

**UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL**



**DISEÑO Y ANÁLISIS SÍSMICO COMPARATIVO ENTRE UN  
SISTEMA CON AISLADORES DE NÚCLEO DE PLOMO Y UN  
SISTEMA CON DISIPADORES DE FLUIDO VISCOSO EN UNA  
EDIFICACIÓN DE 4 NIVELES, CHICLAYO, 2017**

**TESIS PARA OBTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL AMBIENTAL**

**AUTOR**

**EDER ALEXIS CHILÓN ZÁRATE**

**ASESOR**

**ING. OVIDIO SERRANO ZELADA**

**Chiclayo, 2019**

## **DEDICATORIA**

Dedicada:

A Dios por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A mis padres por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica, como de la vida, por su incondicional apoyo perfectamente mantenido a través del tiempo.

A mi hermana por sentar los valores de la responsabilidad y superación, y por estar siempre a mi lado apoyándome.

A mis maestros que han contribuido a lo largo de toda mi vida universitaria para formarme como una persona preparada para los retos de la vida. A cada uno de ellos, les dedico el siguiente trabajo de investigación.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Ing. Ovidio Serrano Zelada, por el aporte de sus valiosos conocimientos, así como por el apoyo desinteresado y generoso a lo largo de toda la elaboración de la tesis, segundo por ser un excelente docente y un gran amigo.

Al Ing. Guillermo Carranza Cieza, por sus recomendaciones para la elaboración de esta investigación, y por ser un gran consejero y un gran amigo.

A mis amigos que nos apoyamos mutuamente en nuestra formación profesional y que me ayudaron de alguna manera a realizar este trabajo.

Finalmente, al jurado evaluador, por las revisiones de los diferentes capítulos y por sus valiosos comentarios.

## RESUMEN

El presente estudio busca realizar un análisis comparativo de comportamiento y costos entre un sistema con aislación y disipación sísmica para una edificación de 4 niveles, en la ciudad de Chiclayo. Se utilizaron disipadores de fluido viscoso y aisladores de núcleo de plomo para cada uno de los sistemas estructurales evaluando su desempeño estructural frente a un evento sísmico severo; también se realizará un análisis económico a largo plazo que tendrá en cuenta el costo directo del proyecto y los costos por reparaciones, calculado mediante una curva de vulnerabilidad, que pueda sufrir la estructura luego de un sismo.

En el sistema con disipadores se logró reducir hasta un 40% las derivas en la dirección X y un 35% en la dirección Y, además de acuerdo al análisis económico a largo plazo se concluyó que se tiene un ahorro del 4% respecto al costo del proyecto con un sistema estructural convencional. En el sistema con aisladores se logró reducir hasta un 91% las derivas en la dirección X y un 90% en la dirección Y, además de acuerdo al análisis económico a largo plazo se concluyó que se tiene un ahorro del 20% respecto al costo del proyecto con un sistema estructural convencional.

**PALABRAS CLAVE:** Disipadores sísmicos, aislamiento, fluido viscoso, terremoto.

## **ABSTRACT**

The present study seeks to perform a comparative analysis of behavior and costs between a system with isolation and seismic dissipation for a building, in the city of Chiclayo, based on using the dissipaters and seismic isolators from the design phase, in this way an comparison of structural performance and also on the economic aspect between both systems.

The use of these new technologies will improve the performance of the structure against severe earthquakes, allowing the operation of the buildings after a seismic event. In addition, if the structure does not collapse or in its best case does not suffer structural damage, the generation of solid waste would be reduced after a seismic event mitigating the environmental impact. Finally, it is concluded that the applications of seismic protection devices bring great structural and economic benefits to buildings.

**KEYWORDS:** Seismic sinks, isolation, viscous fluid, earthquake.

## ÍNDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>14</b>
<b>2</b>	<b>MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>17</b>
2.1	ANTECEDENTES.....	17
2.2	BASES TEÓRICO CIENTÍFICAS.....	19
2.3	DISEÑO SISMORESISTENTE .....	22
2.4	SISTEMAS DE CONTROL DE RESPUESTA DINÁMICA.....	24
2.5	SISTEMAS CON DISIPADORES DE ENERGÍA.....	25
2.6	SISTEMAS CON AISLADORES SÍSMICOS.....	27
<b>3</b>	<b>METODOLOGÍA .....</b>	<b>28</b>
3.1	TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN.....	28
3.2	POBLACIÓN, MUESTRA, MUESTREO.....	28
3.3	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	28
3.4	PROCEDIMIENTOS .....	28
3.5	PLAN DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS .....	30
<b>4</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>31</b>
4.1	EVALUACIÓN DEL DISEÑO ESTRUCTURAL.....	31
4.1.1	<i>Descripción .....</i>	<i>31</i>
4.1.2	<i>Ubicación .....</i>	<i>31</i>
4.1.3	<i>Detalles de la edificación.....</i>	<i>32</i>
4.2	DISEÑO ESTRUCTURAL PROYECTADO.....	35
4.2.1	<i>Estudio de Mecánica de suelos y cimentación .....</i>	<i>35</i>
4.2.2	<i>Consideraciones para el modelamiento.....</i>	<i>37</i>
4.2.3	<i>Cargas consideradas en el análisis estructural .....</i>	<i>38</i>
4.3	ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LA EDIFICACIÓN .....	39
4.3.1	<i>Análisis estático equivalente de la edificación.....</i>	<i>39</i>
4.3.2	<i>Análisis Dinámico Espectral.....</i>	<i>44</i>
4.4	ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA CON DISIPADORES DE FLUIDO VISCOSO .....	47
4.4.1	<i>Análisis sísmico dinámico modal con <math>R=1</math> .....</i>	<i>48</i>
4.4.2	<i>Análisis tiempo – historia.....</i>	<i>49</i>
4.4.3	<i>Proceso de Implementación de los disipadores de Fluido Viscoso .....</i>	<i>51</i>
4.5	ANÁLISIS DE LA EDIFICACIÓN CON AISLADORES DE NÚCLEO DE PLOMO .....	68

4.5.1	<i>Consideraciones Generales</i> .....	68
4.5.2	<i>Análisis de fuerza lateral equivalente</i> .....	73
4.5.3	<i>Requerimientos para los Procedimientos de Análisis Dinámico</i> .....	84
4.5.4	<i>Desplazamientos y Fuerzas Laterales Mínimas en los Procedimientos de Análisis Dinámicos</i> .....	85
4.5.5	<i>Procedimiento de Análisis Espectro de Respuesta</i> .....	87
4.5.6	<i>Procedimiento de Análisis Historia de Respuesta</i> .....	89
4.6	COMPARACIÓN DE LOS PARÁMETROS OBTENIDOS DE CADA SISTEMA ESTRUCTURAL .....	95
4.6.1	<i>Influencia en los desplazamientos de los diafragmas de la estructura</i> ....	95
4.6.2	<i>Influencia en las derivas</i> .....	96
4.6.3	<i>Influencia en la cortante basal</i> .....	98
4.7	DISEÑO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES .....	99
4.7.1	<i>Diseño estructural de la interfaz de aislamiento:</i> .....	99
4.8	ANÁLISIS ECONÓMICO .....	100
4.8.1	<i>Evaluación directa</i> .....	100
4.8.2	<i>Evaluación indirecta</i> .....	102
<b>5</b>	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>106</b>
<b>6</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>108</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resumen de construcción, comportamiento histerético, modelos físicos, ventajas, y desventajas de los dispositivos de disipación pasiva de energía para la aplicación de protección sísmica (Adaptado de: Energy Dissipation System for Seismic Applications: Current Practice and Recent Development) .....	26
Tabla 2. Dimensiones y área techada por nivel .....	33
Tabla 3. Parámetros geotécnicos de las diferentes unidades geotécnicas.....	36
Tabla 4. Propiedades del concreto y el acero para el modelamiento .....	37
Tabla 5. Sobrecargas consideradas .....	38
Tabla 6. Cargas por metro lineal de los muros de albañilería.....	38
Tabla 7. Parámetros sísmicos para el análisis sísmico.....	40
Tabla 8. Porcentaje de participación de placas en el cortante basal de la estructura .....	41
Tabla 9. Verificación de irregularidad resistencia o piso débil .....	42
Tabla 10. Verificación de Irregularidad de Masa o Peso.....	43
Tabla 11. Verificación de Irregularidad Torsional para el Sismo X + Ecc. Accidental	43
Tabla 12. Verificación de Irregularidad Torsional para el Sismo Y + Ecc. Accidental	43
Tabla 13. Periodos y participación de masa para cada modo de la estructura.....	45
Tabla 14. Factores de amplificación de cortante Dinámica.....	46
Tabla 15. Derivas en la Dirección X.....	46
Tabla 16. Derivas en la dirección Y .....	47
Tabla 17. Derivas del análisis modal espectral con R=1, Dirección X .....	48
Tabla 18. Derivas del análisis modal espectral con R=1, Dirección Y .....	48
Tabla 19. Registros sísmicos utilizados .....	49
Tabla 20. Derivas en X obtenidas del análisis tiempo - historia.....	50
Tabla 21. Derivas en Y obtenidas del análisis tiempo - historia.....	50
Tabla 22. Estados de Desempeño (Adaptado del Comité VISION 2000) .....	51
Tabla 23. Nivel de desempeño de la edificación .....	52

Tabla 24. Clasificación según tipo de estructura (Multi-Hazard Loss Estimation Methodology HAZUS, 2010).....	53
Tabla 25. Descripción de daño y deriva característica para edificios tipo C2M. (HAZUS) .....	54
Tabla 26. Parámetros para el diseño de los disipadores viscosos no lineales en X .....	57
Tabla 27. Parámetros para determinar el coeficiente de amortiguamiento no lineal en X .....	58
Tabla 28. Parámetros para el diseño de los disipadores viscosos no lineales en Y .....	59
Tabla 29. Parámetros para determinar el coeficiente de amortiguamiento no lineal en Y .....	59
Tabla 30. Dimensiones del perfil HSS 7.5 x 0.5.....	60
Tabla 31. Desplazamientos obtenidos en X del análisis tiempo - historia.....	61
Tabla 32. Desplazamientos obtenidos en Y del análisis tiempo - historia.....	61
Tabla 33. Derivas en X obtenidas del análisis tiempo - historia.....	61
Tabla 34. Derivas obtenidas en Y obtenidas del análisis tiempo - historia .....	61
Tabla 35. Porcentaje de disipación de energía logrado por los disipadores en cada sismo .....	63
Tabla 36. Fuerza de los disipadores en la dirección X de la edificación .....	65
Tabla 37. Fuerza de los disipadores en la dirección Y de la edificación .....	66
Tabla 38. Número de dispositivos por fuerza de trabajo .....	66
Tabla 39. Desplazamiento permitido por el fabricante (Máx. Stroke) .....	67
Tabla 40. Resumen de propiedades obtenidas para cada tipo de aislador utilizado, del análisis preliminar .....	74
Tabla 41. Distribución de la fuerza vertical.....	79
Tabla 42. Resumen de desplazamientos y deformaciones por corte en los aisladores ..	82
Tabla 43. Resumen de la fuerza máxima y levantamiento en los aisladores .....	83
Tabla 44. Periodos de los modos de vibración .....	87

Tabla 45. Resumen de desplazamientos y deformaciones por corte en los aisladores, para el límite inferior.....	94
Tabla 46 Comparación de los máximos desplazamientos obtenidos en la dirección X	95
Tabla 47. Comparación de los máximos desplazamientos obtenidos en la dirección Y	95
Tabla 48. Comparación de las derivas obtenidas en la dirección X .....	97
Tabla 49. Comparación de las derivas obtenidas en la dirección Y .....	97
Tabla 50. Fuerza cortante basal para cada sistema estructural .....	98
Tabla 54. Costo Directo del Proyecto con estructura convencional .....	101
Tabla 55. Presupuesto total de cada sistema estructural .....	102
Tabla 56. Resultado de daños estructurales de acuerdo a las derivas .....	104
Tabla 57. Comparativo de costo global de Estructuras .....	104

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Clasificación de los sistemas modernos de protección sísmica .....	24
Ilustración 2. Partes de un sistema de aislación .....	27
Ilustración 3. Centro de capacitación y servicios odontológicos .....	31
Ilustración 4. Ubicación de la edificación de análisis .....	32
Ilustración 5. Plano planta del Nivel 1 .....	33
Ilustración 6. Plano planta del Nivel 2 - 3 .....	33
Ilustración 7. Plano planta del Nivel 4.....	34
Ilustración 8. Planta de la Azotea .....	34
Ilustración 9. Corte B - B.....	34
Ilustración 10. Corte A – A.....	35
Ilustración 11. Perfil del terreno .....	36
Ilustración 12. Espectro de aceleraciones sísmicas para el análisis dinámico .....	45
Ilustración 13. Espectro de diseño con $R=1$ .....	48
Ilustración 14. Espectros de respuesta de los registros sin escalar .....	49
Ilustración 15. Registros escalados al espectro objetivo.....	50
Ilustración 16. Curva de Capacidad Sectorizada (Adaptada de SEAOC) .....	52
Ilustración 17. Disposición de los disipadores en la dirección X de la edificación.....	56
Ilustración 18. Dimensiones para determinar el ángulo de inclinación del disipador en X .....	57
Ilustración 19. Disposición de los disipadores en la dirección Y de la edificación.....	58
Ilustración 20. Dimensiones para determinar el ángulo de inclinación del disipador en Y .....	59
Ilustración 21. Curva de histéresis de un disipador de fluido viscoso ubicado en el segundo nivel, colocado en la dirección X para el sismo de Moquegua 2001 .....	62
Ilustración 22. Curva de histéresis de un disipador de fluido viscoso ubicado en el segundo nivel, colocado en la dirección Y para el sismo de Lima 1966.....	62

Ilustración 23. Gráfico de energía del registro de Ica 2007 .....	64
Ilustración 24. Gráfico de energía del registro de Lima 1966 .....	64
Ilustración 25. Gráfico de energía del registro de Moquegua 2001 .....	64
Ilustración 26. Catálogo de Taylor - Disipadores .....	65
Ilustración 27. Asignación de parámetros para el aislador .....	80
Ilustración 28. Asignación de fuerzas laterales aplicadas a los diafragmas del análisis por la fuerza lateral equivalente, en el límite superior.....	81
Ilustración 29. Desplazamientos máximos y derivas máximas en centros de masa de diafragmas de piso (calculados y reales), del análisis por fuerzas laterales equivalentes.....	81
Ilustración 30. Espectros modificados para el procedimiento espectro de respuesta, tanto para el límite superior como el inferior. ....	88
Ilustración 31. Formulario de definición de caso de carga para el análisis modal de respuesta espectral.....	89
Ilustración 32. Espectros de respuesta de los registros sin escalar .....	90
Ilustración 33. Registros escalados al espectro objetivo.....	90
Ilustración 34. Definición del caso de carga para el análisis historia de respuesta FNA para uno de los movimientos del terreno.....	91
Ilustración 35. Desplazamientos máximos en centros de masa de diafragmas de piso, del análisis historia de respuesta en la dirección X e Y, para el modelo con aislamiento en la base .....	92
Ilustración 36. . Derivas máximas en centros de masa de diafragmas de piso, del análisis historia de respuesta en la dirección X e Y, .....	92
Ilustración 37. Comportamiento histerético típico de los aisladores para el análisis historia de respuesta en la dirección X, para el modelo con aislamiento en la base .....	93
Ilustración 38. Comportamiento histerético típico de los aisladores para el análisis historia de respuesta en la dirección Y, para el modelo con aislamiento en la base .....	93
Ilustración 39. Desplazamiento máximo del diafragma para cada sistema estructural .	96
Ilustración 40. Derivas máximas para cada sistema estructural .....	97

Ilustración 41. Fuerzas cortantes por Piso para cada sistema estructural .....	98
Ilustración 42. Elementos estructurales de la interfaz de aislamiento .....	99
Ilustración 43. Curva de Vulnerabilidad para estructuras de concreto armado .....	103
Ilustración 44. Comparación del costo total (directo e indirecto) para cada uno de los sistemas estructurales .....	105

# 1 INTRODUCCIÓN

El Perú se encuentra ubicado en una zona con alta actividad sísmica debido al fenómeno de subducción de la placa de Nazca y la placa Sudamericana, lo cual ha generado sismos importantes entre los siglos XX y XXI, con altos índices de daños a las edificaciones a sus contenidos. Así pues, las construcciones en zonas sísmicas se incrementan a diario en nuestro país y la seguridad estructural tiene un valor importante en el desarrollo nacional. Por ello, es necesario proteger a las estructuras para resistir estos eventos sísmicos.

Ante ello, los criterios de diseño sismoresistente han ido mejorándose con el fin de mitigar los efectos que puede causar un sismo. Dadas las condiciones de mejora de las nuevas tecnologías, la norma peruana de diseño sismoresistente implemento en su actualización que: Las nuevas edificaciones de categoría A1 tendrán aislamiento sísmico en la base cuando se encuentren en las zonas sísmicas 4 y 3. En las zonas sísmicas 1 y 2, la entidad responsable podrá decidir si usa o no aislamiento sísmico. [1]. Además, permite la utilización de sistemas de disipación de energía en la edificación. Ambos sistemas deben cumplir las disposiciones de mínima fuerza cortante en la base, distorsión de entrepiso máxima permisible y los requisitos de la norma “Minimum Desing Loads for Building and Other Structures”, ASCE/SEI 7/10, Structural Engineering Institute of the American Society of Civil Engineers, Reston, Virginia, USA, 2010.

Es necesario adoptar nuevas tecnologías que permitan el funcionamiento de las edificaciones luego de un evento sísmico, en especial de las edificaciones esenciales que deben permanecer operativas como los Hospitales, Clínicas, Puertos, Estaciones de Bomberos, centrales de comunicaciones entre otras; también las que puedan servir como refugio como las instituciones educativas, institutos superiores tecnológicos y universidades. Sin embargo, mediante el uso de sistemas de protección sísmica, si bien aumenta en un porcentaje el costo inicial de la infraestructura, a la larga al evitar ese tipo de situaciones evitan un gasto innecesario.

En el **aspecto económico**, la investigación será de mucha importancia debido a que las pérdidas económicas son muy altas luego de producirse un sismo por la paralización de la economía en la población afectada. Sin embargo, mediante el uso de los sistemas de protección sísmica como aisladores y disipadores se evita que las edificaciones colapsen y se mantengan operativas luego de un evento sísmico. Con ello, se evitan gastos en reparaciones de las infraestructuras disminuyendo a largo plazo las pérdidas económicas ocasionadas por los sismos.

En el **aspecto técnico**, es necesario adoptar nuevas tecnologías para mitigar el efecto de los eventos sísmicos, analizando su desempeño y su eficiencia económica. Esto debido a los eventos sísmicos que se producen en el Perú y los efectos que producen como la destrucción masiva de edificaciones, pérdidas humanas y económicas.

En el **aspecto social**, la investigación es de vital importancia pues el empleo de disipadores sísmicos en edificaciones esenciales (Hospitales, centrales de comunicaciones, puertos, aeropuertos, estaciones de bomberos, institutos superiores tecnológicos, instituciones educativas, universidades, etc.) permitirá que la función de estos establecimientos no se interrumpa luego de ocurrido un sismo severo. De esta manera, los servicios brindados por estos establecimientos se mantendrán operativos para la sociedad luego de ocurrido un sismo para beneficio de la comunidad cercana.

En el **aspecto ambiental**, al mejorar las condiciones de desempeño sísmico de la edificación se logrará que la estructura no colapse o en su mejor caso no tenga daños estructurales. Ante ello, la producción de materiales de desecho como escombros después de un evento sísmico se disminuiría si se empieza a utilizar los sistemas de protección sísmica en las edificaciones nuevas o las que estén por ser reforzadas. De esta manera podemos mitigar el impacto ambiental que generan los terremotos.

En el **aspecto científico**, en Perú y precisamente a nivel local los estudios de desempeño sísmico y sobre todo estadísticas económicas acerca de la incidencia en el presupuesto de sistemas de protección sísmica de una edificación es escasa. Por ello, se considera importante realizar este estudio para ampliar los conocimientos científicos sobre el tema, además profundizar en el tema económico los posibles beneficios de la utilización de estos sistemas de protección sísmica para edificaciones nuevas.

Existen varios tipos de disipadores, de acuerdo a las investigaciones uno de los más eficientes son los de fluido viscoso que se adosa a los pórticos estructurales del recinto. Así, durante un terremoto ésta disipa energía sísmica a través del paso del fluido viscoso en su interior, produciendo una resistencia al movimiento del edificio y equilibrando la energía. En el caso de los aisladores sísmicos se colocan generalmente en la base de la estructura y permiten desacoplar el movimiento del suelo, logrando de esta manera que las estructuras y sus contenidos no sufran daño.

En consecuencia, el desarrollo de esta tesis busca analizar una edificación con un sistema con aisladores de núcleo de plomo y un sistema con disipadores de fluido viscoso a fin de obtener como respuesta los beneficios que cada sistema de protección sísmica nos brinda en una edificación de 4 niveles ubicada en la ciudad de Chiclayo.

Para ello, se desarrollarán los siguientes objetivos que en esta tesis:

Realizar el análisis sísmico al sistema estructural con aisladores de núcleo de plomo y al sistema estructural con disipadores de fluido viscoso para una edificación de 4 niveles.

Comparar los resultados del análisis sísmico del sistema estructural con aisladores de núcleo de plomo y el sistema estructural con disipadores de fluido viscoso con el sistema convencional de la edificación.

Diseñar los elementos estructurales de los sistemas con aisladores de núcleo de plomo y disipadores de fluido viscoso.

Elaborar y comparar los costos de los sistemas con aisladores de núcleo de plomo y disipadores de fluido viscoso con el sistema convencional de la edificación.

## 2 MARCO TEÓRICO

### 2.1 Antecedentes

Entre los diversos estudios y bibliografía relacionada con el tema “Diseño y análisis sísmico comparativo entre un sistema con aisladores de núcleo de plomo y un sistema con disipadores de fluido viscoso en una edificación de 4 niveles, Chiclayo, 2017”, tenemos:

**Boza Farfán, Zuen y Danny Galán Tirapo. 2013. Diseño de un edificio aporticado con discipadores en arreglo Chevron. Tesis de Licenciatura, Ingeniería Civil, Lima.**

Esta investigación se basa sobre un proyecto de siete niveles en el cual se requiere incorporar disipadores de energía para reducir una deriva cercana al 1% por cada entrepiso, todo esto bajo la Norma Peruana de Diseño Sismoresistente.

Para ello, se propuso, dentro de las diferentes opciones, un arreglo Chevron para amortiguadores lineales y no lineales. Se tuvo resultando que la mejor alternativa utilizar eran 56 disipadores no lineales, ubicados en todos los pisos, lográndose un amortiguamiento igual al 24% y aminorando a 0,56% la deriva.

Con este estudio se demuestra que el sistema puede lograr disminuir la deriva en un 40% manteniendo el daño por debajo del umbral moderado ante los sismos raros. Cabe recalcar que las fuerzas desarrolladas en los disipadores fueron de 50 ton.

**Cano Lagos, Himler y Ener Zumaeta Escobedo. 2012. Diseño estructural de una edificación con disipadores de energía y análisis comparativo sísmico entre el edificio convencional y el edificio con disipadores de energía para un sismo severo. Tesis de Bachillerato, Ingeniería Civil, Lima.**

En este trabajo se exponen las propiedades de los sistemas de protección sísmica por amortiguamiento, enfocándose a los de fluido-viscoso y viscoelásticos. Posteriormente se describe, en base a las disposiciones del el ACI (American Concrete Institute), el FEMA (Federal Emergency Management Agency) y el ASCE (American Society of Civil Engineers), sobre una metodología de diseño para estructuras con sistemas de amortiguamiento.

Seguido a esto se identifica una edificación de tres niveles aporticada con 232m<sup>2</sup> de área techada por planta, la deriva de está (9%) sobrepasaba el margen permitido por la norma NTE E-030 (7 ‰), lográndose reducir esto mediante la incorporación de un sistema de amortiguamiento de fluido-viscoso y Viscoelásticos.

**Mendo Rodriguez, Arnold Ramsey, 2015. «Bases para la implementación de la norma peruana de análisis y diseño de edificios con aislación sísmica.» Tesis de Maestría, Ingeniería Civil, Lima.**

Esta investigación se plantean requerimientos para el análisis y diseño de sistemas de aislación sísmica basándose en las normas americanas ASCE/SEI 7-10 (2010), NEHRP Recommended Seismic Provisions FEMA P-750 (2009) y, la norma chilena NCh2745-2003 y su actualización del 2013.

Debido al aumento de construcciones con sistemas de aislamiento sísmico en Perú se el requerimiento de la actualización del proyecto de norma E.030 del 2015 donde se describe el empleo obligatorio de los sistemas de aislación sísmica en aquellas edificaciones nuevas de categoría A1, se ve en la necesidad de crear estas bases para el análisis de los edificios aislados.

**Leyton Bradley, Michael. «Implementación de aisladores sísmicos en un edificio de viviendas en Lima, Perú.» Tesis de Licenciatura, Ingeniería Civil, Lima, 2017.**

Este trabajo se organiza a partir de describir la tecnología de aislamiento sísmico desde la filosofía del diseño y los principios fundamentales hasta los mecanismos de defensa y propiedades dinámicas de cada uno de los dispositivos. Adicional a la base teórica se suma una diferenciación entre la propuesta construida y un diseño con igual con aisladores en una construcción de varios niveles. Se eligió un edificio multifamiliar ubicado en el distrito de San Isidro, Lima que posee: dos sótanos y siete plantas de viviendas, comprendiendo la azotea. El principio general que se utilizó fue el ahorro de materiales de construcción para poder compensar el costo de los aisladores.

## 2.2 Bases teórico científicas

Las bases teórico – científicas utilizadas para este proyecto son las siguientes:

### **Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures (ASCE/SEI 7-10).**

Elaborado por la Comisión de Cargas de Diseño Mínimas para Edificios y Otras Estructuras de los Códigos y Normas Actividades división del Instituto de Ingeniería Estructural de la ASCE.

En el capítulo 18 de esta norma se describe los requerimientos mínimos de diseño de estructuras con sistemas de amortiguación. Cada estructura con un sistema de amortiguación y cada parte de éstos, deberá estar construido y diseñado según con los requisitos de esta norma. Cuando los productos de amortiguación son utilizados a través de la interfaz de aislamiento de una estructura sísmicamente aislada, los desplazamientos, velocidades y aceleraciones se determinarán de acuerdo con Capítulo 17 de la norma.

### **Federal Emergency Management Agency. 1997. NEHRP guidelines for the seismic rehabilitation of buildings.**

Este documento describe dos métodos para el análisis y diseño de estructuras con aisladores de base:

#### Método Estático

Este procedimiento comprende la idealización del modelo matemático con rigidez efectiva y un sistema de un solo grado de libertad. Este procedimiento, es recomendable para un diseño preliminar, no para establecer un diseño final de la estructura aislada.

#### Método dinámico

Para realizar este análisis se requiere de un espectro de respuesta o un análisis dinámico tiempo – historia. En aquellas estructuras que tengan estructuración regular y de pocos niveles se podrá realizar solamente un análisis espectro de respuesta. El análisis tiempos – historia se recomienda para todos los casos sin excepción siendo necesario contar con 3 pares de registros sísmicos de aceleraciones para llevar a cabo dicho análisis.

**Norma E.020: Cargas (Reglamento Nacional de Edificaciones, 2006).**

Las estructuras deben ser capaces de soportar las cargas a las que serán sometidas durante su vida útil. Estas cargas serán se analizan de acuerdo a una serie de combinaciones descritas, para asegurar que no se exceda los esfuerzos ni deformaciones señalados para cada elemento estructural en su respectiva norma de diseño.

Esta norma es un complemento de la norma sismorresistente E030 y de las demás normas de diseño de los materiales estructurales, pues establece las cargas mínimas que debe soportar una estructura. Para el diseño no se permitirá emplear valores de carga menores a los que establece esta norma.

**Norma E.030: Diseño Sismorresistente (Reglamento Nacional de Edificaciones, 2016).**

Esta norma comprende el procedimiento de análisis para el diseño de una estructura sismorresistente, asegurando un óptimo comportamiento sísmico (minimizando los daños de la propiedad, asegurando la continuidad de los servicios básicos y, sobre todo, lo más importante, evitando la pérdida de vidas humanas).

Esta norma se aplica al diseño de edificios nuevo, reforzamiento de estructuras existentes y a la rehabilitación de estructuras que hayan sido afectadas por algún evento sísmico.

Adicionalmente a lo señalado en esta norma, se debe tener en cuenta medidas de mitigación contra aquellos fenómenos naturales que puedan ser causados como consecuencia de un evento sísmico como el deslizamiento de tierras, tsunamis, la fuga de materiales peligrosos y posibles incendios.

**Norma E.050: Suelos Y Cimentaciones (Reglamento Nacional de Edificaciones 2006).**

Esta norma tiene objetivo describir los requerimientos necesarios para elaboración de un estudio de mecánica de suelos (EMS), para los fines que sea. Estos estudios se realizan con la finalidad de asegurar la permanencia y estabilidad de las obras. Esta norma comprende todo el territorio nacional como ámbito de aplicación.

**Norma E.060 Concreto Armado (Reglamento Nacional de Edificaciones, 2009).**

Esta norma establece las exigencias mínimas para el análisis, diseño, materiales, construcción, control de calidad y supervisión de estructuras de concreto simple, armado, y pre-esforzado.

Además, describe aquellos requisitos para la elaboración planos y especificaciones técnicas de un proyecto estructural. Esta norma comprende el diseño de todos los elementos estructurales de concreto armado comprendidos en una estructura.

**Villareal Castro, Genner, y Ricardo Oviedo Sarmiento . 2009. Edificaciones con Disipadores de Energía . Lima.**

Esta investigación de proporciona una metodología para el uso, diseño y aplicación de los sistemas de disipación sísmica en edificios construidos en zonas sísmicas.

La investigación comprende el análisis de 4 tipos de sistemas de disipación sísmica, describiendo para cada uno de ellos la metodología a seguir para su correcto cálculo. Además, se detallan los beneficios y desventajas de utilizar cada uno de estos dispositivos en las edificaciones nuevas.

### 2.3 Diseño Sismoresistente

El principio fundamental de la ingeniería sismorresistente consiste en mitigar el efecto de un evento sísmico de las estructuras garantizando la seguridad de los habitantes dentro de ella. Sin embargo, se reconoce que conceder una protección completa a una estructura frente a los eventos sísmicos no es económicamente ni técnicamente viable. Por ello, se ha propuesto algunos principios básicos a tener en cuenta: “la estructura no debe colapsar ni causar daños graves a las personas ante sismos severos” [1]; deberá soportar movimientos sísmicos moderados con “daños dentro de límites aceptables” [1].

Para cumplir con los requisitos antes mencionados, el diseño sismoresistente de la edificación debe tener la capacidad para absorber y disipar la energía producida en un movimiento de sismo. La disipación de la energía se genera en la zona de rótulas plásticas dúctiles, ubicado en los encuentros viga – columna, donde se concentra el daño del pórtico, el cual frecuentemente es irreparable. Si el diseño sismoresistente convencional de la estructura es el adecuado, la seguridad de las personas en el interior está asegurado.

