

**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN**

Facultad de Ingeniería Civil, Arquitectura y Geotecnia

Escuela Profesional de Ingeniería Civil

**DISEÑO SÍSMICO DE UNA EDIFICACIÓN PARA ALMACENAMIENTO EN  
LA GENOVESA AGROINDUSTRIAS DE CINCO NIVELES CON UN  
SISTEMA APORTICADO Y AISLADORES SÍSMICOS  
EN LA CIUDAD DE TACNA – 2023**

**TESIS**

Presentada por:

**Bach. Wilson Flores Chacapacha**

Para optar el Título Profesional de:

**INGENIERO CIVIL**

**TACNA - PERÚ**

**2025**

**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN**

Facultad de Ingeniería Civil, Arquitectura y Geotecnia

Escuela Profesional de Ingeniería Civil

“DISEÑO SÍSMICO DE UNA EDIFICACIÓN PARA ALMACENAMIENTO  
EN LA GENOVESA AGROINDUSTRIAS DE CINCO NIVELES CON UN  
SISTEMA APORTICADO Y AISLADORES SÍSMICOS EN LA  
CIUDAD DE TACNA -2023”

Tesis sustentada y aprobada el día 04 de febrero del 2025 estando  
integrado el Jurado Calificador por:

**PRESIDENTE**  
: .....  
Ph.D. Ing. Edwin Martin Pino Vargas**SECRETARIO**  
: .....  
Mtro. Ing. César José Avendaño Jihuallanga**VOCAL**  
: .....  
Mtro. Ing. Wilber Percy Mendoza Ramirez**ASESOR DE TESIS**  
: .....  
MSc. Ing. Edgar Chura Arocutipa

### CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo, MSc. Ing. Edgar Chura Arocutipa, en mi condición de ASESOR acreditado con Resolución de Facultad N°134-2023-FIAG/UNJBG del 30 de enero del 2023, del Trabajo de Tesis titulado: "DISEÑO SÍSMICO DE UNA EDIFICACIÓN PARA ALMACENAMIENTO EN LA GENOVESA AGROINDUSTRIAS DE CINCO NIVELES CON UN SISTEMA APORTICADO Y AISLADORES SÍSMICOS EN LA CIUDAD DE TACNA – 2023". Presentado por el Bach. Wilson Flores Chacapacha. Para optar el título profesional de Ingeniero Civil.

Habiendo cumplido con lo establecido en el reglamento de originalidad y similitud de trabajos de investigación y producción intelectual de la UNJBG; considerando que según la revisión, evaluación y análisis realizado a través del software de similitud textual TURNITIN, cuenta con el nivel de similitud permitido cuyo porcentaje es 8%. Por lo que CERTIFICO LA SIMILARIDAD de la tesis enunciada líneas arriba, la cual esta expedita para continuar con los trámites para optar el título profesional de Ingeniero Civil, según corresponda para su publicación en el Repositorio Institucional.

Tacna, 26 de julio 2024.

FIRMA ASESOR

Nombres y apellidos: Edgar Chura Arocutipa

DNI: 00413327



Huella dactilar

FIRMA AUTOR

Nombres y apellidos: Wilson Flores Chacapacha

DNI: 71771005



Huella dactilar

## **DEDICATORIA**

*A Dios, por guiar cada paso de mi vida, por brindarme salud, por haberme dado fortalezas para superar todo obstáculo que se ha presentado en el camino.*

*A mi madre Edilberta, por todo su apoyo incondicional, por ser un gran ejemplo de constante esfuerzo y superación durante toda mi vida, por lo que me ha motivado no solo a perseguir mis sueños, sino también a ser una persona con principios y valores.*

*A mis amigos, en especial al Ing. Jesús Miguel Montano Saavedra, por su amistad, por sus buenos consejos, por su experiencia académica y laboral que me inspiran a ser un mejor profesional.*

## **AGRADECIMIENTO**

*Expreso mi sincero agradecimiento al Ing. Edgar Chura Arocutipa y al Ing. Diego Manuel Calderón Pasco, por compartir sus conocimientos y dedicar horas de enseñanzas para el desarrollo del presente proyecto de tesis.*

*Del mismo modo, mi agradecimiento al Ph.D. Genner Villarreal Castro, por las diversas publicaciones, conferencias y clases brindadas sobre estos temas de la ingeniería estructural, el cual en ocasiones fue un material muy importante para lograr este objetivo, que además fue una motivación para seguir esta grandiosa rama de la ingeniería.*

*Asimismo, expreso mi agradecimiento a todos los docentes que formaron parte de mi formación académica y posterior desarrollo profesional, cuyas enseñanzas y consejos fueron de mucha utilidad para mi persona.*

*Por último, agradecer a mi madre y amistades, quienes siempre han estado motivándome constantemente a lograr finalizar el presente proyecto.*

## ÍNDICE GENERAL

|                                       |      |
|---------------------------------------|------|
| PORTADA .....                         | i    |
| HOJA DE JURADO .....                  | ii   |
| CERTIFICADO DE SIMILITUD.....         | iii  |
| DEDICATORIA .....                     | iv   |
| AGRADECIMIENTO.....                   | v    |
| ÍNDICE GENERAL.....                   | vi   |
| ÍNDICE DE FIGURAS.....                | ix   |
| ÍNDICE DE TABLAS .....                | xii  |
| RESUMEN.....                          | xiii |
| INTRODUCCIÓN .....                    | 1    |
| CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES .....  | 4    |
| 1.1 ANTECEDENTES .....                | 4    |
| 1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....   | 28   |
| 1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....    | 32   |
| 1.3.1 Interrogante general .....      | 32   |
| 1.3.2 Interrogantes específicas ..... | 33   |
| 1.4 FORMULACION DE LA HIPÓTESIS ..... | 33   |
| 1.4.1 Hipótesis general.....          | 33   |
| 1.4.2 Hipótesis específicas .....     | 33   |
| 1.5 JUSTIFICACIÓN.....                | 34   |
| 1.6 DEFINICION DE LOS OBJETIVOS ..... | 36   |
| 1.6.1 Objetivo general.....           | 36   |

|  |  |    |
|--|--|----|
| 1.6.1                                  | Objetivos específicos .....  | 36 |
| 1.7                                    | DEFINICIÓN DE VARIABLES .....  | 36 |
| 1.7.1                                  | Identificación y caracterización de variables .....                      | 36 |
| 1.7.2                                  | Operacionalización de variables .....                                    | 37 |
| 1.8                                    | ALCANCES Y LIMITACIONES .....  | 37 |
| 1.8.1                                  | Alcances .....   | 37 |
| 1.8.2                                  | Limitaciones .....   | 38 |
| CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....       |  | 39 |
| 2.1                                    | GENERALIDADES .....  | 39 |
| 2.1.1                                  | Conceptos básicos de ingeniería estructural .....                        | 39 |
| 2.2                                    | CRITERIOS BÁSICOS DE SISMORRESISTENCIA .....                             | 54 |
| 2.3                                    | NORMATIVA PARA UN DISEÑO SISMORRESISTENTE Y<br>AISLAMIENTO SÍSMICO ..... | 62 |
| 2.4                                    | DISPOSITIVOS DE AISLAMIENTO SÍSMICO .....                                | 63 |
| 2.5                                    | METODOLOGÍA DE DISEÑO CON AISLAMIENTO SÍSMICO .....                      | 67 |
| 2.6                                    | MÉTODOS DE ANÁLISIS SÍSMICO .....  | 69 |
| 2.6.1                                  | Análisis estático o de fuerzas estáticas equivalentes.....               | 70 |
| 2.6.2                                  | Análisis dinámico modal espectral.....                                   | 71 |
| 2.6.3                                  | Análisis dinámico tiempo – historia.....                                 | 72 |
| 2.6.4                                  | Comparación de métodos de análisis sísmico .....                         | 74 |
| 2.7                                    | VARIABLES DE DESEMPEÑO .....   | 74 |
| CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO ..... |  | 77 |
| 3.1                                    | TIPO DE INVESTIGACIÓN.....   | 77 |
| 3.2                                    | DISEÑO DE INVESTIGACIÓN .....  | 77 |

|       |  |     |
|-------|--|-----|
| 3.3   | POBLACIÓN Y MUESTRA DE INVESTIGACIÓN.....                          | 78  |
| 3.4   | PROCEDIMIENTO DEL DISEÑO DEL EDIFICIO CON Y SIN BASE AISLADA ..... | 79  |
| 3.4.1 | Generalidades.....   | 79  |
| 3.4.2 | Estructuración y predimensionamiento.....                          | 79  |
| 3.4.3 | Cuantías de Acero en columnas y capiteles .....                    | 83  |
| 3.4.4 | Cálculos preliminares de análisis.....                             | 85  |
| 3.4.5 | Registros sísmicos.....  | 100 |
|       | CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....               | 102 |
| 4.1   | RESULTADOS DE MODELOS .....  | 102 |
| 4.2   | VERIFICACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....                       | 125 |
|       | CONCLUSIONES .....   | 130 |
|       | RECOMENDACIONES .....  | 134 |
|       | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....                                    | 135 |
|       | ANEXO.....   | 143 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 1.</b> Las placas tectónicas más predominantes del mundo.....                       | 29 |
| <b>Figura 2.</b> Ilustración del Cinturón de Fuego del Pacífico .....                         | 30 |
| <b>Figura 3.</b> Algunos campos de la ingeniería estructural.....                             | 39 |
| <b>Figura 4.</b> Modelos con un solo grado de libertad .....                                  | 41 |
| <b>Figura 5.</b> Estructuras modelizadas como un sistema de un solo grado de libertad .....   | 41 |
| <b>Figura 6.</b> Modelos con varios grados de libertad.....                                   | 41 |
| <b>Figura 7.</b> Modelo dinámico de un pórtico de cortante y pórtico espacial .....           | 42 |
| <b>Figura 8.</b> Grados de libertad en estructuras .....                                      | 43 |
| <b>Figura 9.</b> Formulación de la ecuación de movimiento en edificio con base fija .....     | 44 |
| <b>Figura 10.</b> Formulación de la ecuación de movimiento en edificio con base aislada ..... | 45 |
| <b>Figura 11.</b> Deformaciones elásticas y plásticas .....                                   | 47 |
| <b>Figura 12.</b> Deformación de un elemento o bloque.....                                    | 48 |
| <b>Figura 13.</b> Superposición en una estructura.....  | 49 |
| <b>Figura 14.</b> Representación del método matricial de rigidez.....                         | 51 |
| <b>Figura 15.</b> Comportamiento dúctil y frágil en materiales .....                          | 54 |
| <b>Figura 16.</b> Comportamiento de los diferentes tipos de ondas sísmicas.....               | 57 |
| <b>Figura 17.</b> Movimientos de las placas tectónicas en la corteza terrestre.....           | 58 |
| <b>Figura 18.</b> Zonificación sísmica en Perú .....  | 59 |
| <b>Figura 19.</b> Interpretación de los factores de amplificación sísmica Z, S y C .....      | 60 |
| <b>Figura 20.</b> Comportamiento sísmico de una Estructura (Edificación) .....                | 62 |
| <b>Figura 21.</b> Interacción sísmica en un aislador sísmico .....                            | 65 |
| <b>Figura 22.</b> Tipos de aisladores sísmicos y deslizadores.....                            | 66 |
| <b>Figura 23.</b> Aproximación bilineal de un aislador LRB.....                               | 67 |
| <b>Figura 24.</b> Evolución en la aplicación de esta metodología.....                         | 68 |
| <b>Figura 25.</b> Comparación de un sistema con aislamiento y uno convencional.....           | 69 |
| <b>Figura 26.</b> Representación gráfica del análisis estático .....                          | 71 |
| <b>Figura 27.</b> Modos de vibración de un edificio.....                                      | 72 |
| <b>Figura 28.</b> Gráfica de aceleración vs tiempo .....                                      | 73 |
| <b>Figura 29.</b> Desempeño para edificios con aislamiento y base fija .....                  | 75 |

|   |     |
|---|-----|
| <b>Figura 30.</b> Desempeño según el periodo de retorno ( $TR$ ).....                         | 76  |
| <b>Figura 31.</b> Modos de vibración y periodos de la edificación con base fija .....         | 86  |
| <b>Figura 32.</b> Modos de vibración y periodos de la edificación con base aislada .....      | 87  |
| <b>Figura 33.</b> Espectros de respuestas sísmicas .....                                      | 92  |
| <b>Figura 34.</b> Centros de masa y rigidez.....  | 93  |
| <b>Figura 35.</b> Fuerza cortante en la base obtenido de un Análisis Estático .....           | 102 |
| <b>Figura 36.</b> Desplazamiento en el centro de masas obtenido de un Análisis Estático ..... | 102 |
| <b>Figura 37.</b> Modos de vibración de la edificación .....                                  | 103 |
| <b>Figura 38.</b> Fuerza cortante en la base, obtenido de un Análisis Dinámico .....          | 103 |
| <b>Figura 39.</b> Fuerza cortante para cada nivel – Sismo en X .....                          | 104 |
| <b>Figura 40.</b> Fuerza cortante para cada nivel – Sismo en Y .....                          | 104 |
| <b>Figura 41.</b> Desplazamientos en el centro de masa en dirección X.....                    | 104 |
| <b>Figura 42.</b> Desplazamientos en el centro de masa en dirección Y .....                   | 105 |
| <b>Figura 43.</b> Desplazamiento máximo por piso – Sismo en X.....                            | 105 |
| <b>Figura 44.</b> Desplazamiento máximo por piso – Sismo en Y.....                            | 106 |
| <b>Figura 45.</b> Deriva máxima por piso – Sismo en X .....                                   | 106 |
| <b>Figura 46.</b> Deriva máxima por piso – Sismo en Y .....                                   | 107 |
| <b>Figura 47.</b> Modo de vibración 1 del análisis dinámico – base aislada.....               | 107 |
| <b>Figura 48.</b> Modo de vibración 2 del análisis dinámico – base aislada.....               | 108 |
| <b>Figura 49.</b> Modo de vibración 3 del análisis dinámico – base aislada.....               | 108 |
| <b>Figura 50.</b> Fuerza cortante dinámica - Base aislada .....                               | 109 |
| <b>Figura 51.</b> Desplazamiento máximo por piso – sismo máximo en X .....                    | 109 |
| <b>Figura 52.</b> Desplazamiento máximo por piso – sismo máximo en Y .....                    | 110 |
| <b>Figura 53.</b> Espectro de pseudo aceleraciones sismo Lima 1966 – en X .....               | 111 |
| <b>Figura 54.</b> Espectro de pseudo aceleraciones sismo lima 1966 – en Y.....                | 111 |
| <b>Figura 55.</b> Derivas máximas para los 7 sismos en X.....                                 | 112 |
| <b>Figura 56.</b> Derivas máximas para los 7 sismos en Y .....                                | 112 |
| <b>Figura 57.</b> Tiempo – historia, sismo Lima 1966 en X.....                                | 113 |
| <b>Figura 58.</b> Tiempo – historia, sismo Lima 1966 en Y .....                               | 113 |
| <b>Figura 59.</b> Tiempo – historia, sismo Lima 1970 en X .....                               | 114 |
| <b>Figura 60.</b> Tiempo – historia, sismo Lima 1970 en Y .....                               | 114 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Figura 61.</b> Tiempo – historia, sismo Lima 1974 en X .....                  | 115 |
| <b>Figura 62.</b> Tiempo – historia, sismo Lima 1974 en Y .....                  | 115 |
| <b>Figura 63.</b> Cargas axiales máximas en nuestra configuración .....          | 116 |
| <b>Figura 64.</b> Máximas cargas axiales en kN .....                             | 116 |
| <b>Figura 65.</b> Curva histerética del aislador K25 (Sismo Lima 1966 X).....    | 117 |
| <b>Figura 66.</b> Curva histerética del aislador K39 (Sismo Lima 1974 X).....    | 117 |
| <b>Figura 67.</b> Curva histerética del aislador K40 (Sismo Curicó 2010 X) ..... | 118 |
| <b>Figura 68.</b> Curva histerética del aislador K51 (Sismo Maipú 2010 X).....   | 118 |
| <b>Figura 69.</b> Fuerza cortante en la base - sismo Lima 1966 .....             | 119 |
| <b>Figura 70.</b> Fuerza cortante en la base - sismo Lima 1970 .....             | 119 |
| <b>Figura 71.</b> Fuerza cortante en la base - sismo Lima 1974 .....             | 119 |
| <b>Figura 72.</b> Fuerza cortante en la base - sismo Curicó 2010 .....           | 120 |
| <b>Figura 73.</b> Fuerza cortante en la base - sismo Hualañe 2010.....           | 120 |
| <b>Figura 74.</b> Fuerza cortante en la base - sismo Maipú 2010.....             | 120 |
| <b>Figura 75.</b> Fuerza cortante en la base - sismo Talca 2010 .....            | 121 |
| <b>Figura 76.</b> Desplazamiento de los dispositivos con mayor carga axial.....  | 121 |
| <b>Figura 77.</b> Desplazamiento de los dispositivos con mayor carga axial.....  | 122 |
| <b>Figura 78.</b> Desplazamiento de los dispositivos con mayor carga axial.....  | 122 |
| <b>Figura 79.</b> Desplazamiento de los dispositivos con mayor carga axial.....  | 123 |
| <b>Figura 80.</b> Deformación – desplazamiento por dispositivos en X .....       | 123 |
| <b>Figura 81.</b> Deformación – desplazamiento por dispositivos en Y .....       | 124 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|  |     |
|--|-----|
| <b>Tabla 1.</b> Estructuras con aislamiento sísmico en Chile.....                            | 6   |
| <b>Tabla 2.</b> Construcciones, rehabilitaciones y reconstrucciones .....                    | 7   |
| <b>Tabla 3.</b> Cuadro comparativo de una estructura con y sin aislamiento basal .....       | 9   |
| <b>Tabla 4.</b> Cuadro comparativo de un sistema convencional vs sistema con aislamiento ... | 11  |
| <b>Tabla 5.</b> Las principales edificaciones nacionales con aislador sísmico .....          | 14  |
| <b>Tabla 6.</b> últimas edificaciones nacionales con aislador sísmico .....                  | 15  |
| <b>Tabla 7.</b> Análisis comparativo de los 3 modelos .....                                  | 24  |
| <b>Tabla 8.</b> Resultado del análisis comparativo CON y SIN Aislamiento.....                | 26  |
| <b>Tabla 9.</b> Resultados del análisis Comparativo de ambos sistemas .....                  | 28  |
| <b>Tabla 10.</b> Tabla de operacionalización de variables .....                              | 37  |
| <b>Tabla 11.</b> Comparación entre los métodos de análisis sísmicos.....                     | 74  |
| <b>Tabla 12.</b> Factores de amortiguamiento <i>BM</i> .....                                 | 88  |
| <b>Tabla 13.</b> Factores de amortiguamiento <i>BM</i> efectivo.....                         | 92  |
| <b>Tabla 14.</b> Resumen de propiedades requeridas.....                                      | 96  |
| <b>Tabla 15.</b> Propiedades de diseño del aislador según catálogo FIP INDUSTRIALE .....     | 97  |
| <b>Tabla 16.</b> Registros sísmicos .....  | 101 |
| <b>Tabla 17.</b> Control de derivas en el sentido X.....                                     | 125 |
| <b>Tabla 18.</b> Control de derivas en el sentido Y.....                                     | 125 |
| <b>Tabla 19.</b> Control de derivas de entrepiso en la dirección X .....                     | 126 |
| <b>Tabla 20.</b> Desplazamiento del centro de masa (CM).....                                 | 126 |
| <b>Tabla 21.</b> Desplazamientos máximos de piso en la dirección X.....                      | 126 |
| <b>Tabla 22.</b> Aceleraciones en los diafragmas en la dirección X .....                     | 127 |
| <b>Tabla 23.</b> Fuerzas cortantes de cada entrepiso en la dirección X.....                  | 127 |
| <b>Tabla 24.</b> Derivas de entrepiso en la dirección Y .....                                | 128 |
| <b>Tabla 25.</b> Desplazamiento del centro de masa (CM).....                                 | 128 |
| <b>Tabla 26.</b> Desplazamientos máximos de piso en la dirección Y .....                     | 128 |
| <b>Tabla 27.</b> Aceleraciones en los diafragmas en la dirección Y .....                     | 129 |
| <b>Tabla 28.</b> Fuerzas cortantes de cada entrepiso en la dirección Y.....                  | 129 |

## RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo principal demostrar la contribución de la implementación del diseño sismorresistente con un sistema de aislamiento en la base para obtener mejor desempeño estructural de una edificación de cinco niveles con sistema aporcado, perteneciente a la empresa Genovesa Agroindustrias SA, ubicada en la ciudad de Tacna. A través de un enfoque cuantitativo – experimental, se realizaron simulaciones numéricas y computacionales para comparar dos modelos de la edificación (con y sin aislamiento); para lo cual se consideraron parámetros clave como la mecánica de suelos, el predimensionamiento de los elementos estructurales, las propiedades de los materiales y los registros sísmicos. Además, se realizaron sus respectivos análisis sísmicos para evaluar los principales criterios de desempeño estructural, tales como aceleraciones, desplazamientos, derivas y fuerzas cortantes.

Los resultados obtenidos indican que el sistema de aislamiento sísmico mejora significativamente el desempeño estructural de la edificación, reduciendo los desplazamientos y las derivas de entrepiso en comparación con el sistema tradicional sin aislamiento. En cuanto a las fuerzas cortantes dinámicas, también se observa una disminución en la transmisión de fuerzas a la superestructura, lo que contribuye a un mejor comportamiento global del mismo. A través de este análisis comparativo, se concluye que la implementación de un diseño con aislamiento sísmico en la base no solo reduce los efectos destructivos de un sismo, sino también

mejora el comportamiento global de la estructura, lo que proporciona mayor seguridad y resiliencia ante terremotos. Este estudio establece una base para futuras investigaciones en el uso de aisladores sísmicos en el medio local, abriendo nuevas oportunidades para optimizar el diseño sísmico de edificaciones en zonas de alta actividad.

