos de dispositivos son los más simples. Presentan bajo amortiguamiento (2 – 5% como máximo), por lo que se usan conjuntamente con disipadores de energía, los cuales proveen amortiguamiento adicional al sistema. Estos sistemas presentan la ventaja de ser fáciles de fabricar” (p. 24).



Figura 7. Aislador tipo LDRB.

Nota. Tomado de Protección Sísmica de Estructuras Sistemas de Aislación Sísmica y Disipación de Energía (p. 24), por Corporación de Desarrollo Tecnológico, 2011.

Aisladores elastoméricos con núcleo de plomo (LRB). Genatios & Lafuente (2016) nos indican que “los aisladores elastoméricos con núcleo de plomo son usados por el comportamiento elastoplástico que presentan, por su capacidad de mantener la resistencia durante múltiples ciclos de deformaciones plásticas, además de tener valores altos de amortiguamiento, los cuales pueden llegar hasta el 25% o inclusive hasta el 30% del amortiguamiento crítico. Los núcleos de plomo son colocados en el centro del aislador, y es por ello que estos dispositivos aceptan grandes deformaciones” (p. 56).



Figura 8. Aislador de capas de goma y acero y núcleo de plomo.

Nota. Tomado de Introducción al uso de aisladores y disipadores en estructuras (p. 56), por Genatios & Lafuente, 2016, © Corporación Andina de Fomento.

Aisladores elastoméricos de alto amortiguamiento (HDRB). (Corporación de Desarrollo Tecnológico, 2011) nos indican que “los aisladores elastoméricos de alto amortiguamiento son aisladores cuyas láminas de elastómeros son fabricados adicionando elementos como carbón, aceites y resinas, con el objetivo de aumentar el amortiguamiento de la goma hasta niveles cercanos al 10 – 15%. Estos presentan mayor sensibilidad a cambios de temperatura a comparación de los otros dos sistemas anteriores mencionados. Además, que los aisladores HDRB presentan una mayor rigidez para los primeros ciclos de carga, estabilizándose luego del tercer ciclo de carga. Estos dispositivos son de fácil fabricación e integran la flexibilidad y disipación de energía en un solo elemento.

2.2.5. Peligro Sísmico

Zonificación

Según la Norma Técnica E.030 (2018) el territorio peruano está dividido en cuatro zonas, tal como se aprecia en la Figura 1. La zonificación propuesta está fundamentada en cómo se ha distribuido espacialmente por la sismicidad observada, los rasgos generales del comportamiento de los sismos y el impacto de ellos evaluados con la distancia a partir del epicentro, y también por la información geotectónica.



Figura 9. Zonificación sísmica del territorio peruano

Nota. Tomado de la Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente (p. 7), 2018.

El factor Z es asignado para cada zona, así como se observa en la Tabla 1. Este factor representa la aceleración máxima horizontal del terreno como suelo rígido, la cual tiene una probabilidad de 10 % de ser superada en 50 años. El factor Z se enuncia como una fracción de la gravedad.

Tabla 1. Factores de zona

FACTORES DE ZONA "Z"	
ZONA	Z
4	0.45
3	0.35
2	0.25
1	0.10

Nota. Tomado de la Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente (p. 7) ,2018.

Microzonificación Sísmica

Según Santana (2013) la microzonificación sísmica es un procedimiento que consiste en la división de un territorio urbano en microzonas geográficas, sobre el cual se prevén los diferentes comportamientos ante el suceso de un sismo fuerte. Estos mapas aportan directamente como elemento esencial para la reducción del riesgo sísmico en el lugar donde se hace tal estudio, ya que permiten determinar cuáles son los sitios de mayor protección para la construcción de las nuevas edificaciones. La microzonificación sísmica de una ciudad es un procedimiento que involucra la incidencia de varias disciplinas, como lo son los estudios geológicos, sismológicos, topográficos, hidrológicos, geotécnicos, de evaluación de daños sísmicos, y de amplificación sísmica. La importancia de la microzonificación sísmica radica en que a través de ella se delimitan zonas con distinto comportamiento sísmico sobre la misma ciudad, considerando las condiciones locales de los suelos de cimentación.

Condiciones del suelo

Según Santana (2013) las condiciones del suelo están determinados por los tipos de perfiles de suelo sobre las cuales priman las propiedades mecánicas que poseen, así también, el periodo fundamental de vibración como la velocidad de propagación de las ondas de corte.

De acuerdo a la Norma Técnica E.030 (2018), se da lugar a 5 diferentes tipos de perfiles de suelos:

Perfil Tipo S0: Roca Dura. Su correspondencia hace referencia a las rocas sanas cuya velocidad de propagación de ondas de corte \bar{V}_s supera los 1500 m/s. Para este tipo de rocas que son continuas con profundidad de 30 m, las magnitudes de la velocidad de las ondas de corte en la superficie se pueden usar para hacer la estimación del valor de \bar{V}_s .

Perfil Tipo S1: Roca o Suelos Muy Rígidos. Contienen diferentes grados de fracturación de suelos muy rígidos cuyo valor de \bar{V}_s varía entre 500 m/s y 1500 m/s.

Perfil Tipo S2: Suelos Intermedios. Son aquellos tipos de suelo que poseen una rigidez mediana y presentan velocidades de propagación de onda de corte \bar{V}_s que están sobre los 180 m/s y por debajo de los 500 m/s

Perfil Tipo S3: Suelos Blandos. A este tipo pertenecen los suelos flexibles cuyos valores de velocidades de propagación de onda de corte \bar{V}_s son menores o iguales a 180 m/s.

Perfil Tipo S4: Condiciones Excepcionales. Son aquellos suelos flexibles de manera excepcional, además de los estratos en lugares donde son desfavorables las condiciones topográficas y/o geológicas, en los cuales se hace obligatorio efectuar estudios específicos que permitan determinar su viabilidad. Solo se hará consideración de este tipo de perfil en el caso que mediante el Estudio de Mecánica de Suelos (EMS) se obtengan los resultados esperados.

Parámetros de Sitio (S, TP y TL)

Para la selección del tipo de perfil deberá considerarse las condiciones locales según mejor se adapte de acuerdo a la clasificación mencionada, haciendo uso del factor de amplificación S y de los periodos TP y TL conforme se indica en las siguientes tablas.

Tabla 2. Factor de suelo “S” según zonificación

ZONA \ SUELO	S0	S1	S2	S4
Z4	0.80	1.00	1.05	1.10
Z3	0.80	1.00	1.15	1.20
Z2	0.80	1.00	1.20	1.40
Z1	0.80	1.00	1.60	2.00

Nota. Tomado de la Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente (p. 11), 2018.

Tabla 3. Periodos T_P y T_L según el tipo de perfil de suelo

PERIODO \ SUELO	S0	S1	S2	S4
T_P	0.3	0.4	0.6	1.0
T_L	3.0	2.5	2.0	1.6

Nota. Tomado de la Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente (p. 11), 2018.

Factor de Amplificación Sísmica (C)

Para la definición del factor de amplificación sísmica (C) a utilizarse se considera del sitio sus características, como lo son los periodos T_P y T_L , con ello, para el factor C, se evalúa mediante las siguientes expresiones:

$$T < T_P \quad C = 2,5$$

$$T_P < T < T_L \quad C = 2,5 \cdot \frac{T_P}{T_L}$$

$$T > T_L \quad C = 2,5 \cdot \frac{T_P \cdot T_L}{T^2}$$

Este factor hace referencia a la amplificación de la aceleración de la edificación respecto del terreno.

2.2.6. Análisis sísmico

Según Pique & Scaletti (1991) nos indican que: “el análisis estructural consiste en la determinación del efecto que tendrá cualquier fuerza aplicada sobre la estructura, es por ello que, en el caso de fuerzas sísmicas, se habla del análisis sísmico. Para este caso, las cargas sísmicas serán caracterizadas por la norma local correspondiente y será expresada en términos de un espectro de diseño”.

“Además dichos autores nos mencionan que actualmente se considera el análisis elástico como un método para poder calcular las sollicitaciones sísmicas sobre la estructura”.

Los tipos de respuesta sísmica que tendrán los edificios dependerán del tipo de análisis que se ejecute, de lo cual la Norma Técnica Peruana E.030 (2018) y la Norma Técnica Peruana E.031 (2018), nos brindan tipos de análisis sísmico:

“Análisis estático o de fuerzas estáticas equivalentes: Este método representa las sollicitaciones sísmicas mediante un conjunto de fuerzas actuando en el centro de masas de cada nivel de la edificación. Solo se podrá usar este análisis para estructuras regulares o irregulares ubicadas en la zona sísmica 1. Para otras zonas sísmicas (de acuerdo a la clasificación que proporciona esta norma) se puede emplear este método, para edificios regulares de no más de 30m de altura o cualquier tipo de edificio no mayor de 15m, aun cuando sea irregular”.

“Análisis Dinámico Modal Espectral: Este método es aplicado para cualquier tipo de edificación, en la cual consiste en la aplicación de un espectro inelástico de pseudo-aceleraciones, para obtener la fuerza en la base, producto de un movimiento sísmico”.

“Análisis Dinámico Tiempo-Historia: En este tipo de análisis se utiliza un modelo matemático de la estructura que considera directamente el comportamiento histerético de los elementos, determinándose la respuesta frente a un conjunto de aceleraciones del terreno obtenida de registros reales ocurridos a nivel de la historia del país”.

Consideraciones generales de los efectos sísmicos en las estructuras

Período fundamenta de vibración.

Es el tiempo que demora la estructura en realizar un ciclo de movimiento.

Amortiguamiento

Según García (1998) nos indica que “el amortiguamiento genera una pérdida de energía del sistema. Esta energía, ya sea cinética o potencial, se transforma en otras formas de energía tales como calor o ruido. El amortiguamiento se divide en: Amortiguamiento viscoso (el más usado dentro de la ingeniería estructural), amortiguamiento de Coulomb y el amortiguamiento histerético.”

Resistencia

“La resistencia como una magnitud de la fuerza interna que llevará a la estructura o a sus elementos a un estado límite de falla. El cálculo para la resistencia de un elemento estructural dependerá del tipo de fuerza interna que se produzca y del material que compone a dicho elemento, para lo cual deberá seguir los procedimientos mencionados en las normas correspondientes a cada localidad.” (Ministerio de transporte e infraestructura, 2005, p. 7)

Rigidez

Según García (1998) define a la rigidez como “la relación entre las fuerzas externa (ya sean estáticas o dinámicas) y las deformaciones que ellas inducen en el cuerpo. Usualmente se representa mediante la letra k , y matemáticamente se expresa por medio de la ley de Hooke ($k = P/u$), siendo ‘ k ’ la rigidez, ‘ P ’ la fuerza aplicada y ‘ u ’ el desplazamiento debido a esa fuerza aplicada”.

Resonancia

Según Ramos (2019) “el fenómeno de la resonancia surge cuando la vibración exterior (causada por alguna fuerza externa) iguala a la vibración propia de la estructura, generando en muchas ocasiones el colapso de la misma.”

Derivas de entrepisos

“La deriva o distorsión de entrepiso es el cociente entre la diferencia de desplazamientos laterales de dos niveles consecutivos de la estructura entre la altura de dicho entrepiso.” (Ministerio de transporte e infraestructura, 2005, p. 4).

2.2.7. Respuesta dinámica

Cassano (2009) nos indica que “la respuesta dinámica es cualquier magnitud que pueda caracterizar el efecto de una carga dinámica sobre la estructura” (p.22).

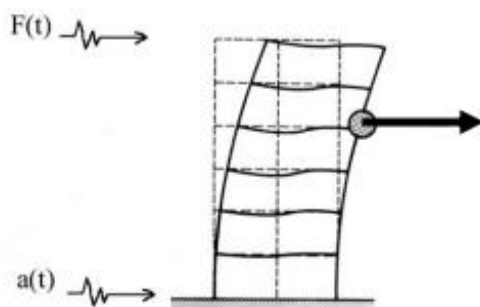


Figura 10. Respuesta dinámica.

Nota. El gráfico representa el desplazamiento de una estructura debido a fuerzas en la base producto de los sismos. Tomado de Análisis de estructuras bajo acciones dinámicas (p. 22), por Cassano, 2009, Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional (edUTecNe).

“La obtención de la respuesta dinámica de una estructura, es el resultado de “filtrar” las ondas sísmicas a través de la misma estructura y obtener así las variaciones de las magnitudes de análisis (desplazamientos, velocidades, aceleraciones, momentos flectores, tensiones, etc.) respecto del tiempo. Además, se sabe que el análisis es aplicado, no a la propia estructura sino a un modelo mecánico de la misma. Este modelo pretende brindar una serie de relaciones entre acciones y respuesta que describan un modelo matemático del problema. Según la eficiencia con la que fueron formulados los modelos y procedimientos de cálculo durante el análisis, se tendrá una precisión de la respuesta obtenida”.

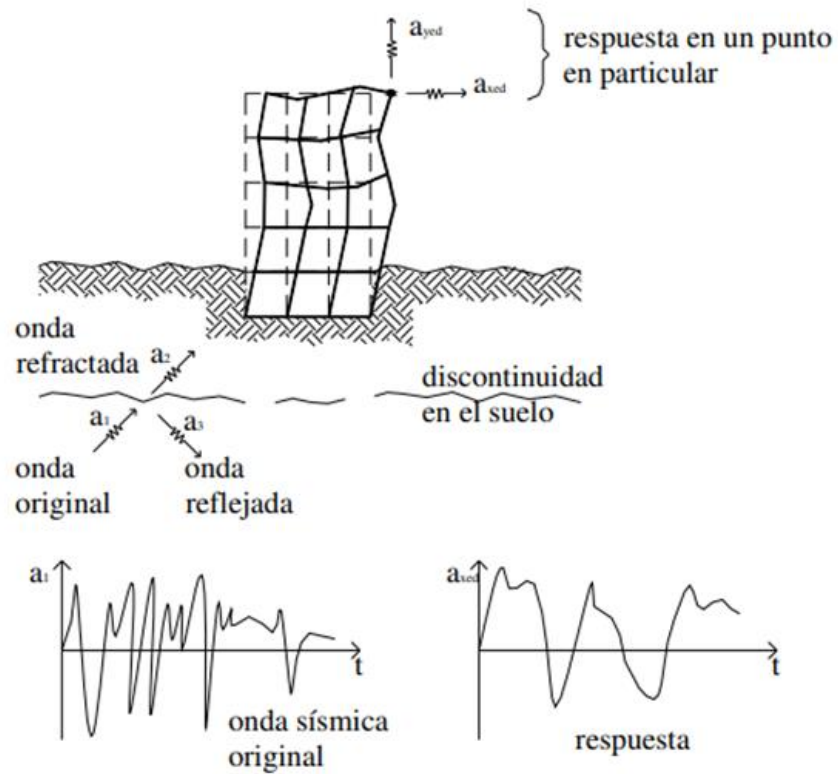


Figura 11. “Filtrado” de una señal sísmica.

Nota. El gráfico representa el cambio de aceleración de un estrato a otro y la respuesta dinámica de una estructura debido a fuerzas sísmicas. Tomado de Análisis de estructuras bajo acciones dinámicas (p. 27), por Cassano, 2009, Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional (edUTecNe).

Bazán & Meli (2002) indican que “las características de la respuesta dinámica se pueden calcular con aceptable precisión al modelar una estructura mediante un sistema de un grado de libertad con periodo igual al fundamental de la estructura. En caso se sometan varias estructuras de un grado de libertad con distintos periodos a alguna ley de movimiento del terreno, cada una responderá de manera distinta, la amplitud de la respuesta depende esencialmente de la relación que habrá entre el periodo del sistema y el periodo del terreno, mientras más cercano sea dicha relación, mayor será la amplitud de la respuesta” (p.30).

Además, indican que “con diversos estudios se puede llegar a conocer cómo el movimiento es casi poco visible en los estratos firmes profundos,

y crece en intensidad dentro de estratos arcillosos. Los registros obtenidos en los edificios van creciendo en intensidad con la altura, hasta que en el último nivel la aceleración máxima es 2.5 veces mayor que la máxima registrada en el sótano (en caso lo tuviese). A medida que aumenta la intensidad de la excitación aplicada al edificio, se generarán cambios en las propiedades dinámicas del mismo, las cuales alterarán su respuesta” (p. 30).

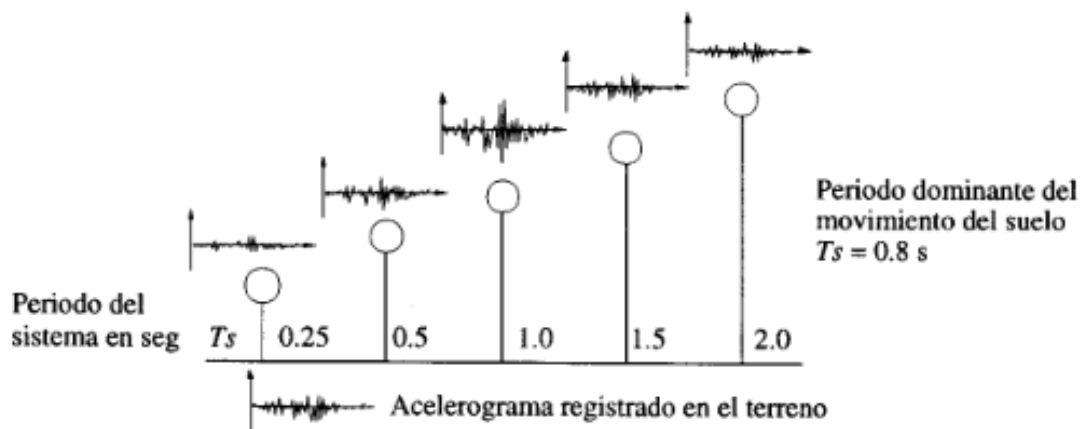


Figura 12. Amplificación del movimiento del terreno en sistemas con distintos periodos fundamental de vibración.

Nota. El gráfico representa la amplificación de las ondas sísmicas producto a la cercanía de los periodos del sistema y del terreno. Tomado de Diseño sísmico de edificios (p. 31), por Bazán & Meli, 2002, LIMUSA Noriega Editores.

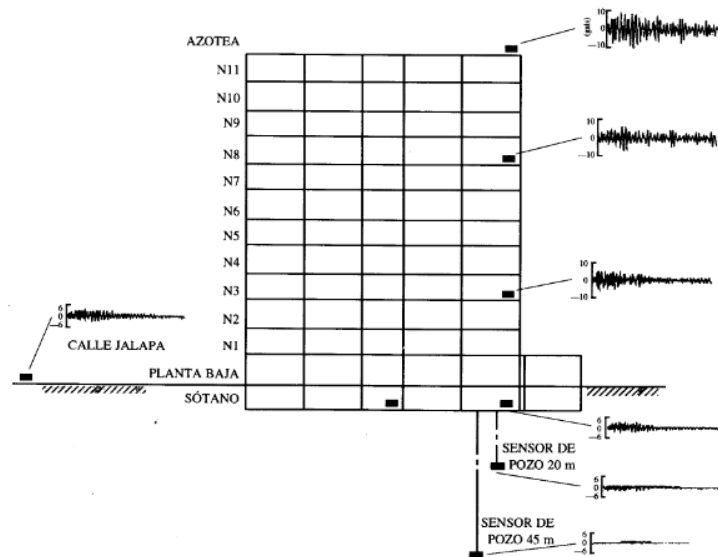


Figura 13. Registros de aceleraciones en un edificio de la ciudad de México para un sismo moderado (28 de octubre de 1993)

Nota. El gráfico representa el crecimiento de la intensidad de las ondas sísmicas con respecto a la altura, teniendo en la azotea una amplificación mayor que en los sótanos. Tomado de Diseño sísmico de edificios (p. 31), por Bazán & Meli, 2002, LIMUSA Noriega Editores

Obtener una buena respuesta dinámica implica que “la estructura posea una rigidez adecuada para reducir los desplazamientos laterales y proporcionarles características dinámicas que eviten amplificaciones excesivas en sus elementos estructurales, esté dotada de resistencia a carga lateral suficiente para absorber las fuerzas de inercia inducidas por la vibración, y que posea alta capacidad de energía mediante deformaciones inelásticas, lo que se logra también proporcionándole ductilidad” (Bazán & Meli, 2002, p.40).

III. METODOLOGÍA

3.1. Enfoque, Tipo y diseño de investigación

3.1.1. Enfoque de investigación

El presente proyecto de investigación muestra un enfoque cuantitativo, en un nivel descriptivo, utilizando una metodología de observación analítica y comparativa, para así posteriormente realizar un análisis comparativo de la respuesta dinámica del modelamiento de edificios con base fija y con aisladores elastoméricos según las condiciones del suelo.

3.1.2. Tipo de investigación.

3.1.2.1. Tipo de investigación por el propósito.

La siguiente investigación es de tipo aplicada conocida también como investigación empírica o práctica, la cual pretende aplicar saberes o conocimientos ya establecidos con la finalidad de obtener resultados que mejoren el desarrollo de la investigación.

3.1.2.2. Tipo de investigación por el diseño.

La presente investigación es de tipo no experimental descriptiva, se considera no experimental debido a que no existe manipulación de variables y descriptiva porque contiene una sola variable además de describir características reales de la zona de estudio.

3.1.2.3. Tipo de investigación por nivel.

La presente investigación es de tipo descriptivo, debido a que analizará la respuesta dinámica del modelamiento de edificios con base fija y con aisladores elastoméricos según las condiciones del suelo.

3.1.3. Diseño de investigación

El diseño de investigación será:

No experimental, debido a que no se hará manipulación de la variable.

Transversal, debido a que dicha investigación está centrada en analizar cuál es el nivel de la variable (respuesta dinámica) en un momento dado.

Descriptivo, debido a que la presente tesis estará enfocada a describir a la variable (Respuesta dinámica).



Figura 14. Esquema del diseño de investigación

Estudio	Técnica	Variable
M	O, AD	X

Donde:

M: Muestra

O: Observación

AD: Análisis Documental

X: Diseño de Infraestructura Educativa

Figura 15. Diseño de Investigación

3.2. Operacionalización de variables

3.2.1. Variable

Respuesta dinámica

Cualquier magnitud que pueda caracterizar el efecto de una carga dinámica sobre la estructura. (Cassano, 2009)

3.2.2. Matriz de clasificación de variables

MATRIZ DE CLASIFICACIÓN DE VARIABLES					
Variables	Relación	Naturaleza	Escala de medición	Dimensión	Forma de medición
Respuesta dinámica	Independiente	Cuantitativa continua	Razón	Multidimensional	Indirecta

Figura 16. Matriz de clasificación de variables

3.2.3. Matriz de operacionalización de variables

Ver anexo 3.1

3.3. Población, muestra y muestreo

3.3.1. Población:

Todos los modelados de edificios con base fija y con aisladores elastoméricos, Trujillo, 2021.

Criterios de inclusión

Se modelarán edificios de 10 a 20 niveles, por el crecimiento vertical de las construcciones en la ciudad de Trujillo, además se considerarán con sistema de muros estructurales, debido a la rigidez que aportan los muros estructurales a los edificios de mediana altura, obteniéndose así derivas que cumplen con lo que indica la norma E.030. Para cada modelamiento se hará uso también de los siguientes tipos de aisladores elastoméricos, los cuales son los más comerciales en el Perú: HDR, LRB, HDRB.

Modelamiento de:	Condiciones del suelo de Trujillo, 2021		
	Perfil S1	Perfil S2	Perfil S3
Edificios de 10 a 20 niveles con aisladores elastoméricos del tipo NRB	11	11	11
Edificios de 10 a 20 niveles con aisladores elastoméricos del tipo LRB	11	11	11
Edificios de 10 a 20 niveles con aisladores elastoméricos del tipo HDRB	11	11	11
Edificios de 10 a 20 niveles con base fija	11	11	11
Total de modelamientos para cada tipo de suelo	44	44	44
Total de modelamientos		132	

Figura 17. Criterios de inclusión de la población

3.3.2. Población objetivo

Todos los modelados de edificios con bases fijas y con aisladores elastoméricos del tipo HDR, LRB, HDRB y entre 10 a 20 pisos, con sistema de muros estructurales, Trujillo, 2021.

3.3.3. Muestra:

3.3.3.1 Técnica de muestreo

La técnica de muestreo es No probabilístico – Por juicio del investigador

Se usará la técnica de muestreo será no probabilístico debido a que no todos los edificios tienen el mismo comportamiento frente a eventos sísmicos, y será por juicio de investigador debido a que se tiene criterios en cuanto a la elección del sistema estructural, ya que en la presente tesis se desea tener una alta rigidez en los edificios de mediana altura para que así no sufran grandes deformaciones y se pueda realizar mejor la comparación entre los edificios de base fija y con aisladores elastoméricos, además se tendrá criterios en cuanto al número de pisos a analizar, debido a la importancia que tiene el aislador en dichas estructuras de más de 5 niveles, comparando mejor el comportamiento sísmico de las estructuras con base aislada y con base fija, en cuanto al criterio de la elección del tipo de aisladores elastoméricos se escogerán los del tipo NRB (Natural Rubber Bearing), LRB (Lead Rubber Bearing) y HDR (High Damping Rubber Bearing), debido a que son los más comerciales en el Perú, por el costo accesible que tienen estos dispositivos, y el conocimiento que se tienen de estos mismos.

3.3.3.2 Tamaño de muestra.

El tamaño de muestra será 120 modelados de edificios de 10 a 20 niveles, con sistema de muros estructurales, con aisladores elastoméricos del tipo NRB, LRB, HDR y con base fija en Trujillo.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos y validez.

3.4.1. Técnica

La técnica de recolección de datos de la presente investigación es la revisión documental, debido a que la presente investigación se apoyará en fuentes de carácter documental (normas, libros, trabajos de investigación, etc.) y la observación, debido a que se evaluará y analizará resultados de manera visual, usando criterios referentes al diseño sismo resistente, lo cual permitirá evaluar la respuesta dinámica que presenta el modelamiento de los edificios con base fija y aisladores elastoméricos según las condiciones del suelo de la ciudad de Trujillo, 2021.

3.4.2. Instrumento de recolección de datos

El instrumento de recolección de datos que se usará, para la técnica de revisión documentaria, en la presente investigación será una ficha resumen, en el cual se anotará las siguientes dimensiones: las aceleraciones máximas obtenidas de los registros sísmicos del Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID) (Ver Anexo N° 01) y las condiciones del suelo obtenidas del Estudio de Microzonificación Sísmica a cargo del CISMID, en concordancia con la Norma Técnica Peruana E.030, para la ciudad de Trujillo (Ver Anexo N° 02).

Y el instrumento de recolección de datos que se usará, para la técnica de la observación, en la presente investigación será una guía de observación en el cuál se anotarán tres dimensiones, las cuales son: la deriva de entrepiso, la cortante basal y el periodo fundamental de vibración. Dichas dimensiones serán extraídas del programa de cálculo estructural, para los modelamientos de los edificios con base fija y aisladores elastoméricos, software ETABS 2016 (Ver Anexo N° 03).

3.4.3. Validación del instrumento de recolección de datos

Se realiza la validación de los instrumentos con 2 ingenieros civiles, colegiados y habilitados:

- Josualdo C. Villar Quiroz, ingeniero civil, CIP 106997.

3.5. Procedimientos

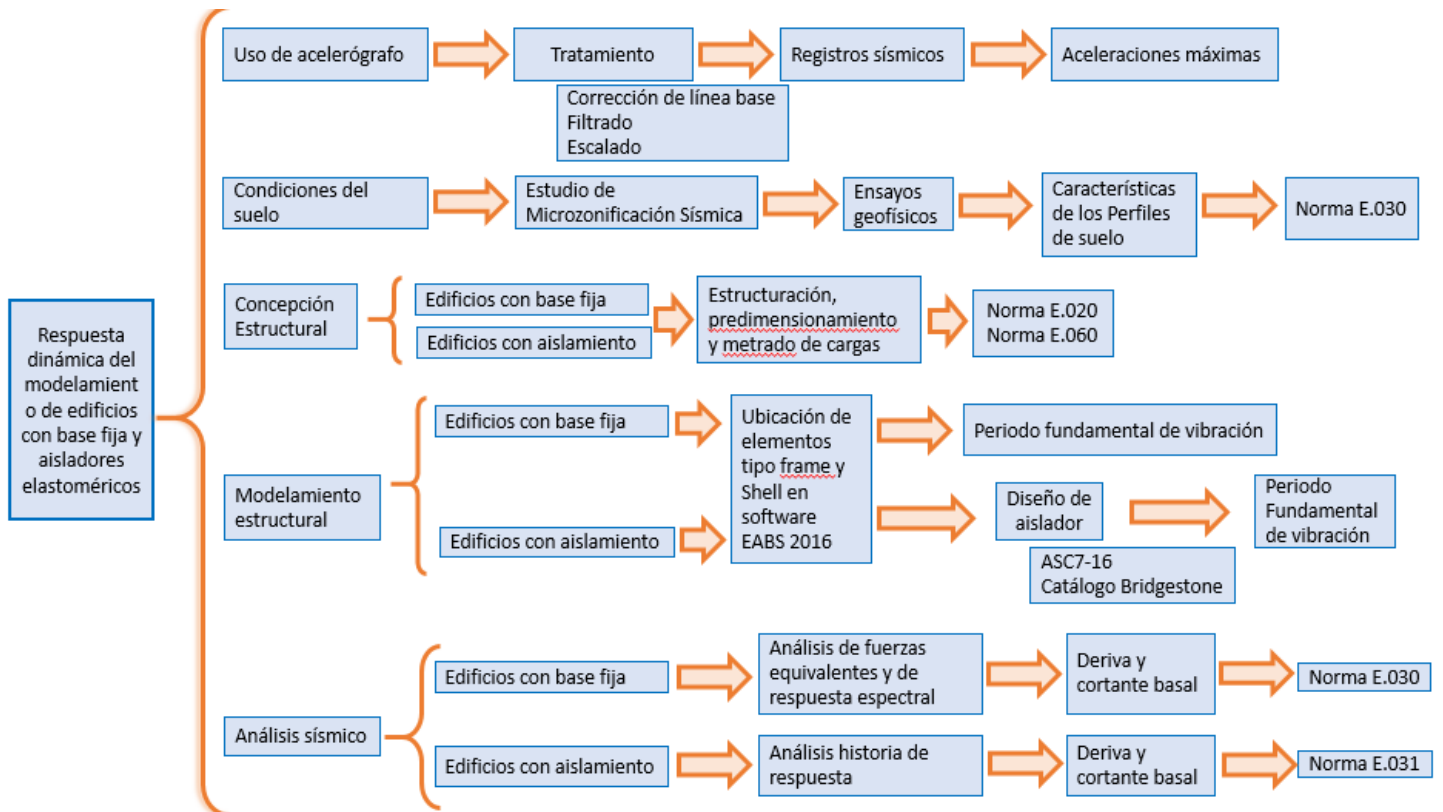


Figura 18. Procedimientos de la investigación

1. Obtención de aceleraciones máximas

Para la obtención de las aceleraciones máximas se hizo uso de acelerógrafos ubicados en distintas partes del Perú, dentro de las casetas acelerográficas, las cuales permiten obtener un registro de aceleraciones producto de sismos ocurridos en el país, para que posteriormente sean tratados mediante una corrección de línea base, la cual permite llevarla a una línea recta horizontal producto de desfases, y un filtrado, la cual permite eliminar ondas no sísmicas producto del pase vehicular, peatonal, etc.

Con la base de datos obtenido directamente del Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID) y recolectados en una ficha resumen, se realizará un análisis de datos mediante un escalamiento de dichos registros a un espectro de diseño elástico tal como indica la norma E.030 (Ver Anexo N° 07 y 08), para ello se hará uso del programa computacional SEISMOMATCH.

2. Condiciones de los suelos

Para poder definir cuáles son las condiciones de los suelos de Trujillo, esta investigación obtendrá dichas características a partir de un estudio de microzonificación sísmica realizado en el distrito de Trujillo.

Teniendo en cuenta que la norma E.030 clasifica los suelos mediante perfiles, considerando su estado (desde roca dura hasta suelos blandos y casos excepcionales), el estudio de microzonificación sísmica los determinará mediante ensayos geofísicos, entre los cuales priman los ensayos MASW (Métodos de análisis multicanal de ondas de superficie) y de medición puntual de microtemores. De esta forma teniendo la referencia de las características del suelo a partir de la microzonificación sísmica, se extraerán los datos de la norma E.030 conforme corresponda al estudio realizado.

3. Descripción general y arquitectura

El diseño arquitectónico del objeto de estudio será realizado en el programa AutoCAD, estando dicho diseño dirigido a oficinas exclusivamente, y por temas de análisis se considerarán pisos típicos en los edificios y los bordes perimetrales libres debido a que en la presente tesis se intentará analizar los desplazamientos en ambas direcciones, tanto para los sistemas de base fija como de base aislada.

4. Concepción estructural

Teniendo el diseño arquitectónico, se procederá a realizar la estructuración, considerando un sistema estructural de muros estructurales, los cuales estarán distribuidos en planta de manera simétrica, esto con la finalidad de evitar torsiones en planta del edificio, además se ubicarán las vigas, columnas y las losas aligeradas en el plano arquitectónico.

Posteriormente se realizará el predimensionamiento de los elementos estructurales, tomando recomendaciones de la Norma Técnica Peruana E.060 y de ingenieros reconocidos en el ámbito de la ingeniería estructural. Se realizará además un metrado de cargas tal como se indica en la Norma E.020 Cargas (Ver Anexo N° 04).

5. Modelamiento estructural

El modelamiento estructural será realizado en el programa ETABS 2016 (Ver Anexo N° 05), considerando elementos tipo FRAME para el modelado de vigas y columnas, elementos tipo SHELL THING para muros estructurales y para losas aligeradas.

Debido a que el número de pisos es mayor a 10, se considerará edificios regulares, con diagramas rígidos para cada nivel, lo cual permitirá considerar masas concentradas para cada nivel, antes mencionado, para el análisis sísmico.

Una vez realizada el modelamiento se podrá obtener el periodo natural de vibración de los edificios de base fija (Ver Anexo N° 05).

6. Diseño de aislador sísmico

En particular, para los edificios de base aislada, se dispondrá de un diseño de aisladores de acuerdo a la norma ASCE7-16 (Ver Anexo N° 09) y se escogerá el tipo de aislador de acuerdo a sus características necesarias, todo ello obtenido del catálogo de la BRIGSTONE la cual brinda dimensiones de los aisladores elastoméricos de acuerdo a sus propiedades de resistencia que se requerirán y los cuales están certificados y avalados por ensayos realizados (Ver Anexo N° 10), que se tendrá en cuenta en el modelamiento en ETABS 2016, en consecuente, con el modelado se obtendrá el periodo fundamental de vibración de los edificios con sistema de aislamiento.

7. Análisis sísmico

Finalmente, usando en todo momento el programa computacional ETABS 2016, se realizará un análisis sísmico para los modelamientos de edificios con base fija y aisladores elastoméricos. Para los modelamientos de edificios con base fija se aplicará el uso de un análisis estático o de fuerzas equivalentes (Ver Anexo N° 05), el cual permitirá escalar al siguiente análisis sísmico, análisis de respuesta espectral que se debe considerar en todo análisis según como indica la Norma Técnica Peruana E.030 (Ver Anexo N° 06), para obtener las derivas de entrepiso y la cortante basal de los modelos a analizar. Para los modelamientos de edificios con aisladores elastoméricos se aplicará el uso de un análisis historia de respuesta, tal como lo indica la Norma Técnica Peruana E.031 (Ver Anexo N° 08) y el procedimiento de

dicho análisis sísmico se realizará según como lo indica la Norma Técnica Peruana E.030 (Ver Anexo N° 07), para obtener las derivas de entrepiso y cortante basal a nivel de aislador, de los modelos de edificios con base aislada. Con todo lo anterior se hará un análisis comparativo entre dichas respuestas dinámicas como son las derivas y cortantes basal incluyendo los periodos fundamentales de vibración de cada modelado de edificio que se analizará en la presente investigación.

3.6. Método de análisis de datos

3.6.1. Técnicas de análisis de datos

La presente investigación es de diseño no experimental transversal, ya que se desarrolla mediante un solo periodo de tiempo, es por ello que se usara la técnica de estadística descriptiva. Se aplicarán instrumentos con medidas estadísticas como gráficos estadísticos, tablas de frecuencia considerando que la investigación cuenta con una sola variable y es de tipo cuantitativa continua.

3.6.2. Instrumentos (pruebas estadísticas para el tratamiento de datos)

La presente tesis de investigación es de diseño no experimental y transversal porque solo se realizará el estudio en un solo periodo de tiempo, por lo tanto, se utilizará el método de estadística descriptiva, cuyos instrumentos a aplicar es la tabla de frecuencias o gráficos estadísticos.

La tabla que se utilizará será una tabla de frecuencias, la cual servirá para agrupar los valores de la deriva, la cortante basal y el periodo fundamental de vibración producto del análisis sísmico, para cada sistema de base y para cada condición del suelo presente en el distrito de Trujillo.

Tabla 4. *Tabla de frecuencias, para edificios modelados de base fija, para cada condición del suelo presentes en el distrito de Trujillo.*

Modelos de edificios de base fija en suelo rígido				
Intervalo de derivas de entrepiso	Frecuencia (fi)	Frecuencia Acumulada (Fi)	Frecuencia Relativa (hi)	Frecuencia Relativa Acumulada (Hi)
[1/1000 ; 2/1000 >	2	2	0.18	0.18
[2/1000 ; 3/1000 >	1	3	0.01	0.27
[3/1000 ; 4/1000 >	4	7	0.36	0.64
[4/1000 ; 5/1000 >	2	9	0.18	0.82
[5/1000 ; 6/1000 >	1	10	0.09	0.91
[6/1000 ; 7/1000 >	1	11	0.09	1.00
[7/1000 ; 8/1000 >	0	11	0	1.00
Total	11			

Una de las gráficas a utilizar será un gráfico de barras, debido a que la presente investigación consta con una variable cuantitativa continua, y es necesario mostrar la variación de las dimensiones de la variable en estudio del modelado de edificios con diferentes bases para cada tipo de suelo presente en la ciudad de Trujillo, de esta forma se establezca un análisis comparativo con mejor percepción de los valores de la cortante basal y el periodo fundamental de vibración para cada modelado ya mencionado anteriormente. Además, se utilizará un gráfico Ojiva, para la representación gráfica de la deriva de entrepiso de los modelos al aplicar los respectivos análisis indicados en la presente tesis.

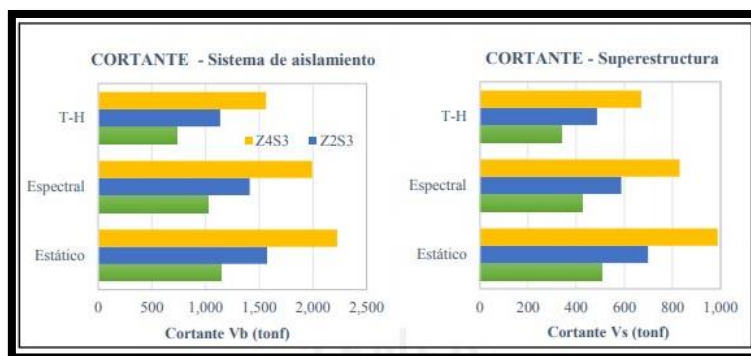


Figura 19. Gráfico de barras

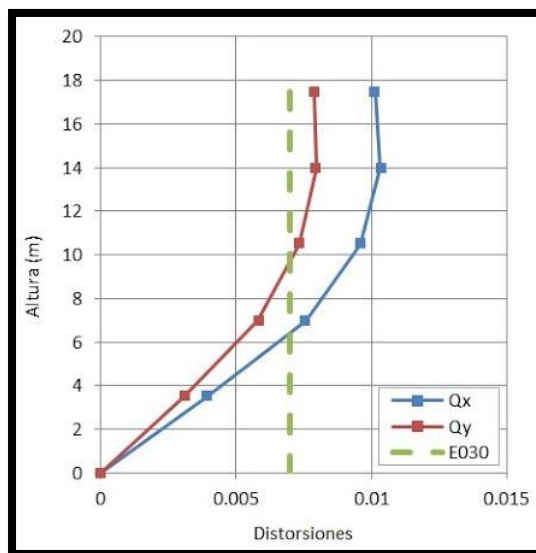


Figura 20. Gráfico lineal de deriva de entrepiso

3.7. Aspectos éticos

La presente investigación se realizó teniendo en cuenta los aspectos éticos y morales, del mismo modo se hizo uso del manual ISO 690 y 690-2, se utilizaron referencias de tesis y artículos científicos de fuentes confiables, así mismo el trabajo será verificado haciendo uso del programa Turnitin el cual debe tener un porcentaje no mayor del 25%. (Anexo 00)

3.8. Desarrollo de tesis

3.8.1 Espectro de respuesta

Para obtener los datos, se utilizó una ficha resumen con datos de aceleraciones de los sismos con mayor importancia ocurridos en el Perú, obtenidos del Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID), tal como lo indica la Norma Técnica Peruana E.030. Los datos obtenidos fueron ingresados al programa Excel y graficados debido a la gran cantidad de datos que arrojan los acelerogramas, todo ello realizado antes del tratamiento por corrección de línea base y filtrado (Ver Anexo 1 y 2).

Luego se realizó el tratamiento de datos (corrección de línea base y filtrado) tal como la norma E.031 lo estipula, en el software SEISMOSOFT versión 2016, para que finalmente se realice el escalamiento al espectro objetivo tal como lo indica la norma E.030, en el software SEISMOMATCH versión 2016, y así obtener las aceleraciones máximas escaladas al espectro de diseño. (Ver Anexo 1 y 2).

3.8.2 Condiciones del suelo

Para obtener los datos, se utilizó una ficha resumen para recolectar las velocidades de corte de los suelos presentes en toda la provincia de Trujillo, según el estudio de microzonificación sísmica a cargo del Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID).

Con las velocidades de cortes obtenidas para cada zona de la ciudad de Trujillo (**Ver Tabla 19 del Anexo 4**), se agrupó en tres zonas a la ciudad de Trujillo (**Ver Figura 73 del Anexo 4**) y se realizó una comparación con respecto a la norma E.030, la cual indica varios perfiles de suelos con sus respectivas velocidades de cortes (V_s). Con lo cual se llegaron a observar tres tipos de suelos en toda la provincia de Trujillo (**Ver Tabla 20 del Anexo 4**).

3.8.3 Predimensionamiento

Para obtener los datos, se utilizó una ficha resumen para recolectar las dimensiones de los elementos estructurales de acuerdo a la estructuración realizada. Se utilizaron las fórmulas propuestas en el libro “Estructuración y diseño de edificaciones de concreto armado” del ingeniero Antonio Blanco Blasco para el predimensionamiento de todos los elementos estructurales.

Se realizó el Predimensionamiento de la losa aligerada en dos direcciones, usando la fórmula indicada en la **Tabla 55** de la Norma Técnica Peruana E.060, vista en el **Anexo 12**:

$$h = L / 28 = 400 \text{ cm} / 28 = 14.29 \text{ cm (mínimo)}$$

Por lo tanto, se escogió un peralte de losa de 20 cm, cumpliendo el mínimo recomendado por la Norma E.060 (**Ver Tabla 25 del Anexo 7**).

Luego se realizó el predimensionamiento de las vigas de concreto armado, usando la fórmula propuesta por el ingeniero Antonio Blanco Blasco en su libro “Estructuración y diseño de edificaciones de concreto armado” (**Ver Anexo 12**).

$$h = L / 12 = 400 \text{ cm} / 12 = 33.33 \text{ cm (mínimo)}$$

Por lo tanto, se escogió un peralte de viga de 40 cm.

Y según lo que se indica en el libro antes mencionado, el ancho de la viga lo tomamos como 30 cm por ser la dimensión mínima para las vigas sismorresistentes (**Ver Tabla 26 del Anexo 7**).

Luego se realizó el predimensionamiento de las columnas de concreto armado, usando la fórmula propuesta por el ingeniero Antonio Blanco Blasco en su libro “Estructuración y diseño de edificaciones de concreto armado”

Área de columna = $P(\text{servicio}) / 0.45 \cdot f'c$, considerando al peso de servicio (P -servicio) igual a 500 kgf/m² aproximadamente.

El área tributaria se calculó de acuerdo a la distribución de los elementos estructurales visto en la **Figura 75 del Anexo 5**.

$P(\text{servicio}) = \text{Carga por metro cuadrado} * \text{Área tributaria} * \text{N}^\circ \text{ niveles}$

$P(\text{servicio}) = 500 \text{ kgf/m}^2 * 15.53 \text{ m}^2 * 20 = 155300 \text{ kgf}$

$\text{Área de columna} = 155300 \text{ kgf} / (0.45 * 210 \text{ kgf/cm}^2) = 1643.3862 \text{ cm}^2$

$\text{Longitud de columna cuadrada} = \text{Raíz} (1643.3862 \text{ cm}^2) = 40.54 \text{ cm}$
(mínimo)

Por lo tanto, se escogieron columnas de 50 x 50 cm (**Ver Tabla 27 del Anexo 7**).

Finalmente se realizó el Predimensionamiento de los muros estructurales de concreto armado, usando los criterios propuestos por el ingeniero Antonio Blanco Blasco en su libro “Estructuración y diseño de edificaciones de concreto armado”.

El espesor de la placa se consideró igual a 30 cm, esto debido a que los modelos estructurales de edificios son de gran altura (**Ver Tabla 28 del Anexo 7**).