Ciertas estructuras importantes como los colegios, hospitales y demás, deben seguir operativas, pues estas podrán servir como refugio luego de ocurrido un evento sísmico. Sin embargo, las características del diseño estructural convencional no son los más adecuados. Para estos casos resulta bastante costoso otorgar la resistencia adecuada a la estructura para prevenir la acción inelástica. En algunas estructuras será necesario tomar en cuenta precauciones especiales para mitigar la falla del sistema estructural, siendo necesario para la operatividad continua de la edificación. [2]

Para mantener una edificación esencial operativa ante un evento sísmico severo, se desarrolló metodologías de diseño alternativo con la adicción de sistemas de protección sísmica para el sistema estructural. Dentro de la variedad de los sistemas de protección sísmica se rescata el aislamiento de base y los sistemas de disipación de energía, siendo estos los más utilizados actualmente. Estas tecnologías permiten que la estructura tenga un mejor comportamiento, mitigando los efectos producidos por el sismo. La mejora del comportamiento de la edificación se debe a la adición de rigidez o amortiguamiento (dependiendo de los dispositivos) que estos dispositivos añaden a la estructura permitiendo disipar la energía que se produce durante el sismo, reduciendo de esta manera los daños. Por ello, para comprender el impacto de la incorporación de estos sistemas de protección sísmica se debe conocer y entender la como se distribuye la energía de una estructura sometida a un evento sísmico.

Cuando ocurre un evento sísmico se libera grandes cantidades de energía que son transmitidas a las estructuras. La energía ingresada por el sismo es transformada en energía cinética y potencial (deformación), las cuales son disipadas a través de la liberación del calor. Las vibraciones producidas durante el sismo podrían existir todo el tiempo, pero estas son controladas por el amortiguamiento. Además, siempre existe siempre hay cierto grado de amortiguamiento inherente que disipa parte de la energía de entrada reduciendo la amplitud de las vibraciones hasta que el movimiento se detenga. También, se puede añadir algún dispositivo a la estructura permitiendo mejorar el desempeño estructural mediante la absorción de la energía de entrada. La conservación de la energía demuestra claramente el concepto:

$$E = E_k + E_s + E_h + E_d$$

Donde:

- $E$ : energía de entrada del movimiento sísmico.
- $E_k$ : energía cinética.
- $E_s$ : energía de deformación elástica recuperable.
- $E_h$ : energía irrecuperable, disipada por el sistema estructural a través de la inelasticidad u otras formas de acción.
- $E_d$ : energía disipada por los dispositivos de amortiguamientos suplementarios.

La energía de entrada  $E$ , representa el trabajo hecho por la cortante basal en la base de la edificación debido al desplazamiento del terreno y contiene el efecto de las fuerzas de inercia de la estructura.

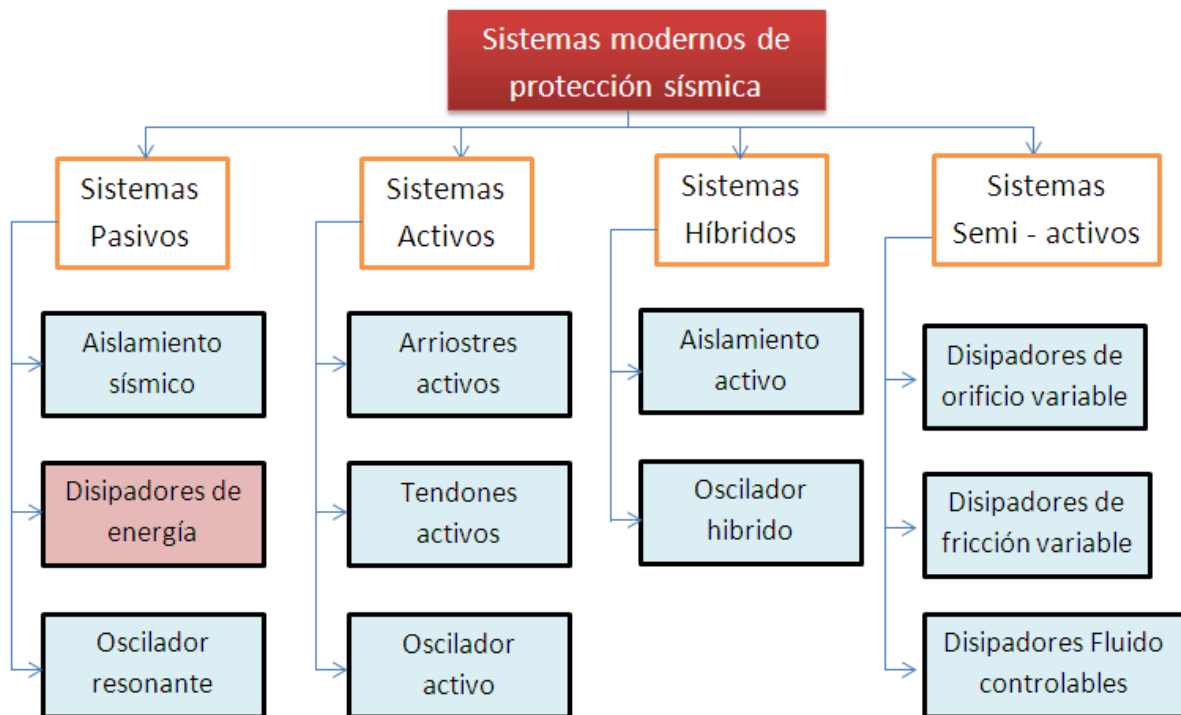
Los sistemas de protección sísmica permiten proteger a la estructura regulando el ingreso de la energía en el caso de los sistemas de aislamiento o; en caso de los disipadores, añadiendo amortiguamiento a la estructura. De esta manera, la energía del sismo se ve reducida evitando que la estructura incurra en un régimen no lineal. Los amortiguadores sísmicos tienen como propósito aumentar la energía de amortiguamiento evitando que la estructura disipe la energía mediante la formación de rotulas plásticas en la unión de los elementos estructurales (energía de deformación inelástica). En general, estos dispositivos tienen como fin disminuir los desplazamientos de la estructura evitando de esta manera daños considerables.

## 2.4 Sistemas de control de respuesta dinámica

Los diferentes sistemas de protección sísmica empleados actualmente en las estructuras tienen como objetivo el controlar los desplazamientos siguiendo una o varias de las alternativas siguientes:

- Disminuir la energía de entrada del sismo con la incorporación de dispositivos que permitan absorber o disipar cierta cantidad de energía.
- Neutralizar la acción sísmica mediante mecanismos para reducir la excitación.
- Mediante dispositivos que cambien la respuesta dinámica y propiedades de la estructura, intentando disminuir la energía de entrada del evento sísmico y evitando el comportamiento resonante.

Los sistemas de control estructural pueden clasificarse en 4 grandes grupos: los sistemas pasivos, semi-activos, híbridos y activos, cada uno de los cuales posee diferentes tipos de dispositivos que producen el correspondiente control requerido.



**Ilustración 1. Clasificación de los sistemas modernos de protección sísmica**

## 2.5 Sistemas con disipadores de energía

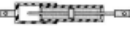






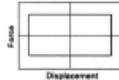

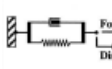
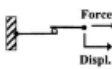
Estos dispositivos permiten que los elementos estructurales importantes de la edificación no sean sobre exigidos, absorbiendo grandes cantidades de energía del sismo y reduciendo de esta manera los posibles daños en la estructura. Estos dispositivos evitan que la estructura reciba el impacto completo del sismo captando la fuerza telúrica mediante el comportamiento plástico de metales dúctiles, la fricción entre superficies en contacto bajo presión, las deformaciones de corte de polímeros, la pérdida de energía en fluidos viscosos circulando a través de orificios, etc. y generando de esta manera una disminución de las deformaciones de la estructura.

### Clasificación

De acuerdo a su comportamiento, el ASCE 7-10 en su capítulo 18, los clasifica en tres categorías: dependientes de la velocidad, dependientes del desplazamiento, y dependientes del de la velocidad y desplazamiento.

- **Dependientes del Desplazamiento:** Disipadores de fluencia metálica y Disipadores por fricción.
- **Dependientes de la Velocidad:** Disipadores fluido-viscosos.
- **Dependientes del Desplazamiento y de la Velocidad:** Disipadores fluido visco-elásticos y Disipadores sólido visco-elásticos.

**Tabla 1. Resumen de construcción, comportamiento histerético, modelos físicos, ventajas, y desventajas de los dispositivos de disipación pasiva de energía para la aplicación de protección sísmica (Adaptado de: Energy Dissipation System for Seismic Applications: Current Practice and Recent Development)**

Tipo de amortiguadores	Amortiguador de Fluido Viscoso	Amortiguador Viscoelástico	Amortiguador Metálico	Amortiguador de Fricción
Construcción Básica				
Comportamiento Histerético Idealizado				
Modelo Físico Idealizado			No cuenta con un modelo idealizado	
Ventajas	Activado a bajos desplazamientos	Activado a bajos desplazamientos	Comportamiento histerético estable.	Gran energía disipada por ciclo
	Mínima fuerza de restauración	Provee fuerzas restitutivas	Confiabilidad en Tiempo prolongado.	Insensibilidad a la temperatura ambiental
	Para amortiguadores lineales, el modelo es simple	Comportamiento lineal, por lo que su modelo es simple	Insensibilidad a la Temperatura ambiental.	
	Las propiedades son independientes de la frecuencia y		Materiales y Comportamiento familiar a la práctica	
	Desempeño probado en aplicaciones militares			
Desventajas	Posibles fugas del líquido sellado	Capacidad de deformación limitada	Dispositivo dañado después de un terremoto, posiblemente se requiera reemplazar.	Las condiciones de la interfaz de deslizamiento
		Las propiedades dependen de la frecuencia y temperatura		Comportamiento no lineal muy grande; puede excitar modos más altos y requiere un análisis no lineal.
		Posible desunión y desprendimiento del material viscoelástico		Desplazamientos permanentes si no se provee de un mecanismo de restauración de fuerza

## 2.6 Sistemas con aisladores sísmicos

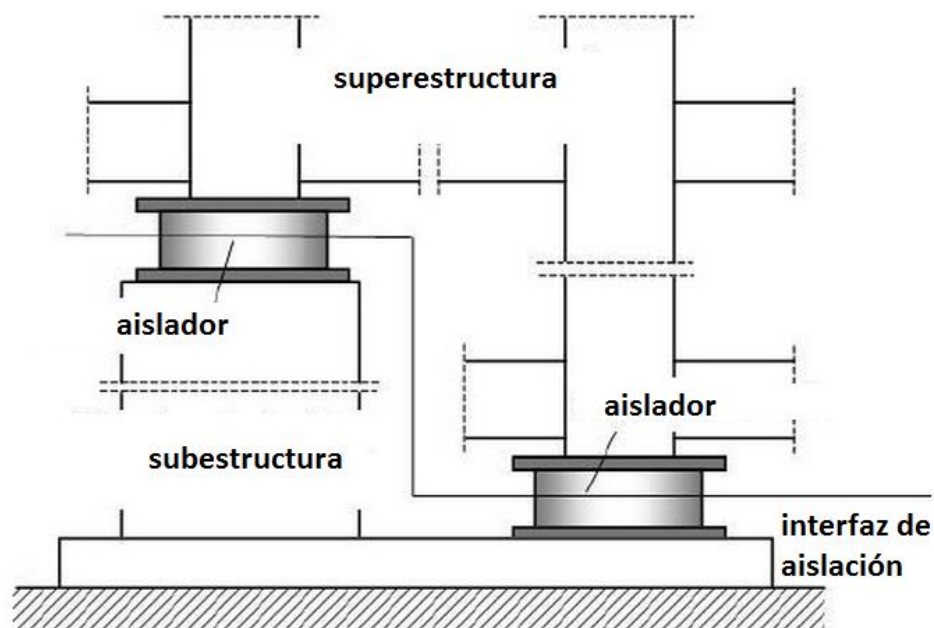
Los sistemas con aisladores sísmicos permiten que la estructura se desacople horizontalmente del suelo. Los dispositivos utilizados en la interfaz de aislamiento varían respecto a las preferencias o necesidades del diseñador.

Los aisladores sísmicos son elementos estructurales sumamente rígidos en la dirección vertical y muy flexibles en la dirección horizontal que permiten altas deformaciones en el plano horizontal durante el evento sísmico.

Los aisladores, sus conexiones y los elementos estructurales que transmiten fuerza entre la subestructura y la superestructura conforman el conjunto de elementos estructurales del sistema de aislamiento.

Además del sistema de aislamiento se debe conocer el concepto de subestructura y superestructura. La subestructura son todos aquellos elementos estructurales que encuentran ubicados debajo del sistema del aislamiento y la superestructura son todos los elementos estructurales que se encuentran por encima de ella. La Ilustración 2 muestra las partes de la interfaz de aislamiento.

Dentro de los aisladores más utilizados se encuentran los aisladores elastoméricos de caucho de bajo amortiguamiento (LRD), los aisladores con núcleo de plomo (LRB), los aisladores de alto amortiguamiento (HDR), el sistema de péndulo de fricción invertido y de doble curvatura.



**Ilustración 2. Partes de un sistema de aislación**

### **3 METODOLOGÍA**

#### **3.1 Tipo y nivel de investigación**

Se desarrollará los siguientes tipos de investigación:

De acuerdo al diseño de investigación es Descriptiva. Porque, consiste fundamentalmente en caracterizar una situación concreta, debido a que requiere de una descripción y comprensión profunda de las condiciones actuales del objeto de estudio.

De acuerdo al fin que se persigue es aplicada. Porque, busca la aplicación o utilización de los conocimientos adquiridos en la práctica de la Ingeniería Civil Ambiental, para obtener los objetivos planteados y se sustenta en los resultados de investigaciones.

#### **3.2 Población, muestra, muestreo**

Población: La población para este estudio es el proyecto del Centro de capacitación y servicios odontológicos – USAT.

Muestra: La muestra en estudio está constituida por el proyecto del Centro de capacitación y servicios odontológicos – USAT. Esta será diseñada y analizada por los Sistemas Estructurales de aislamiento sísmico y disipación sísmica.

#### **3.3 Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

Esta investigación tiene sus objetivos y alcances definidos, la metodología a utilizar debe ser clara para poder entregar resultados óptimos debidamente sustentados y analizados con las conclusiones del caso.

##### **Técnicas**

Análisis de contenido: Sistematizando e interpretando la información obtenida de las diferentes fuentes bibliográficas y normativas del objeto de estudio.

Evaluación: Analizando los resultados obtenidos para cada sistema estructural en base al desempeño sísmico y costos.

#### **3.4 Procedimientos**

Para desarrollar la presente investigación se ha seleccionado una edificación esencial de 4 niveles en la ciudad de Chiclayo. Esta edificación será analizada considerando un sistema estructural con disipadores de fluido viscoso y otro con un sistema estructural con aisladores de núcleo de plomo para ser comparada con el sistema convencional con el que fue construido.

De esta manera, se analizará las ventajas que proporciona cada uno de estos sistemas de protección sísmica. Será necesario conocer el estudio de mecánica de suelos del terreno donde se localiza la edificación de estudio, para determinar datos requeridos en el diseño sísmico de las edificaciones.

Luego se procede a modelar la estructura mediante software, en este modelamiento se realizará el análisis sísmico de cada sistema estructural, utilizando las normas correspondientes al diseño de cada sistema estructural. Primero se realizará el análisis de la estructura convencional, luego, se realizará el análisis del sistema con disipadores de fluido viscoso, obteniendo las propiedades del disipador; posteriormente, se realizará el análisis de la estructura con aisladores de núcleo de plomo para obtener las propiedades del aislador.

Una vez analizados sísmicamente las edificaciones, se continuará con el diseño de los elementos estructurales de los sistemas estructurales.

Después de diseñar los elementos se procederá a realizar el análisis de los costos y presupuestos de los tres sistemas estructurales, además, se realizará un análisis con curvas de fragilidad para estimar las pérdidas económicas ante un sismo severo de los tres sistemas estructurales, a fin de comparar el beneficio a largo plazo que pueden brindar estos sistemas de protección sísmica.

Una vez realizados todos estos procedimientos se analizará los diferentes aspectos investigados para llegar a las conclusiones de la investigación.

### **3.5 Plan de procesamiento y análisis de datos**

#### **FASE I: Recopilación de información previa y análisis de los sistemas estructurales del proyecto**

- Recopilación de información bibliográfica.
- Revisión de la normativa nacional e internacional
- Definir las propiedades de los aisladores de núcleo de plomo.
- Definir las propiedades de los disipadores de fluido viscoso.
- Modelamiento del sistema con aisladores de núcleo de plomo.
- Modelamiento del sistema con disipadores de fluido viscoso.
- Efectuar los análisis sísmicos y verificaciones.
- Discusión y resultados del análisis sísmico
- Análisis comparativo de desempeño sísmico entre el sistema estructural con aisladores y el sistema estructural con disipadores.

#### **FASE II: Diseño de los sistemas estructurales del proyecto**

- Diseño de aisladores de núcleo de plomo.
- Diseño de disipadores de fluido viscoso.
- Diseño de los elementos estructurales.
- Revisión parcial por parte del asesor.

#### **FASE III: Análisis de resultados y presentación final**

- Elaboración de planos de los sistemas estructurales.
- Metrados
- Análisis de costos unitarios
- Presupuesto
- Análisis comparativo de costos entre el sistema con aisladores, disipadores y el sistema convencional.
- Conclusiones y Recomendaciones.
- Elaboración final del proyecto
- Levantamiento de observaciones
- Impresión del proyecto definitivo

## 4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Evaluación del diseño estructural

#### 4.1.1 Descripción

El edificio que se va a evaluar corresponde al proyecto del Centro de capacitación y servicios odontológicos – USAT, el cual está emplazado en las instalaciones de la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo. La parcela está situada en el ala nor-este del campus universitario, en el campo de fútbol. En dicha parcela se pretende construir una clínica odontológica que constará de 4 niveles y un sótano, a la cual se accederá desde la Av. Río Ayaviri.



**Ilustración 3. Centro de capacitación y servicios odontológicos**

#### 4.1.2 Ubicación

El edificio de análisis se encuentra ubicado en la costa de nuestro país, específicamente en la región Lambayeque, Distrito de Chiclayo, en la Provincia de Chiclayo. Este proyecto de edificación, de acuerdo a la norma E.030 de diseño sismoresistente, tiene una categoría esencial debido a que es un establecimiento del sector salud donde se prestarán servicios y capacitación odontológica.



**Ilustración 4. Ubicación de la edificación de análisis**

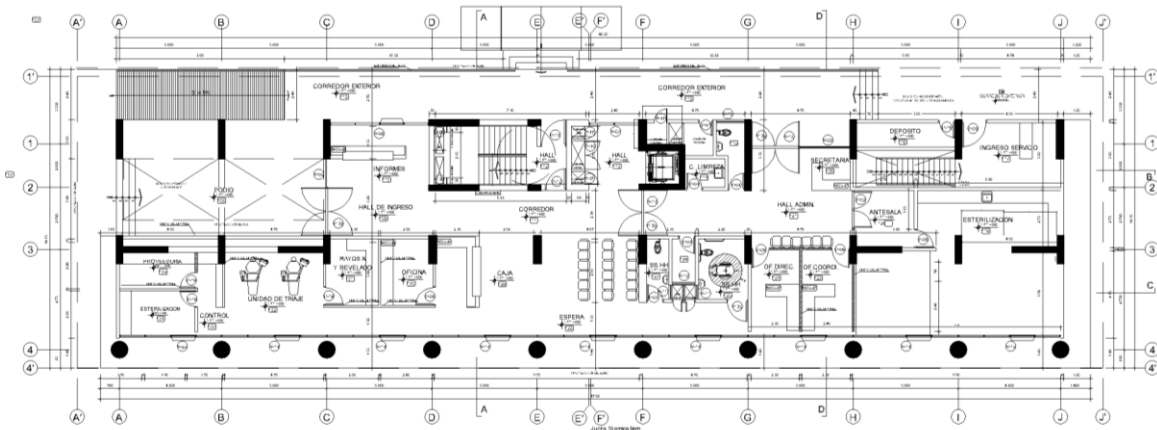
#### **4.1.3 Detalles de la edificación**

El edificio cuenta con 1 sótano y 4 niveles en total. Tiene una junta sísmica que divide la edificación en dos bloques, las distribuciones en planta son similares en todos los niveles, las dimensiones en planta se presentan en la Tabla 2.

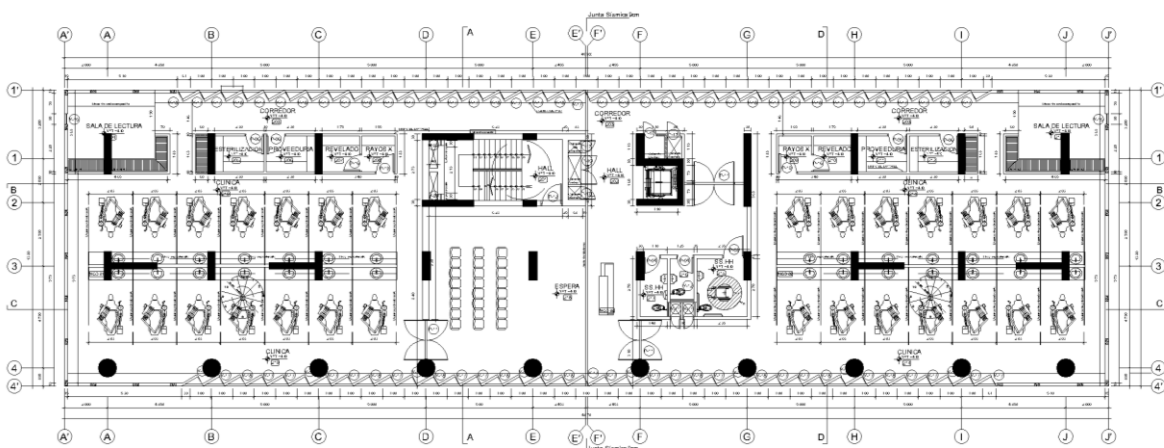
**Tabla 2. Dimensiones y área techada por nivel**

	Largo (m)	Ancho (m)	Area (m <sup>2</sup> )
<b>Nivel 1</b>	48.6	14.15	687.69
<b>Nivel 2</b>	48.6	14.15	687.69
<b>Nivel 3</b>	48.6	14.15	687.69
<b>Nivel 4</b>	48.6	14.15	687.69

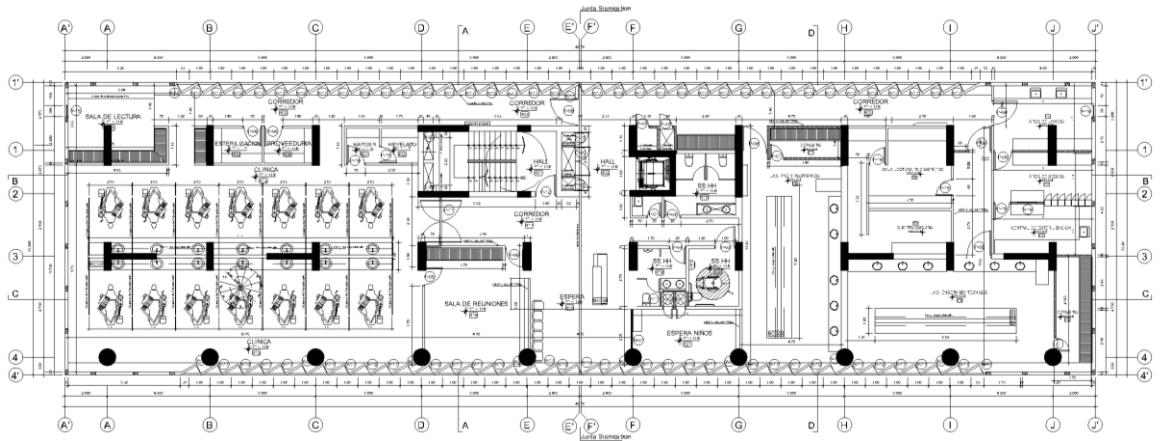
En las siguientes ilustraciones se presentan los planos de planta de los cuatro niveles de la edificación:



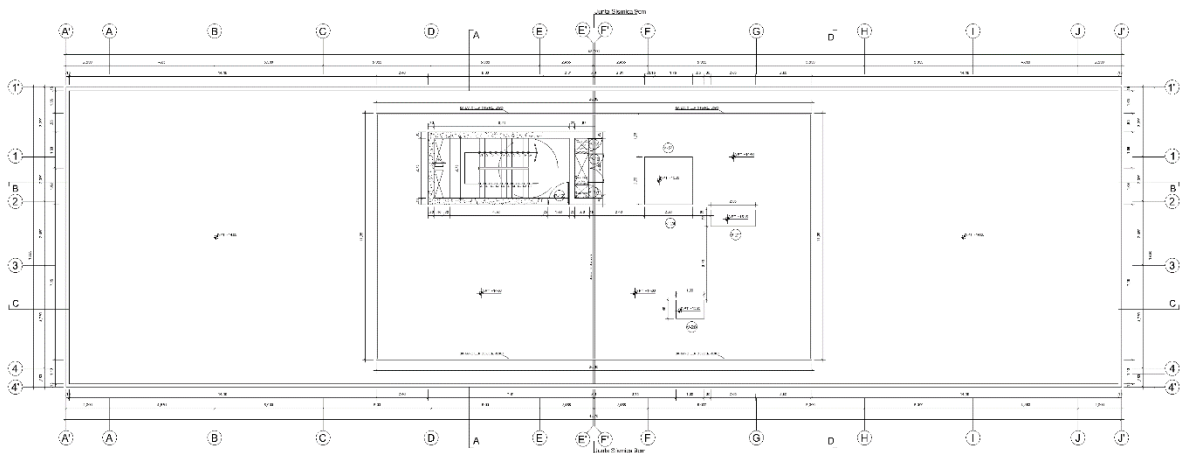
**Ilustración 5. Plano planta del Nivel 1**



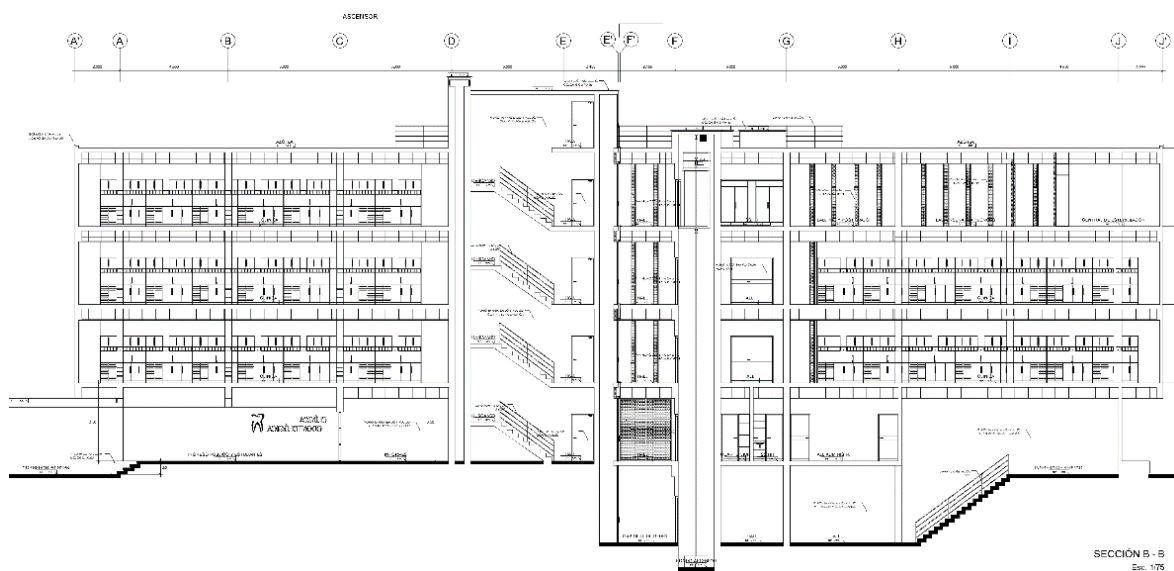
**Ilustración 6. Plano planta del Nivel 2 - 3**



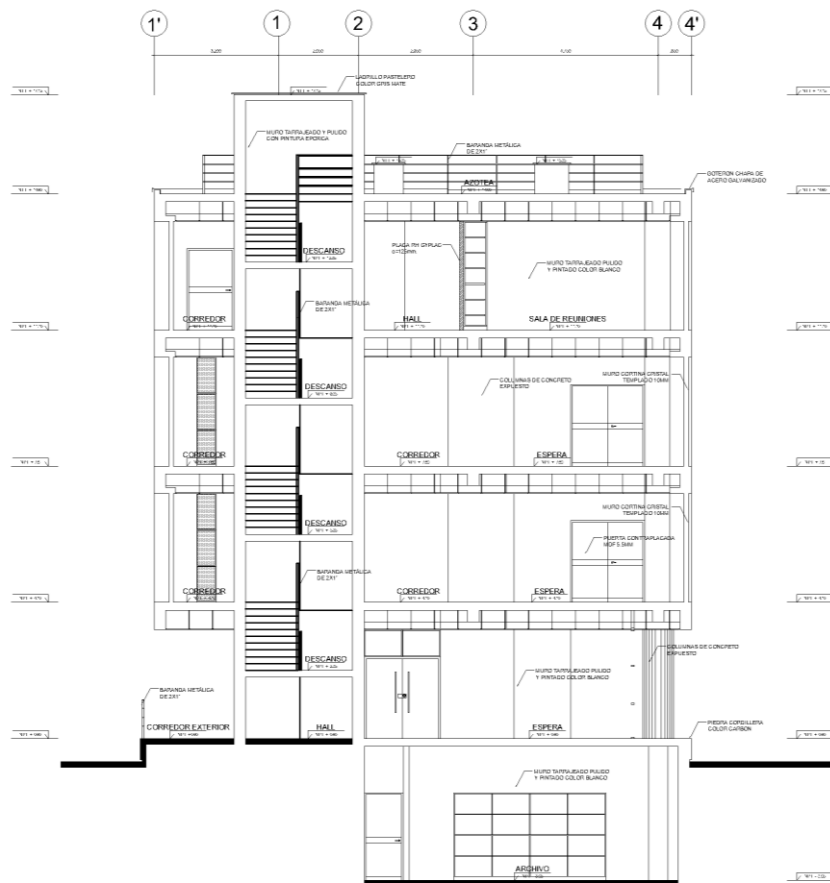
**Ilustración 7. Plano planta del Nivel 4**



**Ilustración 8. Planta de la Azotea**



**Ilustración 9. Corte B - B**



SECCIÓN A - A  
Esc. 1/75

## Ilustración 10. Corte A – A

### 4.2 Diseño estructural Proyectoado

#### 4.2.1 Estudio de Mecánica de suelos y cimentación

El estudio de suelos se realizó con el objetivo de reconocer el terreno de la parcela situada en la Avenida San Josemaría Escrivá de Balaguer 855, Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, situada en la ciudad de Chiclayo, departamento de Lambayeque (Perú).