**Palabras clave:** Ingeniería estructural, aisladores sísmicos, análisis dinámico, diseño sísmico, evaluación de desempeño y edificaciones antisísmicas.

## INTRODUCCIÓN

La sismicidad en el mundo es una de las principales causas de destrucción en áreas urbanas, especialmente en regiones de alta actividad sísmica como la costa peruana, donde se encuentra la ciudad de Tacna. En este contexto, el diseño sismorresistente se vuelve una prioridad crucial para garantizar la seguridad de las edificaciones de gran valor e importancia. Sin embargo, las técnicas tradicionales de diseño sísmico a menudo no son suficientes para mitigar completamente los efectos destructivos de los sismos, especialmente en estructuras de gran altura y complejidad. Por esta razón, el uso de sistemas innovadores, como el aislamiento sísmico, emerge como una estrategia efectiva para reducir el impacto de las fuerzas sísmicas, desacoplando la superestructura del movimiento del suelo durante un terremoto.

A pesar de su efectividad comprobada en múltiples investigaciones y proyectos de ingeniería, su implementación en edificaciones aún es un tema poco explorado en la práctica en muchos proyectos locales. Esta tesis se centra en el análisis y la implementación de un sistema de aislamiento en la base para una edificación de cinco niveles y sistema aporticado, ubicado en la ciudad de Tacna, perteneciente a la empresa Genovesa Agroindustrias SA.

El objetivo principal fue evaluar y/o demostrar cómo la incorporación de esta tecnología puede mejorar el desempeño estructural de la edificación ante eventos sísmicos. A través de un estudio detallado de las características del suelo,

las cargas sísmicas, los parámetros de diseño y su respectivo análisis se buscó demostrar que el aislamiento de base puede ofrecer una mayor protección y durabilidad a la estructura, minimizando los riesgos de daño estructural y protegiendo las instalaciones, equipos de gran valor y personas dentro del edificio. Para lograr esto, se llevó a cabo una investigación cuantitativa y experimental, basada en la recolección y análisis de datos numéricos. Se utilizaron modelos matemáticos y simulaciones computacionales para evaluar el comportamiento estructural bajo diferentes condiciones sísmicas. La comparación entre los dos modelos (con y sin aislamiento) permitió evidenciar el impacto de la implementación del sistema de aislamiento en la base.

La presente tesis está estructurada en cinco capítulos. El primero introduce el contexto general del estudio, incluyendo una revisión bibliográfica de antecedentes, el planteamiento del problema, la justificación y los objetivos. El segundo capítulo aborda el marco teórico, proporcionando una revisión detallada de las variables relevantes, indicadores y el marco normativo aplicable al diseño sismorresistente y el aislamiento sísmico. En el tercer capítulo, se describe la metodología de investigación, detallando el tipo y diseño de investigación, la población y muestra de estudio, así como los procedimientos empleados. El cuarto capítulo presenta los resultados obtenidos, seguidos del análisis y la verificación de los datos.

Finalmente, se presentan las conclusiones y recomendaciones derivadas del estudio. Además, se incluyen los anexos, que contienen los planos y la hoja de resumen del informe técnico del estudio de mecánica de suelos realizado.

## CAPÍTULO I

### ASPECTOS GENERALES

#### 1.1 ANTECEDENTES

##### *Antecedentes internacionales*

##### **Aplicaciones del sistema de aislamiento sísmico**

A lo largo del tiempo, han ocurrido numerosos eventos sísmicos que han provocado grandes pérdidas de vidas humanas a nivel mundial. Como resultado, se hizo necesario adoptar nuevas técnicas de control estructural en las edificaciones civiles. Gómez et al. (2008), en su investigación, describen que estas técnicas de control estructural comenzaron con el trabajo empírico de John Milne, un profesor de ingeniería en Japón, quien, alrededor de 1900, construyó una pequeña casa de madera y le colocó cojinetes en la base para demostrar que la estructura podía aislarse del movimiento sísmico. La principal motivación para este desarrollo fue el motor de combustión interna, utilizado en automóviles y aviones, que generaba altos niveles de fuerzas dinámicas. Durante la Segunda Guerra Mundial (1939-1945), se desarrollaron conceptos de aislamiento, absorción y amortiguamiento de vibraciones, los cuales se aplicaron de manera efectiva en estructuras aeronáuticas. Después, en los primeros cincuenta años del siglo XX, se desarrolló la teoría de sistemas lineales y su aplicación en el campo de las vibraciones, particularmente en la dinámica estructural. Esta tecnología se adaptó rápidamente a la ingeniería civil para proteger puentes y edificios contra cargas extremas causadas por sismos y

vientos. Además, se menciona que el primer estudio conceptual sobre control estructural en ingeniería civil fue realizado por Yao en 1972.

Por su parte, Control y Diseño de Estructuras SAS (2017) clasifica las técnicas de control de respuesta sísmica en tres categorías principales: control pasivo, control semiactivo, y control activo e híbrido. En su clasificación, describe el tipo de sistema y los diversos dispositivos que se emplean en cada uno. Por lo tanto, se puede afirmar que el sistema abordado en este proyecto se enmarca dentro del grupo de control pasivo, como han señalado numerosos autores en sus investigaciones respectivas.

De manera similar, en un estudio realizado por Genatios y Lafuente (2016), *Introducción al uso de aisladores y disipadores en estructuras*, se lleva a cabo una revisión bibliográfica sobre este sistema, y en el capítulo 8 se presentan ejemplos de su aplicación (aislamiento en la base) tanto en Europa como en América Latina. En Chile, los sistemas pasivos de control sísmico se han implementado en estructuras desde la década de 1990. El primer edificio aislado sísmicamente fue la Comunidad Andalucía de Santiago, una edificación de mampostería confinada de cuatro pisos destinada a viviendas económicas. En este edificio, se instalaron 8 aisladores y se equipó con acelerómetros digitales, al igual que en otro edificio similar, pero con base fija, con el fin de realizar comparaciones. La práctica del aislamiento sísmico en Chile avanzó rápidamente y, en 2003, se publicó la norma chilena oficial NCh2745.Of2003, titulada "Análisis y diseño de edificios con

aislación sísmica", siendo una de las primeras de su tipo en Sudamérica. A partir de entonces, se iniciaron diversas construcciones utilizando este sistema, las cuales se muestran en la tabla siguiente. Además, según EERI (2010, como se citó en Genatios y Lafuente, 2016), las estructuras con aislamiento sísmico respondieron de manera satisfactoria durante el fuerte sismo de 8,8 Mw ocurrido el 27 de febrero de 2010, que afectó la región central y sur de Chile, donde se encontraba el 71 % de los hospitales del país, de los cuales solo ocho quedaron parcialmente operativos tras este fenómeno natural.

**Tabla 1**

*Estructuras con aislamiento sísmico en Chile*

| N° | Edificación  | Estructuración   |
|----|--|--|
| 1  | Edificio habitacional Comunidad Andalucía, Santiago (1992)       | Mampostería Armada de Ladrillos<br>Cerámicos, 4 pisos                    |
| 2  | Viaducto Marga-Marga, Viña del Mar (1996)                        | Puente continuo de 4 vigas<br>metálicas, 7 vanos (383 m)                 |
| 3  | Hospital Clínico San Carlos de Apoquindo<br>PUC (2000)           | Marcos de H°A°, 5 pisos + 1 subterráneo<br>(8,000 m <sup>2</sup> )       |
| 4  | Edificio San Agustín de la Facultad de<br>Ingeniería PUC (2002)  | Marcos de H°A°, 4 pisos + 1<br>subterráneo (6,000 m <sup>2</sup> )       |
| 5  | Viaducto Marga-Marga 2 (Troncal Sur), Viña<br>del Mar (2003)     | Puente sobre 4 vigas pretensadas de H°A°,<br>10 vanos (500 m)            |
| 6  | Hospital Militar de Santiago (2004)                              | Marcos de H°A°, 4 pisos + 1<br>subterráneo (50,000 m <sup>2</sup> )      |
| 7  | Edificio de oficinas Vulco SA (2005)                             | Marcos de H°A° prefabricado, 3 pisos                                     |
| 8  | Edificio Asociación Chilena de Seguridad,<br>Santiago (2005)     | Marcos y Muros de H°A°, 7 pisos + 3<br>subterráneos                      |
| 9  | Edificio Asociación Chilena de Seguridad,<br>Viña del Mar (2008) | Marcos y Muros H°A°, 7 pisos + 2<br>subterráneos (4,200 m <sup>2</sup> ) |
| 10 | Muelle de contenedores Puerto Coronel (2009)                     | Plataforma de H°A° sobre pilotes metálicos                               |

*Nota.* Son datos obtenidos hasta el año 2010, en las cuales se utilizaron distintos tipos de dispositivos de aislamiento. Tomado de Almazán, J.L. (2010, como se citó en Genatios y Lafuente, 2016).

Del mismo modo, describe la práctica de este sistema en otros países como Venezuela, Nueva Zelanda, Estados Unidos, entre otros. Las cuales se resume en la siguiente tabla.

**Tabla 2**

*Construcciones, rehabilitaciones y reconstrucciones*

| N° | Edificación   | País   |
|----|---|--|
| 1  | Comenzaron con la Construcción de puentes (1970).   | Nueva Zelanda  |
| 2  | Construcción de más de 300 puentes (hasta 1993)   | A nivel mundial  |
| 3  | Viaducto en el tramo ferroviario Caracas-Tuy (finalizado a finales del 2006)  | Norte de Venezuela   |
| 4  | Edificio Foothill Communities Law and Justice Center (FCLJC) (1er edificio finalizado en 1985)                              | Rancho Cucamonga, sur del Estado de California (Estados Unidos)  |
| 5  | Edificio Angeles County Fire Command and Control Facility (construido en 1989)  | California (Estados Unidos)                                      |
| 6  | Hospital Universitario de la Universidad de Southern California (finalizada aprox. En 1992)                                 | Los Ángeles, California (Estados Unidos)                         |
| 7  | Rehabilitación del ayuntamiento de los Ángeles (posterior al terremoto de 1994 de Northridge)                               | California (Estados Unidos)                                      |
| 8  | Rehabilitación del ayuntamiento de Oakland (posterior al terremoto de Loma Prieta de 1989)                                  | Bahía de San Francisco del estado de California (Estados Unidos) |
| 9  | Reconstrucción del ayuntamiento de San Francisco (posterior al terremoto de 1906 en San Francisco, obra finalizada en 1915) | Civic Center, en San Francisco, California (Estados Unidos)      |

*Nota.* Son datos obtenidos de Genatios y Lafuente (2016), en las cuales se puede apreciar cómo se fue realizando la implementación de este sistema posterior a eventos sísmicos, en diferentes países.

### **Estudios realizados sobre el sistema de aislamiento sísmico**

En el proyecto de Ruiz Carrillo y Torres Reino (2019), titulado *Análisis comparativo del comportamiento sísmico dinámico de estructuras esenciales con aisladores de base del tipo elastomérico con núcleo de plomo (LRB) y disipadores tipo contraventeos restringidos al pandeo (BRB), y su incidencia en la relación costo/beneficio del sistema estructural*, el objetivo principal fue comparar el comportamiento dinámico de una estructura sin aislamiento basal, con aislamiento

basal elastomérico LRB y con disipadores de energía tipo BRB. Los resultados confirmaron la hipótesis sobre la relación costo/beneficio, demostrando que tanto los aisladores LRB como los disipadores BRB mejoran significativamente el desempeño global de la estructura. Los aisladores LRB permiten alcanzar un nivel operacional, mientras que los disipadores BRB logran un nivel de ocupación inmediata, evitando el colapso en estructuras convencionales. Esto es especialmente beneficioso, ya que protege tanto el sistema estructural como los equipos esenciales, minimizando daños. Además, el análisis económico revela que una estructura equipada con sistemas de protección sísmica puede reducir su inversión inicial en el sistema estructural, ya que estos sistemas disipan gran parte de la energía sísmica, permitiendo secciones estructurales más pequeñas y logrando un ahorro aproximado del 8 %. Aunque este ahorro puede parecer modesto, el verdadero beneficio se manifiesta a largo plazo en el mejor desempeño de la estructura.

Luego de realizar el diseño estructural para cada tipo de sistema, llega a la siguiente conclusión:

**Tabla 3***Cuadro comparativo de una estructura con y sin aislamiento basal*

| <b>Estructura SIN Aislamiento Basal</b>  | <b>Estructura CON Aislamiento Basal</b>     |
|--|---|
| <b>Respecto a los elementos estructurales</b>  |   |
| Se requieren columnas de 1,20m x 1,20m   | Se requieren columnas de 0,80m x 0,80m      |
| Se requieren vigas de 0,90mm x 0,90m   | Se requieren vigas de 0,60mm x 0,60m        |
| <b>Respecto al desplazamiento máximo para un evento sísmico severo (T=2500años)</b>    |   |
| Desplazamiento de 0,46m  | Desplazamiento de 0,22m                     |
| <b>Respecto al desempeño estructural (Análisis dinámico no lineal Tiempo-Historia)</b> |   |
| Se alcanza un nivel prevención de colapso  | Se ubica en el nivel totalmente operacional |

*Nota.* Se observa que los elementos de la estructura se reducen en un 66,67 %, el desplazamiento reduce en un 47,83 %. Elaboración propia con datos obtenidos de Ruiz Carrillo y Torres Reino (2019).

En el proyecto de investigación de Sanz Esteban (2017), titulado “*Sistemas constructivos para sismos*”, el objetivo principal fue identificar los sistemas constructivos más eficaces para construir edificios que resistan los sismos. Sanz Esteban argumenta que no es necesario construir edificios totalmente resistentes a terremotos en todas partes del mundo, sino solo en áreas con alta actividad sísmica y riesgo de desastres. Por lo tanto, es crucial adaptar las soluciones constructivas al contexto específico de cada lugar. Su investigación se centró en tres sistemas de protección sísmica: el sistema de aislamiento de la base, el amortiguador de masa integrada y el amortiguador de líquido integrado. Describe aplicaciones del sistema de aislamiento en la base en países como Estados Unidos y Japón, destacando que este sistema fue desarrollado en Francia en la década de 1970 y se aplicó en edificios y centrales nucleares en varios países, incluidos Francia, Sudáfrica, Nueva Zelanda y Estados Unidos. También menciona que en Japón se utilizó en una casa en 1983 y se desarrolló posteriormente en institutos técnicos de investigación de importantes empresas constructoras en Japón. Tras revisar las aplicaciones del

sistema y comprobar su eficacia durante sismos, concluye que es una solución válida y relevante. Este sistema no solo es útil para nuevas construcciones, sino también para la rehabilitación de edificios existentes, ayudando a reducir los daños provocados por sismos y permitiendo una recuperación más rápida tras eventos sísmicos severos.

Por otro lado, en un proyecto doctoral de Valerio Zacarias (2015), titulado *Análisis comparativo de un edificio fijo en la base vs un edificio aislado utilizando 4 tipos de aisladores sísmicos*, cuyo objetivo principal fue comparar el comportamiento estructural de un edificio fijo con uno aislado, empleando cuatro tipos de aisladores sísmicos. Para ello, se realizó un análisis de tiempo-historia utilizando el programa ETABS 2013. El estudio se centra en comparar el desempeño de un edificio de 7 pisos destinado a vivienda, con un sistema estructural de muros estructurales, basándose en datos sísmicos de 17 terremotos globales (los eventos sísmicos más significativos), cada uno con 4 componentes (dirección X, dirección Y y dos combinaciones simultáneas XY). Esto suma un total de 68 registros sísmicos. Posteriormente, se diseñan los dispositivos, se lleva a cabo el modelado y análisis, y se obtienen respuestas cuantitativas sobre la deriva del edificio, la aceleración absoluta del piso superior, la fuerza cortante en la base y el desplazamiento en la base (los cuatro factores de desempeño).

**Tabla 4**

*Cuadro comparativo de un sistema convencional vs sistema con aislamiento*

| Sin Aislamiento                             | Con Aislamiento (usando 4 Tipos de Dispositivos) |                        |                       |                       |
|---|--|------------------------|-----------------------|-----------------------|
|   | HDRB   | LRB                    | FPS                   | RNC                   |
| Deriva máxima de 0.0238                     | 0.0038   | 0.0049                 | 0.0041                | 0.0020                |
| Aceleración máxima de 52.33m/s <sup>2</sup> | 12.68 m/s <sup>2</sup>                           | 11.45 m/s <sup>2</sup> | 8.88 m/s <sup>2</sup> | 3.54 m/s <sup>2</sup> |
| Fuerza cortante máx. de 5300Tn              | 1295 Tn  | 1580 Tn                | 1444 Tn               | 907 Tn                |
| Desplazamiento máximo de 0.34m              | 0.47m  | 0.59m                  | 0.94m                 | 1.19m                 |

*Nota.* Se observa que respecto a las derivas máximas de piso se reducen un 74 % al emplear el dispositivo HDRB, 74 % con LRB, 84 % con FPS y 86 % con RNC. Respecto a las máximas aceleraciones (en el piso superior del edificio) presenta una reducción de 75 % con HDRB, 75 % con LRB, 93 % con FPS y 92 % con RNC. Respecto a la máxima fuerza cortante en la base se reduce un 77 % con HDRB, 76 % con LRB, 78 % con FPS y cuando utiliza RNC se reduce un 84 %. Y finalmente respecto a los desplazamientos máximos se ve un incremento de 167 % con HDRB, 212 % con LRB, 352 % con FPS y 333 % con RNC. Elaboración propia con datos obtenidos de Valerio Zacarias (2015).

Tras analizar los cuatro factores de desempeño, se concluye que el aislador más eficiente es el Roll-N-Cage (RNC). Esto se debe a que disminuye la deriva del edificio en un 86 %, reduce la aceleración en el piso superior en un 92 %, disminuye la fuerza cortante en la base en un 84% y aumenta el desplazamiento en un 333 %.

De manera similar, en un estudio doctoral realizado por Zúñiga Cuevas (2013), titulado “*Metodología de diseño sísmico de sistemas de aislamiento de base mediante el control del daño en contenidos*”, se plantea como objetivo desarrollar una metodología de diseño de estructuras aisladas mediante el control de la aceleración absoluta de entrepiso. Esta metodología se basa en los principios del diseño por desempeño, tomando como referencia los daños ocasionados por sismos en los contenidos y elementos no estructurales de las edificaciones.

El estudio se enfoca en estructuras regulares de baja altura (4 pisos o menos), bajo la hipótesis de que su comportamiento ante cargas laterales está dominado por deformaciones globales a corte. En los capítulos 3, 5 y 6, Zúñiga

identifica parámetros que determinan la respuesta de las estructuras aisladas en términos de aceleración y velocidad. Entre los tres sistemas de aislamiento evaluados (aisladores elastoméricos de bajo amortiguamiento, aisladores elastoméricos con núcleo de plomo y aisladores de péndulo de fricción), se concluye que los dispositivos elastoméricos tienen mayor potencial para controlar los efectos de los modos superiores, permitiendo así un control más efectivo del daño en los contenidos.

La metodología de diseño propuesta busca eliminar, en lo posible, los picos en los espectros de piso de aceleración absoluta para controlar estas demandas en los contenidos. Aplicada a una edificación de cuatro pisos, se determina que los contenidos esbeltos cuyo periodo se acerque al periodo fundamental de vibración deben ser anclados a la superestructura. Además, los análisis realizados revelan que los sistemas de aislamiento no lineales, como el péndulo de fricción y los aisladores elastoméricos con núcleo de plomo, resultan ser poco efectivos para controlar las demandas de aceleración de piso debido a la excitación de los modos superiores, ocasionada por cambios súbitos de rigidez durante el movimiento de los dispositivos. Por lo tanto, estos dispositivos no son la mejor opción para el control del daño en los contenidos. Dentro de este contexto, se concluye que los sistemas de aislamiento con comportamiento lineal son la mejor opción para el control de la aceleración de entrepiso, siempre y cuando se cumplan estrictos requisitos que limitan la participación de los modos superiores en la respuesta de los sistemas

analizados. Estos requisitos incluyen propiedades como la relación de periodos del sistema de aislamiento y la superestructura ( $T_B/T_S$ ), la disipación de energía del sistema de aislamiento ( $\zeta_B$ ), y la relación de masas entre la superestructura y el nivel de aislamiento ( $\gamma$ ).

La metodología de diseño presentada puede limitar la respuesta de los sistemas estructurales aislados ante efectos de torsión, desde el punto de vista del **control de aceleración**. En cuanto a los **niveles de desplazamiento**, se observa que las demandas a las que se someten las estructuras aisladas no representan una limitación significativa para el diseño desde un enfoque de aceleración, lo que sugiere que no se requieren altos niveles de amortiguamiento para controlar estas demandas. Respecto a los **niveles de velocidad**, concluye que las demandas observadas no determinan el diseño de los sistemas estructurales aislados, ya que los equipos susceptibles a estas acciones se encuentran en regiones de periodos intermedios, coincidiendo con la respuesta asociada al modo fundamental de vibración de los sistemas estructurales aislados. Sin embargo, en algunos casos, puede ser necesario anclar los contenidos a las estructuras para limitar los daños.

Finalmente, Zúñiga menciona que, a pesar de los resultados obtenidos en su estudio, aún se requieren investigaciones adicionales que integren aspectos no considerados, como la torsión, la flexión, efectos bidireccionales y las incertidumbres asociadas a las variables involucradas en la metodología de diseño.