3.8.4 Metrado de cargas

Para obtener los datos, se utilizó una ficha resumen para recolectar las cargas verticales aplicadas a los modelos estructurales, debido a cargas propias de los elementos estructurales, como también cargas provenientes de elementos no estructurales y cargas vivas.

Se realizó primero el metrado de las cargas muertas para un piso típico. Calculando las cargas sobre la losa aligerada en dos direcciones, siendo estos: el peso del ladrillo, para lo cual se analizó un bloque de eje de vigueta a vigueta en ambas direcciones:

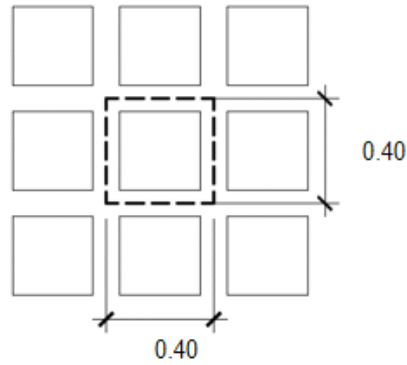


Figura 21. Área tributaria para el cálculo del peso de un ladrillo por metro cuadrado.

$$A_t = 0.40 \text{ m} * 0.40 \text{ m} = 0.16 \text{ m}^2 \text{ (Área tributaria)}$$

$$W_{\text{ladrillo}} = 0.00780 \text{ tonf} \text{ (Peso promedio de un ladrillo de techo)}$$

$$W_{\text{ladrillo por m}^2} = W_{\text{ladrillo}} / A_t = 0.00780 \text{ tonf} / 0.16 \text{ m}^2 = 0.04875 \text{ tonf}$$

También el peso de los acabados en la losa, siendo igual a 120 tonf/m², y el peso de la tabiquería móvil producto de elementos no estructurales encima de las losas, igual a 100 tonf/m², según lo que indica la Norma Técnica Peruana E.020 “Cargas”. Con ello se obtuvo una carga muerta total (WD total) para el piso típico igual a 0.26875 tonf/m² (Ver Tabla 35 del Anexo 9).

Luego se realizó el metrado de las cargas muertas para el piso azotea. Calculando las mismas cargas sobre la losa aligerada en dos direcciones para un piso típico, obviando la tabiquería móvil. Con ello se obtuvo una carga muerta total (WD total) para el piso azotea igual a 0.16875 tonf/m² (Ver Tabla 36 del Anexo 9).

Finalmente se realizó el metrado de las cargas vivas para los pisos típicos, sobre las losas aligeradas, siendo este igual a 0.200 tonf/m² para viviendas, tal como lo indica la Norma Técnica Peruana E.020 “Cargas”. Y para el piso azotea se consideró la mitad de la carga viva para los pisos típicos, el cual sería igual a 0.100 tonf/m². Con lo cual se obtuvo una

carga viva total (WL total) para los pisos típicos igual a 0.200 tonf/m² (Ver Tabla 37 del Anexo 9), y una carga viva total (WL total) para el piso azotea igual a 0.100 tonf/m² (Ver Tabla 38 del Anexo 9).

Se realizó también el metrado de cargas sobre las vigas perimetrales, debido a elementos no estructurales que están apoyadas encima de éstas. Se metro la carga proveniente de los muros de albañilería perimetrales (compuestos por ladrillos de arcilla) encima de dichas vigas:

$\gamma = 1.80 \text{ tonf / m}^3$ (Peso específico de la albañilería compuesta por ladrillos de arcilla)

$H = 2.0 \text{ m}$ (Altura efectiva del muro)

$e_{\text{muro}} = 0.13 \text{ m}$ (Espesor de los muros)

CM sobre las vigas = $\gamma * H * e_{\text{muro}} = 1.80 \text{ tonf / m}^3 * 2.0 \text{ m} * 0.13 \text{ m} = 0.468 \text{ tonf / m}$ (Ver Tabla 39 del Anexo 9).

Y para las cargas provenientes de los parapetos en la azotea, se calculará asumiendo una altura efectiva de 1m:

CM sobre las vigas = $\gamma * H * e_{\text{muro}} = 1.80 \text{ tonf / m}^3 * 1.0 \text{ m} * 0.13 \text{ m} = 0.234 \text{ tonf / m}$ (Ver Tabla 40 del Anexo 9).

3.8.5 Modelamiento estructural

3.8.5.1 Modelamiento estructural para base fija

En primer lugar, se realizó el modelamiento estructural de los edificios con base fija, en el software ETABS versión 2016, considerando las siguientes propiedades de los materiales de las vigas y columnas:

$\gamma = 2.4 \text{ tonf / m}^3$ (Peso específico del concreto armado)

$f'_c = 210 \text{ kgf/cm}^2$ (Resistencia a la compresión del concreto)

$E_c = 15000 * \text{raíz}(f'_c)$ (Módulo de elasticidad del concreto)

$E_c = 15000 * \text{raíz}(210) = 217370.6512 \text{ kgf/cm}$

Se consideró las dimensiones obtenidas en el apartado 3.4.3 (Predimensionamiento). Las 25, 26 y 27; muestran respectivamente

la vista en 3D, la vista en planta y la vista en elevación del modelamiento, en el software ETABS versión 2016, para un edificio de 11 pisos de base fija. De allí se obtuvieron los periodos naturales de vibración (T), para ambas direcciones traslacionales (dirección X-X y dirección Y-Y). Posteriormente dicho modelamiento se repitió para los siguientes edificios de diferentes niveles (12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19 y 20 niveles), añadiendo solamente el piso típico. Obteniendo así los periodos de vibración para cada modelo estructural de base fija (**Ver Tabla 48 del Anexo 11**).

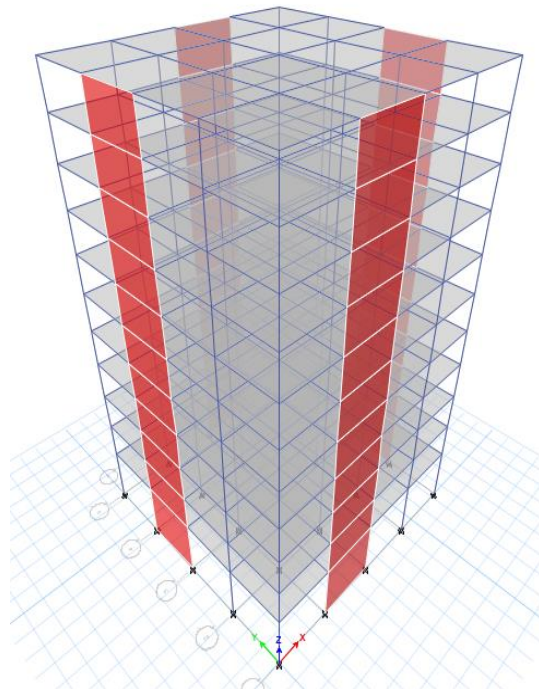


Figura 22. Modelo estructural de 11 niveles, de base fija, en una vista 3D, obtenidas del software ETABS versión 2016.

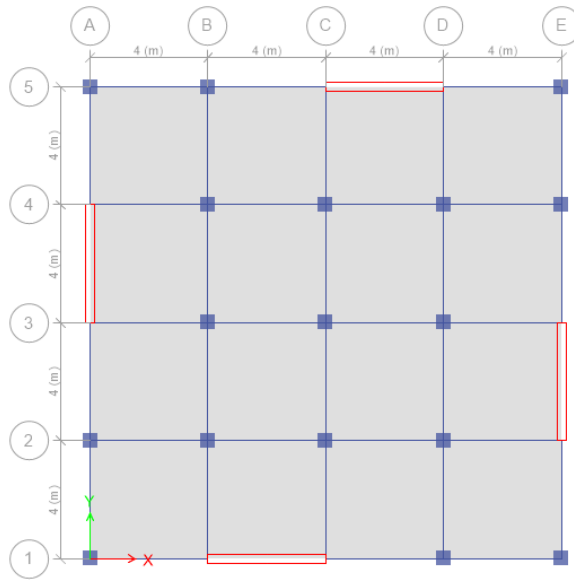


Figura 23. Modelo estructural de 11 niveles, de base fija, en una vista en planta, obtenidas del software ETABS versión 2016.

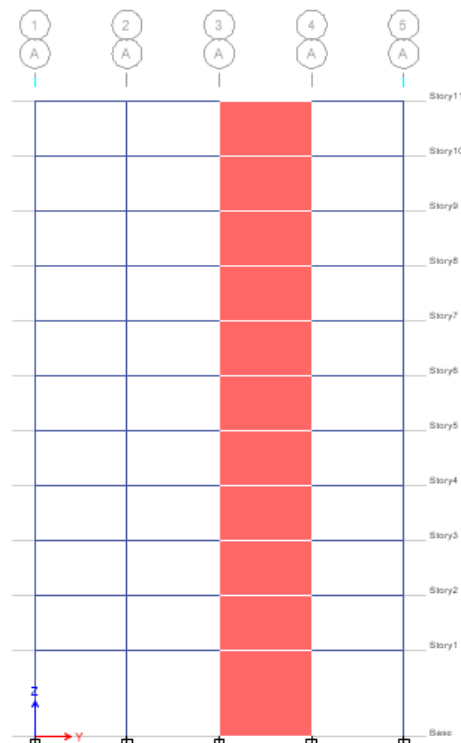


Figura 24. Modelo estructural de 11 niveles, de base fija, en una vista en elevación, obtenidas del software ETABS versión 2016.

3.8.5.2 Modelamiento estructural para base aislada

3.8.5.2.1 Diseño de aislador

Para realizar el diseño de los aisladores elastoméricos del modelo estructural con base aislada, se calcularon algunos parámetros de acuerdo a los obtenidos en los modelos estructurales con base fija. Como referencia, se muestra el desarrollo a seguir para el modelamiento de 11 niveles en un suelo tipo S1:

En primer lugar, se hizo recolección de los datos del software ETABS versión 2016, del modelo estructural de base fija de 11 niveles:

- Período de edificación de base empotrada: **T = 0.805 seg.**
- Peso de la superestructura (Considerando la combinación igual a **1.6CM + 1.25CV**): **Ps.superestructura = 5094.67 tonf**
- Peso de la superestructura contando el sistema de aislamiento (Considerando la combinación igual a **1.6CM + 1.25CV**): **Ps.total = 5610.32 tonf**
- Peso de la superestructura contando el sistema de aislamiento (Considerando la combinación igual a **CM + 0.25CV**): **Pa = 3193.65 tonf**
- Número de aisladores: **N°aisladores = 25**
- Peso total en cada aislador: **Ps.total.aislador = 224.41 tonf**
- Excentricidad total:

$$e = \text{excentricidad real} + \text{excentricidad accidental}$$

Dónde:

$$\text{Excentricidad accidental} = 5\% * \text{Longitud más larga} = 0.05 * 16\text{m} = 0.8\text{m}$$

- Dimensiones en planta del modelo estructural:

$$b = 16 \text{ m}$$

$$d = 16 \text{ m}$$

Posteriormente, se tomó un tipo de aislador LRB de acuerdo al catálogo de la BRIDSTONE, de los cuales se extrajeron parámetros requeridos para el diseño de los aisladores.

Tipo de aislador elastomérico: LT090G4 (H)

- Espesor de una capa de goma: **tr** = 6.0 mm
- Número de capas de goma: **Ncapas.de.goma** = 42
- Altura total de la goma: **hr** = 252 mm
- Altura total del aislador: **H** = 504.4 mm
- Módulo aparente de corte del plomo: **α_p** = 0.583 N/mm²
- Peso del aislador: **Waislador** = 18 kN
- Diámetro exterior del aislador: **Dep** = 900 mm
- Área efectiva en el plano: **Aep** = 604800 mm²
- Diámetro efectivo del núcleo de plomo: **De.núcleo** = 200 mm
- Esfuerzo de corte en fluencia del núcleo de plomo: **σ_{pb}** = 7.967 N/mm²
- Módulo de corte de la goma: **Gr** = 0.385 N/mm²
- Factor de corrección del módulo de Young por rugosidad: **k** = 0.85
- Módulo de Young: **E** = 2.20 N/mm²
- Módulo volumétrico: **Em** = 1176 N/mm²

Diseño de aisladores:

1ro. Se calculó la ordenada del espectro elástico de pseudo aceleraciones correspondiente al sismo máximo (SaM), con la siguiente fórmula:

$$S_{aM} := 1.5 \cdot Z \cdot S \cdot C =$$

Dónde:

Z: Factor de zonificación, en función de la gravedad. (Z=0.45g)

S: Factor de suelo. (S=1.0)

C: Factor de amplificación sísmica. (Para un periodo aislado, T aislado, el C resulta igual a 0.41, esto según la Norma Técnica Peruana E.031)

2do. Se estableció un periodo objetivo: T aislado (donde: T base aislada > 3 * T base fija) y una razón amortiguamiento efectivo del sistema de aislamiento β_M .

T aislado = 2.42 seg

$\beta_M = 15\%$, con lo cual, según la tabla 00 del Anexo 00, nos da un factor de amortiguamiento igual a: **B = 1.38**

3ero. Se calculó el desplazamiento máximo para el sistema aislado (DM), tal como lo indica la Norma Técnica Peruana E.031:

$$D_M := \frac{g \cdot S_{aM} \cdot T_{aislado}^2}{4 \cdot \pi^2 \cdot B} = 0.2933 \text{ m}$$

4to. Con ello se calculó el desplazamiento total máximo para el sistema aislado (DTM), tal como lo indica la Norma Técnica Peruana E.031:

$$D_{TM} := \max \left(D_M \cdot \left(1 + \left(\frac{y}{P_T^2} \right) \cdot \frac{12 \cdot e}{b^2 + d^2} \right), 1.15 \cdot D_M \right) = 0.337 \text{ m}$$

Donde:

$$y = d/2 = 8\text{m}$$

PT: Razón entre el periodo traslacional efectivo del sistema de aislamiento y el periodo rotacional efectivo del sistema de aislamiento, calculado mediante un análisis dinámico:

$$P_T := \frac{T_{base,fija,y}}{T_{base,fija,z}} = 1.342$$

Además: DTM > 1.15 DM

5to. Se realizó la comprobación por deformación por corte, para el prototipo escogido de aislador:

- Deformación por corte debido a la deformación:

$$\gamma_D := \frac{D_{TM}}{h_r} = 1.338$$

Dónde: $\gamma_D \leq 2.5$, por lo tanto cumple.

- Deformación por corte debido a compresión:

$$\gamma_C := \frac{6 \cdot P_{S.total.aislador} \cdot S}{E_c \cdot A_R} = 0.46$$

Dónde:

S: Factor de forma del aislador.

$$S := \frac{A_{goma}}{\pi \cdot D_e \cdot t_r} = 34.66$$

Eo: Módulo de elasticidad. (f = 4).

$$E_o := f \cdot G_r = 1540 \frac{kN}{m^2}$$

Ec: Módulo de compresión.

$$E_c := E_o \cdot (1 + 2 \cdot k \cdot S^2) = 3147380.84 \frac{kN}{m^2}$$

AR: Área reducida.

$$A_R := A_{ep} \cdot 2 \cdot \frac{D_e^2 \cdot \arcsin\left(\frac{\sqrt{D_e^2 - D_{TM}^2}}{D_e}\right) - D_{TM} \cdot \sqrt{D_e^2 - D_{TM}^2}}{\pi \cdot D_e^2} = 316288 \text{ mm}^2$$

- Deformación por corte debido a deformación angular:

$$\gamma_\theta := \frac{0.375 \cdot D_e^2 \cdot \theta}{t_r \cdot h_r} = 0.573$$

Dónde:

De: Diámetro del aislador sin contar la cobertura de caucho exterior, según la Norma Técnica Peruana E.031.

$$D_e := \sqrt{\frac{4 \cdot A_{ep}}{\pi}} = 877.528 \text{ mm}$$

$\theta := 0.003 \text{ rad}$, recomendación de la Norma Técnica Peruana E.031

- Deformación total por corte

$$\gamma := \gamma_D + \gamma_C + 0.5 \cdot \gamma_\theta = 2.08$$

Dónde: $\gamma \leq 6$, por lo tanto el aislador seleccionado cumple.

6to. Se determinó la rigidez vertical efectiva del sistema de aislamiento (K_v), con la siguiente expresión:

$$K_v := \alpha_v \cdot E_c \cdot \frac{A_{ep} + A_{e.núcleo}}{h_r} = 2894754.137 \frac{kN}{m}$$

7mo. Se determinó el amortiguamiento efectivo del sistema de aislamiento (C_v), con la siguiente expresión:

$$C_v := 2.5\% \cdot \sqrt{K_v \cdot \frac{P_a}{g}} = 2403.751 \frac{kN \cdot s}{m}$$

8vo. Deformación por corte tomando en cuenta el DM

$$\gamma := \frac{D_M}{h_r} = 116\%$$

9no. Se determinó la resistencia característica del sistema de aislamiento (Q_d), con la siguiente fórmula:

$$Q_d := C_{Qd} \cdot \sigma_{pb} \cdot A_{e.núcleo} = 150.174 \text{ kN}$$

Dónde:

C_{Qd} = Factor de corrección a la rigidez post-fluencia.

$$C_{Qd} := \begin{cases} \text{if } \gamma \leq 0.1 & \\ \quad || 2.036 \cdot \gamma^{0.41} & \\ \text{else} & \\ \quad || \text{if } \gamma \geq 0.5 & \\ \quad \quad || 1 & \\ \quad \quad \text{else} & \\ \quad \quad \quad || 1.106 \cdot \gamma^{0.145} & \end{cases} = 1$$

σ_{pb} = Esfuerzo de corte en fluencia del núcleo de plomo modificado
= **0.6* σ_{pb}** .

A_{e.núcleo}: Área efectiva del núcleo de plomo.

$$A_{e.núcleo} := \frac{\pi \cdot D_{e.núcleo}^2}{4} = 31415.927 \text{ mm}^2$$

10mo. Se determinó la rigidez post fluencia (K_d), con la siguiente fórmula:

$$K_d := C_{kd} \cdot (K_r + K_p) = 782.96 \frac{kN}{m}$$

Dónde:

Ckd: Factor de corrección a la rigidez post – fluencia.

$$C_{kd} := \begin{cases} \text{if } \gamma \leq 0.25 \\ \quad \left| \left| 0.779 \cdot \gamma^{-0.43} \right| \right| \\ \text{else} \\ \quad \left| \left| \begin{cases} \text{if } 0.25 \leq \gamma < 1 \\ \quad \left| \left| \gamma^{-0.25} \right| \right| \\ \text{else} \\ \quad \left| \left| \begin{cases} \text{if } 1 \leq \gamma < 2.5 \\ \quad \left| \left| \gamma^{-0.12} \right| \right| \end{cases} \right| \right| \end{cases} \right| \end{cases} = 0.982$$

Kr: Rigidez al corte de la goma laminada.

$$K_r := \left(\frac{G_r \cdot A_{ep}}{h_r} \right) \cdot \gamma_m = 739.2 \frac{kN}{m}$$

Kp: Rigidez al corte adicional por núcleo de plomo.

$$K_p := \left(\frac{\alpha_p \cdot A_{e.núcleo}}{h_r} \right) \cdot \gamma_m = 58.14 \frac{kN}{m}$$

11vo. Se determinó la rigidez efectiva del sistema de aislamiento (Keff), con la siguiente expresión:

$$K_{eff} := \frac{Q_d}{D_M} + K_d = 1295.004 \frac{kN}{m}$$

12vo. Se determinó el amortiguamiento efectivo (Aeff), con la siguiente fórmula:

$$A_\zeta := 2 \cdot (H_{eq} - 0.05) \cdot \sqrt{K_{eq} \cdot M_{aislador}} = 202.698 \frac{kN \cdot s}{m}$$

Dónde:

Heq: Relación de amortiguamiento equivalente.

$$H_{eq} := \frac{2}{\pi} \cdot \frac{Q_d \cdot \left(\gamma \cdot h_r - \frac{Q_d}{(\beta - 1) \cdot K_d} \right)}{K_{eq} \cdot (\gamma \cdot h_r)^2} = 0.353$$

MS: Masa sísmica total.

$$M_S := \frac{P_{S.total}}{g} = 5610.317 \frac{s^2}{m} \cdot kN$$

MS.aislador: Masa sísmica total por aislador

$$M_{aislador} := \frac{M_S}{N_{aisladores}} = 224.413 \frac{kN \cdot s^2}{m}$$

11vo. Se determinó la rigidez inicial (K_1), con la siguiente fórmula:

$$K_1 := \beta \cdot K_d = 10178.476 \frac{kN}{m}$$

Dónde:

$\beta = 13$ (según recomendación del catálogo de la BRIDGESTONE)

12vo. Se determinó el desplazamiento de fluencia (D_y), con la siguiente fórmula:

$$D_y := \frac{Q_d}{(K_1 - K_d)} = 47.95 \text{ mm}$$

13vo. Se calculó el esfuerzo de fluencia (f_y), con la siguiente formula:

$$f_y := Q_d + (K_d \cdot D_y) = 488.07 \text{ kN}$$

14vo. Finalmente se calculó la relación de a la rigidez post fluencia, con la siguiente fórmula:

$$\frac{K_d}{K_1} = 0.077$$

Posteriormente, se tomó un tipo de aislador HDR de acuerdo al catálogo de la BRIDSTONE, de los cuales se extrajeron parámetros requeridos para el diseño de los aisladores.

Tipo de aislador elastomérico: HT110X4S

- Espesor de una capa de goma: **tr** = 8.0 mm
- Número de capas de goma: **Ncapas.de.goma** = 31
- Altura total de la goma: **hr** = 248 mm
- Altura total del aislador: **H** = 460 mm

- Peso del aislador: **Waislador** = 26.2 kN
- Diámetro exterior del aislador: **Dep** = 1200 mm
- Área efectiva en el plano: **Aep** = 11286000 mm²
- Módulo de corte de la goma: **Gr** = 0.392 N/mm²
- Factor de corrección del módulo de Young por rugosidad: **k** = 1.00
- Módulo de Young: **E** = 6.20 N/mm²
- Módulo volumétrico: **Em** = 1300 N/mm²

Diseño de aisladores:

1ro. Se calculó la ordenada del espectro elástico de pseudo aceleraciones correspondiente al sismo máximo (SaM), con la siguiente fórmula:

$$S_{aM} := 1.5 \cdot Z \cdot S \cdot C = 0.28 \text{ g}$$

Dónde:

Z: Factor de zonificación, en función de la gravedad. (Z=0.45g)

S: Factor de suelo. (S=1.0)

C: Factor de amplificación sísmica. (Para un periodo aislado, T aislado, el C resulta igual a 0.41, esto según la Norma Técnica Peruana E.031)

2do. Se estableció un periodo objetivo: T aislado (donde: T base aislada > 3 * T base fija) y una razón amortiguamiento efectivo del sistema de aislamiento βM .

T aislado = 2.42 seg

βM = 10%, con lo cual, según la tabla 00 del Anexo 00, nos da un factor de amortiguamiento igual a: **B** = 1.21

3ero. Se calculó el desplazamiento máximo para el sistema aislado (DM), tal como lo indica la Norma Técnica Peruana E.031:

$$D_M := \frac{g \cdot S_{aM} \cdot T_{aislado}^2}{4 \cdot \pi^2 \cdot B} = 0.3343 \text{ m}$$

4to. Con ello se calculó el desplazamiento total máximo para el sistema aislado (DTM), tal como lo indica la Norma Técnica Peruana E.031:

$$D_{TM} := \max \left(D_M \cdot \left(1 + \left(\frac{y}{P_T^2} \right) \cdot \frac{12 \cdot e}{b^2 + d^2} \right), 1.15 \cdot D_M \right) = 0.384 \text{ m}$$

Dónde:

$$y = d/2 = 8\text{m}$$

PT: Razón entre el periodo traslacional efectivo del sistema de aislamiento y el periodo rotacional efectivo del sistema de aislamiento, calculado mediante un análisis dinámico:

$$P_T := \frac{T_{base, fija, y}}{T_{base, fija, z}} = 1.342$$

Además: DTM > 1.15 DM

5to. Se realizó la comprobación por deformación por corte, para el prototipo escogido de aislador:

- Deformación por corte debido a la deformación:

$$\gamma_D := \frac{D_{TM}}{h_r} = 1.55$$

Donde: $\gamma_D \leq 2.5$, por lo tanto cumple.

- Deformación por corte debido a compresión:

$$\gamma_C := \frac{6 \cdot P_{S, total, aislador} \cdot S}{E_c \cdot A_R} = 0.166$$

Donde:

S: Factor de forma del aislador.

$$S := \frac{A_{goma}}{\pi \cdot D_e \cdot t_r} = 37.46$$

Eo: Módulo de elasticidad. (f = 4).

$$E_o := f \cdot G_r = 1568 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Ec: Módulo de compresión.

$$E_c := E_o \cdot (1 + 2 \cdot k \cdot S^2) = 4402313.585 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

AR: Área reducida.

$$A_R := A_{ep} \cdot 2 \cdot \frac{D_e^2 \cdot \arcsin\left(\frac{\sqrt{D_e^2 - D_{TM}^2}}{D_e}\right) - D_{TM} \cdot \sqrt{D_e^2 - D_{TM}^2}}{\pi \cdot D_e^2} = 675737.195 \text{ mm}^2$$

- Deformación por corte debido a deformación angular:

$$\gamma_\theta := \frac{0.375 \cdot D_e^2 \cdot \theta}{t_r \cdot h_r} = 0.815$$

Dónde:

De: Diámetro del aislador sin contar la cobertura de caucho exterior, según la Norma Técnica Peruana E.031.

$$D_e := \sqrt{\frac{4 \cdot A_{ep}}{\pi}} = 1199 \text{ mm}$$

$\theta := 0.003 \text{ rad}$, recomendación de la Norma Técnica Peruana E.031

- Deformación total por corte

$$\gamma := \gamma_D + \gamma_C + 0.5 \cdot \gamma_\theta = 2.12$$

Dónde: $\gamma \leq 6$, por lo tanto el aislador seleccionado cumple.

6to. Se determinó la rigidez vertical efectiva del sistema de aislamiento (K_v), con la siguiente expresión:

$$K_v := E_c \cdot \frac{A_{ep}}{h_r} = 5504928.55 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

7mo. Se determinó el amortiguamiento efectivo del sistema de aislamiento (C_v), con la siguiente expresión:

$$C_v := 2.5\% \cdot \sqrt{K_v \cdot \frac{P_a}{g}} = 3314.816 \text{ kN} \cdot \frac{\text{s}}{\text{m}}$$

8vo. Deformación por corte tomando en cuenta el DM

$$\gamma := \frac{D_M}{h_r} = 135\%$$

9no. Se determinó la rigidez efectiva del sistema de aislamiento (K_{eq}), con la siguiente expresión:

$$K_{eq} := \left(\frac{G_{eq} \cdot A_{goma}}{h_r} \right) \gamma_m = 1224.784 \frac{kN}{m}$$

Dónde:

Geq: Factor de corte.

$$G_{eq} := (0.054 \cdot \gamma^4 - 0.416 \cdot \gamma^3 + 1.192 \cdot \gamma^2 - 1.583 \cdot \gamma + 1.145) \frac{N}{mm^2} = 0.336 \frac{N}{mm^2}$$

Agoma: Área de la goma.

$$A_{goma} := A_{ep} = 1.129 m^2$$

10mo. Se determinó la resistencia característica del sistema de aislamiento (Qd), con la siguiente formula:

$$Q_d := u \cdot K_{eq} \cdot h_r \cdot \gamma = 169.945 kN$$

Dónde:

u = Factor de corrección a la rigidez post-fluencia.

$$u := -0.0132 \cdot \gamma^3 + 0.0401 \cdot \gamma^2 - 0.0190 \cdot \gamma + 0.4001 = 0.415$$

11vo. Se determinó el amortiguamiento efectivo (Aeff), con la siguiente fórmula:

$$A_{\xi} := \frac{\Delta_w \cdot T_{ef}}{2 \cdot \pi^2 \cdot D_M^2} = 254.862 \frac{kN \cdot s}{m}$$

Dónde:

Δw: Energía por ciclo.

$$\Delta_w := (2 \cdot \pi \cdot K_{eq} \cdot H_{eq} \cdot D_M^2) = 209080.176 kN \cdot mm$$

MS: Masa sísmica total.

$$M_S := \frac{P_{S,total}}{g} = 5610.317 \frac{s^2}{m} \cdot kN$$

MS.aislador: Masa sísmica total por aislador

$$M_{aislador} := \frac{M_S}{N_{aisladores}} = 224.413 \frac{kN \cdot s^2}{m}$$

Tef: Periodo efectivo.

$$T_{ef} := 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{M_{aislador}}{K_{eq}}} = 2.69 \text{ s}$$

12vo. Se determinó la rigidez inicial (K_1), con la siguiente fórmula:

$$K_1 := 10 \cdot K_d = 7164.707 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Dnde:

Kd: Rigidez post-fluencia.

$$K_d := K_{eq} \cdot (1 - u) = 716.471 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

13vo. Se determinó el desplazamiento de fluencia (D_y), con la siguiente fórmula:

$$D_y := \frac{Q_d}{(K_1 - K_d)} = 26.36 \text{ mm}$$

14vo. Se calculó el esfuerzo de fluencia (f_y), con la siguiente formula:

$$f_y := Q_d + (K_d \cdot D_y) = 188.83 \text{ kN}$$

15vo. Finalmente se calculó la relación de a la rigidez post fluencia, con la siguiente fórmula:

$$\frac{K_d}{K_1} = 0.1$$

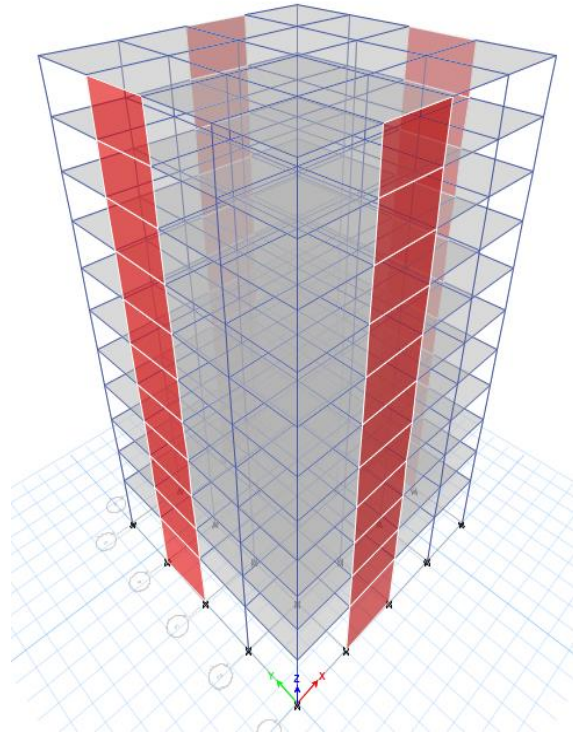


Figura 25. Modelo estructural de 11 niveles, de base fija, en una vista 3D, obtenidas del software ETABS versión 2016.

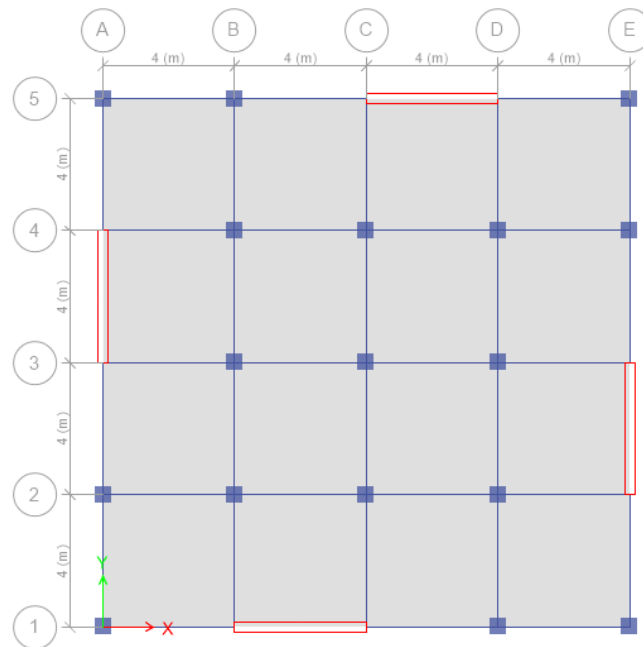


Figura 26. Modelo estructural de 11 niveles, de base fija, en una vista en planta, obtenidas del software ETABS versión 2016.

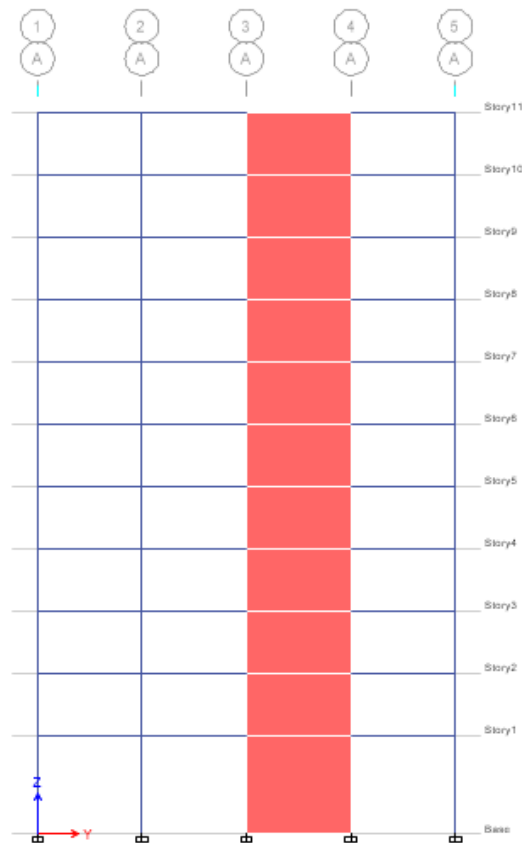


Figura 27. Modelo estructural de 11 niveles, de base fija, en una vista en elevación, obtenidas del software ETABS versión 2016.

3.8.5.3 Modelamiento estructural para base aislada

3.8.5.3.1 Diseño de aislador

Para realizar el diseño de los aisladores elastoméricos del modelo estructural con base aislada, se calcularon algunos parámetros de acuerdo a los obtenidos en los modelos estructurales con base fija. Como referencia, se muestra el desarrollo a seguir para el modelamiento de 11 niveles en un suelo tipo S1:

En primer lugar, se hizo recolección de los datos del software ETABS versión 2016, del modelo estructural de base fija de 11 niveles:

- Período de edificación de base empotrada: **T = 0.805 seg.**
- Peso de la superestructura (Considerando la combinación igual a **1.6CM + 1.25CV**): **Ps.superestructura = 5094.67 tonf**

- Peso de la superestructura contando el sistema de aislamiento (Considerando la combinación igual a **1.6CM + 1.25CV**): **Ps.total = 5610.32 tonf**

- Peso de la superestructura contando el sistema de aislamiento (Considerando la combinación igual a **CM + 0.25CV**): **Pa = 3193.65 tonf**

- Número de aisladores: **N°aisladores = 25**

- Peso total en cada aislador: **Ps.total.aislador = 224.41 tonf**

- Excentricidad total: **e = excentricidad real + excentricidad accidental**

Donde:

Excentricidad accidental = 5% * Longitud más larga = 0.05

* 16m = 0.8m

- Dimensiones en planta del modelo estructural:

b = 16 m

d = 16 m

Posteriormente, se tomó un tipo de aislador LRB de acuerdo al catálogo de la BRIDSTONE, de los cuales se extrajeron parámetros requeridos para el diseño de los aisladores.

Tipo de aislador elastomérico: LT090G4 (H)

- Espesor de una capa de goma: **tr = 6.0 mm**
- Número de capas de goma: **Ncapas.de.goma = 42**
- Altura total de la goma: **hr = 252 mm**
- Altura total del aislador: **H = 504.4 mm**
- Módulo aparente de corte del plomo: **$\alpha_p = 0.583 \text{ N/mm}^2$**
- Peso del aislador: **Waislador = 18 kN**
- Diámetro exterior del aislador: **Dep = 900 mm**
- Área efectiva en el plano: **Aep = 604800 mm²**
- Diámetro efectivo del núcleo de plomo: **De.núcleo = 200 mm**
- Esfuerzo de corte en fluencia del núcleo de plomo: **$\sigma_{pb} = 7.967 \text{ N/mm}^2$**
- Módulo de corte de la goma: **Gr = 0.385 N/mm²**

- Factor de corrección del módulo de Young por rugosidad:
 $k = 0.85$
- Módulo de Young: $E = 2.20 \text{ N/mm}^2$
- Módulo volumétrico: $E_m = 1176 \text{ N/mm}^2$

Diseño de aisladores:

1ro. Se calculó la ordenada del espectro elástico de pseudo aceleraciones correspondiente al sismo máximo (SaM), con la siguiente fórmula:

$$S_{aM} := 1.5 \cdot Z$$

Donde:

Z: Factor de zonificación, en función de la gravedad. ($Z=0.45g$)

S: Factor de suelo. ($S=1.0$)

C: Factor de amplificación sísmica. (Para un periodo aislado, T aislado, el C resulta igual a 0.41, esto según la Norma Técnica Peruana E.031)

2do. Se estableció un periodo objetivo: T aislado (donde: T base aislada $> 3 \cdot T$ base fija) y una razón amortiguamiento efectivo del sistema de aislamiento β_M .

T aislado = 2.42 seg

$\beta_M = 15\%$, con lo cual, según la tabla 00 del Anexo 00, nos da un factor de amortiguamiento igual a: **$B = 1.38$**

3ero. Se calculó el desplazamiento máximo para el sistema aislado (DM), tal como lo indica la Norma Técnica Peruana E.031:

$$D_M := \frac{g \cdot S_{aM} \cdot T_{\text{aislado}}^2}{4 \cdot \pi^2 \cdot B} = 0.2933 \text{ m}$$

4to. Con ello se calculó el desplazamiento total máximo para el sistema aislado (DTM), tal como lo indica la Norma Técnica Peruana E.031:

$$D_{TM} := \max \left(D_M \cdot \left(1 + \left(\frac{y}{P_T^2} \right) \cdot \frac{12 \cdot e}{b^2 + d^2} \right), 1.15 \cdot D_M \right) = 0.337 \text{ m}$$

Donde:

$$y = d/2 = 8\text{m}$$

PT: Razón entre el periodo traslacional efectivo del sistema de aislamiento y el periodo rotacional efectivo del sistema de aislamiento, calculado mediante un análisis dinámico:

$$P_T := \frac{T_{base.fija.y}}{T_{base.fija.z}} = 1.342$$

Además: DTM > 1.15 DM

5to. Se realizó la comprobación por deformación por corte, para el prototipo escogido de aislador:

- Deformación por corte debido a la deformación:

$$\gamma_D := \frac{D_{TM}}{h_r} = 1.338$$

Donde: $\gamma_D \leq 2.5$, por lo tanto cumple.

- Deformación por corte debido a compresión:

$$\gamma_C := \frac{6 \cdot P_{S.total.aislador} \cdot S}{E_c \cdot A_R} = 0.46$$

Donde:

S: Factor de forma del aislador.

$$S := \frac{A_{goma}}{\pi \cdot D_e \cdot t_r} = 34.66$$

Eo: Módulo de elasticidad. (f = 4).

$$E_o := f \cdot G_r = 1540 \frac{kN}{m^2}$$

Ec: Módulo de compresión.

$$E_c := E_o \cdot (1 + 2 \cdot k \cdot S^2) = 3147380.84 \frac{kN}{m^2}$$

AR: Área reducida.

$$A_R := A_{ep} \cdot 2 \cdot \frac{D_e^2 \cdot \arcsin\left(\frac{\sqrt{D_e^2 - D_{TM}^2}}{D_e}\right) - D_{TM} \cdot \sqrt{D_e^2 - D_{TM}^2}}{\pi \cdot D_e^2} = 316288 \text{ mm}^2$$

- Deformación por corte debido a deformación angular:

$$\gamma_{\theta} := \frac{0.375 \cdot D_e^2 \cdot \theta}{t_r \cdot h_r} = 0.573$$

Donde:

De: Diámetro del aislador sin contar la cobertura de caucho exterior, según la Norma Técnica Peruana E.031.

$$D_e := \sqrt{\frac{4 \cdot A_{ep}}{\pi}} = 877.528 \text{ mm}$$

$\theta := 0.003 \text{ rad}$, recomendación de la Norma Técnica Peruana E.031

- Deformación total por corte

$$\gamma := \gamma_D + \gamma_C + 0.5 \cdot \gamma_{\theta} = 2.08$$

Donde: $\gamma \leq 6$, por lo tanto el aislador seleccionado cumple.

6to. Se determinó la rigidez vertical efectiva del sistema de aislamiento (K_v), con la siguiente expresión:

$$K_v := \alpha_v \cdot E_c \cdot \frac{A_{ep} + A_{e.núcleo}}{h_r} = 2894754.137 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

7mo. Se determinó el amortiguamiento efectivo del sistema de aislamiento (C_v), con la siguiente expresión:

$$C_v := 2.5\% \cdot \sqrt{K_v \cdot \frac{P_a}{g}} = 2403.751 \frac{\text{kN} \cdot \text{s}}{\text{m}}$$

8vo. Deformación por corte tomando en cuenta el DM

$$\gamma := \frac{D_M}{h_r} = 116\%$$

9no. Se determinó la resistencia característica del sistema de aislamiento (Q_d), con la siguiente formula:

$$Q_d := C_{Qd} \cdot \sigma_{pb} \cdot A_{e.núcleo} = 150.174 \text{ kN}$$

Donde:

C_{Qd} = Factor de corrección a la rigidez post-fluencia.

$$C_{Qd} := \begin{cases} \text{if } \gamma \leq 0.1 & \\ \quad \left\| \begin{array}{l} 2.036 \cdot \gamma^{0.41} \\ \text{else} \\ \quad \left\| \begin{array}{l} \text{if } \gamma \geq 0.5 \\ \quad \left\| \begin{array}{l} 1 \\ \text{else} \\ \quad \left\| \begin{array}{l} 1.106 \cdot \gamma^{0.145} \end{array} \right\| \end{array} \right\| \end{array} \right\| \end{array} \end{cases} = 1$$

σ_{pb} = Esfuerzo de corte en fluencia del núcleo de plomo modificado
= $0.6 \cdot \sigma_{pb}$.

Ae.núcleo: Área efectiva del núcleo de plomo.

$$A_{e.núcleo} := \frac{\pi \cdot D_{e.núcleo}^2}{4} = 31415.927 \text{ mm}^2$$

10mo. Se determinó la rigidez post fluencia (Kd), con la siguiente fórmula:

$$K_d := C_{kd} \cdot (K_r + K_p) = 782.96 \frac{kN}{m}$$

Donde:

Ckd: Factor de corrección a la rigidez post – fluencia.

$$C_{kd} := \begin{cases} \text{if } \gamma \leq 0.25 & \\ \quad \left\| \begin{array}{l} 0.779 \cdot \gamma^{-0.43} \\ \text{else} \\ \quad \left\| \begin{array}{l} \text{if } 0.25 \leq \gamma < 1 \\ \quad \left\| \begin{array}{l} \gamma^{-0.25} \\ \text{else} \\ \quad \left\| \begin{array}{l} \text{if } 1 \leq \gamma < 2.5 \\ \quad \left\| \begin{array}{l} \gamma^{-0.12} \end{array} \right\| \end{array} \right\| \end{array} \right\| \end{array} \right\| \end{array} \end{cases} = 0.982$$

Kr: Rigidez al corte de la goma laminada.

$$K_r := \left(\frac{G_r \cdot A_{ep}}{h_r} \right) \cdot \gamma_m = 739.2 \frac{kN}{m}$$

Kp: Rigidez al corte adicional por núcleo de plomo.

$$K_p := \left(\frac{\alpha_p \cdot A_{e.núcleo}}{h_r} \right) \cdot \gamma_m = 58.14 \frac{kN}{m}$$

11vo. Se determinó la rigidez efectiva del sistema de aislamiento (K_{eff}), con la siguiente expresión:

$$K_{eff} := \frac{Q_d}{D_M} + K_d = 1295.004 \frac{kN}{m}$$

12vo. Se determinó el amortiguamiento efectivo (A_{eff}), con la siguiente fórmula:

$$A_{\xi} := 2 \cdot (H_{eq} - 0.05) \cdot \sqrt{K_{eq} \cdot M_{aislador}} = 202.698 \frac{kN \cdot s}{m}$$

Donde:

Heq: Relación de amortiguamiento equivalente.

$$H_{eq} := \frac{2}{\pi} \cdot \frac{Q_d \cdot \left(\gamma \cdot h_r - \frac{Q_d}{(\beta - 1) \cdot K_d} \right)}{K_{eq} \cdot (\gamma \cdot h_r)^2} = 0.353$$

MS: Masa sísmica total.

$$M_S := \frac{P_{S.total}}{g} = 5610.317 \frac{s^2}{m} \cdot kN$$

MS.aislador: Masa sísmica total por aislador

$$M_{aislador} := \frac{M_S}{N_{aisladores}} = 224.413 \frac{kN \cdot s^2}{m}$$

11vo. Se determinó la rigidez inicial (K_1), con la siguiente fórmula:

$$K_1 := \beta \cdot K_d = 10178.476 \frac{kN}{m}$$

Donde:

$\beta = 13$ (según recomendación del catálogo de la BRIDGESTONE)

12vo. Se determinó el desplazamiento de fluencia (D_y), con la siguiente fórmula:

$$D_y := \frac{Q_d}{(K_1 - K_d)} = 47.95 \text{ mm}$$

13vo. Se calculó el esfuerzo de fluencia (f_y), con la siguiente formula:

$$f_y := Q_d + (K_d \cdot D_y) = 488.07 \text{ kN}$$

14vo. Finalmente se calculó la relación de a la rigidez post fluencia, con la siguiente fórmula:

$$\frac{K_d}{K_1} = 0.077$$

Posteriormente, se tomó un tipo de aislador HDR de acuerdo al catálogo de la BRIDSTONE, de los cuales se extrajeron parámetros requeridos para el diseño de los aisladores.