La edificación es una clínica odontológica que consta de 4 niveles y un sótano, según el diseño. E área del terreno es de 13,8 m. x 48,7 m. El sótano no se extiende a lo largo de toda la planta y tiene una superficie de 251 m<sup>2</sup>.

Se han llevado a cabo tres ensayos SPT a distintas profundidades con la finalidad de reconocer el terreno. Además, se han realizado ensayos de laboratorio sobre las muestras alteradas extraídas.

Los suelos de la zona objeto de estudio, por tratarse de suelos arcillosos blandos, se corresponde con el tipo S2 Suelos intermedios o medianamente rígidos, al cual le corresponden los parámetros sísmicos de  $T_p=0.6$ ,  $T_l = 2.0$  y factor de suelo  $S=1,05$ . Por situarse en la zona 4 le corresponde un valor de  $Z = 0,45$ .

A partir de los reconocimientos de campo y laboratorio, se han determinado las siguientes unidades geotécnicas:

**Tabla 3. Parámetros geotécnicos de las diferentes unidades geotécnicas.**

Unidad Geotécnica	$C_u$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$C'$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\phi'$ (°)	$E$ (kg/cm <sup>2</sup> )
0. Rellenos de material agrícola	-	-	-	-
1. Arcillas de baja plasticidad	0,56	-	-	90
2. Arenas arcillosas de compacidad densa	-	0	32	350
3. Arenas arcillosas de compacidad muy densa	-	0	34	500

Se ha obtenido el perfil del terreno de la siguiente imagen.



**Ilustración 11. Perfil del terreno**

Dada la presencia de nivel freático próximo a la superficie, se recomienda el uso de una platea de cimentación.

Se han obtenido los siguientes valores de tensión admisible neta de diseño:

- La cimentación apoyada en el estrato arcilloso:  $\sigma_{adm,net} = 0,85 \text{ kg/cm}^2$
- La cimentación apoyada en el estrato arenoso:  $\sigma_{adm,net} = 1,00 \text{ kg/cm}^2$
- Para la cimentación que quede apoyada sobre el estrato arcilloso considerará un coeficiente de balasto de  $10200 \text{ kN/m}^3$ .
- Para la cimentación que quede apoyada sobre el estrato arenoso considerará un coeficiente de balasto de  $12000 \text{ kN/m}^3$ .
- Las arcillas presentes en la zona tienen un grado de expansividad entre bajo y nulo según el criterio de Oteo, por lo que no cabe esperarse problemas de hinchamiento.
- Los ensayos de agresividad del terreno recomiendan el uso de cemento tipo V para la construcción de la cimentación.
- Dada la naturaleza del terreno, las excavaciones pueden realizarse con maquinaria convencional.
- Dado que se van a hacer excavaciones por debajo del nivel freático, se precisa la necesidad de realizar un estudio de rebajamiento del nivel freático junto con el proyecto de construcción. Se estima que la permeabilidad del medio será de  $1 \cdot 10^{-3} \text{ cm/s}$  y que sea necesario abatir 2 metros el nivel freático en la zona donde se vaya a construir el sótano.
- Se recomienda mejorar la superficie de trabajo mediante un pedraplén hincado para mejorar la transitabilidad.

#### 4.2.2 Consideraciones para el modelamiento

A continuación, en la Tabla 4, se observa las características de los materiales a utilizar en los elementos estructurales de la edificación.

**Tabla 4. Propiedades del concreto y el acero para el modelamiento**

<b>Propiedades del concreto</b>			
Resistencia a compresión del concreto	$f_c$	210.0	$\text{kg/cm}^2$
Módulo de elasticidad del concreto	$E_c$	217370.7	$\text{kg/cm}^2$
Peso específico del concreto	$\gamma$	2400.0	$\text{kg/m}^3$
Coefficiente de Poisson del concreto	$\nu$	0.2	
<b>Propiedades del acero</b>			
Esfuerzo de fluencia del acero	$F_y$	4200.0	$\text{kg/cm}^2$
Módulo de elasticidad del acero	$E_s$	2000000.0	$\text{kg/cm}^2$

### 4.2.3 Cargas consideradas en el análisis estructural

La magnitud del proyecto y la variedad de ambientes que posee implica que se apliquen cargas de magnitudes variables. A continuación, se describe las cargas consideradas para ser ingresadas en el software ETABS V16.2.0:

#### a) Sobrecargas:

La norma de cargas E020 establece el valor de la carga a considerar en el análisis de acuerdo al uso y ocupación de los ambientes que se describen en los planos de arquitectura (ver Tabla 5).

**Tabla 5. Sobrecargas consideradas**

Ambientes	Sobrecarga
Salas de operación, laboratorios y zonas de servicio	0.3 Tn/m <sup>2</sup>
Corredores y escaleras	0.4 Tn/m <sup>2</sup>
Azotea	0.1 Tn/m <sup>2</sup>

#### b) Carga muerta

La carga muerta está compuesta primordialmente por el tarrajeo de techo, piso terminado y los tabiques interiores. De acuerdo al artículo 5 de la norma E.020 (Cargas) “se considerará el peso de todos los tabiques usando los pesos reales en las ubicaciones que indican los planos, estos pesos se asignaran por metro lineal” (ver Tabla 6). Algunos de los ambientes tienen tabiques del tipo Drywall con la finalidad de aligerar las cargas en las losas de entrepiso para el cual la carga muerta se igualó con el valor de 100kg/m<sup>2</sup>.

**Tabla 6. Cargas por metro lineal de los muros de albañilería**

Muro (Descripción)	B (m)	H (m)	Y (Tn/m <sup>3</sup> )	Carga (Tn/m)
Muro H=2.8	0.15	2.8	1.35	0.567
Muro de Concreto	0.1	2.8	2.40	0.60
Muro H=3.0	0.15	3	1.35	0.61

#### c) Peso propio

Se realizó la estructuración y el modelamiento estructural de la edificación respetando el modelo de arquitectura, estimando para ello las distintas secciones de los elementos estructurales de concreto armado como placas, columnas, vigas, losas, etc. Para el caso específico del aligerado (espesor de 20cm) se modeló con un elemento área tipo Membrana, en el cual se asignó una carga uniforme de 0.30 Tn/m<sup>2</sup>.

#### **d) Peso de la edificación**

De acuerdo a la norma de diseño sismorresistente E030 se debe considerar como peso de edificación a la suma del 100% de la carga permanente más un porcentaje de la sobrecarga determinada de acuerdo a la categoría de edificación. La edificación de análisis está considerada como categoría A, por ello, se consideró el 50% de la sobrecarga.

### **4.3 Análisis estructural de la edificación**

Para desarrollar el análisis estructural se debe elaborar un modelo matemático de la estructura considerando las propiedades de las secciones brutas ignorando la fisuración y el refuerzo, a fin de que éste represente el comportamiento de la estructura frente a las acciones sísmicas definidas por los análisis de la norma de diseño sismorresistente E030. Luego, se evaluó el modelo matemático mediante un análisis dinámico espectral, pero previo a este, se realizó un análisis estático con los siguientes fines:

- Comprobar que la edificación no presente ningún tipo de irregularidad ya que no están permitidas para edificaciones esenciales ubicadas en la Zona 4.
- Verificar el porcentaje de cortante que posee las placas y columnas del primer nivel y verificar el sistema estructural de la edificación
- Para ajustar el cálculo cortante dinámica de acuerdo a la regularidad que poseen (si la edificación regular se considera 80% y si la edificación irregular 90%).

#### **4.3.1 Análisis estático equivalente de la edificación**

##### **4.3.1.1 Parámetros Sísmicos**

La norma E.030 de Diseño Sismorresistente proporciona los parámetros sísmicos utilizados en el análisis sísmico estático del edificio en estudio.

- Factor de Zona ( $Z$ ), Chiclayo pertenece a la zona sísmica 4, por ello, de acuerdo a la Tabla N° 1 de la Norma de diseño sismorresistente E.030 le pertenece un valor de  $Z=0.45$ .
- Parámetros del Suelo ( $S$ ), ( $T_p$ ) y ( $T_L$ ), de acuerdo al estudio de mecánica de suelos la estructura estará situada encima de un suelo de tipo S2 (intermedio) al cual le pertenece un factor de amplificación de suelo  $S=1.05$  como señala la Tabla N°3 de la norma de diseño sismorresistente E.030. Los periodos  $T_p(s)$  y  $T_L(s)$  tienen un valor de 0.6 y 2 respectivamente, tal como se describe en la Tabla N°4 de la norma de diseño sismorresistente E.030.

- Categoría de la Edificación (U), de acuerdo la Tabla N° 5 de la Norma de diseño sismorresistente E.030, a una edificación esencial de categoría A1 (clínica) le pertenece un factor  $U=1.5$ .
- Coeficiente básico de reducción sísmica (R), de acuerdo a la Tabla N° 7 de la Norma de diseño sismorresistente E-030, determina un coeficiente de reducción sísmica de  $R=6$  para un sistema estructural de muros estructurales de concreto armado. (Inicialmente el sistema estructural se asumió como regular y de muros estructurales, posteriormente se verificó estas dos condiciones)
- Factor de Amplificación Sísmica (C), se define el valor de este factor de amplificación sísmica de acuerdo a las características de sitio de la siguiente manera:

$$T < 0.2T_p \rightarrow C = 1 + 7.5 \frac{T}{T_p}$$

$$T < T_p \rightarrow C = 2.5$$

$$T_p < T < T_L \rightarrow C = 2.5 \frac{T_p}{T}$$

$$T > T_L \rightarrow C = 2.5 \left( \frac{T_p \cdot T_L}{T^2} \right)$$

- $T$  = Periodo fundamental de vibración de la estructura, estimado para cada dirección de análisis de acuerdo a la siguiente expresión:
- Dónde:  $h_n = 3.5$  (1piso) +  $3.5$  (3pisos) =  $14\text{m}$  (altura total del edificio)
- $C_T = 60$  (Para aquellas estructuras de concreto armado que posean un sistema sismorresistente dual o de muros estructurales según Norma E-030).

$$T = \frac{h_n}{C_T} = \frac{14}{60} = 0.23\text{s} \rightarrow T < T_p \rightarrow C = 2.5$$

Finalmente se tiene:

**Tabla 7. Parámetros sísmicos para el análisis sísmico**

Z	0.45
U	1.5
S	1.05
C	2.50
R <sub>o</sub>	6

A continuación, se muestran los resultados obtenidos con el software Etabs V.16.2.0 al realizar el análisis estático en el edificio en sus dos direcciones (X e Y).

#### 4.3.1.2 Fuerza cortante en la base

Se calculará la fuerza cortante en la base de la siguiente manera:

$$V = \frac{Z.U.C.S}{R} \times P = \frac{0.45 \times 1.5 \times 1.05 \times 2.5}{6} \times 3173.14$$

$$V = 937.07 \text{ Tn}$$

Donde el valor de P fue calculado por el mismo programa, tal como se indicó anteriormente.

**Tabla 8. Porcentaje de participación de placas en el cortante basal de la estructura**

	X	Y
<b>Cortante Estático</b>	937.1	937.1
<b>Cortante en placas</b>	655.8	749.2
<b>%</b>	70.0%	79.9%

La Tabla 8 muestra el cortante que toman los muros estructurales; también se puede ver la participación de cada uno de ellos; en ambos casos se puede contemplar que las placas (muros estructurales) poseen más del 70% de la cortante basal, en consecuencia, tal como se había asumido inicialmente el sistema estructural es de muros estructurales.

#### 4.3.1.3 Excentricidad accidental

Según la norma E.030 se debe tener en cuenta el efecto de excentricidades accidentales para cada dirección de análisis, sumado a la excentricidad inherente de la estructura, como se describe a continuación:

Para cada dirección de análisis, se considerará la excentricidad accidental en cada nivel ( $e_i$ ) de la siguiente manera:

$$M_{ti} = \pm F_i \cdot e_i$$

De acuerdo a la norma de diseño sismorresistente E030 “para cada dirección de análisis, la excentricidad accidental en cada nivel ( $e_i$ ), se considerará como 0.05 veces la dimensión del edificio en la dirección perpendicular a la de análisis”.

#### 4.3.1.4 Verificación de irregularidades estructurales

##### a) Irregularidad de Rigidez – Piso Blando

Según la norma E030 “existe irregularidad de rigidez cuando, en cualquiera de las direcciones de análisis, en un entrepiso la rigidez lateral es menor que 70% de la rigidez lateral del entrepiso inmediato superior, o es menor que 80% de la rigidez lateral promedio de los tres niveles superiores adyacentes. Las rigideces laterales podrán calcularse como la razón entre la fuerza cortante del entrepiso y el correspondiente desplazamiento relativo en el centro de masas, ambos evaluados para la misma condición de carga”.

Nivel	Centro de Masa		Cortante Vi	Rigidez K	Rigidez Piso Sup. (0.7)		Prom. 3 Sup.	
	D. Abs.	D. Rel.					Superiores (0.8)	
PISO4	0.0202	0.0057	294.9	51675.2				
PISO3	0.0145	0.0062	321.7	52197.4	1.01	Cumple		Cumple
PISO2	0.0084	0.0056	208.3	37502.2	0.72	Cumple		Cumple
PISO1	0.0028	0.0028	105.4	37467.4	1.00	Cumple	0.91	Cumple

Nivel	Centro de Masa		Cortante Vi	Rigidez K	Rigidez Piso Sup. (0.7)		Prom. 3 Sup.	
	D. Abs.	D. Rel.					Superiores (0.8)	
PISO4	0.0191	0.0051	294.9	58054.5				
PISO3	0.0140	0.0058	321.7	55694.1	0.96	Cumple		Cumple
PISO2	0.0083	0.0054	208.3	38281.1	0.69	Cumple		Cumple
PISO1	0.0028	0.0028	105.4	37454.1	0.98	Cumple	0.88	Cumple

##### b) Irregularidad de Resistencia o Piso Débil

De acuerdo a la norma E030 “existe irregularidad de resistencia cuando, en cualquiera de las direcciones de análisis, la resistencia de un entrepiso frente a fuerzas cortantes es inferior a 80 % de la resistencia del entrepiso inmediato superior”.

**Tabla 9. Verificación de irregularidad resistencia o piso débil**

PISO	Vi (Tn)	Vi/V <80% (Tn)	Condición
Piso 4	294.9		
Piso 3	616.6	209.1%	Cumple
Piso 2	824.9	133.8%	Cumple
Piso 1	930.3	112.8%	Cumple

### c) Irregularidad de Masa o Peso

Conforme a la norma E030 “existe irregularidad de masa o peso cuando el peso de un piso determinado según el numeral 4.3, es mayor que 1.5 veces el peso del piso adyacente”. Este criterio no se aplica en azoteas ni en sótanos.

**Tabla 10. Verificación de Irregularidad de Masa o Peso**

Piso	Masa (Ton)	$1.5 > (P_i+1/P_i)$	$1.5 > (P_i/P_{i+1})$	Condición
Azotea	582.83			
Piso 3	857.11		1.03	Cumple
Piso 2	832.06	0.97	0.99	Cumple
Piso 1	842.17	1.01		Cumple

### d) Irregularidad torsional

Existe irregularidad torsional cuando, en cualquiera de las direcciones de análisis, el máximo desplazamiento relativo de entrepiso en un extremo del edificio, calculado incluyendo excentricidad accidental ( $\Delta_{\text{máx}}$ ) es mayor que 1.2 veces el desplazamiento relativo del centro de masas del mismo entrepiso para la misma condición de carga ( $\Delta_{\text{CM}}$ ) Este criterio sólo se aplica en edificios con diafragmas rígidos y sólo si el máximo desplazamiento relativo de entrepiso es mayor que 50 % del desplazamiento permisible indicado en la Tabla N° 11 de la Norma E030.

**Tabla 11. Verificación de Irregularidad Torsional para el Sismo X + Ecc. Accidental**

		Centro de Masa			Verificación		
Nivel	H <sub>i</sub>	Desp.	$\Delta$ (i)	$\beta_i$	$\Delta$ Máx	1.2	Condición
PISO4	3.5	0.0202	0.0057	0.0016	0.0058	1.01	Cumple
PISO3	3.5	0.0145	0.0062	0.0018	0.0062	1.01	Cumple
PISO2	3.5	0.0084	0.0056	0.0016	0.0056	1.01	Cumple
PISO1	3.5	0.0028	0.0028	0.0008	0.0028	1.01	Cumple

**Tabla 12. Verificación de Irregularidad Torsional para el Sismo Y + Ecc. Accidental**

		Centro de Masa			Verificación		
Nivel	H <sub>i</sub>	Desp.	$\Delta$ (i)	$\beta_i$	$\Delta$ Máx	1.2	Condición
PISO4	3.5	0.0191	0.0051	0.0015	0.0061	1.196	Cumple
PISO3	3.5	0.0140	0.0058	0.0017	0.0066	1.151	Cumple
PISO2	3.5	0.0083	0.0054	0.0016	0.0060	1.108	Cumple
PISO1	3.5	0.0028	0.0028	0.0008	0.0031	1.087	Cumple

Del análisis estático se obtuvieron los siguientes resultados:

- Tanto en la dirección X como en la Y, el sistema estructural de la edificación es de muros estructurales ya que la cortante que posee los muros estructurales (placas) es mayor al 70% del cortante total en la base.
- La estructura no presenta irregularidades en ninguna dirección.
- De los puntos anteriores, ya que la estructura es de muros estructurales, el valor del coeficiente básico de reducción sísmica R para X e Y será de R=6.
- La cortante estática es de 937.07 Tn la cual será posteriormente utilizada para el ajuste de la cortante dinámica.

#### 4.3.2 Análisis Dinámico Espectral

En el análisis dinámico se empleó el espectro de aceleración que se muestra en la Ilustración 12, construido a partir de los parámetros dados. Se utilizará el mismo espectro en las dos direcciones pues sus parámetros son los mismos.

- $Z = 0.45$
- $U = 1.5$
- $S = 1.05$
- $R = 6$  (Para X e Y)

Donde:

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

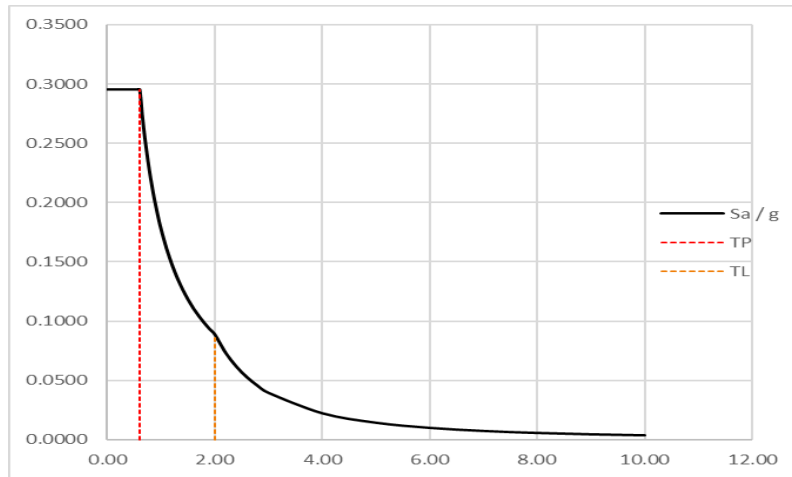
El coeficiente de amplificación sísmica será calculado de la siguiente manera:

$$T < 0.2T_p \rightarrow C = 1 + 7.5 \frac{T}{T_p}$$

$$T < T_p \rightarrow C = 2.5$$

$$T_p < T < T_L \rightarrow C = 2.5 \frac{T_p}{T}$$

$$T > T_L \rightarrow C = 2.5 \left( \frac{T_p \cdot T_L}{T^2} \right)$$



**Ilustración 12. Espectro de aceleraciones sísmicas para el análisis dinámico**

Los valores mostrados en el espectro deberán ser amplificados por los factores de escala previamente calculados para cada dirección de análisis.

#### 4.3.2.1 Verificación de la masa participativa

Los modos de vibración podrán determinarse por un procedimiento de análisis que considere apropiadamente las características de rigidez y la distribución de las masas. Además, se describe en la norma E030 que se tomará en cuenta el número de modos de vibración de la estructura cuya suma de masas efectivas sea por lo menos 90% de la masa total de la estructura, teniendo en cuenta que los modos de vibración predominantes en cada dirección de análisis sean los tres primeros modos.

Generalmente se utilizan tres modos de vibración por nivel. Para este análisis se utilizó un total de  $4 \times 3 = 12$  modos de vibración. A continuación, en la Tabla 13 se describe la masa participativa por cada modo considerado, así como los periodos de vibración de la estructura.

**Tabla 13. Periodos y participación de masa para cada modo de la estructura**

Modo	Periodo	UX	UY	Sum UX	Sum UY
1	0.47	0.1%	7.3%	0.1%	7.3%
2	0.40	64.0%	9.8%	64.1%	17.2%
3	0.38	9.9%	58.0%	74.0%	75.1%
4	0.13	0.0%	3.1%	74.0%	78.2%
5	0.11	1.1%	3.4%	75.1%	81.7%
6	0.10	16.6%	0.0%	91.8%	81.7%
7	0.10	0.6%	10.8%	92.4%	92.5%
8	0.06	0.0%	1.3%	92.4%	93.8%
9	0.05	5.7%	0.2%	98.1%	94.0%
10	0.05	0.1%	4.0%	98.2%	98.0%
11	0.03	0.8%	1.2%	99.0%	99.2%
12	0.03	0.9%	0.7%	99.9%	99.9%

De acuerdo a lo mostrado en la Tabla 13, en ambas direcciones de análisis la masa participativa es superior al 90%, siendo los primeros tres modos los que llegan a sumar gran parte de éste porcentaje, con ello, se satisfacen los requerimientos exigidos en la norma E030.

#### 4.3.2.2 Verificación de la fuerza cortante mínima en la base.

Se describe en la norma que la fuerza cortante dinámica del primer entrepiso no debe ser menor al 80% de la cortante basal obtenida en el análisis estático (para estructuras con regulares), ni menor que el 90 % para estructuras irregulares. En caso de no cumplir con este requerimiento se debe aumentar la fuerza cortante dinámica hasta ser cumplir con el mínimo descrito en la norma E030, además se deberán escalar proporcionalmente todos los otros resultados obtenidos, a excepción de los desplazamientos.

El factor de escala se calcula como:

$$FC = \frac{80\% VE}{VD}$$

**Tabla 14. Factores de amplificación de cortante Dinámica**

	X	Y
<b>VE (Tn)</b>	937.07	937.07
<b>VD (Tn)</b>	700.48	652.32
<b>80% VE (Tn)</b>	749.65	749.65
<b>FC</b>	1.07	1.15

#### 4.3.2.3 Verificación de desplazamientos laterales

En la Tabla 15 y Tabla 16 se muestran los desplazamientos elásticos obtenidos de este análisis dinámico modal – espectral. Además, se debe multiplicar por 0.75 del valor de R (por ser una estructura regular) los desplazamientos obtenidos en el centro de masas de cada diafragma.

**Tabla 15. Derivas en la Dirección X**

Hi	Desp. X	$\Delta$	0.75R $\Delta$	$\beta$
3.5	0.0170	0.0049	0.0220	0.0063
3.5	0.0121	0.0052	0.0235	0.0067
3.5	0.0069	0.0046	0.0208	0.0059
3.5	0.0023	0.0023	0.0103	0.0030

**Tabla 16. Derivas en la dirección Y**

Hi	Desp. Y	$\Delta$	$0.75R*\Delta$	$\beta$
3.5	0.0160	0.0043	0.0195	0.0056
3.5	0.0116	0.0049	0.0218	0.0062
3.5	0.0068	0.0045	0.0202	0.0058
3.5	0.0023	0.0023	0.0103	0.0029

Se puede observar una deriva máxima de 6.7 % en el eje X, mientras que en la otra dirección la deriva máxima es de 6.2 %. La norma de diseño sismoresistente permite una deriva máxima de 7.0 %, por lo tanto, al tener derivas menores a este valor se cumple con las exigencias requeridas.

#### **4.4 Análisis de la estructura con Disipadores de fluido Viscoso**

El análisis de una edificación estructurada con disipadores de fluido viscoso se realiza en base a la metodología propuesta por la American Society of Civil Engineers (ASCE Capítulo 18). Esta metodología esta propuesta exclusivamente edificios con estructuración regular, que cuenten con dos dispositivos en cada dirección como mínimo en cada dirección de análisis.

A fin de mantener a la edificación esencial sin ningún tipo de daño crítico frente a un sismo severo se realizará los análisis tanto en el rango lineal como no lineal.

Antes de realizar el análisis sísmico dinámico tiempo – historia, la norma peruana E030 indica que se tiene que volver a analizar la estructura mediante el método dinámico modal – espectral tomando un coeficiente de reducción sísmica con valor de 1, dicho análisis dinámico introducirá al edificio en un comportamiento en el rango no lineal frente a un sismo severo. Posteriormente, se contrastará con el análisis tiempo – historia las derivas halladas en el análisis dinámico modal – espectral con  $R = 1$  para establecer el sismo de diseño que se empleará.

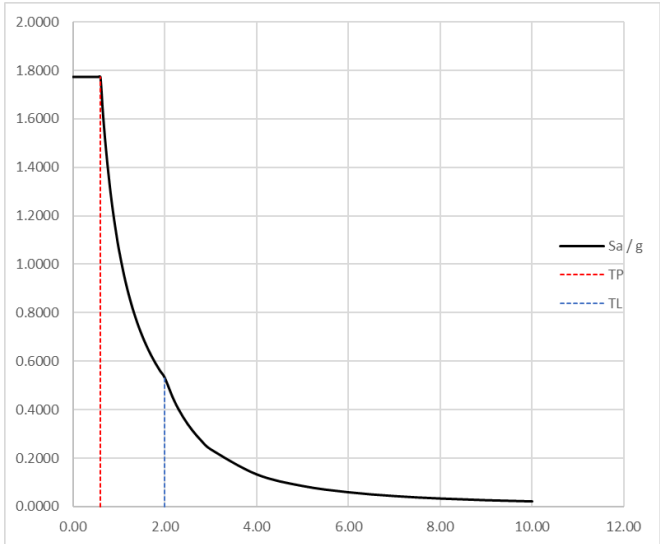
Se obtendrá una deriva máxima, que posteriormente será reducida, con el análisis dinámico tiempo – historia del edificio sin la adición de los disipadores. En primer lugar, se elige una deriva objetivo a la cual se desea llegar, que está basada en el desempeño esperado de la edificación. Luego, para reducir la deriva hasta llegar al valor elegido se calcula el porcentaje de amortiguamiento crítico necesario para poder lograrlo. A continuación, se definen las propiedades del dispositivo de amortiguamiento que se empleará, siendo el coeficiente de amortiguamiento (C), la rigidez (K) y el exponente de no linealidad  $\alpha$  las propiedades necesarias para el análisis. Después, se vuelve a realizar un análisis tiempo – historia considerando en el modelo analítico la presencia de los dispositivos de amortiguamiento con sus respectivas propiedades definidas. De este nuevo análisis se verificará que la

deriva máxima no sea mayor a la deriva objetivo. Finalmente, se corrobora que el amortiguamiento inicialmente propuesto sea idéntico al obtenido de la modelación de la estructura con la inclusión de los disipadores de fluido viscoso.

**4.4.1 Análisis sísmico dinámico modal con R=1**

Para este análisis se utilizará los mismos parámetros del análisis dinámico modal – espectral, excepto el coeficiente básico de reducción sísmica que tomará el valor de 1 para ambas direcciones ortogonales de análisis (Z=0.45, U=1.5 y S=1.05).

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



**Ilustración 13. Espectro de diseño con R=1**

Luego se ingresa programa el espectro objetivo definido con un valor de R=1 y se determina las derivas para cada dirección ortogonal de análisis. Como se observa en la Tabla 17 y Tabla 18, los desplazamientos se incrementaron en ambas direcciones.

**Tabla 17. Derivas del análisis modal espectral con R=1, Dirección X**

Hi	Desp. X	$\Delta_i - \Delta_{(i-1)}$	$\beta$
3.5	0.0955	0.0275	0.0078
3.5	0.0680	0.0292	0.0084
3.5	0.0388	0.0259	0.0074
3.5	0.0129	0.0129	0.0037

**Tabla 18. Derivas del análisis modal espectral con R=1, Dirección Y**

Hi	Desp. Y	$\Delta_i - \Delta_{(i-1)}$	$\beta$
3.5	0.0833	0.0226	0.0065
3.5	0.0606	0.0253	0.0072
3.5	0.0353	0.0234	0.0067
3.5	0.0119	0.0119	0.0034

## 4.4.2 Análisis tiempo – historia

### 4.4.2.1 Registros sísmicos

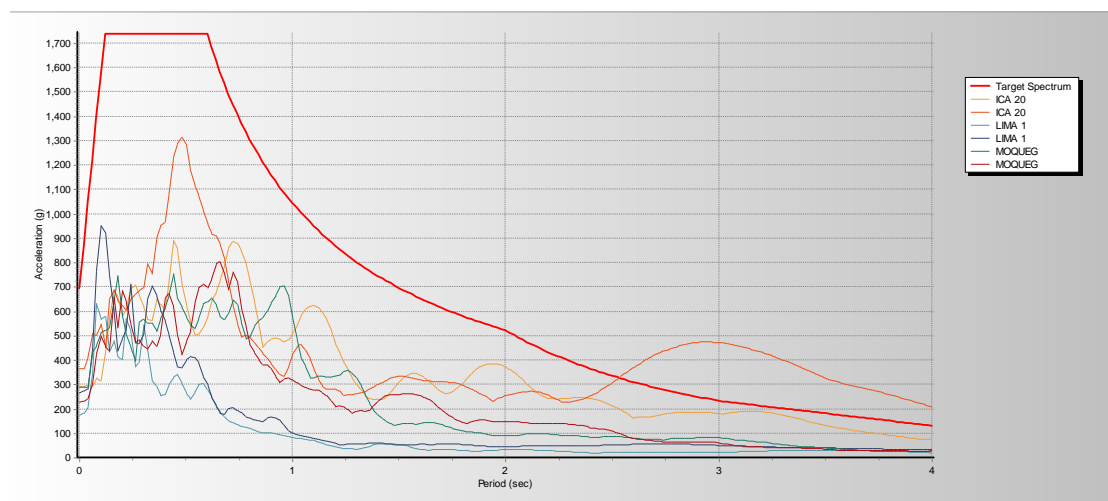
Se consideran 3 pares de registros sísmicos, siendo el mínimo permitido según la E030-2016. El procedimiento más lógico es seleccionar historias de tiempo disponibles a partir de bases de datos que razonablemente consistentes con los parámetros y condiciones de diseño. Los factores a considerar en la selección incluyen:

- Entorno tectónico (subducción, corteza superficial, intraplaca, etc.)
- Magnitud sísmica y tipo de falla.
- Distancia a partir del sitio registrado hasta la ruptura de falla

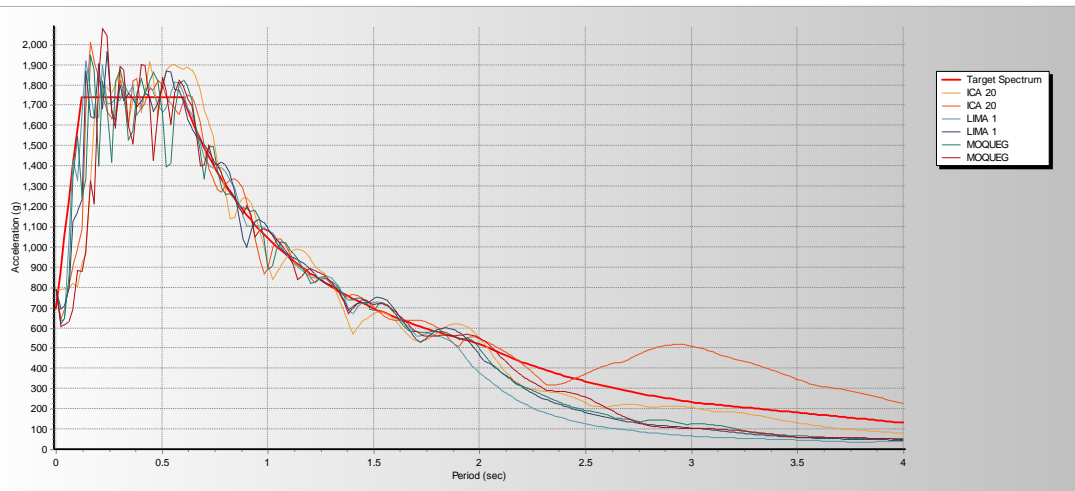
**Tabla 19. Registros sísmicos utilizados**

Sismo	Fecha	Componente	Aceleración Máx (cm/s <sup>2</sup> )	Magnitud
Ica 2007	15/08/2007	E - W	-272.82	7.0
		N -S	333.66	
Lima 1966	16/08/2007	E - W	-180.56	8.1
		N -S	-268.24	
Moquegua 2001	23/06/2001	E - W	-295.15	6.9
		N -S	219.99	

Los registros sísmicos se encuentran en unidades Gal (cm/s<sup>2</sup>), por ende, a la hora de realizar el escalamiento, el espectro objetivo tendrá que modificarse transformando la aceleración de la gravedad de m/s<sup>2</sup> a cm/s<sup>2</sup>. Además, se deberá realizar una corrección de filtrado y línea base, el cual se realizó mediante el software SeismoSignal. Por último, los registros deberán escalarse al espectro objetivo o de diseño construido con R=1.