#### *Antecedentes nacionales*

### Aplicaciones del sistema de aislamiento sísmico

A pesar de que nuestro país se encuentra en una zona altamente sísmica, específicamente en el cinturón de fuego, la implementación de esta metodología y/o técnica de control sísmico de estructuras llegó mucho más tarde en comparación con países vecinos como Chile, Colombia y Venezuela, donde ya se habían aplicado y oficializado normativas al respecto. En una conferencia titulada *Diseño estructural con aislamiento sísmico y disipación de energía*, presentada por Villarreal Castro (2017) en la UNITEC San Pedro Sula de Honduras, se mencionaron algunas de las aplicaciones de esta técnica de control pasivo (uso de aisladores sísmicos y disipadores de energía) en nuestro país hasta esa fecha. A continuación, se presenta un resumen de dichas aplicaciones en la tabla siguiente.

**Tabla 5**

*Las principales nacionales con aislador sísmico edificaciones*

| N° | Construcción  | Tipo de aislador             | Lugar            |
|----|---|------------------------------|------------------|
| 1  | Edificio Corporativo GyM (2012 - 2013)                          | A. Con núcleo de plomo (LRB) | Miraflores, Lima |
| 2  | Edificio multifamiliar Madre (2014)                             | Aislador HDR                 | Miraflores, Lima |
| 3  | Edificio del Campus UTEC (2012-2013)                            | A. Con núcleo de plomo (LRB) | Barranco, Lima   |
| 4  | Centro de Información e Investigación de la FIC-UNI (2011-2013) | A. Con núcleo de plomo (LRB) | Rímac, Lima      |

*Nota.* Se puede apreciar algunas de las primeras aplicaciones en nuestro país. Datos obtenidos de dicha conferencia realizada por Villarreal Castro (2017). Elaboración propia.

Además, Villarreal Castro destaca que este sistema reduce la respuesta de la superestructura al separar y/o aislar la estructura de los movimientos del suelo, proporcionando un mayor amortiguamiento. La adición de este amortiguamiento varía entre el 15 % y el 30 % en el caso de los aisladores sísmicos, entre el 20 % y

el 40 % en los disipadores de energía. También señala que los aisladores pueden reducir las distorsiones de entrepiso y las aceleraciones hasta en un 75 % en comparación con una estructura con base fija. Por otro lado, luego que en este país se promulgara un reglamento especialmente para este tipo de sistema (Norma Técnica E.031), se ve un mayor impacto en dicha aplicación y sobre todo en edificaciones esenciales (hospitales), puesto que con dicha norma E.031 y la norma E.030 (actualizada) se decreta como una obligación la aplicación de dicho sistema. A continuación, se presenta algunas ya inauguradas y otras en construcción al día de hoy.

**Tabla 6**

*Últimas edificaciones nacionales con aislador sísmico*

| N° | Edificación  | Proveedor | Empresa ejecutora               | Año  |
|----|--|-----------|---------------------------------|------|
| 1  | Hospital de Huarney  | DISIPA    | E. Minera Antamina              | 2022 |
| 2  | Hospital de Casma y Hospital de Recuay                                     | DISIPA    | Consorcio Suyay II              | 2022 |
| 3  | Hospital de Huari  | DISIPA    | Mota Engil Perú                 | 2022 |
| 4  | Hospital de Yungay   | DISIPA    | Consorcio Perú Health           | 2022 |
| 5  | Hospital de Pomabamba y Caraz  | DISIPA    | ARCC                            | 2022 |
| 6  | Universidad Tecnológica del Perú Sede Piura - Piura                        | DISIPA    | UTP                             | 2019 |
| 7  | Edificio multifamiliar "Pacifik Ocean Tower" – Miramar – San miguel - Lima | DISIPA    | Bertolotto Investments          | 2019 |
| 8  | Complejo de Ciencias sociales PUCP – San Miguel – Lima                     | DISIPA    | PUCP                            | 2017 |
| 9  | Hospital de Rioja – Rioja – San Martin                                     | DISIPA    | ICCG S.A.                       | 2016 |
| 10 | Condominio "Paseo Colonial" – Cercado de Lima – Lima                       | DISIPA    | CIS S.A.C                       | 2015 |
| 11 | Edificio Multifamiliar "Atlantik Ocean Tower" – San Miguel – Lima          | DISIPA    | Labok Grupo Inmobiliario S.A.C. | 2014 |
| 12 | Complejo de Innovación Académica y Facultad de Ciencias e Ingeniería PUCP  | DISIPA    | PUCP                            | 2013 |
| 13 | Nueva Sede Instituto CERTUS Arequipa                                       | CDV       | CERTUS                          | 2019 |
| 14 | Hospital Materno Infantil - Juliaca  | CDV       | Gobierno Regional Puno          | 2021 |
| 15 | Puente Urasqui – Camaná – Arequipa   | CDV       | Consorcio Grupo ABM             | 2019 |

*Nota.* Se puede apreciar algunas de las últimas edificaciones en nuestro país y casi en la mayoría se utiliza el aislador elastomérico tipo LRB con combinación de deslizadores. Datos obtenidos de DISIPA Ingenieros (2020) y CDV Ingeniería Antisísmica (2018). Elaboración propia.

### **Estudios realizados sobre el sistema de aislamiento sísmico**

En el estudio realizado por Castillo Martínez y Vásquez Díaz (2020), titulado *Análisis Comparativo del Comportamiento Sísmico Entre una Vivienda Multifamiliar con y sin Aislamiento en la Base, en la Urbanización San Isidro II Etapa, Trujillo 2020*, se planteó como objetivo principal realizar un análisis comparativo sísmico entre ambos sistemas. El proyecto se ubica en la zona  $Z=1$ , con tipo de suelo  $S_3$  (suelos blandos), y se trata de una edificación de categoría "C" que corresponde a una vivienda multifamiliar de 6 niveles con un sistema estructural de muros. Para el sistema de aislamiento, se utilizó un aislador elastomérico del tipo TDRI (Tens Damper Rubber Isolators). El estudio abarcó el análisis y diseño del sistema convencional siguiendo las pautas de la Norma Técnica E.030, que incluye el predimensionamiento de los elementos estructurales, análisis estático o de fuerzas estáticas equivalentes, y el diseño de los elementos estructurales. Para el sistema con aislamiento, se tomó como referencia la Norma Técnica E.031 y la ASCE 7-10, realizando el predimensionamiento del sistema de aislamiento, un análisis tiempo-historia, y el diseño de los elementos estructurales.

Al comparar los resultados obtenidos de ambos sistemas (analizados por separado), se evaluó la respuesta sísmica en términos de periodo de modos de vibración, derivas, y fuerza cortante. En el análisis del modo de vibración, el sistema con aislamiento logró aumentar el periodo en más de cuatro veces en comparación con el sistema convencional. Respecto a las derivas, en ambas direcciones (X e Y) se observó una reducción significativa en los niveles superiores,

excepto en el primer nivel en la dirección X, donde se produjo un incremento del 38% debido al aumento de la carga sísmica. En el eje X, el sistema con aislamiento sísmico redujo las derivas promedio de entrepiso en un 30 %, mientras que en el eje Y la reducción fue del 60 %.

Sin embargo, en el análisis de la fuerza cortante basal, se observó un incremento en lugar de la reducción habitual: en la dirección X, la fuerza cortante aumentó en un 53 %, y en la dirección Y, en un 17 %. Este comportamiento particular se atribuye a la diferencia entre el espectro sísmico del sistema convencional y el sistema aislado, así como al hecho de que el diseño para el sistema aislado se realizó para una aceleración correspondiente a un periodo de retorno de 2500 años, en contraste con los 475 años del sistema convencional.

Finalmente, a pesar del incremento en la fuerza cortante, los resultados obtenidos se mantuvieron dentro de los límites permitidos, lo que sugiere que la edificación con aislamiento sísmico está diseñada para soportar un sismo de gran escala sin presentar fallas.

En el estudio realizado por Rosales et al. (2020), titulado *Propuesta de parámetros para el diseño de aisladores sísmicos mediante un análisis comparativo de la respuesta sísmica de una edificación esencial con aislamiento antisísmico bajo diversas normas internacionales*, el objetivo principal es proponer parámetros de diseño para aisladores sísmicos que puedan ser utilizados en países que aún no cuentan con una normativa específica sobre aislamiento sísmico. Para ello, se llevó

a cabo un análisis comparativo de tres normativas: dos sudamericanas (la norma chilena NCH 2745 y la norma peruana E.031) y la norma norteamericana ASCE-7.

El estudio comenzó con la modelación estructural de un edificio del sector salud, con un sistema estructural dual y de 8 niveles con base fija, ubicado en Lima, una ciudad con alta amenaza sísmica. Los resultados se obtuvieron mediante el análisis dinámico modal espectral y el análisis tiempo-historia utilizando tres registros de eventos sísmicos. Posteriormente, se diseñaron los aisladores LRB (Lead Rubber Bearings) y se modelaron los sistemas con base aislada utilizando los parámetros y criterios de las normativas internacionales mencionadas.

A partir de estos modelos, los investigadores propusieron parámetros de diseño generales para los aisladores LRB, dirigidos a países en zonas altamente sísmicas que carecen de normativas específicas. Se compararon las fuerzas cortantes (basal y de entrepiso), los desplazamientos y las derivas para evaluar si los parámetros propuestos eran conservadores en términos del desempeño estructural de la edificación.

Los gráficos comparativos mostraron que la cortante basal era menor al utilizar los valores de la propuesta en comparación con los de las normativas internacionales, y que las derivas también disminuyeron significativamente, aunque se observó un incremento en los desplazamientos. Esto llevó a la conclusión de que los valores propuestos para el diseño de los aisladores LRB ofrecían resultados más

conservadores, logrando un nivel de desempeño totalmente operativo según los criterios de FEMA (Agencia Federal de Manejo de Emergencias).

No obstante, el estudio señaló una limitación importante: solo se consideraron tres registros históricos de máxima sismicidad. Por esta razón, se recomendó utilizar un mayor número de registros históricos para obtener valores más precisos y mejorar así las respuestas sísmicas de las edificaciones analizadas.

En el estudio realizado por Mendoza Vargas y Sanchez Guevara (2020), titulado *Diseño de sistema de aislamiento sísmico en la base con dispositivos LRB para un centro hospitalario aporticado según norma en la ciudad de Trujillo 2020*, se planteó como objetivo principal realizar un análisis comparativo entre un sistema aporticado convencional y un sistema con aislamiento en la base mediante dispositivos LRB (Lead Rubber Bearings) para un edificio hospitalario de 6 niveles. Este edificio se encuentra en la ciudad de Trujillo, en una zona sísmica  $Z=4$ , con condiciones geotécnicas de suelo de clase  $S_2$  (suelos intermedios).

Para llevar a cabo el análisis, se utilizó el método dinámico modal espectral del edificio, considerando un espectro de pseudoaceleraciones en cada dirección horizontal, de acuerdo con lo estipulado en la norma E.030. El estudio incluyó un cuadro comparativo del diseño de elementos estructurales en ambos sistemas, donde se observó una ligera variación en las dimensiones de las secciones, especialmente en las columnas. Se concluyó que el diseño de la estructura con base fija tiende a ser más rígido, lo que genera un aumento en las dimensiones de las

secciones debido a que toda la fuerza sísmica es transmitida a las columnas. Por el contrario, en el sistema con aislamiento, las dimensiones de las secciones disminuyeron, ya que los aisladores LRB ayudan a disipar la energía de las fuerzas sísmicas.

En cuanto a las derivas, los resultados mostraron una deriva de 0.003 en ambas direcciones (XX y YY) para el sistema aislado y de 0.005 en ambas direcciones para el sistema con base fija. En ambos casos, se cumplieron las exigencias de distorsiones de entrepiso permisibles (0,007) según la norma E.030.

Finalmente, el estudio concluyó que el uso de aisladores sísmicos en la base ofrece beneficios satisfactorios para la protección de la estructura, asegurando su correcta operación antes, durante y después de un evento sísmico de gran magnitud. Se observó una reducción de la distorsión de entrepiso entre un 15 % y 40 %. Además, se afirmó que los costos de construcción de una estructura aislada aumentan en un 16 % en comparación con una estructura convencional. Este incremento se debe a la adición de un piso técnico para la inspección y al uso de 52 unidades de aisladores elastoméricos con núcleo de plomo (LRB), junto con sus respectivos capiteles de concreto superior e inferior.

Sin embargo, el estudio destacó que el gran beneficio del sistema aislado, que justifica la inversión inicial, es el costo casi nulo de reparación ante un sismo de gran magnitud, en comparación con una estructura convencional.

En el estudio realizado por Herrera Mena (2017), titulada *Desempeño sísmico en estructuras aporticadas de concreto armado y de albañilería confinada utilizando aisladores elastoméricos*, se plantea como objetivo principal realizar un análisis comparativo del comportamiento sísmico entre estos dos sistemas estructurales, tanto con y sin aislamiento en la base. El estudio se enfoca en edificaciones típicas destinadas para viviendas unifamiliares, con dos, tres y cuatro pisos, todas con una altura constante de entrepiso de 2,70m y con la misma distribución en planta. En total, se analizaron seis modelos: 3 de albañilería confinada y 3 aporticadas de concreto armado.

Para el análisis, se utilizó el método de análisis tiempo-historia, considerando cinco registros sísmicos: Pisco 2007, Piura 2014, Tarapacá 2005, Huánuco 2011 e Ica 2013. Se evaluaron tres parámetros clave: el periodo fundamental de vibración, la deriva máxima de entrepiso y la cortante basal máxima.

Resultados del análisis:

**Periodo fundamental de vibración:** Los resultados mostraron que los aisladores incrementan significativamente el valor del periodo de vibración de la estructura, con un mayor aumento conforme se incrementa el número de pisos. Esto indica una disminución considerable en la rigidez de la estructura. El incremento del periodo fue más pronunciado en las estructuras de albañilería confinada, lo que

sugiere que este sistema estructural podría experimentar menos daños en un evento sísmico debido al aumento del periodo.

**Deriva máxima de entrepiso:** La deriva máxima de entrepiso se redujo considerablemente en todos los modelos analizados, tanto en edificaciones aporticadas como en las de albañilería confinada, para todos los sismos aplicados. Dado que la deriva de entrepiso está directamente relacionada con el daño estructural, esta reducción implica que las estructuras sufrirán menos daños, mejorando así su desempeño sísmico.

**Cortante basal máxima:** La cortante basal máxima también disminuyó notablemente en ambos sistemas estructurales cuando se utilizaron los aisladores LRB. Los gráficos comparativos mostraron que la cortante basal máxima obtenida fue similar en modelos con el mismo número de pisos, independientemente del sistema estructural (pórtico o albañilería). Esto se atribuye a que la cortante basal máxima depende más de las propiedades de los LRB que del sistema estructural utilizado. No obstante, la reducción en la cortante basal fue mayor en los modelos de albañilería confinada, lo que sugiere que este sistema estructural, que posee menor resistencia comparado con el concreto armado, se beneficia más del uso de LRB, reduciendo significativamente las fuerzas sísmicas en la estructura.

Conclusión:

El estudio concluye que los dispositivos LRB muestran un mejor desempeño sísmico en estructuras de albañilería confinada en comparación con las

estructuras aporticadas, especialmente en edificaciones de baja altura y esbeltez, que son comunes para viviendas. Por lo tanto, se recomienda el uso de aisladores LRB en edificaciones de albañilería confinada para prevenir posibles problemas en los muros de corte y mejorar la respuesta sísmica de estas estructuras.

### ***Antecedentes locales***

#### **Aplicaciones del sistema de aislamiento sísmico**

En Tacna, al día de hoy, se cuenta con solo dos aplicaciones de este sistema de aislamiento en la base, en estos casos son los siguientes: La nueva infraestructura de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada Tacna (culminado satisfactoriamente) y el Hospital Regional Hipólito Unanue (que tuvo sus inicios de la construcción en diciembre del 2017). Este último es, sin duda, un proyecto con muchos conflictos y que hasta la fecha se encuentra sin culminarse y/o inaugurarse, por lo que se podría decir que aún es una aplicación a medias de este sistema.

#### **Estudios realizados sobre el sistema de aislamiento sísmico**

En un reciente estudio de Cuaquera Cardenas y Farfán Kehuarucho (2021), titulado *Evaluación de la reducción estructural en el diseño de un edificio con aisladores sísmicos en el distrito de Tacna*, se plantea como objetivo principal analizar la reducción estructural en el diseño de un edificio utilizando aisladores sísmicos. La investigación se aplica a la edificación de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad Privada de Tacna, un edificio de 4 niveles con un sistema estructural aporticado.

Metodología:

El estudio consideró tres modelos diferentes para el análisis estructural:

- Modelamiento sin aisladores sísmicos (modelo convencional).
- Modelamiento con aisladores sísmicos sin reducción de dimensiones.
- Modelamiento con aisladores sísmicos y reducción de dimensiones.

Para el caso de la reducción de dimensiones, se enfocaron en dos tipos de columnas predominantes en la estructura (C-01 y C-06).

**Tabla 7**

*Análisis comparativo de los 3 modelos*

| <b>Reducción en Dimensiones de Columnas</b>   | <b>Derivas Máximas de Entrepiso</b>  |
|---|--|
| En la columna C-01, la reducción de dimensiones permitió reducir el área de 0,50 m <sup>2</sup> a 0,469 m <sup>2</sup> .  | En el modelo convencional, las derivas superaron el límite reglamentado de 0,007.  |
| En la columna C-06, la reducción de dimensiones permitió reducir el área de 0,938 m <sup>2</sup> a 0,689 m <sup>2</sup> . | En el modelo con aisladores y sin reducción de dimensiones, las derivas máximas fueron de 0,0034 en el eje X y 0,0029 en el eje Y. |
|   | En el modelo con aisladores y reducción de dimensiones, las derivas máximas fueron de 0,0034 en X y 0,0030 en Y.                   |

*Nota.* En lo que respecta a la reducción de dimensiones de la columna C-01 se logra un ahorro total de volumen de concreto de 12,95 m<sup>3</sup> y en C-06 la reducción es de 7,53 m<sup>3</sup>. Respecto a las derivas en el modelo convencional, supera el límite reglamentado de 0,007 (según la Norma Técnica E.030) y en los otros dos casos los valores no superan los límites permisibles según la Norma Técnica E.031 (0,0035). Datos obtenidos de Cuaquera Cardenas y Farfán Kehuarucho (2021). Elaboración propia.

El estudio concluye que la reducción en las dimensiones de las columnas, en combinación con el uso de aisladores sísmicos, permite una disminución significativa en el volumen de concreto utilizado, logrando un ahorro total de 20,47 m<sup>3</sup>. Este ahorro no solo implica una reducción en la cantidad de concreto, sino también en otros materiales y labores relacionadas, como el acero estructural, encofrado, tarrajeo y pintura.

Además, se observó que el modelo sin aisladores superó los límites reglamentarios para la distorsión de entrepiso, mientras que los modelos con aisladores cumplieron con las exigencias normativas, lo que refuerza la efectividad del uso de aisladores sísmicos para mejorar el desempeño sísmico de las estructuras y permitir optimizaciones en el diseño estructural.

En el estudio de Meléndez Machaca y Gutiérrez Cáceres (2019), titulado *Diseño y Proceso Constructivo de Instalación de los Aisladores Sísmicos Elastoméricos en la Base, en los Bloques A y B del Nuevo Hospital Hipólito Unanue de Tacna*, el objetivo fue contribuir con información técnica para el diseño y la construcción de futuros edificios utilizando aisladores sísmicos elastoméricos en la base. El estudio se centra en los Bloques A y B del Nuevo Hospital Hipólito Unanue de Tacna, un edificio de 3 niveles con un sistema estructural dual en ambas direcciones principales.

Metodología:

Modelamiento estructural:

Se modelaron ambos bloques del edificio con y sin sistema de aislamiento sísmico. El sistema de aislamiento emplea tres tipos de aisladores y deslizadores denominados AS1, AS2 y AS3, con diámetros exteriores de aproximadamente 75 cm, 85 cm y 95 cm, respectivamente.

Procedimiento de análisis:

El análisis se realizó utilizando el análisis dinámico modal espectral. Se evaluaron los periodos y modos de vibración, desplazamientos en el último nivel y distorsiones de entrepiso (derivadas).

**Tabla 8**

*Resultado del análisis comparativo CON y SIN aislamiento*

| <b>SIN Aislamiento</b>                                       | <b>CON Aislamiento</b>      |
|--|-----------------------------|
| Periodos y Modos de Vibración en X=0,48s y en Y=0,60s        | en X=3,61s y en Y=3,69s     |
| Desplazamientos en el Último Nivel en X=6,24cm y en Y=6,98cm | en X=1,83 cm y en Y=1,72 cm |
| Derivas Máx. de Entrepiso en X 0,0060 y en Y 0,0068          | en X 0,0017 y en Y 0,0016   |

*Nota.* Se aprecia que respecto a los periodos y modos de vibración se incrementa aproximadamente en un 615 %, respecto al desplazamiento se reduce aproximadamente en 70 % y respecto a las derivas se redujeron considerablemente, en el primer caso no cumple con lo reglamentado, como sí en el segundo caso. Datos obtenidos de Meléndez Machaca y Gutiérrez Cáceres (2019). Elaboración propia.

El estudio también describe detalladamente el proceso constructivo de la instalación y montaje de los aisladores sísmicos en el Hospital Hipólito Unanue de Tacna. Se incluyen procedimientos para la colocación y aseguramiento de los aisladores en la base de la edificación.

Concluyendo que la implementación del sistema de aislamiento sísmico no solo mejora el desempeño sísmico del edificio, sino que también optimiza el diseño estructural, contribuyendo a la protección efectiva de la edificación ante eventos sísmicos.