Tipo de aislador elastomérico: HT110X4S

- Espesor de una capa de goma: **tr** = 8.0 mm
- Número de capas de goma: **Ncapas.de.goma** = 31
- Altura total de la goma: **hr** = 248 mm
- Altura total del aislador: **H** = 460 mm
- Peso del aislador: **Waislador** = 26.2 kN
- Diámetro exterior del aislador: **Dep** = 1200 mm
- Área efectiva en el plano: **Aep** = 11286000 mm²
- Módulo de corte de la goma: **Gr** = 0.392 N/mm²
- Factor de corrección del módulo de Young por rugosidad: **k** = 1.00
- Módulo de Young: **E** = 6.20 N/mm²
- Módulo volumétrico: **Em** = 1300 N/mm²

Diseño de aisladores:

1ro. Se calculó la ordenada del espectro elástico de pseudo aceleraciones correspondiente al sismo máximo (SaM), con la siguiente fórmula:

$$S_{aM} := 1.5 \cdot Z \cdot S \cdot C = 0.28 \text{ g}$$

Donde:

Z: Factor de zonificación, en función de la gravedad. (Z=0.45g)

S: Factor de suelo. (S=1.0)

C: Factor de amplificación sísmica. (Para un periodo aislado, T aislado, el C resulta igual a 0.41, esto según la Norma Técnica Peruana E.031)

2do. Se estableció un periodo objetivo: T aislado (donde: T base aislada $> 3 \cdot T$ base fija) y una razón amortiguamiento efectivo del sistema de aislamiento β_M .

$$T_{\text{aislado}} = 2.42 \text{ seg}$$

$\beta_M = 10\%$, con lo cual, según la tabla 00 del Anexo 00, nos da un factor de amortiguamiento igual a: $B = 1.21$

3ero. Se calculó el desplazamiento máximo para el sistema aislado (D_M), tal como lo indica la Norma Técnica Peruana E.031:

$$D_M := \frac{g \cdot S_{aM} \cdot T_{\text{aislado}}^2}{4 \cdot \pi^2 \cdot B} = 0.3343 \text{ m}$$

4to. Con ello se calculó el desplazamiento total máximo para el sistema aislado (D_{TM}), tal como lo indica la Norma Técnica Peruana E.031:

$$D_{TM} := \max \left(D_M \cdot \left(1 + \left(\frac{y}{P_T^2} \right) \cdot \frac{12 \cdot e}{b^2 + d^2} \right), 1.15 \cdot D_M \right) = 0.384 \text{ m}$$

Donde:

$$y = d/2 = 8 \text{ m}$$

PT: Razón entre el periodo traslacional efectivo del sistema de aislamiento y el periodo rotacional efectivo del sistema de aislamiento, calculado mediante un análisis dinámico:

$$P_T := \frac{T_{\text{base.fija.y}}}{T_{\text{base.fija.z}}} = 1.342$$

Además: $D_{TM} > 1.15 D_M$

5to. Se realizó la comprobación por deformación por corte, para el prototipo escogido de aislador:

- Deformación por corte debido a la deformación:

$$\gamma_D := \frac{D_{TM}}{h_r} = 1.55$$

Donde: $\gamma_D \leq 2.5$, por lo tanto cumple.

- Deformación por corte debido a compresión:

$$\gamma_C := \frac{6 \cdot P_{S,\text{total.aislador}} \cdot S}{E_c \cdot A_R} = 0.166$$

Donde:

S: Factor de forma del aislador.

$$S := \frac{A_{goma}}{\pi \cdot D_e \cdot t_r} = 37.46$$

Eo: Módulo de elasticidad. (f = 4).

$$E_o := f \cdot G_r = 1568 \frac{kN}{m^2}$$

Ec: Módulo de compresión.

$$E_c := E_o \cdot (1 + 2 \cdot k \cdot S^2) = 4402313.585 \frac{kN}{m^2}$$

AR: Área reducida.

$$A_R := A_{ep} \cdot 2 \cdot \frac{D_e^2 \cdot \arcsin\left(\frac{\sqrt{D_e^2 - D_{TM}^2}}{D_e}\right) - D_{TM} \cdot \sqrt{D_e^2 - D_{TM}^2}}{\pi \cdot D_e^2} = 675737.195 \text{ mm}^2$$

- Deformación por corte debido a deformación angular:

$$\gamma_\theta := \frac{0.375 \cdot D_e^2 \cdot \theta}{t_r \cdot h_r} = 0.815$$

Donde:

De: Diámetro del aislador sin contar la cobertura de caucho exterior, según la Norma Técnica Peruana E.031.

$$D_e := \sqrt{\frac{4 \cdot A_{ep}}{\pi}} = 1199 \text{ mm}$$

$\theta := 0.003 \text{ rad}$, recomendación de la Norma Técnica Peruana E.031

- Deformación total por corte

$$\gamma := \gamma_D + \gamma_C + 0.5 \cdot \gamma_\theta = 2.12$$

Donde: $\gamma \leq 6$, por lo tanto el aislador seleccionado cumple.

6to. Se determinó la rigidez vertical efectiva del sistema de aislamiento (Kv), con la siguiente expresión:

$$K_v := E_c \cdot \frac{A_{ep}}{h_r} = 5504928.55 \frac{kN}{m}$$

7mo. Se determinó el amortiguamiento efectivo del sistema de aislamiento (Cv), con la siguiente expresión:

$$C_v := 2.5\% \cdot \sqrt{K_v \cdot \frac{P_a}{g}} = 3314.816 \frac{kN \cdot s}{m}$$

8vo. Deformación por corte tomando en cuenta el DM

$$\gamma := \frac{D_M}{h_r} = 135\%$$

9no. Se determinó la rigidez efectiva del sistema de aislamiento (Keq), con la siguiente expresión:

$$K_{eq} := \left(\frac{G_{eq} \cdot A_{goma}}{h_r} \right) \gamma_m = 1224.784 \frac{kN}{m}$$

Donde:

Geq: Factor de corte.

$$G_{eq} := (0.054 \cdot \gamma^4 - 0.416 \cdot \gamma^3 + 1.192 \cdot \gamma^2 - 1.583 \cdot \gamma + 1.145) \frac{N}{mm^2} = 0.336 \frac{N}{mm^2}$$

Agoma: Área de la goma.

$$A_{goma} := A_{ep} = 1.129 m^2$$

10mo. Se determinó la resistencia característica del sistema de aislamiento (Qd), con la siguiente formula:

$$Q_d := u \cdot K_{eq} \cdot h_r \cdot \gamma = 169.945 kN$$

Donde:

u = Factor de corrección a la rigidez post-fluencia.

$$u := -0.0132 \cdot \gamma^3 + 0.0401 \cdot \gamma^2 - 0.0190 \cdot \gamma + 0.4001 = 0.415$$

11vo. Se determinó el amortiguamiento efectivo (Aeff), con la siguiente fórmula:

$$A_{\zeta} := \frac{\Delta_w \cdot T_{ef}}{2 \cdot \pi^2 \cdot D_M^2} = 254.862 \frac{kN \cdot s}{m}$$

Donde:

Δw : Energía por ciclo.

$$\Delta w := (2 \cdot \pi \cdot K_{eq} \cdot H_{eq} \cdot D_M^2) = 209080.176 \text{ kN} \cdot \text{mm}$$

MS: Masa sísmica total.

$$M_S := \frac{P_{S.total}}{g} = 5610.317 \frac{\text{s}^2}{\text{m}} \cdot \text{kN}$$

MS.aislador: Masa sísmica total por aislador

$$M_{aislador} := \frac{M_S}{N_{aisladores}} = 224.413 \text{ kN} \cdot \frac{\text{s}^2}{\text{m}}$$

T_{ef}: Periodo efectivo.

$$T_{ef} := 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{M_{aislador}}{K_{eq}}} = 2.69 \text{ s}$$

12vo. Se determinó la rigidez inicial (K1), con la siguiente fórmula:

$$K_I := 10 \cdot K_d = 7164.707 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Donde:

Kd: Rigidez post-fluencia.

$$K_d := K_{eq} \cdot (1 - u) = 716.471 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

13vo. Se determinó el desplazamiento de fluencia (Dy), con la siguiente fórmula:

$$D_y := \frac{Q_d}{(K_I - K_d)} = 26.36 \text{ mm}$$

14vo. Se calculó el esfuerzo de fluencia (fy), con la siguiente formula:

$$f_y := Q_d + (K_d \cdot D_y) = 188.83 \text{ kN}$$

15vo. Finalmente se calculó la relación de a la rigidez post fluencia, con la siguiente fórmula:

$$\frac{K_d}{K_I} = 0.1$$

Tabla 5. Resumen de los parámetros lineales y no lineales de los aisladores

<i>I RR</i>		
Parámetro	Magnitud	Unidad
Masa del aislador	1,835	Tonnef
Peso del aislador	18,000	kN
Rigidez efectiva vertical (Kv)	2894754,137	kN/m
Relación a la rigidez post fluencia K_d/K_l	0,077	-
Resistencia a la fluencia f_y	162,689	kN

Nº de Niveles	Tipo de Perfil	Amortiguamiento efectivo vertical C_v (kN*s/m)	Rigidez efectiva K_{eff} (kN/m)	Amort. Efectivo A_{eff} (kN*s/m)	Rigidez Inicial K_l (kN/m)
11	S1	2403,75	1295,004	256,607	10178,476
	S2		1150,957	211,188	9859,061
	S3		1009,619	163,282	9471,494
12	S1	2501,373	1274,351	260,524	10136,313
	S2		1150,957	219,802	9859,061
	S3		1009,619	169,941	9471,494
13	S1	2595,326	1274,351	270,349	10136,313
	S2		1150,957	228,090	9859,061
	S3		1009,619	176,350	9471,494
14	S1	2685,995	1274,351	279,828	10136,313
	S2		1150,957	236,088	9859,061
	S3		1009,619	182,534	9471,494
15	S1	2773,701	1274,351	288,997	10136,313
	S2		1150,957	243,824	9859,061
	S3		1009,619	188,515	9471,494
16	S1	2858,718	1274,351	297,884	10136,313
	S2		1150,957	251,322	9859,061
	S3		1009,619	194,312	9471,494
17	S1	2941,278	1274,351	306,513	10136,313
	S2		1150,957	258,602	9859,061
	S3		1009,619	199,940	9471,494
18	S1	3021,584	1274,351	314,906	10136,313
	S2		1150,957	265,683	9859,061
	S3		1009,619	205,415	9471,494
19	S1	3099,809	1274,351	323,081	10136,313
	S2		1150,957	272,580	9859,061
	S3		1009,619	210,748	9471,494
20	S1	3176,109	1274,351	331,054	10136,313
	S2		1150,957	279,307	9859,061
	S3		1009,619	215,949	9471,494

Tabla 6. Resumen de los parámetros lineales y no lineales de los aisladores HDR.

Parámetro	Magnitud	Unidad
Masa del aislador	2,672	Tonnef
Peso del aislador	26,200	kN
Rigidez efectiva vertical (Kv)	5504928,55	kN/m
Relación a la rigidez post fluencia Kd/KI	0.100	-

Nº de Niveles	Tipo de Perfil	Amortiguamiento efectivo vertical C_v (kN*s/m)	Rigidez efectiva K_{eff} (kN/m)	Amort. Efectivo A_{eff} (kN*s/m)	Rigidez Inicial KI (kN/m)	Resistencia a la fluencia f_y (kN)
11	S1	2403,75	1224,784	254,862	7164,707	188,827
	S2		1097,938	242,188	6379,995	222,857
	S3		907,083	208,288	5444,719	245,42
12	S1	2501,373	1206,885	263,638	7050,558	192,98
	S2		1097,938	252,066	6379,995	222,857
	S3		907,083	216,783	5444,719	245,42
13	S1	2595,326	1206,885	273,58	7050,558	192,98
	S2		1097,938	261,572	6379,995	222,857
	S3		907,083	224,958	5444,719	245,42
14	S1	2685,995	1206,885	283,173	7050,558	192,98
	S2		1097,938	270,744	6379,995	222,857
	S3		907,083	232,846	5444,719	245,42
15	S1	2773,701	1206,885	292,452	7050,558	192,98
	S2		1097,938	279,615	6379,995	222,857
	S3		907,083	240,476	5444,719	245,42
16	S1	2858,718	1206,885	301,445	7050,558	192,98
	S2		1097,938	288,213	6379,995	222,857
	S3		907,083	247,871	5444,719	245,42
17	S1	2941,278	1206,885	310,177	7050,558	192,98
	S2		1097,938	296,563	6379,995	222,857
	S3		907,083	255,051	5444,719	245,42
18	S1	3021,584	1206,885	318,67	7050,558	192,98
	S2		1097,938	304,683	6379,995	222,857
	S3		907,083	262,035	5444,719	245,42
19	S1	3099,809	1206,885	326,943	7050,558	192,98
	S2		1097,938	312,593	6379,995	222,857
	S3		907,083	268,837	5444,719	245,42
20	S1	3176,109	1206,885	335,011	7050,558	192,98
	S2		1097,938	320,307	6379,995	222,857
	S3		907,083	275,472	5444,719	245,42

3.8.5.3.2 Modelamiento estructural con base aislada

Después de haberse hecho el diseño del aislador, se realizó el modelamiento estructural de los edificios con base aislado, en el software ETABS versión 2016, ingresando las propiedades de cada tipo de aislador y las propiedades del concreto:

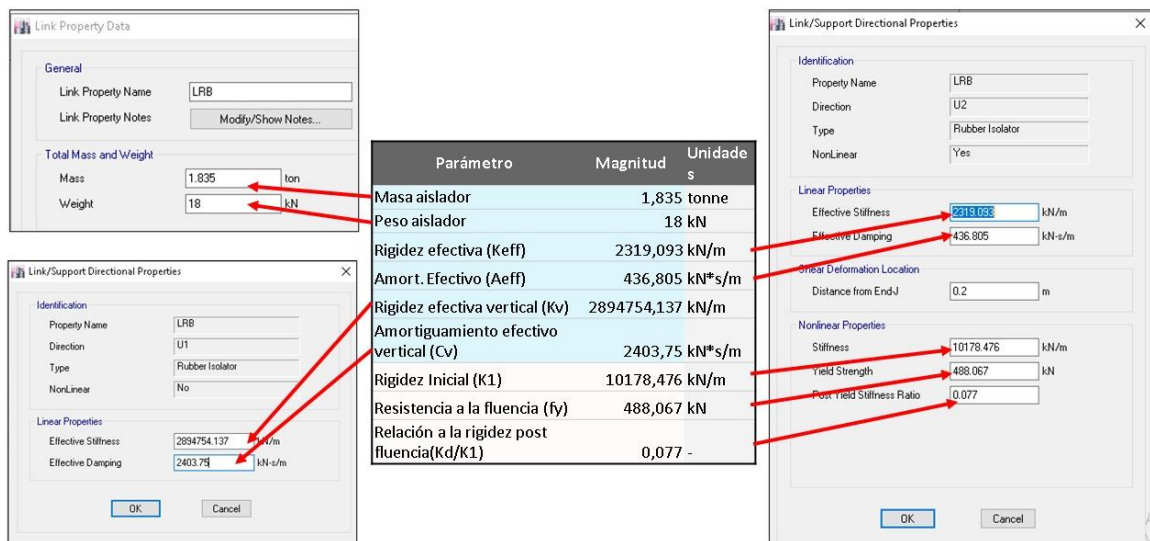


Figura 28. Colocación de los parámetros de cada aislador (LRB y HDR), en el software ETABS versión 2016.

Propiedades del concreto:

$\gamma = 2.4 \text{ tonf} / \text{m}^3$ (Peso específico del concreto armado)

$f'c = 210 \text{ kgf/cm}^2$ (Resistencia a la compresión del concreto)

$E_c = 15000 * \text{raíz}(f'c)$ (Módulo de elasticidad del concreto)

$E_c = 15000 * \text{raíz}(210) = 217370.6512 \text{ kgf/cm}$

Además, se consideró las dimensiones obtenidas en el apartado 3.4.3 (Predimensionamiento). Las Figuras 29,30 y 31; muestran respectivamente la vista en 3D, la vista en planta y la vista en elevación del modelamiento para un edificio de 11 pisos de base aislada. Posteriormente este modelamiento se repitió para los siguientes edificios de diferentes niveles (12, 13, 14, 15, 16, 17,

18, 19 y 20 niveles), añadiendo solamente el piso típico, como también las propiedades para cada tipo de aislador (LRB y HDR). Obteniendo así los periodos de vibración para cada modelo estructural con base aislada usando aisladores LRB y HDR (**Ver Tabla 48 del Anexo 11**).

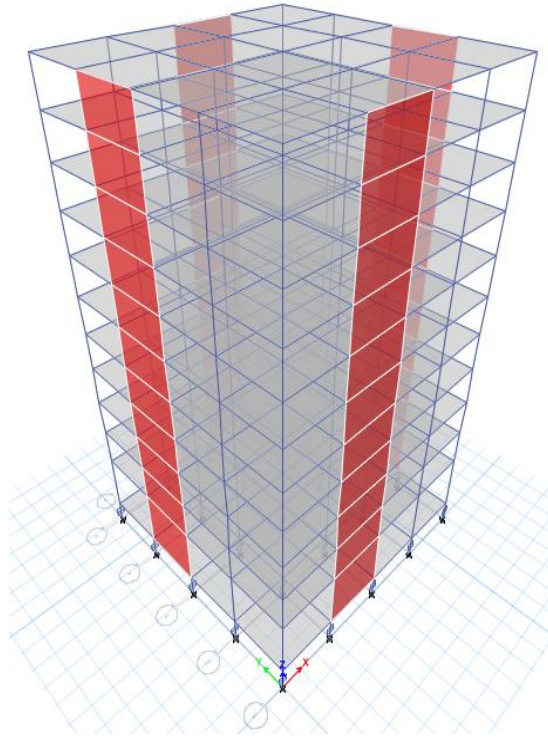


Figura 29. Modelo estructural de 11 niveles, de base aislada, en una vista en 3D, obtenidas del software ETABS versión 2016.

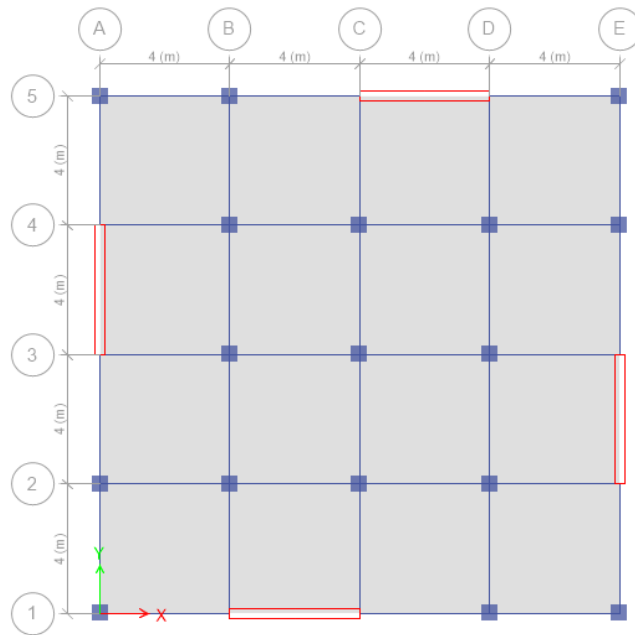


Figura 30. Modelo estructural de 11 niveles, de base aislada, en una vista en planta, obtenidas del software ETABS versión 2016.

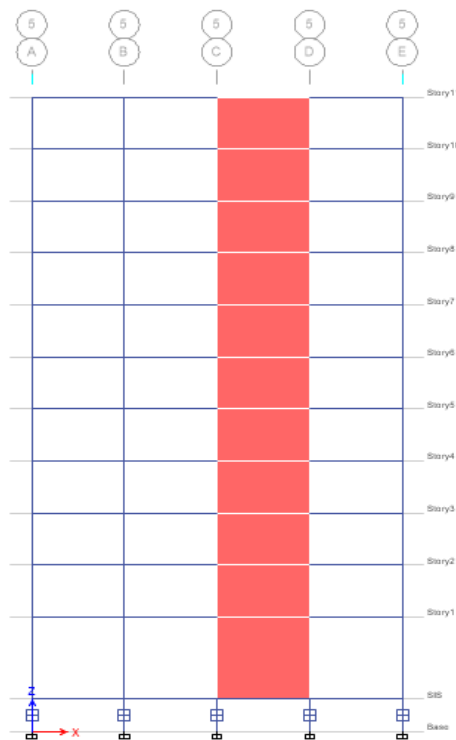


Figura 31. Modelo estructural de 11 niveles, de base aislada, en una vista en elevación, obtenidas del software ETABS versión 2016.

3.8.6 Análisis sísmico

3.8.6.1 Análisis sísmico para modelo estructural de base fija

Se realizó el análisis estático o de fuerzas equivalentes en el software ETABS versión 2016, para cada modelo estructural de base fija, y como referencia, se muestra el desarrollo a seguir para el modelamiento de 11 niveles en un suelo tipo S1, S2 y S3, en el cual se ingresaron fuerzas estáticas en ambas direcciones (SEX y SEY), usando las siguientes fórmulas:

C = Z x U x C x S / R (Coeficiente de la cortante basal)

k = 1.0, para **T** menor o igual a 0.5 segundos.

k = (0.75 + 0.5T) <= 2.0, para **T** mayor que 0.5 segundos.

Donde:

Z: Factor de zonificación, en función de la gravedad.

U: Factor Uso.

S: Factor de suelo.

C: Factor de amplificación sísmica. De acuerdo al inciso 2.2.5 del marco teórico, se tienen las siguientes fórmulas:

$$T < T_P \quad C = 2,5$$

$$T_P < T < T_L \quad C = 2,5 \cdot \frac{T_P}{T_L}$$

$$T > T_L \quad C = 2,5 \cdot \frac{T_P \cdot T_L}{T^2}$$

R: Factor de reducción sísmica.

Para el caso de todos los modelos estructurales se tomaron como parámetros fijos las siguientes variables:

Z=0.45g (Z4)

U = 1.0 (de uso común, para viviendas)

R = 6 (para un sistema de muros estructurales)

Para el Suelo S1, se obtuvieron los valores de los siguientes parámetros:

S1=1.0 (Perfil tipo S1)

T_p = 0.4 seg

T_L = 2.5 seg

El cual para el modelo estructural de 11 niveles con base fija se tuvo un periodo **T** = 0.805 seg, resultando el valor de **C** igual a 1.242236.

Para el Suelo S2, se obtuvieron los valores de los siguientes parámetros:

S₂=1.05 (Perfil tipo S2)

T_p = 0.6 seg

T_L = 2.0 seg

El cual para el modelo estructural de 11 niveles con base fija se tuvo un periodo **T** = 0.805 seg, resultando el valor de **C** igual a 1.863354.

Para el Suelo S3, se obtuvieron los valores de los siguientes parámetros:

S₃=1.10 (Perfil tipo S3)

T_p = 1.0 seg

T_L = 1.6 seg

El cual para el modelo estructural de 11 niveles con base fija se tuvo un periodo **T** = 0.805 seg, resultando el valor de **C** igual a 2.500000.

Posteriormente, se realizó el análisis modal espectral considerando el espectro inelástico de pseudo-aceleraciones, para las direcciones x e y, a partir de la siguiente fórmula:

$$\mathbf{S_a} = \mathbf{Z} \times \mathbf{U} \times \mathbf{C} \times \mathbf{S} / \mathbf{R}$$

Donde:

S_a: Pseudo-aceleraciones.

Z: Factor de zonificación, en función de la gravedad, 981 cm/s².

U: Factor Uso.

S: Factor de suelo.

C: Factor de amplificación sísmica. De acuerdo al inciso 2.2.5 del marco teórico, se tienen las siguientes fórmulas:

$$\begin{aligned}
 T < T_P & C = 2,5 \\
 T_P < T < T_L & C = 2,5 \cdot \frac{T_P}{T_L} \\
 T > T_L & C = 2,5 \cdot \frac{T_P \cdot T_L}{T^2}
 \end{aligned}$$

R: Factor de reducción sísmica.

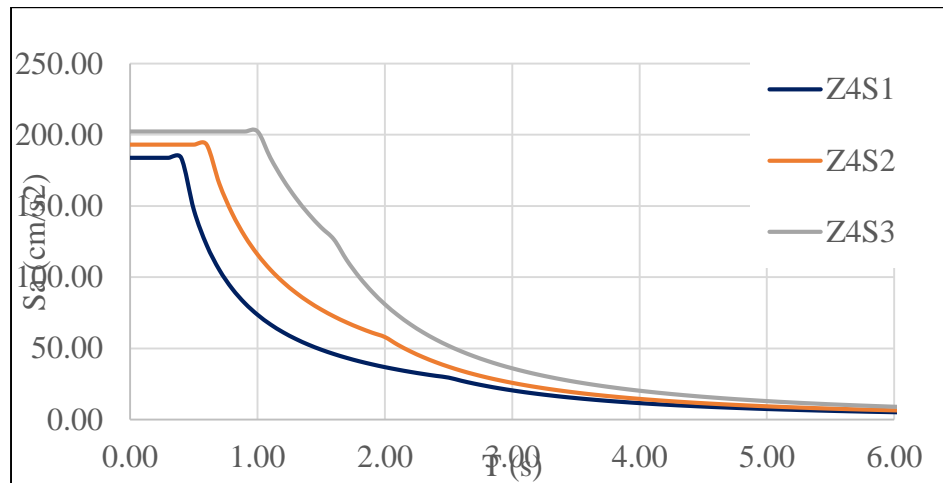


Figura 32. Espectro de pseudo-aceleraciones para los modelos estructurales de base fija, con sistema estructural de muros estructurales, para los diferentes perfiles de suelos.

Nota. La figura muestra los espectros de pseudoaceleraciones para cada tipo de perfil de suelo, y otros parámetros tomados de la *Norma Técnica Peruana E.030 "Diseño sismorresistente"*.

Luego con el software ETABS versión 2016 se obtuvieron las cortantes basales, en la dirección x-x, para los suelos S1, S2 y S3, por el análisis estático y el análisis dinámica, con lo cual se llegó a obtener los siguientes valores:

Cortante basal para el suelo S1:

SEX = 266.21 tonf

SX = 218.08 tonf

Con ello, se observó que la cortante basal obtenida con el análisis dinámico es mayor al 80% de la cortante basal obtenida con el análisis estático, el cual es igual a 212.97 tonf, obviando así la amplificación de la cortante basal obtenida con el análisis modal

espectral con respecto a la cortante basal obtenida con el análisis estático.

V_{basal} = 218.08 tonf

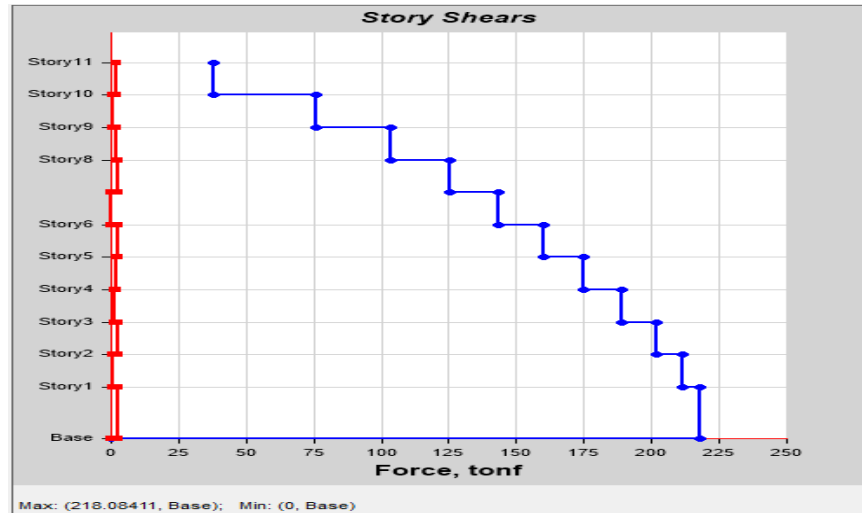


Figura 33. Cortante basal máxima del modelo estructural de 11 niveles, de base fija, para un suelo tipo S1.

Cortante basal para el suelo S2:

SEX = 419.28 tonf

SX = 328.89 tonf

Con ello, se observó que la cortante basal obtenida con el análisis dinámico es menor al 80% de la cortante basal obtenida con el análisis estático, el cual es igual a 335.42 tonf, para lo cual se amplificó la cortante basal obtenida con el análisis modal espectral, al 80% de la cortante basal obtenida con el análisis estático, resultado un factor de amplificación igual a:

FA = 80% * SEX / SX = 0.80 * 419.28 / 328.89 = 1.0199

V_{basal} = 335.47 tonf

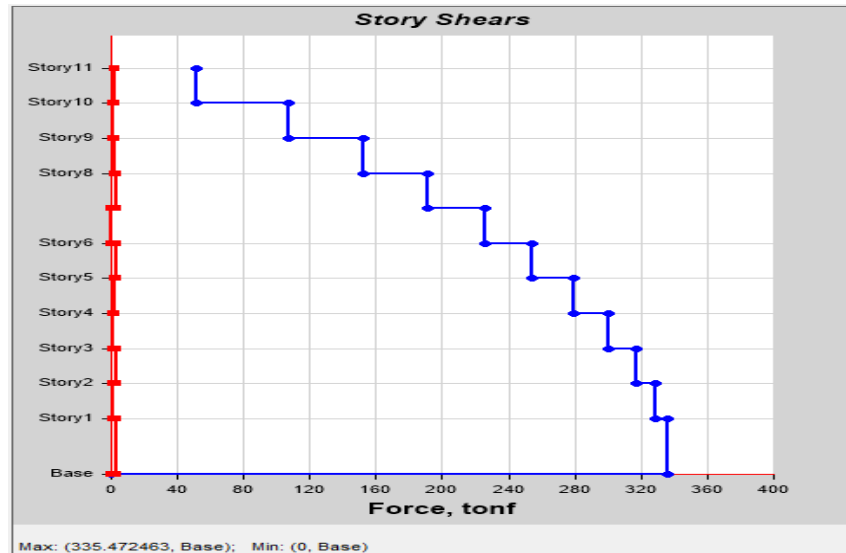


Figura 34. Cortante basal máxima del modelo estructural de 11 niveles, de base fija, para un suelo tipo S2.

Cortante basal para el suelo S3:

SEX = 589.32 tonf

SX = 454.25 tonf

Con ello, se observó que la cortante basal obtenida con el análisis dinámico es menor al 80% de la cortante basal obtenida con el análisis estático, el cual es igual a 471.46 tonf, para lo cual se amplificó la cortante basal obtenida con el análisis modal espectral, al 80% de la cortante basal obtenida con el análisis estático, resultado un factor de amplificación igual a:

$$\mathbf{FA = 80\% * SEX / SX = 0.80 * 589.32 / 454.25 = 1.0379}$$

Vbasal = 471.52 tonf

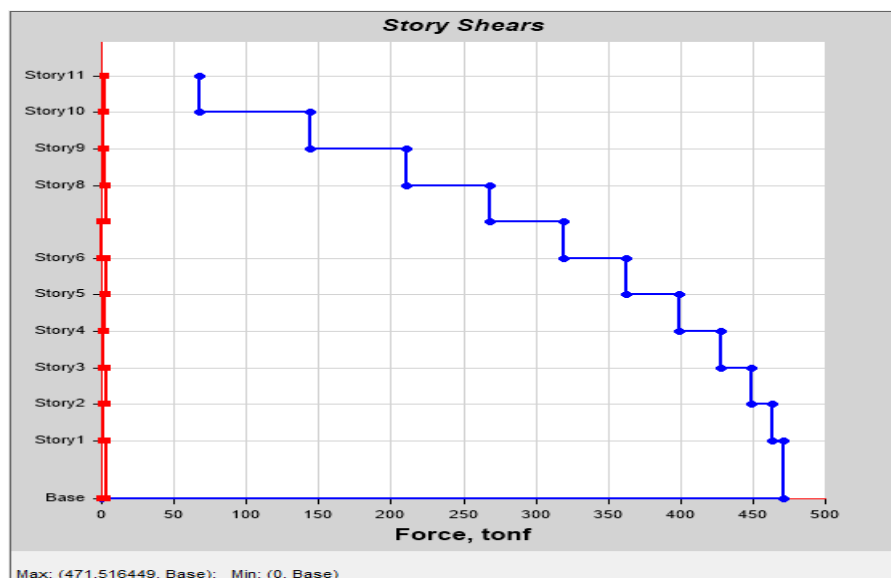


Figura 35. Cortante basal máxima del modelo estructural de 11 niveles, de base fija, para un suelo tipo S3.

En las **Tablas 52, 53 y 54 del Anexo 11** se resumen las cortantes basales para cada modelo estructural de base fija de acuerdo al perfil de suelo del presente trabajo de investigación.

Luego, para calcular la máxima deriva de entrepiso, se multiplicaron los desplazamientos laterales del análisis lineal y elástico con las solicitaciones sísmicas reducidas por $0.75 \cdot R$, para estructuras regulares, tal como lo indica la Norma Técnica Peruana E.030, y se divide cada desplazamiento sobre la altura para cada entrepiso.

Resultando así la deriva máxima, en el software ETABS versión 2016, para un suelo S1, igual a 0.004507, para un suelo S2, igual a 0.007091, y para un suelo s3, igual a 0.009952.

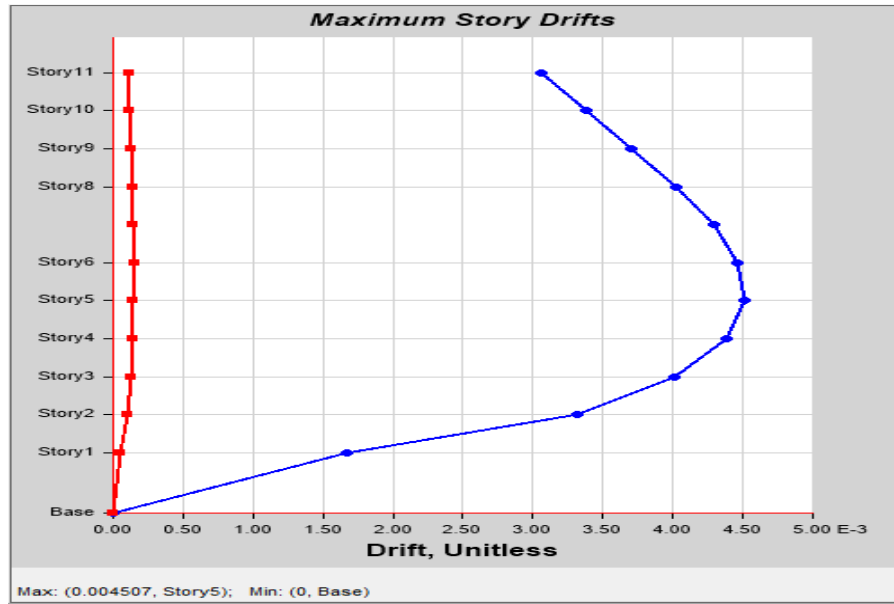


Figura 36. Deriva de entrepiso máxima del modelo estructural de 11 niveles, de base fija, para un suelo tipo S1.

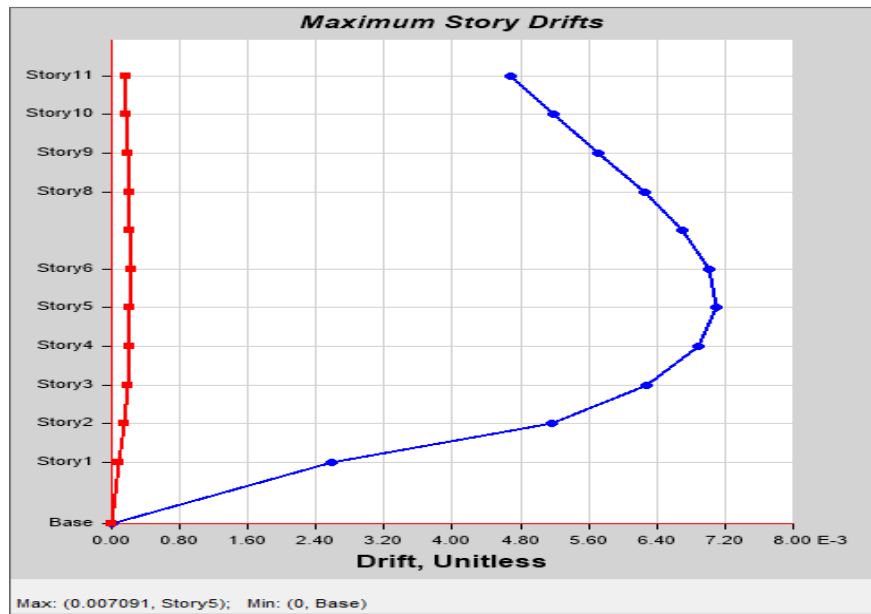


Figura 37. Deriva de entrepiso máxima del modelo estructural de 11 niveles, de base fija, para un suelo tipo S2.

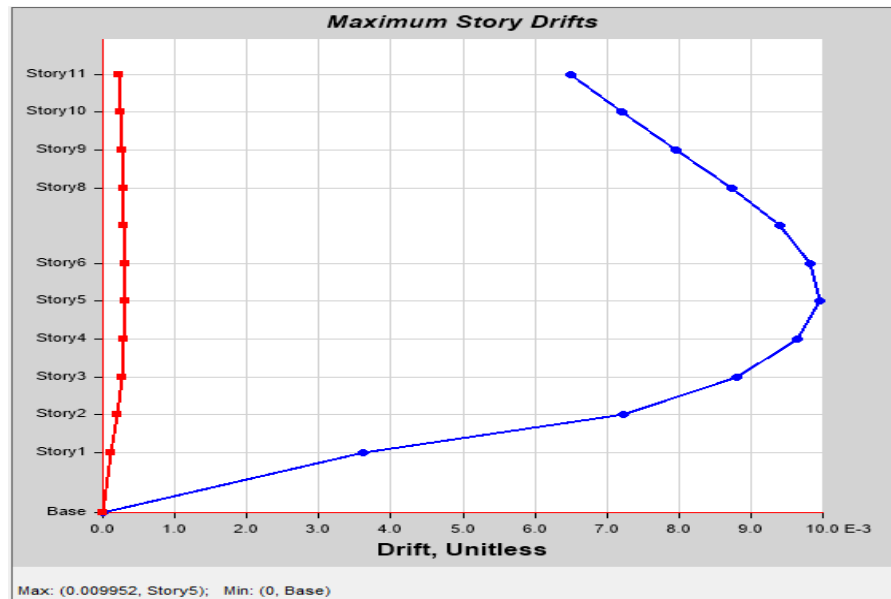


Figura 38. Deriva de entrepiso máxima del modelo estructural de 11 niveles, de base fija, para un suelo tipo S3.

En la **Tablas 49, 50 y 51 del Anexo 11** se resumen las derivas máximas de entrepiso para cada modelo estructural de base fija de acuerdo al perfil de suelo del presente trabajo de investigación.

3.8.6.2 Análisis sísmico para modelo estructural de base aislada

Se realizó el análisis modal espectral considerando el espectro inelástico de pseudo-aceleraciones, para las direcciones x e y, a partir de la siguiente fórmula:

$$S_a = Z \times U \times C \times S / R$$

Donde:

S_a: Pseudo-aceleraciones.

Z: Factor de zonificación, en función de la gravedad, 981 cm/s².

U: Factor Uso.

S: Factor de suelo.

C: Factor de amplificación sísmica. De acuerdo al inciso 2.2.5 del marco teórico, se tienen las siguientes fórmulas:

$$\begin{aligned}
 T < T_P & C = 2,5 \\
 T_P < T < T_L & C = 2,5 \cdot \frac{T_P}{T_L} \\
 T > T_L & C = 2,5 \cdot \frac{T_P \cdot T_L}{T^2}
 \end{aligned}$$

R: Factor de reducción sísmica. Para sistemas aislados se utilizó un $R = 2$ (tal como lo indica la Norma Técnica Peruana E.031)

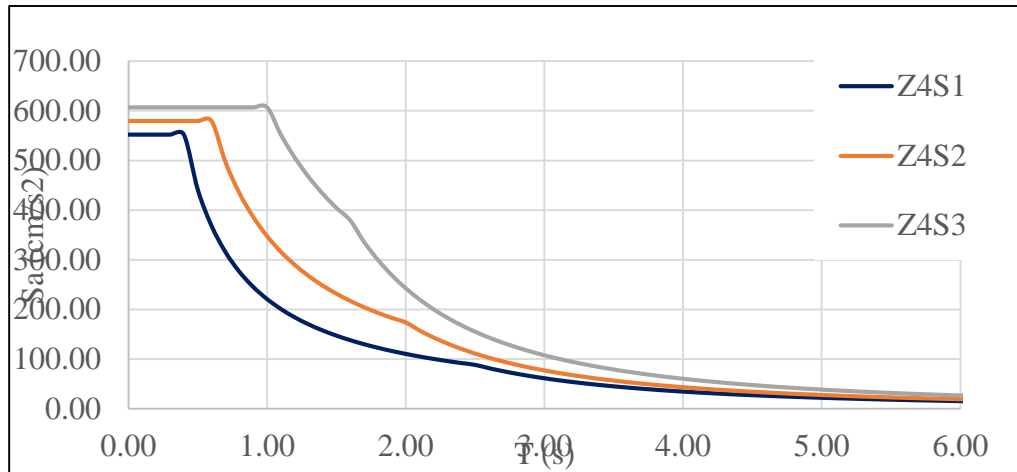


Figura 39. Espectro de pseudo-aceleraciones para los modelos estructurales de base aislada, con un factor de reducción sísmica igual a 2, para los diferentes perfiles de suelos.

Nota. La figura muestra los espectros de pseudoaceleraciones para cada tipo de perfil de suelo, y otros parámetros tomados de la Norma Técnica Peruana E.030 “Diseño sismorresistente” y E.031 “Aislamiento sísmico”.

Luego con el software ETABS versión 2016 se obtuvieron las cortantes basales, en la dirección x-x, para los suelos S1, S2 y S3, para cada tipo de aislador (LRB y HDR), por el análisis dinámica, con lo cual se llegó a obtener los siguientes valores:

Cortante basal para el suelo S1, usando el aislador LRB en la base:

$$SX = V_{\text{basal}} = 183.99 \text{ tonf}$$

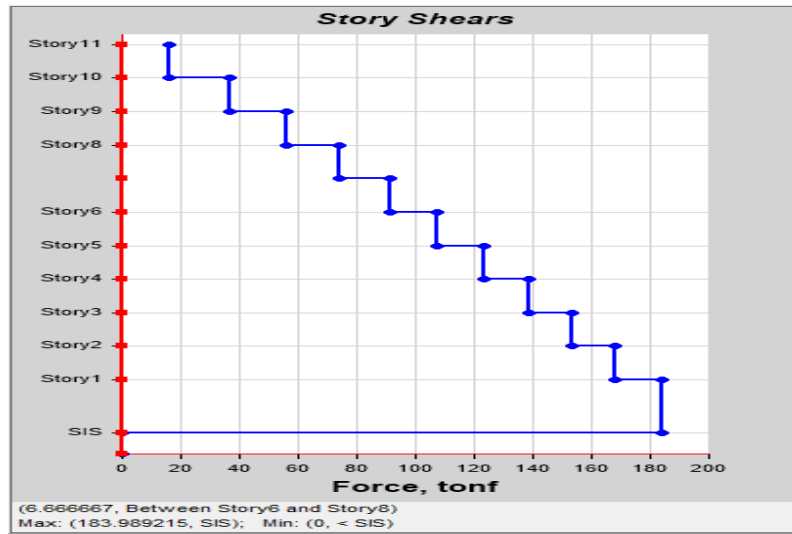


Figura 40. Cortante basal máxima del modelo estructural de 11 niveles, de base aislada con aislador tipo LRB, para un suelo tipo S1, para la superestructura, sin contar el sistema de aislamiento.

Cortante basal para el suelo S1, usando el aislador HDR en la base:

$$SX = V_{\text{basal}} = 162.98 \text{ tonf}$$

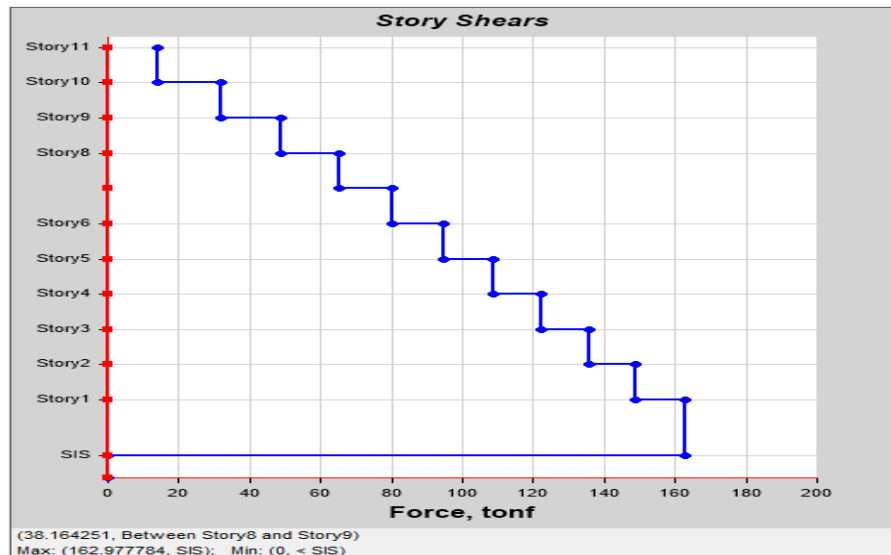


Figura 41. Cortante basal máxima del modelo estructural de 11 niveles, de base aislada con aislador tipo HDR, para un suelo tipo S1, para la superestructura, sin contar el sistema de aislamiento.