**Ilustración 14. Espectros de respuesta de los registros sin escalar**



**Ilustración 15. Registros escalados al espectro objetivo**

#### 4.4.2.2 Resultados del análisis tiempo – historia

Considerando que las secciones de los elementos estructurales se encuentran agrietadas, se realiza en la misma estructura el análisis tiempo – historia. Con este análisis se consigue las máximas derivas de entrepiso que se observan en la Tabla 20 y Tabla 21.

**Tabla 20. Derivas en X obtenidas del análisis tiempo - historia**

	<b>ICA 2007</b>	<b>LIMA 1966</b>	<b>MOQUEGUA 2001</b>
<b>PISO4</b>	0.00679	0.00748	0.00845
<b>PISO3</b>	0.00743	0.00815	<b>0.00917</b>
<b>PISO2</b>	0.00671	0.00746	0.00824
<b>PISO1</b>	0.00336	0.00386	0.00413

**Tabla 21. Derivas en Y obtenidas del análisis tiempo - historia**

	<b>ICA 2007</b>	<b>LIMA 1966</b>	<b>MOQUEGUA 2001</b>
<b>PISO4</b>	0.00651	0.00741	0.00722
<b>PISO3</b>	0.00744	<b>0.00827</b>	0.00816
<b>PISO2</b>	0.00718	0.00754	0.00756
<b>PISO1</b>	0.00383	0.00377	0.00384

En la dirección X se obtuvo una deriva máxima de 0.00917 debido al sismo de Moquegua 2001, y en el caso de la dirección Y una deriva de 0.00827 debido al sismo de Lima 1966. Estos valores máximos en cada dirección serán utilizados posteriormente para el cálculo del factor de reducción de respuesta sísmica (B).

### 4.4.3 Proceso de Implementación de los disipadores de Fluido Viscoso

#### 4.4.3.1 Desempeño sismoresistente

El comité VISION2000 [3] define cuatro niveles de desempeño:

**Tabla 22. Estados de Desempeño (Adaptado del Comité VISION 2000)**

Estado de Desempeño	Descripción de Daños	Estado de Daño	Límite de desplazamiento o del sistema
Totalmente Operacional	Daño nulo. Todas las instalaciones y servicios operan normalmente luego del sismo	Despreciable	$\Delta y$
Operacional	Daños ligeros en elementos estructurales en componentes no estructurales. Las instalaciones y servicios están operativos o podrían estar parcialmente interrumpidos, pero de fácil recuperación.	Leve	$\Delta y + 0.30 \Delta p$
Resguardo de Vida	Daño estructural y no estructural moderado. La estructura aún conserva un margen de seguridad contra el colapso. El edificio podría repararse aunque no siempre sea económicamente aconsejable.	Moderado	$\Delta y + 0.60 \Delta p$
Cerca al Colapso	Daño estructural severo. Falla de elementos no estructurales. La seguridad de los ocupantes se encuentra comprometida, las réplicas podrían ocasionar el colapso.	Extenso	$\Delta y + 0.80 \Delta p$
Colapso	Colapso estructural. No es posible reparar la edificación.	Completo	$\Delta y + 1.00 \Delta p$

$\Delta$ : Desplazamiento elástico

$\Delta p$ : capacidad de desplazamiento inelástico

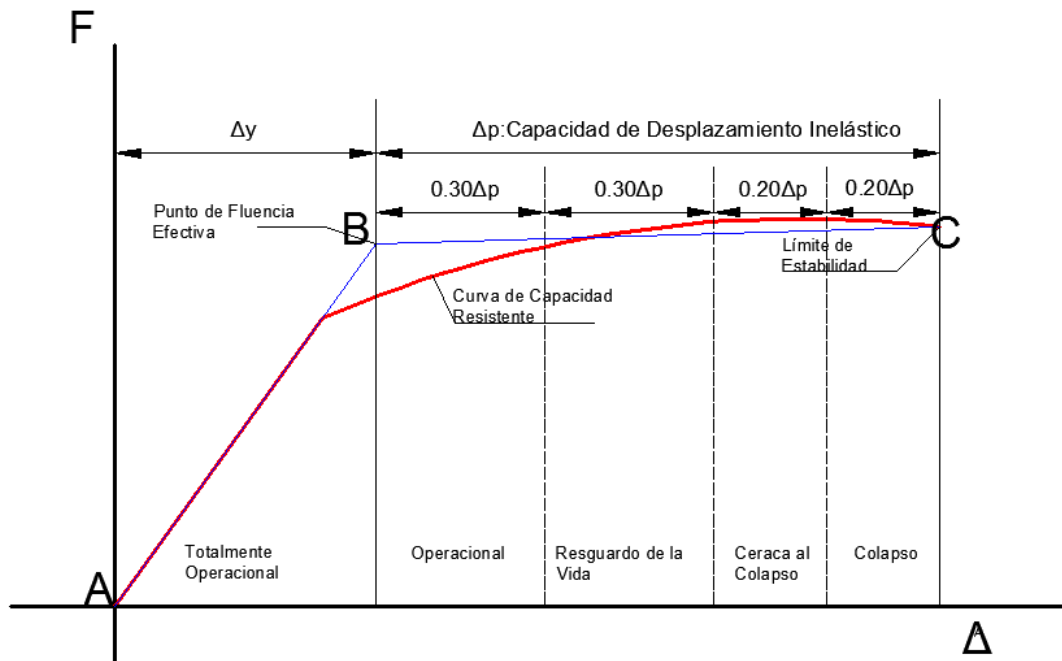
El Structural Engineers Association of California (SEAOC) plantea una curva de capacidad sectorizada para poder determinar el desempeño de una estructura. Esa propuesta está basada en un modelo bilineal que abarca una etapa elástica y una inelástica separada en 4 secciones. Esta curva de capacidad se puede observar en la Ilustración 16.

#### 4.4.3.2 Importancia de la Edificación

Las edificaciones fueron clasificadas, por el comité Visión 2000, en tres tipos de acuerdo a la importancia que tienen:

- **Edificaciones Esenciales:** por ejemplo, los hospitales, centros de comunicación, policía, estaciones de bomberos, etc. Son aquellas instalaciones críticas post-terremoto.
- **Edificaciones de Seguridad Crítica:** Estructuras que son diseñadas para contener cantidades considerables de materiales peligrosos tales como toxinas, materiales radioactivos o explosivos.

- **Edificaciones Comunes:** Estructuras que no son incluidas dentro de la clasificación anterior, como edificios de vivienda, oficinas, hoteles, entre otras.



**Ilustración 16. Curva de Capacidad Sectorizada (Adaptada de SEAOC)**

Existe una relación existente entre la probabilidad de ocurrencia del evento sísmico, el tipo de edificación y el objetivo de desempeño, tal como se muestra en la Tabla 23.

**Tabla 23. Nivel de desempeño de la edificación**

		Nivel de Desempeño de la Edificación			
		Totalmente Operacional	Operacional	Resguardo de Vida	Cerca al colapso
Nivel de Demanda Sísmica	Sismos Frecuentes (43 años)				
	Sismos Ocasionales (72 años)				
	Sismos Raros (475 años)				
	Sismos muy raros (970 años)				
			Edificaciones comunes		
			Edificaciones esenciales		
			Edificaciones seguridad crítica		

#### 4.4.3.3 Daño Estructural Asociado a la Deriva del Edificio

La agencia federal para el manejo de emergencias (FEMA por sus siglas en inglés) ha elaborado un documento denominado Multi-Hazard Loss Estimation Methodology (HAZUS) donde establece el estado de daño de una estructura y su deriva característica asociado a un determinado sistema estructural.

Se presentan datos de manera cuantitativa para un determinado estado de daño y de acuerdo al tipo de edificación que está dado según la clasificación del FEMA (Ver Tabla 24). Según esta clasificación una edificación de tipo Muros Estructurales de Concreto Armado de mediana altura, tiene una abreviatura como C2M. En la Tabla 25 se presenta la relación entre las derivas y los daños producidos para dicho tipo de estructura.

**Tabla 24. Clasificación según tipo de estructura (Multi-Hazard Loss Estimation Methodology HAZUS, 2010)**

No.	Label	Description	Height			
			Range		Typical	
			Name	Stories	Stories	Feet
1	W1	Wood, Light Frame ( $\leq$ 5,000 sq. ft.)		1 - 2	1	14
2	W2			All	2	24
		Wood, Commercial and Industrial (> 5,000 sq. ft.)				
3	S1L	Steel Moment Frame	Low-Rise	1 - 3	2	24
4	S1M		Mid-Rise	4 - 7	5	60
5	S1H		High-Rise	8+	13	156
6	S2L	Steel Braced Frame	Low-Rise	1 - 3	2	24
7	S2M		Mid-Rise	4 - 7	5	60
8	S2H		High-Rise	8+	13	156
9	S3	Steel Light Frame		All	1	15
10	S4L	Steel Frame with Cast-in-Place Concrete Shear Walls	Low-Rise	1 - 3	2	24
11	S4M		Mid-Rise	4 - 7	5	60
12	S4H		High-Rise	8+	13	156
13	S5L	Steel Frame with Unreinforced Masonry Infill Walls	Low-Rise	1 - 3	2	24
14	S5M		Mid-Rise	4 - 7	5	60
15	S5H		High-Rise	8+	13	156
16	C1L	Concrete Moment Frame	Low-Rise	1 - 3	2	20
17	C1M		Mid-Rise	4 - 7	5	50
18	C1H		High-Rise	8+	12	120
19	C2L	Concrete Shear Walls	Low-Rise	1 - 3	2	20
20	C2M		Mid-Rise	4 - 7	5	50
21	C2H		High-Rise	8+	12	120
22	C3L	Concrete Frame with Unreinforced Masonry Infill Walls	Low-Rise	1 - 3	2	20
23	C3M		Mid-Rise	4 - 7	5	50
24	C3H		High-Rise	8+	12	120
25	PC1	Precast Concrete Tilt-Up Walls		All	1	15
26	PC2L	Precast Concrete Frames with Concrete Shear Walls	Low-Rise	1 - 3	2	20
27	PC2M		Mid-Rise	4 - 7	5	50
28	PC2H		High-Rise	8+	12	120
29	RM1L	Reinforced Masonry Bearing Walls with Wood or Metal Deck Diaphragms	Low-Rise	1-3	2	20
30	RM1M		Mid-Rise	4+	5	50
31	RM2L	Reinforced Masonry Bearing Walls with Precast Concrete Diaphragms	Low-Rise	1 - 3	2	20
32	RM2M		Mid-Rise	4 - 7	5	50
33	RM2H		High-Rise	8+	12	120
34	URML	Unreinforced Masonry Bearing Walls	Low-Rise	1 - 2	1	15
35	URMM		Mid-Rise	3+	3	35
36	MH	Mobile Homes		All	1	10

**Tabla 25. Descripción de daño y deriva característica para edificios tipo C2M. (HAZUS)**

<b>Daño Estructural</b>	<b>Descripción</b>	<b>Deriva</b>
<b>Leve</b>	Pueden observarse grietas de corte y flexión cerca de la unión de algunas vigas y columnas.	0.0027
<b>Moderado</b>	La mayoría de columnas y vigas presentan grietas. Algunos elementos como vigas han alcanzado la fluencia. Es evidente la presencia de largas grietas de flexión y en algunos lugares el concreto de recubrimiento se ha desprendido.	0.0056
<b>Extenso</b>	Algunos pórticos han alcanzado su capacidad última evidente por la presencia de largas grietas de flexión, concreto desprendido y refuerzo principal y transversal deformado. Resulta en un colapso parcial.	0.0154
<b>Completo</b>	La estructura ha colapsado o está a punto de hacerlo debido a falla frágil, agotamiento de ductilidad o pérdida de la estabilidad del sistema.	0.04

#### **4.4.3.4 Elección de la deriva objetivo**

De acuerdo a la importancia establecida por el Structural Engineers Association of California (SEAOC) el edificio de análisis concuerda con una estructura del tipo esencial.

Así mismo, se acepta un estado de daño **moderado** dicho de otra manera escogemos como sismo de diseño un sismo con 475 años de período de retorno, el cual representa un estado de desempeño **operacional**.

En base a los valores propuestos por HAZUS se eligió una deriva de 0.0056 corresponde a un daño moderado. Esta deriva permite realizar una comparación del análisis tiempo historia con el análisis espectral que incluye un factor de amplificación de 1.5 (Factor de Uso).

#### **4.4.3.5 Determinación del factor de reducción de respuesta (B)**

La determinación del factor de respuesta B se calcula en base a la relación entre la máxima deriva obtenida del análisis tiempo-historia de la estructura sin disipadores y la deriva objetivo planteada para cada dirección ortogonal de análisis de la edificación.

Del análisis tiempo historia se obtiene una deriva máxima de 0.00917 debido al sismo de Moquegua 2001 en la dirección X, y en el caso de la dirección Y una deriva de 0.00827 debido al sismo de Lima 1966.

$$B_{x,y} = \frac{D_{m\acute{a}xima}}{D_{objetivo}}$$

**a. Para la direcci3n X**

$$B_x = \frac{0.009172}{0.0056}$$

$$B_x = 1.64$$

**b. Para la direcci3n Y**

$$B_y = \frac{0.008266}{0.0056}$$

$$B_y = 1.48$$

**4.4.3.6 Determinaci3n del amortiguamiento efectivo ( $\beta_{eff}$ ) y amortiguamiento viscoso ( $\beta_{visc}$ )**

Luego en base al c3lculo del factor de reducci3n de respuesta (B) en cada direcci3n ortogonal de an3lisis se puede determinar el valor del amortiguamiento efectivo a partir de la siguiente f3rmula:

$$B_{x,y} = \frac{2.31 - 0.41 \ln(5)}{2.31 - 0.41 \ln(\beta_{eff})}$$

Luego, se determina el amortiguamiento viscoso mediante:

$$\beta_{visc} = \beta_{eff} - \beta_{inh}$$

Donde:

$B_{x,y}$ : Factor de reducci3n de respuesta

$\beta_{eff}$ : Amortiguamiento efectivo

$\beta_{inh}$ : Amortiguamiento Inherente de la estructura (5%)

$\beta_{visc}$ : Amortiguamiento viscoso

**a. Para la dirección X**

$$1.64 = \frac{2.31 - 0.41 \ln(5)}{2.31 - 0.41 \ln(\beta_{eff x})}$$

$$\beta_{eff x} = 23.98\%$$

Luego, el amortiguamiento viscoso será:

$$\beta_{visc x} = 23.98\% - 5\%$$

$$\beta_{visc x} = 18.98\%$$

**b. Para la dirección Y**

$$1.48 = \frac{2.31 - 0.41 \ln(5)}{2.31 - 0.41 \ln(\beta_{eff y})}$$

$$\beta_{eff y} = 18.31\%$$

Luego, el amortiguamiento viscoso será:

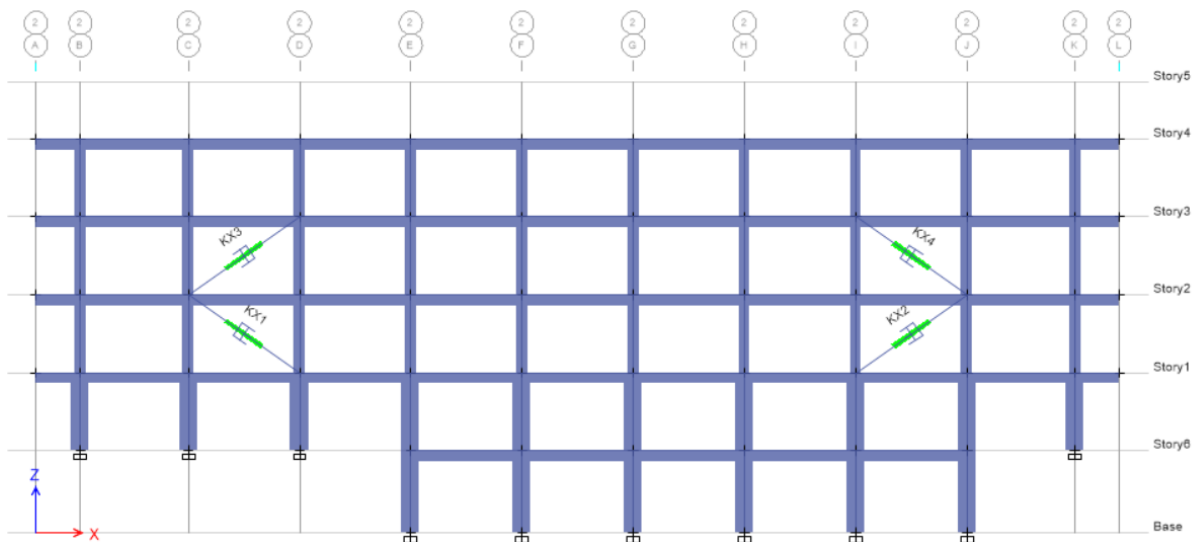
$$\beta_{visc} = 18.31\% - 5\%$$

$$\beta_{visc} = 13.31\%$$

**4.4.3.7 Cálculo del coeficiente de amortiguamiento (C)**

$$\sum C_j = \frac{\beta_{visc} 2\pi A^{1-\alpha} \omega^{2-\alpha} (\sum_i m_i \phi_i^2)}{\lambda (\sum \phi_{rj}^{1+\alpha} \cos \theta_j^{1+\alpha})}$$

**a. Para la dirección X**



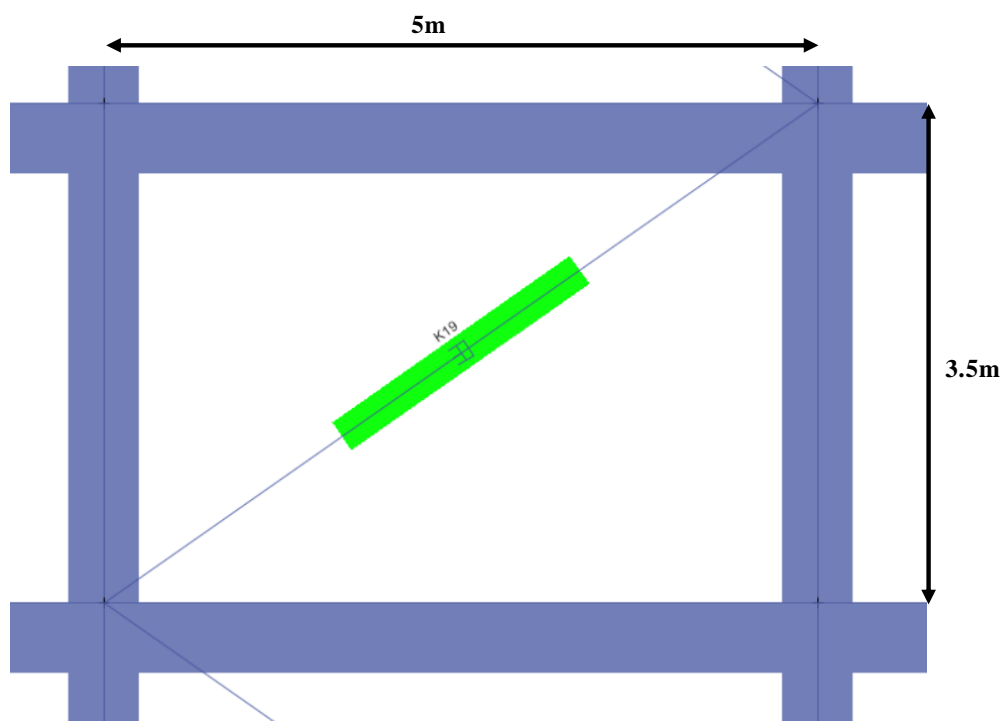
**Ilustración 17. Disposición de los disipadores en la dirección X de la edificación**

A continuación, se presenta las variables necesarias para determinar el valor de C. Para el parámetro  $\alpha$  se recomienda que sea menor que 1, en este caso se consideró un valor de 0.5 al cual le corresponde un valor de  $\lambda$  igual a 3.5 de acuerdo a la tabla brindada por el FEMA 274.

**Tabla 26. Parámetros para el diseño de los disipadores viscosos no lineales en X**

Parámetro	Valor
T	0.401
$\omega$	15.67
A	0.032
$\alpha$	0.5
$\lambda$	3.5

Para la dirección x se consideran 4 disipadores por piso y se define el ángulo de inclinación del disipador:



**Ilustración 18. Dimensiones para determinar el ángulo de inclinación del disipador en X**

Ángulo:

$$\theta = \tan^{-1}(3.5/5) = 35^\circ$$

**Tabla 27. Parámetros para determinar el coeficiente de amortiguamiento no lineal en X**

Nivel	$\phi_i$	$\phi_{rj}$	Masa	Cos $\theta$	$\sum \phi_{rj}^{1+\alpha} \cdot \cos \theta_j^{1+\alpha}$	$\sum m_i \cdot \phi_i^2$
Nivel 4	1.000	0.2817	59.4	0.82	0.1109	59.41
Nivel 3	0.718	0.3057	87.4	0.82	0.1253	45.08
Nivel 2	0.413	0.2748	84.8	0.82	0.1068	14.44
Nivel 1	0.138	0.1378	85.8	0.82	0.0379	1.63
					<b>0.3809</b>	<b>120.56</b>

Luego se tiene:

$$2\pi A^{1-\alpha} \omega^{2-\alpha} \left( \sum_i m_i \phi_i^2 \right) = 8418.2$$

$$\beta_{visc x} = 18.97\%$$

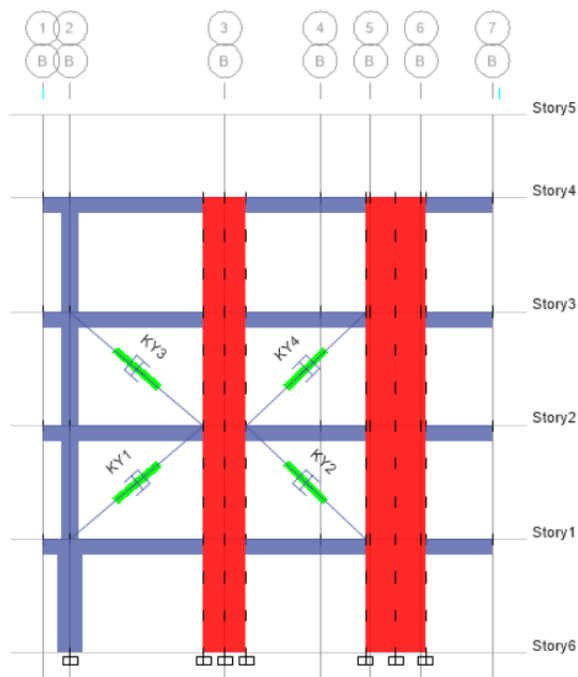
$$\sum C_j = \frac{B_H \cdot 2\pi \cdot A^{1-\alpha} \cdot \omega^{2-\alpha} \cdot \sum m_i \phi_i^2}{\lambda \cdot (\sum \phi_{rj}^{1+\alpha} \cdot \cos \theta_j^{1+\alpha})}$$

$$\sum C_{jx} = 1197.9 \text{ Tn. s/m}$$

Empleando 6 disipadores por piso se tiene:

$$C_{jx} = 199.7 \text{ Tn. s/m}$$

**b. Para la dirección Y**



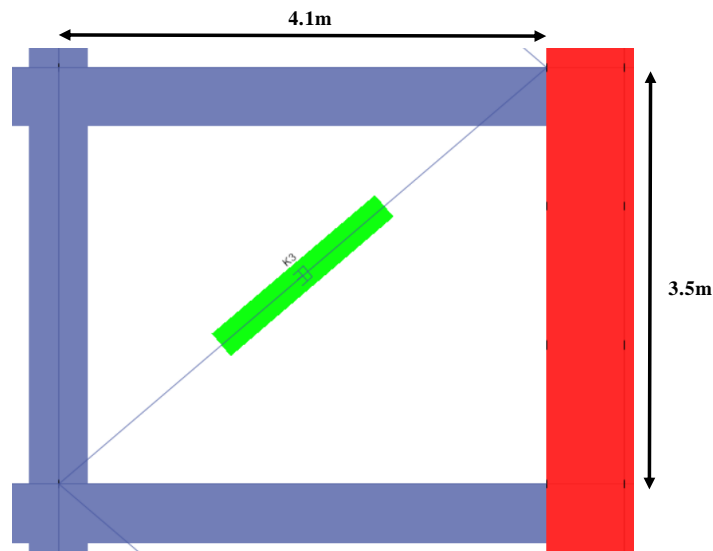
**Ilustración 19. Disposición de los disipadores en la dirección Y de la edificación**

Al igual que en la dirección X se utilizará un valor  $\alpha$  de 0.5 al cual le corresponde un valor de  $\lambda$  igual a 3.5 de acuerdo a la tabla brindada por el FEMA 274.

**Tabla 28. Parámetros para el diseño de los disipadores viscosos no lineales en Y**

Parámetro	Valor
T	0.382
$\omega$	16.45
A	0.029
$\alpha$	0.5
$\lambda$	3.5

Para la dirección x se consideran 4 disipadores por piso y se define el ángulo de inclinación del disipador:



**Ilustración 20. Dimensiones para determinar el ángulo de inclinación del disipador en Y**

Ángulo:

$$\theta = \tan^{-1}(3.5/4.1) = 40.5^\circ$$

**Tabla 29. Parámetros para determinar el coeficiente de amortiguamiento no lineal en Y**

Nivel	$\phi_i$	$\phi_{rj}$	Masa	Cos $\theta$	$\sum \phi_{rj}^{1+\alpha} \cdot \cos \theta_j^{1+\alpha}$	$\sum m_i \cdot \phi_i^2$
Nivel 4	1.000	0.2744	59.41	0.76	0.0953	59.41
Nivel 3	0.726	0.3062	87.37	0.76	0.1124	46.00
Nivel 2	0.419	0.2795	84.82	0.76	0.0980	14.92
Nivel 1	0.140	0.1398	85.85	0.76	0.0347	1.68
					<b>0.3405</b>	<b>122.01</b>

Luego se tiene:

$$2\pi A^{1-\alpha} \omega^{2-\alpha} \left( \sum_i m_i \phi_i^2 \right) = 8698.0$$

$$\beta_{visc x} = 13.31\%$$

$$\sum C_{jy} = \frac{B_H \cdot 2\pi \cdot A^{1-\alpha} \cdot \omega^{2-\alpha} \cdot \sum m_i \phi_i^2}{\lambda \cdot (\sum \phi_{rj}^{1+\alpha} \cdot \cos \theta_j^{1+\alpha})}$$

$$\sum C_{jy} = 971.5 \text{ Tn.s/m}$$

Empleando 6 disipadores por piso se tiene:

$$C_{jy} = 161.9 \text{ Tn.s/m}$$

#### 4.4.3.8 Rigidez del brazo metálico (K)

El perfil metálico a emplear será el HSS 7.5 x 0.5, el cual cuenta con las siguientes características principales:

**Tabla 30. Dimensiones del perfil HSS 7.5 x 0.5**

D ext. in	D int. in	Espesor in	Área in <sup>2</sup>	Inercia in <sup>4</sup>
7.50	7.04	0.465	10.30	63.9

##### a. Para la dirección X

- $A = 10.3 \text{ in}^2 = 0.006645 \text{ m}^2$
- $E = 29.0 \text{ Ksi} = 20400000 \text{ Tn/m}^2$
- $L = 6.10 \text{ m}$

$$K_x = \frac{AE}{L} = \frac{(0.006645)(20400000)}{6.10} = 22211.18 \text{ Tn/m}$$

##### b. Para la dirección Y

- $A = 10.3 \text{ in}^2 = 0.006645 \text{ m}^2$
- $E = 29.0 \text{ Ksi} = 20400000 \text{ Tn/m}^2$
- $L = 4.06 \text{ m}$

$$K_y = \frac{AE}{L} = \frac{(0.006645)(20400000)}{4.06} = 33420.96 \text{ Tn/m}$$

#### 4.4.3.9 Análisis dinámico – tiempo historia no lineal con disipadores de fluido viscoso

Con las propiedades de los disipadores diagonales ya calculadas en las dos direcciones ortogonales de análisis, se procede a calcular los desplazamientos y derivas para los registros sísmicos escalados.

**Tabla 31. Desplazamientos obtenidos en X del análisis tiempo - historia**

	ICA 2007	LIMA 1966	MOQUEGUA 2001
<b>PISO4</b>	0.0597	0.0658	0.0630
<b>PISO3</b>	0.0429	0.0479	0.0453
<b>PISO2</b>	0.0249	0.0283	0.0263
<b>PISO1</b>	0.0085	0.0099	0.0090
<b>BASE</b>	0.0000	0.0000	0.0000

**Tabla 32. Desplazamientos obtenidos en Y del análisis tiempo - historia**

	ICA 2007	LIMA 1966	MOQUEGUA 2001
<b>PISO4</b>	0.0584	0.0632	0.0641
<b>PISO3</b>	0.0431	0.0468	0.0468
<b>PISO2</b>	0.0260	0.0281	0.0274
<b>PISO1</b>	0.0092	0.0098	0.0093
<b>BASE</b>	0.0000	0.0000	0.0000

Se puede observar en la Tabla 33 y Tabla 34 que los disipadores lograron reducir las derivas estando por debajo de 0.0056 valor que se consideró como objetivo para que la estructura se mantenga operacional luego de un evento sísmico.