El estudio realizado por Huanca Chambilla y Meléndez Limache (2016), titulado *Análisis dinámico modal espectral de una edificación convencional y otra con aisladores sísmicos a nivel intermedio de la estructura en la ciudad de Tacna*, tuvo como objetivo principal determinar cuál de los dos sistemas estructurales, uno

convencional y otro con aisladores sísmicos HDRB (High Damping Rubber Bearings) a nivel intermedio, presenta un comportamiento sismorresistente más eficiente. El estudio se enfoca en una edificación de 5 niveles con 2 sótanos, ubicada en la ciudad de Tacna, utilizando un sistema estructural de pórticos.

Metodología:

Normativa y software utilizado:

- El estudio se realizó en base a la norma peruana E.030 de Diseño Sismorresistente (2016) y la ASCE 7-10.
- Se utilizó el software Matlab para aplicar el Análisis Dinámico Modal Espectral, mediante métodos matriciales, permitiendo evaluar el comportamiento sísmico de ambos sistemas estructurales.

Modelos analizados:

- Sistema convencional: Edificación de 5 niveles con 2 sótanos sin aisladores sísmicos.
- Sistema con aisladores: Edificación similar, pero con aisladores HDRB a nivel intermedio, ubicados entre los sótanos y los niveles superiores.

**Tabla 9***Resultados del análisis comparativo de ambos sistemas*

| <b>Sistema convencional</b>  | <b>Sistema con aislamiento</b>   |
|--|--|
| El periodo fundamental fue de 0,4298s.   | El periodo fundamental aumentó a 2,55 s.   |
| La fuerza cortante máxima fue de 111,43 Tn.  | La fuerza cortante máxima fue de 50,29 Tn.   |
| Los desplazamientos aumentan conforme se asciende en los niveles de la estructura. | Los desplazamientos son más uniformes en todos los niveles, con valores muy cercanos entre sí. |
| La deriva máxima obtenida fue de 0,0048 en el primer piso                          | La deriva máxima se redujo notablemente a 0,00094 en el primer piso.                           |

*Nota.* Respecto al periodo fundamental de vibración se incrementó aproximadamente en un 593 %, la fuerza cortante disminuyó aproximadamente en 54 %, respecto a los desplazamientos en el segundo caso se obtiene un mejor control de las deformaciones y en lo que respecta a las derivas en ambos casos están por debajo de límite máximo reglamentado, sin embargo, con en el segundo se reduce aproximadamente en un 80 %. Datos obtenidos de Huanca Chambilla y Meléndez Limache (2016). Elaboración propia.

El estudio concluye que una estructura que incorpora un sistema de aislamiento sísmico a nivel intermedio tiene un desempeño significativamente mejor que una estructura convencional durante un evento sísmico. Esto se debe a la capacidad de los aisladores sísmicos para reducir tanto la fuerza cortante como las derivas y los desplazamientos, distribuyendo de manera más uniforme las deformaciones a lo largo de la estructura. Este sistema de aislamiento no solo mejora la resistencia sismorresistente, sino que también proporciona una mayor protección a la edificación, reduciendo el riesgo de daños severos durante un sismo.

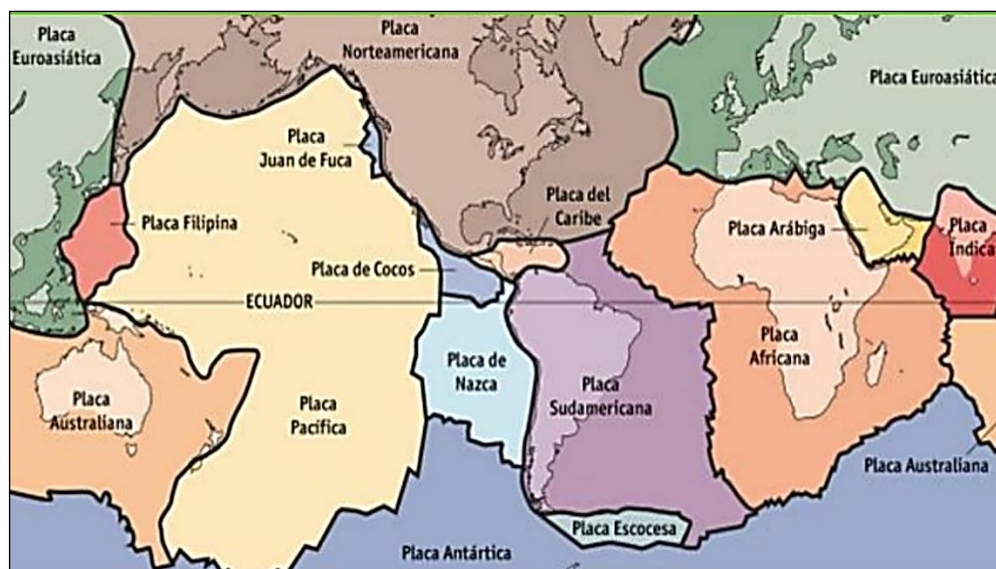
## **1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El mundo está en constante cambio debido a las fuerzas internas de la Tierra. Estas fuerzas son causadas por el movimiento lento y continuo de las placas tectónicas, que forman la corteza terrestre. Este movimiento provoca fenómenos como volcanes y terremotos, que se perciben de manera más o menos intensa dependiendo de la ubicación geográfica. Además, según los mapas de sismicidad

mundial, se puede deducir que los terremotos y volcanes no se distribuyen sobre la superficie terrestre de forma aleatoria y/o casual, sino que, generalmente su localización coincide con los bordes de las placas tectónicas (González, 2022).

**Figura 1**

*Las placas tectónicas más predominantes del mundo*



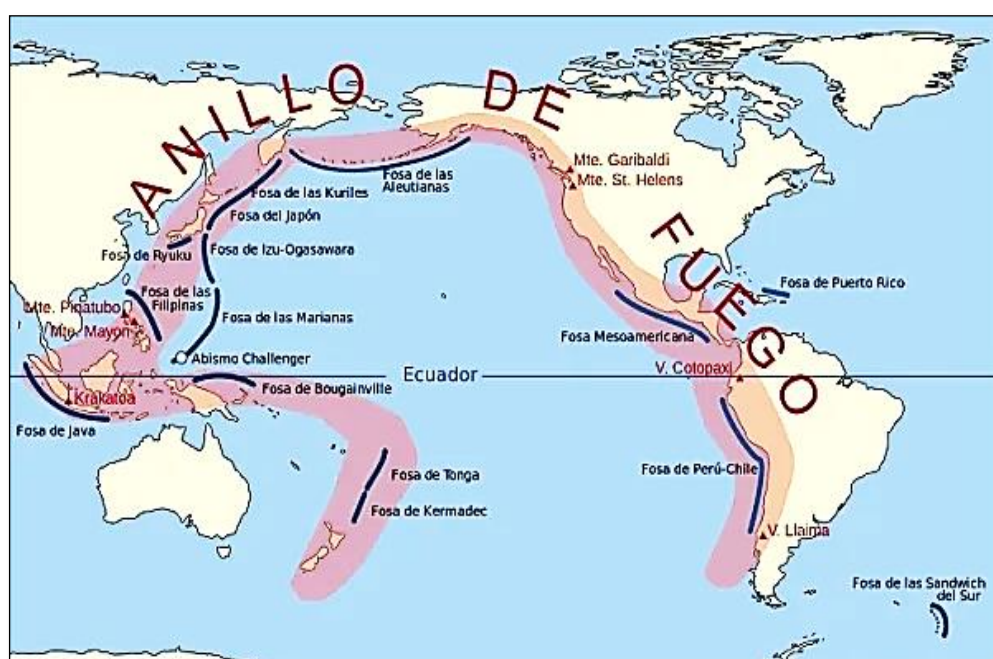
*Nota.* El gráfico muestra las 15 placas principales del mundo (de mayor tamaño), sin embargo, existen aproximadamente 56 placas en total. Tomado de González (2022).

Es bien sabido por los medios informativos que el Perú, en especial la costa peruana se encuentra en el “Cinturón de Fuego del Pacífico”, el cual se extiende a lo largo del borde del océano pacífico, es decir situado sobre varias placas tectónicas, por lo que dicha zona se encuentra en continua tensión, dando lugar a una intensa actividad sísmica y volcánica (González, 2022). Además, en esta zona, se registran alrededor del 81 % de los terremotos más grandes del planeta, por lo

cual lleva el sobrenombre de “anillo de fuego o cinturón del fuego” (National Geographic, 2023).

**Figura 2**

*Ilustración del cinturón de fuego del Pacífico*



*Nota.* El gráfico resalta la zona de mayor sismicidad del mundo. Tomado de Gonzáles (2022).

Por lo mencionado anteriormente, se puede decir que nuestro país está prácticamente ubicado sobre una falla geológica, en donde se da el encuentro entre la Placa de Nazca y la Placa Sudamericana, según el Instituto Geofísico del Perú (IGP, 2022) la peligrosidad sísmica en el Perú es “alta” y en su mapa sísmico del Perú en el periodo 1960 – 2022, el cual se adjunta en el anexo del presente estudio, se observa mayor actividad sísmica en las regiones Centro y Sur, y moderada en la Norte. Esta información permite delimitar las zonas sismogénicas presentes en el

Perú. Según el Reglamento Nacional De Edificaciones (2020) en la norma E.030, en su Capítulo II, Artículo 10 presenta un Mapa de Zonificación Sísmica de nuestro país, en la cual la ciudad de Tacna (zona de estudio) se encuentra en la Zona 4 (zona altamente sísmica a nivel nacional).

A lo largo del tiempo, la actividad sísmica en nuestra costa peruana ha provocado pérdidas humanas y materiales, además la ciudad de Tacna al igual que en las demás ciudades del país, la densidad poblacional va en crecimiento constante respecto al tiempo, generándose la necesidad de una expansión horizontal de la zona urbana y hasta en ocasiones de manera desordenada, pero también por ese lado se encuentra con un problema como es la falta de zonas seguras y/o habitables en nuestra ciudad, por tal motivo es de vital importancia fomentar la densificación en la ciudad, la cual es que la ciudad se expanda verticalmente, ofreciendo más áreas verdes, mejorando la fluidez del tránsito y peatonalidad. Además, el crecimiento en un plano horizontal excesivo solo trae desventajas como el menor cuidado del medio ambiente y la calidad de vida de los habitantes, en cambio el desarrollo de diferentes actividades urbanas establecidas en un mismo plano logran reducir los costos de infraestructura y permiten la prioridad de servicios básicos, minimizando la necesidad de transporte, mejorando la calidad de vida, evitando el estrés y la contaminación, y los beneficios de tener espacios públicos que permiten la interacción de las personas (Centurión, 2022). Por otro lado, Piqué (como se citó

en Córdova Rojas, 2016), afirma que "los sismos no matan a la gente; los edificios pueden hacerlo si no están diseñados para resistir daños".

Entonces, aquí implica la importancia de desarrollar y contribuir a la difusión de una nueva técnica y/o alternativa de construcciones seguras en nuestra región y todo el Perú, con la incorporación de sistemas que permiten mejorar la respuesta sísmica de las estructura, en este caso el uso de aisladores sísmicos en una edificación (aislamiento en la base), que mejore significativamente el desempeño sísmico de la edificaciones, que permita proteger su estructura y contenido, además buscar su operatividad continua ante un sismo severo. Si bien a día de hoy, con la implementación de una norma especialmente para el aislamiento sísmico, es obligatorio dicho diseño para edificaciones de categoría A1, que se encuentren en las zonas 4 y 3, sin embargo, en las demás categorías siendo opcional, por lo que mi persona ve necesario en algunos casos, como en zonas industriales, zonas residenciales, construcciones donde se albergue gran cantidad de vidas humanas o contenga materiales y/o equipos de valor.

### **1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

#### ***1.3.1 Interrogante general***

¿Cómo contribuye la implementación del diseño sismorresistente con un sistema de aislamiento en la base para obtener mejor desempeño estructural de una edificación de 5 niveles y sistema aporticado, en la Empresa Genovesa Agroindustrias S.A., parque industrial, ciudad de Tacna?

### **1.3.2 Interrogantes específicas**

- a) ¿De qué manera influye el estudio de mecánica de suelos en el diseño sismorresistente con la implementación de un sistema de aislamiento en la base para obtener mejor desempeño estructural?
- b) ¿Qué importancia tiene realizar el diseño de elementos estructurales para llevar a cabo nuestro análisis sísmico de la estructura con y sin aisladores en la base?
- c) ¿De qué manera influye el sistema de aislamiento en la evaluación de cada uno de los criterios de desempeño?

## **1.4 FORMULACION DE LA HIPÓTESIS**

### **1.4.1 Hipótesis general**

La implementación del diseño sismorresistente con un sistema de aislamiento en la base mejorará el desempeño estructural de una edificación de 5 niveles y sistema aporcado, de la Empresa Genovesa Agroindustrias S.A., ciudad de Tacna.

### **1.4.2 Hipótesis específicas**

- a) El estudio de mecánica de suelos influye en el diseño sísmico con la implementación de un sistema de aislamiento en la base para obtener mejor desempeño estructural.

- b) Realizar el diseño de elementos estructurales es importante para llevar a cabo nuestro análisis sísmico de la estructura con y sin aisladores en la base.
- c) La incorporación del sistema de aislamiento es influyente para la evaluación de cada uno de los criterios de desempeño.

## **1.5 JUSTIFICACIÓN**

De nuestro planteamiento del problema, podemos resumir que nuestra principal problemática son las edificaciones que no se diseñan para soportar los daños ante la ocurrencia de los eventos sísmicos severos, el cual genera pérdida de gran cantidad de vidas humanas y daños materiales, como las que se ve a nivel mundial, por tal motivo es de principal competencia de la ingeniería estructural, la de implementar nuevas tecnologías de edificaciones sismorresistentes, imitar a otros países mucho más avanzadas en esta especialidad, donde ya vienen aplicando dichas tecnologías desde muchos años atrás.

Por lo tanto, si bien es cierto que todas las normas de seguridad son muy importantes, la seguridad sismorresistente en una edificación es vital, porque es aquella que evita la pérdida de vidas, por tal motivo se tiene una gran responsabilidad de proyectar edificaciones cada vez más seguras, puesto que nos compete (Ingeniería Estructural), porque está en nuestras manos sobre todo el proteger la vida humana. Actualmente, lamentablemente hay mucha informalidad en nuestro entorno, tanto en proyectos públicos como privados, lo que resalta la

necesidad de tomar conciencia al respecto (Córdova Rojas, 2016). No obstante, brindar una protección total contra todos los sismos no es técnicamente ni económicamente viable para la mayoría de las estructuras.

La presente investigación surge de la necesidad de obtener una posible solución óptima (desde una perspectiva técnica) del problema de diseño sísmico de la edificación, para lo cual se implementó con el uso de aisladores sísmicos en la base de la edificación, con el propósito disipar y/o absorber la energía sísmica, con ello haciendo que mejore significativamente el desempeño sísmico de la edificación, permitiendo proteger su estructura y contenido, del mismo modo se busca su operatividad continua ante un evento sísmico severo, y que además cumpla con los requisitos mínimos para el diseño y construcción de edificaciones establecidos en nuestra Norma Técnica Peruana.

Del mismo modo el presente proyecto beneficiará al propietario y usuarios que albergue dicha empresa Genovesa Agroindustrias S.A.; asimismo, podría ser utilizado de referencia para otras empresas que se encuentran en dicha zona, puesto que cada proyecto es diferente y cuenta con un estudio personal, debido a muchos factores que se toman en cuenta para su respectivo diseño.

Por último, el presente proyecto tiene un aporte metodológico, ya que la implementación de este sistema (absorber la energía sísmica) en el diseño de edificaciones pueden ser tomados como referencia para futuras investigaciones o ser contrastados con resultados de proyectos similares.

## **1.6 DEFINICION DE LOS OBJETIVOS**

### ***1.6.1 Objetivo general***

Demostrar la contribución de la implementación del diseño sismorresistente con un sistema de aislamiento en la base para obtener mejor desempeño estructural de una edificación de 5 niveles y sistema aporticado, en la Empresa Genovesa Agroindustrias S.A., parque industrial, ciudad de Tacna.

### ***1.6.1 Objetivos específicos***

- a) Determinar la influencia estudio de mecánica de suelos en el diseño sísmico con la implementación de un sistema de aislamiento en la base para obtener mejor desempeño estructural.
- b) Analizar la importancia que tiene realizar el diseño de elementos estructurales para llevar a cabo nuestro análisis sísmico de la estructura con y sin aisladores en la base.
- c) Evidenciar la influencia del sistema de aislamiento en la evaluación de cada uno de los criterios de desempeño.

## **1.7 DEFINICIÓN DE VARIABLES**

### ***1.7.1 Identificación y caracterización de variables***

Variable independiente:

- Diseño sismorresistente.

Variable dependiente:

- Desempeño estructural.

### 1.7.2 Operacionalización de variables

**Tabla 10**

*Tabla de operacionalización de variables*

| <b>Variab</b> les          | <b>Dimensiones</b>  | <b>Indicadores</b>   |
|----------------------------|---|--|
| Diseño<br>Sismorresistente | Estudio de Mecánica de Suelos   | Perfil estratigráfico del suelo, Caracterización del suelo, Capacidad portante del suelo, Sismicidad.                          |
|                            | Diseño de elementos estructurales   | Estructuración de la edificación, Parámetros de diseño, Predimensionamiento de los elementos estructurales, Metrado de cargas. |
|                            | Sistema de aislamiento en la base   | Tipo de aislador, Características geométricas, Propiedades de diseño.  |
| Desempeño<br>Estructural   | Análisis sísmico de la estructura sin aisladores en la base (estructura convencional) | Análisis estático, Análisis dinámico modal espectral.  |
|                            | Análisis sísmico de la estructura sin aisladores en la base                           | Análisis estático, Análisis dinámico modal espectral, Análisis tiempo – historia.  |
|                            | Criterios de desempeño  | Periodo fundamental de vibración<br>Derivas o distorsión de entrepiso<br>Fuerza cortante en la base<br>Desplazamientos         |

*Nota.* Esta tabla muestra cómo se descomponen las variables en otras más específicas y su respectiva relación entre sí. Elaboración propia.

## 1.8 ALCANCES Y LIMITACIONES

### 1.8.1 Alcances

A partir de los objetivos planteados tanto generales como específicos, este estudio se centró en la evaluación del impacto de los aisladores sísmicos en edificios de altura media construidos en nuestro medio local, se pretendió lograr los siguientes alcances:

- Brindar información sobre las características y la aplicación de los aisladores sísmicos en estructuras que lo necesiten, con el fin de fomentar el interés en su estudio y aplicación en edificaciones.

- Promover el conocimiento y, como resultado, aumentar el uso de aisladores sísmicos en construcciones a lo largo del Perú, considerando la diversidad de tipos de suelos y su implementación en aquellos terrenos donde su respuesta sea beneficiosa.

### ***1.8.2 Limitaciones***

Las limitaciones son inevitablemente parte de cualquier investigación y ayudan a los lectores a comprender los posibles márgenes de error, falta de precisión o áreas que no pueden ser cubiertas debido a restricciones de tiempo, recursos, acceso a información, etc.

El modelo estructural estuvo basado en propiedades de un catálogo de aisladores pero que en la práctica profesional se requiere realizarlos con resultados de ensayos de laboratorio de aisladores que se colocan en obra. Otra limitación es el tiempo disponible para la investigación que no fue suficiente para cubrir todos los aspectos del tema en profundidad o abarcar todas las fases para la obtención de planos estructurales, como conceptos de dinámica estructural, cimentaciones, y el proceso de diseño. Finalmente, se concluyó con la elaboración de planos de estructuras.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 GENERALIDADES

##### 2.1.1 *Conceptos básicos de ingeniería estructural*

##### **La ingeniería estructural**

Es una rama clásica de la ingeniería civil que se ocupa del diseño y cálculo de la parte estructural en elementos y sistemas estructurales, tales como edificios, puentes, presas, túneles, reservorios y otras obras civiles.

**Figura 3** *Algunos campos de la Ingeniería Estructural*  
*Algunos campos de la ingeniería estructural*



*Nota.* Se ilustra algunos tipos de obras ingenieriles en la que esta rama de la ingeniería es imprescindible. Elaboración propia.

Su finalidad es la de conseguir estructuras seguras, resistentes y funcionales en un sentido práctico, la ingeniería estructural es la aplicación de la mecánica de

medios continuos para el diseño de estructuras que soporten su propio peso (cargas muertas), más las cargas ejercidas por el uso (cargas vivas), más las cargas producidas por eventos de la naturaleza, como vientos, sismos, nieve o agua.

### **Discretización espacial de las estructuras**

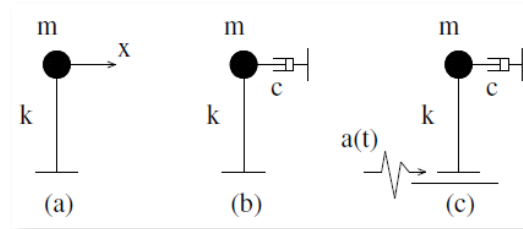
Según Cassano (2009), la diferencia con lo visto en otros cursos de análisis estructural (estático) radica en que, en dinámica estructural, cuando se habla de discretizar espacialmente, se refiere a los GLD; donde un modelo dinámico exacto (con infinitos GLD) acarrearía más inconvenientes en la resolución matemática que beneficios en su precisión.

Además, en estructuras de edificios y en la mayoría de las estructuras civiles, las masas se encuentran más o menos concentradas en lugares conocidos.

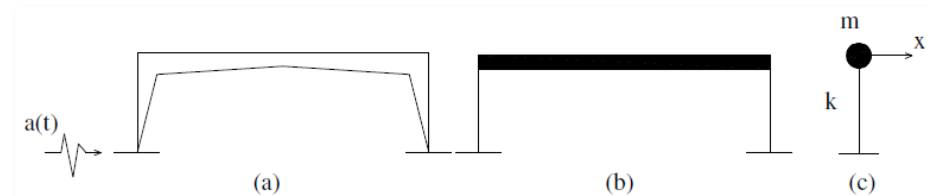
Por esto, un método principal de modelización dinámica es el de las MASAS CONCENTRADAS. Sin embargo, existen otros métodos (método de los desplazamientos generalizados y método de los elementos finitos).