Cortante basal para el suelo S2, usando el aislador LRB en la base:

$$SX = V_{\text{basal}} = 241.63 \text{ tonf}$$

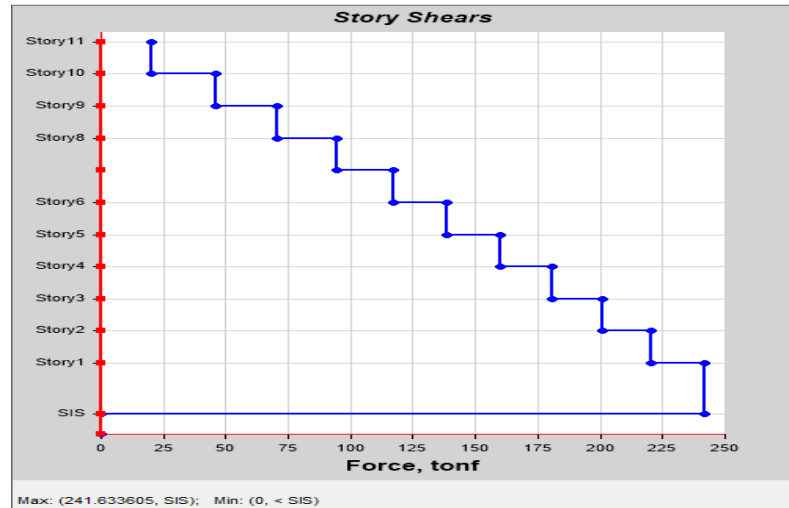


Figura 42. Cortante basal máxima del modelo estructural de 11 niveles, de base aislada con aislador tipo LRB, para un suelo tipo S2, para la superestructura, sin contar el sistema de aislamiento

Cortante basal para el suelo S2, usando el aislador HDR en la base:

$$SX = V_{\text{basal}} = 217.29 \text{ tonf}$$

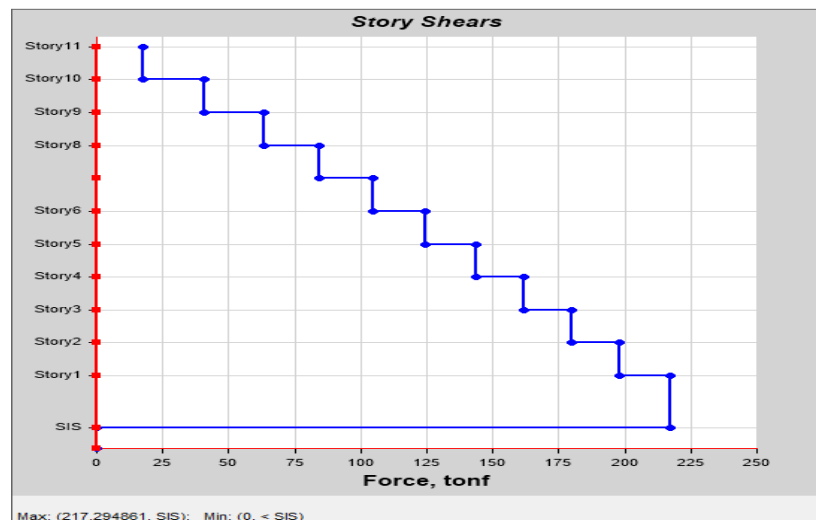


Figura 43. Cortante basal máxima del modelo estructural de 11 niveles, de base aislada con aislador tipo HDR, para un suelo tipo S2, para la superestructura, sin contar el sistema de aislamiento.

Cortante basal para el suelo S3, usando el aislador LRB en la base:

$$\mathbf{SX = V_{basal} = 315.19 \text{ tonf}}$$

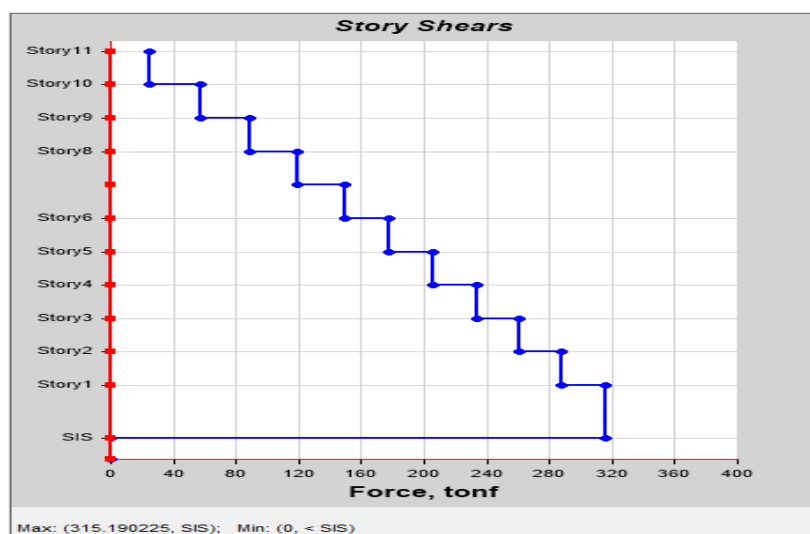


Figura 44. Cortante basal máxima del modelo estructural de 11 niveles, de base aislada con aislador tipo LRB, para un suelo tipo S3, para la superestructura, sin contar el sistema de aislamiento.

Cortante basal para el suelo S3, usando el aislador HDR en la base:

$$\mathbf{SX = V_{basal} = 248.83 \text{ tonf}}$$

En la **Tablas 52, 53 y 54 del Anexo 11** se resumen las cortantes basales para cada modelo estructural de base aislada de acuerdo al tipo de aislador (LRB y HDR) y al tipo de suelo del presente trabajo de investigación.

Luego, para calcular la máxima deriva de entrepiso, en la superestructura, se multiplicaron los desplazamientos laterales del análisis lineal y elástico con las solicitaciones sísmicas reducidas por $0.75 \cdot R$, para estructuras regulares, tal como lo indica la Norma Técnica Peruana E.030 y E.031, y se divide cada desplazamiento sobre la altura para cada entrepiso.

Resultando así la deriva máxima, en el software ETABS versión 2016, usando el aislador LRB, para un suelo S1, igual a 0.001210, para un suelo S2, igual a 0.001574, y para un suelo S3, igual a 0.002037.

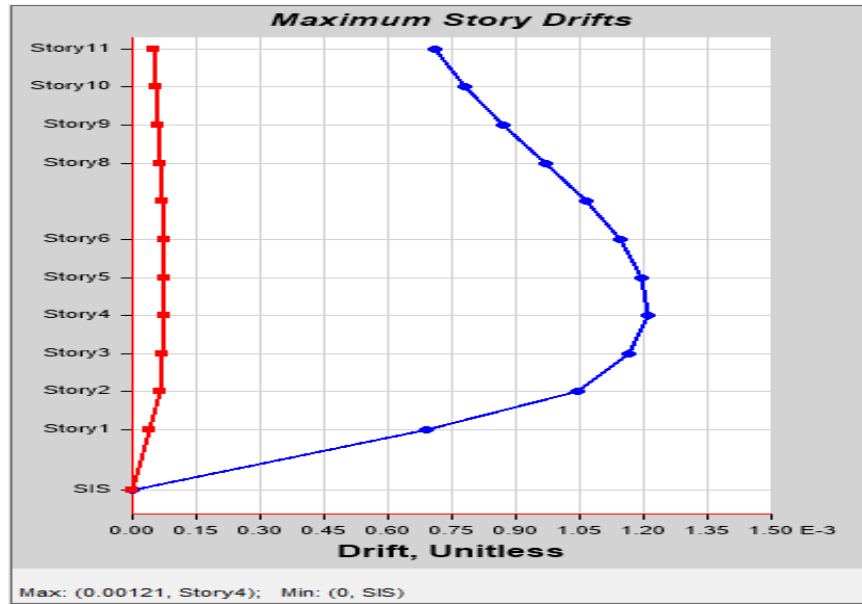


Figura 45. Deriva de entrepiso máxima del modelo estructural de 11 niveles, de base aislada con aislador tipo LRB, para un suelo tipo S1, para la superestructura, sin contar el sistema de aislamiento.

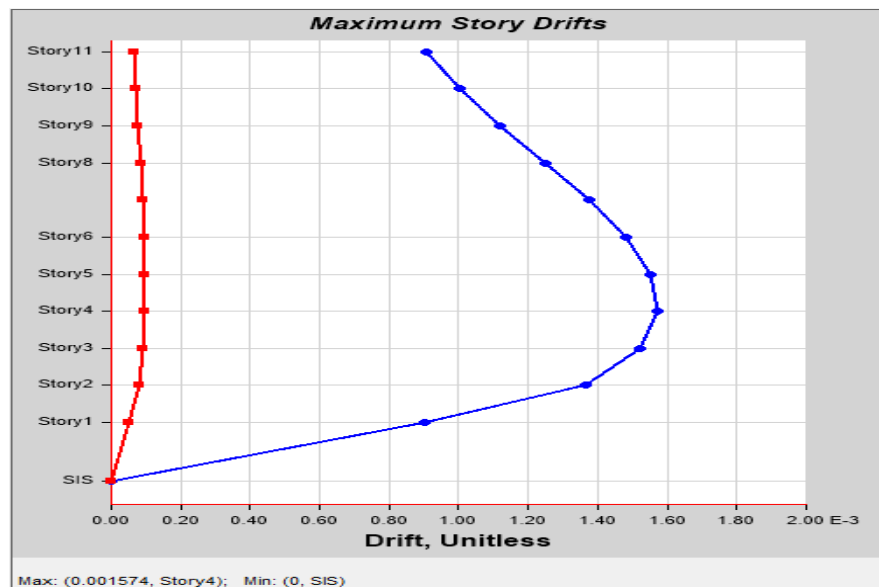


Figura 46. Deriva de entrepiso máxima del modelo estructural de 11 niveles, de base aislada con aislador tipo LRB, para un suelo tipo S2, para la superestructura, sin contar el sistema de aislamiento.

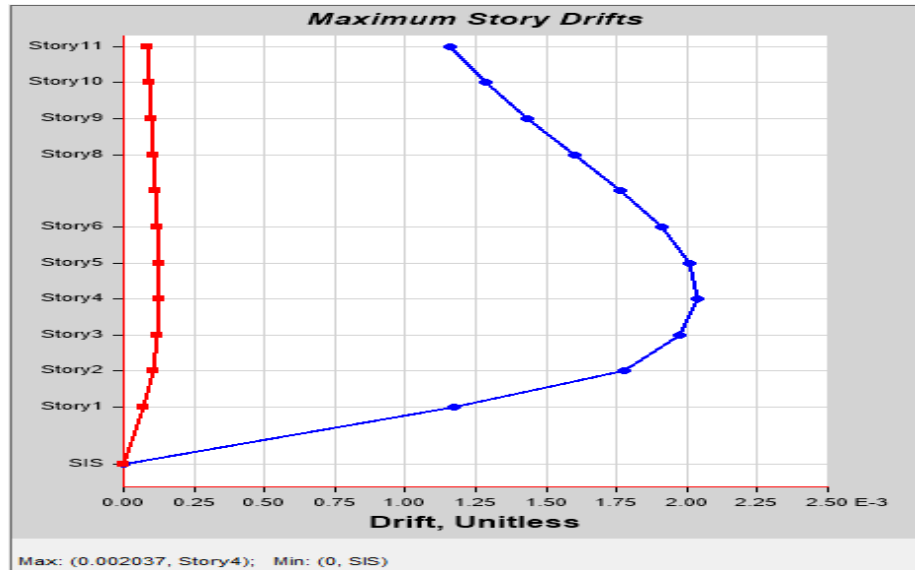


Figura 47. Deriva de entrepiso máxima del modelo estructural de 11 niveles, de base aislada con aislador tipo LRB, para un suelo tipo S3, para la superestructura, sin contar el sistema de aislamiento.

Mientras que la deriva máxima, usando el aislador HDR, para un suelo S1, es igual a 0.001033, para un suelo S2, es igual a 0.001366, y para un suelo s3, es igual a 0.001551.

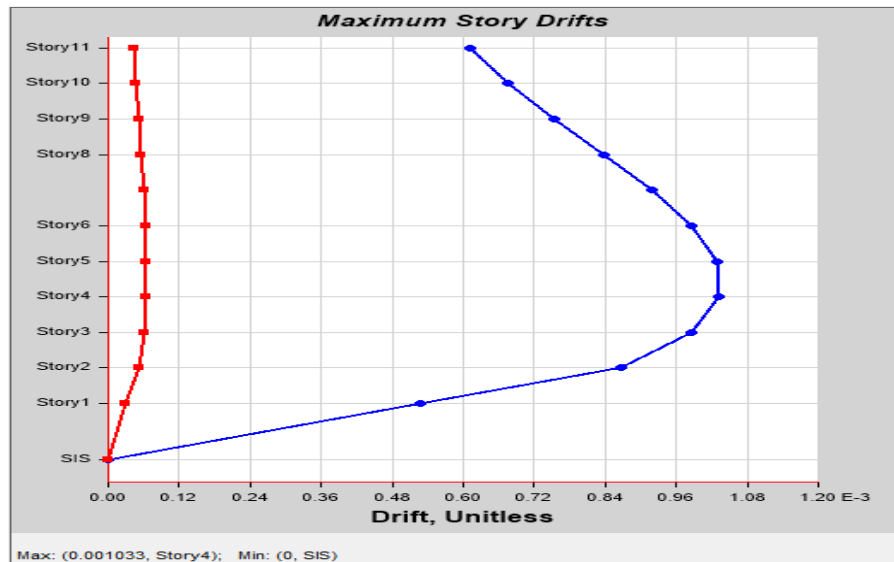


Figura 48. Deriva de entrepiso máxima del modelo estructural de 11 niveles, de base aislada con aislador tipo HDR, para un suelo tipo S1, para la superestructura, sin contar el sistema de aislamiento.

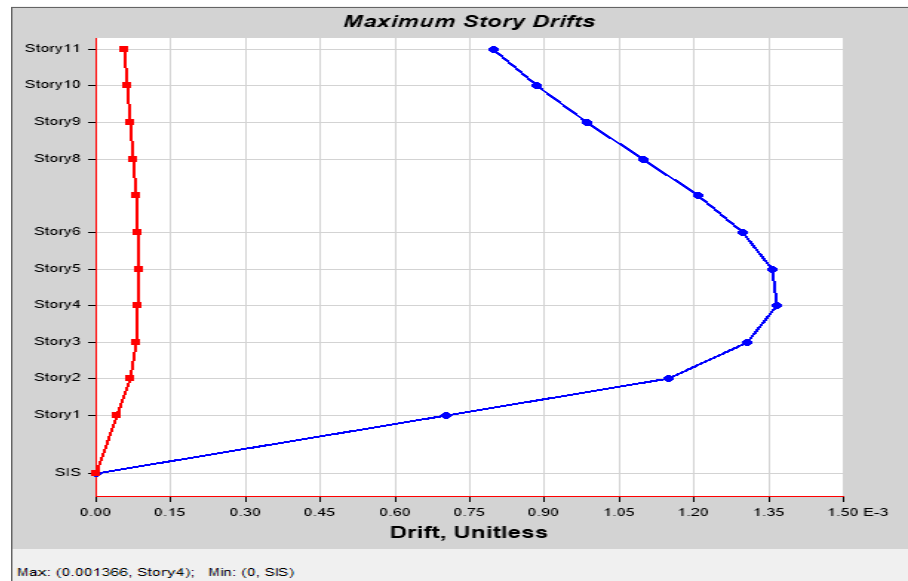


Figura 49. Deriva de entrepiso máxima del modelo estructural de 11 niveles, de base aislada con aislador tipo HDR, para un suelo tipo S2, para la superestructura, sin contar el sistema de aislamiento.

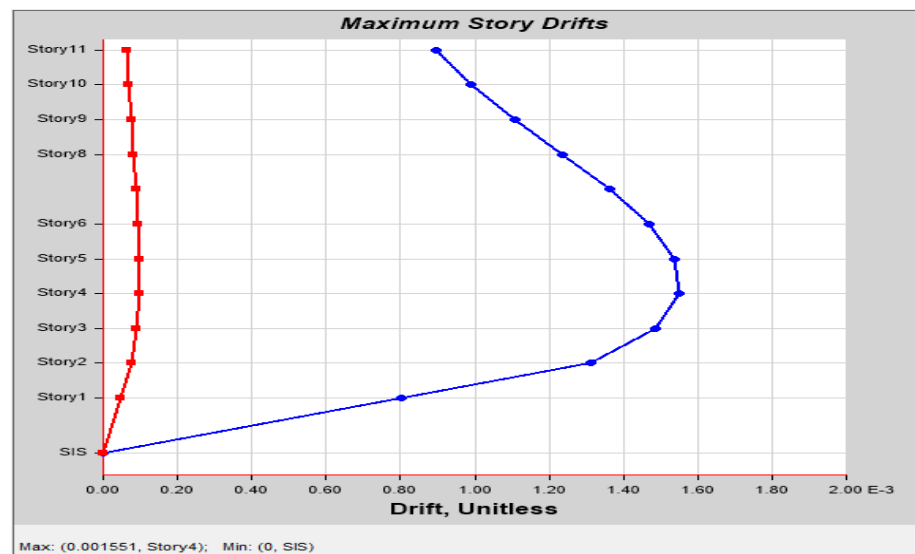


Figura 50. Deriva de entrepiso máxima del modelo estructural de 11 niveles, de base aislada con aislador tipo HDR, para un suelo tipo S3, para la superestructura, sin contar el sistema de aislamiento.

En la **Tablas 49, 50 y 51 del Anexo 11** se resumen las derivas máximas de entrepiso para cada modelo estructural de base fija de acuerdo al tipo de aislador (LRB y HDR) y al tipo de suelo del presente trabajo de investigación.

IV. RESULTADOS

4.1.1. Espectro de respuesta

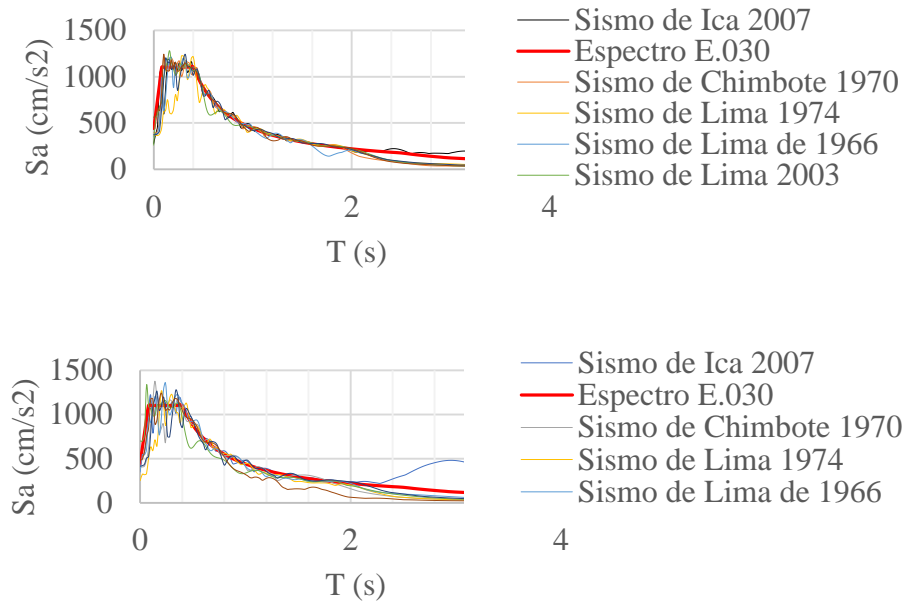


Figura 51. Aceleraciones máximas escalados al espectro de diseño (Este – Oeste y Norte – Sur) para un suelo S1.

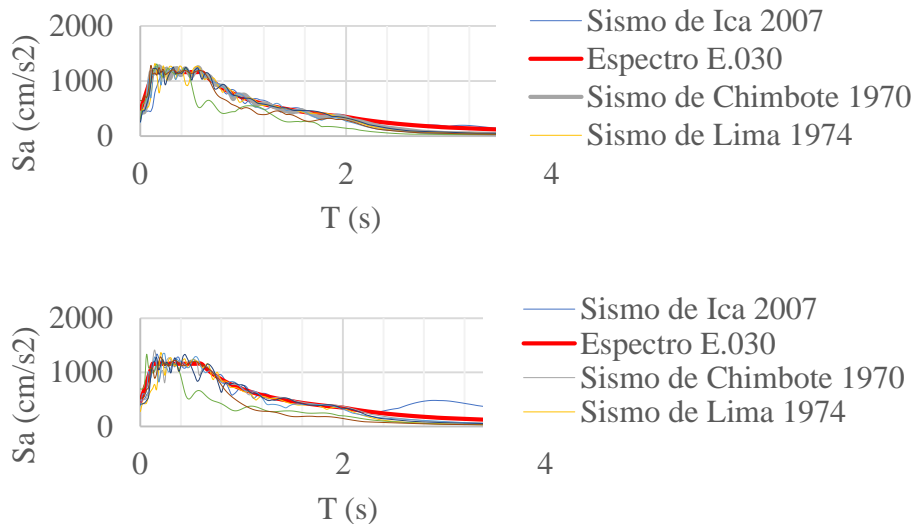


Figura 52. Aceleraciones máximas de los sismos escalados al espectro de diseño en la dirección Este – Oeste y Norte – Sur para un suelo S2.

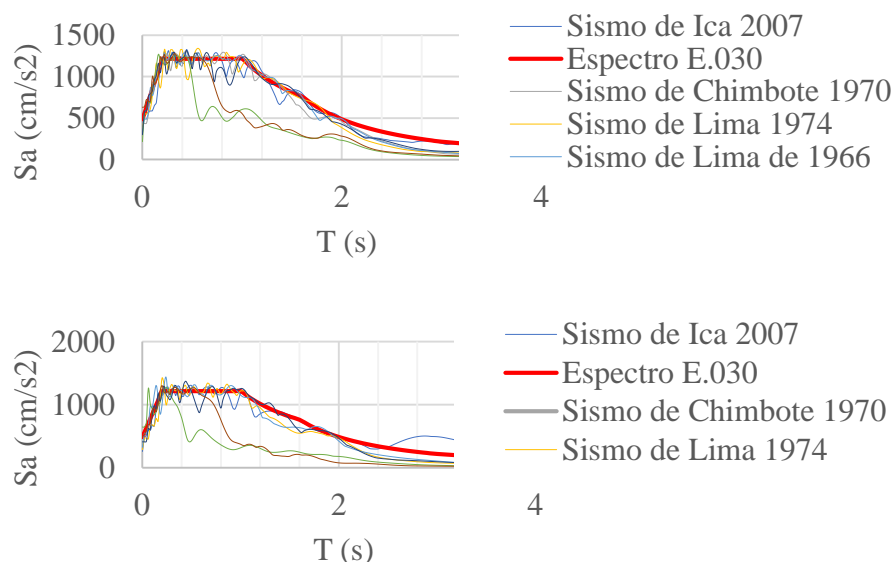


Figura 53. Aceleraciones máximas de los sismos escalados al espectro de diseño en la dirección Este – Oeste y Norte – Sur para un suelo S3.

4.1.2. Condiciones del suelo

Tabla 7. Velocidad de onda de corte de cada zona de la ciudad de Trujillo según el estudio de microzonificación sísmica, realizada por el CISMID.

UBICACIÓN	VS (m/s)	TIPO DE PERFIL (E.030)
Calle Francisco Bolognesi, cerca al Centro Recreacional La Rinconada, al noreste de la ciudad de Trujillo.	557	S1
Cerca de la Prolongación de la Av. Sánchez Carrión y la Av. Pesqueda.	175	S3
Noreste de la ciudad de Trujillo, entre las calles Otuzco y Marcabalito.	546	S1
Entre las calles Mache y Agallpampa.	534	S1
Noreste de la ciudad de Trujillo, en el parque de la Navidad.	536	S1
Cerca del parque María Parado de Bellido.	548	S1
Noreste de la ciudad de Trujillo, en el parque Tacna.	557	S1
En la intersección de las calles Cueto Fernandini y Gil de Castro.	555	S1
Al este de la ciudad de Trujillo, en la calle Alejandro Deustua.	592	S1
En la zona central de la ciudad de Trujillo, en la plazuela Gonzales Prada.	558	S1
Al este de la ciudad de Trujillo, en la urbanización Villa Santa María.	524	S1

Al este de la ciudad de Trujillo, en la urbanización Villa del Contador.	507	S1
Al sureste de la ciudad de Trujillo, en el parque Abelardo Quiñones.	470	S2
En el parque Los Laureles, al sureste de la ciudad de Trujillo.	496	S2
Cerca al ovalo La Marina.	267	S2
En el sector del Parque Industrial Moche.	487	S2
En la Urbanización UPAO II.	450	S2
Al sur de la ciudad de Trujillo, en la intersección de las calles Japón y Gran Bretaña.	561	S1
En la zona central de la ciudad de Trujillo, en la intersección de las calles Santo Domingo y Malta.	489	S2
En el parque La Amistad.	527	S1
En la zona central de la ciudad de Trujillo, entre las calles Fray Pedro Urraca y Bartolomé de las Casas.	434	S2
En la urbanización San Judas Tadeo.	333	S2
Al oeste de la ciudad de Trujillo, cerca de la sede del Colegio de Arquitectos del Perú.	551	S1
En la urbanización San Nicolás.	456	S2
Al oeste de la ciudad de Trujillo, en el parque del Periodista.	531	S1
En la zona central de la ciudad de Trujillo, en el parque El Niño.	506	S1
Al norte de la ciudad de Trujillo, cerca del parque José Olaya.	533	S1
Al noroeste de la ciudad de Trujillo, en el parque Homenaje.	538	S1
En la avenida Federico Villareal.	480	S2
Al noroeste de la ciudad de Trujillo, cerca del parque San Miguel.	535	S1
En la urbanización El Valle.	525	S1
al oeste de la ciudad de Trujillo, a espaldas de la Institución Educativa Pedro Mercedes Ureña.	511	S1

4.1.3. Predimensionamiento

Tabla 8. Resultados del predimensionamiento para los modelos de edificios

Elemento	Descripción	Peralte (cm)	Ancho (cm)	Dimensión (cm)		Espesor (cm)
				X-X	Y-Y	
Losas Aligeradas	-	20	-	-	-	-
Vigas	V- 01	40	30	-	-	-
Columnas	C - 01	-	-	50	50	-
Placas	PL - 01	-	-	-	-	30

4.1.4. Metrado de cargas

Tabla 9. Resultados del metrado x m2 para los modelos de edificios.

Elemento	CM (Tonnes / m2)	CV (Tonnes / m2)	Metrado Total (Tonnes / m2)
Losa aligerada del piso típico	0.26875	0.200	0.46875
Losa aligerada del piso Azotea	0.16875	0.100	0.26875
Viga peraltada del piso típica	0.468	-	0.468
Viga peraltada del piso azotea	0.234	-	0.234

4.1.5. Modelamiento estructural

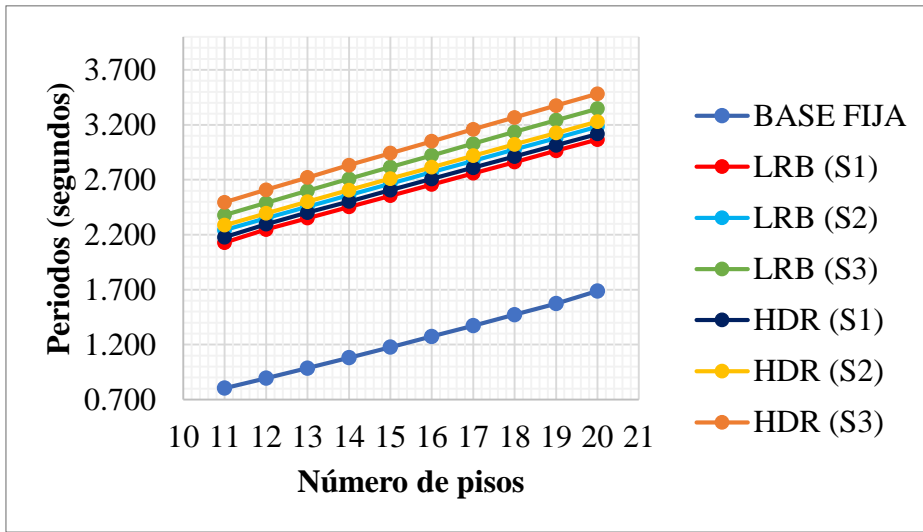


Figura 54. Periodo fundamental de vibración de los modelos estructurales con base fija y aisladores LRB y HDR, según los tipos de suelos (S1, S2 Y S3).

4.1.6. Análisis sísmico

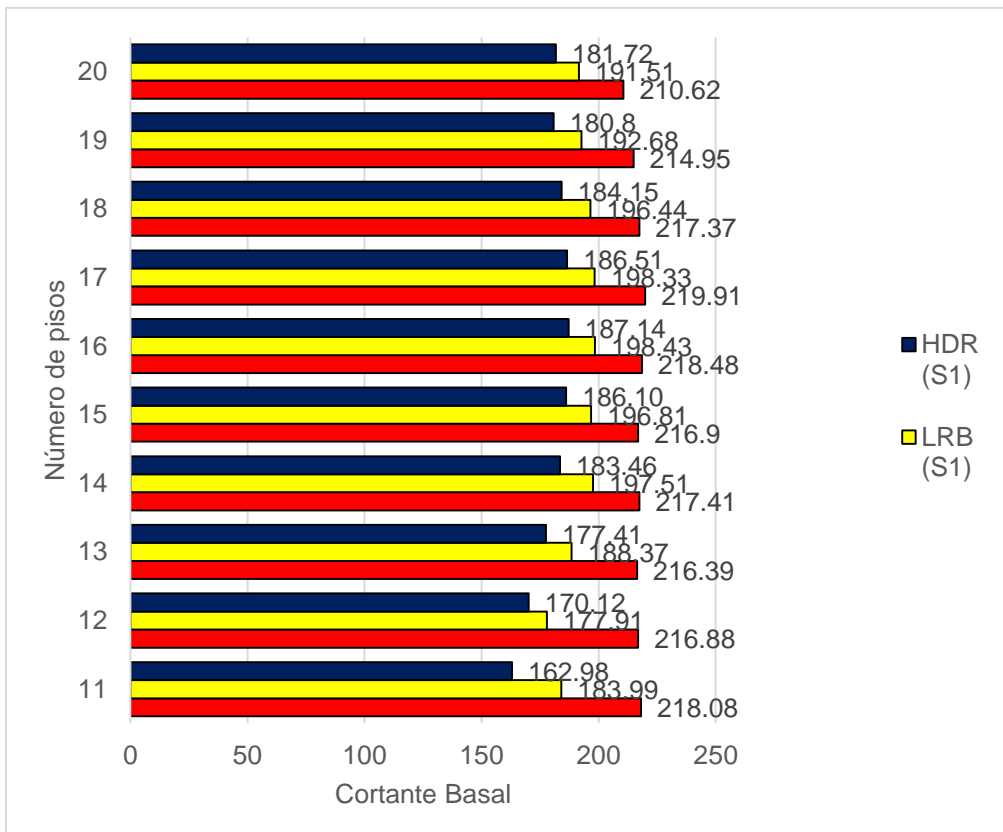


Figura 55. Cortante basal de los modelos estructurales con base fija y aisladores LRB y HDR en suelos intermedios (S1).

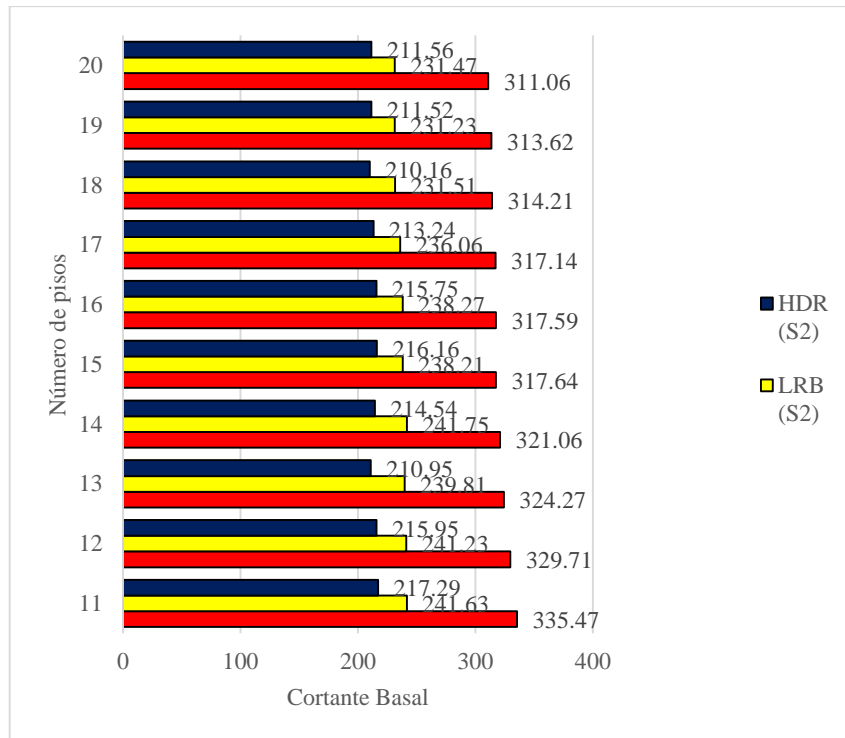


Figura 56. Cortante basal de los modelos estructurales con base fija y aisladores LRB y HDR en suelos intermedios (S2).

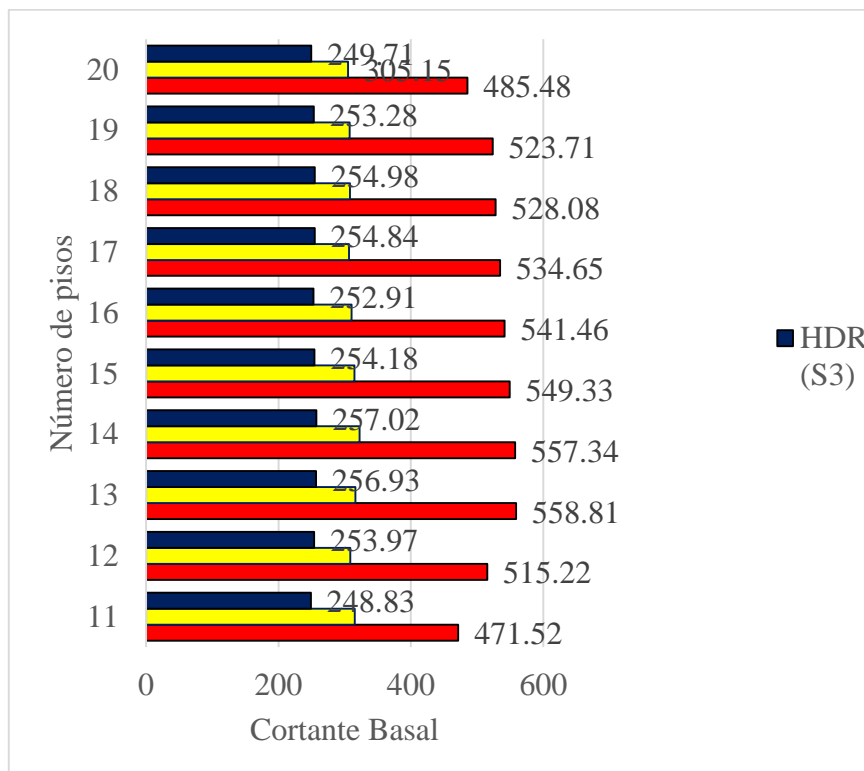


Figura 57. Cortante basal de los modelos estructurales con base fija y aisladores LRB y HDR en suelos intermedios (S3).

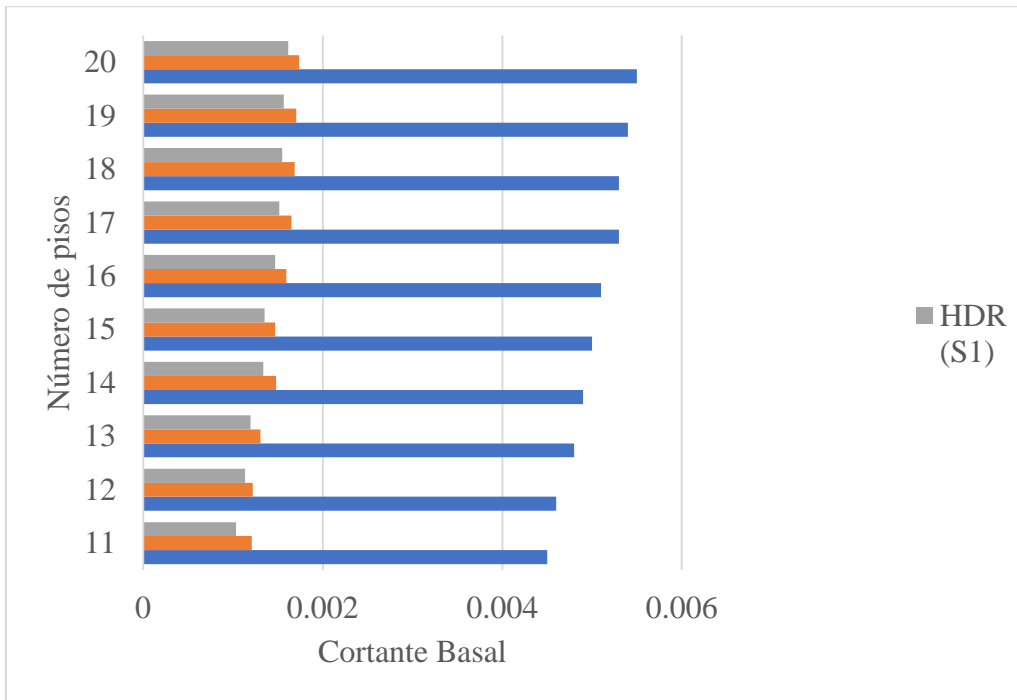


Figura 58. Deriva máxima de entrepiso de los modelos estructurales con base fija y aisladores LRB y HDR en suelos intermedios (S1).

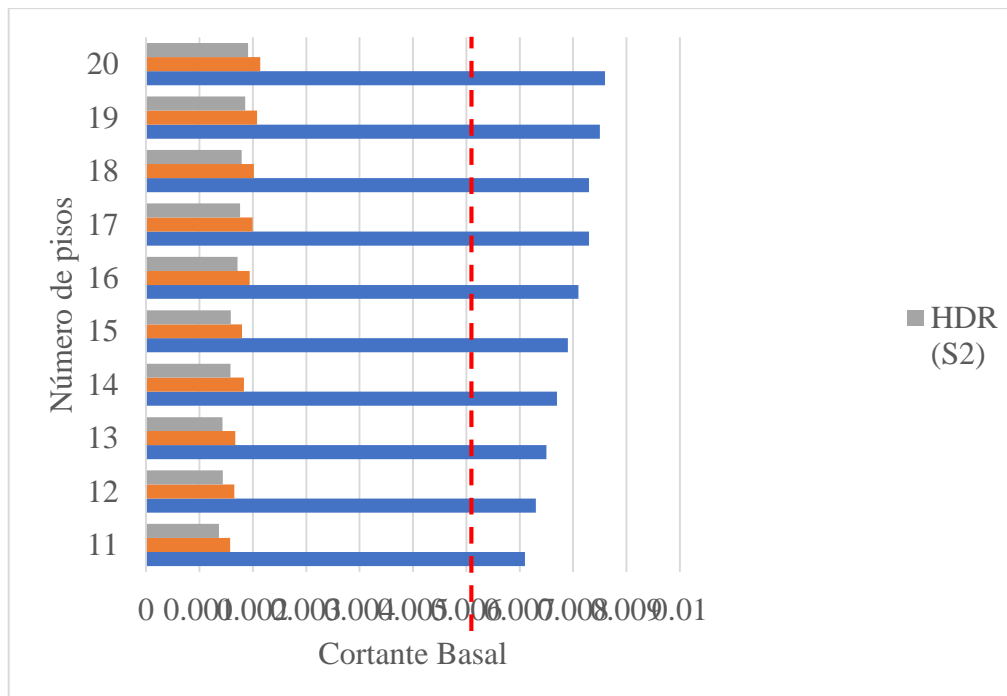


Figura 59. Deriva máxima de entrepiso de los modelos estructurales con base fija y aisladores LRB y HDR en suelos intermedios (S2).

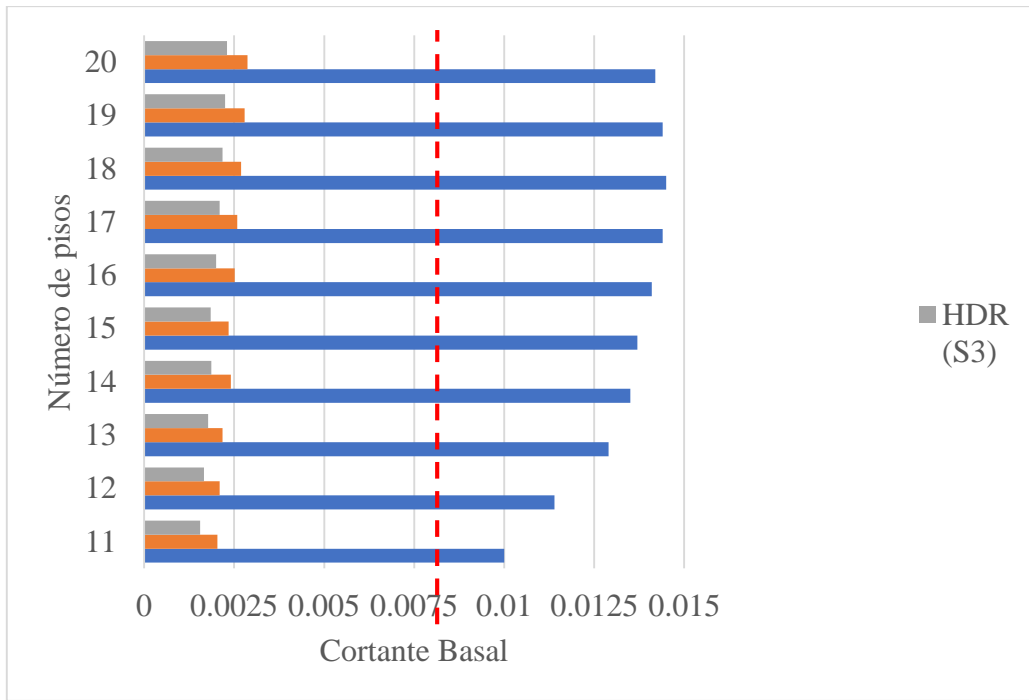


Figura 60. Deriva máxima de entrepiso de los modelos estructurales con base fija y aisladores LRB y HDR en suelos intermedios (S3).

V. DISCUSIÓN

Las respuestas dinámicas de los modelos estructurales de edificios con aisladores elastómeros (LRB “aisladores de núcleo de plomo” y HDR “aisladores de alto amortiguamiento”) con respecto a los de base fija, mostró valores de periodos fundamentales de vibración entre 2.5 a 5.0 segundos, los cuales fueron mayores a los periodos de los modelos estructurales de base fija. Asimismo, mostró valores de derivas por debajo de 4/1000, los cuales fueron menores a los obtenidos con los modelos estructurales de base fija, y cortantes basales de menor magnitud con respecto a los modelos estructurales de edificios con base fija, validando la hipótesis planteada en el presente trabajo de investigación.