**Tabla 33. Derivas en X obtenidas del análisis tiempo - historia**

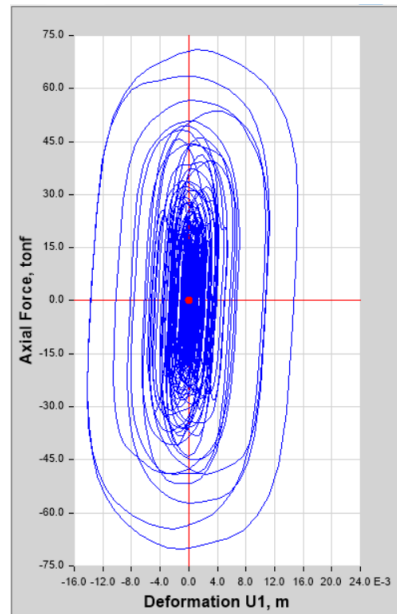
	ICA 2007	LIMA 1966	MOQUEGUA 2001
<b>PISO4</b>	0.0048	0.0051	0.0050
<b>PISO3</b>	0.0052	0.0056	0.0054
<b>PISO2</b>	0.0047	0.0053	0.0049
<b>PISO1</b>	0.0024	0.0028	0.0026
<b>BASE</b>	0.0000	0.0000	0.0000

**Tabla 34. Derivas obtenidas en Y obtenidas del análisis tiempo - historia**

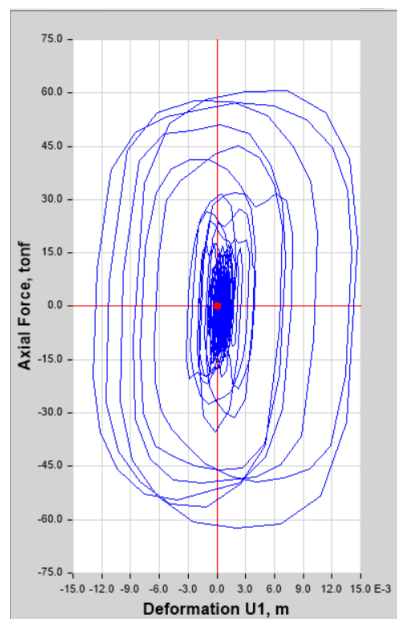
	ICA 2007	LIMA 1966	MOQUEGUA 2001
<b>PISO4</b>	0.0044	0.0047	0.0050
<b>PISO3</b>	0.0049	0.0053	0.0055
<b>PISO2</b>	0.0048	0.0052	0.0052
<b>PISO1</b>	0.0026	0.0028	0.0027
<b>PISO2</b>	0.0000	0.0000	0.0000

#### 4.4.3.10 Comportamiento Histerético

La grafica de histéresis representa el comportamiento de la fuerza y el desplazamiento que posee el disipador. Para un disipador de fluido viscoso el modelo ideal del disipador de fluido viscoso debe tener una tendencia elíptica, el cual deberá ser corroborado para cada uno de los dispositivos colocados. En ocasiones el dispositivo no desarrolla una tendencia elíptica lo que quiere decir que la ubicación del dispositivo no es la correcta y deberá ser reubicado o cambiado de posición hasta obtener un desempeño correcto.



**Ilustración 21. Curva de histéresis de un disipador de fluido viscoso ubicado en el segundo nivel, colocado en la dirección X para el sismo de Moquegua 2001**



**Ilustración 22. Curva de histéresis de un disipador de fluido viscoso ubicado en el segundo nivel, colocado en la dirección Y para el sismo de Lima 1966**

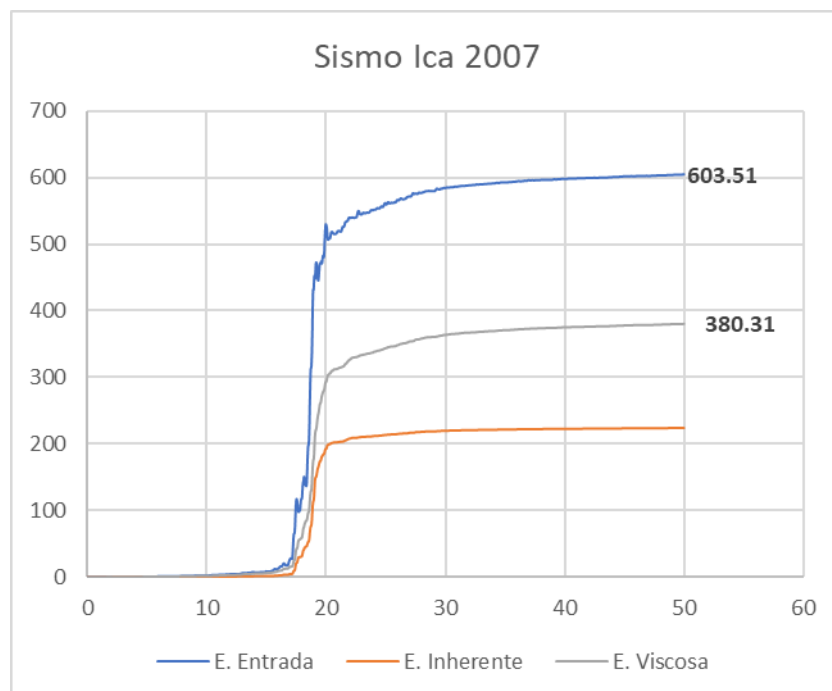
#### 4.4.3.11 Balance energético

El software ETABS nos proporciona una gráfica de energía que nos permite evaluar la participación de los disipadores de fluido viscoso en la disminución de la energía de entrada del sismo. Mediante una relación entre la energía sísmica ingresada al sistema y la energía disipada por los disipadores se determina el porcentaje de energía sísmica severa que absorben los disipadores en conjunto.

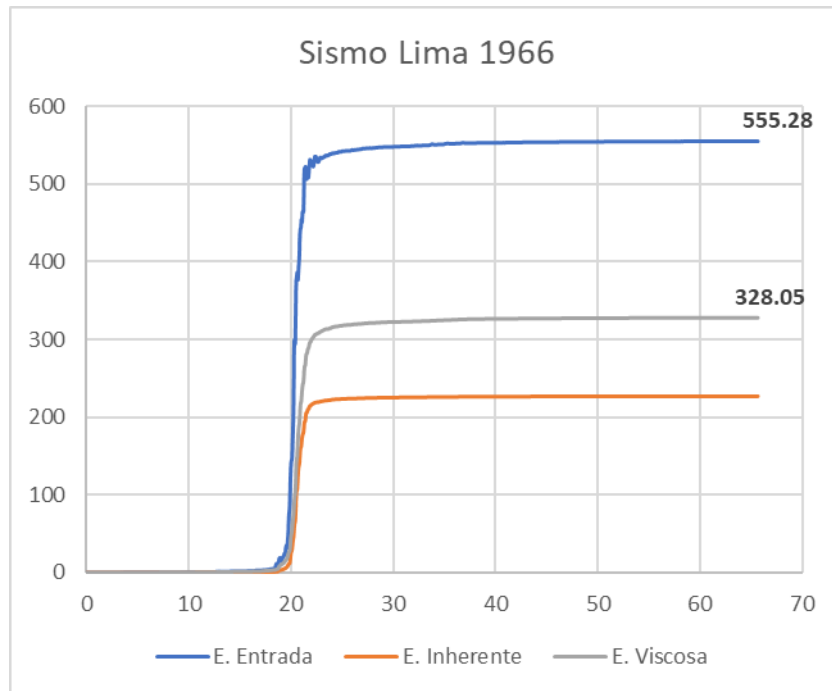
**Tabla 35. Porcentaje de disipación de energía logrado por los disipadores en cada sismo**

	<b>Ica 2007</b>	<b>Lima 1966</b>	<b>Moquegua 2001</b>
<b>Energía ingresada al sistema (KJ)</b>	603.51	555.28	1021.00
<b>Energía disipada por los disipadores (KJ)</b>	380.31	328.05	655.06
<b>Porcentaje de energía disipada</b>	63.0%	59.1%	64.2%

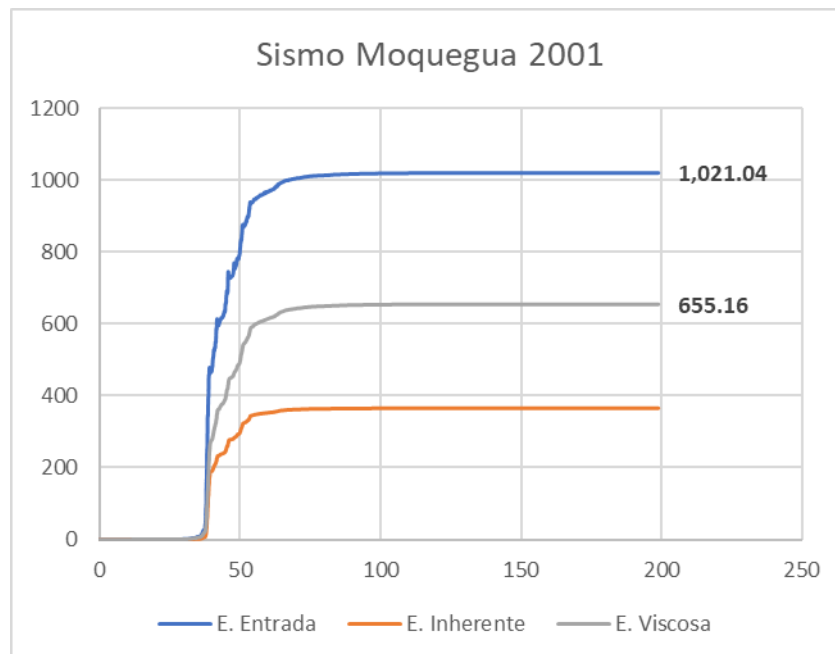
La Ilustración 23 hasta la Ilustración 25 se muestra las energía ingresada para cada evento sísmico, además se observa también las distintas formas de disipación energía. Se observa que en todos los casos el porcentaje de participación de los disipadores de fluido viscoso en la disipación de energía es considerable, por lo que se puede afirmar que la edificación presenta un buen comportamiento. Para evitar daños durante el evento sísmico es importante el desempeño de los disipadores de fluido viscoso.



**Ilustración 23. Gráfico de energía del registro de Ica 2007**



**Ilustración 24. Gráfico de energía del registro de Lima 1966**

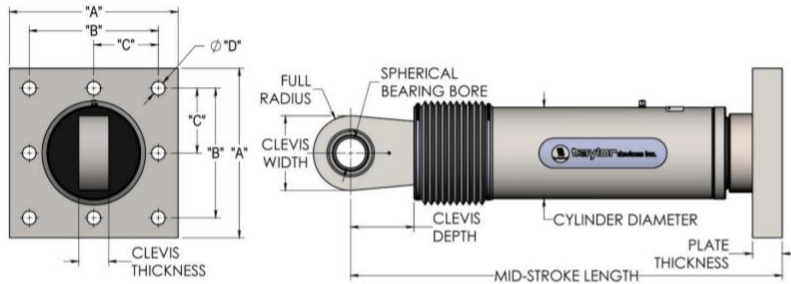


**Ilustración 25. Gráfico de energía del registro de Moquegua 2001**

#### 4.4.3.12 Fuerza en los disipadores

Teniendo el edificio ya optimizado, y cumpliendo en las dos direcciones de reforzamiento estando con derivas por debajo de la deriva objetivo de 0.056, y habiendo verificado el comportamiento histerético de todos y cada uno los disipadores, se procede a extraer las fuerzas (tracción y compresión) generadas en cada disipador viscoso.

**FLUID VISCOUS DAMPERS & LOCK-UP DEVICES  
CLEVIS – BASE PLATE CONFIGURATION**



NOTE:  
VARIOUS STROKES ARE AVAILABLE, FROM ±2 TO ±36 INCHES. FORCE CAPACITY MAY BE REDUCED FOR STROKE LONGER THAN STROKE LISTED IN THE TABLE. ANY STROKE CHANGE FROM THE STANDARD STROKE VERSION DEPICTED CHANGES THE MIDSTROKE LENGTH BY 5 INCHES PER ±1 INCH OF STROKE.

EXAMPLE: 220 KIP ±4" STROKE, MID-STROKE LG. IS 48.75"  
220 KIP ±6 INCHES STROKE, 6-4+2, 2\*5+10  
41.25+10 = 51.25 INCHES MID-STROKE LENGTH

BELLOWS MAY BE REPLACED WITH A STEEL SLEEVE AS DESIRED STROKE LENGTHS INCREASE. CONSULT TAYLOR DEVICES FOR STROKE OVER ±12 INCHES AND/OR FOR FORCE CAPACITIES FOR STROKE LONGER THAN LISTED IN TABLE.

FORCE (KIP)	TAYLOR DEVICES MODEL NUMBER	BEARING BORE DIAMETER (IN)	MID-STROKE LENGTH (IN)	STROKE (IN)	CLEVIS THICKNESS (IN)	MAXIMUM CLEVIS WIDTH (IN)	CLEVIS DEPTH (IN)	BEARING THICKNESS (IN)	MAXIMUM CYLINDER DIAMETER (IN)	WEIGHT (LB)	"A" (IN)	"B" (IN)	"C" (IN)	"D" (IN)	PLATE THICKNESS (IN)
55	17120	1.50	31.00	±3	1.67	4	3.25	1.31	4%	100	7.00±.12	5.00±.01	†	0.81±.01	1.50±.03
110	17130	2.00	39.25	±4	2.16	5	4.00	1.75	5%	215	11.12±.12	8.00±.01	†	1.25±.01	1.50±.03
165	17140	2.25	40.00	±4	2.31	6	5.10	1.97	7%	370	13.50±.12	10.00±.01	5.00±.01	1.12±.01	2.40±.03
220	17150	2.75	41.25	±4	2.78	7½	5.88	2.40	8%	560	16.50±.12	12.50±.01	6.25±.01	1.25±.01	3.00±.06
330	17160	3.00	43.50	±4	3.03	8	6.38	2.62	9%	675	17.00±.12	13.00±.01	6.50±.01	1.375±.01	3.00±.06
440	17170	3.50	53.00	±5	3.56	9	7.50	3.06	11%	1100	18.00±.12	13.50±.01	6.75±.01	1.50±.01	4.00±.06
675	17180	4.00	56.75	±5	4.60	11½	8.00	3.50	13%	1750	20.00±.12	16.00±.01	8.00±.01	1.63±.01	4.00±.06
900	17190	5.00	64.75	±5	5.56	12½	10.75	4.38	16%	2400	**	**	**	**	**
1450	17200	6.00	69.00	±5	6.06	13½	12.00	4.75	20%	4250	**	**	**	**	**
1800	17210	7.00	73.50	±5	7.00	16½	12.50	5.25	22%	5775	**	**	**	**	**

**Ilustración 26. Catálogo de Taylor - Disipadores**

La empresa proveedora de estos dispositivos es Taylor por medio de la empresa CDV representaciones en Perú. Esta empresa maneja un catálogo con una tabla con valores de fuerzas establecidas. Para determinar la fuerza del dispositivo a utilizar se obtienen las fuerzas axiales que actúan en todos los dispositivos, los cuales deberán ser menores a una determinada fuerza elegida del catálogo de Taylor.

**Tabla 36. Fuerza de los disipadores en la dirección X de la edificación**

Nivel	Disipador	Ica 2007 ( Tn )	Lima 1966 ( Tn )	Moquegua 2001 ( Tn )	Fuerza Desarrollada ( Tn )	Fuerza Desarrollada ( Kips )	Fuerza de Diseño ( Kip )
Story3	KX3	72.9875	69.4196	75.0385	69.4	152.7	165.0
Story3	KX4	74.4137	68.2234	75.3886	68.2	150.1	165.0
Story3	KX7	69.0818	70.8283	73.924	73.9	162.6	165.0
Story3	KX8	72.5771	69.7029	74.7302	74.7	164.4	165.0
Story3	KX10	77.8984	75.5419	80.6376	75.5	166.2	165.0
Story3	KX12	75.6636	70.703	78.7335	70.7	155.5	165.0
Story2	KX1	69.0104	63.2131	70.9349	70.9	156.1	165.0
Story2	KX2	69.7138	66.9687	71.0715	71.1	156.4	165.0
Story2	KX5	69.099	66.7626	71.3332	71.3	156.9	165.0
Story2	KX6	63.2583	66.289	68.404	68.4	150.5	165.0
Story2	KX9	72.5476	71.5395	75.1445	71.5	157.4	165.0
Story2	KX11	69.6572	64.8751	73.3423	73.3	161.4	165.0

**Tabla 37. Fuerza de los disipadores en la dirección Y de la edificación**

Nivel	Disipador	Ica 2007 ( Tn )	Lima 1966 ( Tn )	Moquegua 2001 ( Tn )	Fuerza Desarrollada ( Tn )	Fuerza Desarrollada ( Kips )	Fuerza de Diseño ( Kip )
Story3	KY10	65.0206	60.872	63.2653	65.0	143.0	165.0
Story3	KY12	67.0535	61.3339	67.0599	67.1	147.5	165.0
Story3	KY3	67.1391	64.6391	65.9482	67.1	147.7	165.0
Story3	KY4	63.6244	63.143	65.8864	65.9	145.0	165.0
Story3	KY7	63.1325	58.477	68.7647	68.8	151.3	165.0
Story3	KY8	83.3797	70.9671	77.7335	71.0	156.1	165.0
Story2	KY1	63.9245	66.3396	66.3263	66.3	145.9	165.0
Story2	KY2	65.7309	61.022	62.4479	65.7	144.6	165.0
Story2	KY5	66.1834	55.5659	64.1634	66.2	145.6	165.0
Story2	KY6	72.296	64.192	71.8049	72.3	159.1	165.0
Story2	KY9	64.3713	61.1683	64.3846	64.4	141.6	165.0
Story2	KY11	69.754	61.1917	67.4773	69.8	153.5	165.0

Finalmente, una vez extraídos todas las fuerzas axiales que actúan en los disipadores de fluido viscoso se determina como fuerzas axiales máximas de trabajo para cada eje una fuerza de 165 Kips.

**Tabla 38. Número de dispositivos por fuerza de trabajo**

Fuerza (Kips)	X	Y
165	12	12
<b>Total</b>	<b>24</b>	

#### 4.4.3.13 Máximo Stroke

Este parámetro se refiere a la deformación axial máxima que sufre cada uno de los disipadores, para lo cual la empresa CDV propone un valor límite de 50mm (5cm). Este requisito es indispensable para la fabricación de la cámara de acumulación siliconico y también requisito para poder adquirir los dispositivos.

**Tabla 39. Desplazamiento permitido por el fabricante (Máx. Stroke)**

Nivel	Disipador	Ica 2007 (mm)	Lima 1966 (mm)	Moquegua 2001 (mm)	Máximo Stroke (mm)	Stroke Permitido (mm)
Story3	KY10	18.1	15.1	15.4	18.1	50
Story3	KY12	19.4	15.0	16.7	19.4	50
Story3	KX3	15.3	18.5	16.0	18.5	50
Story3	KX4	16.7	18.4	16.8	18.4	50
Story3	KX7	14.9	22.3	15.9	22.3	50
Story3	KX8	15.7	21.3	16.7	21.3	50
Story3	KY3	18.9	17.1	16.2	18.9	50
Story3	KY4	18.0	19.7	18.2	19.7	50
Story3	KY7	17.0	13.4	15.5	17.0	50
Story3	KY8	20.7	15.9	22.8	22.8	50
Story3	KX10	17.8	23.4	18.7	23.4	50
Story3	KX12	17.1	21.7	18.2	21.7	50
Story2	KX1	15.0	16.5	15.2	16.5	50
Story2	KX2	13.9	16.1	14.6	16.1	50
Story2	KX5	14.9	20.2	15.6	20.2	50
Story2	KX6	12.8	19.1	14.0	19.1	50
Story2	KX9	15.5	19.8	16.3	19.8	50
Story2	KY1	17.4	21.2	17.6	21.2	50
Story2	KY2	16.3	18.2	14.7	18.2	50
Story2	KY5	13.8	14.7	16.4	16.4	50
Story2	KY6	22.1	14.5	19.3	22.1	50
Story2	KY9	15.3	16.4	16.0	16.4	50
Story2	KX11	15.2	19.2	16.2	19.2	50
Story2	KY11	15.8	14.8	17.5	17.5	50

Se observa que las deformaciones obtenidas son menores que las permitidas por el fabricante, por ende, se confirme la correcta eficiencia global de todos los disipadores.

## 4.5 Análisis de la edificación con aisladores de núcleo de plomo

### 4.5.1 Consideraciones Generales

#### 4.5.1.1 Requisitos generales de diseño del sistema de aislación

**Condiciones ambientales.** El sistema de aislamiento deberá prever, además de los requisitos para las cargas verticales y laterales inducidas por el viento y los terremotos, otras condiciones ambientales, incluidos los efectos del envejecimiento, la fluencia, la fatiga, la temperatura de funcionamiento y la exposición a la humedad o sustancias nocivas.

**Fuerzas de viento.** Las estructuras aisladas deben ser capaces de resistir cargas de viento en todos los pisos por encima de la interfaz de aislamiento. En la interfaz de aislamiento, se debe proporcionar un sistema de contención de viento para limitar el desplazamiento lateral en el sistema de aislamiento a un valor igual al requerido entre los pisos de la estructura sobre la interfaz de aislamiento de acuerdo a la deriva permitida.

**Resistente al fuego.** La resistencia al fuego para el sistema de aislamiento debe proporcionar al menos el mismo grado de protección que la resistencia al fuego requerida para las columnas, paredes u otros elementos con gravedad en la misma región de la estructura.

**Fuerza restauradora lateral.** El sistema de aislamiento debe configurarse, para el límite superior e inferior de las propiedades del sistema de aislamiento, para generar una fuerza de restauración tal que la fuerza lateral en el desplazamiento máximo correspondiente sea al menos 0.025 W mayor que la fuerza lateral al 50% del máximo correspondiente desplazamiento.

**Restricción de desplazamiento.** El sistema de aislamiento no debe configurarse para incluir una restricción de desplazamiento que limite el desplazamiento lateral causado por movimientos de terreno del terremoto de riesgo máximo considerado ( $MCE_R$ ) a menos del desplazamiento máximo total,  $D_{TM}$ , a menos que la estructura aislada sísmicamente esté diseñada de considerando todos los siguientes aspectos:

- La respuesta al sismo máximo esperado ( $MCE_R$ ) se calcula de acuerdo con los requisitos de análisis dinámico, considerando las propiedades no lineales del sistema de aislamiento y de la estructura sobre el sistema de aislamiento.
- La capacidad máxima de la interfaz de aislamiento y los elementos estructurales debajo de la interfaz de aislamiento deberá superar las demandas de desplazamiento y fuerza de la respuesta al sismo máximo esperado  $MCE_R$ .

- La estructura sobre la interfaz de aislamiento se corrobora para la demanda de estabilidad y ductilidad de la respuesta al sismo máximo esperado ( $MCE_R$ ).
- La restricción de desplazamiento no se hace efectiva en un desplazamiento inferior a 0,6 veces el desplazamiento máximo total.

**Estabilidad de carga vertical.** Los elementos de la interfaz de aislamiento se diseñarán para tener estabilidad bajo la carga vertical de diseño cuando esté sujeto a un desplazamiento horizontal igual al desplazamiento máximo total. La carga vertical de diseño debe computarse utilizando la combinación de carga 2 ( $1.5 D + 1.0 L + E_{MCE}$ ) para la carga máxima vertical y la combinación de carga 3 ( $0.9 D - E_{MCE}$ ) de la para la carga vertical mínima.

**Volcamiento.** El factor de seguridad contra el vuelco estructural global en la interfaz de aislamiento no debe ser inferior a 1.0 para las combinaciones de carga requeridas. Se investigarán todas las condiciones de gravedad y carga sísmica. Las fuerzas sísmicas para los cálculos de vuelco se basarán en movimientos de suelo  $MCE_R$ , y  $W$  se utilizará para la fuerza de restauración vertical. No se permitirá el levantamiento local de elementos individuales a menos que las deflexiones resultantes no causen sobrecarga o inestabilidad de las unidades aislantes u otros elementos estructurales.

#### 4.5.1.2 Factores de modificación de Propiedades del sistema de aislación

En el ASCE/SEI 7 (ASCE, 2017) el cálculo se realiza tomando en cuenta factores de modificación de propiedades para obtener valores “límite” máximos y mínimos, los cuales se tomaron iguales tanto para los aisladores de goma como para los aisladores con núcleo central de goma, como sigue:

$$\lambda_{m\acute{a}x} = \left( 1 + \left( 0.75 \times (\lambda_{(ae,m\acute{a}x)}) \right) \right) \times \lambda_{(test,m\acute{a}x)} \times \lambda_{(spec,m\acute{a}x)} \geq 1.8$$

$$\lambda_{m\acute{i}n} = \left( 1 + \left( 0.75 \times (\lambda_{(ae,m\acute{i}n)}) \right) \right) \times \lambda_{(test,m\acute{i}n)} \times \lambda_{(spec,m\acute{i}n)} \leq 0.6$$

Donde,

$\lambda_{(ae,m\acute{a}x)}$ : factor de modificación de propiedad usado para calcular el valor máximo de la propiedad del aislador de interés, usado para tomar en cuenta los efectos del envejecimiento y condiciones del entorno.

$\lambda_{(ae,min)}$ : factor de modificación de propiedad usado para calcular el valor mínimo de la propiedad del aislador de interés, usado para tomar en cuenta los efectos del envejecimiento y condiciones del entorno.

$\lambda_{(test,máx)}$ : factor de modificación de propiedad usado para calcular el valor máximo de la propiedad del aislador de interés, usado para tomar en cuenta el calentamiento, tasa de carga y torcedura.

$\lambda_{(test,min)}$ : factor de modificación de propiedad usado para calcular el valor mínimo de la propiedad del aislador de interés, usado para tomar en cuenta el calentamiento, tasa de carga y torcedura.

$\lambda_{(spec,máx)}$ : factor de modificación de propiedad usado para calcular el valor máximo de la propiedad del aislador de interés, usado para tomar en cuenta las variaciones permisibles de fabricación sobre las propiedades promedio de un grupo del mismo tamaño de aisladores.

$\lambda_{(spec,min)}$ : factor de modificación de propiedad usado para calcular el valor máximo de la propiedad del aislador de interés, usado para tomar en cuenta las variaciones permisibles de fabricación sobre las propiedades promedio de un grupo del mismo tamaño de aisladores.

#### **4.5.1.3 Análisis sísmico**

La norma de Diseño Sismoresistente E.030 (2018), exige que las nuevas edificaciones de categoría A1 tendrán aislamiento sísmico en la base cuando se encuentren en las zonas sísmicas 4 y 3, teniendo en cuenta, se debe cumplir con los requisitos de mínima fuerza cortante en la base y distorsión de entrepiso máxima permisible especificados en dicha norma. Además, se debe cumplir en la medida de en qué sea aplicable los requisitos mínimos de:

“Minimum Design Loads for Building and Other Structures”, ASCE/SEI 7-10, Structural Engineering Institute of the American Society of Civil Engineers, Reston, Virginia, USA, 2010.

El ASCE/SEI 7 ha actualizado su procedimiento de diseño con respecto a edificios con aislamiento en la base. El principal cambio es analizar un comportamiento con propiedades en el límite superior y otro en el límite inferior, por medio de factores de modificación de las propiedades que toman en cuenta los efectos del envejecimiento y condiciones del entorno, la tasa de carga y calor, y la variación de fabricación en las en las propiedades promedio de un grupo de aisladores. Además, se ha dejado de utilizar directamente el sismo de diseño (que representa el límite inferior de probabilidad de riesgo de colapso estructural del espectro MCE) para utilizar sólo el sismo considerado máximo en todas las etapas de análisis y verificación.

Se ha tomado en cuenta los mismos parámetros sísmicos utilizados en el análisis de la edificación disipada, que son los siguientes:

<b>Factor de Zona "Z<sub>DBE</sub>":</b>	0.45 g
<b>Factor de Zona "Z<sub>MCE</sub>":</b>	0.675 g (1.5 Z <sub>DBE</sub> )
<b>Factor de Uso "U":</b>	1.5
<b>Tipo de Suelo "S2"</b>	
<b>Factor de suelo "S":</b>	1.05
<b>Periodo "p" del suelo "T<sub>p</sub>":</b>	0.6
<b>Periodo "I" del suelo "T<sub>I</sub>":</b>	2
<b>Coefficiente de reducción "R" sin aislamiento:</b>	6 (Muros estructurales)
<b>Coefficiente de reducción "R" en la superestructura:</b>	(Mínimo valor entre 2.0. y 3/8.R)
<b>Coefficiente de reducción "R" en subestructura:</b>	1
<b>Porcentaje de participación de carga viva:</b>	50.00%

Los análisis para edificaciones aisladas están dados por el ASCE 7-16. Este documento describe los procedimientos de análisis estático como el de “Fuerza Lateral Equivalente”, así como dinámicos “Respuesta Espectral” y “Respuesta Tiempo- Historia”.

#### 4.5.1.4 Pre diseño del sistema de aislamiento

Para iniciar con el pre-diseño de la interfaz de aislamiento se procede a establecer un periodo objetivo (T<sub>D</sub>) alejado del periodo de la edificación con base fija con el objetivo de que la estructura se enfrente a aceleraciones considerablemente bajas. Para ello, de acuerdo a los especialistas y en base a diversas investigaciones se recomienda establecer el periodo objetivo a 3 o 4 veces el periodo de la edificación con base fija. Además, se debe escoger un amortiguamiento que se espera alcance el sistema de aislamiento, el cual de acuerdo a diversas investigaciones se recomienda utilizar entre un 15 a 20% para los primeros análisis cuando se emplea aisladores de núcleo de plomo (LRB).

Para ésta edificación de análisis se consiguió un amortiguamiento efectivo de 13.3% y un periodo objetivo de 2.8 segundos después de varias iteraciones. Luego, empleando un modelo de un grado de libertad se obtiene la rigidez horizontal de la interfaz de aislamiento y de un aislador para realizar los primeros cálculos.