### ***Grados de libertad (GL) y Grados de libertad dinámicos (GLD)***

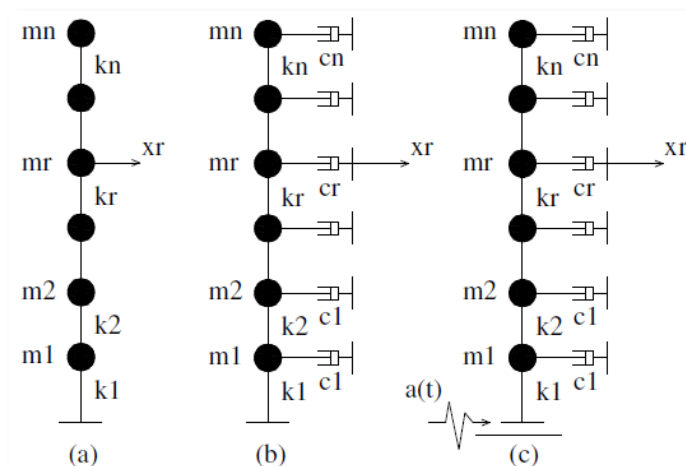
Se definen como grados de libertad (GL) a los puntos de la estructura en los cuales se identifica algún desplazamiento y permiten brindar una deformada de la estructura. Por otro lado, los GLD son los grados de libertad que tienen asociada masa y, para los cuales, puede conocerse las vibraciones o movimientos a lo largo del tiempo (Cassano, 2009).

**Figura 4***Modelos con un solo grado de libertad*

*Nota.* La ilustración expresa; (a) modelo conservativo, (b) modelo con amortiguamiento y (c) modelo sísmico. Tomado de Cassano (2009).

**Figura 5***Estructuras modelizadas como un sistema de un solo grado de libertad*

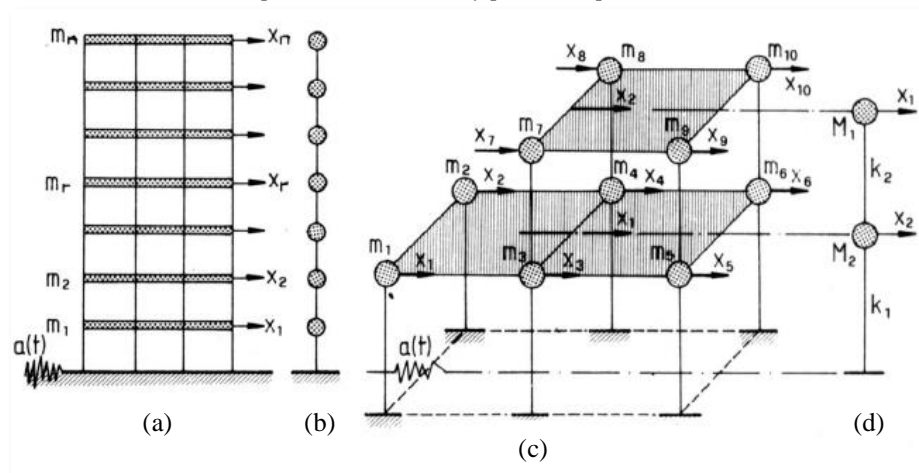
*Nota.* La ilustración expresa; (a) un pórtico; (b) el mismo pórtico con la masa concentrada al nivel de la viga; (c) el modelo dinámico. Tomado de Cassano (2009).

**Figura 6***Modelos con múltiples grados de libertad*

*Nota.* La ilustración expresa; (a) modelo conservativo; (b) modelo con amortiguamiento; (c) modelo sísmico. Tomado de Cassano (2009).

**Figura 7**

*Modelo dinámico de un pórtico de cortante y pórtico espacial*



*Nota.* La ilustración expresa; (a) pórtico de n pisos, (b) su modelo dinámico del pórtico, (c) pórtico espacial con 10 grados de libertad, (d) simplificado del pórtico espacial (2 grados de libertad). Tomado de Cassano (2009).

### ***Equilibrio***

*Equilibrio Estático:* Se dice que un cuerpo se encuentra en equilibrio estático cuando permanece en estado de reposo ante la acción de unas fuerzas externas. El equilibrio estático se aplica al cuerpo en sí como a cada una de las partes (considerándolo como cuerpo rígido). Para lo cual se cumplen dos requisitos simultáneamente, llamados condiciones de equilibrio: (la primera y segunda condición de equilibrio).

La primera condición de equilibrio, que garantiza el equilibrio de traslación (no existe desplazamiento).

$$\Sigma F_x=0, \Sigma F_y=0 \text{ y } \Sigma F_z=0$$

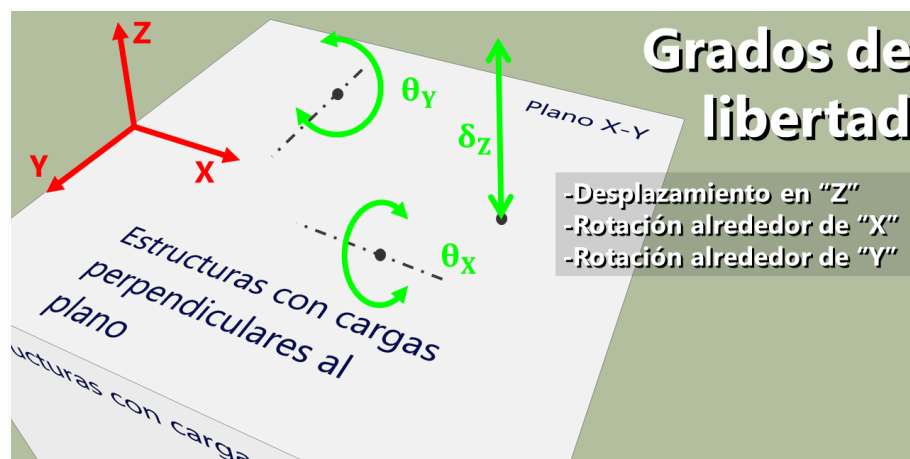
La segunda condición de equilibrio, que garantiza el equilibrio de rotación (no existe rotación o giro).

$$\Sigma M_x=0, \Sigma M_y=0 \text{ y } \Sigma M_z=0$$

Para Acontcivil (2021), las ecuaciones de equilibrio en el ámbito de estructuras, están relacionadas con los grados de libertad que se tomen en cuenta. Donde los grados de libertad que interesa para estructuras planas (en el plano **XY**), se fundamentan como 3: desplazamiento en **Z** ( $\delta_z$ ), rotación en **X** ( $\varphi_x$ ) y rotación en **Y** ( $\varphi_y$ ).

**Figura 8**

*Grados de libertad en estructuras*



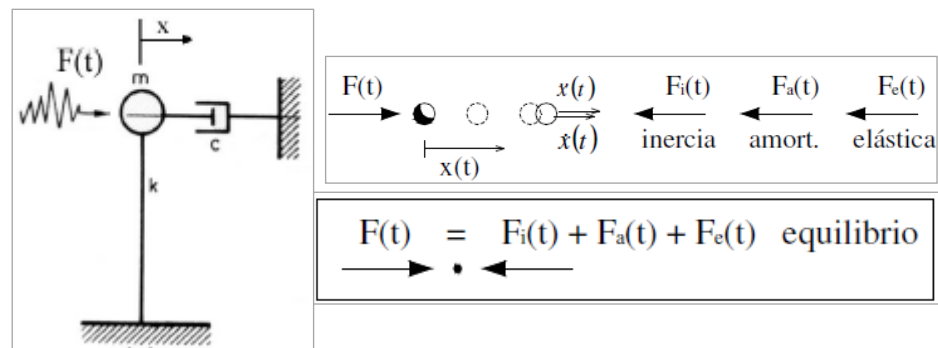
*Nota.* De la ilustración se puede decir que se requiere analizar el equilibrio de fuerzas en "Z", equilibrio de momentos en "X" e "Y". Tomado de Cassano (2009).

*Equilibrio dinámico:* Se dice que un cuerpo se encuentra en equilibrio dinámico cuando responde con un movimiento o vibración (aceleración), controlada de sus partes (deformación), más no de sus soportes, ante la acción de las cargas generadas por sismos, vientos, olas y corrientes de agua, explosiones o impactos, cargas móviles (vehículos, personas, etc) y/o motores, en general aquellas excitaciones dinámicas con variaciones temporales. El principio de D'Alembert

proporciona el método más directo para obtener las ecuaciones de movimiento de un sistema dinámico. Puede formularse como sigue: “un sistema dinámico está en equilibrio cuando todas las fuerzas que actúan en el mismo, incluidas las de inercia y disipativas, cumplen las ecuaciones de equilibrio estático en cada instante de tiempo.

**Figura 9**

*Formulación de la ecuación de movimiento en edificio con base fija*



*Nota.* El modelo representa a un edificio de cortante, con amortiguamiento, 1 GLD y con la aplicación de una fuerza “F”. Tomado de Cassano (2009).

Al aplicar una fuerza exterior  $F(t)$ , se genera aceleración, velocidad y desplazamiento para un cierto instante “ $t$ ”; a causa de esto se producen fuerzas de inercia, amortiguamiento y elásticas.

|                         |                           |                  |
|-------------------------|---------------------------|------------------|
| Fuerza Inercia          | Fuerza de Amortiguamiento | Fuerza Elástica  |
| $F_i(t) = m\ddot{x}(t)$ | $F_a(t) = c\dot{x}(t)$    | $F_e(t) = kx(t)$ |

Entonces, remplazando en la ecuación de equilibrio, se obtendrá el equilibrio en el instante “ $t$ ”:

$$F_i(t) + F_a(t) + F_e(t) = F(t) \quad \dots (1)$$

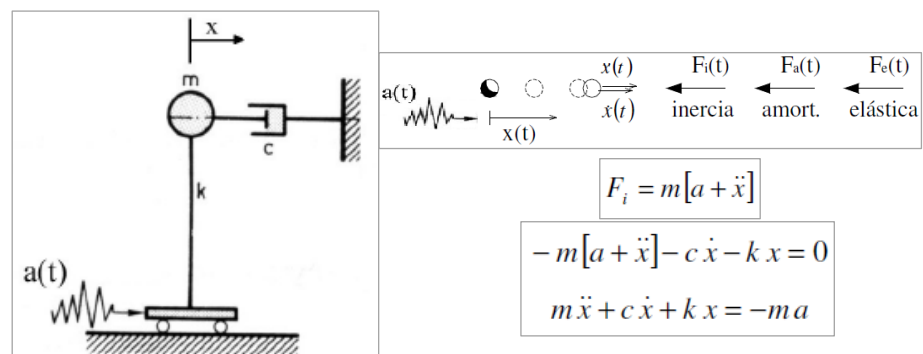
$$m\ddot{x}(t) + c\dot{x}(t) + kx(t) = F(t) \quad \dots (2)$$

La ecuación (2) es la E. de movimiento (ecuación de equilibrio) correspondiente a 1 GLD con carga exterior y amortiguamiento.

Para un modelo con base aislada, 1 GLD y la acción sísmica, el planteo es similar, solo que no tiene fuerza exterior aplicada y la fuerza de inercia se ve afectada por la aceleración total de la masa:

**Figura 10**

*Formulación de la ecuación de movimiento en edificio con base aislada*



*Nota.* El modelo representa a un edificio con amortiguamiento, con 1 GLD y con la aplicación de una acción sísmica (aceleración). Tomado de Acontcivil (2021).

De la ilustración anterior, dicha ecuación para un caso general sería la inclusión de e aceleración de apoyo y fuerza exterior. Por lo tanto, la ecuación resultaría de la siguiente manera:

$$m\ddot{x}(t) + c\dot{x}(t) + kx(t) = F(t) - ma(t) \quad \dots (3)$$

### Compatibilidad

La solución de estructuras hiperestáticas requiere, además de las condiciones de equilibrio, la compatibilidad sobre deformaciones y movimientos

que deben satisfacer en el proceso de deformación de la estructura bajo la acción de las cargas consideradas. Estas se traducen en que deben cumplirse los siguientes requisitos fundamentales:

Condiciones de apoyo: La deformación debe ser tal que se cumplan las limitaciones de movimientos impuestas por los apoyos.

Continuidad en los nudos: La deformación debe ser tal que los extremos de las diferentes barras que concurren en un nudo cumplan las limitaciones de movimiento impuestas por el correspondiente enlace

Continuidad en las barras: La deformación debe ser tal que se mantenga la continuidad de las piezas consideradas como elementos estructurales, es decir, que no se produzcan en ellas huecos o traslapes.

Estas condiciones de compatibilidad deben satisfacerse bajo cualquier hipótesis cinemática que se adopte y, en particular, bajo la hipótesis de pequeños movimientos.

### **Linealidad**

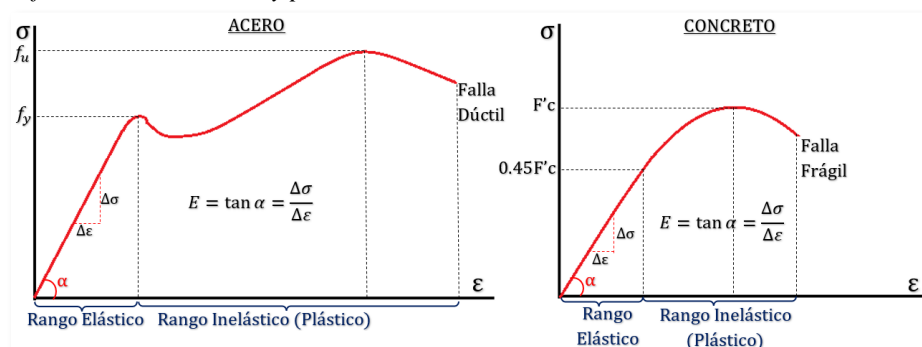
Además de los principios básicos de equilibrio y compatibilidad, gran parte de los métodos que se emplean en la mecánica de estructuras se basan en el principio de linealidad. El problema de determinar los esfuerzos y deformaciones que se producen en una estructura por la acción de las cargas es lineal, esto es, la respuesta estructural es una función lineal de la sollicitación si se admiten dos hipótesis adicionales:

Linealidad geométrica: Los desplazamientos y giros son muy pequeños, se entiende que los desplazamientos son pequeños comparados con las dimensiones geométricas de la estructura.

Linealidad material: La relación entre esfuerzos y deformaciones es elástica y lineal, o sea que los materiales de la estructura cumplen la ley de Hooke generalizada.

**Figura 11**

*Deformaciones elásticas y plásticas*



*Nota.* Se ilustra el diagrama de esfuerzo de deformación de dos materiales (a tracción), del cual se obtiene el módulo de elasticidad, por consiguiente, la Ley de Hooke. Elaboración Propia.

$$\sigma = \epsilon \cdot E \quad \dots \text{Ley de Hooke}$$

Donde:

$\sigma$ : Esfuerzo (tensión)

$E$ : Módulo de elasticidad longitudinal (Módulo de Young, constante para cada material)

$\epsilon$ : Deformación unitaria producida

De una manera particular para las direcciones X, Y y Z, se representa de la siguiente manera:

$$\sigma_x = \varepsilon_x \cdot E ; \sigma_y = \varepsilon_y \cdot E ; \sigma_z = \varepsilon_z \cdot E$$

Si se despejan de dichas expresiones, se obtiene las deformaciones lineales en el estado monoaxial, es decir, que las tres tensiones no actúan simultáneamente.

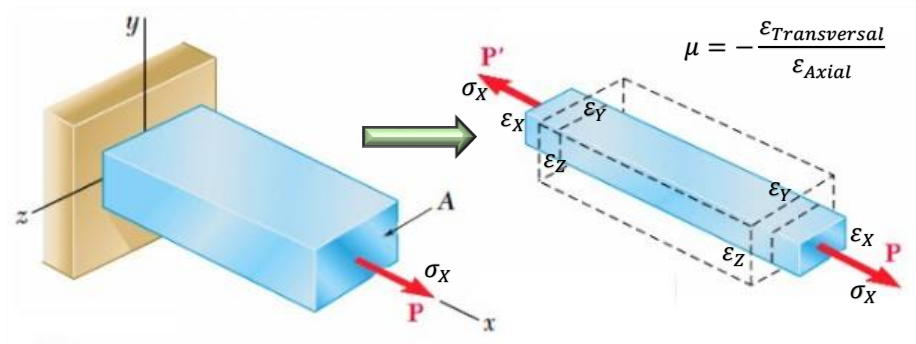
$$\varepsilon_x = \frac{\sigma_x}{E} ; \varepsilon_y = \frac{\sigma_y}{E} ; \varepsilon_z = \frac{\sigma_z}{E} \quad \dots \text{ (Estado monoaxial de tensiones)}$$

Sin embargo, cuando a un sólido se le aplica una carga en una dirección, se producen deformaciones no solo en esa dirección, sino también en las direcciones transversales, pero de signo contrario.

Dichas deformaciones están relacionadas por una constante denominada “coeficiente de Poisson ( $\mu$ )”.

**Figura 12**

*Deformación de un elemento o bloque*



*Nota.* Se ilustra las deformaciones ( $\varepsilon_{X,Y,Z}$ ) que sufre un elemento por acción de una fuerza “P” ( $\sigma_x$ , a tracción), en la dirección “X”. Elaboración Propia.

De la ilustración, se puede observar que la deformación principal (Axial) es  $\varepsilon_x$ , entonces las deformaciones transversales ( $\varepsilon_{y,z}$ ) se expresarán de la siguiente manera:

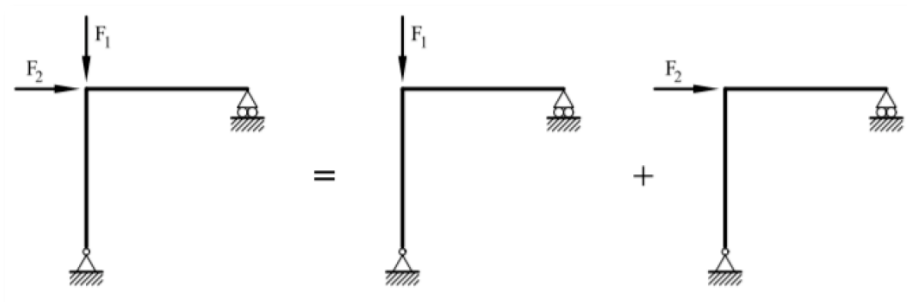
$$\varepsilon_y = -\mu \cdot \varepsilon_x = -\mu \cdot \frac{\sigma_x}{E} ; \varepsilon_z = -\mu \cdot \varepsilon_x = -\mu \cdot \frac{\sigma_x}{E}$$

### ***Principio de superposición***

La consecuencia directa de las hipótesis de linealidad es el principio de superposición, que establece que los efectos que un sistema de fuerzas origina sobre una estructura son iguales a la suma de los efectos que origina cada una de las fuerzas del sistema actuando por separado. Sin las hipótesis de linealidad geométrica y material, el principio de superposición no sería válido.

**Figura 13**

*Superposición en una estructura*



*Nota.* Se ilustra la aplicación de un sistema de fuerzas sobre un elemento de una estructura (simultáneamente y por separado). Elaboración Propia.

De igual manera, sucede con los materiales, debido a que la ley (Ley de Hooke) que relaciona los esfuerzos con las deformaciones es una ley lineal, se cumple el principio de superposición cuando se encuentra en un régimen elástico.

El estado tensional de un sólido, debido a varias fuerzas exteriores que actúan sobre él, es igual a la suma lineal de los estados tensionales que producen cada una de las acciones actuando por separado e independientemente del orden en que estas actúen. Este principio no verifica si las deformaciones producidas por un sistema de cargas hacen que, otro sistema actuase de forma diferente que si lo hace solo. Por lo tanto, es necesario complementar con el principio de rigidez relativa.

#### ***Principio de rigidez relativa***

Las deformaciones provocadas en los sólidos por las cargas exteriores son lo suficientemente pequeñas para que no modifiquen la forma de actuar de las cargas, y estas siguen produciendo los efectos que antes de la deformación.

#### ***Ley de Hooke generalizada***

Para un elemento sometido a esfuerzos multiaxial (estado triaxial de tensiones). Teniendo en cuenta que las deformaciones producidas por las tensiones cortantes, no afectan a las deformaciones provocadas por las tensiones normales, y aplicando el principio de superposición, la deformación normal puede determinarse por las leyes de Hooke Generalizada, siendo las siguientes:

$$\varepsilon_x = \varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z = \frac{\sigma_x}{E} - \mu \frac{\sigma_y}{E} - \mu \frac{\sigma_z}{E} = \frac{1}{E} [\sigma_x - \mu(\sigma_y + \sigma_z)]$$

$$\varepsilon_y = \varepsilon_y - \varepsilon_x - \varepsilon_z = \frac{\sigma_y}{E} - \mu \frac{\sigma_x}{E} - \mu \frac{\sigma_z}{E} = \frac{1}{E} [\sigma_y - \mu(\sigma_x + \sigma_z)]$$

$$\varepsilon_z = \varepsilon_z - \varepsilon_y - \varepsilon_x = \frac{\sigma_z}{E} - \mu \frac{\sigma_y}{E} - \mu \frac{\sigma_x}{E} = \frac{1}{E} [\sigma_z - \mu(\sigma_y + \sigma_x)]$$

### ***Método de las rigideces***

Se puede definir que la rigidez es una medida cuantitativa de la oposición a las deformaciones elásticas producidas en un material o estructura, a causa de una fuerza o un esfuerzo. También podría definirse como la capacidad de soportar cargas o tensiones sin deformarse o desplazarse excesivamente. Por lo tanto, para la rigidez se requiere de una fuerza necesaria para producir un movimiento unidad.