En las Figuras 52, 53 y 54 se muestran las aceleraciones máximas escaladas al espectro de diseño en dirección Este – Oeste y Norte – Sur, para los suelos S1, S2 y S3, respectivamente; las cuales se amplificaron generando mayores demandas sísmicas, lo cual fue producto del escalamiento al espectro de diseño según como se muestra en el inciso 2.2.3.1.3 (Chan et al., 2005). En la Tabla 8 se muestran las velocidades de ondas de corte de cada zona de Trujillo según el estudio de microzonificación sísmica realizada por el CISMID, las cuales están dentro de los perfiles de suelo S1, S2 y S3 (Norma E.030), es decir que en la ciudad de Trujillo existen suelos muy rígidos, intermedios y blandos, sustentada en el base al inciso 2.2.2.3 (Norma Técnica Peruana E.030 “Diseño Sismorresistente,” 2018). En la Tabla 9 se muestran las dimensiones de los elementos estructurales, las cuales fueron de magnitud importante, puesto que los modelos estructurales trabajados en la presente investigación tratan de edificios altos. (Blanco, 2014). En la Tabla 10 se muestran los resultados del metrado de cargas por metro cuadrado, los cuales fueron mayores en los pisos típicos con respecto al piso azotea, esto debido a que los pisos típicos presentan mayor peso por carga muerta y viva, mientras que en el piso azotea solo se considera la mitad de la carga viva y el apoyo de muros de 1m de altura (Norma Técnica Peruana E.020 “Cargas,” 2006). En la Figura 55 se muestran los periodos fundamentales de vibración de los modelos estructurales de base fija y con aisladores elastoméricos para los tres tipos de suelos estudiados. Para todos los niveles, el periodo es mayor

en los sistemas aislados con respecto a los de base fija, esto es debido a que los aisladores generan una mayor flexibilidad a la estructura y también mayor amortiguamiento, disminuyendo la frecuencia natural de los modelos estructurales de edificios, tal como se indicó en el inciso 2.2.1.3 (Genatios & Lafuente, 2016). En las Figuras 56, 57 y 58 se muestran las cortantes basales de todos los modelos estructurales del objeto de estudio para los tipos de suelos S1, S2 y S3, respectivamente. Se obtuvieron cortantes en la base menores para las estructuras aisladas con respecto a las estructuras con base fija, esto debido a que los aisladores absorben gran parte de la energía sísmica mediante su comportamiento histerético, dejando a la estructura menos esforzada. (Kaoutar, 2015). En las Figuras 59, 60 y 61 se muestran las derivas de todos los modelos estructurales del objeto de estudio para los tipos de suelos S1, S2 y S3, respectivamente. Se obtuvieron menores derivas para las estructuras aisladas con respecto a las estructuras con base fija, esto debido a que los aisladores tienen gran desplazamiento, generando que la estructura se comporte como un cuerpo rígido con menores desplazamiento (Piscal & López, 2019).

(Villavicencio, 2015) encontró un incremento de periodos para estructuras con aisladores LRB, equivalente a 4 veces el periodo de estructuras con base fija en suelos de Ecuador, mientras que en el presente trabajo de investigación se llegó a obtener un incremento de periodos para estructuras con aisladores LRB, equivalente a 3 veces el periodo de estructuras con base fija en suelos de Perú, esto debido a que dicho autor trabaja con un modelo estructural de mayor masa, la cual es directamente proporcional al periodo fundamental de la estructura.

(Pastora & Ríos, 2016) encontró que, para su modelo estructural de 5 niveles con aislamiento sísmico (en suelo rígido) la deriva de entrepiso presenta una reducción del 96% con respecto al modelo con base fija. En comparación con la presente investigación, se encontró que para el modelo estructural de 11 niveles con aisladores del tipo LRB (ubicados en una zona sísmica Z4, perfil de suelo rígido – S1) la deriva tuvo una reducción del 73.15% con respecto al modelo con base fija, y posteriormente una reducción de 68.37% para el

modelo estructural de 20 niveles. Las comparaciones guardan coherencia respecto a que el desempeño del aislador va disminuyendo conforme aumenta el número de niveles en las edificaciones, debido a que mientras se aumenta el número de niveles, aumenta la flexibilidad de la estructura causando periodos largos, los cuales no dependen del aislador, pero si repercuten en su desempeño puesto que la edificación deja de comportarse como un cuerpo rígido.

(Urizar, 2016) encontró que, para su modelo estructural de un hospital de 5 niveles con aislamiento sísmico (en suelos intermedios tipo D, según la Norma de Guatemala) la cortante basal presenta una reducción del 35.37% con respecto al modelo con base fija. En comparación con la presente investigación, se encontró que para el modelo estructural de 11 niveles con aisladores del tipo LRB (ubicados en una zona sísmica Z4, perfil de suelo intermedio – S2) la cortante basal presenta una reducción del 27.97% con respecto al modelo con base fija, y posteriormente una reducción de 25.59% para el modelo estructural de 20 niveles. Las comparaciones guardan coherencia respecto a que el desempeño del aislador va disminuyendo conforme aumenta el número de niveles en las edificaciones, debido a que mientras se aumenta el número de niveles, aumenta la flexibilidad de la estructura causando periodos largos, los cuales no dependen del aislador, pero si repercuten en su desempeño puesto que la edificación deja de comportarse como un cuerpo rígido.

(Chacón, 2018) encontró que para su modelo estructural ubicado en una zona sísmica Z3 (Ciudad de Juliaca), perfil de suelo S3, la fuerza cortante en la base fija es igual a 462.14 toneladas, en la estructura con aisladores LRB es igual a 332.0 toneladas y en estructuras con aisladores HDR es igual a 299.8 toneladas, resultando una reducción del 28.16% y 35.13%, respectivamente. En comparación con la presente investigación, se encontró que para el modelo estructural de 13 niveles ubicado en una zona sísmica Z4 (Ciudad de Trujillo), perfil de suelo S3, la fuerza cortante en la base fija es igual a 558.81 toneladas, con aislamiento de base del tipo LRB presenta una fuerza cortante igual a 316.20 toneladas y con aisladores HDR presenta una fuerza cortante

igual a 256.93 toneladas, resultando una reducción del 42.18% y 53.88%, respectivamente. Esto debido a que la zona también influye en las respuestas de las estructuras con aisladores, siendo su reducción menor en las zonas sísmicas Z3 con respecto a las zonas sísmicas Z4.

(Reyna, 2017) encontró que, para su modelo estructural de 18 niveles con aislamiento sísmico (ubicados en una zona sísmica Z4, perfil de suelo S1) la deriva de entrepiso presenta una reducción del 36% con respecto al modelo con base fija, y a medida que aumenta el número de niveles, la reducción se va haciendo menor, llegando hasta un 13% para el modelo estructural de 50 niveles. En comparación con la presente investigación, se encontró que para el modelo estructural de 11 niveles con aisladores del tipo LRB (ubicados en una zona sísmica Z4, perfil de suelo S1) la deriva tuvo una reducción del 73.15% con respecto al modelo con base fija, y posteriormente una reducción de 68.37% para el modelo estructural de 20 niveles. Las comparaciones guardan coherencia respecto a que el desempeño del aislador va disminuyendo conforme aumenta el número de niveles en las edificaciones, debido a que mientras se aumenta el número de niveles, aumenta con ella la flexibilidad de la estructura causando periodos largos, los cuales no dependen del aislador, pero si repercuten en su desempeño puesto que la edificación deja de comportarse como un cuerpo rígido.

(Solórzano, 2019) encontró que para su modelo estructural de un hospital de 4 niveles con aislamiento sísmico (ubicados en una zona sísmica Z4), para un perfil de suelo S3, la cortante basal presenta una reducción de 11.59% con respecto al modelo con base fija, mientras que para un perfil de suelo S1, la cortante basal del modelo con aislamiento sísmico presenta una reducción de 50.25% con respecto al modelo con base fija. En comparación con la presente investigación, se encontró que para el modelo estructural de 11 niveles con aisladores del tipo LRB (ubicados en una zona sísmica Z4), para un perfil de suelo S1, la cortante basal presenta una reducción de 15.63% con respecto al modelo con base fija, mientras que para un perfil de suelo S3, la cortante basal presenta una reducción de 33.15%. Esto se debe al comportamiento variado que tienen las estructuras respecto al aumento de su altura, por

consecuente, acercándose al efecto de resonancia con suelos flexibles, por lo tanto, el sistema de aislamiento mejora la eficiencia en estructuras de mayor altura para suelos S3, que para suelos S1.

(Huanca & Meléndez, 2016) encontró que para su modelo estructural de 5 niveles y 2 sótanos con aislamiento sísmico (ubicados en una zona sísmica Z4), para un perfil de suelo S2, la cortante basal presenta una reducción de 54.86% con respecto al modelo con base fija. En comparación con la presente investigación, se encontró que para el modelo estructural de 11 niveles con aisladores del tipo LRB y HDR (ubicados en una zona sísmica Z4), para un perfil de suelo S2, la cortante basal presenta una reducción de 27.97% y 35.23%, respectivamente. Mientras que para el modelo estructural de 20 niveles con aisladores del tipo LRB y HDR, la cortante basal presenta una reducción de 25.59% y 31.99%. Esto se debe al comportamiento variado que tienen las estructuras respecto al aumento de su altura, por consecuente, a medida que la frecuencia de la estructura se acerca a la frecuencia del suelo, la eficiencia de los aisladores se ve disminuida.

(Tocto, 2018) encontró que para su modelo estructural de 3 niveles con aislamiento sísmico (ubicados en una zona sísmica Z4), para un perfil de suelo S1, la cortante basal presenta una reducción de 42.56% con respecto al modelo con base fija. En comparación con la presente investigación, se encontró que para el modelo estructural de 11 niveles con aisladores del tipo LRB y HDR (ubicados en una zona sísmica Z4), para un perfil de suelo S1, la cortante basal presenta una reducción de 15.63% y 25.27%, respectivamente. Mientras que para el modelo estructural de 20 niveles con aisladores del tipo LRB y HDR, la cortante basal presenta una reducción de 9.07% y 13.72%. Esto se debe al comportamiento variado que tienen las estructuras respecto al aumento de su altura, por consecuente, a medida que la frecuencia de la estructura se acerca a la frecuencia del suelo, la eficiencia de los aisladores se ve disminuida.

(Liñan & Carrasco, 2015) encontró que para su modelo estructural de 5 niveles con aislamiento sísmico (ubicados en una zona sísmica Z4), para un perfil de suelo S1, la deriva máxima de entrepiso presenta una reducción de 20.00%

con respecto al modelo con base fija. En comparación con la presente investigación, se encontró que para el modelo estructural de 11 niveles con aisladores del tipo LRB y HDR (ubicados en una zona sísmica Z4), para un perfil de suelo S1, la deriva máxima de entrepiso presenta una reducción de 73.15% y 77.08%, respectivamente. Mientras que para el modelo estructural de 20 niveles con aisladores del tipo LRB y HDR, la deriva máxima de entrepiso presenta una reducción de 68.37% y 70.57%. Esto se debe a que en la presente tesis se proyectó a periodos 3 veces mayor que el periodo de la base fija, esto generó una mayor reducción en la demanda sísmica y consecuentemente una reducción en las derivas de entrepiso.

El trabajo de investigación se limitó a trabajar con los datos de la microzonificación obtenida del CISMID en el año 2017, debido a que en estos tiempos de pandemia es restringido salir a realizar los ensayos de campo. A pesar de lo antes mencionado, encontramos que la efectividad de los aisladores sobre la respuesta dinámica de las estructuras cambia coherentemente al variarse algunos factores de su entorno, es decir, disminuye a medida que se incrementan los números de niveles y el tipo de suelo es menos rígido, esto debido al efecto de resonancia.

En el presente trabajo de investigación, para la unidad de estudio que son los modelos estructurales de edificios de 11 a 20 niveles se encontró que los modelos con aislamiento sísmico desarrollaron una reducción en la cortante basal y la deriva máxima de entrepiso, y un aumento del periodo natural de vibración con respecto a los modelos con base fija, además se determinó que a medida que aumentaban el número de niveles en las edificaciones apoyándolos en los tres tipos de suelos, se desarrolló una menor eficiencia de los aisladores elastoméricos sobre las estructuras, pero aumentaron su eficiencia mientras el suelo poseía menor rigidez.

En el párrafo 3 se encontró que el periodo fundamental de vibración eleva su valor para estructuras con mayor número de niveles y al aumentar las cargas gravitacionales. Mientras que en los párrafos 3,5,7,8 se encontró que la efectividad de los aisladores va disminuyendo conforme aumenta el número de niveles de los modelos estructurales, debido a que mientras se aumenta el

número de niveles, aumenta la flexibilidad de la estructura causando periodos largos, los cuales no dependen del aislador, pero si repercuten en su desempeño puesto que la edificación deja de comportarse como un cuerpo rígido. Además, en los párrafos 4,6 se encontró que, al aumentar el número de niveles, disminuía la frecuencia natural de los mismos acercándose a la frecuencia de los suelos flexibles, generando un efecto de resonancia, generando una mayor efectividad de los aisladores sobre las estructuras en suelos flexibles.

VI. CONCLUSIONES

- Se determinó la respuesta dinámica de los modelos estructurales de edificios con aisladores elastoméricos y con base fija según las condiciones del suelo, obteniendo periodos fundamentales de vibración entre 2.5 a 5.0 segundos y 0.8 a 1.688 segundos para los modelos de base aislada y base fija, respectivamente. Asimismo, valores de derivas entre 2.9/1000 a 1.0/1000 y 14.5/1000 a 4.5/1000 para los modelos de base aislada y base fija, respectivamente, y valores de cortante basal entre 322.6 toneladas a 162.98 toneladas y 558.81 toneladas a 210.62 toneladas para los modelos de base aislada y base fija, respectivamente. Obteniendo así una mejor respuesta dinámica en los modelos con base aislada con respecto a los de base fija.
- Se obtuvo el espectro de respuesta para cada registro sísmico según la Norma Técnica Peruana E.030, observando una aceleración máxima igual a 1103.625 cm/s² entre periodos de 0.08 segundos y 0.4 segundos para un suelo del tipo S1, una aceleración máxima igual a 1158.806 cm/s² entre periodos de 0.12 segundos y 0.6 segundos para un suelo del tipo S2 y una aceleración máxima igual a 1213.988 cm/s² entre periodos de 0.2 segundos y 0.95 segundos para un suelo del tipo S3.
- Se describió las condiciones del suelo según el estudio de microzonificación sísmica en la ciudad de Trujillo, observándose velocidades de corte entre 507 y 592 m/s clasificados como perfil de suelo S1, velocidades de corte entre 267 y 496 m/s clasificados como perfil de suelo S2 y velocidades de corte igual a 175 m/s clasificados como perfil de suelo S3.
- Se realizó el predimensionamiento de los elementos estructurales de los modelos estructurales de edificios con aisladores elastoméricos y con base fija, obteniendo vigas con dimensiones de 30 cm x 40 cm, columnas de 50 cm x 50 cm, losas aligeradas con espesor de 20 cm y muros estructurales con 30 cm de espesor.
- Se realizó el metrado de cargas de los modelos estructurales de edificios con aisladores elastoméricos y con base fija, según la Norma Técnica

Peruana E.020, obteniendo cargas sobre las losas aligeradas en pisos típicos y en azoteas iguales a 0.47 ton/m² y 0.27 ton/m², respectivamente. Asimismo, obteniendo cargas sobre las vigas perimetrales en pisos típicos y en azotea iguales a 0.47 ton/m y 0.23 ton/m.

- Se realizó el modelamiento estructural de los edificios con aisladores elastoméricos y con base fija, obteniendo los periodos fundamentales de vibración entre 2.12 a 3.48 segundos para los modelos estructurales con base aislada y 0.81 a 1.69 segundos para los modelos estructurales con base fija.
- Se realizó el análisis sísmico de los modelos estructurales de los edificios con aisladores elastoméricos y con base fija, obteniendo para los modelos aislados con respecto a los de base fija, en el suelo S1, una reducción máxima de la cortante basal igual a 25.27% en el modelo de 11 niveles y una reducción mínima igual a 9.07% en el modelo de 20 niveles; en el suelo S2, una reducción máxima igual a 35.23% en el modelo de 11 niveles y una reducción mínima igual a 24.70% en el modelo de 14 niveles; y en el suelo S3, una reducción máxima igual a 54.02% en el modelo de 13 niveles y una reducción mínima igual a de 33.15% en el modelo de 11 niveles. Así mismo, se obtuvo para los modelos aislados respecto a los de base fija, en el suelo S1, una reducción máxima de la deriva de entrepiso igual a 77.08% en el modelo de 11 niveles y una reducción mínima de 68.25% en el modelo de 18 niveles; en el suelo S2, una reducción máxima igual a 80.91% en el modelo de 13 niveles y una reducción mínima de 75.17% en el modelo de 20 niveles; en el suelo S3, una reducción máxima igual a 86.55% en el modelo de 15 niveles y una reducción mínima de 79.53% en el modelo de 11 niveles.

VII. RECOMENDACIONES

- En base al presente estudio se recomienda para los futuros investigadores que traten el tema abordado realizando el análisis de la respuesta dinámica con modelos estructurales de diferentes niveles a los tratados en este trabajo de investigación.
- Se recomienda también que realicen el análisis comparativo de la respuesta dinámica de modelos estructurales con base fija y con aisladores sísmicos, tales como los de triple péndulo de fricción o de masas sintonizadas.
- Se recomienda a las entidades privadas dedicadas al sector construcción, desempeñadas en la rama de estructuras, que realicen un estudio de las características sísmicas de los suelos donde se asentaran las edificaciones para que puedan analizar el comportamiento real de los distintos tipos de aisladores en los diferentes tipos de suelos donde se construirá las edificaciones.
- Se recomienda a los ingenieros civiles dedicados a la rama de estructuras incentivar el diseño del sistema de aislamiento en las edificaciones obteniendo un amplio conocimiento sobre los efectos del suelo en el comportamiento de los dispositivos del sistema de aislamiento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguiar, R., Almazán, J. L., Dechent, P., & Suárez, V. (2008). *Aisladores de base elastoméricos y FPS* (Centro de Investigaciones Científicas (ed.); 1° edición). https://www.researchgate.net/publication/277302150_Aisladores_de_base_Elastomericos_y_FPS
- Alfaro, E. (2019). *Respuesta sísmica de diferentes edificaciones comunes, aplicando la propuesta de Norma e.031, ubicados en la ciudad de Tacna* [Universidad Privada de Tacna]. <http://repositorio.upt.edu.pe/bitstream/UPT/1183/1/Alfaro-Alfaro-Elio.pdf>
- Bazán, E., & Meli, R. (2002). *Diseño sísmico de edificios* (LIMUSA (ed.)). https://www.academia.edu/36401028/Diseno_Sismico_de_Edificios_Bazan_y_Meli
- Blacio, J., & Herrera, D. (2018). *Análisis costo-beneficio en construcción de edificaciones con aisladores sísmicos en una estructura tipo* [Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil]. <http://repositorio.ulvr.edu.ec/bitstream/44000/2612/1/T-ULVR-2410.pdf>
- Blanco, A. (2014). *Estructuración y diseño de edificaciones de concreto armado*. https://www.academia.edu/9942581/Estructuracion_y_Diseno_de_Edificaciones_de_Concreto_Armado_Antonio_Blanco_Blasco
- Bridgestone. (2015). Bridgestone seismic isolation product line-up. *Volumne 1*, 75. https://www.bridgestone.com/products/diversified/antiseismic_rubber/pdf/catalog_201710.pdf
- Carreño, E., Bravo, B., Suárez, A., & Tordesillas, J. (1999). *Registro y tratamiento de acelerogramas*. 31. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=124579>
- Cassano, A. M. (2009). *Análisis de estructuras bajo acciones dinámicas* (edUTecNe (ed.)). https://www.academia.edu/27367588/ANALISIS_DE_ESTRUCTURAS_BAJO_ACCIONES_DINÁMICAS

Chacón, C. (2018). *Eficiencia de respuesta sísmica de la infraestructura del hospital materno infantil de la ciudad de Juliaca, diseñado con aisladores de base considerando la flexibilidad del suelo.*

https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/UPEU/851/César_Tesis_Licenciatura_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Chan, S. (2002). *Influencia del escalamiento de movimientos sísmicos de banda estrecha en la evaluación de la confiabilidad de edificios* [Universidad Nacional Autónoma de México].

http://132.248.9.41:8880/jspui/handle/DGB_UNAM/TES01000313845

Chan, S., Ruiz, S., & Montiel, M. (2005). *Escalamiento de acelerogramas y número mínimo de registros requeridos para el análisis de estructuras. Ingeniería Sísmica*, 2–3.

https://www.researchgate.net/publication/26506203_Escalamiento_de_acelerogramas_y_numero_minimo_de_registros_requeridos_para_el_analisis_de_estructuras

Chávez, J. (2019). *Perú es un país altamente sísmico. Debemos prevenir para no lamentar.* Trujilloonline.Pe.

<http://www.trujilloonline.pe/noticias/opinion/27/05/2019/peru-es-un-pais-altamente-sismico-debemos-prevenir-para-no-lamentar>

Chilet, S. (2017). *El 80% de viviendas construidas por propietarios no cuentan con supervisión profesional.* ASOCEM. <http://www.asocem.org.pe/noticias-nacionales/el-80-de-viviendas-construidas-por-propietarios-no-cuentan-con-supervision-profesional>

Corporación de Desarrollo Tecnológico. (2011). *Protección sísmica de estructuras. Santiago de Chile*, 43.

http://descargas.coreduc.cl/Proteccion_Sismica_de_Estructuras_-_Febrero_2012_CLR_v4.1.pdf

CSI. (2016). *Analysis reference manual* (p. 558).

Flores, H., & Cahuata, F. (2015). *Análisis y diseño estructural de edificaciones con aisladores sísmicos y análisis comparativo de respuesta sísmica y costos con la*

edificación convencional [Universidad Nacional de San Agustín].

<http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/110>

Florez, C., & Lozano, C. (2007). *Análisis y tratamiento de señales de fuentes sísmogénicas de campo cercano a San José de Cúcuta*. 9.

http://www.cismid.uni.edu.pe/wp-content/uploads/2019/12/flores_doc.pdf

Garay, A. (2019). *Sintonizadores de masa para el control de la respuesta sísmica de edificios altos ubicados en terreno blando* [Universidad Autónoma Metropolitana].

<http://hdl.handle.net/11191/6257>

García, L. (1998). *Dinámica estructural aplicada al diseño sísmico*.

https://www.academia.edu/11055705/Dinamica_Estructural_Aplicada_al_Disen_o_Sismico

Genatios, C., & Lafuente, M. (2016). *Introducción al uso de aisladores y disipadores en estructuras*. (P. Maragno (ed.)). CAF-Banco de Desarrollo de América Latina.

<http://scioteca.caf.com/handle/123456789/1213>

Gómez, D., Marulanda, J., & Thomson, P. (2008). Sistemas de control para la protección de estructuras civiles sometidas a cargas dinámicas. *DYNA (Colombia)*, 75(155), 13.

https://www.researchgate.net/publication/262546422_Control_systems_for_dynamic_loading_protection_of_civil_structures/fulltext/03aaa2190cf2d6dfe89f7593/Control-systems-for-dynamic-loading-protection-of-civil-structures.pdf

Gómez, S. (2015). *Análisis sísmico moderno (ética aplicada)*.

https://www.academia.edu/38401373/ANALISIS_SISMICO_MODERNO_ETICA_APLICADA

Huanca, J., & Meléndez, M. (2016). *Análisis dinámico modal espectral de una edificación convencional y otra con aisladores sísmicos a nivel intermedio de la estructura en la ciudad de Tacna* [Universidad Privada de Tacna].

http://repositorio.upt.edu.pe/bitstream/UPT/158/1/Huanca-Chambilla-Jhessenia_Melendez-Limache-Marienela.pdf

Jaimes, M., Reinoso, E., Ordaz, M., & Arredondo, C. (2009). Correlación entre la aceleración y velocidad máxima del suelo: Aplicación en el análisis del peligro

sísmico. *Ingeniería Sísmica*, 35(81), 17.

http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-092X2009000200002

Kaoutar, T. (2015). Influence of seismic isolation system on bridge responses.

Revista Ingeniería de Construcción, 30, 5.

https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-50732015000300006#f4

Liñan, R., & Carrasco, D. (2015). *Análisis sísmico comparativo entre los sistemas de concreto armado y con aislamiento sísmico en la base para un edificio de 5 pisos* [Universidad Privada de Trujillo]. <http://cip-trujillo.org/ovcipcdll/uploads/biblioteca/abstract/TESISLIANBLASCARRASCOZEGARRA.PDF>

Lugo, Y. (2019). *Grandes centros de salud deberán construirse bajo nueva norma de aislamiento sísmico*. Diario de Economía y Negocios – GESTIÓN PERÚ.

<https://gestion.pe/peru/grandes-centros-de-salud-deberan-construirse-bajo-nueva-norma-de-aislamiento-sismico-noticia/>

Madera, I., Losanno, D., Strano, S., Marulanda, J., & Thomson, P. (2019).

Development and experimental behavior of HDR seismic isolators for low-rise residential buildings. *Engineering Structures*, 183, 894–906.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2019.01.037>

Minimum design loads and associated criteria for buildings and other structures, 889 (2017). <http://aulaseproinca.blogspot.com/2017/12/descarga-el-codigo-ascesei-7-16-pdf.html>

Ministerio de transporte e infraestructura. (2005). *Requisitos generales de diseño y construcción*. 51.

http://www.drmonline.net/drmlibrary/pdfs/DRM_Nicaragua_building_code_June_2005c.pdf

Mohammed, I. (2018). Seismic isolation of structures. Part I: Concept, review and a recent development. *Hormigón y Acero*, 69, 147–161.

<https://doi.org/10.1016/j.hya.2017.10.002>

Nehrp recommended provisions for seismic regulations for new buildings and other structures, 356 (2003). <https://mitigation.eeri.org/resource-library/policy-and-community-planners/nehrrp-recommended-provisions-for-seismic-regulations-for-new-buildings-and-other-buildings-fema-450-part-i>

Norma Técnica Peruana E.020 “Cargas,” 21 (2006).
<https://ww3.vivienda.gob.pe/DGPRVU/docs/RNE/Título III Edificaciones/50 E.020 CARGAS.pdf>

Norma Técnica Peruana E.060 “Concreto armado,” 201 (2009).
http://www3.vivienda.gob.pe/dnc/archivos/Estudios_Normalizacion/Normalizacion/normas/E060_CONCRETO_ARMADO.pdf

Norma Técnica Peruana E.030 “Diseño Sismorresistente,” 80 (2018).
<http://www3.vivienda.gob.pe/dgprvu/docs/RNE/Título III Edificaciones/51 E.030 DISENO SISMORRESISTENTE.pdf>

Norma Técnica Peruana E.031 “Aislamiento Sísmico,” 66 (2019).
https://drive.google.com/file/d/1_zhuvhpATKqX9gZae6aeLmQwJJ4YoHiL/view

Pastora, A., & Ríos, M. (2016). *Análisis del efecto de aisladores sísmicos en la respuesta dinámica de un edificio aporticado de 4 niveles, según las condiciones de suelo de la zona Noroeste de la ciudad de Managua, Nicaragua* [Universidad Centroamericana]. <http://repositorio.uca.edu.ni/3168/1/UCANI4088.pdf>

Pique, J., & Scaletti, H. (1991). *Análisis sísmico de edificios*.
<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Piscal, C., & López, F. (2019). Comparación de las dos metodologías de análisis y diseño más recientes de ASCE 7, para el análisis de su posible empleo en edificaciones con aislamiento sísmico de base en Colombia. *Ingeniería y Desarrollo*, 37, 1–12. <https://doi.org/10.14482/inde.37.1.624.2>

Ramos, C. (2019). *Análisis sísmico comparativo de un edificio de mediana altura con base fija empotrada, y con aisladores sísmicos elastoméricos* [Universidad Estatal del Sur de Manabí]. <http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/2008>

Reyna, A. (2017). *Análisis comparativo de la respuesta sísmica de estructuras de*

concreto armado con y sin aisladores sísmicos en la base según su variación en la altura [Universidad César Vallejo]. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/1493>

Santana, R. (2013). *Ingeniería antisísmica principios básicos y aplicaciones* (Primera ed).

https://www.academia.edu/42003729/Principios_Básicos_y_Aplicaciones_Ingenieria_Antisismica

Shahram, A., Bakhshi, A., & Vahid, T. (2017). Experimental investigation on effects of elastomer components on dynamic and mechanical properties in seismic isolator compounds. *Construction and Building Materials*, 135, 267–278.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.12.184>

Solórzano, E. (2019). *Influencia de las condiciones del suelo en el comportamiento estructural de un hospital con aislamiento sísmico en la base* [Pontificia Universidad Católica del Perú].

<http://hdl.handle.net/20.500.12404/14915>

Tocto, S. (2018). *Desempeño sísmico de una estructura de concreto armado con aisladores sísmicos LRB para uso esencial en la ciudad de Trujillo, región La Libertad, 2018* [Universidad Privada del Norte]. <http://hdl.handle.net/11537/21288>

Urizar, R. (2016). *Comparación del comportamiento estructural de edificación de concreto, utilizando aisladores elastoméricos en la base* [Universidad de San Carlos de Guatemala]. [http://www.repositorio.usac.edu.gt/6283/1/Ronald Enrique Urizar Monzón.pdf](http://www.repositorio.usac.edu.gt/6283/1/Ronald%20Enrique%20Urizar%20Monz%C3%B3n.pdf)

Vielma, J. C., Barrios, A., & Alfaro, A. (2009). Evaluación numérica de la respuesta sísmica de edificio dañado por el terremoto de Tucacas de 2009. *Revista INGENIERÍA UC*, 20, 13.

<https://www.redalyc.org/pdf/707/70732641003.pdf>

Villavicencio, E. (2015). *Análisis sísmico estructural comparativo para edificios con aisladores de base tipo elastoméricos y friccionantes, para los diferentes tipos de suelos del Ecuador* [Escuela Politécnica Nacional].

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

ANEXOS

Anexo 1.

DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD DEL AUTOR

Yo, Abanto Burgos Humberto Alamiro, estudiante de la escuela profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad César Vallejo sede Trujillo, declaro bajo juramento que todos los datos e información que acompañan al proyecto de investigación titulado.”, es: Respuesta dinámica del modelamiento de edificios con base fija y con aisladores elastoméricos según las condiciones del suelo, Trujillo

1. De mi autoría.
2. El presente proyecto de investigación no ha sido plagiado ni total, ni parcialmente.
3. El presente proyecto de investigación no ha sido publicado ni presentado anteriormente.
4. Los resultados presentados en el presente proyecto de investigación son reales, no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

Trujillo, Diciembre de 2021



Abanto Burgos Humberto Alamiro

DNI:71494488

Anexo 2.

DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD DEL ASESOR

Yo, Josualdo Carlos Villar Quiroz, docente de la escuela profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad César Vallejo sede Trujillo, revisor del proyecto de investigación titulado “Respuesta dinámica del modelamiento de edificios con base fija y con aisladores elastoméricos según las condiciones del suelo, Trujillo” del estudiante, constato que el señor Abanto Burgos Humberto Alamiro tiene un índice de similitud de 24% verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyó que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

Trujillo, diciembre de 2021



Josualdo Carlos Villar Quiroz

DNI: 40132759

Anexo 3.

- Anexo 3.1. Matriz de operacionalización de variables

Figura 23. Matriz de operacionalización de variables

VARIABLE	MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES			
	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
RESPUESTA DINÁMICA	Es una gráfica del valor máximo de una cantidad de respuesta como una función del periodo de vibración natural T_n del sistema, o de un parámetro relacionado, como la frecuencia circular ω_n o la frecuencia cíclica f_n , (A. Chopra, 2014)	Es una gráfica de valores pico de respuesta, la cual está compuesta de las máximas aceleraciones, obtenidas del CISMID y amplificadas según la Norma E.030, para distintos periodos de vibración.	ACELERACIONES MÁXIMAS DEL TERRENO (m/s ²)	Razón
	Las condiciones del suelo están determinados por los tipos de perfiles de suelo sobre las cuales priman las propiedades mecánicas que poseen, así también, el periodo fundamental de vibración como la velocidad de propagación de las ondas de corte. (Santana, 2013)	Son propiedades que posee el suelo y los cuales se obtienen de pruebas de campo, mediante un estudio de Microzonificación, como la prueba de penetración estándar y pruebas geofísicas.	VELOCIDAD DE CORTE (m/s)	Razón
	Es un mecanismo iterativo el cual consiste en ir perfeccionando una propuesta de dimensiones de los elementos estructurales iniciales, hasta llegar a una propuesta óptima. (Villareal, 2015)	Es el procedimiento a través del cual se dimensionan todos los elementos estructurales, de acuerdo a la utilidad, la separación entre elementos estructurales y la complejidad de la edificación.	DIMENSIONES DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES	Razón

	<p>El metrado de cargas es una técnica con la cual se estiman las cargas actuantes sobre los distintos elementos estructurales que componen al edificio. (San Bartolomé, 1998)</p>	<p>Es el procedimiento a través del cual se trata de incluir todas las cargas a la que la estructura estará expuesta involucrando sólo combinaciones de cargas por gravedad.</p>	<p>CARGA MUERTA Y CARGA VIVA</p>	<p>Razón</p>
	<p>Proceso mediante el cual se genera una idealización matemática que pretende representar la conducta real de la estructura a ser construida. (A. Mendoza, 2017)</p>	<p>Es el procedimiento por el cual se llega a construir una representación analítica de la edificación dentro del software ETABS 2016, el cual se incluye: la geometría, las propiedades de los materiales, la magnitud y ubicación de las cargas, la interacción de todos los elementos estructurales y de la misma estructura con el medio circundante (suelo).</p>	<p>PERIODO FUNDAMENTAL DE VIBRACIÓN (s)</p>	<p>Razón</p>
	<p>Es un procedimiento que involucra el cálculo de la respuesta estructural como una función del tiempo cuando el sistema se somete a una aceleración dada del terreno $\ddot{u}_g(t)$. (A. Chopra, 2014)</p>	<p>Es una metodología en la cual se evalúa la respuesta dinámica de una estructura producto de las aceleraciones del suelo, que ocasionan fuerzas inerciales.</p>	<p>CORTANTE BASAL (tonf)</p> <hr/> <p>DERIVA</p>	<p>Razón</p>

- Anexo 3.2. Indicadores de variables

Figura 24. Indicadores de variables

OBJETIVO ESPECÍFICO	DIMENSIONES	INDICADOR	DESCRIPCIÓN	TÉCNICA E INSTRUMENTO	TIEMPO EMPLEADO	MODO DE CÁLCULO
<p>Obtener el espectro de respuesta para cada registro sísmico según la Norma Técnica Peruana E.030.</p>	<p>ESPECTRO DE RESPUESTO</p>	<p>ACELERACIÓN MÁXIMA DE DISEÑO (m/s²)</p>	<p>Es una gráfica del valor máximo de una cantidad de respuesta como una función del periodo de vibración natural T_n del sistema.</p>	<p>REVISIÓN DOCUMENTAL / FICHA RESUMEN</p>	<p>5 - 6 horas</p>	<p>El modo de cálculo parte de encontrar las aceleraciones del suelo de los registros sísmicos y mediante métodos numéricos (Método de Fourier) encontrar las aceleraciones máximas de diseño, y escalarla al espectro de respuesta según la Norma E.030.</p>
<p>Describir las condiciones del suelo según el estudio de microzonificación sísmica en la ciudad de Trujillo.</p>	<p>CONDICIONES DEL SUELO</p>	<p>VELOCIDAD DE CORTE (m/s)</p>	<p>Las condiciones del suelo están determinados por los tipos de perfiles de suelo sobre las cuales priman las propiedades mecánicas que poseen.</p>	<p>REVISIÓN DOCUMENTAL / FICHA RESUMEN</p>	<p>2 - 3 horas</p>	<p>El modo de cálculo será mediante pruebas de campo, mediante un estudio de Microzonificación sísmica.</p>

Realizar el predimensionamiento de los elementos estructurales de los modelos estructurales de edificios con aisladores elastoméricos y con base fija en la ciudad de Trujillo.	PREDIMENSIONAMIENTO	DIMENSIONES DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES	Es un mecanismo iterativo el cual consiste en ir perfeccionando una propuesta de dimensiones de los elementos estructurales iniciales, hasta llegar a una propuesta óptima.	REVISIÓN DOCUMENTAL / FICHA RESUMEN	3 - 4 horas	El modo de cálculo será aplicar los criterios de algunos autores en base a sus experiencias, para dar medidas tentativas a los elementos estructurales, de tal manera que la estructura posea una buena rigidez y resistencia.
Realizar el metrado de cargas de los modelos estructurales de edificios con aisladores elastoméricos y con base fija, según la Norma Técnica Peruana E.020.	METRADO DE CARGAS	CARGA MUERTA Y CARGA VIVA	El metrado de cargas es una técnica con la cual se estiman las cargas actuantes sobre los distintos elementos estructurales que componen al edificio.	REVISIÓN DOCUMENTAL / FICHA RESUMEN	3 - 4 horas	El modo de cálculo será aplicando la Norma E.020, considerando cargas distribuidas por unidad de área que cargan las losas y cargas distribuidas por unidad de longitud que cargan todas las vigas.
Realizar el modelamiento estructural de los edificios con aisladores elastoméricos y con base fija en la ciudad de Trujillo.	MODELAMIENTO ESTRUCTURAL	PERIODO FUNDAMENTAL DE VIBRACIÓN (s)	Proceso mediante el cual se genera una idealización matemática que pretende	OBSERVACIÓN / GUÍA DE OBSERVACIÓN	6 - 8 horas	El modo de cálculo será ubicar los ejes principales para posteriormente sobre ellos dibujar los elementos estructurales con

			representar la conducta real de la estructura a ser construida.			previa deifnición de los materiales que los componen. Luego idealizamos el modelo a sus condiciones reales.
Realizar el análisis sísmico de los modelos estructurales de los edificios con aisladores elastoméricos y con base fija en la ciudad de Trujillo.	ANÁLISIS SÍSMICO	CORTANTE BASAL (tonf)	Es un procedimiento que involucra el cálculo de la respuesta estructural como una función del tiempo cuando el sistema se somete a una aceleración dada del terreno $\ddot{u}_g(t)$.	OBSERVACIÓN / GUÍA DE OBSERVACIÓN	10 - 12 horas	El modo de cálculo será aplicar el análisis sísmico de fuerzas equivalentes o estático, el análisis sísmico modal espectral, y el análisis sísmico no lineal historia de respuesta.
		DERIVA				

Anexo 4. Instrumentos de recolección de datos

- Anexo 4.1. Ficha resumen

ANEXO N° 01. Ficha Resumen para registros sísmicos brindados por el Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID)

I. Datos Generales

Título de tesis:	Respuesta dinámica en el modelamiento de edificios con aisladores elastoméricos y con base fija según las condiciones del suelo, Trujillo, 2021		
Lugar:	Distrito de Trujillo, Provincia de Trujillo, Departamento La Libertad		
Nombre de la estación:			
Localización de la estación:			
Modelo del acelerógrafo:			
Coordenada del Epicentro:			
Fecha del sismo:			
Magnitud:			
Aceleraciones máximas (cm/s ²):	EO (cm/s ²)	NS (cm/s ²)	V (cm/s ²)

II. Datos de aceleraciones registradas

ΔT (s)	EO (cm/s ²)	NS (cm/s ²)	V (cm/s ²)

III. Validación por parte del experto

- Anexo 4.2. Ficha resumen

ANEXO N° 02. Ficha Resumen para Estudio de Microzonificación Sísmica

I. Datos Generales

Título de tesis:	Respuesta dinámica en el modelamiento de edificios con aisladores elastoméricos y con base fija según las condiciones del suelo, Trujillo, 2021
Lugar:	Distrito de Trujillo, Provincia de Trujillo, Departamento La Libertad
Fecha:	Octubre 2021

II. Mapa de ubicación y Mapa de las Zonas de Isoperiodos según el estudio de Microzonificación sísmica del distrito de Trujillo, provincia de Trujillo, La Libertad.

ZONA	DESCRIPCIÓN

III. Descripción de las Zonas de Isoperiodos, de acuerdo al estudio de Microzonificación Sísmica

IV. Caracterización de las zonas de Trujillo obtenidas del estudio de Microzonificación Sísmica de acuerdo a la Norma Técnica Peruana E.030 (2018).

Según la Norma Técnica Peruana E.030, existen 5 Perfiles de Suelos:

CLASIFICACIÓN DE LOS PERFILES DE SUELO			
Perfil	VS	N60	SU
S0 (Roca dura)	> 1500 m/s	-	-
S1 (Suelos muy rígidos)	500 m/s a 1500 m/s	> 50	> 100 kPa
S2 (Suelos Intermedios)	180 m/s a 500 m/s	15 a 50	50 kPa a 100 kPa
S3 (Suelos blandos)	< 180 m/s	< 50	25 kPa a 50 kPa
S4 (Condiciones excepcionales)	Clasificación basada en el EMS		

V. Validación por parte del experto

Respuestas Dinámicas de los Modelos de Edificios de Base Fija en Suelos Blandos (S3)												
Sistema	Parámetros Dinámicos	Número de niveles										
		10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
BASE FIJA	Periodo fundamental de vibración											
	Deriva de entrepiso											
	Cortante Basal											

III. Validación por parte del experto

ANEXO N° 02. Ficha Resumen para registros sísmicos brindados por el Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID)

I. Datos generales de los sismos ocurridos en el Perú, extraídos de la página web del Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID)

Tabla 10. Datos generales de los sismos ocurridos en el Perú, obtenidos del CISMID.

<u>País</u>	<u>Sismo</u>	<u>Año</u>	<u>Estación</u>	<u>Magnitud</u>	<u>Comp. Sismo</u>	<u>Aceleración máxima (g)</u>	<u>Step (seg)</u>	<u>Duración (seg)</u>
Perú	Ica	2007	Ica	7.0	E-O	-272.2	0.01	218.06
					N-S	334.1		
Perú	Chimbote	1970	Lima	6.6	E-O	-105.05	0.02	45.08
					N-S	-97.81		
Perú	Lima	1974	Lima	6.2	E-O	191.89	0.02	97.56
					N-S	-207.35		
Perú	Lima	1966	Lima	8.1	E-O	-180.56	0.02	65.64
					N-S	-286.24		
Perú	Lima	2003	Lima	5.1	E-O	109.09	0.005	86.995
					N-S	131.45		
Perú	Iquitos	2005	Moyobamba	7.0	E-O	-131.36	0.005	27.195
					N-S	-103.39		
Perú	Lima	2013	Lima	5.8	E-O	85.42	0.005	74.995
					N-S	-69.45		

II. Aceleraciones de 7 registros sísmicos obtenidos de la página web del CISMID.

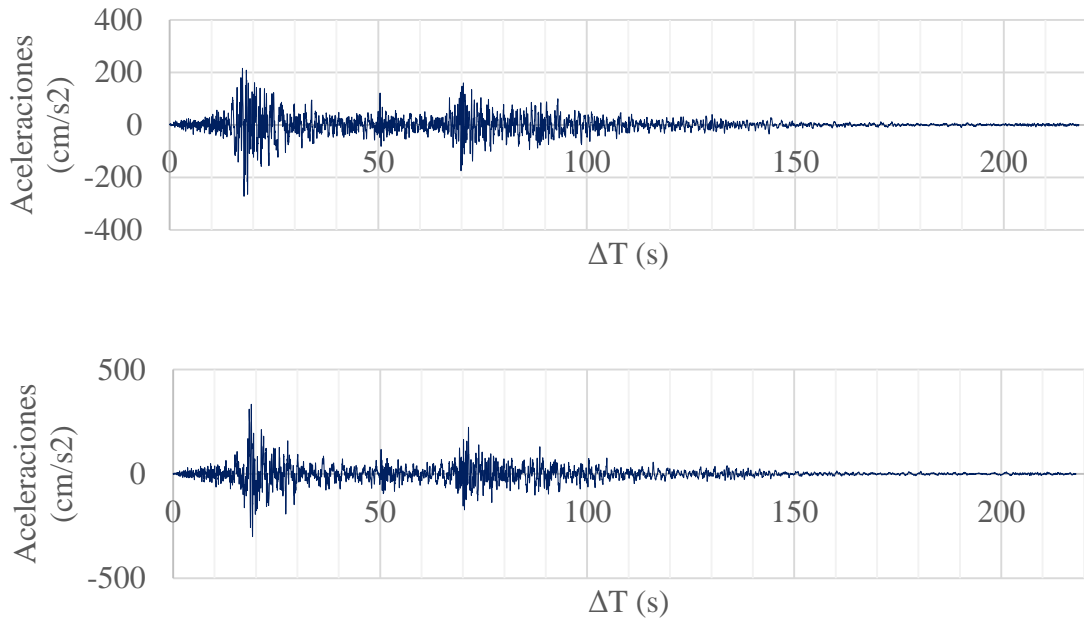


Figura 61. Sismo de Ica del año 2007 en la dirección Este – Oeste y Norte – Sur.

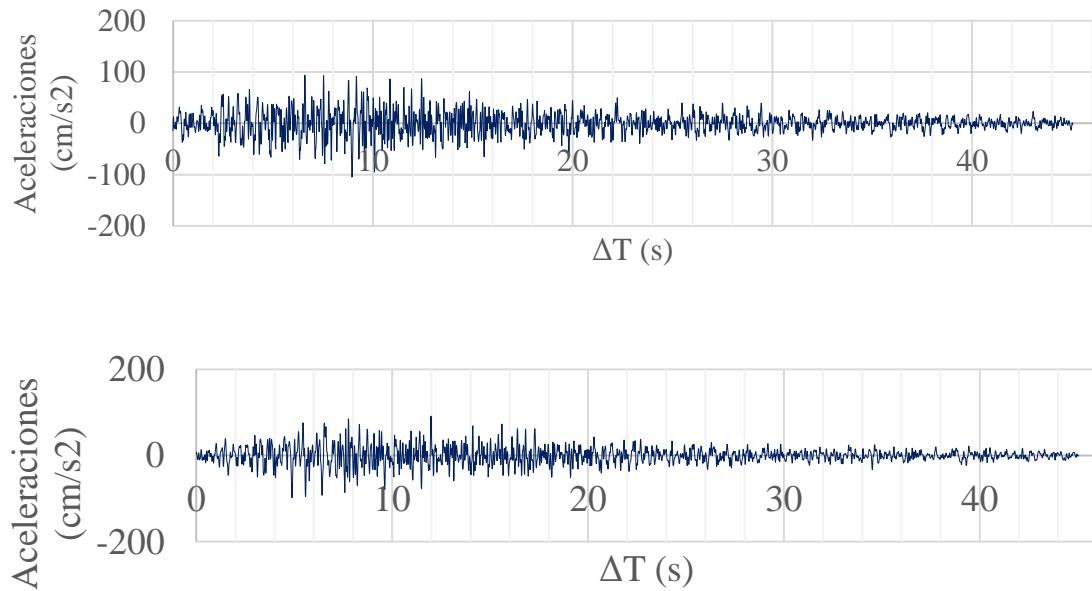


Figura 62. Sismo de Chimbote del año 1970 en la dirección Este – Oeste y Norte – Sur.