Se calcula la masa del primer piso  $m_b$  y de la superestructura  $m_s$ , obteniendo:

$$m_s = 323.82 \text{ ton. s}^2/m$$

$$m_b = 57.11 \text{ ton. s}^2/m$$

$$m_s + m_b = 380.94 \text{ ton. s}^2/m$$

Luego se calcula la rigidez total del sistema de aislamiento:

$$K_{HTOTAL} = \frac{4\pi^2 \times (Ms + Mb)}{T}$$

$$K_{HTOTAL} = \frac{4 \times \pi^2 \times 380.94}{2.8} = 1918.2 \text{ Tn/m}$$

Inicialmente se puede se puede determinar un valor individual idéntico para todos los aisladores, a pesar que cada uno de los ejemplares tiene una rigidez diferente. Para determinar el valor de la rigidez del aislador se divide la rigidez total del sistema de aislamiento entre la cantidad de aisladores utilizados (N=34 para esta edificación):

$$K_H = \frac{K_{HTOTAL}}{N} = 56.42 \text{ Tn/m}$$

#### 4.5.1.5 Procedimiento para el Sismo Máximo Esperado

Este procedimiento es utilizado para establecer la ubicación en planta y los tipos de dispositivos que se emplearán en la interfaz de aislamiento. También, los elementos estructurales de la edificación serán diseñados con las fuerzas y desplazamientos que se obtengan de este análisis. Además, se verificará la fuerza de restauración del sistema ante este nivel de sismo.

Se recomienda utilizar el siguiente procedimiento para tener en cuenta la variación que puede sufrir de las propiedades nominales de los dispositivos (Ver acápite 4.5.1.2):

- Desarrollar, con el amortiguamiento asumido y la mínima rigidez de los dispositivos, el primer análisis modal espectral con el fin de conocer el diagrama bilineal global de la interfaz de aislamiento en el caso “lower bound”.
- Estimar el amortiguamiento debido a la rigidez máxima con el diagrama bilineal, teniendo en cuenta que las rigideces K1 y K2 no varían.
- Desarrollar el análisis estático y el análisis dinámico modal - espectral “upper bound” y “lower bound” corroborando que se cumplan todos los requerimientos del código.
- Determinar los parámetros de diseño mediante el análisis tiempo-historia.

Aunque, se puede considerar una tolerancia en la rigidez efectiva nominal de  $\pm 10\%$  ( $KD_{max} = 1.25KD_{min}$ ) utilizando solo el análisis “lower bound”, debido a que de este análisis se obtiene los mayores desplazamientos y las mayores fuerzas. Finalmente, los ensayos de los dispositivos corroborarán la rigidez nominal obtenida en el diseño.

#### 4.5.2 Análisis de fuerza lateral equivalente

El análisis de la fuerza lateral equivalente se permite ser usado en el diseño de una estructura aisladas sísmicamente, cuando todos los siguientes ítems sean satisfechos. Estos requerimientos deberán evaluarse de forma separada para las propiedades de los dispositivos del sistema de aislación tanto para el límite superior como el inferior.

1. Que la estructura esté ubicada sobre una Clase de Sitio A, B, C, o D.
2. Que el periodo efectivo de la estructura aislada en el desplazamiento máximo,  $D_M$ , sea menor o igual a 5.0 segundos.
3. Que la estructura sobre la interface de aislación sea menor que o igual que cuatro pisos o 65 pisos (19.8 metros) en altura estructural medida desde el nivel de la base. Excepción: estos límites se permiten que se excedan si no hay tensión o levantamiento de los aisladores.
4. Que la relación de amortiguamiento efectivo del sistema de aislamiento en el máximo desplazamiento,  $D_M$ , sea menor que o igual al 30%.
5. Que el periodo efectivo de la estructura aislada,  $T_M$ , sea mayor que tres veces el periodo elástico con base fija de la estructura por encima del sistema de aislación, determinado usando un análisis modal racional.
6. Que la estructura sobre el sistema de aislación no tenga una irregularidad estructural. Las irregularidades a considerar son del Tipo 1b en planta (irregularidad torsional extrema), del Tipo 1b y 1b en altura (irregularidades de piso suave o rigidez, y del tipo extremo), del tipo 5a y 5b en altura (irregularidad de piso débil por discontinuidad en la resistencia lateral, y del tipo extremo).
7. Que el sistema de aislación reúna todos los requisitos siguientes: (a) que la rigidez efectiva de la interfaz de aislación en el máximo desplazamiento sea mayor que 1/3 de la rigidez efectiva en el 20% del desplazamiento máximo; (b) que la interfaz de aislación sea la necesaria para producir la fuerza de restauración; y (c) que la interfaz de aislamiento no limite el desplazamiento sísmico máximo a menos que el desplazamiento total máximo,  $D_{TM}$ .

Para iniciar con el procedimiento se deben asumir valores para los periodos y relaciones de amortiguamiento. Los valores “asumidos” para el periodo y amortiguamiento efectivo tomando en cuenta las propiedades con valores máximos y mínimos son  $T_{min}=2.80s$  y, y  $\beta_{min}=13.30\%$ . Los coeficientes de amortiguamiento son  $B_{min}=1.33$ .

#### 4.5.2.1 Desplazamiento Máximo

El desplazamiento máximo para las propiedades en límite superior e inferior se calcula según la ecuación:

$$D_M = \frac{g \cdot S_{M1} \cdot T_M^2}{4\pi^2 B_M}$$

$$D_{M,Inferior} = \frac{9.81 \times 0.2712 \times 2.8^2}{4\pi^2 \times 1.33} = 0.392 \text{ m}$$

donde,

$g$  = aceleración debido a la gravedad.

$S_{M1} = 1.5$  ZCS  $g$ , parámetro de aceleración espectral para el sismo considerado máximo, adaptado para los parámetros de la norma peruana E030, donde  $C=1$ , debido a que, no existe coeficiente de aceleración sísmica para los periodos propios de la aislación.

En el pre-diseño de los dispositivos de aislación se requiere un aislador de 60cm de diámetro con 8cm de núcleo de plomo, el cual tiene una altura efectiva de goma de 252 mm, por lo tanto, las deformaciones por corte para el límite inferior son 161%, tomando en cuenta los desplazamientos previamente encontrados. En la Tabla 40 se resumen las propiedades, tanto para un análisis lineal como no lineal, por cada tipo de deslizador y aislador. El procedimiento de cálculo de las propiedades del aislador se verá en los anexos.

**Tabla 40. Resumen de propiedades obtenidas para cada tipo de aislador utilizado, del análisis preliminar**

<b>Propiedades Lineales</b>			
Rigidez Vertical (U1)	=	101683.2	Tn/m
Rigidez Efectiva (U2, U3)	=	61.3	Tn/m
Amortiguamiento Efectivo (U2, U3)	=	3.7	Tn-s/m
<b>Propiedades No - Lineales</b>			
Rigidez Horizontal (U1, U2)	=	486.43	Tn/m
Resistencia a la fluencia	=	5.74	Tn/m
Relación de rigidez post - fluencia	=	0.100	

Para el proceso de optimización se van iterando los valores de los periodos y amortiguamientos efectivos, hasta que coincidan los “asumidos” con los calculados de acuerdo a lo siguiente: el periodo efectivo de la edificación aislada,  $T_M$ , calculado en el desplazamiento máximo deberá determinarse según la ecuación:

$$T_M = 2\pi \sqrt{\frac{W}{k_M \cdot g}}$$

$$T_{M,inferior} = 2\pi \sqrt{\frac{3737.0}{1918.2 \times 9.81}} = 2.81 \text{ s}$$

donde,

$k_M$  = rigidez total del sistema.

y la relación de amortiguamiento del sistema se calcula según la ecuación (4.5):

$$\beta_M = \frac{E_M}{2\pi k_M \cdot D_M^2}$$

$$\beta_{M,inferior} = \frac{7.764}{2\pi(1918.2) \cdot (0.398)^2} = 13.30\%$$

donde,

$E_M$  = energía total por ciclo del sistema.

Los valores calculados para los periodos y relaciones de amortiguamiento nos indican que los valores inicialmente “asumidos” son los correctos.

#### 4.5.2.2 Desplazamiento Total Máximo

Además de los desplazamientos máximos se deberán de calcular los desplazamientos totales máximos del sistema de aislamiento, que deberán considerar los desplazamientos adicionales causados por la torsión real y la adicional a partir de la distribución de la rigidez lateral del sistema de aislación y la posición en mayor desventaja de la masa excéntrica. El desplazamiento total máximo,  $D_{TM}$ , del sistema de aislación no se deberá de tomar menor que el que se obtiene con la ecuación:

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

$$D_{TM,inferior} = 0.398 \left[ 1 + \left( \frac{24.35}{1^2} \right) \frac{12 \times 2.44}{13.80^2 + 48.7^2} \right] = 0.49m$$

Donde,

- $y = 22.50$  m, distancia entre los centros de rigidez del sistema de aislación y del elemento de interés medido perpendicular a la dirección de la carga sísmica en consideración.
- $e = 2.44$  m, excentricidad real medida en planta entre el centro de masa de la estructura por encima de la interface de aislación y el centro de rigidez del sistema de aislación, más la excentricidad accidental tomada como el 5% de la dimensión en planta más larga de la estructura perpendicular a la dirección de la fuerza en consideración.
- $b = 13.80$  m, la dimensión en planta más corta de la estructura medida perpendicular a  $d$ .
- $d = 48.70$  m, la dimensión en planta más larga.
- $P_T = 1$ , relación del periodo de traslación efectivo del sistema de aislación al periodo torsional efectivo del sistema de aislación, calculado por un análisis dinámico, o de acuerdo a la ecuación (17.5-4) del ASCE/SEI 7, pero no debe tomarse menor que 1.0.

El desplazamiento total máximo no deberá tomarse menor que 1.15 veces el desplazamiento máximo. Para este ejemplo se cumple esta condición:

$$\frac{D_{TM,inferior}}{D_{M,inferior}} = 1.24$$

#### 4.5.2.3 Elementos Estructurales por Debajo del Nivel Base

El sistema de aislación, la cimentación, y todos los elementos estructurales por debajo del nivel de base deberán diseñarse y construirse para mantener una fuerza sísmica mínima lateral,  $V_b$ , usando todos los requerimientos aplicables para una estructura no aislada. La fuerza sísmica mínima lateral se calcula con la ecuación:

$$V_b = k_M D_M$$

$$V_{b,inferior} = 3737.0 \times 0.398 = 763.22 \text{ Tn}$$

$$V_{b,superior} = 1.25 k_M D_M = 1.25 \times 3737.0 \times 0.398 = 954.02 \text{ Tn}$$

$V_b$  no deberá tomarse menor que la fuerza máxima en el sistema de aislación en cualquier desplazamiento hasta e incluyendo el desplazamiento máximo  $D_M$ . Las cargas de volteo sobre los elementos del sistema de aislación, la cimentación, y elementos estructurales por debajo del nivel de base causadas por la fuerza lateral sísmica  $V_d$  deberán estar basadas en la distribución de la fuerza en altura, excepto que la fuerza lateral de diseño sísmico no reducida  $V_{st}$  deberá usarse en lugar de  $V_s$  en la ecuación.

#### 4.5.2.4 Elementos Estructurales por Encima del Nivel Base

La estructura por encima del nivel base deberá diseñarse y construirse usando todos los requerimientos aplicables a estructuras no aisladas para una fuerza cortante mínima,  $V_s$ , determinada por la ecuación (4.8) y (4.9):

$$V_{st} = V_b \left( \frac{W_s}{W} \right)^{(1-2.5B_M)}$$

$$V_{st,inferior} = 763.22 \left( \frac{3176.686}{3737.0} \right)^{(1-2.5 \times 0.133)} = 684.79 \text{ Tn}$$

$$V_{st,superior} = 954.02 \left( \frac{3176.686}{3737.0} \right)^{(1-2.5 \times 0.133)} = 855.99 \text{ Tn}$$

Luego se obtiene  $V_s$ :

$$V_s = \frac{V_{st}}{R_I}$$

$$V_{s,inferior} = \frac{684.79}{2} = 342.4 \text{ Tn}$$

$$Coef_{s, inferior} = \frac{V_{s,inferior}}{W} = 0.0916$$

Y

$$V_{s,superior} = \frac{855.99}{2} = 427.99 \text{ Tn}$$

$$Coef_{s, superior} = \frac{V_{s,superior}}{W} = 0.1145$$

Donde,  $W$  es el peso efectivo sísmico de la estructura por encima de la interface de aislamiento, igual a 3737.0 Ton-f; y  $W_s$  es el peso efectivo sísmico excluyendo el peso del nivel de la base, igual a 3176.69 Ton-f. El peso efectivo sísmico  $W_s$  deberá tomarse igual a  $W$  cuando

la distancia promedio desde la parte superior del aislador al lado inferior del entramado de piso del nivel base por encima del aislador exceda de 3 pies (0.9 metros).

Para sistemas de aislación cuyo comportamiento histerético esté caracterizado por una abrupta transición desde el comportamiento pre-fluencia a la post-fluencia o pre-deslizamiento, el término del exponente  $(1-2.5\beta_M)$  en el cálculo de  $V_{st}$  deberá ser reemplazado con  $(1-3.5\beta_M)$ .

$R_I$  es el coeficiente numérico relacionado al tipo de sistema resistente a la fuerza sísmica usado para la estructura por encima del nivel base en la dirección de interés y deberá ser igual a tres octavos el valor de  $R$  (coeficiente de reducción de la fuerza sísmica), con un valor máximo no mayor a 2.0 y un valor mínimo no menor que 1.0. El valor de  $R_I$  puede tomarse mayor que 2.0, siempre que la resistencia de la estructura por encima del nivel base en la dirección de interés, cuando se determine por un análisis estático no lineal en un desplazamiento del techo correspondiente a una deriva máxima de piso menor al de la deriva  $MCE_R$  o  $0.015 h_{sx}$ , no sea menor que 1.1 veces  $V_b$ .

#### 4.5.2.5 Límites para $V_s$

El valor de  $V_s$  no deberá tomarse menor que cada uno de los siguientes ítems:

1. Que la fuerza sísmica lateral requerido para estructuras con base fija del mismo peso sísmico efectivo,  $W_s$ , y un periodo igual al periodo del sistema de aislamiento usando las propiedades en el límite superior.
2. Que la fuerza cortante correspondiente a la carga factorada de viento de diseño.
3. Que la fuerza sísmica lateral,  $V_{st}$ , calculada usando la ecuación (4.9), y con  $V_b$  establecido igual a la fuerza requerida para activar completamente el sistema de aislación utilizando el mayor de propiedades en el límite superior, o:
  - a. 1.5 veces las propiedades nominales para el nivel de fluencia de un sistema ablandado,
  - b. la capacidad última de un sistema de sacrificio resistente a viento,
  - c. la fuerza de fricción de separación de un sistema deslizable,
  - d. la fuerza en cero desplazamientos de un sistema deslizable siguiendo un ciclo dinámico completo de movimiento en  $D_M$ .

#### 4.5.2.6 Distribución de la Fuerza Vertical

La fuerza sísmica lateral  $V_s$  deberá distribuirse sobre la altura de la estructura por encima del nivel de base, usando las propiedades en los límites superior e inferior de las propiedades, por medio de las siguientes ecuaciones:

$$F_1 = \frac{(V_b - V_{st})}{R_I}, \quad F_x = C_{vx} V_s$$

$$C_{vx} = \frac{W_x h_x^k}{\sum_{i=2}^n W_i h_i^k}$$

$$k = 14\beta_M T_{fb}$$

- $F_1$  = fuerza lateral sísmica inducida en el nivel 1, el nivel base.
- $F_x$  = fuerza lateral sísmica inducida en el nivel  $x$ ,  $x > 1$ .
- $C_{vx}$  = factor de distribución vertical.
- $W_i, W_x$  = porción de  $W_s$  que está localizada en o asignada el nivel  $i$  o  $x$ .
- $h_i, h_x$  = altura sobre la interface de aislación del nivel  $i$  o  $x$ .
- $T_{fd}$  = periodo fundamental de la estructura por encima de la superficie de aislación determinada usando un análisis modal racional asumiendo condiciones de base fija.

En lugar de las ecuaciones presentadas anteriormente, la fuerza sísmica lateral  $F_x$  se permite calcular como el valor promedio de la fuerza en el nivel  $x$  en la dirección de interés usando los resultados de un modelo barra (stick) simplificado del edificio y una representación concentrada (lumped) del sistema de aislación usando un análisis historia de respuesta escalado a  $V_b/RI$  en el nivel base.

En la Tabla 41 se encuentra la distribución de la fuerza vertical para el análisis estático.

**Tabla 41. Distribución de la fuerza vertical**

Piso	Altura	Masa	H x M	Coef	Fi
Azotea	17.25	1.7	14	0.009	3.1
4	14.00	60.7	434	0.281	96.1
3	10.50	88.4	509	0.330	112.9
2	7.00	85.9	366	0.237	81.1
1	3.50	87.2	222	0.144	49.2
<b>Total</b>		<b>323.91</b>	<b>1544.5</b>	<b>1</b>	<b>342.4</b>
Aislam.					39.2
<b>Total</b>					<b>381.6</b>

#### 4.5.2.7 Límite de las Derivas

La deriva máxima de piso de la estructura por encima del sistema de aislación no deberá exceder de  $0.015 h_{sx}$ . La deriva deberá ser calculada con un factor de amplificación de deflexiones,  $C_d$ , igual a  $R_I$ .

#### 4.5.2.8 Ingreso de Parámetros en el Etabs y Resultados Obtenidos para el Procedimiento de Fuerzas Laterales Equivalentes

Con los datos de la Tabla 40 se asignan las propiedades a los aisladores a utilizar en el programa. En la Tabla 40. Resumen de propiedades obtenidas para cada tipo de aislador utilizado, del análisis preliminar se muestran los formularios del Etabs con los parámetros de definición de los aisladores.

En la Ilustración 28 se presentan las fuerzas distribuidas a cada nivel y el formulario de ingreso de estas fuerzas al programa Etabs.

En la Ilustración 29 se muestran los desplazamientos obtenidos en el Etabs y los “reales” (desplazamientos del Etabs multiplicados por  $C_d$ ) así como las derivas de entrepiso, tanto para el límite superior como el inferior. Los valores de las derivas están por debajo a 0.015, por tanto, el diseño es satisfactorio. La deformación por corte en los aisladores es de 189.9%, valores por debajo del límite aceptable que se considera como de 250%, se deberá hacer una comprobación para todos los aisladores

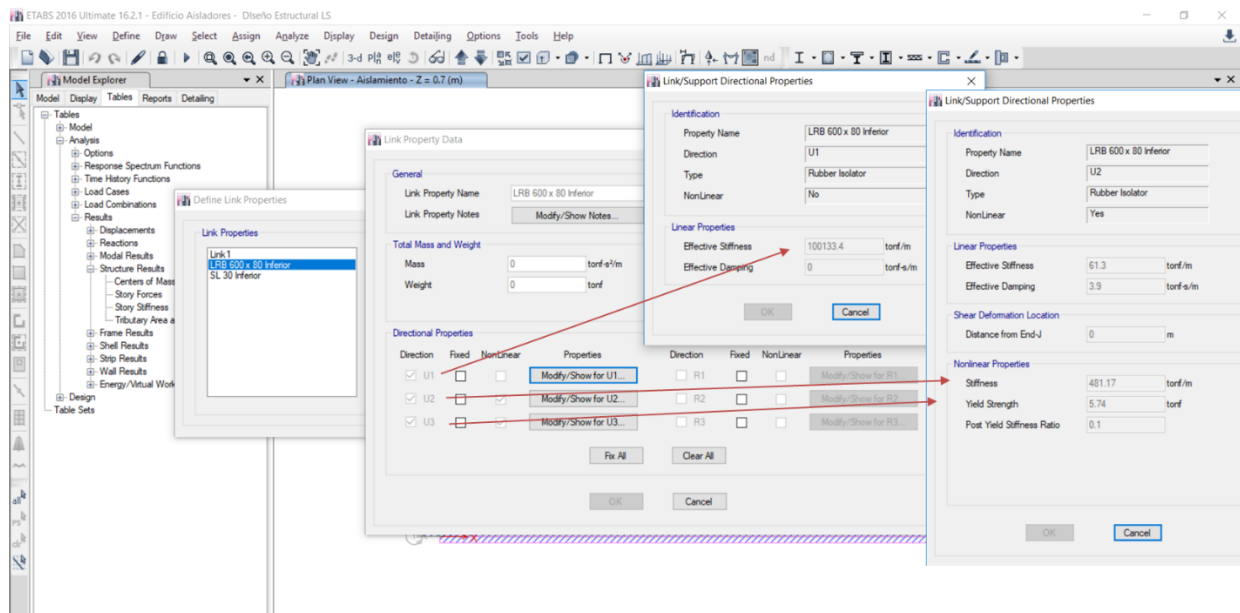


Ilustración 27. Asignación de parámetros para el aislador

User Seismic Loads on Diaphragms

Number of Load Sets: 1

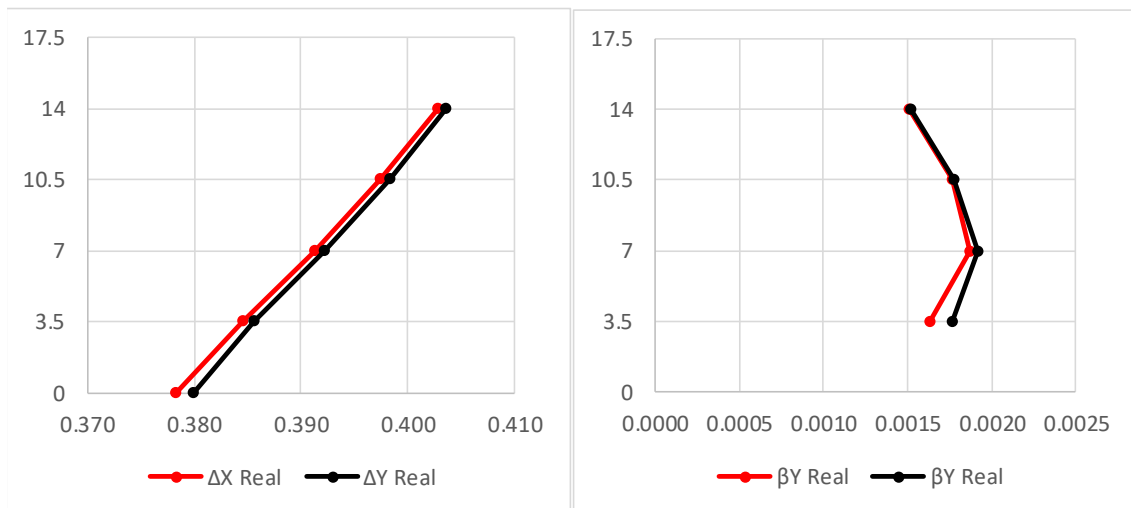
Load Set 1 of 1

Story	Diaphragm	Fx tonf	Fy tonf	Mz tonf-m
Story5	D5	3	3	0
Story4	D4	95.6	95.6	0
Story3	D3	114.7	114.7	0
Story2	D2	84.8	84.8	0
Story1	D1	54.1	54.1	0
Aislamiento	Aislamiento	42.4	42.4	0

**Ilustración 28. Asignación de fuerzas laterales aplicadas a los diafragmas del análisis por la fuerza lateral equivalente, en el límite superior.**

#### 4.5.2.9 Resultados del análisis estático equivalente

Nivel	H	$\Delta X$	$\Delta Y$	$\Delta X$ Real	$\Delta Y$ Real	$\beta Y$ Real	$\beta Y$ Real
Story4	3.500	0.201	0.202	0.403	0.404	0.0015	0.0015
Story3	3.500	0.199	0.199	0.397	0.398	0.0018	0.0018
Story2	3.500	0.196	0.196	0.391	0.392	0.0019	0.0019
Story1	3.500	0.192	0.193	0.385	0.386	0.0018	0.0016
Aislam.	0.200	0.189	0.190	0.378	0.380	1.8916	1.8993



**Ilustración 29. Desplazamientos máximos y derivas máximas en centros de masa de diafragmas de piso (calculados y reales), del análisis por fuerzas laterales equivalentes**

En la

Tabla 42 se resumen los desplazamientos y deformaciones para cada aislador, se puede constatar que las deformaciones por corte están por debajo del límite asumido de 250%.

**Tabla 42. Resumen de desplazamientos y deformaciones por corte en los aisladores**

Aislador	Desp. ETABS		Desp. Real		Deformación por corte	
	UX	UY	UX	UY	UX	UY
1	0.194	0.167	0.389	0.335	194.3%	167.4%
2	0.194	0.172	0.389	0.344	194.5%	172.2%
42	0.190	0.167	0.379	0.335	189.6%	167.4%
43	0.191	0.172	0.381	0.344	190.7%	172.2%
90	0.184	0.167	0.369	0.335	184.4%	167.3%
103	0.185	0.172	0.369	0.344	184.7%	172.1%
195	0.194	0.177	0.389	0.354	194.4%	177.0%
201	0.190	0.177	0.379	0.354	189.7%	177.1%
223	0.185	0.177	0.369	0.354	184.7%	177.0%
238	0.194	0.182	0.389	0.364	194.4%	181.9%
242	0.184	0.182	0.368	0.364	183.9%	181.9%
243	0.187	0.182	0.374	0.365	187.2%	182.4%
252	0.190	0.182	0.380	0.364	190.1%	182.1%
291	0.194	0.187	0.389	0.374	194.5%	186.8%
294	0.184	0.187	0.369	0.375	184.3%	187.3%
295	0.187	0.187	0.375	0.374	187.3%	186.9%
297	0.190	0.187	0.380	0.374	190.0%	186.9%
347	0.194	0.211	0.389	0.422	194.3%	211.1%
348	0.195	0.206	0.389	0.413	194.5%	206.4%
349	0.194	0.202	0.389	0.403	194.4%	201.5%
350	0.194	0.197	0.389	0.393	194.4%	196.6%
351	0.194	0.192	0.389	0.383	194.5%	191.7%
368	0.184	0.197	0.369	0.393	184.4%	196.7%
369	0.184	0.192	0.368	0.384	183.8%	191.9%
370	0.187	0.197	0.375	0.394	187.3%	196.8%
371	0.187	0.192	0.374	0.384	187.1%	192.0%
380	0.190	0.211	0.379	0.422	189.6%	211.2%
381	0.191	0.206	0.381	0.413	190.7%	206.5%
382	0.190	0.202	0.379	0.403	189.7%	201.6%
383	0.190	0.197	0.380	0.393	190.1%	196.7%
384	0.190	0.192	0.380	0.384	190.1%	191.8%
433	0.184	0.211	0.369	0.422	184.4%	211.0%
446	0.185	0.206	0.369	0.413	184.7%	206.3%
483	0.185	0.201	0.369	0.403	184.6%	201.4%
Máximo	0.195	0.211	0.389	0.422	195%	211%
Mínimo	0.184	0.167	0.368	0.335	184%	167%

**Tabla 43. Resumen de la fuerza máxima y levantamiento en los aisladores**

Aislador	Fuerza		Levantamiento	
	Max (Tn)	Min (Tn)	Max (mm)	Min (mm)
1	108.1	95.0	-0.64	-0.56
2	118.8	71.9	-0.70	-0.42
42	170.7	134.2	-1.00	-0.79
43	136.4	66.3	-0.92	-0.45
90	266.8	111.9	-1.57	-0.66
103	259.3	83.3	-1.52	-0.49
195	124.6	78.0	-0.73	-0.46
201	238.3	86.5	-1.40	-0.51
223	265.1	99.8	-1.56	-0.59
238	123.3	85.6	-0.72	-0.50
242	182.0	114.6	-1.07	-0.67
243	23.5	156.7	-0.14	-0.92
252	114.4	87.5	-0.77	-0.59
291	124.2	74.0	-0.73	-0.44
294	259.4	-44.8	-1.52	0.26
295	200.5	-10.2	-1.18	0.06
297	127.9	61.7	-0.86	-0.42
347	139.5	71.2	-0.82	-0.42
348	112.7	79.9	-0.66	-0.47
349	123.2	81.9	-0.72	-0.48
350	129.2	80.5	-0.76	-0.47
351	115.3	82.2	-0.68	-0.48
368	319.3	-57.9	-1.88	0.34
369	284.5	1.5	-1.67	-0.01
370	73.4	111.6	-0.43	-0.66
371	89.6	141.6	-0.53	-0.83
380	241.3	78.1	-1.42	-0.46
381	131.8	71.9	-0.89	-0.49
382	194.4	128.9	-1.14	-0.76
383	85.5	94.3	-0.58	-0.64
384	107.3	83.0	-0.73	-0.56
433	296.6	81.0	-1.74	-0.48
446	254.0	86.5	-1.49	-0.51
483	277.1	89.3	-1.63	-0.53
Máximo	319.3	156.7	-0.138	0.340
Mínimo	23.5	-57.9	-1.875	-0.920

Combinación (min): 1.5 D + 1 L + 1 QMCE

Combinación (máx): 0.8 D - QMCE

En la Tabla 43 se presentan las fuerzas de diseño para el aislador y el posible levantamiento de las unidades. El riesgo de levantamiento es mínimo, alcanzando unos 0.34mm como máximo.

### **4.5.3 Requerimientos para los Procedimientos de Análisis Dinámico**

#### **4.5.3.1 Sistema de Aislación**

El sistema de aislamiento deberá ser modelado usando características de deformación desarrollados en concordancia con la Sección 17.2.8 del ASCE 7 (Propiedades del sistema de aislamiento). Los desplazamientos y fuerzas laterales deberán calcularse de forma separada tanto para las propiedades del sistema de aislamiento en el límite superior como en el inferior. El sistema de aislamiento deberá modelarse con suficiente detalle para capturar todo lo siguiente:

1. Distribución espacial del sistema de aislamiento.
2. Traslación, en ambas direcciones horizontales, y torsión de la superestructura sobre la interface de aislamiento considerando la ubicación más desventajosa de la masa excéntrica.
3. Volteo y fuerzas de levantamiento sobre las unidades individuales de aislamiento.
4. Efectos de la carga vertical, carga bilateral, y/o tasa de carga si las propiedades fuerza-deflexión del sistema de aislamiento sean dependientes de uno o más de estos atributos.

El desplazamiento total máximo,  $D_{TM}$ , a través del sistema de aislamiento deberá calcularse usando un modelo de la estructura aislada que incorpore las características fuerza-deflexión de los elementos no lineales del sistema de aislamiento y del sistema resistente a la fuerza sísmica.

#### **4.5.3.2 Estructura Aislada**

El desplazamiento máximo de cada piso y las fuerzas de diseño y desplazamientos en los elementos del sistema resistente a la fuerza sísmica, se permite que sean calculados usando un modelo lineal elástico de la estructura aislada siempre que todos los elementos del sistema resistente a la fuerza sísmica de la estructura por encima del sistema de aislamiento se mantengan esencialmente elásticas. Los sistemas resistentes a la fuerza sísmica con elementos esencialmente elásticos incluyen, pero no están limitados a, sistemas estructurales regulares diseñados para una fuerza lateral no menor que el 100% de  $V_s$ . El análisis del sistema de aislamiento y la estructura deberán ser desarrollados por separado para las propiedades límite superior e inferior, y el caso que gobierna cada parámetro de respuesta de interés deberá ser usado para el diseño.

#### 4.5.4 Desplazamientos y Fuerzas Laterales Mínimas en los Procedimientos de Análisis Dinámicos

##### 4.5.4.1 Sistema de Aislación y Elementos Estructurales por Debajo del Nivel Base

El sistema de aislación, la cimentación, y todos los elementos estructurales por debajo del nivel base deberán ser diseñados usando todos los requerimientos aplicables para estructuras no aisladas y las fuerzas obtenidos a partir de los análisis dinámicos sin reducción, pero la fuerza lateral de diseño no deberá tomarse menor que el 90% de  $V_b$  obtenido por la ecuación (4.7).