Según Córdova Rojas (2016), este método consiste en asignar a la estructura de barras un objeto matemático, llamado matriz de rigidez, que relaciona los desplazamientos de un conjunto de puntos de la estructura, llamados nodos, con las fuerzas exteriores que es necesario aplicar para lograr esos desplazamientos (las componentes de esta matriz son fuerzas generalizadas asociadas a desplazamientos generalizados). La matriz de rigidez relaciona las fuerzas nodales equivalentes y desplazamientos sobre los nodos de la estructura, mediante la siguiente ecuación:

$$[F] = [K] \cdot [\delta] \quad \dots \text{(Método matricial)}$$

Donde:

[F]: Vector de cargas o fuerzas externas.

[K]: Matriz de rigidez.

[δ]: Vector de desplazamientos nodales o giros de nudos, algunos casos representados por “[Δ]”.

#### **Figura 14.**

*Representación del método matricial de rigidez*

$$\left\{ \begin{array}{c} F_1 + R_1 \\ F_2 + R_2 \\ \dots \\ F_n + R_n \end{array} \right\}_G = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & \dots & k_{1n} \\ k_{21} & k_{22} & \dots & k_{2n} \\ \dots & \dots & \ddots & \dots \\ k_{n1} & k_{n2} & \dots & k_{nn} \end{bmatrix}_G \left\{ \begin{array}{c} \delta_1 \\ \delta_2 \\ \dots \\ \delta_n \end{array} \right\}_G$$

*Nota.* Se puede observar que la matriz de rigidez relaciona las fuerzas nodales equivalentes y desplazamientos sobre los nodos de la estructura. Obtenido de Córdova Rojas (2016)

### ***Método de las flexibilidades***

La flexibilidad es una propiedad o característica opuesta a la rigidez, por ende, su valor será el inverso de la rigidez.

En ingeniería estructural, el método de flexibilidad es el clásico método consistente en deformación para calcular fuerzas en miembros y desplazamientos en sistemas estructurales. Su versión moderna formulada en términos de la matriz de flexibilidad de los miembros también tiene el nombre de método de matriz de fuerza debido al uso de las fuerzas en los miembros como las primariamente conocidas.

Por ejemplo, si se considera un resorte que tiene  $F$  y  $\delta$  como su fuerza y deformación respectivamente, entonces:

La relación de rigidez del resorte es  $F=K\delta$ , donde  $K$  es la rigidez del resorte.

Su relación de flexibilidad es  $\delta =fF$ , donde  $f$  es la flexibilidad del resorte.

Por lo tanto, la flexibilidad es  $f = 1/K$ .

### ***Resistencia***

Es la capacidad de un cuerpo, elemento o estructura de soportar cargas sin colapsar. En la resistencia lo importante es soportar, aguantar, mientras que en la Rigidez lo importante es el control de las deformaciones y/o desplazamientos.

La resistencia depende de las propiedades mecánicas de los materiales constitutivos (calidad del concreto, fluencia del acero, resistencia mecánica, módulo de elasticidad, etc.), mientras que la rigidez depende también del módulo de elasticidad, pero a su vez de la sección, la inercia y la longitud del elemento.

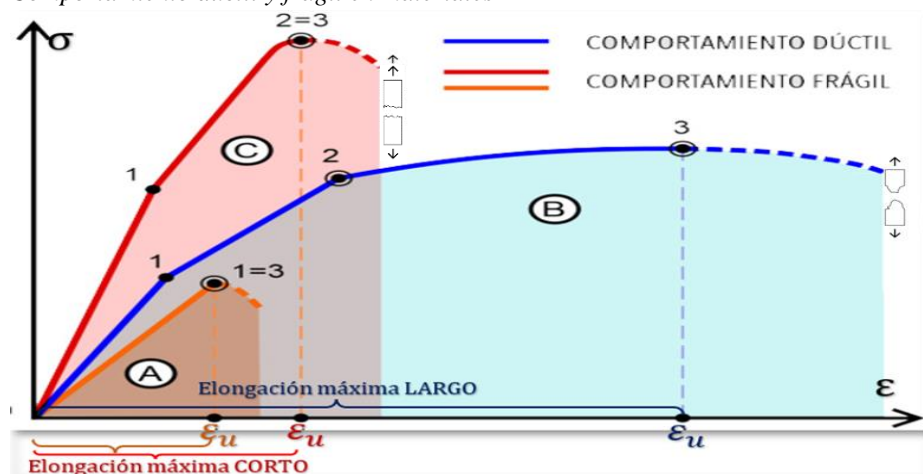
### ***Ductilidad y fragilidad***

La ductilidad es una propiedad que presentan algunos materiales, como las aleaciones metálicas o materiales asfálticos los cuales, bajo la acción de una fuerza, pueden deformarse plásticamente de manera sostenible sin romperse, permitiendo obtener alambres o hilos de dicho material. A los materiales que presentan esta propiedad, se les denomina dúctiles y los materiales no dúctiles se le denominan como frágiles. Aunque los materiales dúctiles también pueden llegar a romperse bajo el esfuerzo adecuado, esta rotura sólo sucede tras producirse grandes deformaciones.

En otros términos, un material es dúctil cuando la relación entre la deformación (alargamiento) longitudinal producido por un esfuerzo de tracción y la disminución de la sección transversal, es muy elevada (Córdova Rojas, 2017).

Figura 15

Comportamiento dúctil y frágil en materiales



Nota. Se puede decir que los de comportamiento frágil experimentan poca o nula deformación plástica antes de la rotura o falla y en el comportamiento dúctil se experimenta grandes deformaciones (en el rango plástico o inelástico). Elaboración propia.

## 2.2 CRITERIOS BÁSICOS DE SISMORRESISTENCIA

Este capítulo quizá sea el más importante, debido a que la filosofía de un diseño sismorresistente, según el Reglamento Nacional de Edificaciones [RNE] (2018), es evitar la pérdida de vidas humanas, asegurar la continuidad de los servicios básicos (comunicación, energía eléctrica, agua potable, entre otros), minimizar los daños a la propiedad (infraestructura), todo ello ante un fenómeno sísmico, al cual se encuentra expuesta nuestra costa peruana (ámbito de mayor probabilidad de dichas ocurrencias). Por lo tanto, en este capítulo se definirán algunos conceptos básicos y/o criterios a considerarse para un diseño sismorresistente. Además, cabe aclarar que todos los criterios, procedimientos y parámetros se encuentran estipulado en las diferentes Normas Nacionales e Internacionales.

### ***Criterios de sismología***

La sismología es la ciencia que estudia a los terremotos o sismos y ondas sísmicas.

**Riesgo sísmico:** Se define como el grado de pérdida, destrucción o daño esperado debido a la ocurrencia de un determinado sismo. Según Córdova Rojas (2017) define al riesgo por la siguiente expresión matemática:

$$R_S = P_S \cdot V_S \cdot V_E$$

Donde:

$R_S$ : Riesgo sísmico.

$P_S$ : Peligro sísmico.

$V_S$ : Grado de vulnerabilidad de la edificación.

$V_E$ : Valor del tipo de edificación.

**Peligro Sísmico:** Se define como la probabilidad de que ocurra un sismo potencialmente desastroso durante cierto periodo de tiempo en un sitio dado. El Perú se encuentra en la zona sísmica más activa del mundo, en el llamado "Cinturón de Fuego del Pacífico". La placa de Nazca se mueve (subyace) aproximadamente 10 cm por año contra la placa sudamericana, esta última que se mueve 4cm por año en sentido contrario, lo cual genera una gran acumulación de energía, liberándose en forma de actividad sísmica.

**Vulnerabilidad Sísmica:** Es una propiedad intrínseca de la estructura, una característica de su comportamiento, que puede entenderse como predisposición intrínseca de un elemento o grupo de elementos expuesto a ser afectado o ser susceptible a sufrir daño, ante la ocurrencia de un evento sísmico determinado.

### ***Ondas sísmicas***

Medio por el cual se transmite a la superficie terrestre, la energía liberada a gran profundidad en el interior de la tierra, generando el movimiento que se produce en la superficie terrestre durante un terremoto.

### ***Terremotos***

Los terremotos se originan cuando las rocas situadas a gran profundidad se rompen de forma repentina, como consecuencia de la presión a la que están sometidas o cuando se deslizan a lo largo de una falla. El punto en que se libera la energía se conoce como foco del terremoto. La energía del terremoto avanza desde el foco en forma de ondas internas. Por lo cual existen dos grandes grupos de ondas.

### ***Ondas internas***

Onda P: También llamada onda primaria, es la onda más rápida, avanza a una velocidad de 4 – 7Km/s, dependiendo de la densidad de la roca o estratos que atraviesa en el subsuelo. Estas ondas son de tipo compresivas-expansiva, se comprimen y posteriormente se expanden, en la dirección de propagación.

Onda S: También llamada onda secundaria, una onda más lenta que la primera, avanza a una velocidad de 2 – 5Km/s, aproximadamente a la mitad de la velocidad a la que avanzan las ondas P. Su propagación se da en forma transversal o sea se mueve lateralmente, de manera perpendicular a su dirección de propagación.

### ***Ondas superficiales***

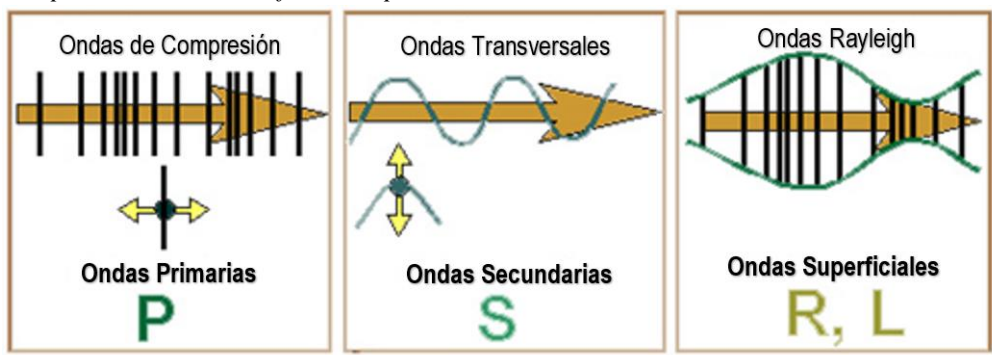
Estas ondas se propagan en la superficie terrestre a partir del epicentro, el punto de la superficie más próximo al foco del terremoto, estas ondas son más lentas que las ondas internas, se propagan a una velocidad de 2 – 3Km/s. pueden deformar la superficie terrestre además de causar daños en diferentes tipos de edificios y/o estructuras. En la mayoría de los terremotos los mayores destrozos se deben a estas ondas, que hacen que el suelo se mueva en dirección vertical y hacia los lados al mismo tiempo. Existen dos tipos de ondas superficiales:

Onda de love: Provocan un movimiento de lado a lado, perpendicular a la dirección de propagación. Pueden provocar daños al romper carreteras y/o tuberías.

Onda de Rayleigh: Mueve la superficie terrestre en forma de círculo, hacia arriba, hacia adelante, hacia abajo y hacia atrás, pueden provocar daños al desplazar los edificios de sus cimientos.

**Figura 16**

*Comportamiento de los diferentes tipos de ondas sísmicas*



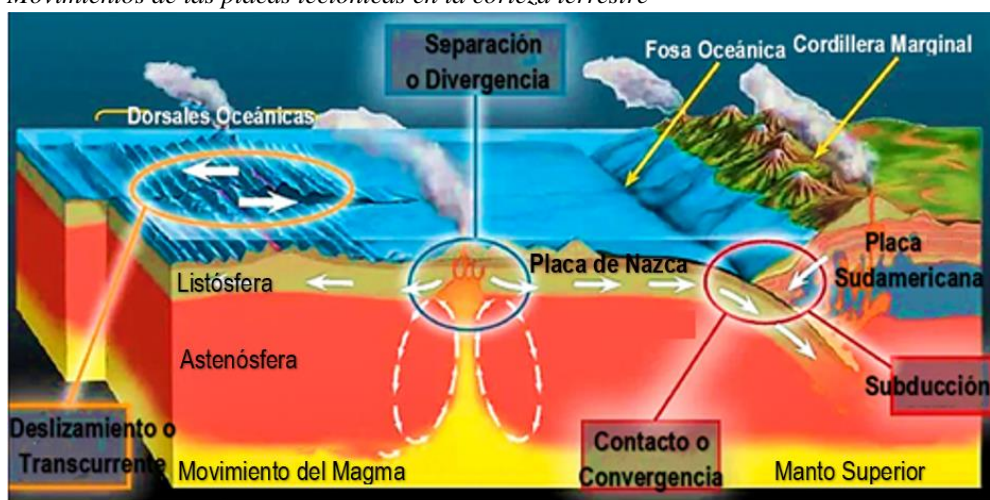
*Nota.* Se ilustra las ondas internas y superficiales, tal como se describió líneas arriba. Elaboración propia.

### *Sismos en el Perú*

La actividad sísmica en el Perú tiene su origen en la tectónica de placas, específicamente en la presión que ejerce la placa de Nazca por debajo de la placa Sudamericana. Este movimiento se conoce como subducción.

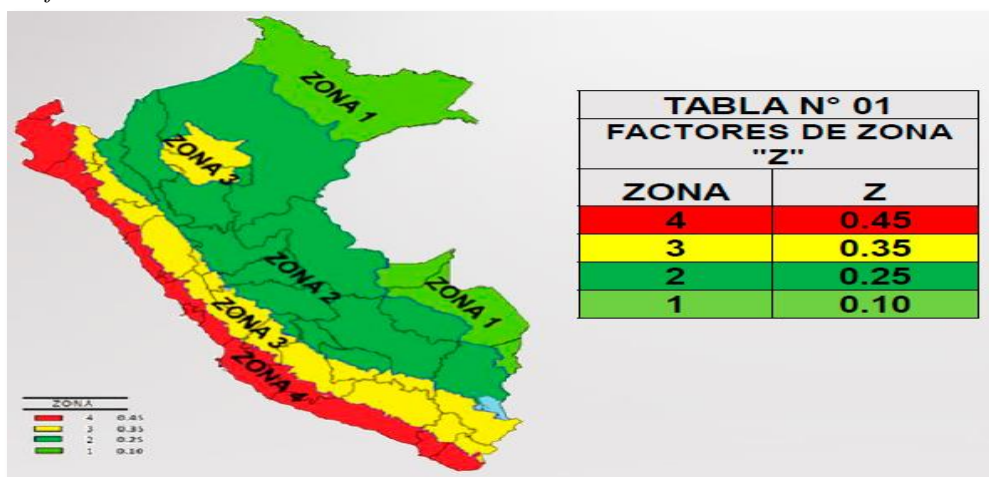
**Figura 17**

*Movimientos de las placas tectónicas en la corteza terrestre*



*Nota.* Se ilustra los tres posibles comportamientos de las placas (subducción, expansión y deslizamiento) y los dos grandes grupos de placas tectónicas (los que conforman la corteza oceánica y los que conforman la corteza continental). Elaboración propia.

Por otro lado, adjunto el mapa sísmico del Perú obtenido del Instituto Geofísico del Perú (IGP), en el que se observa los registros sísmicos más importantes ( $\geq 4.0M_w$ ) durante el periodo de 1960 – 2022.

**Figura 18***Zonificación sísmica en Perú*

*Nota.* Se ilustra la zonificación en nuestro país y su respectivo factor de zona, se puede apreciar que conforme nos alejamos de la zona de subducción, el factor de zona va reduciendo. Elaboración propia adaptado de la Norma Técnica E.030.

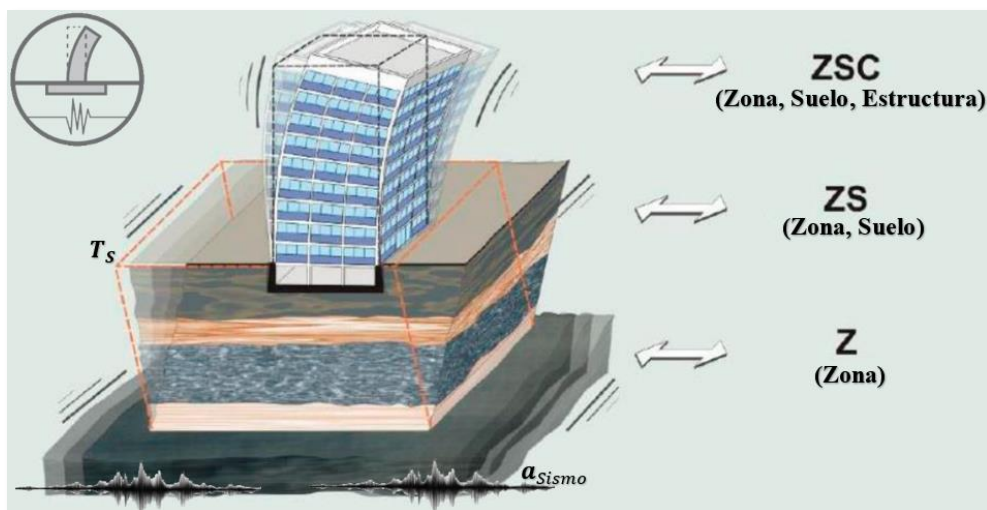
### ***Amplificaciones de las solicitaciones sísmicas***

Debido a que el sismo se produce o se desarrolla en las profundidades, en la roca madre o zona rocosa, de ahí que entra el primer parámetro de diseño “el factor de Zona (Z)”, el cual representaría como la aceleración pico en la zona rocosa. Conforme avanzan las ondas hacia la superficie, esta atraviesa los estratos del subsuelo, si los estratos son rígidos se va a atenuar, si los estratos son flexibles esas ondas se amplificarán, entonces ahí interviene el otro parámetro de diseño “el factor del Suelo (S)”, entonces “ZxS” se interpretaría como la aceleración máxima que recibiría una estructura en su cimentación. Posteriormente, la onda llega a transmitir dicha aceleración hacia la estructura, dependiendo si la estructura es rígida, flexible, dependiendo del sistema estructural, dependiendo del material, pues también esta se amplificará de una manera mayor o menor, ahí interviene otro parámetro “la

amplificación sísmica (C)”, por lo tanto, la aceleración máxima en una estructura perfectamente elástica de 1 gdl. se podrá interpretar como el producto “ $Z \times S \times C$ ” (A. Muñoz Peláez, 2020).

**Figura 19**

*Interpretación de los factores de amplificación sísmica Z, S y C*



*Nota.* Se ilustra las amplificaciones que genera un evento sísmico en los proyectos ingenieriles (a diferentes estructuras). Elaboración propia adaptado de A. Muñoz Peláez (2020).

### ***Otros criterios para un diseño sismorresistente***

En esta sección comprende analizar los siguientes criterios:

- La categoría de la edificación y su factor de uso (U).
- El sistema estructural de la edificación y su coeficiente básico de reducción ( $R_o$ ).
- Las regularidades e irregularidades estructurales (en planta y altura) y sus factores ( $I_p$ ,  $I_a$ ).

Sin embargo, dichos conceptos y procedimientos se encuentran estipulados en nuestra Norma Técnica E.030 del Reglamento Nacional de Edificaciones [RNE] (2018), en su capítulo III. Por lo tanto, mi persona en esta sección abordará unos conceptos complementarios.

### ***La importancia de rigidez, resistencia y ductilidad estructural***

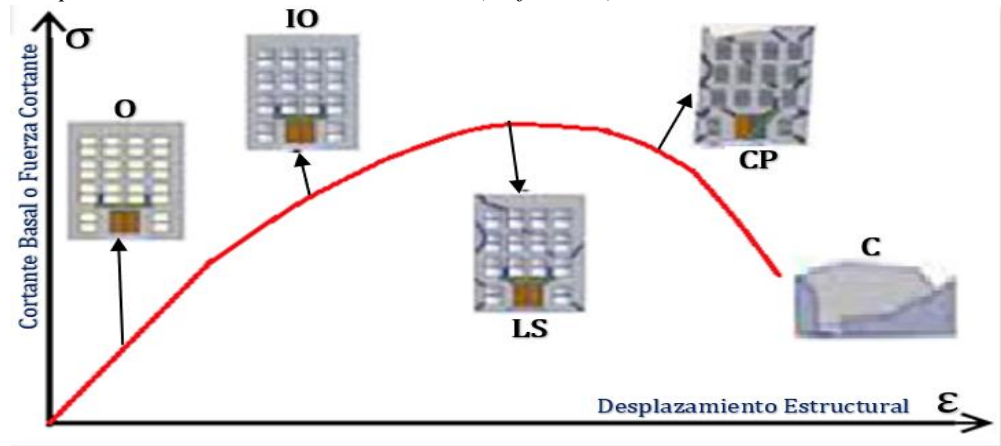
Como ya se definió dichos conceptos en una sección anterior (en caso de materiales), de manera similar, Muñoz (2020) menciona que la amplificación “artificial” en las solicitaciones sísmicas por medio del factor “U” es el mecanismo por el cual la norma logra mejorar el comportamiento sísmico de las edificaciones importantes o esenciales, al dotarlas de mayor resistencia y rigidez.

Al incrementar las solicitaciones de diseño, se incrementa la resistencia lateral, con lo cual se amplía el rango de comportamiento elástico (sin daño en sismos moderados) y se reducen las demandas de ductilidad de los sismos severos.

Al amplificar las fuerzas laterales, crecen los desplazamientos esperados; por lo tanto, es necesario incrementar la rigidez lateral para poder satisfacer los límites de deriva, de esta manera logrando que las estructuras esenciales o de gran importancia (las de categoría  $A_1$  y  $A_2$ ) tengan mayor rigidez.

**Figura 20**

*Comportamiento sísmico de una estructura (edificación)*



*Nota.* Se ilustra el nivel de desempeño, donde: O (operacional), IO (ocupación inmediata), LS (seguridad de vidas), CP (prevención de colapso) y C (colapso). Elaboración propia, tomado como referencia a Córdova Rojas (2017).