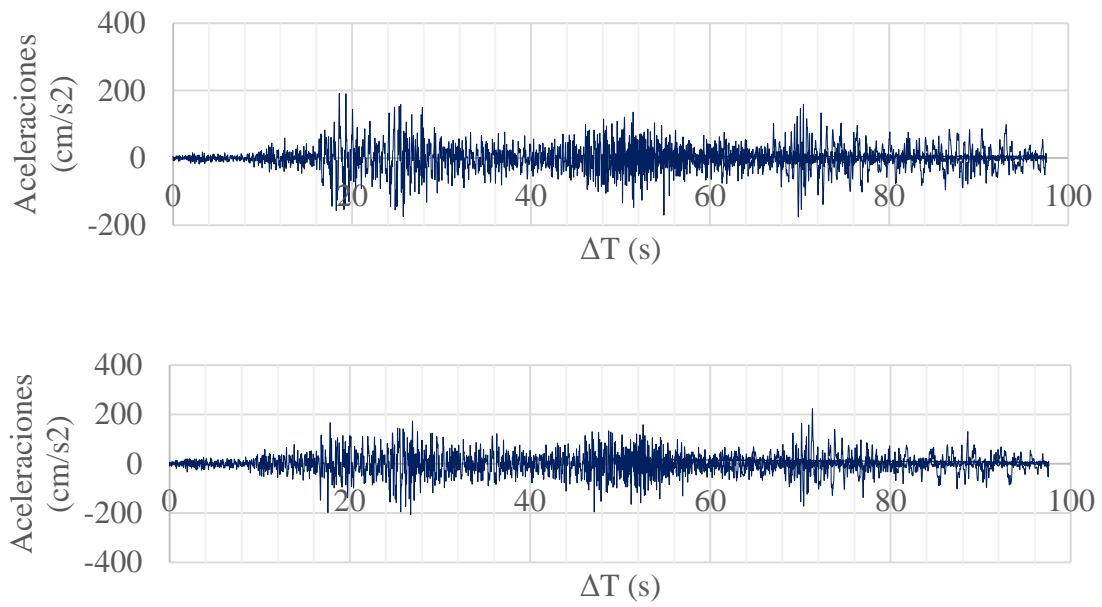


Figura 63. Sismo de Lima del año 1974 en la dirección Este – Oeste y Norte – Sur.

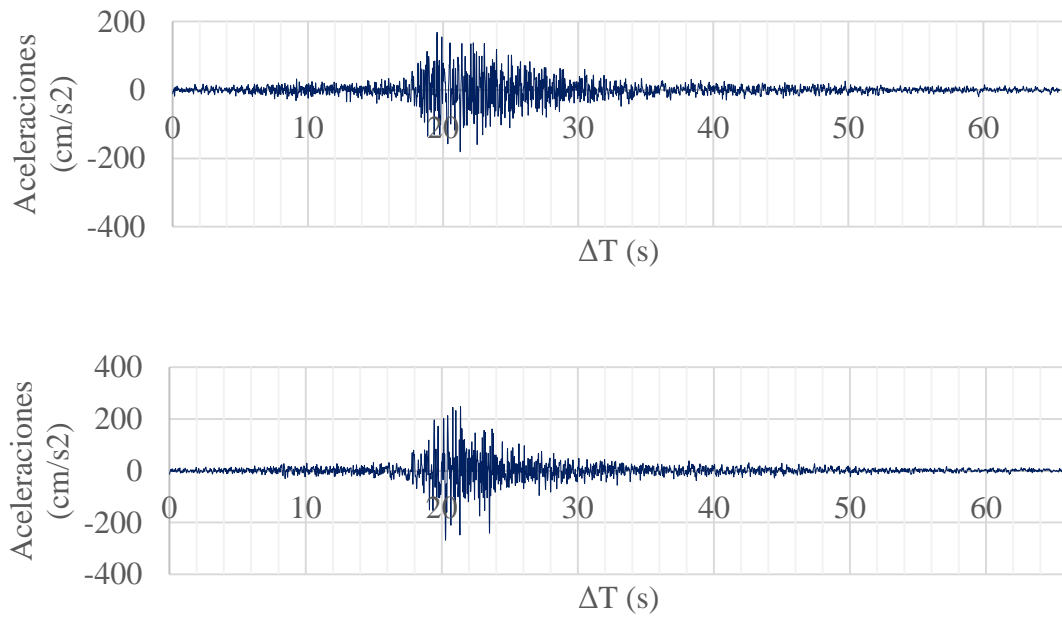


Figura 64. Sismo de Lima del año 1966 en la dirección Este – Oeste y Norte – Sur

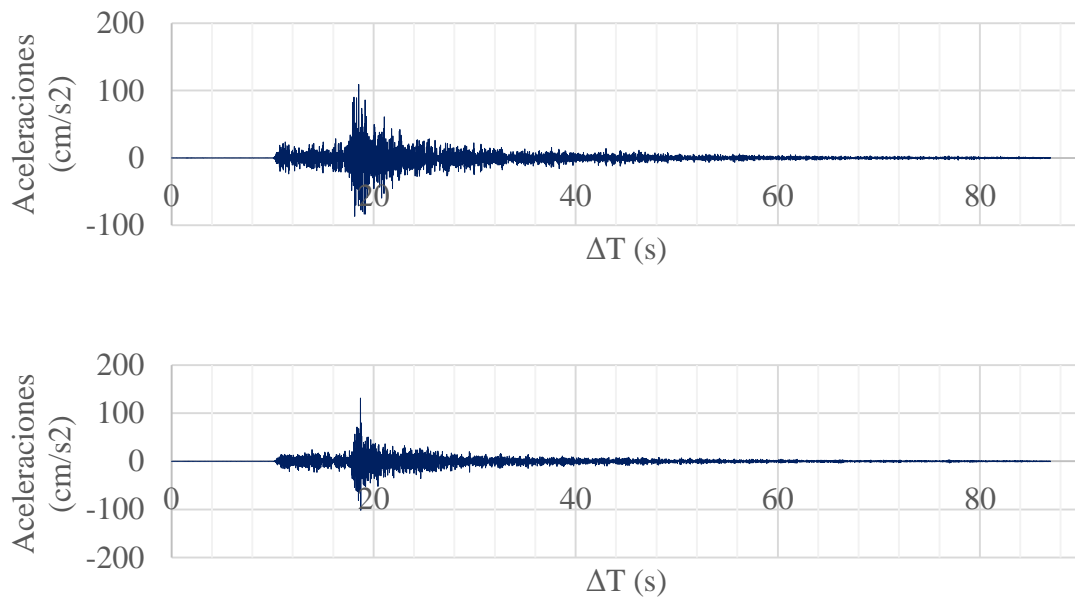


Figura 65. Sismo de Lima del año 2003 en la dirección Este – Oeste y Norte – Sur

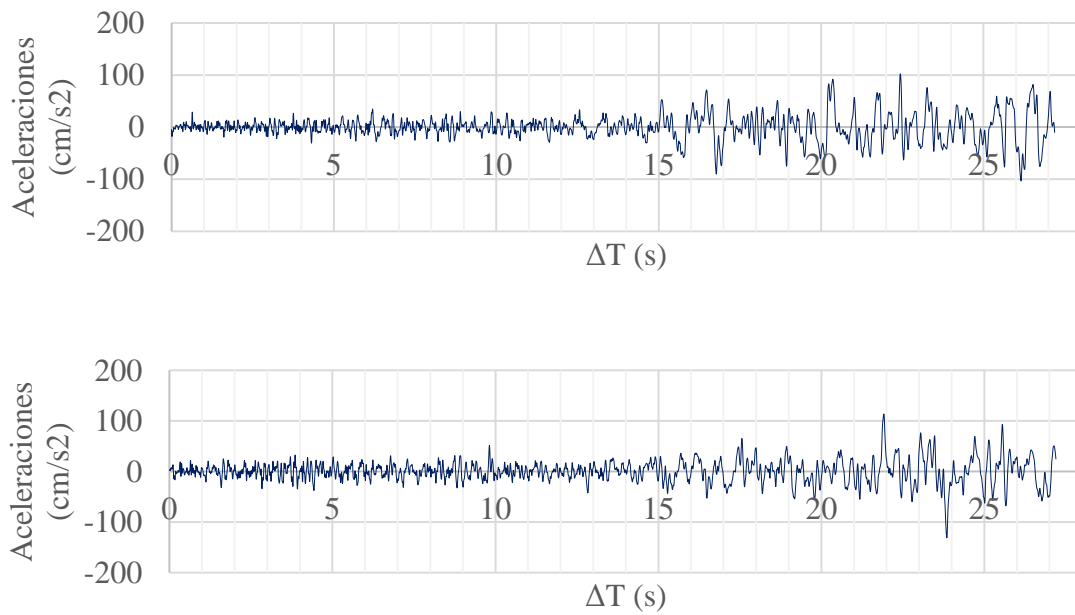


Figura 66. Sismo de Iquitos del año 2005 en la dirección Este – Oeste y Norte – Sur

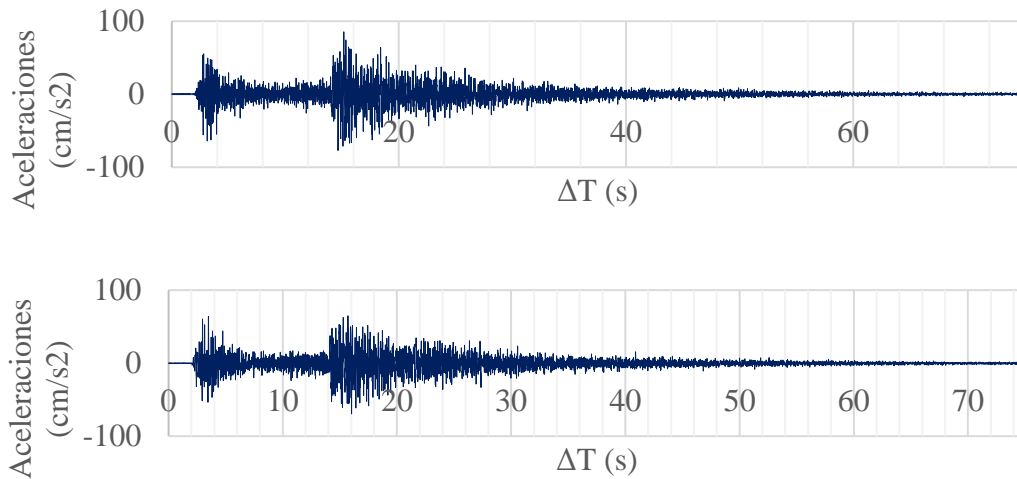


Figura 67. Sismo de Lima del año 2013 en la dirección Este – Oeste y Norte – Sur

III. Tratamiento de los registros sísmicos y escalamientos al espectro objetivo de la Norma Técnica Peruana E.030.

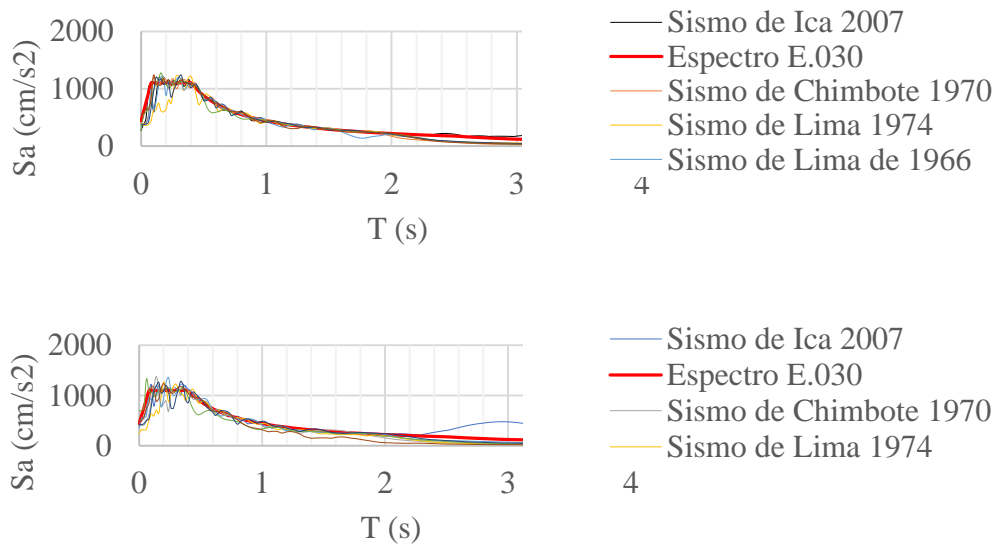


Figura 68. Aceleraciones máximas escalados al espectro de diseño (Este – Oeste y Norte – Sur) para un suelo S1.

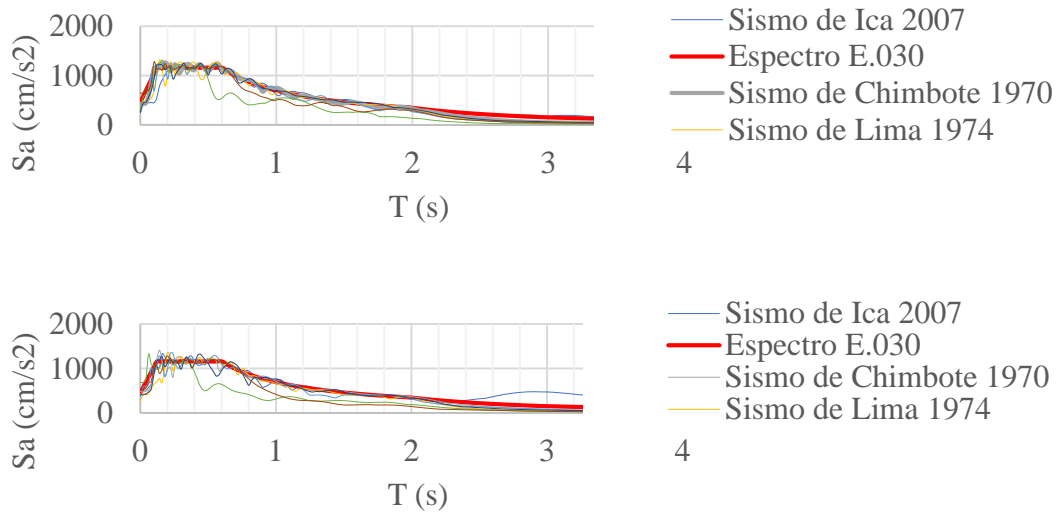


Figura 69. Aceleraciones máximas de los sismos escalados al espectro de diseño en la dirección Este – Oeste y Norte – Sur para un suelo S2.

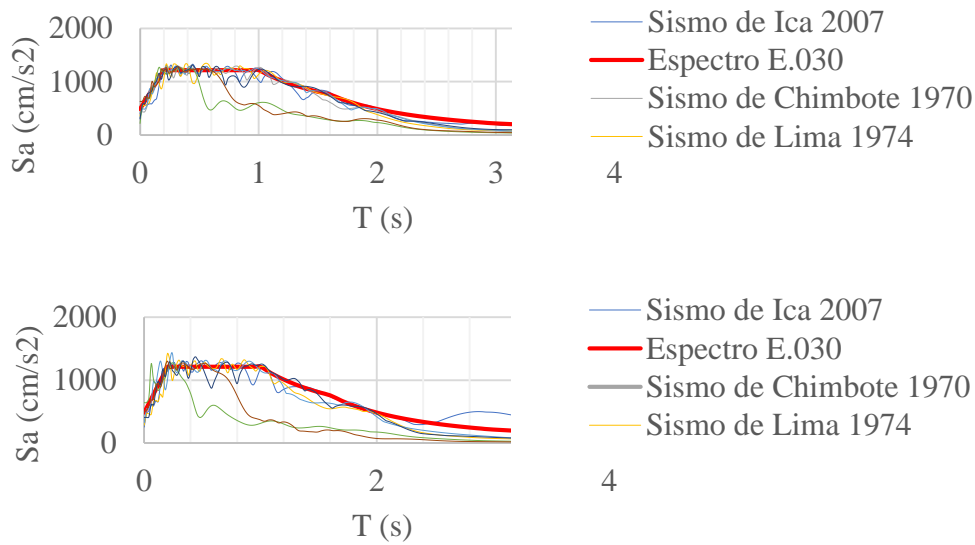


Figura 70. Aceleraciones máximas de los sismos escalados al espectro de diseño en la dirección Este – Oeste y Norte – Sur para un suelo S3.

IV. Validación por parte del experto

ANEXO N° 03. Ficha Resumen para las Condiciones del Suelo según el Estudio de Microzonificación Sísmica en la ciudad de Trujillo

I. Datos Generales

Título de tesis:	
Lugar:	
Fecha:	

II. Mapa de ubicación y de las zonas de isoperiodos de la ciudad de Trujillo.

Tabla 11. Descripción de las zonas de isoperiodos clasificadas según el estudio de microzonificación sísmica en la ciudad de Trujillo, realizada por el CISMID.

ZONA	DESCRIPCIÓN	ÁREA (Ha)	ÁREA (%)
Total:			

III. Clasificación de los perfiles de suelo.

Tabla 12. Clasificación de los perfiles de suelo según la Norma Técnica Peruana E.030.

CLASIFICACIÓN DE LOS PERFILES DE SUELO			
Perfil	V _s	N ₆₀	S _u
Clasificación basada en el EMS			

IV. Velocidad de onda de corte de cada zona del distrito de Trujillo.

Tabla 13. *Velocidad de onda de corte de cada zona de la ciudad de Trujillo según el estudio de microzonificación sísmica, realizada por el CISMID.*

PERFIL	UBICACIÓN	VS (m/s)
---------------	------------------	---------------------

V. Correspondencia entre los valores obtenidos de la velocidad de onda de corte (Vs) del estudio de microzonificación sísmica y la Norma E.030 (2018)

Tabla 14. *Correspondencia entre los valores obtenidos de las velocidades de ondas de cortes (Vs) y la Norma Técnica Peruana E.030.*

ZONAS ENCONTRADAS EN TRUJILLO SEGÚN LA MICRONIFICACIÓN SÍSMICA	TIPOS DE SUELO SEGÚN LA NORMA E.030	VS SEGÚN LA NORMA E.030
---	--	------------------------------------

ANEXO N° 04. Ficha Resumen Llenado para las Condiciones del Suelo según el Estudio de Microzonificación Sísmica en la ciudad de Trujillo

I. Datos Generales

Título de tesis:	Análisis comparativo de la respuesta dinámica de los modelos estructurales de edificios con aisladores elastoméricos y con base fija según las condiciones del suelo, Trujillo, 2021
Lugar:	Distrito de Trujillo, Provincia de Trujillo, Departamento La Libertad
Fecha:	Octubre 2018

II. Mapa de ubicación y de las zonas de isoperiodos de la ciudad de Trujillo elaborada por el CISMID

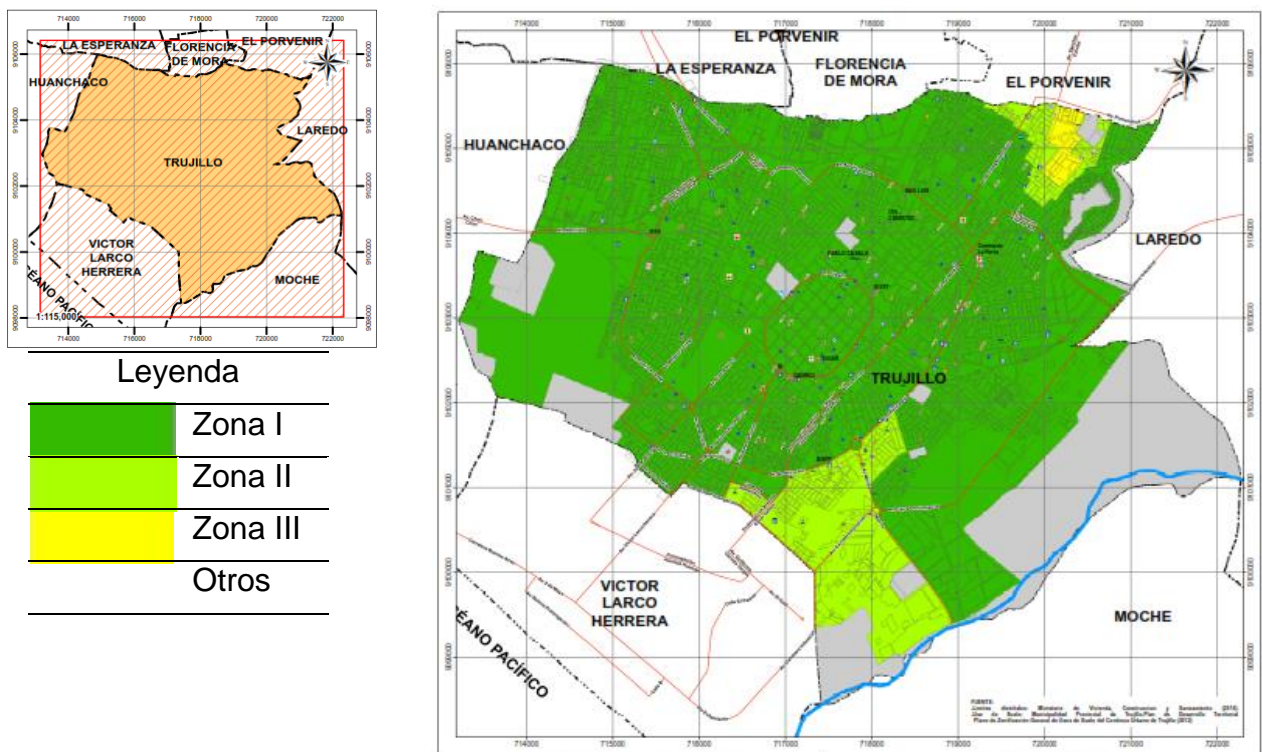


Figura 71. Mapa de ubicación y zonas de isoperiodos según el estudio de microzonificación sísmica en la ciudad de Trujillo, realizada por el CISMID.

Tabla 15. Descripción de las zonas de isoperiodos clasificadas según el estudio de microzonificación sísmica en la ciudad de Trujillo, realizada por el CISMID.

ZONA	DESCRIPCIÓN	ÁREA (Ha)	ÁREA (%)
ZONA I:	Periodos menores a 0.2 s.	2842.03	78.17
ZONA II:	Periodos mayores o iguales a 0.2 s. y menores a 0.3 s.	343.53	8.97
ZONA III	Periodos mayores o iguales a 0.3 s. y menores a 0.5 s.	27.53	0.72
OTROS	Zona de recreación pública, zona de habilitación recreacional, zona arqueológica, otros usos, zona agrícola. zona de reglamentación especial – riesgo dentro del área de estudio	618.12	12.14
Total:		3831.21	100.00

III. Descripción de las zonas de isoperiodos.

El mapa presentado anteriormente en la presente ficha resumen, muestra el mapa de isoperiodos para el distrito de Trujillo, el cual presenta tres zonas que se detallan a continuación:

La **zona I** mostrada en color verde oscuro presenta periodos de vibración natural del suelo menores a 0.2 s. Esta zona abarca la mayor extensión del distrito. Las características dinámicas de vibración de esta zona corresponden a un suelo rígido.

La **zona II** mostrada en color verde claro presenta periodos de vibración natural del suelo mayor o igual a 0.2 s y menor a 0.3 s. Esta zona se concentra en la parte Sureste y Noreste del distrito. Las características dinámicas de vibración de esta zona corresponden a un suelo medianamente rígido.

La **zona III** mostrada en color amarillo presenta periodos de vibración natural del suelo mayor o igual a 0.3 s y menor a 0.5 s. Esta zona se concentra en un área reducida de la parte noreste del distrito. Las características dinámicas de vibración de esta zona corresponden a un suelo medianamente flexible.

IV. Clasificación de los perfiles de suelo.

Según la Norma Técnica Peruana E.030, existen 5 Perfiles de Suelos:

Tabla 16. Clasificación de los perfiles de suelo según la Norma Técnica Peruana E.030.

CLASIFICACIÓN DE LOS PERFILES DE SUELO			
Perfil	V_s	N_{60}	S_u
S₀ (Roca dura)	> 1500 m/s	-	-
S₁ (Suelos muy rígidos)	500 m/s a 1500 m/s	> 50	> 100 kPa
S₂ (Suelos Intermedios)	180 m/s a 500 m/s	15 a 50	50 kPa a 100 kPa
S₃ (Suelos blandos)	< 180 m/s	< 50	25 kPa a 50 kPa
S₄ (Condiciones excepcionales)	Clasificación basada en el EMS		

V. Velocidad de onda de corte de cada zona del distrito de Trujillo.

Tabla 17. Velocidad de onda de corte de cada zona de la ciudad de Trujillo según el estudio de microzonificación sísmica, realizada por el CISMID.

PERFIL	UBICACIÓN	VS (m/s)
Perfil MASW-01	Calle Francisco Bolognesi, cerca al Centro Recreacional La Rinconada, al noreste de la ciudad de Trujillo.	557
perfil MASW-02	cerca de la Prolongación de la Av. Sánchez Carrión y la Av. Pesqueda.	175
perfil MASW-03	noreste de la ciudad de Trujillo, entre las calles Otuzco y Marcabalito.	546
perfil MASW-04	entre las calles Mache y Agallpampa.	534
perfil MASW-05	noreste de la ciudad de Trujillo, en el parque de la Navidad.	536
perfil MASW-06	cerca del parque María Parado de Bellido.	548
perfil MASW-07	noreste de la ciudad de Trujillo, en el parque Tacna.	557
perfil MASW-08	en la intersección de las calles Cueto Fernandini y Gil de Castro.	555
perfil MASW-09	al este de la ciudad de Trujillo, en la calle Alejandro Deustua.	592
perfil MASW-10	en la zona central de la ciudad de Trujillo, en la plazuela Gonzales Prada.	558
perfil MASW-11	al este de la ciudad de Trujillo, en la urbanización Villa Santa María.	524

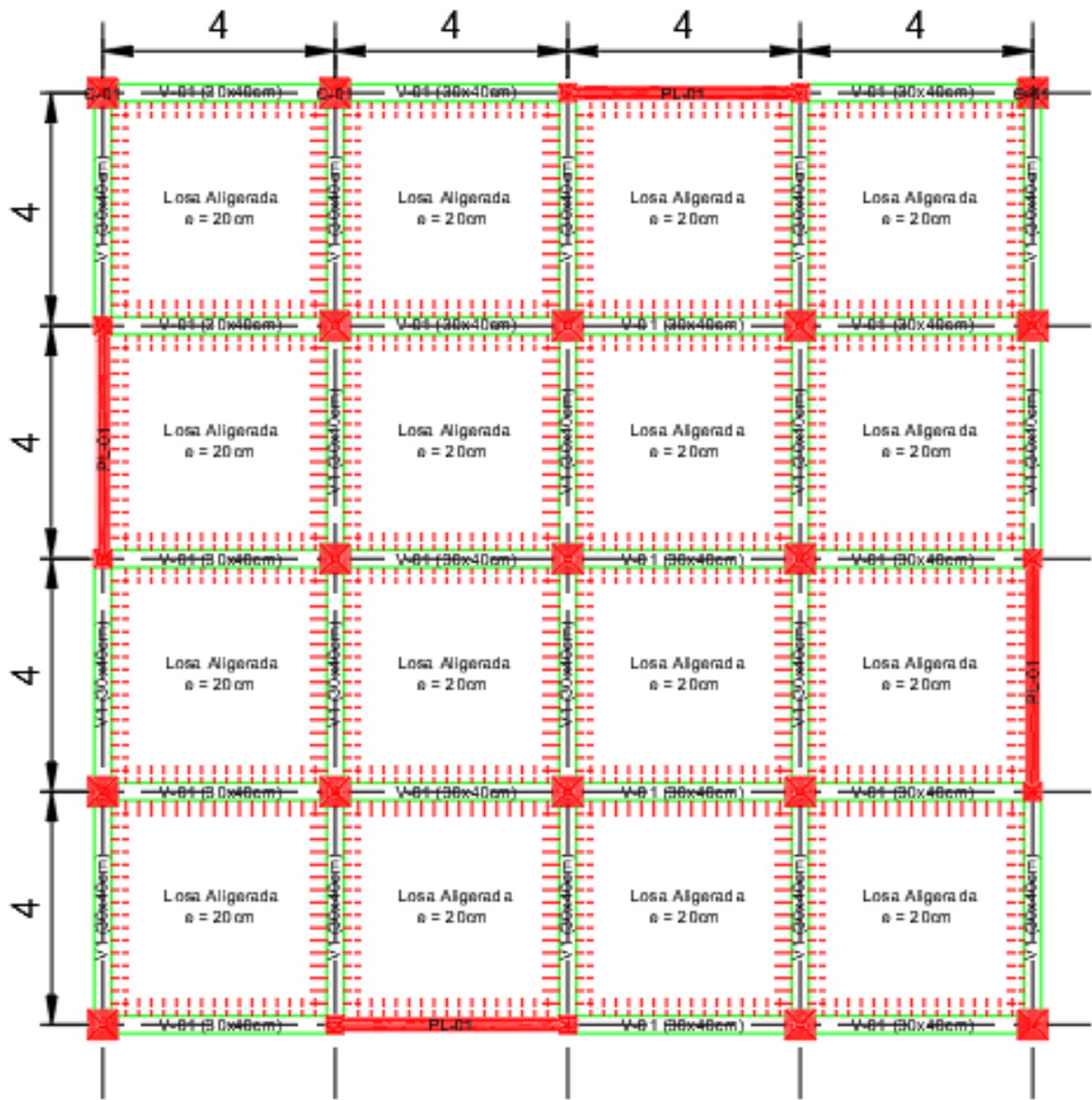
perfil MASW-12	al este de la ciudad de Trujillo, en la urbanización Villa del Contador.	507
perfil MASW-13	al sureste de la ciudad de Trujillo, en el parque Abelardo Quiñones.	470
perfil MASW-14	en el parque Los Laureles, al sureste de la ciudad de Trujillo.	496
perfil MASW-15	cerca al ovalo La Marina.	267
perfil MASW-16	en el sector del Parque Industrial Moche.	487
perfil MASW-17	en la Urbanización UPAO II.	450
perfil MASW-18	al sur de la ciudad de Trujillo, en la intersección de las calles Japón y Gran Bretaña.	561
perfil MASW-19	en la zona central de la ciudad de Trujillo, en la intersección de las calles Santo Domingo y Malta.	489
perfil MASW-20	en el parque La Amistad.	527
perfil MASW-21	en la zona central de la ciudad de Trujillo, entre las calles Fray Pedro Urraca y Bartolomé de las Casas.	434
perfil MASW-22	en la urbanización San Judas Tadeo.	333
perfil MASW-23	al oeste de la ciudad de Trujillo, cerca de la sede del Colegio de Arquitectos del Perú.	551
perfil MASW-24	en la urbanización San Nicolás.	456
perfil MASW-25	al oeste de la ciudad de Trujillo, en el parque del Periodista.	531
perfil MASW-26	en la zona central de la ciudad de Trujillo, en el parque El Niño.	506
perfil MASW-27	al norte de la ciudad de Trujillo, cerca del parque José Olaya.	533
perfil MASW-28	al noroeste de la ciudad de Trujillo, en el parque Homenaje.	538
perfil MASW-29	en la avenida Federico Villareal.	480
perfil MASW-30	al noroeste de la ciudad de Trujillo, cerca del parque San Miguel.	535
perfil MASW-31	en la urbanización El Valle.	525
perfil MASW-32	al oeste de la ciudad de Trujillo, a espaldas de la Institución Educativa Pedro Mercedes Ureña.	511

VI. Correspondencia entre los valores obtenidos de la velocidad de onda de corte (V_s) del estudio de microzonificación sísmica y la Norma E.030 (2018)

Tabla 18. *Correspondencia entre los valores obtenidos de las velocidades de ondas de cortes (V_s) y la Norma Técnica Peruana E.030.*

ZONAS ENCONTRADAS EN TRUJILLO SEGÚN LA MICRONIFICACIÓN SÍSMICA	TIPOS DE SUELO SEGÚN LA NORMA E.030	VS SEGÚN LA NORMA E.030
ZONA I	S1	500 m/s a 1500 m/s
ZONA II	S2	180 m/s a 500 m/s
ZONA III	S3	< 180 m/s

ANEXO N° 05. Ubicación de los elementos estructurales en planta en AUTOCAD
versión 2020.



*Figura 72. Plano de ubicación de los elementos estructurales en AUTOCAD
versión 2020.*

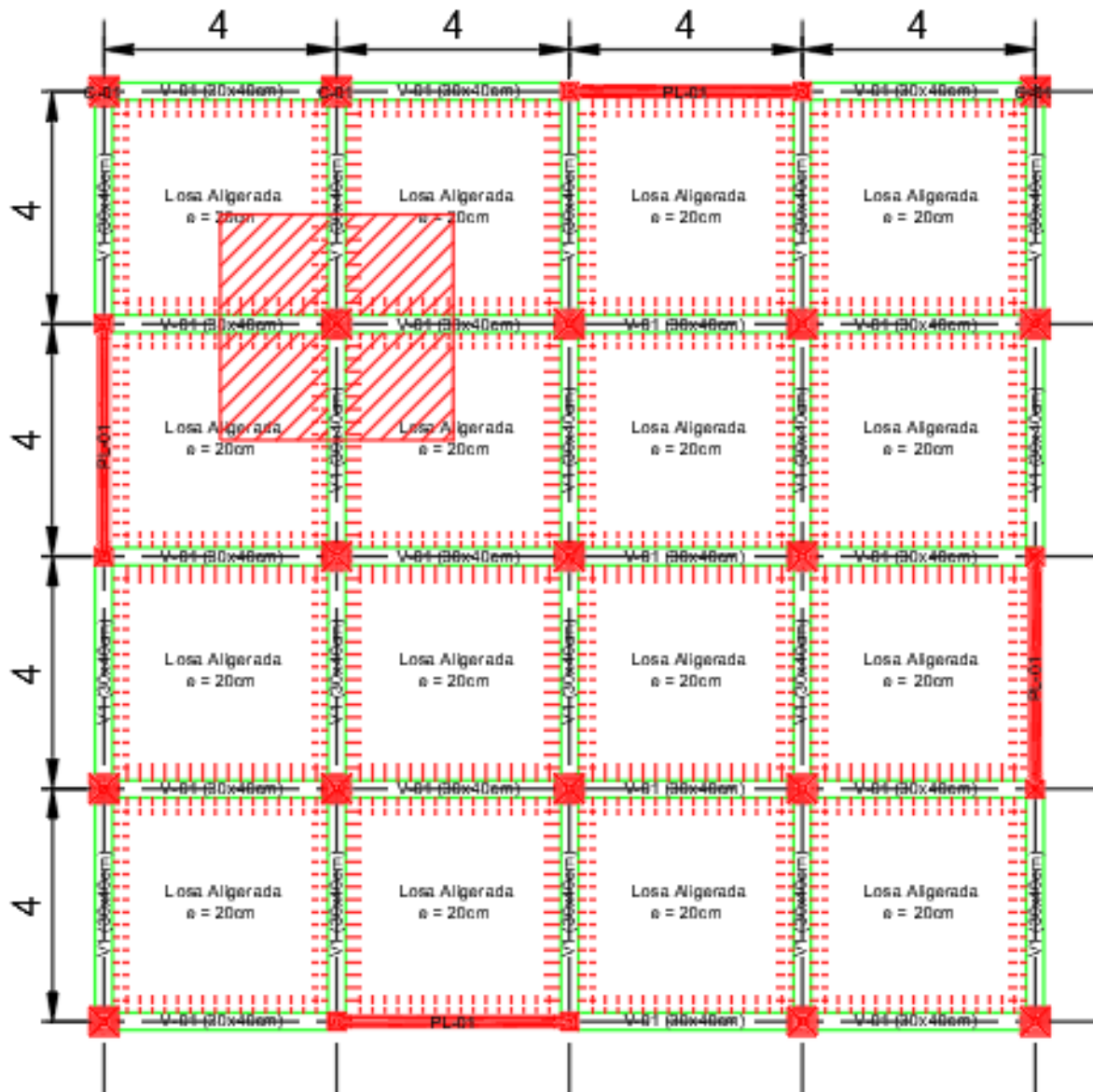


Figura 73. Área tributaria de la columna en planta en AUTOCAD versión 2020.

ANEXO N° 06. Ficha Resumen para el Predimensionamiento de los Elementos Estructurales de los modelos estructurales de edificios con aisladores elastoméricos y de base fija para cada condición del suelo de la ciudad de Trujillo

I. Datos Generales

Título de tesis:	
Lugar:	
Fecha:	

II. Criterios de predimensionamiento para los elementos estructurales en edificaciones

1. Predimensionamiento de losas aligeradas (según la Norma E.060)

Tabla 19. *Espesor de las losas aligeradas usadas en el presente proyecto.*

Descripción de las losas aligeradas	Peralte

2. Predimensionamiento de vigas de concreto armado

Tabla 20. *Peralte y ancho de las vigas de concreto armado usadas en el presente proyecto.*

Descripción de las vigas	Peralte	Ancho

3. Predimensionamiento de columnas de concreto armado (Según el ing. Antonio Blanco Blasco)

Tabla 21. *Dimensiones de las columnas de concreto armado usada en el presente proyecto.*

Descripción de las columnas	Dimensión	
	En X-X	En Y-Y

4. Predimensionamiento de muros estructurales (Según el ing. Antonio Blanco Blasco)

Tabla 22. *Espesor de las placas de concreto armado usada en el presente proyecto.*

Descripción de las placas	Espesor
---------------------------	---------

ANEXO N° 07. Ficha Resumen para el Predimensionamiento de los Elementos Estructurales de los modelos estructurales de edificios con aisladores elastoméricos y de base fija para cada condición del suelo de la ciudad de Trujillo

I. Datos Generales

Título de tesis:	Análisis comparativo de la respuesta dinámica en los modelos estructurales de edificios con aisladores elastoméricos y con base fija según las condiciones del suelo, Trujillo, 2021
Lugar:	Distrito de Trujillo, Provincia de Trujillo, Departamento La Libertad
Fecha:	Diciembre 2020

II. Criterios de predimensionamiento para los elementos estructurales en edificaciones

1. Predimensionamiento de losas aligeradas (según la Norma E.060)

Tabla 23. *Espesor de las losas aligeradas usadas en el presente proyecto.*

Descripción de las losas aligeradas	Peralte
Losa Aligerada en dos direcciones	20 m

2. Predimensionamiento de vigas de concreto armado (Según el ing. Antonio Blanco Blasco)

Tabla 24. *Peralte y ancho de las vigas de concreto armado usadas en el presente proyecto.*

Descripción de las vigas	Peralte	Ancho
V-01	40 cm	30 m

3. Predimensionamiento de columnas de concreto armado (Según el ing. Antonio Blanco Blasco)

Tabla 25. *Dimensiones de las columnas de concreto armado usada en el presente proyecto.*

Descripción de las columnas	Dimensión	
	En X-X	En Y-Y
C-01	50 cm	50 m

4. Predimensionamiento de muros estructurales (Según el ing. Antonio Blanco Blasco)

Tabla 26. *Espesor de las placas de concreto armado usada en el presente proyecto.*

Descripción de las placas	Espesor
PL - 01	30 m

ANEXO N° 08. Ficha Resumen para el Metrado de Cargas según la Norma
Técnica Peruana E.020

I. Datos Generales

Título de tesis:	
Lugar:	
Fecha:	

II. Metrado de Cargas

1. Metrado de cargas por metro cuadrado sobre la losa aligerada, según la Norma Técnica Peruana E.020

Tabla 27. Cargas muertas por metro cuadrado sobre las losas aligeradas en los pisos típicos.

Piso Típico
Carga Muerta (tonnef / m2)
Peso del Ladrillo
Peso de Acabado
Peso Tabiquería Móvil
Carga Muerta Total (WD)

Tabla 28. Carga muerta por metro cuadrado sobre las losas aligeradas en la azotea.

Azotea
Carga Muerta (tonnef / m2)
Peso del Ladrillo
Peso de Acabado
Carga Muerta Total (WD)

Tabla 29. *Carga viva por metro cuadrado sobre las losas aligeradas en los pisos típicos.*

Piso Típico
Carga Viva (tonnef / m2)
Sobrecarga
Carga Viva Total (WL)

Tabla 30. *Carga muerta por metro cuadrado sobre las losas aligeradas en la azotea.*

Azotea
Carga Viva (tonnef / m2)
Sobrecarga
Carga Viva Total (WL)

2. Metrado de Carga por metro lineal sobre las Vigas Perimetrales, según la Norma E.020

Tabla 31. *Carga muerta por metro cuadrado sobre las vigas perimetrales en los pisos típicos.*

Viga Peraltada Perimetral de Piso Típico
Carga Muerta (tonnef / m)
Tipo de material de la tabiquería
Peso específico
Altura entre Ejes de Vigas de cada Nivel
Altura Efectiva de Muro
Espesor del Muro
Carga Muerta Total (WD)

Tabla 32. *Carga muerta por metro cuadrado sobre las vigas perimetrales en la azotea.*

Viga Peraltada Perimetral de Azotea
Carga Muerta (tonnef / m)
Tipo de material de la tabiquería
Peso específico
Altura Efectiva de Muro
Espesor del Muro
Carga Muerta Total (WD)

ANEXO N° 9. Ficha Resumen para el Metrado de Cargas según la Norma
Técnica Peruana E.020

I. Datos Generales

Título de tesis:	Análisis comparativo de la respuesta dinámica en el modelamiento de edificios con aisladores elastoméricos y con base fija según las condiciones del suelo, Trujillo, 2021
Lugar:	Distrito de Trujillo, Provincia de Trujillo, Departamento La Libertad
Fecha:	Diciembre 2020

II. Metrado de Cargas

1. Metrado de cargas por metro cuadrado sobre la Losa Aligerada, según la Norma Técnica Peruana E.020

Tabla 33. *Cargas muertas por metro cuadrado sobre las losas aligeradas en los pisos típicos.*

Piso Típico	
Carga Muerta (tonnef / m2)	
Peso del Ladrillo	0.04875
Peso de Acabado	0.120
Peso Tabiquería Móvil	0.100
Carga Muerta Total (WD)	0.26875

Tabla 34. *Carga muerta por metro cuadrado sobre las losas aligeradas en la azotea.*

Azotea	
Carga Muerta (tonnef / m2)	
Peso del Ladrillo	0.04875
Peso de Acabado	0.120
Carga Muerta Total (WD)	0.16875

Tabla 35. *Carga viva por metro cuadrado sobre las losas aligeradas en los pisos típicos.*

Piso Típico	
Carga Viva (tonnef / m2)	
Sobrecarga	0.200
Carga Viva Total (WL)	0.200

Tabla 36. *Carga muerta por metro cuadrado sobre las losas aligeradas en la azotea*

Azotea	
Carga Viva (tonnef / m2)	
Sobrecarga	0.100
Carga Viva Total (WL)	0.100

3. **Metrado de Carga por metro lineal sobre las Vigas Perimetrales, según la Norma E.020**

Tabla 37. *Carga muerta por metro cuadrado sobre las vigas perimetrales en los pisos típicos.*

Viga Peralzada Perimetral de Piso Típico	
Carga Muerta (tonnef / m)	
Tipo de material de la tabiquería	Arcilla
Peso específico	1.800 tonnef/m ³
Altura entre Ejes de Vigas de cada Nivel	2.4 m
Altura Efectiva de Muro	2.0 m
Espesor del Muro	0.13 m
Carga Muerta Total (WD)	0.468 tonnef/m

Tabla 38. *Carga muerta por metro cuadrado sobre las vigas perimetrales en la azotea.*

Viga Peralzada Perimetral de Azotea	
Carga Muerta (tonnef / m)	
Tipo de material de la tabiquería	Arcilla
Peso específico	1.800 tonnef/m ³
Altura Efectiva de Muro	1.0 m
Espesor del Muro	0.13 m
Carga Muerta Total (WD)	0.234 nnef/m

Tabla 44. Cortante basal de los modelos estructurales con base fija y aisladores LRB y HDR en suelos intermedios (S2).

Cortante (tonf)		Modelos estructurales									
		Número de niveles									
		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Base fija	x										
	y										
Base aislada	Con aislador LRB	x									
		y									
	Con aislador HDR	x									
		y									

Tabla 45. Cortante basal de los modelos estructurales con base fija y aisladores LRB y HDR en suelos blandos (S3).

Cortante (tonf)		Modelos estructurales									
		Número de niveles									
		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Base fija	x										
	y										
Base aislada	Con aislador LRB	x									
		y									
	Con aislador HDR	x									
		y									

V. Validación por parte del experto

ANEXO N° 11. Guía de observación para el modelamiento estructural y el análisis sísmico de los modelos estructurales de edificios con aisladores elastoméricos y de base fija para cada condición del suelo de la ciudad de Trujillo

I. Datos Generales

Título de tesis:	Análisis comparativo de la respuesta dinámica de los modelos estructurales de edificios con base fija y aisladores elastoméricos según las condiciones del suelo, Trujillo, 2021
Lugar:	Distrito de Trujillo, Provincia de Trujillo, Departamento La Libertad
Fecha:	Enero 2021

II. Tablas resumen del periodo fundamental de vibración de cada modelamiento de edificio según el número de niveles, distrito de Trujillo, provincia de Trujillo, La Libertad.