El desplazamiento total máximo del sistema de aislación no deberá tomarse menor que el 80% de  $D_{TM}$  obtenido según la ecuación (4.6), excepto que está permitido usar  $D'_M$  en lugar de  $D_M$  donde:

$$D'_M = \frac{D_M}{\sqrt{1 + \left(\frac{T}{T_M}\right)^2}}$$

donde,

- $D_M$  = desplazamiento máximo en el centro de rigidez del sistema de aislación en la dirección en consideración
- $T$  = periodo elástico de base fija, de la estructura por debajo del sistema de aislación, cumpliendo los requisitos de estructuras convencionales.
- $T_M$  = periodo efectivo de la estructura sísmicamente aislada en el desplazamiento  $D_M$  en la dirección en consideración.

##### 4.5.4.2 Elementos Estructurales por Encima del Nivel Base

Los elementos estructurales por encima del nivel base deberán ser diseñados usando los requerimientos aplicables para una estructura no aislada y las fuerzas obtenidas del análisis dinámico reducidas por el factor  $R_I$ .

Para el análisis espectro de respuesta, la cortante de diseño en cualquier piso no deberá ser menor que la cortante de piso resultante de la aplicación de fuerzas ( $F_x$ ) y un valor de  $V_b$  igual a la cortante en la base obtenida a partir del análisis espectro de respuesta en la dirección de interés.

Para el análisis historia de respuesta de estructuras regulares, el valor de  $V_b$  no deberá tomarse menor que el 80% de aquel determinado en el análisis estático, y el valor  $V_s$  no deberá tomarse menor que el 100% de los límites especificados en 4.5.2.5.

Para el análisis historia de respuesta de estructuras irregulares, el valor de  $V_b$  no deberá tomarse menor que el 100% de aquel determinado en análisis estático, y el valor  $V_s$  no deberá tomarse menor que el 100% de los límites especificados en 4.5.2.5.

#### **4.5.4.3 Escalado de los Resultados**

Cuando la fuerza cortante lateral factorada en los elementos estructurales, determinada usando ya sea el procedimiento espectro de respuesta o historia de respuesta, sea menor que los valores mínimos prescritos en las secciones 4.5.3.1 y 4.5.3.2, todos los parámetros de diseño deberán ajustarse proporcionalmente hacia arriba.

#### **4.5.4.4 Límites para la Deriva**

La deriva máxima de piso correspondiente a la fuerza lateral de diseño incluyendo el desplazamiento causado por la deformación vertical del sistema de aislación deberá cumplir con cualquiera de los siguientes límites.

1. Cuando se use el análisis espectro de respuesta, la deriva máxima de piso de la estructura por encima del sistema de aislación no deberá exceder de  $0.015 h_{sx}$ .
2. Cuando se use el análisis historia de respuesta basado en las características fuerza-deflexión, la deriva máxima de piso de la estructura por encima del sistema de aislación no deberá exceder de  $0.020 h_{sx}$ .

La deriva deberá calcularse con  $C_d$  de la estructura aislada igual a  $R_I$ . Los efectos secundarios del desplazamiento máximo lateral de la estructura por encima del sistema de aislación, combinados con las fuerzas de gravedad, deberán investigarse si la relación de deriva de piso excede de  $0.010/R_I$ .

#### 4.5.5 Procedimiento de Análisis Espectro de Respuesta

El análisis espectro de respuesta deberá desarrollarse usando un valor de amortiguamiento modal para el modo fundamental en la dirección de interés no mayor que el amortiguamiento efectivo del sistema de aislación o 30% del crítico, el que sea menor. Los valores de amortiguamiento modal para los modos elevados deberán ser seleccionados de forma consistente con aquellos que serían apropiados para el análisis espectro de respuesta de la estructura sobre el sistema de aislación asumiendo una base fija.

El análisis espectro de respuesta usado para determinar el desplazamiento total máximo deberá incluir la excitación simultánea del modelo por el 100% del movimiento del terreno en la dirección crítica y el 30% del movimiento del terreno en la dirección horizontal perpendicular. El desplazamiento máximo del sistema de aislación deberá calcularse como un vector suma de los dos desplazamientos ortogonales (SRSS).

##### 4.5.5.1 Espectro de Respuesta y Amortiguamiento para el Modelo Matemático

Para el análisis Modal de Respuesta Espectral en el Etabs se tienen dos opciones:

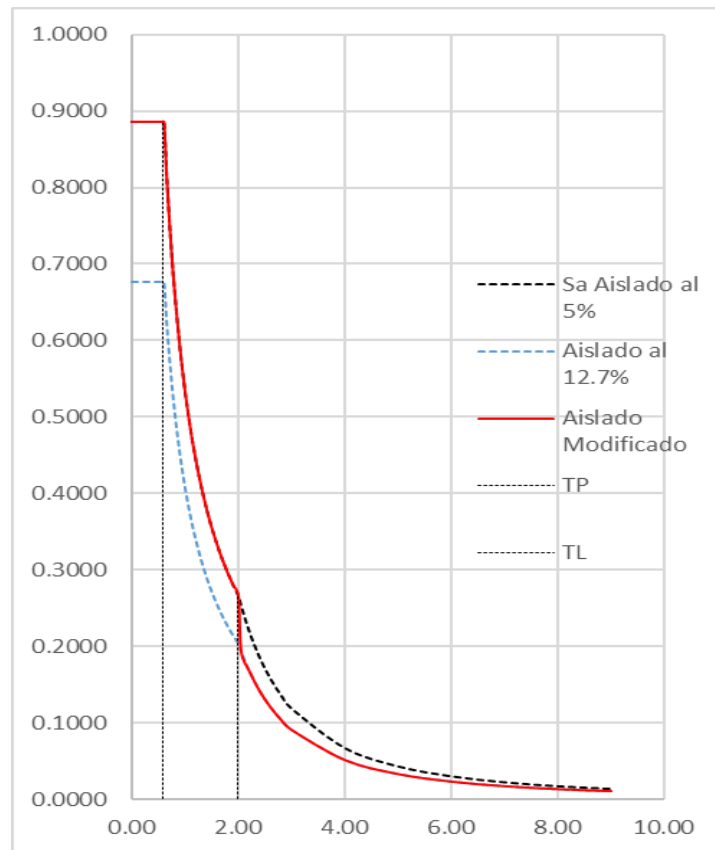
1. Realizar el cálculo usando un espectro de diseño modificado tomando en cuenta la diferencia en el amortiguamiento debido a los modos aislados.
2. Realizar el cálculo modificando directamente el valor del amortiguamiento para los modos aislados.

**Tabla 44. Periodos de los modos de vibración**

Modo	Base Fija	Edificio Aislado
1	0.472	2.955
2	0.401	2.761
3	0.382	2.742
4	0.127	0.328
5	0.108	0.301
6	0.101	0.289
7	0.095	0.117
8	0.056	0.104
9	0.049	0.094
10	0.047	0.088
11	0.034	0.049
12	0.032	0.048

En la Tabla 44 se muestran los periodos de los primeros 12 modos de vibración. Claramente se pueden apreciar los modos aislados para modelo con base aislada. Para los modos aislados se deberá considerar una relación de amortiguamiento apropiada, ya definido en el procedimiento por la fuerza lateral equivalente (13.30%).

Para la primera opción planteada se necesitan generar espectros modificados reducidos para sistemas con aislamiento en la base, tal como se muestran en la Ilustración 30.



**Ilustración 30. Espectros modificados para el procedimiento espectro de respuesta, tanto para el límite superior como el inferior.**

En la Ilustración 31 se puede apreciar el formulario de definición de casos de carga, para un análisis modal de respuesta espectral, considerando las tres componentes (se puede también utilizar sólo las dos componentes horizontales) combinadas direccionalmente tal como lo indica la normativa.

Una vez definidos todos los parámetros indicados en esta Sección se corren los modelos y se obtienen los resultados, tal como se hizo en el procedimiento de la fuerza lateral equivalente. En este ejemplo no se entrega ningún resultado ya que se considera como no indispensable, y se dará mayor confiabilidad a la verificación mediante los análisis historia de respuesta.

**Load Case Data**

**General**

Load Case Name: EQ Ais (Inf) [Design...]

Load Case Type: Response Spectrum [Notes...]

Exclude Objects in this Group: Not Applicable

Mass Source: Previous (MsSrc1)

**Loads Applied**

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U1	SMC_R=2 (Inf)	9.8067
Acceleration	U2	SMC_R=2 (Inf)	9.8067

[Add] [Delete] [Advanced]

**Other Parameters**

Modal Load Case: Modal

Modal Combination Method: CQC

Include Rigid Response

Rigid Frequency, f1: [ ]

Rigid Frequency, f2: [ ]

Periodic + Rigid Type: [ ]

Earthquake Duration, td: [ ]

Directional Combination Type: Absolute

Absolute Directional Combination Scale Factor: 0.3

Modal Damping: Constant at 0.05 [Modify/Show...]

Diaphragm Eccentricity: 0 for All Diaphragms [Modify/Show...]

[OK] [Cancel]

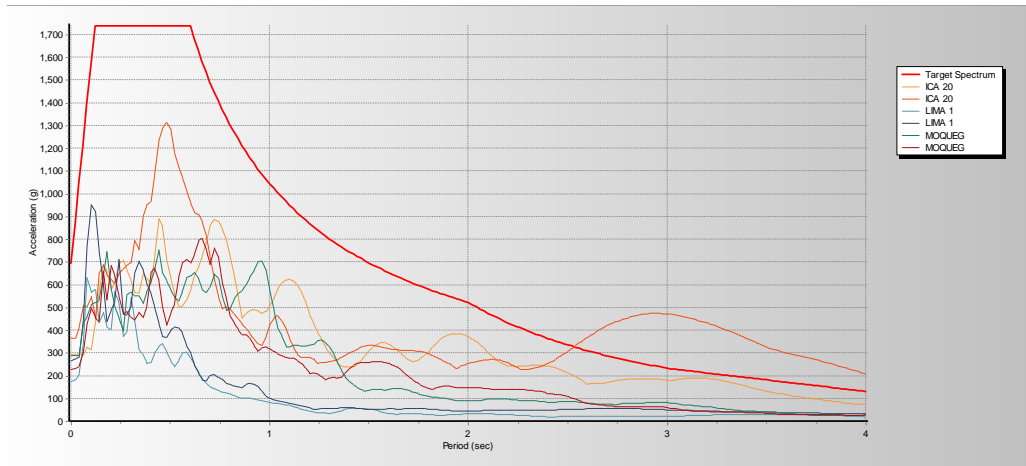
**Ilustración 31. Formulario de definición de caso de carga para el análisis modal de respuesta espectral.**

#### 4.5.6 Procedimiento de Análisis Historia de Respuesta

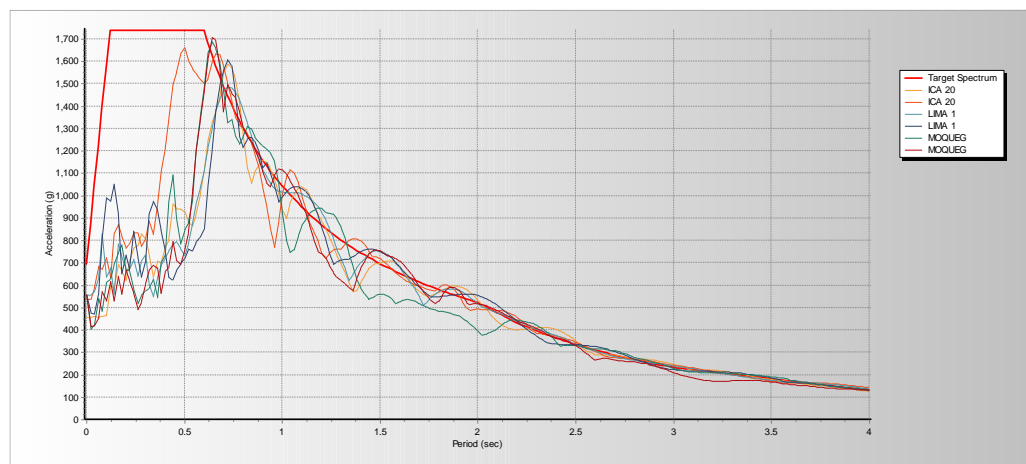
El análisis historia de respuesta deberá desarrollarse para un set de pares de movimientos del terreno seleccionados y escalados adecuadamente. Cada par de componentes de los movimientos del terreno deberán ser aplicados de forma simultánea al modelo, considerando la ubicación más desventajosa de la masa excéntrica. El desplazamiento máximo del sistema de aislación deberá calcularse a partir de la suma vectorial de los dos desplazamientos ortogonales en cada paso de tiempo.

Los parámetros de interés deberán ser calculados para cada movimiento del terreno usado para el análisis historia de respuesta, y el valor promedio del parámetro de respuesta de interés deberá ser usado para el diseño.

Para registros que son ajustados espectralmente, cada par de un movimiento del terreno deberá ser escalado tal que en el rango de periodo desde  $0.2T_M$ , determinado usando las propiedades límite superior del sistema de aislación, hasta  $1.25T_M$ , determinado usando las propiedades límite inferior del sistema de aislación, el espectro de respuesta de un componente del par sea al menos el 90% de la ordenada correspondiente del espectro de respuesta en el diseño.



**Ilustración 32. Espectros de respuesta de los registros sin escalar**



**Ilustración 33. Registros escalados al espectro objetivo**

Para sitios identificados como de falla cercana, cada par de los componentes horizontales de los movimientos del terreno deberán estar rotados hacia la dirección normal a la falla y en paralelo a la falla de las fallas causativas y aplicadas al edificio en dicha orientación.

Para todos los otros sitios, pares individuales de los componentes horizontales del movimiento del terreno no necesitan aplicarse en múltiples orientaciones.

La respuesta torsional resultante de la falta de simetría en la masa y rigidez deberá ser tomada en cuenta en el análisis. Además, la excentricidad accidental que consiste del

desplazamiento del centro de masas de la ubicación calculada por una cantidad igual al 5% de la dimensión del diafragma, de forma separada en cada una de las dos direcciones ortogonales en el nivel en consideración.

Se permite tomar en cuenta los efectos de la excentricidad accidental para amplificar las fuerzas, derivas, y deformaciones determinadas a partir de un análisis usando sólo el centro de masas calculado, siempre que se muestre que los factores usados para amplificar las fuerzas, derivas, y deformaciones del análisis del centro de masas, produzcan resultados que limiten todos los casos de masa excéntrica.

#### 4.5.6.1 Ingreso de Parámetros en el Etabs y Resultados Obtenidos para el Análisis Historia de Respuesta

Con los datos de la Tabla 40 se asignan las propiedades a los aisladores a utilizar en el programa.

En la Ilustración 34 se presenta el formulario de ingreso de una de las componentes de uno de los 3 movimientos del terreno que se usaron. Cada componente está debidamente ajustado y escalado.

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U1	EO ICA 2007	0.01
Acceleration	U2	NS ICA 2007	0.01

**Ilustración 34. Definición del caso de carga para el análisis historia de respuesta FNA para uno de los movimientos del terreno.**

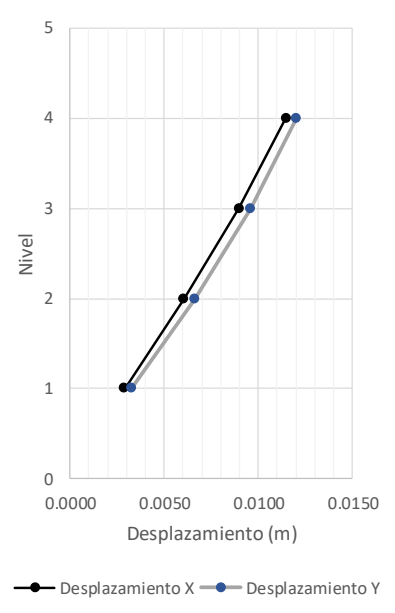
#### 4.5.6.2 Resultados del análisis tiempo - historia

En las figuras desde la Ilustración 36 se puede apreciar el resumen de las distorsiones angulares que se obtuvo, tanto para los límites superior e inferior de las propiedades del sistema de aislación y en ambas direcciones. Las distorsiones angulares de piso están por debajo del valor límite de 0.002 que indica la normativa; también, las deformaciones por corte promedio están por debajo del valor límite asumido igual al 250%.

En las Ilustración 37 y Ilustración 38 se pueden observar los ciclos histeréticos obtenidos en uno de los aisladores representativos, tanto en X como en Y.

Desplazamiento X					
Sistema	Nivel	Ica 2007	Lima 1966	Moq. 2001	Max
Aisladores	Nivel 4	0.0115	0.0115	0.0093	0.0115
	Nivel 3	0.0090	0.0090	0.0073	0.0090
	Nivel 2	0.0061	0.0061	0.0049	0.0061
	Nivel 1	0.0029	0.0029	0.0023	0.0029

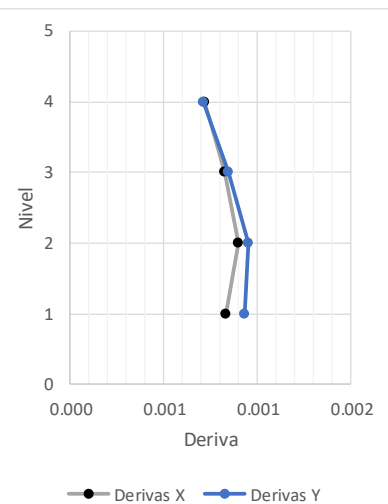
Desplazamiento Y					
Sistema	Nivel	ICA 2007	LIMA 1966	MOQ. 2001	Max
Aisladores	Nivel 4	0.0121	0.0115	0.0114	0.0121
	Nivel 3	0.0096	0.0091	0.0091	0.0096
	Nivel 2	0.0066	0.0063	0.0063	0.0066
	Nivel 1	0.0033	0.0031	0.0031	0.0033



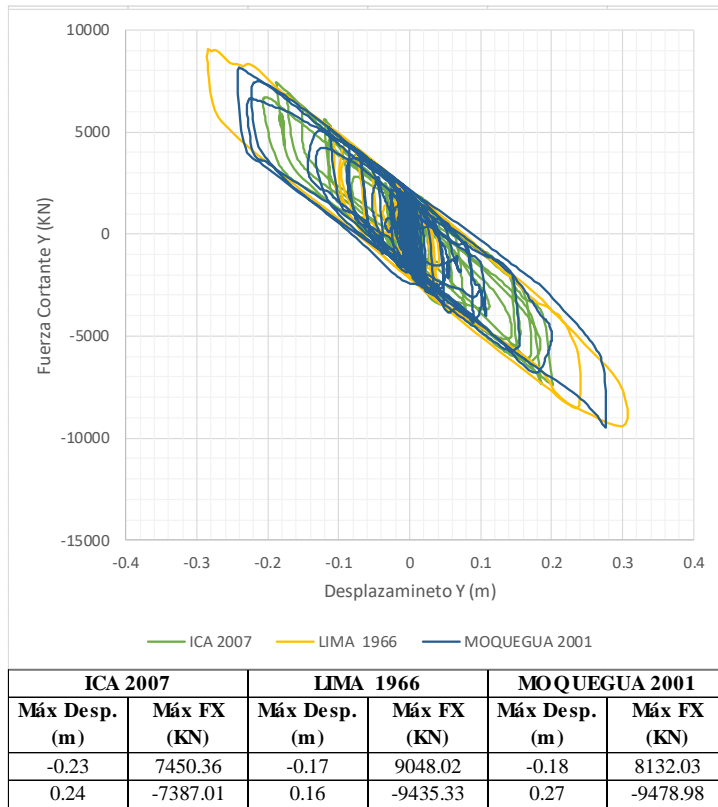
**Ilustración 35. Desplazamientos máximos en centros de masa de diafragmas de piso, del análisis historia de respuesta en la dirección X e Y, para el modelo con aislamiento en la base**

Derivas X					
Sistema	Nivel	H	$\Delta$	$\Delta$ Relativo	$\beta$
Aisladores	Nivel 4	3.5000	0.0115	0.0025	0.0007
	Nivel 3	3.5000	0.0090	0.0029	0.0008
	Nivel 2	3.5000	0.0061	0.0032	0.0009
	Nivel 1	3.5000	0.0029	0.0029	0.0008

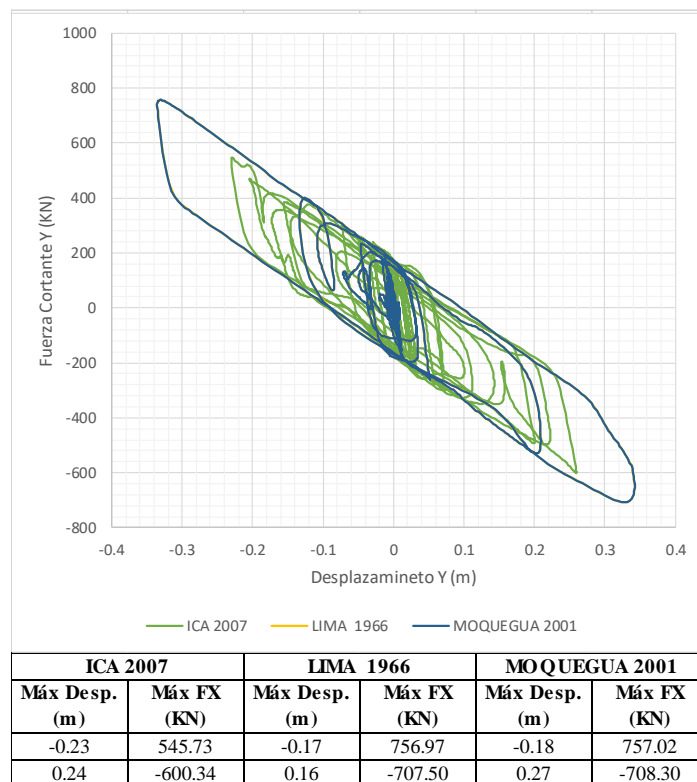
Derivas Y					
Sistema	Nivel	H	$\Delta$	$\Delta$ Relativo	$\beta$
Aisladores	Nivel 4	3.5000	0.0121	0.0025	0.0007
	Nivel 3	3.5000	0.0096	0.0030	0.0008
	Nivel 2	3.5000	0.0066	0.0033	0.0010
	Nivel 1	3.5000	0.0033	0.0033	0.0009



**Ilustración 36. . Derivas máximas en centros de masa de diafragmas de piso, del análisis historia de respuesta en la dirección X e Y,**



**Ilustración 37. Comportamiento histerético típico de los aisladores para el análisis historia de respuesta en la dirección X, para el modelo con aislamiento en la base**



**Ilustración 38. Comportamiento histerético típico de los aisladores para el análisis historia de respuesta en la dirección Y, para el modelo con aislamiento en la base**

En las Tabla 45 se resumen los desplazamientos y deformaciones por corte en el nivel base, en cada aislador. Los valores máximos representan los máximos de todos los 3 movimientos del terreno y puede llegar a presentarse deformaciones por corte hasta de 189.8%, lo que comprueba la verificación del modelo.

**Tabla 45. Resumen de desplazamientos y deformaciones por corte en los aisladores, para el límite inferior.**

Aislador	UX Max Abs	Def. por corte	UY Max Abs	Def. por corte
1	0.322	161.0%	0.369	184.3%
2	0.322	161.0%	0.370	184.9%
42	0.321	160.4%	0.369	184.3%
43	0.322	161.0%	0.370	184.9%
90	0.319	159.7%	0.368	184.2%
103	0.319	159.7%	0.370	184.8%
195	0.322	161.0%	0.371	185.5%
201	0.321	160.4%	0.371	185.5%
223	0.319	159.7%	0.371	185.5%
238	0.322	161.0%	0.372	186.1%
242	0.320	159.9%	0.372	186.0%
243	0.320	160.2%	0.373	186.3%
252	0.321	160.7%	0.372	186.2%
291	0.322	161.0%	0.373	186.7%
294	0.320	159.9%	0.373	186.7%
295	0.321	160.4%	0.374	186.9%
297	0.321	160.6%	0.374	186.8%
347	0.322	161.0%	0.379	189.7%
348	0.322	161.0%	0.378	189.1%
349	0.322	161.0%	0.377	188.5%
350	0.322	161.0%	0.376	187.9%
351	0.322	161.0%	0.375	187.3%
368	0.320	159.9%	0.376	188.0%
369	0.320	159.8%	0.375	187.5%
370	0.321	160.4%	0.376	188.1%
371	0.320	160.1%	0.375	187.5%
380	0.321	160.4%	0.380	189.8%
381	0.322	161.0%	0.378	189.2%
382	0.321	160.4%	0.377	188.6%
383	0.321	160.7%	0.376	188.0%
384	0.321	160.6%	0.375	187.4%
433	0.319	159.7%	0.379	189.7%
446	0.319	159.7%	0.378	189.1%
483	0.319	159.7%	0.377	188.5%
Máximo	0.322	1.610	0.380	189.8%
Mínimo	0.319	1.597	0.368	184.2%

## 4.6 Comparación de los parámetros obtenidos de cada sistema estructural

En esta sección se comparan y analizan los desplazamientos de los diafragmas, derivas de entrepiso y la variación de la fuerza cortante en la base para cada sistema estructural.

### 4.6.1 Influencia en los desplazamientos de los diafragmas de la estructura

La Tabla 46 y Tabla 47 muestra los desplazamientos de los diafragmas rígidos de cada entrepiso en cada dirección de análisis. Estos son los máximos desplazamientos obtenidos del análisis tiempo historia para los registros del Sismo de Ica del 2007; Sismo de Lima de 1966; y el sismo de Moquegua del 2001. Asimismo, en la Ilustración 39 se comparan los resultados obtenidos para cada análisis.

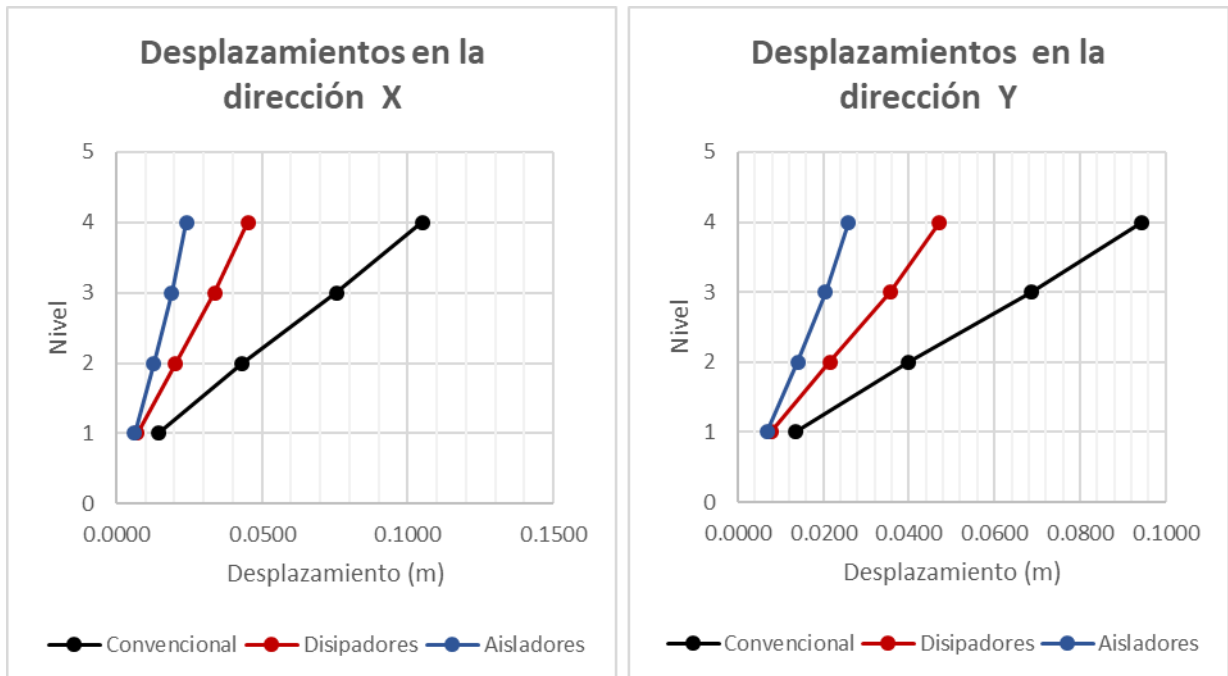
**Tabla 46 Comparación de los máximos desplazamientos obtenidos en la dirección X**

Sistema	Nivel	Ica 2007	Lima 1966	Moq. 2001	Max	Reducción
Convencional	Piso 4	0.0850	0.0943	0.1050	0.1050	-
	Piso 3	0.0613	0.0682	0.0754	0.0754	-
	Piso 2	0.0353	0.0396	0.0433	0.0433	-
	Piso 1	0.0118	0.0135	0.0145	0.0145	-
Disipadores	Piso 4	0.0597	0.0658	0.0630	0.0658	37%
	Piso 3	0.0429	0.0479	0.0453	0.0479	36%
	Piso 2	0.0249	0.0283	0.0263	0.0283	35%
	Piso 1	0.0085	0.0099	0.0090	0.0099	32%
Aisladores	Piso 4	0.0115	0.0115	0.0093	0.0115	89%
	Piso 3	0.0090	0.0090	0.0073	0.0090	88%
	Piso 2	0.0061	0.0061	0.0049	0.0061	86%
	Piso 1	0.0029	0.0029	0.0023	0.0029	80%

**Tabla 47. Comparación de los máximos desplazamientos obtenidos en la dirección Y**

Sistema	Nivel	ICA 2007	LIMA 1966	MOQ. 2001	Max	Reducción
Convencional	Piso 4	0.0874	0.0945	0.0937	0.0945	-
	Piso 3	0.0646	0.0685	0.0684	0.0685	-
	Piso 2	0.0385	0.0396	0.0399	0.0399	-
	Piso 1	0.0134	0.0132	0.0134	0.0134	-
Disipadores	Piso 4	0.0584	0.0632	0.0641	0.0641	32%
	Piso 3	0.0431	0.0468	0.0468	0.0468	32%
	Piso 2	0.0260	0.0281	0.0274	0.0281	30%
	Piso 1	0.0092	0.0098	0.0093	0.0098	27%
Aisladores	Piso 4	0.0121	0.0115	0.0114	0.0121	87%
	Piso 3	0.0096	0.0091	0.0091	0.0096	86%
	Piso 2	0.0066	0.0063	0.0063	0.0066	83%
	Piso 1	0.0033	0.0031	0.0031	0.0033	76%

De acuerdo a los resultados obtenidos el sistema con disipadores puede llegar a reducir los desplazamientos hasta un máximo del 37% en la dirección X y un 32% en la dirección Y. En el caso del sistema aislado se alcanzó una reducción máxima del 89% en la dirección X y el 87% en la dirección Y.



**Ilustración 39. Desplazamiento máximo del diafragma para cada sistema estructural**

#### 4.6.2 Influencia en las derivas

La Tabla 48 y muestra los desplazamientos de los diafragmas rígidos de cada entrepiso en cada dirección de análisis. Asimismo, en la Ilustración 40 se comparan los resultados obtenidos para cada análisis.