## 2.3 NORMATIVA PARA UN DISEÑO SISMORRESISTENTE Y AISLAMIENTO SÍSMICO

### *Normas internacionales*

ASCE (American Society of Civil Engineers).

- ASCE/SEI 7-10 “Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures” (Cargas Mínimas De Diseño Para Edificios Y Otras Estructuras).
- ASCE/SEI 7-16 “Minimum Design Loads and Associated for Buildings and Other Structures” (Cargas Mínimas De Diseño Y Asociadas Para Edificios Y Otras Estructuras)

AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials).

- Guide Specifications for Seismic Isolation Design (Guía de especificaciones para el diseño de aislamiento sísmico)

ACI (American Concrete Institute)

- ACI 318-19 “Building Code Requirements For Structural Concrete” (Requisitos De Reglamento Para Concreto Estructural).

FEMA (Federal Emergency Management Agency)

- NEHRP (National Earthquake Hazards Reduction Program (Programa Nacional de Reducción de Riesgos de Terremotos)) Recommended Seismic Provisions: Design Examples (Disposiciones Sísmicas Recomendadas: Ejemplos de Diseño).

### *Normas nacionales*

RNE (Reglamento Nacional de Edificaciones)

- Norma E.020 “Cargas”
- Norma E.030 “Diseño sismorresistente”
- Norma E.031 “Aislamiento sísmico
- Norma E.050 “Suelos y cimentaciones”
- Norma E.060 “Concreto armado”

## **2.4 DISPOSITIVOS DE AISLAMIENTO SÍSMICO**

En Perú, se tiene a CDV como la principal empresa proveedora de dispositivos de aislamiento sísmico, quien también formó parte del comité técnico de la normalización sobre el “aislamiento sísmico” (Tinman, 2020). Por otro lado, en este medio, también se cuenta con DISIPA (Diseño de Sistemas de Protección

Antisísmica) otra grande empresa proveedora de estos dispositivos de protección sísmica. Según investigaciones realizadas, ambas empresas cuentan ya con amplia experiencia en el mercado, puesto que ya laboran en el mercado desde los años 2012 o 2013, prácticamente desde los primeros años en que entró este sistema en nuestro país.

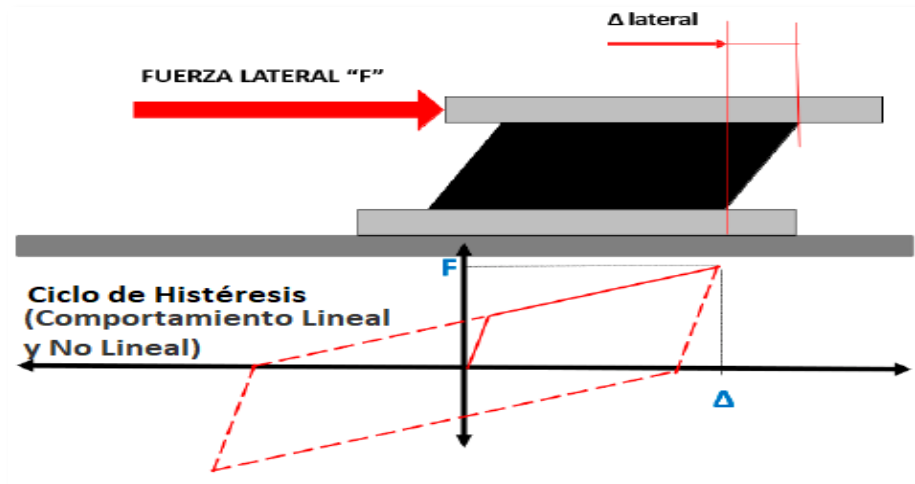
#### ***2.4.1 Descripción de los dispositivos***

##### **Aisladores sísmicos**

Un aislador sísmico es un dispositivo con una rigidez axial a compresión muy alta, lo suficiente como para soportar el peso del edificio también con una rigidez lateral pequeña, la que le permitiría deformarse ampliamente durante un movimiento sísmico, disminuir drásticamente la energía de ingreso a la edificación mediante histéresis y, cuando termine la excitación dinámica, ser capaz de volver a su posición no deformada.

**Figura 21**

*Interacción sísmica en un aislador sísmico*



*Nota.* Se ilustra el comportamiento que realiza un aislador sísmico ante una fuerza lateral (fuerza sísmica). Elaboración propia.

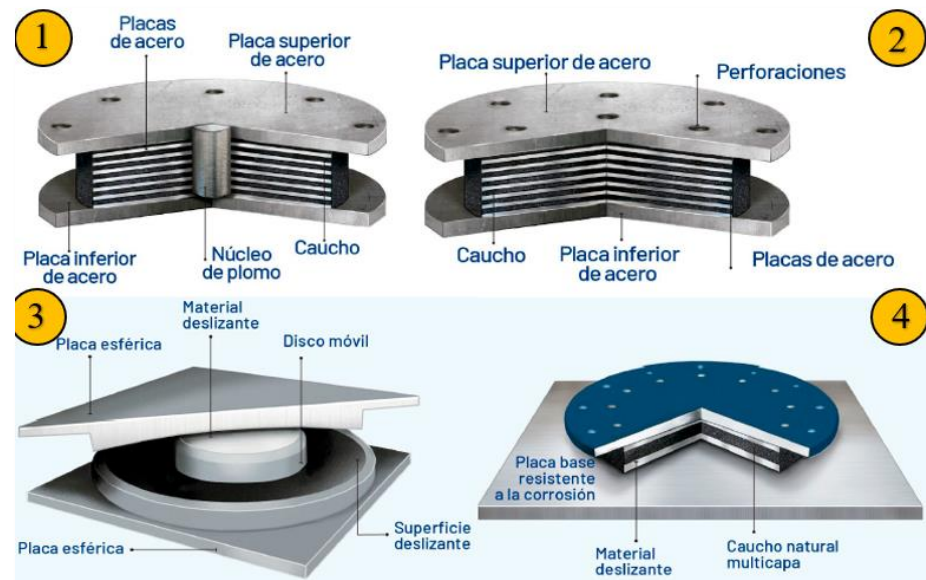
### **Tipos de aisladores sísmicos**

Ya que la tecnología de aislamiento sísmico, propiamente hablando, surge con la creación de los aisladores de caucho natural con núcleo de plomo, es de este tipo de dispositivo que se tiene mayor información, conocimiento y experiencia en el mundo, por tanto, es uno de los más utilizados.

Posteriormente, surgen los aisladores de caucho de alto amortiguamiento, los aisladores de fricción, así como los deslizadores planos y pendulares.

**Figura 22**

*Tipos de aisladores sísmicos y deslizadores*



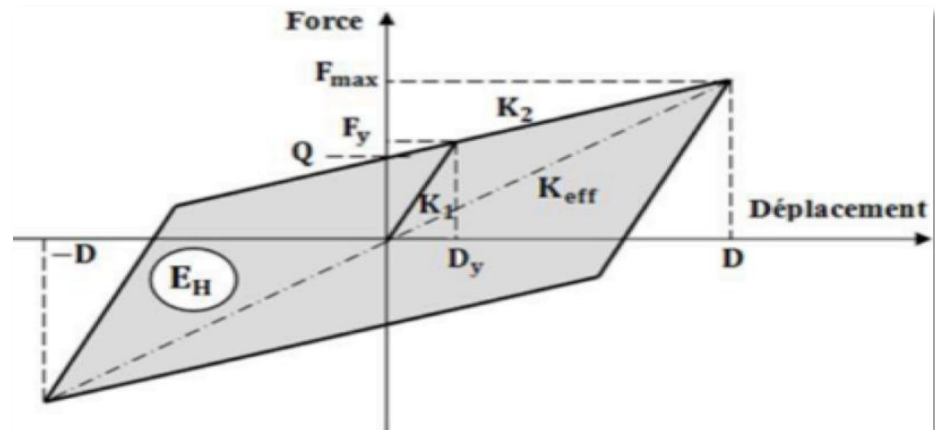
*Nota.* Se ilustra los tipos de dispositivos más comunes o usuales, siendo así; 1) Aislador elastomérico de caucho natural con núcleo de plomo (LRB), 2) Aislador elastomérico de caucho de alto amortiguamiento (HDR), 3) Deslizador de péndulo friccional (FPS) y 4) Deslizador de fricción plano de (PTFE). Tomado de diferentes catálogos.

### **Aislador con núcleo de plomo (LRB)**

Según Zellat y Kadri (2015), este tipo de aislador está conformado por un conjunto de láminas de elastómero y de acero alternadas, unidas unas con otras, alrededor de un centro de plomo, inserto en el centro de las láminas. El cilindro de plomo central controla los desplazamientos laterales de la estructura y absorbe una parte de la energía sísmica. El elastómero del centro de plomo le confiere a este dispositivo un comportamiento histerético importante. Este comportamiento histerético se representa en la aproximación bilineal tal y como se ilustra en la siguiente imagen.

**Figura 23**

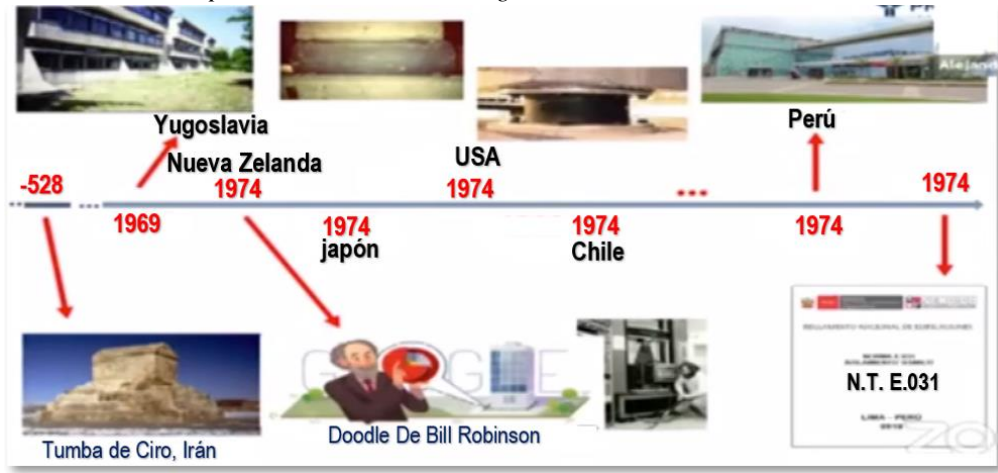
*Aproximación bilineal de un aislador LRB*



*Nota.* Se ilustra el comportamiento de la ley histérica expresada en fuerza vs desplazamiento, donde:  $D_y$  es el desplazamiento de fluencia,  $D$  es el desplazamiento de diseño del aislador,  $F_y$  es la fuerza de fluencia en una carga monótona,  $F_{m\acute{a}x}$  es La fuerza de cortante máxima correspondiente al desplazamiento de diseño  $D$ ,  $K_1$  es la rigidez elástica,  $K_2$  es la rigidez post elástica y  $E_H$  es la energía disipada por el ciclo correspondiente al desplazamiento de diseño, igual al área total del ciclo de histéresis. Tomado de Zellat y Kadri (2015).

## 2.5 METODOLOGÍA DE DISEÑO CON AISLAMIENTO SÍSMICO

Según lo mencionado en nuestro capítulo de antecedentes, se puede decir que en nuestro país ya tenemos casi una década (8 a 10 años), donde se viene haciendo práctica de esta metodología. No obstante, a nivel mundial, se viene haciendo uso de este sistema hace muchos años atrás (más de 30 años).

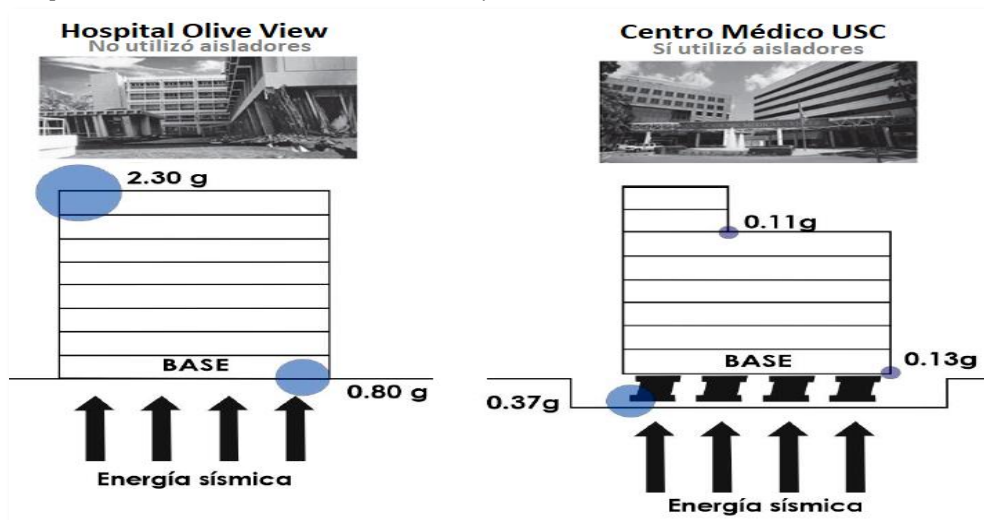
**Figura 24***Evolución en la aplicación de esta metodología*

*Nota.* Se ilustra en una línea de tiempo de la aplicación de este sistema de aislamiento en la base. Tomado de Muñoz Peláez y Tinman Behar (2020).

Según Muñoz (2020), en este país, hasta el año 2020, ya se contaban con 45 proyectos con aislamiento sísmico, estos construidos en suelos de tipo S1, S2 y S3. De los cuales, el 62 % son edificaciones de hospitales, 11 % viviendas multifamiliares, 22 % universidades y un 5 % oficinas. Del mismo modo, el 51 % se ubica en un suelo S1, 33 % en suelos S2 y 16 % en suelos de tipo S3.

**Figura 25**

*Comparación de un sistema con aislamiento y uno convencional*



*Nota.* Se ilustra una comparación (aceleración recibida por la edificación) de dos casos luego del terremoto de Northridge, EE.UU. ocurrido en 1994. Tomado de CDV Ingeniería Antisísmica (2018).

Según la norma E.031 en un sistema con aislamiento sísmico, solo considera tres irregularidades (I. de piso blando o piso débil, I. por discontinuidad extrema en los sistemas resistente y I. torsional extrema en planta) a diferencia de la norma E.030 de sistemas con base fija. En conclusión, para la norma E.030, un hospital tiene que ser sin irregularidades y, para la norma E.031, acepta irregularidades, pero no extremas.

## 2.6 MÉTODOS DE ANÁLISIS SÍSMICO

Según las normas E.030 (Diseño Sismorresistente) y E.031 (Aislamiento Sísmico) existen actualmente 3 métodos para el análisis sísmico de estructuras en edificaciones, las cuales también se encuentran estipuladas en normas internacionales, por lo que seguidamente se realizará una breve descripción de las

mismas. No obstante, como ya se mencionó en un acápite anterior sobre la discretización espacial de estructuras en modelos dinámicos, la norma E.030 subraya la importancia de reflejar en un modelo, la distribución espacial de fuerzas sísmicas (F. laterales), masas y rigideces, con el fin de obtener las principales características dinámicas del edificio (modos y frecuencias de vibración) (Muñoz, 2020). Cabe mencionar que previo a cualquiera de estos métodos y procedimientos de análisis sísmico, se tiene que haber realizado (o contar con ella) la configuración geométrica de nuestro modelo, predimensionamiento de los elementos estructurales, metrado de cargas (peso sísmico), y contar con los datos de los criterios de sismorresistencia mencionados anteriormente. Además, en cada caso, para sistemas con aislamiento, la norma E.031 establece las condiciones que debe cumplir el edificio o proyecto para aplicar cierto método de análisis.

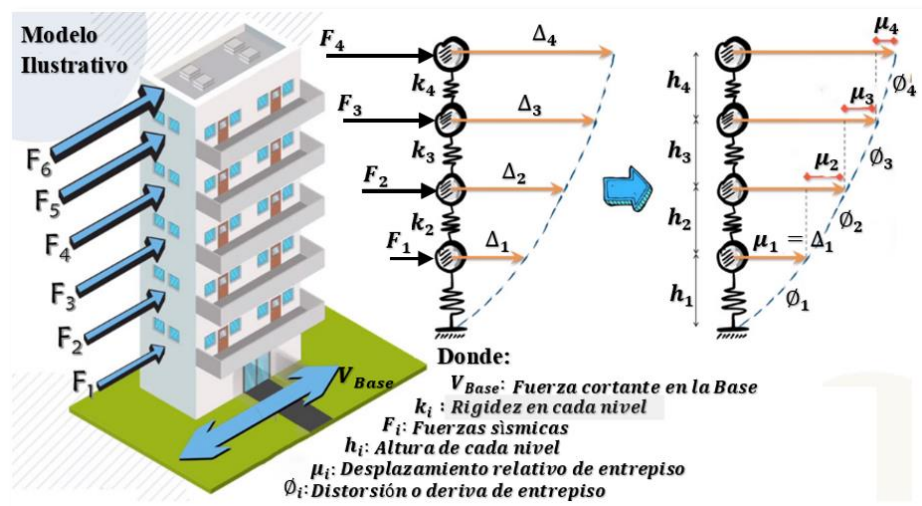
### ***2.6.1 Análisis estático o de fuerzas estáticas equivalentes***

En resumen, lo que calcula el análisis estático son las fuerzas sísmicas laterales, las cuales se ubican o actúan en los centros de masa de cada nivel. Estas fuerzas se calculan a través de una cortante basal (fuerza cortante de base), posteriormente dando la opción de poder calcular los desplazamientos y las derivas o distorsiones de entrepiso, con eso poder determinar el nivel de desempeño que tendrá la edificación, en el caso de no cumplir ciertos parámetros calculados, se vuelve a reformular y realizar nuevamente el análisis, ya que es un método iterativo. Por otro lado, la norma E.030, en su capítulo IV, menciona que el análisis se realiza

considerando un modelo de comportamiento lineal y elástico con las solicitaciones sísmicas reducidas.

**Figura 26**

*Representación gráfica del análisis estático*



*Nota.* Se ilustra el modelo matemático de la edificación, tal como se describió líneas arriba. Elaboración propia adaptado de la norma E.030 del Reglamento Nacional de Edificaciones.

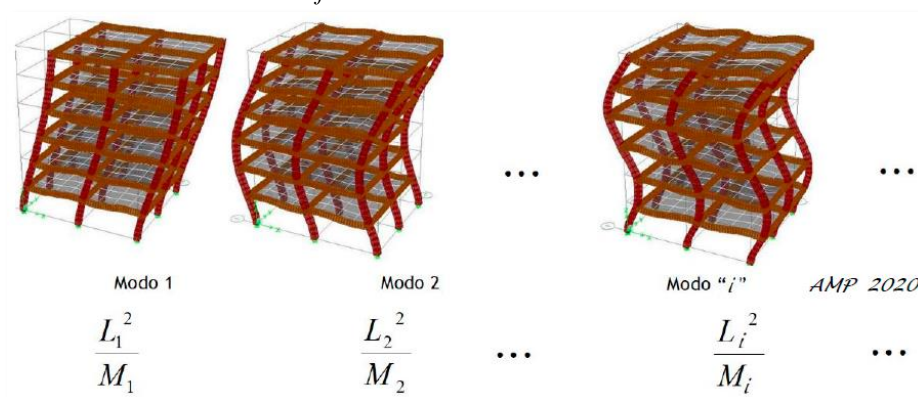
### 2.6.2 Análisis dinámico modal espectral

En este tipo de análisis, a diferencia del método anterior, permite determinar las aceleraciones de piso. Por otro lado, la palabra “modal” hace referencia a que se va a emplear los modos de vibración y “espectro”, refiere a que se ha va a utilizar un espectro de las aceleraciones ( $s_a$ ). Es decir, este método toma en cuenta las propiedades dinámicas de la estructura, tales como su forma de vibrar y la contribución de cada modo en la respuesta sísmica, esto con la finalidad de reproducir con mayor aproximación el comportamiento estructural real ante acciones sísmicas.

La norma establece que los modos de vibración se deben determinar usando un modelo que represente adecuadamente la distribución de rigideces y masas del edificio, y que en cada dirección de análisis se usen como mínimo los tres primeros modos predominantes o el número de modos necesarios hasta lograr que la suma de sus masas efectivas sea mayor o igual al 90 % de la masa total del edificio (Muñoz, 2020).

**Figura 27**

*Modos de vibración de un edificio*



*Nota.* Se ilustra un ejemplo de lo mencionado líneas arriba sobre los modos de vibración que la norma E.030 hace mención. Tomado de A. Muñoz Peláez (2020).

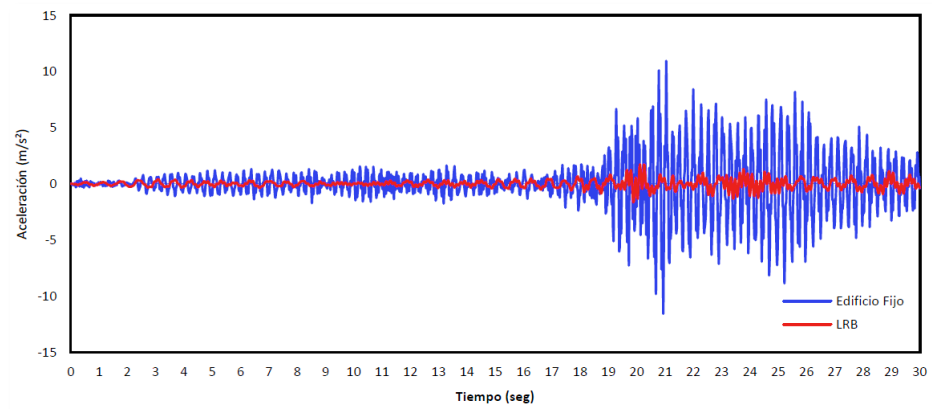
### 2.6.3 Análisis dinámico tiempo – historia

De manera similar, al anterior método de análisis dinámico, quizá esta sea la más completa, porque en este caso se considera los registros sísmicos reales (registros de acelerómetros), el cual se carga al software; para ello, se consideran los sismos más importantes ocurridos hasta la fecha, con ello se logra analizar la

estructura para cada valor de aceleración, y para cada segundo de respuesta de la estructura.