Tabla 46. *Periodo fundamental de los modelos estructurales con base fija y aisladores LRB y HDR.*

Periodo fundamental de vibración (seg)	Modelos estructurales											
	Número de niveles											
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
Base fija	0.805	0.895	0.987	1.081	1.177	1.274	1.372	1.472	1.573	1.688		
Base aislada	Con aislador LRB	S1	2.102	2.247	2.351	2.452	2.554	2.656	2.758	2.860	2.963	3.066
		S2	2.214	2.349	2.456	2.560	2.664	2.768	2.872	2.975	3.079	3.184
		S3	2.347	2.489	2.600	2.707	2.815	2.922	3.028	3.135	3.241	3.347
	Con aislador HDR	S1	2.178	2.296	2.401	2.502	2.605	2.707	2.809	2.911	3.013	3.116
		S2	2.287	2.394	2.501	2.606	2.710	2.814	2.918	3.022	3.125	3.229
		S3	2.495	2.609	2.721	2.832	2.942	3.050	3.159	2.267	3.374	3.482

III. Tablas resumen de la deriva de cada modelamiento de edificio según el número de niveles, el tipo de aislador elastomérico y las condiciones del suelo del distrito de Trujillo, provincia de Trujillo, La Libertad.

Tabla 47. Deriva máxima de entrepiso de los modelos estructurales con base fija y aisladores LRB y HDR en suelos rígidos (S1).

Deriva (1/1000)		Modelos estructurales										
		Número de niveles										
		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
Base fija	x	4.507	4.629	4.769	4.925	5.012	5.140	5.258	5.313	5.395	5.494	
	y	4.507	4.629	4.769	4.925	5.012	5.140	5.258	5.313	5.395	5.494	
Base aislada	Con aislador LRB	x	1.096	1.220	1.307	1.481	1.469	1.594	1.650	1.687	1.704	1.738
		y	1.096	1.220	1.307	1.481	1.469	1.594	1.650	1.687	1.704	1.738
	Con aislador HDR	x	1.033	1.113	1.196	1.337	1.352	1.469	1.517	1.547	1.564	1.617
		y	1.033	1.113	1.196	1.337	1.352	1.469	1.517	1.547	1.564	1.617

Tabla 48. Deriva máxima de entrepiso de los modelos estructurales con base fija y aisladores LRB y HDR en suelos intermedios (S2).

Deriva (1/1000)		Modelos estructurales										
		Número de niveles										
		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
Base fija	x	7.091	7.279	7.498	7.742	7.872	8.065	8.254	8.334	8.476	8.612	
	y	7.091	7.279	7.498	7.742	7.872	8.065	8.254	8.334	8.476	8.612	
Base aislada	Con aislador LRB	x	1.577	1.651	1.672	1.832	1.798	1.941	1.995	2.020	2.076	2.138
		y	1.577	1.651	1.672	1.832	1.798	1.941	1.995	2.020	2.076	2.138
	Con aislador HDR	x	1.366	1.435	1.431	1.580	1.587	1.716	1.759	1.790	1.856	1.910
		y	1.366	1.435	1.431	1.580	1.587	1.716	1.759	1.790	1.856	1.910

Tabla 49. Deriva máxima de entrepiso de los modelos estructurales con base fija y aisladores LRB y HDR en suelos blandos (S3).

Deriva (1/1000)		Modelos estructurales										
		Número de niveles										
		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
Base fija	x	9.952	11.362	12.901	13.504	13.724	14.061	14.387	14.516	14.423	14.176	
	y	9.952	11.362	12.901	13.504	13.724	14.061	14.387	14.516	14.423	14.176	
Base aislada	Con aislador LRB	x	2.058	2.093	2.174	2.406	2.350	2.515	2.587	2.697	2.792	2.874
		y	2.058	2.093	2.174	2.406	2.350	2.515	2.587	2.697	2.792	2.874
	Con aislador HDR	x	1.551	1.666	1.777	1.863	1.846	1.999	2.098	2.178	2.251	2.306
		y	1.551	1.666	1.777	1.863	1.846	1.999	2.098	2.178	2.251	2.306

IV. Tablas resumen de la cortante basal de cada modelamiento de edificio según el número de niveles, el tipo de aislador elastomérico y las condiciones del suelo del distrito de Trujillo, provincia de Trujillo, La Libertad.

Tabla 50. Cortante basal de los modelos estructurales con base fija y aisladores LRB y HDR en suelos rígidos (S1).

Cortante (tonf)		Modelos estructurales										
		Número de niveles										
		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
Base fija	x	218.08	216.88	216.39	217.41	216.90	218.48	219.91	217.37	214.95	210.62	
	y	218.01	216.88	216.39	217.41	216.90	218.48	219.91	217.37	214.95	210.62	
Base aislada	Con aislador LRB	x	167.43	177.91	188.37	197.51	196.81	198.43	198.33	196.44	192.68	191.51
		y	167.43	177.91	188.37	197.51	196.81	198.43	198.33	196.44	192.68	191.51
	Con aislador HDR	x	162.98	170.12	177.41	183.46	186.10	187.14	186.51	184.15	180.80	181.72
		y	162.98	170.12	177.41	183.46	186.10	187.14	186.51	184.15	180.80	181.72

Tabla 51. Cortante basal de los modelos estructurales con base fija y aisladores LRB y HDR en suelos intermedios (S2).

Cortante (tonf)		Modelos estructurales										
		Número de niveles										
		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
Base fija	x	335.47	329.71	324.27	321.06	317.64	317.59	317.14	314.21	313.62	311.06	
	y	335.42	329.71	324.27	321.06	317.64	317.59	317.14	314.21	313.62	311.06	
Base aislada	Con aislador LRB	x	242.81	241.23	239.81	241.75	238.21	238.27	236.06	231.51	231.23	231.47
		y	242.81	241.23	239.81	241.75	238.21	238.27	236.06	231.51	231.23	231.47
	Con aislador HDR	x	217.29	215.95	210.95	214.54	216.16	215.75	213.24	210.16	211.52	211.56
		y	217.29	215.95	210.95	214.54	216.16	215.75	213.24	210.16	211.52	211.56

Tabla 52. Cortante basal de los modelos estructurales con base fija y aisladores LRB y HDR en suelos blandos (S3).

Cortante (tonf)		Modelos estructurales										
		Número de niveles										
		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
Base fija	x	471.52	515.22	558.81	557.34	549.33	541.46	534.65	528.08	523.71	585.48	
	y	471.47	515.22	558.81	557.34	549.33	541.46	534.65	528.08	523.71	585.48	
Base aislada	Con aislador LRB	x	319.01	308.44	316.20	322.26	314.57	310.61	306.32	307.99	307.61	305.15
		y	319.01	308.44	316.20	322.26	314.57	310.61	306.32	307.99	307.61	305.15
	Con aislador HDR	x	248.83	253.97	256.93	257.02	254.18	252.91	254.84	254.98	253.28	249.71
		y	248.83	253.97	256.93	257.02	254.18	252.91	254.84	254.98	253.28	249.71

V.Validación por parte del experto

Anexo 3. Fotos y documentos

ANEXO N° 04. Norma Técnica Peruana E.020 Cargas

NORMA TÉCNICA PERUANA E.020

CARGAS

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES

Artículo 2.- DEFINICIONES

Carga: Fuerza u otras acciones que resulten del peso de los materiales de construcción, ocupantes y sus pertenencias, efectos del medio ambiente, movimientos diferenciales y cambios dimensionales restringidos.

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.

Carga Viva: Es el peso de todos los ocupantes, materiales, equipos, muebles y otros elementos móviles soportados por la edificación.

CAPÍTULO 2

CARGA MUERTA

Artículo 4.- DISPOSITIVOS DE SERVICIO Y EQUIPOS

Se considerará el peso de todos los dispositivos de servicio de la edificación, inclusive las tuberías, ductos y equipos de calefacción y aire acondicionado, instalaciones eléctricas, ascensores, maquinaria para ascensores y otros dispositivos fijos similares. El peso de todo este material se incluirá en la carga muerta.

CAPÍTULO 3

CARGA VIVA

Artículo 6.- CARGA VIVA DEL PISO

6.1. Carga Viva Mínima Repartida.

Se usará como mínimo los valores que se establecen en la Tabla 1 para los diferentes tipos de ocupación o uso, valores que incluyen un margen para condiciones ordinarias de impacto. Su conformidad se verificará de acuerdo a las disposiciones en Artículo 6 (6.4)

TABLA 1
CARGAS VIVAS MÍNIMAS REPARTIDAS

OCUPACIÓN O USO	CARGAS REPARTIDAS kPa (Kgf/m ²)
Almacenaje	5,0 (500) Ver 6.4
Baños	Igual a la carga principal del resto del área, sin que sea necesario que exceda de 3,0 (300)
Bibliotecas	Ver 6.4
Salas de lectura	3,0 (300)
Salas de Almacenaje con estantes fijos (no apilables)	7,5 (750)
Corredores y escaleras	4,0 (400)
Centros de Educación	
Aulas	2,5 (250)
Talleres	3,5 (350) Ver 6,4
Auditorios, Gimnasios, etc.	De acuerdo a lugares de asambleas
Laboratorios	3,0 (300) Ver 6.4
Corredores y escaleras	4,0 (400)
Garajes	
Para parqueo exclusivo de vehículos de	2,5 (250)
Hospitales	
Salas de operación, laboratorios, y áreas de servicio	3,0 (300)
Cuartos	2,0 (200)
Corredores y escaleras	4,0 (400)
Hoteles	
Cuartos	2,0 (200)
Salas Públicas	De acuerdo a lugares de asambleas
Almacenaje y servicios	5,0 (500)
Corredores y escaleras	4,0 (400)

6.2. Carga Viva Concentrada

Los pisos y techos que soporten cualquier tipo de maquinaria u otras cargas vivas concentradas en exceso de 5,0 kN (500 kgf) (incluido el peso de los apoyos o bases), serán diseñados para poder soportar tal peso como una carga concentrada o como grupo de cargas concentradas.

6.3. Tabiquería Móvil

El piso de los tabiques móviles se incluirá como carga viva equivalente uniformemente repartida por metro cuadrado, con un mínimo de 0,50 kPa (50 Kgf/m²), para divisiones livianas móviles de media altura y de 1,0 kPa (100 kgf/m²) para divisiones móviles de altura completa.

Artículo 7.- CARGA VIVA DEL TECHO

7.1. Carga Viva. - Las cargas vivas mínimas serán las siguientes:

a) Para los techos con una inclinación hasta de 3° con respecto a al horizontal, 1,0 kPa (100 kgf/m²).

b) Para techos con inclinación mayor de 3°, con respecto a la horizontal 1,0 kPa (100 kgf/m²) reducida en 0,05 kPa (5 kgf/m²), por cada grado de pendiente por encima de 3°, hasta un mínimo de 0,50 kPa (59 kgf/m²).

c) Para techos curvos, 0,50 kPa (50 kgf/m²).

d) Para techos con coberturas livianas de planchas onduladas o plegadas, calaminas, fibrocemento, material plástico, etc., cualquiera sea su pendiente, 0,30 kPa (30 kgf/m²), excepto cuando en el techo pueda haber acumulación de nieve, en cuyo caso se aplicará lo indicado en el Artículo 11.

e) Cuando se trate de malecones o terrazas, se aplicará la carga viva correspondiente a su uso particular, según se indica en la Tabla 1.

f) Cuando los techos tengan jardines, la carga viva mínima de diseño de las porciones con jardín será de 1,0 kPa (100 kgf/m²). Excepto cuando los jardines puedan ser de uso común o público, en cuyo caso la carga viva de diseño será de 4,0 kPa (400 kgf/m²).

El peso de los materiales del jardín será considerado como carga muerta y se hará este cómputo sobre la base de tierra saturada. Las zonas adyacentes a las porciones con jardín serán consideradas como áreas de asamblea, a no ser que haya disposiciones específicas permanentes que impidan su uso.

g) Cuando se coloque algún anuncio o equipo en un techo, el diseño tomará en cuenta todas las acciones que dicho anuncio o equipo ocasione.

CAPÍTULO 5 DISTRIBUCION Y COMBINACIÓN DE CARGAS

Artículo 19.- Combinación De Cargas

Excepto en los casos indicados en las normas propias de los diversos materiales estructurales, todas las cargas consideradas en la presente Norma se considerará que actúan en las siguientes combinaciones, la que produzca los efectos más desfavorables en el elemento estructural considerando, con las reducciones, cuando sean aplicables, indicadas en el Artículo 10.

(1) D

(2) D + L

(3) D + (W o 0,70 E)

(4) D + T

(5) α [D + L + (W o 0,70 E)]

(6) α [D + L + T]

(7) α [D + (W o 0,70 E) + T]

(8) α [D + L + (W o 0,70 E) + T]

Donde:

D = Carga muerta, según Capítulo 2.

L = Carga viva, Capítulo 3.

W = Carga de viento, según Artículo 12.

E = Carga de sismo, según NTE E.030 Diseño de Sismorresistente.

T = Acciones por cambios de temperatura, contracciones y/o deformaciones diferidas en los materiales componentes, asentamientos de apoyos o combinaciones de todos ellos.

α = Factor que tendrá un valor mínimo de 0.75 para las combinaciones (5), (6) y (7); y de 0.67 para la combinación (8). En estos casos no se permitirá un aumento de los esfuerzos admisibles.

Losas aligeradas armadas en una sola dirección de Concreto Armado		
Con vigueta 0,10 m de ancho y 0,40 m entre ejes.		
Espesor del aligerado (m)	Espesor de losa superior en metros	Peso propio kPa (kgf/m ²)
0,17	0,05	2,8 (280)
0,20	0,05	3,0 (300)
0,25	0,05	3,5 (350)
0,30	0,05	4,2 (420)

ANEXO N° 05. Procedimiento del análisis Estático o de Fuerzas equivalentes según la Norma Técnica Peruana E.030

NORMA TÉCNICA PERUANA E.030

DISEÑO SISMORRESISTENTE

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS ESTRUCTURAL

Artículo 25.- Modelos para el Análisis

25.1. El modelo para el análisis considera una distribución espacial de masas y rigideces que sean adecuadas para representar los aspectos más significativos del comportamiento dinámico de la estructura.

25.2. Para propósitos de esta Norma, las estructuras de concreto armado y albañilería pueden ser analizadas considerando las inercias de las secciones brutas, ignorando la fisuración y el refuerzo.

25.3. Para edificios en los que se pueda razonablemente suponer que los sistemas de piso funcionan como diafragmas rígidos, se puede usar un modelo con masas concentradas y tres grados de libertad por diafragma, asociados a dos componentes ortogonales de traslación horizontal y una rotación. En tal caso, las deformaciones de los elementos se compatibilizan mediante la condición de diafragma rígido y la distribución en planta de las fuerzas horizontales se hace en función a las rigideces de los elementos resistentes.

Artículo 26.- Estimación del Peso (P)

El peso (P) se calcula adicionando a la carga permanente y total de la edificación un porcentaje de la carga viva o sobrecarga que se determina de la siguiente manera:

- a)** En edificaciones de las categorías A y B, se toma el 50% de la carga viva.
- b)** En edificaciones de la categoría C, se toma el 25% de la carga viva.
- c)** En depósitos, se toma el 80% del peso total que es posible almacenar.
- d)** En azoteas y techos en general se toma el 25% de la carga viva.

Artículo 27.- Procedimientos de Análisis Sísmico

27.1. Se utiliza uno de los procedimientos siguientes:

a) Análisis estático o de fuerzas estáticas equivalentes (**artículo 28**).

b) Análisis dinámico modal espectral (**artículo 29**).

27.2. El análisis se hace considerando un modelo de comportamiento lineal y elástico con las sollicitaciones sísmicas reducidas.

27.3. El procedimiento de análisis dinámico tiempo – historia, descrito en el **artículo 30**, puede usarse con fines de verificación, pero en ningún caso es exigido como sustituto de los procedimientos indicados en los **artículos 28 y 29**, de la presente norma.

Artículo 28.- Análisis estático o de Fuerzas Estáticas Equivalentes

28.1. Generalidades

28.1.1. Este método representa las sollicitaciones sísmicas mediante un conjunto de fuerzas actuando en el centro de masas de cada nivel de la edificación.

28.1.2. Pueden analizarse mediante este procedimiento todas las estructuras regulares o irregulares ubicadas en la zona 1. En las otras zonas sísmicas puede emplearse este procedimiento para las estructuras clasificadas como regulares de no más de 30m de altura, y para las estructuras de muros portantes de concreto armado y albañilería armada o confinada de no más de 15 m de altura, aun cuando sean irregulares.

28.2. Fuerza Cortante en la Base

28.2.1. La fuerza cortante total en la base de la estructura, correspondiente a la dirección considerada, se determina por la siguiente expresión:

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

28.2.2. El valor de C/R no se considera menor que:

$$\frac{C}{R} \geq 0,11$$

28.3. Distribución de la Fuerza Sísmica en Altura

28.3.1. Las fuerzas sísmicas horizontales en cualquier nivel i , correspondientes a la dirección considerada, se calculan mediante:

$$F_i = \alpha_i \cdot V$$

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

28.3.2. Donde n es el número de pisos del edificio, k es un exponente relacionado con el período fundamental de vibración de la estructura (T), en la dirección considerada, que se calcula de acuerdo a:

a) Para T menor o igual a 0.5 segundos: $k = 1.0$.

b) Para T mayor que 0.5 segundos: $k = (0.75 + 0.5T) \leq 2.0$

28.4. Períodos Fundamental de Vibración

28.4.1. El período fundamental de vibración para cada dirección se estima con la siguiente expresión:

$$T = \frac{h_n}{C_T}$$

Donde:

$C_T = 35$ Para edificios cuyos elementos resistentes en la dirección considerada sean únicamente:

- a) Pórticos de concreto armado sin muros de corte.
- b) Pórticos dúctiles de acero con uniones resistentes a momentos, sin arriostramiento.

$C_T = 45$ Para edificios cuyos elementos resistentes en la dirección considerada sean:

a) Pórticos de concreto armado con muros en las cajas de ascensores y escaleras.

b) Pórticos de acero arriostrados.

CT = 60 Para edificios de albañilería y para todos los edificios de concreto armado duales, de muros estructurales, y muros de ductilidad limitada.

28.5. Excentricidad Accidental

Para estructuras con diafragmas rígidos, se supone que la fuerza en cada nivel (F_i) actúa en el centro de masas del nivel respectivo y se considera además de la excentricidad propia de la estructura el efecto de excentricidades accidentales (en cada dirección de análisis) como se indica a continuación:

a) En el centro de masas de cada nivel, además de la fuerza lateral estática actuante, se aplica un momento torsor accidental (M_n) que se calcula como:

$$M_{ni} = \pm F_i \cdot e_i$$

b) Se puede suponer que las condiciones más desfavorables se obtienen considerando las excentricidades accidentales con el mismo signo en todos los niveles. Se consideran únicamente los incrementos de las fuerzas horizontales no así las disminuciones.

28.6. Fuerzas Sísmicas Verticales

28.6.1. La fuerza sísmica vertical se considera como una fracción del peso igual a $2/3 \cdot Z \cdot U \cdot S$

28.6.2. En elementos horizontales de grandes luces, incluyendo volados, se requiere un análisis dinámico con los espectros definidos en el numeral 29.2.

ANEXO N° 06. Procedimiento del análisis de Respuesta Espectral según la Norma Técnica Peruana E.030

NORMA TÉCNICA PERUANA E.030

DISEÑO SISMORRESISTENTE

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS ESTRUCTURAL

Artículo 29.- Análisis Dinámico Modal Espectral

Cualquier estructura puede ser diseñada usando los resultados de los análisis dinámicos por combinación modal espectral según lo especificado en este numeral.

29.1. Modos de vibración

29.1.1. Los modos de vibración pueden determinarse por un procedimiento de análisis que considere apropiadamente las características de rigidez y la distribución de las masas.

29.1.2. En cada dirección se consideran aquellos modos de vibración cuya suma de masas efectivas sea por lo menos el 90% de la masa total, pero se toma en cuenta por lo menos los tres primeros modos predominantes en la dirección de análisis.

29.2. Aceleración Espectral

29.2.1. Para cada una de las direcciones horizontales analizadas se utiliza un espectro inelástico de pseudo-aceleraciones definido por:

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

29.2.2. Para el análisis en la dirección vertical puede usarse un espectro con valores iguales a los 2/3 del espectro empleado para las direcciones horizontales, considerando los valores de C, definidos en el artículo 14, excepto para la zona de períodos muy cortos ($T < 0.2 TP$) en la que se considera:

$$T < 0,2 T_P \quad C = 1 + 7,5 \left(\frac{T}{T_P} \right)$$

29.3. Criterios de combinación

29.3.1. Mediante los criterios de combinación que se indican, se podrá obtener la respuesta máxima elástica esperada (r) tanto para las fuerzas internas en los elementos componentes de la estructura, como para los parámetros globales del edificio como fuerza cortante en la base, cortantes de entrepiso, momentos de volteo, desplazamientos totales y relativos de entrepiso.

29.3.2. La respuesta máxima elástica esperada (r) correspondiente al efecto conjunto de los diferentes modos de vibración empleados (r_i) podrá determinarse usando la combinación cuadrática completa de los valores calculados para cada modo.

$$r = \sqrt{\sum \sum r_i \rho_{ij} r_j}$$

29.3.3. Donde r representa las respuestas modales, desplazamientos o fuerzas. Los coeficientes de correlación están dados por:

$$\rho_{ij} = \frac{8 \beta^2 (1 + \lambda) \lambda^{3/2}}{(1 - \lambda^2)^2 + 4 \beta^2 \lambda (1 + \lambda)^2} \quad \lambda = \frac{\omega_j}{\omega_i}$$

β , fracción del amortiguamiento crítico, que se puede suponer constante para todos los modos igual a 0,05

ω_i, ω_j son las frecuencias angulares de los modos i, j

29.3.4. Alternativamente, la respuesta máxima podrá estimarse mediante la siguiente expresión.

$$r = 0,25 \cdot \sum_{i=1}^m |r_i| + 0,75 \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^m r_i^2}$$

29.4. Fuerza cortante mínima

29.4.1. Para cada una de las direcciones consideradas en el análisis, la fuerza cortante en el primer entrepiso del edificio no podrá ser menor que el 80 % del valor calculado según el artículo 25 para estructuras regulares, ni menor que el 90 % para estructuras irregulares.

29.4.2. Si fuera necesario incrementar el cortante para cumplir los mínimos señalados, se deberán escalar proporcionalmente todos los otros resultados obtenidos, excepto los desplazamientos.

29.5. Excentricidad Accidental (Efectos de Torsión)

La incertidumbre en la localización de los centros de masa en cada nivel, se considerará mediante una excentricidad accidental perpendicular a la dirección del sismo igual a 0,05 veces la dimensión del edificio en la dirección perpendicular a la dirección de análisis. En cada caso deberá considerarse el signo más desfavorable.

ANEXO N° 07. Procedimiento del análisis Historia de Respuesta según la Norma Técnica Peruana E.031

NORMA TÉCNICA PERUANA E.031

AISLAMIENTO SÍSMICO DEL REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES

Artículo 15.- Registros de aceleración del suelo

15.1. Cuando se empleen procedimientos de respuesta tiempo-historia, el movimiento del terreno se define con un conjunto mínimo de siete registros, cada uno con dos componentes horizontales de aceleración, elegidos de eventos individuales y escalados, tal como se indica en los numerales 15.5 al 15.7 del artículo 15 de la presente Norma Técnica.

15.2. Los registros de aceleración deben ser obtenidos de eventos cuyas magnitudes, distancia a las fallas, mecanismos de fuente y condiciones locales de suelo sean consistentes con el SMC para el sitio.

15.3. Se permite escalar registros mediante el escalamiento de amplitudes o del ajuste de frecuencias hacia espectros definidos.

15.4. En el caso que no se cuente con la cantidad requerida de pares de componentes horizontales de movimientos de suelo, se permite el uso de registros simulados para completar el total requerido.

15.5. Para cada par de componentes horizontales de movimiento del suelo, se construye un espectro de pseudo aceleraciones tomando la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados (SRSS) de los valores espectrales calculados separadamente para cada componente escalada, con 5% del amortiguamiento crítico. Cuando se usa escalamiento de amplitudes, se debe usar el mismo factor para cada componente.

15.6. Cada par de componentes horizontales de movimiento del suelo se debe escalar de modo que, en el rango de periodos entre 0,75 TM, calculado usando el límite superior para las propiedades del sistema de aislamiento sísmico, y 1,25 TM, calculado con el límite

inferior, el promedio de los valores espectrales SRSS obtenido para los distintos pares de registros empleados no sea menor que la ordenada dada por la ecuación 5 de la presente Norma Técnica.

15.7 Para registros espectro-compatibles, cada par de componentes horizontales se deben escalar de modo que en el rango de periodos entre 0,2 T_M , calculado usando el límite superior para las propiedades del sistema de aislamiento sísmico, y 1,25 T_M , calculado con el límite inferior, el espectro de respuesta del componente en la dirección de análisis no sea menor que el 90% de la correspondiente ordenada dada por la ecuación 5.

Artículo 25.- Descripción de procedimientos

25.3 Análisis tiempo-historia:

a) Este procedimiento se debe desarrollar con un conjunto de pares de registros del movimiento del terreno que deben ser seleccionados y escalados según el artículo 15 de la presente Norma Técnica y lo señalado en la Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente.

b) Cada par de componentes del movimiento de terreno debe ser aplicado simultáneamente al modelo considerando la orientación y la ubicación de la excentricidad de la masa más desfavorable.

c) El desplazamiento máximo del sistema de aislamiento sísmico debe ser calculado mediante la suma vectorial de los dos desplazamientos ortogonales en cada instante de tiempo.

d) Los parámetros de interés deben ser calculados para cada movimiento del terreno usado para el análisis tiempo-historia y el valor promedio de los parámetros de respuesta de interés debe ser empleado para el diseño.

e) Para zonas cercanas a una falla geológica, cada par de componentes horizontales se debe rotar para ubicarse en la dirección paralela y perpendicular a la falla, y aplicarse a la edificación en cada dirección. En otros casos, no es necesario aplicar las componentes en múltiples direcciones.

ANEXO N° 08. Procedimiento del análisis Historia de Respuesta según la Norma Técnica Peruana E.030

NORMA TÉCNICA PERUANA E.030

DISEÑO SISMORRESISTENTE

CAPÍTULO 4

ANÁLISIS ESTRUCTURAL

El análisis dinámico tiempo - historia podrá emplearse como un procedimiento complementario a los especificados en los numerales 4.5 y 4.6.

En este tipo de análisis deberá utilizarse un modelo matemático de la estructura que considere directamente el comportamiento histerético de los elementos, determinándose la respuesta frente a un conjunto de aceleraciones del terreno mediante integración directa de las ecuaciones de equilibrio.

4.7.1. Registros de Aceleración

Para el análisis se usarán como mínimo tres conjuntos de registros de aceleraciones del terreno, cada uno de los cuales incluirá dos componentes en direcciones ortogonales.

Cada conjunto de registros de aceleraciones del terreno consistirá en un par de componentes de aceleración horizontal, elegidas y escaladas de eventos individuales. Las historias de aceleración serán obtenidas de eventos cuyas magnitudes, distancia a las fallas, y mecanismos de fuente sean consistentes con el máximo sismo considerado. Cuando no se cuente con el número requerido de registros apropiados, se podrán usar registros simulados para alcanzar el número total requerido.

Para cada par de componentes horizontales de movimiento del suelo, se construirá un espectro de pseudo aceleraciones tomando la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados (SRSS) de los valores espectrales calculados para cada componente por separado, con 5 % de amortiguamiento. Ambas componentes se escalarán por un mismo factor, de modo que en el rango de períodos entre $0,2 T$ y $1,5 T$ (siendo T el período fundamental), el promedio de los valores espectrales

SRSS obtenidos para los distintos juegos de registros no sea menor que la ordenada correspondiente del espectro de diseño, calculada según el numeral 4.6.2 con $R = 1$.

Para la generación de registros simulados deberán considerarse los valores de C , definidos en el numeral 2.5, excepto para la zona de períodos muy cortos ($T < 0,2 T_p$) en la que se considerará:

$$T < 0,2 T_p \quad C = 1 + 7,5 \cdot \left(\frac{T}{T_p} \right)$$

4.7.2. Modelo para el Análisis

El modelo matemático deberá representar correctamente la distribución espacial de masas en la estructura.

El comportamiento de los elementos será modelado de modo consistente con resultados de ensayos de laboratorio y tomará en cuenta la fluencia, la degradación de resistencia, la degradación de rigidez, el estrechamiento de los lazos histeréticos, y todos los aspectos relevantes del comportamiento estructural indicado por los ensayos.

La resistencia de los elementos será obtenida en base a los valores esperados sobre resistencia del material, endurecimiento por deformación y degradación de resistencia por la carga cíclica.

Se permite suponer propiedades lineales para aquellos elementos en los que el análisis demuestre que permanecen en el rango elástico de respuesta.

Se admite considerar un amortiguamiento viscoso equivalente con un valor máximo del 5 % del amortiguamiento crítico, además de la disipación resultante del comportamiento histerético de los elementos.

Se puede suponer que la estructura está empotrada en la base, o alternativamente considerar la flexibilidad del sistema de cimentación si fuera pertinente.

4.7.3. Tratamiento de Resultados

En caso se utilicen por lo menos siete juegos de registros del movimiento del suelo, las fuerzas de diseño, las deformaciones en los elementos y las distorsiones de entrepiso se evaluarán a partir de los promedios de los correspondientes resultados máximos obtenidos en los distintos análisis. Si se utilizaran menos de siete juegos de registros, las fuerzas de diseño, las deformaciones y las distorsiones de entrepiso serán evaluadas a partir de los máximos valores obtenidos de todos los análisis.

Las distorsiones máximas de entrepiso no deberán exceder de 1,25 veces de los valores indicados en la Tabla N° 11.

Las deformaciones en los elementos no excederán de $\frac{2}{3}$ de aquellas para las que perderían la capacidad portante para cargas verticales o para las que se tendría una pérdida de resistencia en exceso a 30 %.

Para verificar la resistencia de los elementos se dividirán los resultados del análisis entre $R = 2$, empleándose las normas aplicables a cada material.

ANEXO N°12. Procedimiento para la estructuración y el predimensionamiento de los Elementos Estructurales (Estructuración y diseño de edificaciones de concreto armado, Antonio Blanco Blasco)

**ESTRUCTURACIÓN Y DISEÑO DE EDIFICACIONES DE CONCRETO
ARMADO**

Ing. Antonio Blanco Blasco

CAPITULO I

**FILOSOFÍA DEL DISEÑO SÍSMICO Y CRITERIOS
GENERALES DE ESTRUCTURACIÓN**

CRITERIOS DE ESTRUCTURACIÓN Y DISEÑO

1. Simplicidad y Simetría

La experiencia ha demostrado que las estructuras simples se comportan mejor durante sismos, así mismo, la falta de simetría produce efectos torsionales que son difíciles de evaluar y pueden ser muy destructivos.

2. Resistencia y Ductilidad

El sistema de resistencia sísmica debe existir por lo menos en dos direcciones ortogonales. Por otro lado, debe tenerse en cuenta que al suministrar ductilidad a una estructura debe tenerse presente que esta no depende únicamente de la ductilidad de sus elementos individuales.

3. Hiperestaticidad y Monolitismo

Con la hiperestaticidad se logra una mayor capacidad resistente, al permitir que, por producción de rótulas plásticas, se disipe en mejor forma la energía sísmica y, por otra parte, al aumentar la capacidad resistente se otorga a la estructura un mayor grado de seguridad.

4. Uniformidad y Continuidad de la Estructura

La estructura debe ser continua tanto en planta como en elevación con elementos que no cambien bruscamente de rigidez, de manera de evitar concentraciones de esfuerzos.

5. Rigidez Lateral

Para que una estructura pueda resistir fuerzas horizontales sin tener deformaciones importantes, será necesario proveerla de elementos estructurales que aporten rigidez lateral en sus direcciones principales.

6. Existencia de losas que permitan considerar a la estructura como una unidad (Diafragma Rígido)

En los análisis es usual considerar como hipótesis básica la existencia de una losa rígida en su plano, que permite la idealización de la estructura como una unidad donde las fuerzas horizontales aplicadas pueden distribuirse en las columnas y muros (placas) de acuerdo a su rigidez lateral, manteniendo toda una misma deformación lateral para un determinado nivel.

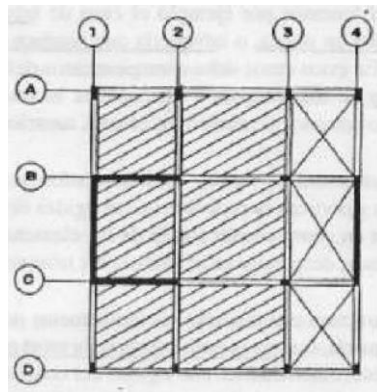


Figura 74. Planta de edificio con aparente simetría, pero que al tener abertura en la zona derecha no podrá transferir la fuerza sísmica hacia el eje 4.

7. Elementos no estructurales

Estos desempeñan un papel positivo en el sentido de que colaboran a un mayor amortiguamiento dinámico, debido principalmente a que al producirse agrietamientos internos aumentan los rozamientos. En los sismos violentos, al agrietarse en forma importante contribuyen a disipar energía sísmica aliviando a los elementos resistentes.

8. Sub-Estructura o Cimentación.

La regla básica respecto a la resistencia sísmica de la sub-estructura es que se debe obtener una acción integral de la misma durante un sismo; además

de las cargas verticales que actúan, los siguientes factores deberán considerarse respecto al diseño de la cimentación.

- a) Transmisión de corte basal de la estructura al suelo.
- b) Provisión para los momentos volcantes.
- c) Posibilidad de movimiento diferenciales de los elementos de la cimentación.
- d) Licuefacción del subsuelo.

CAPITULO III

PREDIMENSIONAMIENTO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES

1. **Peraltes o espesores mínimos de vigas no preesforzadas o losas reforzadas en una dirección a menos que se calculen las deflexiones** (Norma Técnica Peruana E.060 “Concreto Armado,” 2009).

Tabla 53. Fórmulas para el Predimensionamiento de losas y vigas según la Norma Técnica Peruana E.060

	Espesor o peralte mínimo, h			
	Simplemente apoyados	Con un extremo continuo	Ambos extremos continuos	En voladizo
Elementos	Elementos que no soporten o estén ligados a divisiones u otro tipo de elementos no estructurales susceptibles de dañarse debido a deflexiones grandes.			
Losas macizas en una dirección	$\frac{\ell}{20}$	$\frac{\ell}{24}$	$\frac{\ell}{28}$	$\frac{\ell}{10}$
Vigas o losas nervadas en una dirección	$\frac{\ell}{16}$	$\frac{\ell}{18,5}$	$\frac{\ell}{21}$	$\frac{\ell}{8}$

Nota: Los valores dados en esta tabla se deben usar directamente en elementos de concreto de peso normal (alrededor de 2300 Kg/m³) y refuerzo con f_y igual a 420 MPa.

2. **Predimensionamiento de Vigas de Concreto Armado** (Según el ing. Antonio Blanco Blasco)

Las vigas se dimensionan generalmente considerando un peralte del orden de 1/10 a 1/12 de la luz libre; debe aclararse que esta altura incluye el espesor de la losa del techo o piso.

El ancho es menos importante que el peralte, pudiendo variar entre 0.3 a 0.5 de la altura.

La Norma Peruana de Concreto Armado indica que las vigas deben tener un ancho mínimo de 25cm para el caso que éstas formen parte de pórticos o elementos sismo-resistentes de estructuras de concreto armado. Esta limitación no impide tener vigas de menor espesor (15 ó 20 cms) si se trata de vigas que no formen pórticos.

3. Predimensionamiento de Columnas de Concreto Armado (Según el ing. Antonio Blanco Blasco)

Las columnas al ser sometidas a carga axial y momento flector, tienen que ser dimensionadas considerando los dos efectos simultáneamente.

Actualmente la mayoría de edificaciones se diseñan con sistemas mixtos de pórticos y muros de corte, lo cual permite reducir significativamente los momentos en las columnas debido a sismo.

En base a todo lo indicado se puede recomendar los siguientes criterios de dimensionamiento:

a) Para edificios que tengan muros de corte en las dos direcciones, tal que la rigidez lateral y la resistencia van a estar principalmente controladas por los muros, las columnas se pueden dimensionar suponiendo un área igual a:

$$\text{Área de columna} = P(\text{servicio}) / 0.45 \cdot f'c$$

b) Para el mismo tipo de edificio, el dimensionamiento de las columnas con menos carga axial, como es el caso de las exteriores o esquinas, se podrá hacer con un área igual a:

$$\text{Área de columna} = P(\text{servicio}) / 0.35 \cdot f'c$$

4. Predimensionamiento de Muros Estructurales (Según el ing. Antonio Blanco Blasco)

Las placas pueden hacerse de mínimo 10 cms de espesor, pero generalmente se consideran de 15 cm de espesor en el caso de edificios de pocos pisos y de 20, 25 ó 30 cms conforme aumentemos el número de pisos o disminuycamos su densidad.

En el Perú se han proyectado una serie de edificios de hasta 20 pisos considerando placas de espesor igual a 25 cm, considerando longitudes

apreciables de éstas, si por el contrario existieran pocas placas en una dirección, es probable que se requiera de espesores mayores como 40, 50 ó 60 cm.

La evaluación final de la longitud de placas tendría que ser hecha por el Ingeniero Estructural luego de realizar un análisis sísmico, pues es difícil poder indicar una recomendación general.

ANEXO N° 13. Norma Técnica Peruana E.020 Cargas.

NORMA TÉCNICA PERUANA E.020 “CARGAS”

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES

Artículo 2.- DEFINICIONES

Carga: Fuerza u otras acciones que resulten del peso de los materiales de construcción, ocupantes y sus pertenencias, efectos del medio ambiente, movimientos diferenciales y cambios dimensionales restringidos.

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.

Carga Viva: Es el peso de todos los ocupantes, materiales, equipos, muebles y otros elementos movibles soportados por la edificación.

CAPÍTULO 2

CARGA MUERTA

Artículo 4.- DISPOSITIVOS DE SERVICIO Y EQUIPOS

Se considerará el peso de todos los dispositivos de servicio de la edificación, inclusive las tuberías, ductos y equipos de calefacción y aire acondicionado, instalaciones eléctricas, ascensores, maquinaria para ascensores y otros dispositivos fijos similares. El peso de todo este material se incluirá en la carga muerta.

CAPÍTULO 3

CARGA VIVA

Artículo 6.- CARGA VIVA DEL PISO

6.1. Carga Viva Mínima Repartida.

Se usará como mínimo los valores que se establecen en la Tabla 1 para los diferentes tipos de ocupación o uso, valores que incluyen un margen para

condiciones ordinarias de impacto. Su conformidad se verificará de acuerdo a las disposiciones en Artículo 6 (6.4).

Tabla 54. Cargas vivas mínimas repartidas según la Norma Técnica Peruana E.020.

**TABLA 1
CARGAS VIVAS MÍNIMAS REPARTIDAS**

OCUPACIÓN O USO	CARGAS REPARTIDAS kPa (Kgf/m ²)
Almacenaje	5,0 (500) Ver 6.4
Baños	Igual a la carga principal del resto del área, sin que sea necesario que exceda de 3,0 (300)
Bibliotecas	Ver 6.4
Salas de lectura	3,0 (300)
Salas de Almacenaje con estantes fijos (no apilables)	7,5 (750)
Corredores y escaleras	4,0 (400)
Centros de Educación	
Aulas	2,5 (250)
Talleres	3,5 (350) Ver 6,4
Auditorios, Gimnasios, etc.	De acuerdo a lugares de asambleas
Laboratorios	3,0 (300) Ver 6.4
Corredores y escaleras	4,0 (400)
Garajes	
Para parqueo exclusivo de vehículos de	2,5 (250)
Hospitales	
Salas de operación, laboratorios, y áreas de servicio	3,0 (300)
Cuartos	2,0 (200)
Corredores y escaleras	4,0 (400)
Hoteles	
Cuartos	2,0 (200)
Salas Públicas	De acuerdo a lugares de asambleas
Almacenaje y servicios	5,0 (500)
Corredores y escaleras	4,0 (400)

6.2. Carga Viva Concentrada

Los pisos y techos que soporten cualquier tipo de maquinaria u otras cargas vivas concentradas en exceso de 5,0 kN (500 kgf) (incluido el peso de los apoyos o bases), serán diseñados para poder soportar tal peso como una carga concentrada o como grupo de cargas concentradas.

6.3. Tabiquería Móvil

El piso de los tabiques móviles se incluirá como carga viva equivalente uniformemente repartida por metro cuadrado, con un mínimo de 0,50 kPa (50 Kgf/m²), para divisiones livianas móviles de media altura y de 1,0 kPa (100 kgf/m²) para divisiones móviles de altura completa.

Artículo 7.- CARGA VIVA DEL TECHO

7.1. Carga Viva. - Las cargas vivas mínimas serán las siguientes:

a) Para los techos con una inclinación hasta de 3° con respecto a al horizontal, 1,0 kPa (100 kgf/m²).

b) Para techos con inclinación mayor de 3°, con respecto a la horizontal 1,0 kPa (100 kgf/m²) reducida en 0,05 kPa (5 kgf/m²), por cada grado de pendiente por encima de 3°, hasta un mínimo de 0,50 kPa (59 kgf/m²).

c) Para techos curvos, 0,50 kPa (50 kgf/m²).

d) Para techos con coberturas livianas de planchas onduladas o plegadas, calaminas, fibrocemento, material plástico, etc., cualquiera sea su pendiente, 0,30 kPa (30 kgf/m²), excepto cuando en el techo pueda haber acumulación de nieve, en cuyo caso se aplicará lo indicado en el **Artículo 11**.

e) Cuando se trate de malecones o terrazas, se aplicará la carga viva correspondiente a su uso particular, según se indica en la Tabla 1.

f) Cuando los techos tengan jardines, la carga viva mínima de diseño de las porciones con jardín será de 1,0 kPa (100 kgf/m²). Excepto cuando los jardines puedan ser de uso común o público, en cuyo caso la carga viva de diseño será de 4,0 kPa (400 kgf/m²).

El peso de los materiales del jardín será considerado como carga muerta y se hará este cómputo sobre la base de tierra saturada. Las zonas adyacentes a las porciones con jardín serán consideradas como áreas de asamblea, a no ser que haya disposiciones específicas permanentes que impidan su uso.

g) Cuando se coloque algún anuncio o equipo en un techo, el diseño tomará en cuenta todas las acciones que dicho anuncio o equipo ocasione.

CAPÍTULO 5 DISTRIBUCION Y COMBINACIÓN DE CARGAS

Artículo 19.- Combinación De Cargas

Excepto en los casos indicados en las normas propias de los diversos materiales estructurales, todas las cargas consideradas en la presente Norma se considerará que actúan en las siguientes combinaciones, la que produzca los

efectos más desfavorables en el elemento estructural considerando, con las reducciones, cuando sean aplicables, indicadas en el Artículo 10.

(1) **D**

(2) **D + L**

(3) **D + (W o 0,70 E)**

(4) **D + T**

(5) $\alpha [D + L + (W \text{ o } 0,70 E)]$

(6) $\alpha [D + L + T]$

(7) $\alpha [D + (W \text{ o } 0,70 E) + T]$

(8) $\alpha [D + L + (W \text{ o } 0,70 E) + T]$

Donde:

D = Carga muerta, según Capítulo 2.

L = Carga viva, Capítulo 3.

W = Carga de viento, según Artículo 12.

E = Carga de sismo, según NTE E.030 Diseño de Sismorresistente.

T = Acciones por cambios de temperatura, contracciones y/o deformaciones diferidas en los materiales componentes, asentamientos de apoyos o combinaciones de todos ellos.

α = Factor que tendrá un valor mínimo de 0.75 para las combinaciones (5), (6) y (7); y de 0.67 para la combinación (8). En estos casos no se permitirá un aumento de los esfuerzos admisibles.

Tabla 55. *Peso propio de losas aligeradas según la Norma Técnica Peruana*

E.020.

Losas aligeradas armadas en una sola dirección de Concreto Armado		
Con vigueta 0,10 m de ancho y 0,40 m entre ejes.		
Espesor del aligerado (m)	Espesor de losa superior en metros	Peso propio kPa (kgf/m ²)
0,17	0,05	2,8 (280)
0,20	0,05	3,0 (300)
0,25	0,05	3,5 (350)
0,30	0,05	4,2 (420)

ANEXO N° 14. Procedimiento del análisis Estático o de Fuerzas equivalentes según la Norma Técnica Peruana E.030

NORMA TÉCNICA PERUANA E.030 “DISEÑO SISMORRESISTENTE”

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS ESTRUCTURAL

Artículo 25.- Modelos para el Análisis

25.1. El modelo para el análisis considera una distribución espacial de masas y rigideces que sean adecuadas para representar los aspectos más significativos del comportamiento dinámico de la estructura.