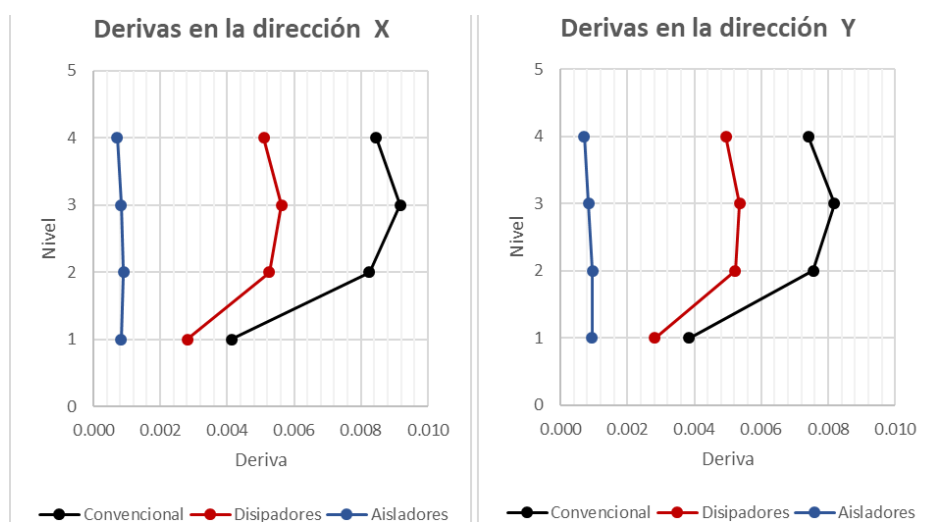
De acuerdo a los resultados obtenidos el sistema con disipadores puede llegar a reducir las derivas hasta un máximo del 40% en la dirección X y un 35% en la dirección Y. En el caso del sistema aislado se alcanzó una reducción máxima del 91% en la dirección X y el 79% en la dirección Y.

**Tabla 48. Comparación de las derivas obtenidas en la dirección X**

Sistema	Nivel	H	$\Delta$	$\Delta$ Relativo	$\beta$	Reducción
Convencional	Piso 4	3.5000	0.1050	0.0296	0.0085	-
	Piso 3	3.5000	0.0754	0.0321	0.0092	-
	Piso 2	3.5000	0.0433	0.0289	0.0082	-
	Piso 1	3.5000	0.0145	0.0145	0.0041	-
Disipadores	Piso 4	3.5000	0.0658	0.0178	0.0051	40%
	Piso 3	3.5000	0.0479	0.0197	0.0056	39%
	Piso 2	3.5000	0.0283	0.0184	0.0053	36%
	Piso 1	3.5000	0.0099	0.0099	0.0028	32%
Aisladores	Piso 4	3.5000	0.0115	0.0025	0.0007	91%
	Piso 3	3.5000	0.0090	0.0029	0.0008	91%
	Piso 2	3.5000	0.0061	0.0032	0.0009	89%
	Piso 1	3.5000	0.0029	0.0029	0.0008	80%

**Tabla 49. Comparación de las derivas obtenidas en la dirección Y**

Sistema	Nivel	H	$\Delta$	$\Delta$ Relativo	$\beta$	Reducción
Convencional	Piso 4	3.5000	0.0945	0.0259	0.0074	-
	Piso 3	3.5000	0.0685	0.0287	0.0082	-
	Piso 2	3.5000	0.0399	0.0264	0.0076	-
	Piso 1	3.5000	0.0134	0.0134	0.0038	-
Disipadores	Piso 4	3.5000	0.0641	0.0173	0.0049	33%
	Piso 3	3.5000	0.0468	0.0187	0.0053	35%
	Piso 2	3.5000	0.0281	0.0183	0.0052	31%
	Piso 1	3.5000	0.0098	0.0098	0.0028	27%
Aisladores	Piso 4	3.5000	0.0121	0.0025	0.0007	90%
	Piso 3	3.5000	0.0096	0.0030	0.0008	90%
	Piso 2	3.5000	0.0066	0.0033	0.0010	87%
	Piso 1	3.5000	0.0033	0.0033	0.0009	76%



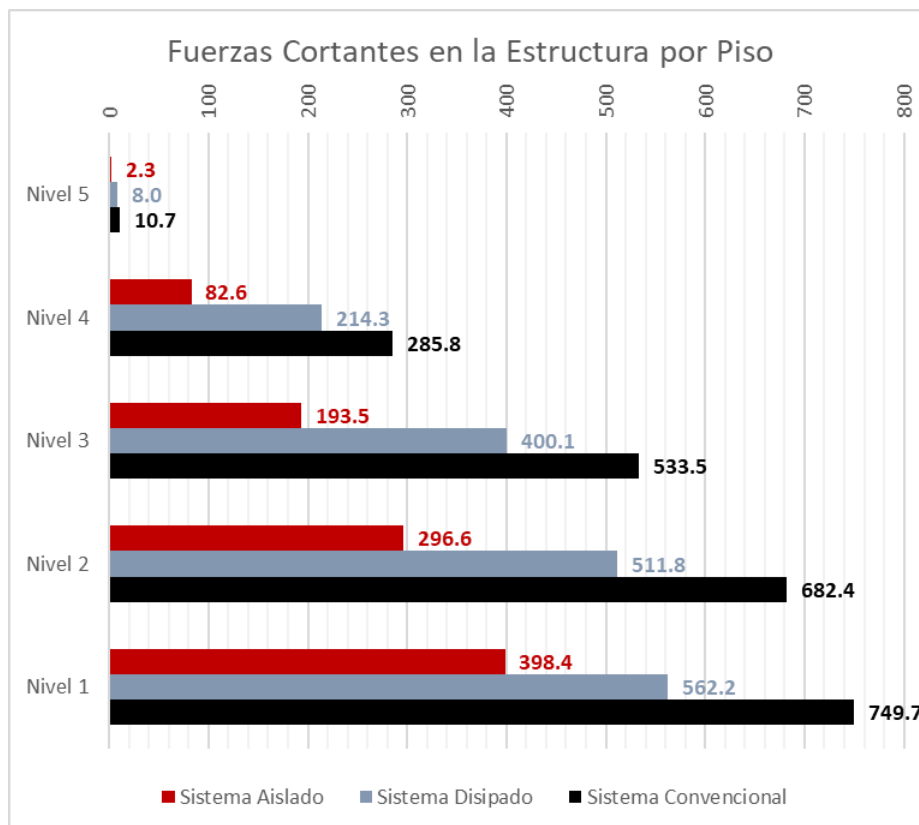
**Ilustración 40. Derivas máximas para cada sistema estructural**

### 4.6.3 Influencia en la cortante basal

En la Tabla 50 se presenta las cortantes basales de diseño para cada sistema estructural en el caso del sistema con disipadores se puede reducir hasta un 25% tal como lo indica la norma ASCE 7/10 y en el caso del sistema aislado se llegó a reducir en un 47% la cortante en la base. En la Ilustración 41 se observa la influencia de cada sistema estructural en la cortante basal de diseño de la estructura.

**Tabla 50. Fuerza cortante basal para cada sistema estructural**

Nivel	Sistema Convencional		Sistema Disipado		%	Sistema Aislado		%
	X	Y	X	Y		X	Y	
Nivel 5	10.7	16.1	8.0	12.1	25%	2.3	2.3	79%
Nivel 4	285.8	276.4	214.3	207.3	25%	82.6	81.8	71%
Nivel 3	533.5	533.2	400.1	399.9	25%	193.5	192.5	64%
Nivel 2	682.4	685.5	511.8	514.2	25%	296.6	295.9	57%
Nivel 1	749.7	749.7	562.2	562.2	25%	398.4	398.3	47%



**Ilustración 41. Fuerzas cortantes por Piso para cada sistema estructural**

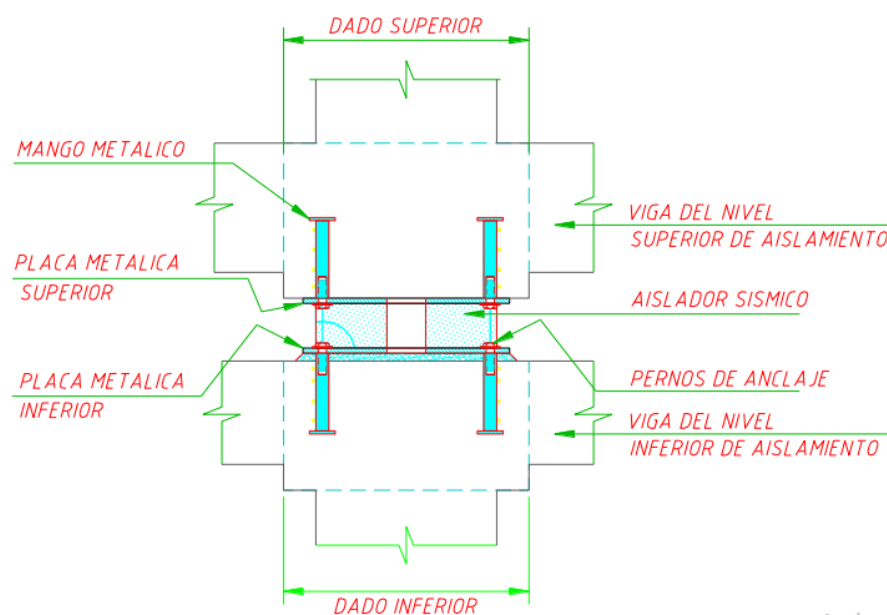
## 4.7 Diseño de elementos estructurales

El diseño estructural efectivo, óptimo y rápido se basa en la utilización de programas computarizados empleados correctamente conjuntamente con el uso de hojas automatizadas respaldado por las normas técnicas, cada elemento estructural será diseñada por solicitaciones de flexión, corte y compresión indicando lo criterios de modelamiento, formulas empleadas, hojas de cálculo automatizadas y planos donde se detallan dimensiones y refuerzos.

### 4.7.1 Diseño estructural de la interfaz de aislamiento:

Los elementos que conforman la interfaz de aislamiento se muestran en la Ilustración 42 los cuales serán diseñados considerando los efectos de las cargas de gravedad y el efecto del sismo de diseño elástico ( $R=1.0$ ), mientras que, para la verificación de la estabilidad del sistema de aislamiento, cálculo de la junta de sísmica y ensayo de los aisladores, se empleara los efectos del sismo máximo MCE. Para el diseño de los elementos de la interfaz de aislamiento se recomienda revisar el procedimiento detallado que se describe en la tesis de E. J. Trujillo Benito, «Diseño integral de estructuras con sistema de aislación sísmica aplicado a un edificio de concreto armado». Dentro de los elementos a diseñar descritos en esta tesis se encuentran:

- Diseño de vigas de concreto armado del nivel de aislamiento
- Diseño de dados o capiteles del nivel de aislamiento
- Diseño de la placa metálica y pernos de anclaje del aislador



**Ilustración 42. Elementos estructurales de la interfaz de aislamiento**

## **4.8 Análisis económico**

Un análisis económico es aquella que evalúa los costos de un proyecto a ejecutarse. Generalmente, solo se toma en cuenta el presupuesto realizado para construirlo. Ante ello, se puede considerar que estos costos se realizan a corto plazo, pues durante la vida útil de un determinado proyecto se suman costos debidos al mantenimiento y otras situaciones fortuitas que incrementarán el costo del proyecto a largo plazo.

Algunos de los costos a largo plazo más considerables son aquellos que se utilizan en la reparación de una estructura dañada ante un evento sísmico, debido a que las normas de diseño sismorresistente permiten el daño en la estructura. Sin embargo, los sistemas de aislamiento y disipación sísmica protegen a la estructura de tener daños considerables, reduciendo de esta manera los costos en reparaciones que pueda tener una estructura convencional sin la presencia de estos dispositivos de protección sísmica.

Por ello, para realizar el análisis económico se desarrollará la evaluación directa teniendo en cuenta los procedimientos normales para presupuestar los proyectos, así como la evaluación indirecta calculada mediante probabilidades a través de una curva de vulnerabilidad para obtener los costos por daños estructurales, que pueda presentarse en la edificación con cada uno de los sistemas estructurales analizados, tras un evento sísmico severo.

Aquellos costos como los gastos generales y utilidades presentes en todos los presupuestos de un proyecto no serán tomados en cuenta para este análisis debido a la variedad que están sufren dependiendo de la contratista. En cambio, la evaluación directa e indirecta se determinan teniendo en cuenta el costo directo de la obra y a valor presente, siendo esta la mejor manera de efectuar una comparación, obteniendo una conclusión general con mejor precisión.

Los sistemas estructurales evaluados fueron:

- Edificio con un sistema estructural convencional de muros estructurales
- Edificio con disipadores de fluido viscoso
- Edificio con aisladores de núcleo de plomo

### **4.8.1 Evaluación directa**

Para realizar este método de evaluación se tendrá en cuenta la comparación solamente del costo directo de obra, para cada sistema estructural analizado. De esta manera, se conocerá cuál de los tres sistemas estructurales resulta ser más económico a corto plazo. Este procedimiento se ve limitado por los factores siguientes:

- La implementación de los sistemas de protección sísmica (ya sea disipación sísmica o aislamiento sísmico) incorporados en la estructura, impacta de alguna manera en el costo de las demás especialidades del proyecto. Sin embargo, esta evaluación tomara en cuenta determinadas variaciones que sean considerables, por la incorporación de aisladores sísmicos o disipadores sísmicos, en el costo directo del proyecto.
- Los resultados de los presupuestos obtenidos de un costo directo no pueden tomarse en cuenta como una conclusión definitiva, debido a que estos representan solo el costo de la construcción del proyecto con cada uno de los sistemas estructurales y no permiten reflejar los beneficios de los sistemas de protección sísmica (disipación o aislamiento sísmico).

#### 4.8.1.1 Metodología

Para realizar el presupuesto de la edificación fue necesario contar con los metrados y los costos unitarios utilizados para la construcción del proyecto. No fue necesario ajustar los costos unitarios por una fórmula polinómica como se hace normalmente pues el análisis es de carácter comparativo.

Luego, se presenta la Tabla 51, donde se describe del costo directo del proyecto construido de acuerdo las especialidades convencionales en todo proyecto y el porcentaje de incidencia de cada una de ellas. De acuerdo a los cálculos realizados, se puede observar que las especialidades de Estructuras y Arquitectura abarcan un mayor porcentaje de incidencia en el costo directo del proyecto con 34.2% y 39.2 respectivamente; ambas mucho mayores que las demás especialidades del proyecto.

**Tabla 51. Costo Directo del Proyecto con estructura convencional**

Ítem	Especialidades	Monto	%Incidencia
001	ESTRUCTURA	S/2,014,890.82	34.2%
002	ARQUITECTURA	S/2,308,961.08	39.2%
003	INSTALACIONES SANITARIAS	S/308,129.74	5.2%
004	INSTALACIONES ELECTRICAS Y ELECTROMECC.	S/679,456.29	11.5%
005	AIRE ACONDICIONADO	S/331,355.93	5.6%
006	SWICHER DATA	S/250,000.00	4.2%
	Costo Directo Total del Proyecto	S/5,892,793.86	100.00%

Cuando se realizó la implementación de los dispositivos de protección sísmica se respetó la arquitectura del proyecto, haciendo que no se genere grandes cambios en el presupuesto de las demás especialidades. Por ello, en este análisis se ha considerado a las estructuras como fin comparativo y se descartó las demás especialidades, pues no inciden de manera importante en los fines buscados en esta evaluación.

**Tabla 52. Presupuesto total de cada sistema estructural**

		Edificio Original	Edificio Disipado	Edificio Aislado
Item	Descripción	Parcial S/.	Parcial S/.	Parcial S/.
001	ESTRUCTURA	S/. 2,014,890.82	S/. 2,653,528.65	S/. 3,315,497.58
002	ARQUITECTURA	S/. 2,308,961.08	S/. 2,308,961.08	S/. 2,308,961.08
003	INSTALACIONES SANITARIAS	S/. 308,129.74	S/. 308,129.74	S/. 308,129.74
004	INSTALACIONES ELECTRICAS Y ELECTROMEC.	S/. 679,456.29	S/. 679,456.29	S/. 679,456.29
005	AIRE ACONDICIONADO	S/. 331,355.93	S/. 331,355.93	S/. 331,355.93
006	SWICHER DATA	S/. 250,000.00	S/. 250,000.00	S/. 250,000.00
	<b>COSTO DIRECTO</b>	<b>S/. 5,892,793.86</b>	<b>S/. 6,531,431.69</b>	<b>S/. 7,193,400.63</b>

#### 4.8.2 Evaluación indirecta

Los beneficios de los sistemas de protección sísmica, como los aisladores de núcleo de plomo o los disipadores de fluido viscoso empleados en esta investigación, se presentan tras la ocurrencia de un evento sísmico severo. A diferencia de una estructura convencional, aquellas estructuras que están equipadas con los sistemas de protección sísmica se ven estructuralmente poco afectadas tras la ocurrencia de un evento sísmico, por ende, los costos por reparaciones son bajos.

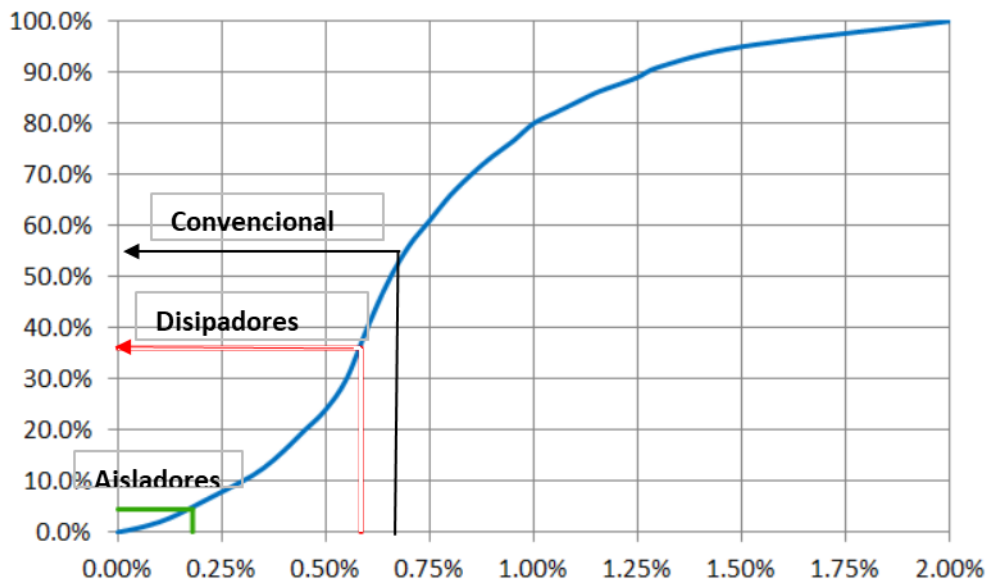
Considerar este tipo de costos no es usual en el Perú, pues no existe una metodología establecida que nos permita conocer exactamente el impacto económico de un sismo severo. Por ello, para realizar esta investigación se ha admitido utilizar una metodología aproximada para estimar el daño a través de una curva de vulnerabilidad.

##### 4.8.2.1 Metodología

La curva de vulnerabilidad es un método de análisis que toma en cuenta la deriva máxima de entrepiso para estimar de manera aproximada el daño estructural ocasionados por un sismo. En base a aquellas estructuras, de características similares a las que se estudian en esta investigación, que reportaron un daño tras un evento sísmico se construye una gráfica que representa la forma en que se ven afectadas económicamente este tipo de estructuras tras un evento sísmico. En el territorio peruano existe poca información sobre las estructuras afectas

por un sismo, por ello, se ha tomado en cuenta una curva de vulnerabilidad, construida a partir de los registros del terremoto de 1985 en Viña del Mar, Chile [4]. La Ilustración 43 muestra la curva de vulnerabilidad para estructuras de concreto armado que se empleará para este análisis. De la gráfica se obtiene el porcentaje de daño esperado ante una determinada deriva que presente la estructura durante la ocurrencia de un evento sísmico. El porcentaje de daño estructural obtenido se multiplica por el costo total de la partida de estructuras.

### Curva de Vulnerabilidad



**Ilustración 43. Curva de Vulnerabilidad para estructuras de concreto armado**

La ingeniería estructural considera que la deriva de entrepiso de una determinada estructura está relacionada al daño del mismo, por ello, las normas regulan estos valores para el diseño estructural. Independientemente de su ubicación, este concepto se aplica a todas las estructuras. Sin embargo, sería interesante que se emplee una curva de vulnerabilidad basada en registros peruanos. Pero, se puede considerar que los registros empleados en la curva de vulnerabilidad chilena son lo suficientemente precisas para llevar a cabo esta investigación.

Es importante conocer las diferencias las curvas de fragilidad y las curvas de vulnerabilidad utilizadas en esta investigación. La primera, considera la probabilidad que tiene una edificación para exceder un determinado daño en función de un parámetro que define la intensidad sísmica. Por otro lado, la curva de vulnerabilidad, en base a información estadística relacionada al evento sísmico y específicamente sobre características determinadas de la muestra, establece una relación entre las derivas de entrepiso y el daño estructural.

#### 4.8.2.2 Costo indirecto de estructuras

En la Tabla 53 se muestra la estimación de los daños estructurales obtenidos para cada uno de los sistemas estructurales evaluados a partir de la deriva calculada en los análisis sísmicos. De acuerdo la norma actual de Diseño Sismoresistente E.030 la deriva obtenida en el análisis de la estructura convencional fue escalada a una aceleración de 0.45g.

**Tabla 53. Resultado del daño estructural**

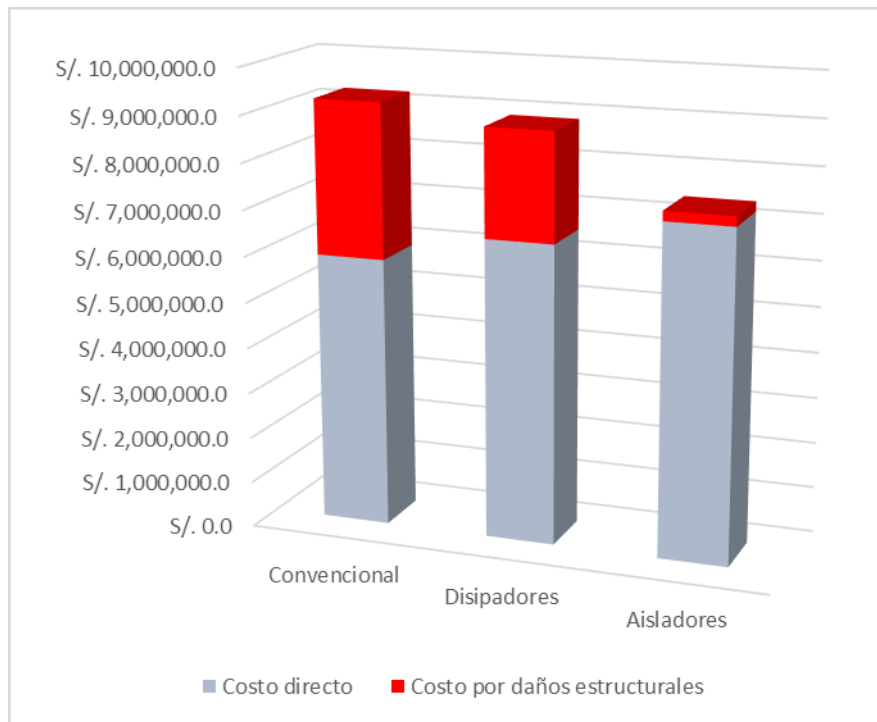
Sistema estructural	Deriva	Daño estructural
Edificio convencional	0.0068	57%
Edificio con disipadores	0.0056	36%
Edificio con aisladores	0.0010	3%

Con los resultados obtenidos se elaboró un cuadro comparativo de los costos por daños estructurales, siguiendo la metodología antes descrita. Tanto en la Tabla 54 como en la Ilustración 44, se corrobora que el incremento del costo directo en el presupuesto de estructuras de los sistemas estructurales con disipación sísmica (11%) y del sistema estructural con aisladores (22%) es compensado por el ahorro posible en daños estructurales que tenga la edificación a consecuencia de la reparaciones ocasionadas por un sismo.

Finalmente, realizando un balance general entre los costos indirectos y los costos directos en la especialidad de estructuras, el edificio convencional resulta siendo el 20% más caro que la estructura con aisladores de núcleo de plomo y un 4% más caro que estructura con disipadores de fluido viscoso.

**Tabla 54. Comparativo de costo global de Estructuras**

Partidas	Convencional	Disipadores	Aisladores
Daño estructural	57.0%	36.0%	3.0%
Costo directo de estructuras	S/. 5,892,793.9	S/. 6,531,431.7	S/. 7,193,400.6
		11%	22%
Costo por daños estructurales	S/. 3,358,892.5	S/. 2,351,315.4	S/. 215,802.0
		-30%	-94%
<b>Costo Global</b>	<b>S/. 9,251,686.4</b>	<b>S/. 8,882,747.1</b>	<b>S/. 7,409,202.6</b>
		-4%	-20%



**Ilustración 44. Comparación del costo total (directo e indirecto) para cada uno de los sistemas estructurales**

## 5 CONCLUSIONES

Con la información obtenida del análisis se llegó a las siguientes conclusiones:

1. De acuerdo al análisis sísmico se logró un periodo de 0.39s para la estructura con disipadores de fluido viscoso, y un periodo de 2.8s para la estructura con aisladores de plomo.
2. Utilizando 12 disipadores de fluido viscoso se logró reducir hasta en un 37% los desplazamientos y en un 40% las derivas de entrepiso, llegando a un valor de deriva de 0.0056, cumpliendo de esta manera con la deriva objetivo.
3. Se logró, con los aisladores de núcleo de plomo, reducir hasta un 89% los desplazamientos y un 91 % las derivas de entrepiso asegurando de esta manera un óptimo desempeño de la estructura.
4. En aquellas estructuras que presentan algún tipo de irregularidad, es beneficioso combinar aisladores con rigideces distintas para disminuir los problemas de torsión. De acuerdo a la experiencia del proyectista se definirá la mejor distribución de los dispositivos en planta de acuerdo a las características de la edificación.
5. La presencia de aisladores sísmicos y vigas de arriostre, en algunos casos, podría aumentar considerablemente la partida de movimiento de tierras. A veces, los niveles de la subestructura y el de cimentación deben descender para mantener la altura libre del primer sótano, por lo tanto, la profundidad de excavación aumenta.
6. Dentro del alcance establecido, la evaluación directa demuestra que una edificación aislada o disipada sería la más costosa de construir; sin embargo, la evaluación indirecta estima que el valor de daños por sismo, en la edificación convencional, sería mayor que la suma de daños de la estructura con cualquiera de estos dos sistemas de protección sísmica y el sobre costo de construcción. Resultados tan favorables, como el mostrado, dan indicios que los sistemas de protección sísmica como aisladores o disipadores justifican la inversión.
7. Reemplazar ciertos aisladores elastoméricos con deslizadores permite disminuir la rigidez del sistema, y así, aumentar el amortiguamiento. Tiene muchas ventajas debido a que el costo de los deslizadores suele estar por debajo del 50% de los aisladores elastoméricos. Por ello, para proyectos con aislamiento sísmico se recomienda su uso en combinación con otro tipo de aisladores.

## RECOMENDACIONES

1. Actualmente se cuenta con gran cantidad de estaciones acelerógrafas, por ello, se recomienda considerar un mayor número de registros sísmicos para obtener mayor precisión de los factores del sismo máximo esperado.
2. Es recomendable definir 7 señales sísmicas para cada una de las 4 regiones sísmicas del Perú, de tal manera, que el análisis tiempo – historia esté definido por registros que representen de mejor manera el peligro sísmico.
3. Para cualquier proyecto con este tipo de dispositivos (aisladores o disipadores), es necesario conocer los tipos de dispositivos que existen en el mercado peruano para así mejorar la factibilidad económica y técnica del proyecto.
4. Es necesario realizar más investigaciones de peligro sísmico para cada una de las ciudades más importantes del país. En esta investigación se consideró 1.5 como factor para el sismo máximo considerado, siendo este factor utilizado en la norma ASCE 7/16. Pero, se debe tener en cuenta que ese factor fue obtenido para otro tipo de suelo, por ello, se debe realizar más investigaciones para adecuar este factor a la realidad peruana.
5. Se debe realizar más investigaciones con estos sistemas de protección sísmica para otro tipo de obras civiles (puentes, muelles, etc).
6. Actualmente, no se cuenta con laboratorios especializados y equipados con la tecnología necesaria para realizar los ensayos necesarios de los aisladores y disipadores por lo que estos deben realizarse fuera del país, adicionando un costo extra en los proyectos. Por ello, es necesario que la inversión pública o privada permita equipar con la tecnología suficiente a los laboratorios de manera que puedan promover la construcción de edificios con sistemas de protección sísmica avanzada en el Perú.

## 6 BIBLIOGRAFÍA

- [1] RNE, Diseño Sismoresistente, Lima, 2016.
- [2] G. Villareal Castro y R. Oviedo Sarmiento, Edificaciones con Disipadores de Energía, Lima, 2009.
- [3] S. E. A. o. C. SEAOC, Recommended Lateral Force Requirements and Comentary, California, 1996.
- [4] J. Arraigada, «Aislación Sísmica de un Edificio de Oficinas de Siete Pisos (Análisis Comparativo de Comportamiento y Costos con un Edificio Tradicional),» Valdivia, Chile, 2005.
- [5] Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), E. 060 Concreto Armado, 2009.
- [6] Federal Emergency Management Agency, NEHRP guidelines for the seismic rehabilitation of buildings, 1997.
- [7] Uniform Building Code, UBC- Appendix Chapter 16. Division IV - Earthquake Regulations for seismic - isolated Structures, 1997.
- [8] Instituto Nacional de Normalización de Chile, NCH2745 Análisis y diseño de edificios con aislación sísmica - requisitos, 2003.
- [9] M. Dolce, A. Martinelli y G. Panza, Proteggersi dal Terremoto – Le Moderne Tecnologie e Metodologie a la Nuova Normativa Sismica (Let us protect from earthquakes - The modern technologies and methodologies and the new seismic code), Segunda ed., Milan, 2005.
- [10] M. Parisi, «América Economía,» 12 Enero 2014. [En línea]. Available: <http://www.americaeconomia.com/negocios-industrias/tecnologia-made-chile-sin-miedo-los-terremotos>. [Último acceso: 20 Septiembre 2016].

- [11] A. R. Mendo Rodriguez, «Bases para la implementación de la norma peruana de análisis y diseño de edificios con aislación sísmica,» Lima, 2015.
- [12] M. Leyton Bradley, «Implementación de aisladores sísmicos en un edificio de viviendas en Lima, Perú,» Lima, 2017.
- [13] AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS (ASCE 7-10), «Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures,» Virginia, EEUU, 2010.
- [14] E. J. Trujillo Benito, «Diseño integral de estructuras con sistema de aislación sísmica aplicado a un edificio de concreto armado,» Huancayo, 2017.