25.2. Para propósitos de esta Norma, las estructuras de concreto armado y albañilería pueden ser analizadas considerando las inercias de las secciones brutas, ignorando la fisuración y el refuerzo.

25.3. Para edificios en los que se pueda razonablemente suponer que los sistemas de piso funcionan como diafragmas rígidos, se puede usar un modelo con masas concentradas y tres grados de libertad por diafragma, asociados a dos componentes ortogonales de traslación horizontal y una rotación. En tal caso, las deformaciones de los elementos se compatibilizan mediante la condición de diafragma rígido y la distribución en planta de las fuerzas horizontales se hace en función a las rigideces de los elementos resistentes.

Artículo 26.- Estimación del Peso (P)

El peso (P) se calcula adicionando a la carga permanente y total de la edificación un porcentaje de la carga viva o sobrecarga que se determina de la siguiente manera:

- e)** En edificaciones de las categorías A y B, se toma el 50% de la carga viva.
- f)** En edificaciones de la categoría C, se toma el 25% de la carga viva.
- g)** En depósitos, se toma el 80% del peso total que es posible almacenar.
- h)** En azoteas y techos en general se toma el 25% de la carga viva.

Artículo 27.- Procedimientos de Análisis Sísmico

27.1. Se utiliza uno de los procedimientos siguientes:

a) Análisis estático o de fuerzas estáticas equivalentes (**artículo 28**).

b) Análisis dinámico modal espectral (**artículo 29**).

27.2. El análisis se hace considerando un modelo de comportamiento lineal y elástico con las sollicitaciones sísmicas reducidas.

27.3. El procedimiento de análisis dinámico tiempo – historia, descrito en el **artículo 30**, puede usarse con fines de verificación, pero en ningún caso es exigido como sustituto de los procedimientos indicados en los **artículos 28 y 29**, de la presente norma.

Artículo 28.- Análisis estático o de Fuerzas Estáticas Equivalentes

28.1. Generalidades

28.1.1. Este método representa las sollicitaciones sísmicas mediante un conjunto de fuerzas actuando en el centro de masas de cada nivel de la edificación.

28.1.2. Pueden analizarse mediante este procedimiento todas las estructuras regulares o irregulares ubicadas en la zona 1. En las otras zonas sísmicas puede emplearse este procedimiento para las estructuras clasificadas como regulares de no más de 30m de altura, y para las estructuras de muros portantes de concreto armado y albañilería armada o confinada de no más de 15 m de altura, aun cuando sean irregulares.

28.2. Fuerza Cortante en la Base

28.2.1. La fuerza cortante total en la base de la estructura, correspondiente a la dirección considerada, se determina por la siguiente expresión:

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

28.2.2. El valor de C/R no se considera menor que:

$$\frac{C}{R} \geq 0,11$$

28.3. Distribución de la Fuerza Sísmica en Altura

28.3.1. Las fuerzas sísmicas horizontales en cualquier nivel i , correspondientes a la dirección considerada, se calculan mediante:

$$F_i = \alpha_i \cdot V$$

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

28.3.2. Donde n es el número de pisos del edificio, k es un exponente relacionado con el período fundamental de vibración de la estructura (T), en la dirección considerada, que se calcula de acuerdo a:

- a) Para T menor o igual a 0.5 segundos: $k = 1.0$.
- b) Para T mayor que 0.5 segundos: $k = (0.75 + 0.5T) \leq 2.0$

28.4. Períodos Fundamental de Vibración

28.4.1. El período fundamental de vibración para cada dirección se estima con la siguiente expresión:

$$T = \frac{h_n}{C_T}$$

Donde:

$C_T = 35$ Para edificios cuyos elementos resistentes en la dirección considerada sean únicamente:

- c) Pórticos de concreto armado sin muros de corte.
- d) Pórticos dúctiles de acero con uniones resistentes a momentos, sin arriostramiento.

$C_T = 45$ Para edificios cuyos elementos resistentes en la dirección considerada sean:

a) Pórticos de concreto armado con muros en las cajas de ascensores y escaleras.

b) Pórticos de acero arriostrados.

$C_T = 60$ Para edificios de albañilería y para todos los edificios de concreto armado duales, de muros estructurales, y muros de ductilidad limitada.

28.5. Excentricidad Accidental

Para estructuras con diafragmas rígidos, se supone que la fuerza en cada nivel (F_i) actúa en el centro de masas del nivel respectivo y se considera además de la excentricidad propia de la estructura el efecto de excentricidades accidentales (en cada dirección de análisis) como se indica a continuación:

c) En el centro de masas de cada nivel, además de la fuerza lateral estática actuante, se aplica un momento torsor accidental (M_n) que se calcula como:

$$M_n = \pm F_i \cdot e_i$$

d) Se puede suponer que las condiciones más desfavorables se obtienen considerando las excentricidades accidentales con el mismo signo en todos los niveles. Se consideran únicamente los incrementos de las fuerzas horizontales no así las disminuciones.

28.6. Fuerzas Sísmicas Verticales

28.6.1. La fuerza sísmica vertical se considera como una fracción del peso igual a $2/3 \cdot Z \cdot U \cdot S$

28.6.2. En elementos horizontales de grandes luces, incluyendo volados, se requiere un análisis dinámico con los espectros definidos en el numeral 29.2.

ANEXO N° 15. Procedimiento del análisis de Respuesta Espectral según la Norma Técnica Peruana E.030

NORMA TÉCNICA PERUANA E.030 “DISEÑO SISMORRESISTENTE”

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS ESTRUCTURAL

Artículo 29.- Análisis Dinámico Modal Espectral

Cualquier estructura puede ser diseñada usando los resultados de los análisis dinámicos por combinación modal espectral según lo especificado en este numeral.

29.1. Modos de vibración

29.1.1. Los modos de vibración pueden determinarse por un procedimiento de análisis que considere apropiadamente las características de rigidez y la distribución de las masas.

29.1.2. En cada dirección se consideran aquellos modos de vibración cuya suma de masas efectivas sea por lo menos el 90% de la masa total, pero se toma en cuenta por lo menos los tres primeros modos predominantes en la dirección de análisis.

29.2. Aceleración Espectral

29.2.1. Para cada una de las direcciones horizontales analizadas se utiliza un espectro inelástico de pseudo-aceleraciones definido por:

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

29.2.2. Para el análisis en la dirección vertical puede usarse un espectro con valores iguales a los 2/3 del espectro empleado para las direcciones horizontales, considerando los valores de C, definidos en el artículo 14, excepto para la zona de períodos muy cortos ($T < 0.2 T_P$) en la que se considera:

$$T < 0,2 T_P \quad C = 1 + 7,5 \left(\frac{T}{T_P} \right)$$

29.3. Criterios de combinación

29.3.1. Mediante los criterios de combinación que se indican, se podrá obtener la respuesta máxima elástica esperada (r) tanto para las fuerzas internas en los elementos componentes de la estructura, como para los parámetros globales del edificio como fuerza cortante en la base, cortantes de entrepiso, momentos de volteo, desplazamientos totales y relativos de entrepiso.

29.3.2. La respuesta máxima elástica esperada (r) correspondiente al efecto conjunto de los diferentes modos de vibración empleados (r_i) podrá determinarse usando la combinación cuadrática completa de los valores calculados para cada modo.

$$r = \sqrt{\sum \sum r_i \rho_{ij} r_j}$$

29.3.3. Donde r representa las respuestas modales, desplazamientos o fuerzas. Los coeficientes de correlación están dados por:

$$\rho_{ij} = \frac{8 \beta^2 (1 + \lambda) \lambda^{3/2}}{(1 - \lambda^2)^2 + 4 \beta^2 \lambda (1 + \lambda)^2} \quad \lambda = \frac{\omega_j}{\omega_i}$$

β , fracción del amortiguamiento crítico, que se puede suponer constante para todos los modos igual a 0,05

ω_i, ω_j son las frecuencias angulares de los modos i, j

29.3.4. Alternativamente, la respuesta máxima podrá estimarse mediante la siguiente expresión.

$$r = 0,25 \cdot \sum_{i=1}^m |r_i| + 0,75 \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^m r_i^2}$$

29.4. Fuerza cortante mínima

29.4.1. Para cada una de las direcciones consideradas en el análisis, la fuerza cortante en el primer entrecapiso del edificio no podrá ser menor que el 80 % del valor calculado según el artículo 25 para estructuras regulares, ni menor que el 90 % para estructuras irregulares.

29.4.2. Si fuera necesario incrementar el cortante para cumplir los mínimos señalados, se deberán escalar proporcionalmente todos los otros resultados obtenidos, excepto los desplazamientos.

29.5. Excentricidad Accidental (Efectos de Torsión)

La incertidumbre en la localización de los centros de masa en cada nivel, se considerará mediante una excentricidad accidental perpendicular a la dirección del sismo igual a 0,05 veces la dimensión del edificio en la dirección perpendicular a la dirección de análisis. En cada caso deberá considerarse el signo más desfavorable.

ANEXO N° 16. Procedimiento del análisis Historia de Respuesta según la Norma
Técnica Peruana E.031

NORMA TÉCNICA PERUANA E.031 “AISLAMIENTO SÍSMICO”

Artículo 15.- Registros de aceleración del suelo

15.1. Cuando se empleen procedimientos de respuesta tiempo-historia, el movimiento del terreno se define con un conjunto mínimo de siete registros, cada uno con dos componentes horizontales de aceleración, elegidos de eventos individuales y escalados, tal como se indica en los numerales 15.5 al 15.7 del artículo 15 de la presente Norma Técnica.

15.2. Los registros de aceleración deben ser obtenidos de eventos cuyas magnitudes, distancia a las fallas, mecanismos de fuente y condiciones locales de suelo sean consistentes con el SMC para el sitio.

15.3. Se permite escalar registros mediante el escalamiento de amplitudes o del ajuste de frecuencias hacia espectros definidos.

15.4. En el caso que no se cuente con la cantidad requerida de pares de componentes horizontales de movimientos de suelo, se permite el uso de registros simulados para completar el total requerido.

15.5. Para cada par de componentes horizontales de movimiento del suelo, se construye un espectro de pseudo-aceleraciones tomando la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados (SRSS) de los valores espectrales calculados separadamente para cada componente escalada, con 5% del amortiguamiento crítico. Cuando se usa escalamiento de amplitudes, se debe usar el mismo factor para cada componente.

15.6. Cada par de componentes horizontales de movimiento del suelo se debe escalar de modo que, en el rango de periodos entre 0,75 T_M , calculado usando el límite superior para las propiedades del sistema de aislamiento sísmico, y 1,25 T_M , calculado con el límite

inferior, el promedio de los valores espectrales SRSS obtenido para los distintos pares de registros empleados no sea menor que la ordenada dada por la ecuación 5 de la presente Norma Técnica.

15.7. Para registros espectro-compatibles, cada par de componentes horizontales se deben escalar de modo que, en el rango de periodos entre 0,2 T_M , calculado usando el límite superior para las propiedades del sistema de aislamiento sísmico, y 1,25 T_M , calculado con el límite inferior, el espectro de respuesta del componente en la dirección de análisis no sea menor que el 90% de la correspondiente ordenada dada por la ecuación 5.

Artículo 25.- Descripción de procedimientos

25.3 Análisis tiempo-historia:

a) Este procedimiento se debe desarrollar con un conjunto de pares de registros del movimiento del terreno que deben ser seleccionados y escalados según el artículo 15 de la presente Norma Técnica y lo señalado en la Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente.

b) Cada par de componentes del movimiento de terreno debe ser aplicado simultáneamente al modelo considerando la orientación y la ubicación de la excentricidad de la masa más desfavorable.

c) El desplazamiento máximo del sistema de aislamiento sísmico debe ser calculado mediante la suma vectorial de los dos desplazamientos ortogonales en cada instante de tiempo.

d) Los parámetros de interés deben ser calculados para cada movimiento del terreno usado para el análisis tiempo-historia y el valor promedio de los parámetros de respuesta de interés debe ser empleado para el diseño.

e) Para zonas cercanas a una falla geológica, cada par de componentes horizontales se debe rotar para ubicarse en la dirección paralela y perpendicular a la falla, y aplicarse a la edificación en cada dirección. En otros casos, no es necesario aplicar las componentes en múltiples direcciones.

ANEXO N° 17. Procedimiento del análisis Historia de Respuesta según la Norma
Técnica Peruana E.030

NORMA TÉCNICA PERUANA E.030 “DISEÑO SISMORRESISTENTE”

CAPÍTULO 4

ANÁLISIS ESTRUCTURAL

El análisis dinámico tiempo - historia podrá emplearse como un procedimiento complementario a los especificados en los numerales 4.5 y 4.6.

En este tipo de análisis deberá utilizarse un modelo matemático de la estructura que considere directamente el comportamiento histerético de los elementos, determinándose la respuesta frente a un conjunto de aceleraciones del terreno mediante integración directa de las ecuaciones de equilibrio.

4.7.1. Registros de Aceleración

Para el análisis se usarán como mínimo tres conjuntos de registros de aceleraciones del terreno, cada uno de los cuales incluirá dos componentes en direcciones ortogonales.

Cada conjunto de registros de aceleraciones del terreno consistirá en un par de componentes de aceleración horizontal, elegidas y escaladas de eventos individuales. Las historias de aceleración serán obtenidas de eventos cuyas magnitudes, distancia a las fallas, y mecanismos de fuente sean consistentes con el máximo sismo considerado. Cuando no se cuente con el número requerido de registros apropiados, se podrán usar registros simulados para alcanzar el número total requerido.

Para cada par de componentes horizontales de movimiento del suelo, se construirá un espectro de pseudo aceleraciones tomando la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados (SRSS) de los valores espectrales calculados para cada componente por separado, con 5 % de amortiguamiento. Ambas componentes se escalarán por un mismo factor, de modo que en el rango de períodos entre $0,2 T$ y $1,5 T$ (siendo T el período fundamental), el promedio de los valores espectrales SRSS obtenidos para los distintos juegos de registros no sea menor que la

ordenada correspondiente del espectro de diseño, calculada según el numeral 4.6.2 con $R = 1$.

Para la generación de registros simulados deberán considerarse los valores de C , definidos en el numeral 2.5, excepto para la zona de períodos muy cortos ($T < 0,2 T_p$) en la que se considerará:

$$T < 0,2 T_p \quad C = 1 + 7,5 \cdot \left(\frac{T}{T_p} \right)$$

4.7.2. Modelo para el Análisis

El modelo matemático deberá representar correctamente la distribución espacial de masas en la estructura.

El comportamiento de los elementos será modelado de modo consistente con resultados de ensayos de laboratorio y tomará en cuenta la fluencia, la degradación de resistencia, la degradación de rigidez, el estrechamiento de los lazos histeréticos, y todos los aspectos relevantes del comportamiento estructural indicado por los ensayos.

La resistencia de los elementos será obtenida en base a los valores esperados sobre resistencia del material, endurecimiento por deformación y degradación de resistencia por la carga cíclica.

Se permite suponer propiedades lineales para aquellos elementos en los que el análisis demuestre que permanecen en el rango elástico de respuesta.

Se admite considerar un amortiguamiento viscoso equivalente con un valor máximo del 5 % del amortiguamiento crítico, además de la disipación resultante del comportamiento histerético de los elementos.

Se puede suponer que la estructura está empotrada en la base, o alternativamente considerar la flexibilidad del sistema de cimentación si fuera pertinente.

4.7.3. Tratamiento de Resultados

En caso se utilicen por lo menos siete juegos de registros del movimiento del suelo, las fuerzas de diseño, las deformaciones en los elementos y las distorsiones

de entrepiso se evaluarán a partir de los promedios de los correspondientes resultados máximos obtenidos en los distintos análisis. Si se utilizaran menos de siete juegos de registros, las fuerzas de diseño, las deformaciones y las distorsiones de entrepiso serán evaluadas a partir de los máximos valores obtenidos de todos los análisis.

Las distorsiones máximas de entrepiso no deberán exceder de 1,25 veces de los valores indicados en la Tabla N° 11.

Las deformaciones en los elementos no excederán de $2/3$ de aquellas para las que perderían la capacidad portante para cargas verticales o para las que se tendría una pérdida de resistencia en exceso a 30 %.

Para verificar la resistencia de los elementos se dividirán los resultados del análisis entre $R = 2$, empleándose las normas aplicables a cada material.

ANEXO N° 18. Características y propiedades para cada prototipo de aislador escogido según el catálogo de la Brigstone.

CATÁLOGO BRIGSTONE

LÍNEA DE PRODUCTOS DE AISLAMIENTO SÍSMICO

AISLADOR ELASTOMÉRICO DE NÚCLEO DE PLOMO (LRB)

Este soporte incluye un tapón de plomo incrustado en el centro de una estructura de caucho natural laminado, donde el caucho incorpora la capacidad de resorte y el tapón de plomo proporciona la capacidad de amortiguación. Generalmente, no se requiere un amortiguador separado, lo que lo convierte en una buena opción para áreas con limitaciones de espacio. Su histéresis se asemeja a los materiales elastoplásticos. La atenuación se puede ajustar variando el diámetro del conector del cable. Está disponible un tipo de material de caucho **(G0.40)**.

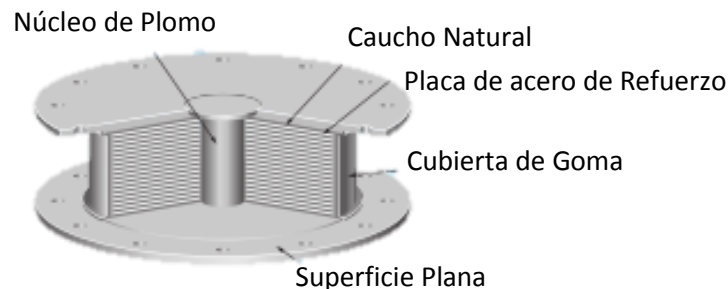


Figura 75. Partes de un aislador elastomérico de núcleo de plomo (LRB)

AISLADOR ELASTOMÉRICO DE CAUCHO DE ALTO AMORTIGUAMIENTO (HDR)

El caucho de alta amortiguación incluye características tanto de resorte como de amortiguación. Generalmente, no se requiere un amortiguador separado, lo que lo convierte en una excelente opción para áreas con limitaciones de espacio. Dado que sus curvas de histéresis son relativamente suaves, el aislamiento sísmico también se puede extender al equipo dentro del edificio. Hay 3 módulos elásticos

diferentes disponibles (E0.3R, E0.4S, X0.6R). Se pueden acomodar desde cargas ligeras en columnas hasta edificios de gran altura.

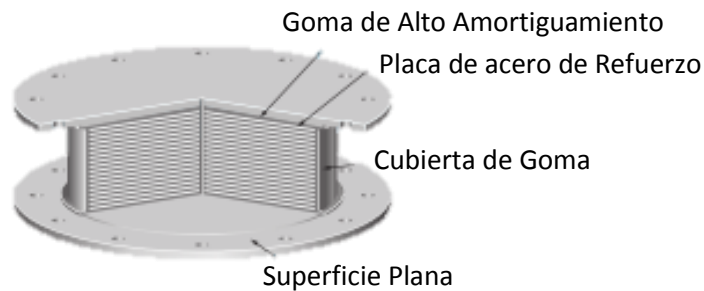


Figura 76. Partes de un aislador elastomérico de alto amortiguamiento (HDR)

ESPECIFICACIÓN DEL PRODUCTO Y DESCRIPCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE RENDIMIENTO

High Damping Rubber Bearing (HDR)

Número de certificación de material de aislamiento sísmico por el Ministerio de Tierras, Infraestructura y Transporte, Japón

Certificación: MVBR-0510/MVBR-0519 (X0.4S Series) Acquired in December 2014

Dimensiones del producto

Characteristics		Sectional View	
Physical Dimensions	Outer diameter	: D_o (mm)	
	Inner diameter	: D_i (mm)	
	Number of inner diameter	: n	
	Effective plane area	: A ($\times 10^2 \text{mm}^2$)	
	Thickness of one rubber layer	: t_r (mm)	
	Number of rubber layers	: n	
	Total rubber thickness	: $H = n \cdot t_r$ (mm)	
	First shape factor $S_1 = [D_o^2 \cdot n \cdot D_i^2] / [4 \cdot t_r \cdot (D_o + n \cdot D_i)]$		
	Second shape factor $S_2 = D_o / (n \cdot t_r)$		
	Diameter of flange	: D_f (mm)	
	Thickness of flange: edge/center	: t_f / t_c (mm)	
	Connecting bolt PCD	: PCD (mm)	
	Diameter of connecting bolt hole \times qty	: d_b (mm) \times qty	
	Bolt size [assumption]	: M ($d_b - 3$)	
	Thickness of each reinforced steel plate	: t_s (mm)	
	Total height	: H_t (mm)	
Total weight: 1 (kN) = 1 / 9.80665 (tonf)			

Material de caucho

Notación de tipo de goma (temperatura estándar 20 ° C deformación estándar $\gamma = 100\%$)

Compound name	Rubber code	Shear modulus G_{eq} (N/mm ²)	Equivalent damping ratio H_{eq}
X3R	X0.3R	0.300	0.17
X4S	X0.4S	0.392	0.24
X6R	X0.6R	0.620	0.24

Propiedades de los materiales de caucho

Item	Tensile strength (N/mm ²)	Elongation at Break (%)	Hardness (JIS A)	100% modulus (N/mm ²)	Young's modulus E (N/mm ²)	Bulk modulus E_v (N/mm ²)	Correction factor for apparent Young's modulus according to hardness, k	
Test Standard	JIS K6251	JIS K6251	JIS K6253	JIS K6251	-	-	-	
Inner Rubber	X0.3R	7 and above	700 and above	34 ± 8	0.53 ± 0.2	4.0	1150	1.0
	X0.4S	7 and above	840 and above	37 ± 8	0.43 ± 0.2	6.2	1300	1.0
	X0.6R	8.5 and above	780 and above	53 ± 5	0.73 ± 0.2	7.6	1500	1.0
Cover rubber	12 and above	600 and above	-	-	-	-	-	

Propiedades de corte

Las propiedades de cizallamiento de HDR dependen de la amplitud de la deformación por cizallamiento. La dependencia de la deformación cortante de cada propiedad se expresa mediante las siguientes ecuaciones.

● Rubber material X0.3R [0.1 ≤ γ ≤ 3.0]	$G_{eq}[\gamma] = 0.0255 \gamma^4 - 0.2213 \gamma^3 + 0.7283 \gamma^2 - 1.1028 \gamma + 0.8703$ $H_{eq}[\gamma] = -0.005 \gamma^3 + 0.015 \gamma^2 - 0.006 \gamma + 0.166$ $u[\gamma] = -0.0087 \gamma^3 + 0.0262 \gamma^2 - 0.0105 \gamma + 0.2720$
● Rubber material X0.4S [0.1 ≤ γ ≤ 2.7]	$G_{eq}[\gamma] = 0.054 \gamma^4 - 0.416 \gamma^3 + 1.192 \gamma^2 - 1.583 \gamma + 1.145$ $H_{eq}[\gamma] = -0.007 \gamma^3 + 0.020 \gamma^2 - 0.009 \gamma + 0.236$ $u[\gamma] = -0.0132 \gamma^3 + 0.0401 \gamma^2 - 0.0190 \gamma + 0.4001$
● Rubber material X0.6R [0.1 ≤ γ ≤ 2.7]	$G_{eq}[\gamma] = 0.620 \times [0.1364 \gamma^4 - 1.016 \gamma^3 + 2.903 \gamma^2 - 3.878 \gamma + 2.855]$ $H_{eq}[\gamma] = 0.240 \times [0.02902 \gamma^3 - 0.1804 \gamma^2 + 0.2364 \gamma + 0.9150]$ $u[\gamma] = 0.408 \times [0.03421 \gamma^3 - 0.2083 \gamma^2 + 0.2711 \gamma + 0.9028]$

Con base en las ecuaciones anteriores, cada propiedad de corte se determinará mediante las siguientes ecuaciones:

Equivalent shear stiffness	: $K_{eq} = G_{eq} \cdot A/H$	Equivalent damping ratio	: $H_{eq} = \Delta W / [2 \pi \cdot K_{eq} \delta^2]$
Initial stiffness	: $K_1 = 10 \times K_2$		
Post-yield stiffness	: $K_2 = K_{eq} [1 - u]$		
Characteristic strength	: $Q_0 = u \cdot K_{eq} \cdot H \cdot \gamma$		

Donde:

K_{eq}: Rigidez a cortante equivalente.

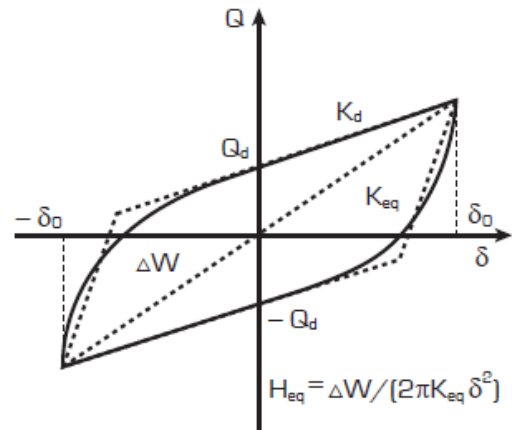
H_{eq}: relación de amortiguamiento equivalente.

K1: rigidez inicial.

K2: rigidez postflujo.

Q_d: resistencia característica.

u: función que da la relación entre la resistencia característica y la fuerza cortante máxima de un bucle.



Propiedades compresivas

Rigidez a la compresión vertical (K_v)

La rigidez a la compresión vertical (K_v) se determina mediante la siguiente ecuación:

$$K_v = E_c \cdot \frac{A}{H} \quad E_c = \frac{E(1+2\kappa S_1^2)}{1+E(1+2\kappa S_1^2)/E_\infty}$$

Donde:

E_c: Módulo de compresión vertical.

Serie HT (espesor total de caucho 25 cm)

Code

Compound name	Rubber code	Shear modulus (N/mm ²)	Equivalent damping ratio
X45	X0.45	0.392	0.240

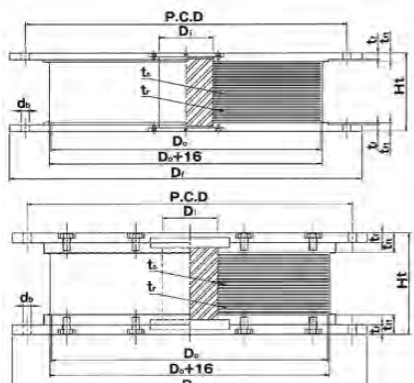
Characteristics		HT090X4S	HT095X4S	HT100X4S	HT110X4S	HT120X4S	HT130X4S	HT140X4S	HT150X4S	HT160X4S
Outer diameter	(mm)	900	950	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600
Inner diameter	(mm)	20	20	25	55	55	55	65	65	80
Effective plane area	($\times 10^3 \text{ mm}^2$)	6359	7085	7849	9480	11286	13249	15361	17638	20056
Thickness of one rubber layer	(mm)	6.0	6.4	6.7	7.4	8.0	8.7	9.5	10.0	10.4
Number of rubber layers	(-)	42	39	37	34	31	29	26	25	24
Total rubber thickness	(mm)	252	250	248	252	248	252	247	250	250
Thickness of each reinforced steel plate	(mm)	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	5.8	5.8	5.8
Total height	(mm)	504.4	488.8	478.3	472.8	460.0	455.5	482.0	489.2	603.0
Total weight	(tonf)	1.73	1.83	2.00	2.34	2.68	3.01	3.90	4.56	7.22
Total weight	(kN)	16.9	18.0	19.6	22.9	26.2	29.5	38.2	44.7	70.8

Lead Rubber Bearing (LRB)

Número de certificación de material de aislamiento sísmico por el Ministerio de Tierras, Infraestructura y Transporte, Japón

Certificación: MVBR-0517 Acquired in December 2014

Dimensiones del producto

Characteristics		Sectional View	
Physical Dimensions	Outer diameter	: D_o (mm)	
	Lead plug diameter	: D_i (mm)	
	Number of inner diameter	: A_r ($\times 10^3 \text{ mm}^2$)	
	Effective plane area	: t_r (mm)	
	Thickness of one rubber layer	: n	
	Number of rubber layers	: $H = n \cdot t_r$ (mm)	
	First shape factor $S_1 = (D_o) / (4 \cdot t_r)$		
	Second shape factor $S_2 = D_o / (n \cdot t_r)$		
	Diameter of flange	: D_r (mm)	
	Thickness of flange: edge/center	: t_r / t_s (mm)	
	Connecting bolt PCD	: PCD (mm)	
	Diameter of connecting bolt hole \times qty	: d_s (mm) \times qty	
	Bolt size (assumption)	: M ($d_s - 3$)	
	Thickness of each reinforced steel plate	: t_s (mm)	
	Total height	: H_t (mm)	
Total weight 1 (kN) = 1/9.80665 (tonf)			

Material de caucho

Notación de tipo de goma (temperatura estándar 20 ° C deformación estándar $\gamma = 100\%$)

Compound name	Rubber code	Shear modulus G_{eq} (N/mm ²)
G4	G0.4	0.385

Propiedades de los materiales de caucho

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

Propiedades de corte

Las propiedades de corte de LRB dependen de la amplitud de la deformación por corte.

La dependencia de la deformación cortante de cada propiedad se expresa mediante las siguientes ecuaciones:

Post-yield stiffness : $K_2 = K_d = C_{kd} \cdot (K_r + K_p)$

Shear stiffness of laminated rubber : $K_r = G_r \cdot A_r / H$

Additional shear stiffness by lead plug : $K_p = \alpha_p \cdot A_p / H$

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

G_r : shear modulus of rubber 0.385N/mm²

γ : shear strain

α_p : apparent shear modulus of lead 0.583N/mm²

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

Characteristic strength : $Q_d = C_{Qd} \cdot \sigma_{pb} \cdot A_p$

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

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

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

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

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

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

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

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

Donde:

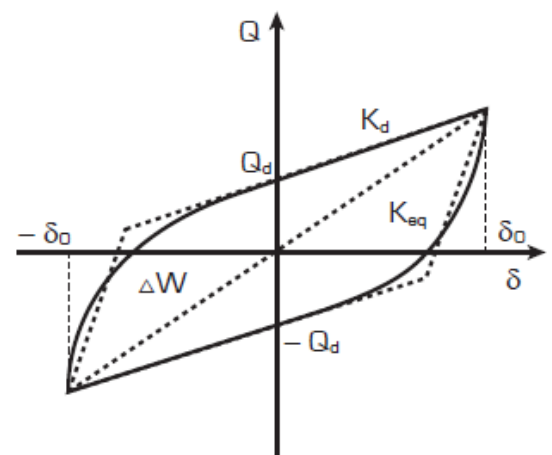
Kr: Rigidez al cizallamiento del caucho laminado.

Kp: Rigidez de corte adicional por el núcleo de plomo.

Ckd: Factor de corrección de la rigidez posterior a la fluencia debido a la dependencia de la deformación.

CQd: Factor de corrección de resistencia característica debido a la dependencia de la deformación

Keq: Rigidez a cortante equivalente.



Heq: relación de amortiguamiento equivalente.

K1: rigidez inicial.

K2: rigidez postflujo.

Qd: resistencia característica.

Υ: Esfuerzo cortante.

β: Relación entre la rigidez inicial y la rigidez posterior a la fluencia entre 10 y 15.
(valor recomendado: 13).

σpb: Esfuerzo cortante en el rendimiento del plomo 7,967 N / mm².

Propiedades compresivas

Rigidez a la compresión vertical (Kv)

La rigidez a la compresión vertical (Kv) se determina mediante la siguiente ecuación:

$$K_v = \alpha_v \cdot E_c \cdot \frac{A}{H} \quad E_c = \frac{E(1+2\kappa S_1^2)}{1+E(1+2\kappa S_1^2)/E_\infty}$$

A : Laminated rubber plane area A_e : Effective plane area A_p : Lead plug plane area
A = A_e + A_p
α_v : Young's modulus correction factor = 1,23

Donde:

Ec: Módulo de compresión vertical.

A: Área del plano de goma laminada.

Ar: Área efectiva del plano.

Ap: Área del plano del conector del cable.

αv: Factor de corrección del módulo de Young = 1,23.

Serie LT (grosor total de caucho 25 cm)

Code

Compound name	Rubber code	Shear modulus (N/mm ²)
G4	G0.40	0.385

Characteristics		LT090G4											LT095G4											
		F	E	D	C	B	A	G	H	I	J	K	F	E	D	C	B	A	G	H	I	J	K	
Outer diameter	(mm)	900											950											
	Lead plug diameter	(mm)	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240
	Effective plane area	($\times 10^2$ mm ²)	6229	6208	6185	6161	6135	6107	6078	6048	6015	5982	5946	6934	6912	6887	6861	6834	6805	6774	6742	6708	6673	6636
	Thickness of one rubber layer	(mm)	6.0											6.4										
	Number of rubber layers	(-)	42											39										
	Total rubber thickness	(mm)	252											250										
Total height	(mm)	504.4											488.8											
	Total weight	(tonf)	1.77	1.78	1.79	1.80	1.81	1.82	1.83	1.84	1.85	1.86	1.87	1.89	1.89	1.90	1.91	1.92	1.93	1.94	1.95	1.96	1.97	1.99
	Total weight	(kN)	17.4	17.5	17.5	17.6	17.7	17.8	17.9	18.0	18.1	18.2	18.4	18.5	18.6	18.6	18.7	18.8	18.9	19.0	19.1	19.2	19.4	19.5

ANEXO N° 19. Requisitos mínimos de los prototipos de aisladores según la Norma Técnica Peruana E.031.

NORMA TÉCNICA PERUANA E.031 “AISLAMIENTO SÍSMICO”

Artículo 12.- Efectos de las cargas sísmicas y combinaciones de cargas

12.1. Todos los elementos de la estructura sísmicamente aislada, incluidos los que no forman parte del Sistema sismorresistente, deben ser diseñados utilizando las cargas sísmicas establecidas en esta Norma Técnica y las combinaciones de cargas adicionales para el diseño del sistema de aislamiento sísmico y para las pruebas de prototipos de unidades de aislamiento indicadas en el numeral 12.2 del artículo 12 de la presente Norma Técnica.

12.2. Los promedios mínimo y máximo de la carga vertical aplicada a cada unidad tipo de aislador, deben ser calculados aplicando cargas sísmicas horizontales, debidas al SMC, y a las siguientes combinaciones de cargas:

a) Carga vertical promedio: $1,0 \text{ CM} + 0,5 \text{ CV}$

b) Carga vertical máxima: $1,25 (\text{CM} + \text{CV}) + 1,0 (\text{CSH} + \text{CSV}) + 0,2 \text{ CN}$

c) Carga vertical mínima: $0,9 \text{ CM} - 1,0 (\text{CSH} + \text{CSV})$

Donde:

CM: Carga muerta.

CV: Carga viva.

CSH: Carga sísmica horizontal.

CSV: Carga sísmica vertical = $0,5 (1,5 \text{ ZS}) \text{ CM}$.

CN: Carga de nieve.

13.3. Factores de modificación de las propiedades:

a) El diseño de estructuras sísmicamente aisladas, incluyendo la cimentación, sistema de aislamiento sísmico y la superestructura, debe considerar la posible influencia de la velocidad de carga y las variaciones en las propiedades del aislador durante la vida útil esperada de la estructura,

incluyendo cambios debidos al envejecimiento, contaminación, exposición al ambiente y temperatura.

b) Los factores de modificación de las propiedades, máximo y mínimo (λ) se utilizan para tener en cuenta la variación de los parámetros de diseño nominal de cada tipo de unidad de aislamiento por los efectos del calentamiento debido al movimiento dinámico cíclico, velocidad de carga, scragging y recuperación, variabilidad en las propiedades de producción, temperatura, envejecimiento, exposición ambiental y contaminación.

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

$$\lambda_{min} = 1 - 0.75(1 - \lambda_{ae}), \min * \lambda_{test}, \min * \lambda_{spec}, \min \leq 0.6$$

CAPITULO III DEFINICIÓN DEL MOVIMIENTO DEL TERRENO

Artículo 14.- Espectro del diseño

14.1. El espectro de diseño se debe obtener mediante un estudio de sitio o empleando las indicaciones de la Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente.

14.2. Cuando el espectro de diseño se obtenga aplicando los perfiles del suelo de la Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente, se debe verificar que el periodo fundamental del estrato **T_s**, obtenido mediante ensayos de micro trepidación corresponda con lo indicado en la table siguiente:

Tabla N° 4		
Suelo Tipo		T _s (s)
S0	Roca dura	< 0,15
S1	Roca o suelos muy rígidos	< 0,30
S2	Suelos intermedios	< 0,40
S3	Suelos blandos	< 0,60

14.3. Para periodos **T_s** mayores que 0,6 segundos es obligatorio efectuar un estudio de sitio.

14.4. Sólo cuando los estudios de micro trepidación confirmen el periodo del estrato, el espectro elástico de pseudo aceleraciones, correspondiente al sismo máximo considerado (SMC), se determina como:

$$S_{aM} = 1,5 \cdot Z \cdot U \cdot C \cdot S \cdot g$$

Donde: Z, U y S son los parámetros definidos en la Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente. Para estructuras aisladas, el factor U es en todos los casos igual a 1.

El parámetro C es definido por las siguientes ecuaciones:

$$T < 0,2 T_P \quad \rightarrow \quad C = 1 + 7,5 \cdot \left(\frac{T}{T_P} \right)$$

$$0,2 T_P < T < T_P \quad \rightarrow \quad C = 2,5$$

$$T_P < T < T_L \quad \rightarrow \quad C = 2,5 \cdot \left(\frac{T_P}{T} \right)$$

$$T > T_L \quad \rightarrow \quad C = 2,5 \cdot \left(\frac{T_P \cdot T_L}{T^2} \right)$$

CAPÍTULO V

PROCEDIMIENTO DE FUERZAS ESTÁTICAS EQUIVALENTES

Artículo 20.- Desplazamientos laterales considerados para el diseño

20.1. Desplazamiento traslacional:

El sistema de aislamiento sísmico debe ser diseñado y construido para soportar, como mínimo, el desplazamiento máximo, DM, determinado utilizando los límites superiores e inferiores de las propiedades, en la dirección más crítica para la respuesta horizontal, calculado con la ecuación 6:

$$D_M = \frac{S_{aM} T_M^2}{4\pi^2 B_M} \dots (6)$$

Donde:

S_{aM} = Ordenada del espectro elástico de pseudo aceleraciones correspondiente al sismo máximo considerado, en mm/s², determinada como se indica en la ecuación 5.

TM = Período efectivo de la estructura sísmicamente aislada, asociado al desplazamiento traslacional DM en la dirección de análisis, tal como se indica en la ecuación 7, expresada en segundos.

BM = Factor de amortiguamiento, correspondiente a la razón entre la ordenada espectral para 5% del amortiguamiento crítico y la ordenada espectral para el amortiguamiento efectivo β_M

correspondiente al desplazamiento traslacional DM que se indica en la table siguiente.

Tabla N° 5 Factor de amortiguamiento B_M	
Amortiguamiento Efectivo, β_M (En porcentaje del amortiguamiento crítico) a,b	Factor B_M
≤ 2	0,8
5	1,0
10	1,2
20	1,5
30	1,7
≥ 40	1,9

20.2. Período efectivo correspondiente al desplazamiento traslacional:

El periodo efectivo de la estructura aislada, T_M , correspondiente al desplazamiento traslacional, DM, debe determinarse usando los límites superior e inferior de las características de deformación del sistema de aislamiento sísmico, con la ecuación 7 siguiente:

$$T_M = 2\pi \sqrt{\frac{P}{k_M g}} \dots\dots (7)$$

Donde:

P = Peso de la estructura sobre la interfaz de aislamiento, determinado según la Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente, expresado en kN.

KM = Rigidez efectiva (secante) del sistema de aislamiento sísmico en la dirección de análisis, calculada con la ecuación 3, expresada en kN/mm.

g = Aceleración de la gravedad (9 810 mm/s²).

20.3 Desplazamiento total:

a) El desplazamiento total (DTM) de los elementos del sistema de aislamiento sísmico debe incluir el desplazamiento adicional debido a la torsión real y accidental, calculado con la distribución espacial de la rigidez lateral del sistema de aislamiento sísmico y la ubicación más desfavorable de la masa excéntrica.

b) El desplazamiento total (DTM) de los elementos de un sistema de aislamiento sísmico no debe ser menor que lo prescrito en las siguientes ecuaciones 8 y 9:

$$D_{TM} = D_M \left[1 + \left(\frac{y}{P_T^2} \right) \left(\frac{12e}{b^2 + d^2} \right) \right] \dots (8)$$

Nota: El desplazamiento total (DTM) no será menor que 1.15 DM

Donde:

DM = Desplazamiento traslacional en el centro de rigidez del Sistema de aislamiento sísmico, en la dirección de análisis, como se indica en la ecuación 6, expresado en mm.

y = Distancia entre el centro de rigidez del sistema de aislamiento sísmico y el elemento de interés, medida perpendicularmente a la dirección de la solicitación sísmica considerada, expresada en mm.

e = Excentricidad obtenida como la suma de la distancia en planta entre el centro de masa de la estructura sobre la interfaz de aislamiento y el centro de rigidez del sistema de aislamiento sísmico, más la excentricidad accidental, tomada como 5% de la mayor dimensión en planta del edificio en dirección perpendicular a la de la fuerza sísmica considerada, expresada en mm .

b = Dimensión menor de la proyección en planta de la estructura, medida perpendicularmente a la dimensión mayor, d, expresada en mm .

d = Dimensión mayor de la proyección en planta de la estructura, expresada en mm .

PT = Razón entre el período traslacional efectivo del sistema de aislamiento sísmico y el período rotacional efectivo del Sistema de aislamiento sísmico; calculada mediante un análisis dinámico o como se indica en la ecuación 9, pero no requiere ser menor que 1:

$$P_T = \frac{1}{r_a} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i^2 + y_i^2)}{N}} \dots (9)$$

Donde:

ra = Radio de giro del sistema de aislamiento sísmico, expresado en mm, el cual es igual a 1

$12(b^2 + d^2)^{1/2}$ en sistemas de aislamiento con planta rectangular de dimensiones b x d.

N = Número de aisladores.

xi, yi = Distancias horizontales entre el centro de masas del Sistema de aislamiento sísmico y el aislador i-ésimo, medidas en las direcciones de los ejes del sistema de aislamiento sísmico, expresadas en mm.

CAPÍTULO VI

PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS DINÁMICO

26.4. Límites de la deriva:

La deriva máxima de entrepiso correspondiente al SMC y un factor de reducción $R_a=1$, incluyendo el desplazamiento ocasionado por la deformación vertical del sistema de aislamiento sísmico, debe cumplir con alguno de los siguientes límites:

a) La máxima deriva de entrepiso de la superestructura calculado por el análisis modal espectral no debe exceder 0,0035.

b) La máxima deriva de entrepiso de la superestructura calculado por el análisis tiempo-historia, considerando las características de fuerza-deformación no lineales de la interfaz de aislamiento, no debe exceder 0,005.

ANEXO II

VERIFICACIÓN DE LA ESTABILIDAD DE LOS AISLADORES ELASTOMÉRICOS

1.- Capacidad axial:

- **Módulo Elástico:** $E_0 = f \cdot G$; el valor de f depende del proveedor. Se recomienda utilizar el valor de $f=4,0$, salvo que el proveedor demuestre mediante el ensayo ASTM D945 u otro similar reconocido internacionalmente un valor diferente.

Donde:

G = Módulo de corte del caucho, en **MPa**.

- **Factor de Forma (S):** ratio entre el área efectiva de una capa de caucho dividida entre su área de la superficie de borde.

- **Módulo de Compresión:** $EC = E_0 (1 + 2 kS^2)$, en MPa.

Donde:

k = constante empírica que está en función del modulo de corte.

- **Área reducida (AR):**

$$AR = A_A \cdot 2 \frac{\left[D_e^2 \cdot \sin^{-1} \left(\frac{\sqrt{D_e^2 - D_{TM}^2}}{D_e} \right) - D_{TM} \cdot \sqrt{D_e^2 - D_{TM}^2} \right]}{\pi \cdot D_e^2}$$

Donde:

AA = Área del aislador, en mm².

De = Diámetro del aislador sin contar la cobertura de caucho exterior, en mm.

DTM = Desplazamiento total de un elemento del Sistema de aislamiento, en la dirección de análisis, que incluye la traslación en el centro de rigidez y la componente torsional, determinado con la ecuación 5.3, en mm.

- **Capacidad de Pandeo:**

$$P_{crítico} = \frac{\pi}{\sqrt{8}} G \cdot S \frac{D_e}{N \cdot t_r} A_R$$

Donde:

N = número de capas de caucho

t_r = espesor de cada capa de caucho, en mm.

- **Factores de seguridad (FS):**

Solo para carga axial, FS = 3,0

Para carga axial última a DTM, FS > 1,0

2.- Deformaciones por corte:

- Deformación por corte debido a deformación:

$$\gamma_D = \frac{D_{TM}}{H_r} \leq 2,5$$

- Deformación por corte debido a compresión:

$$\gamma_C = \frac{6 \cdot P \cdot S}{E_C A_R}$$

- Deformación por corte debido a deformación angular:

$$\gamma_\theta = \frac{0,375 \cdot D_e^2 \cdot \theta}{t_r \cdot H_r}$$

Donde:

θ ≥ 0,003 en radianes.

- Deformación total por corte:

$$\gamma_D + \gamma_C + 0,5\gamma_\theta \leq 6$$

Referencia: Capítulo 14 de la norma AASHTO LRFD Bridge Design Specificatio