**Figura 28**

*Gráfica de aceleración vs tiempo*



*Nota.* Se muestra el comportamiento de una estructura con y sin aislamiento en la base ante un registro sísmico de Perú - Lima y Callao 1966 (8.0Mw). Tomado del proyecto de Valerio Zacarias (2015).

### 2.6.4 Comparación de métodos de análisis sísmico

**Tabla 11**

*Comparación entre los métodos de análisis sísmicos*

| <b>Análisis estático</b>   | <b>Análisis dinámico</b>  |
|--|---|
| Desde un punto de vista estático, a las acciones sísmicas se consideran como cargas o fuerzas estáticas. | Desde un punto de vista dinámico, a las acciones sísmicas se consideran como fuerzas dinámicas.   |
| Las cargas sísmicas no varían en el tiempo.  | Las cargas sísmicas varían con el tiempo.   |
| Se estima en función a parámetros sísmicos y el peso de la estructura.                                   | No se aplica una fuerza sísmica en sí, sino una cierta aceleración.   |
| La norma E.030 establece condiciones para su aplicación de este método.                                  | La norma E.030 establece que es aplicable para cualquier estructura el análisis modal espectral y complementariamente el análisis tiempo-historia.  |
| La norma E.031 establece condiciones para su aplicación de este método.                                  | La norma E.031 establece ciertos criterios que deben cumplir para su aplicación del análisis dinámico modal espectral, mientras que el análisis tiempo-historia permitido para cualquier estructura y necesario para todas aquellas estructuras que no cumplan los criterios del Análisis dinámico Modal Espectral. |

*Nota.* Se ilustra un resumen de lo descrito anteriormente en cada uno de los métodos de análisis. Elaboración propia.

## 2.7 VARIABLES DE DESEMPEÑO



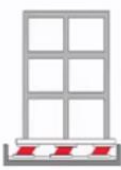
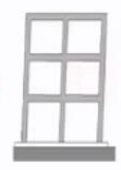





Según Valerio (2015), utiliza como respuestas cuantitativas para evaluar el desempeño de una edificación a la aceleración absoluta del piso superior, la deriva del edificio, la fuerza cortante en la base y el desplazamiento en la base. Estas variables son esenciales porque:

- Las aceleraciones de los pisos superiores son un indicador del confort humano y representan una de las principales causas de daño a los equipos sensibles (del contenido) dentro de la edificación.
- La deriva del edificio es la principal responsable de los daños tanto estructurales como no estructurales.

- La fuerza cortante en la base, por su parte, influye en el tamaño de las secciones transversales de los sistemas o elementos que resisten las fuerzas laterales, lo que determinará si es necesario ajustar las dimensiones de los elementos o modificar su rigidez.
- El desplazamiento en la base de los soportes es fundamental para el diseño de los sistemas de aislamiento sísmico.

**Figura 29**

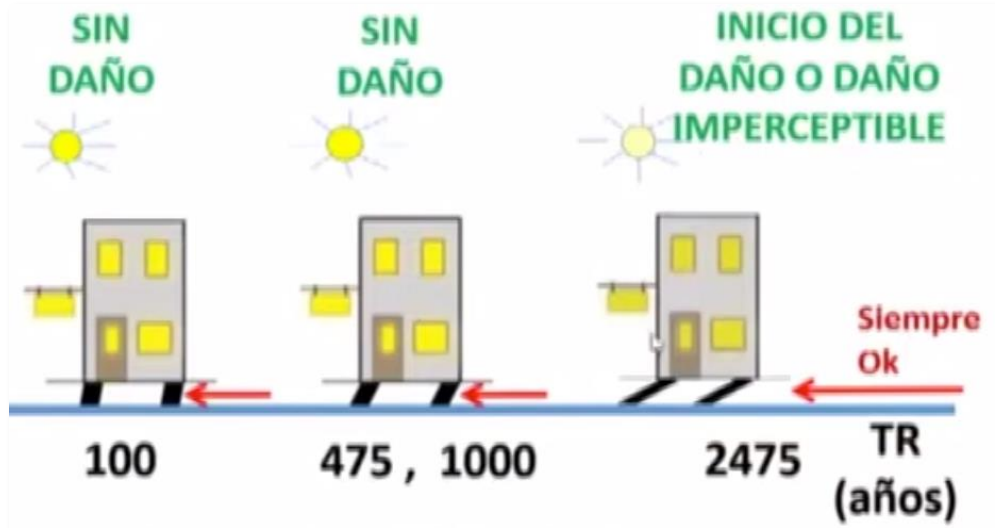
*Desempeño para edificios con aislamiento y base fija*

| Sismo                           | Leve  | Moderado   | Severo  |
|---------------------------------|---|--|---|
| <b>Sin Daño Estructural</b>     |  ó    |  ó  |   |
| <b>Sin daño en el Contenido</b> |  ó  |    |  |

*Nota.* Es la ilustración respecto a lo esperado (con la incorporación de la nueva norma E.031) como desempeño de edificios aislados respecto a uno convencional (de base fija). Obtenido de J. A. Muñoz Peláez (2020). (J. A. Muñoz Peláez, 2020)

**Figura 30**

*Desempeño según el periodo de retorno ( $T_R$ )*



*Nota.* Es la ilustración que se pretende con la norma E.031 sobre sistemas con asilamiento. Obtenido de J. A. Muñoz Peláez (2020).

## CAPÍTULO III

### MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

La determinación del tipo de investigación en esta tesis estuvo determinada por varios aspectos, como los objetivos del estudio, la naturaleza del problema de investigación, la disponibilidad de recursos y la metodología más adecuada para abordar las preguntas de investigación. Esto incluye la recolección y el análisis de datos numéricos, la identificación de relaciones entre variables, y el uso de modelos matemáticos y simulaciones computacionales para prever cómo se comportará la estructura bajo diferentes condiciones. Por lo tanto, se considera que se trata de una **investigación cuantitativa**. Un tipo de investigación clásica, en la cual se describen, analizan y/o experimentan con variables que son medibles y/o observables.

#### 3.2 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

Esta caracterización del diseño se determinó según la estructuración, según el plan o estrategia para responder a las preguntas de la investigación, señala el camino para alcanzar los objetivos del estudio y llegar a demostrar o rechazar las hipótesis planteadas. Por lo tanto, se puede decir que el presente trabajo de investigación es de carácter **experimental**. También presenta una solución estructural para mejorar la resistencia sísmica de edificios en una zona altamente

sísmica, además se compara dos modelos, situaciones, o condiciones para identificar diferencias y similitudes entre ellos.

### **3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA DE INVESTIGACIÓN**

#### *Población*

La población de estudio es un conjunto de casos, definido, limitado y accesible, que formará el referente para la elección de la muestra, y que cumple con una serie de criterios predeterminados. Es necesario aclarar que, cuando se habla de población de estudio, el término no se refiere exclusivamente a seres humanos, sino también puede corresponder a animales, muestras biológicas, expedientes, hospitales, objetos, familias, organizaciones, etc.; para estos últimos, podría ser más adecuado utilizar un término análogo, como universo de estudio (Arias-Gómez et al., 2016).

Para el presente estudio, se ha considerado como población todas las edificaciones de cinco niveles y que cuenten con el sistema estructural de pórticos, en la zona parque industrial (por el uso de la edificación y estratigrafía del suelo), ciudad de Tacna, uso de oficinas y/o almacén (industria).

#### *Muestra*

La muestra es un subconjunto o parte del universo o población en que se llevará a cabo la investigación. Hay procedimientos para obtener la cantidad de los componentes de la muestra como fórmulas, lógica y otros que se verá más adelante. La muestra es una parte representativa de la población (López, 2004).

Para el presente estudio, se ha considerado como muestra una edificación de cinco niveles y con un sistema estructural de pórticos en ambas direcciones (X e Y), para la Empresa Genovesa Agroindustrias S. A., la edificación de cinco niveles contará con un sistema con aislamiento en la base. Con un área de 4462,50m<sup>2</sup> (en planta).

### **3.4 PROCEDIMIENTO DEL DISEÑO DEL EDIFICIO CON Y SIN BASE AISLADA**

#### ***Generalidades***

En esta sección, todos los cálculos a realizarse y su respectivo procedimiento estarán basados en libros publicados por Morales (2006), Blanco (s. f.), Oviedo (2016) y Acuña et al. (2020). Del mismo modo, se realizará respetando los parámetros establecidos por nuestras normas nacionales como la norma técnica E.020, E.030, E.031 y E.060 del Reglamento Nacional de Edificaciones. Además, se recurrió a diferentes catálogos de aisladores sísmicos.

Para la obtención de parámetros sísmicos del suelo, se realizó una investigación de campo (exploración de suelos) mediante un laboratorio, obteniendo un informe técnico del estudio de suelos con fines de capacidad portante, clasificación e identificación. En el ANEXO se adjunta el resumen de dicho estudio.

#### ***Estructuración y predimensionamiento***

##### **Estructuración**

La estructuración se realizó en base al plano de distribución de ambientes (horizontalmente y verticalmente), según requerido por el propietario del predio.

Para lo cual, se adjunta un croquis o plano de estructuración en el ANEXO.

Predimensionamiento de elementos estructurales

### 1) Losas

Losas del piso técnico (losa maciza):

$$L_X = 6,30m \text{ y } L_Y = 8,25m$$

$$\text{Perímetro} = 2 * L_X + 2 * L_Y = 29,1m$$

$$h = \frac{\text{Perímetro}}{180} = 0,16m \dots \text{Peralte calculado.}$$

$$h = \mathbf{0,25m} \dots \text{Peralte asumido, debido a las altas cargas.}$$

Losas aligeradas (losas de entrepiso):

$$h = \mathbf{0,20m} \dots \text{Peralte asumido.}$$

### 2) Vigas

Vigas de la superestructura:

*Vigas en la dirección X:*

$$H = \frac{L}{10} \sim \frac{L}{12} \dots \text{Criterio para predimensionar las vigas de la superestructura.}$$

$$L_X = 6,30m \dots \text{Luz máxima entre ejes de columna.}$$

$$H = \frac{L_X}{11} = 0,57m \dots \text{Peralte calculado de las vigas en esa dirección.}$$

$$H = \mathbf{0,60m} \dots \text{Peralte asumido.}$$

$$B = \frac{H}{2} = 0,30m \dots \text{Base de la viga (valor calculado).}$$

$$B = \mathbf{0,30m} \dots \text{Base de la viga (valor asumido).}$$

**Resumen:  $H = 0,60m$  y  $B = 0,30m$ .**

*Vigas en la dirección Y:*

$L_Y = 8,25m$  ... Luz máxima entre ejes de columna.

$H = \frac{L_Y}{11} = 0,75m$  ... Peralte calculado de las vigas en esa dirección.

**$H = 0,75m$**  ... Peralte asumido.

$B = \frac{H}{2} = 0,38m$  ... Base de la viga (valor calculado).

**$B = 0,40m$**  ... Base de la viga (valor asumido).

**Resumen:  $H = 0,75m$  y  $B = 0,40m$ .**

Vigas del sistema de aislamiento:

$H = \frac{L}{7} \sim \frac{L}{8}$  ... Criterio para predimensionar las vigas del sistema de aislamiento.

$L = 8,25m$  ... Luz máxima entre ejes de columna en el eje Y (también se considerará el mismo valor para el otro sentido).

$H = \frac{L}{8} = 1,03m$  ... Peralte de las vigas en ambos sentidos (valor calculado).

$H = 1,00m$  ... Peralte asumido (optando el criterio mínimo).

$B = \frac{H}{2} = 0,50m$  ... Base de las vigas (valor calculado).

**Resumen:  $H = 1,00m$  y  $B = 0,50m$ .**

### 3) Columnas

Área tributaria:

$$A_t = 6,30m * 8,25m = 51,98m^2$$

**Carga muerta:**

$P_{Losa\_Alig} = 450 \text{ Kg}/m^2$  ... Peso de la losa aligerada en las dos direcciones.

$P_{Losa\_Macisa} = 600 \text{ Kg}/m^2$  ... Peso de la losa macisa de 25cm de espesor.

$P_{Acab} = 100 \text{ Kg}/m^2$  ... Peso de acabados.

$P_{Tab} = 200 \text{ Kg}/\text{m}^2 \dots$  Peso de tabiques.

$$P_{Propio\_Col} = (P_{Losa\_Aliq} + P_{Losa\_Macisa} + P_{Acab} + P_{Tab}) * 0.1$$

$P_{Propio\_Col} = 135 \text{ Kg}/\text{m}^2 \dots$  Peso de las columnas (estimado).

**Cálculo de pesos (carga muerta) por área tributaria:**

$$P_1 = P_{Losa\_Aliq} * A_t = 23,39\text{tonnef}$$

$$P_2 = P_{Losa\_Macisa} * A_t = 31,19\text{tonnef}$$

$$P_3 = P_{Acab} * A_t = 5,2\text{tonnef}$$

$$P_4 = P_{Tab} * A_t = 10,4\text{tonnef}$$

$$P_5 = P_{Propio\_Col} * A_t = 7,02\text{tonnef}$$

$$CM_{Piso\_Típico} = P_1 + P_3 + P_4 = 38,98\text{tonnef} \dots \text{Carga muerta de piso típico.}$$

$$CM_{Piso\_Técnico} = P_2 + P_3 + P_4 + P_5 = 53,79\text{tonnef} \dots \text{C.M. de piso típico.}$$

**Carga viva:**

$Sc_{Losa\_Típica} = 500 \text{ Kg}/\text{m}^2 \dots$  Sobrecarga de almacén.

$Sc_{Azotea} = 150 \text{ Kg}/\text{m}^2 \dots$  Sobrecarga de azotea.

**Cálculo de pesos (carga viva) por área tributaria:**

$$CV_{Piso\_Típico} = Sc_{Losa\_Típica} * A_t = 25,99\text{tonnef} \dots \text{Carga viva de piso típico.}$$

$$CV_{Azotea} = Sc_{Azotea} * A_t = 7,8\text{tonnef} \dots \text{Carga viva de azotea.}$$

$$N_{Piso\_Típico} = 5 \quad N_{Piso\_Técnico} = 1$$

$$CM = (CM_{Piso\_Típico} * N_{Piso\_Típico}) + (CM_{Piso\_Técnico} * N_{Piso\_Técnico})$$

$$CM = 248,7\text{tonnef}$$

$$CV = (CV_{Piso\_Típico} * N_{Piso\_Típico}) + (CV_{Azotea} * 1) = 137,73\text{tonnef}$$

**Cálculo de sección de columna:**

$$f'c = 280 \text{ Kg}/\text{cm}^2$$

$$P_{servicio} = 1,4 * CM + 1,7 * CV = 582,33 \text{tonnef}$$

$$A_{col} = \frac{P_{servicio}}{0,45 * f'_c} = 4621,65 \text{cm}^2$$

$$Sec_{col} = \sqrt{A_{col}} = 67,98 \text{cm}$$

Dimensiones para la columna: **C 65x75cm**

$$\text{Área}_{col} = 65 \text{cm} * 75 \text{cm} = 4875 \text{cm}^2 \dots (\text{Área}_{col} \geq A_{col})$$

#### 4) Capiteles y Pedestales

$$L_c \geq L_{ais} + 30 \text{cm}$$

$$L_{ais} = 1.00 \text{m} \dots \text{valor asumido.}$$

$$L_c \geq 1,30 \text{m}$$

$$L_c = 1,40 \text{m} \dots \text{valor asumido.}$$

### *Cuantías de Acero en columnas y capiteles*

#### I. Columnas

##### Dimensiones de la columna:

$$a = 65 \text{cm} \text{ y } b = 75 \text{cm}$$

$$\text{Área de la columna: } A_{col} = a * b = 4875 \text{cm}^2$$

$$\text{Cuantía de acero: } \rho_{As} = A_{col} * 0,01 = 48,75 \text{cm}^2$$

*Distribución de barras en columnas:*

$$\text{Recubrimiento del confinamiento. } rec_{col} = 4 \text{cm}$$

$$\text{Número de barra. } N_b = \#6$$

$$\text{Cantidad de barras (dir. X). } b_x = 6$$

$$\text{Cantidad de barras (dir. Y). } b_y = 6$$

$$\text{Cantidad total de barras. } T_b = b_x + b_y + (b_x - 2) + (b_y - 2) = 20$$

$$\text{Diámetro de barras asumidas. } d_b = 3/4 \text{"}$$

Área nominal de la barra.

$$A_n = \left\| \begin{array}{l} \text{if } d_b = \frac{3}{8} \text{ in} \\ \|A_n \leftarrow 0,71 \text{ cm}^2 \| \\ \text{if } d_b = \frac{1}{2} \text{ in} \\ \|A_n \leftarrow 1,29 \text{ cm}^2 \| \\ \text{if } d_b = \frac{5}{8} \text{ in} \\ \|A_n \leftarrow 1,99 \text{ cm}^2 \| \\ \text{if } d_b = \frac{3}{4} \text{ in} \\ \|A_n \leftarrow 2,84 \text{ cm}^2 \| \\ \text{if } d_b = 1 \text{ in} \\ \|A_n \leftarrow 5,10 \text{ cm}^2 \| \end{array} \right\|$$

$$A_n = 2,84 \text{ cm}^2$$

$$A_{s_{total}} = T_b * A_n = 56,8 \text{ cm}^2$$

$$\text{if } (A_{s_{total}} > \rho_{As}, \text{ok}, \text{"verificar"}) = \text{"ok"}$$

Acero de confinamiento (estribos):

Barras #3 @15cm – en dir3 = 3, en dir2 = 4

## II. Capiteles

### Dimensiones del capitel:

$$a = 100 \text{ cm} \text{ y } b = 100 \text{ cm}$$

$$\text{Área de la columna: } A_{col} = a * b = 10\,000 \text{ cm}^2$$

$$\text{Cuantía de acero: } \rho_{As} = A_{col} * 0,01 = 100 \text{ cm}^2$$

Distribución de barras en capitel:

$$\text{Recubrimiento del confinamiento. } rec_{col} = 4 \text{ cm}$$

$$\text{Número de barra. } N_b = \#8$$

$$\text{Cantidad de barras (dir. X). } b_x = 6$$

Cantidad de barras (dir. Y).  $b_Y = 6$

Cantidad total de barras.  $T_b = b_X + b_Y + (b_X - 2) + (b_Y - 2) = 20$

Diámetro de barras asumidas.  $d_b = 1"$

Área nominal de la barra.  $A_n = \left\| \begin{array}{l} \text{if } d_b = \frac{3}{8} \text{ in} \\ \|A_n \leftarrow 0,71 \text{ cm}^2 \| \\ \text{if } d_b = \frac{1}{2} \text{ in} \\ \|A_n \leftarrow 1,29 \text{ cm}^2 \| \\ \text{if } d_b = \frac{5}{8} \text{ in} \\ \|A_n \leftarrow 1,99 \text{ cm}^2 \| \\ \text{if } d_b = \frac{3}{4} \text{ in} \\ \|A_n \leftarrow 2,84 \text{ cm}^2 \| \\ \text{if } d_b = 1 \text{ in} \\ \|A_n \leftarrow 5,10 \text{ cm}^2 \| \end{array} \right\|$

$$A_n = 5,1 \text{ cm}^2$$

$$A_{Stotal} = T_b * A_n = 102 \text{ cm}^2$$

$$\text{if } (A_{Stotal} > \rho_{As}, \text{ok, "verificar"}) = \text{"ok"}$$

Acero de confinamiento (estribos):

Barras #4 @10cm – en dir3 = 4, en dir2 = 4

### ***Cálculos preliminares de análisis***

Sistema sin asilamiento (base fija)

Sistema con aislamiento (base aislada)

### **Modos de vibración y periodos**

Figura 31

*Modos de vibración y periodos de la edificación con base fija*

| Case  | Mode | Period<br>sec | UX        | UY        | UZ | SumUX  | SumUY  | SumUZ | RX        |
|-------|------|---------------|-----------|-----------|----|--------|--------|-------|-----------|
| Modal | 1    | 0.985         | 0.8092    | 0         | 0  | 0.8092 | 0      | 0     | 0         |
| Modal | 2    | 0.77          | 0         | 0.8174    | 0  | 0.8092 | 0.8174 | 0     | 0.1872    |
| Modal | 3    | 0.742         | 0.0004    | 0.0002    | 0  | 0.8095 | 0.8176 | 0     | 3.221E-05 |
| Modal | 4    | 0.297         | 0.1107    | 0         | 0  | 0.9202 | 0.8176 | 0     | 0         |
| Modal | 5    | 0.237         | 0         | 0.1077    | 0  | 0.9202 | 0.9253 | 0     | 0.6021    |
| Modal | 6    | 0.226         | 0.0001    | 1.718E-05 | 0  | 0.9203 | 0.9253 | 0     | 0.0001    |
| Modal | 7    | 0.154         | 0.0444    | 0         | 0  | 0.9647 | 0.9253 | 0     | 0         |
| Modal | 8    | 0.126         | 0         | 0.0425    | 0  | 0.9647 | 0.9678 | 0     | 0.0907    |
| Modal | 9    | 0.118         | 0.0003    | 3.441E-06 | 0  | 0.965  | 0.9678 | 0     | 8.86E-06  |
| Modal | 10   | 0.102         | 0.0167    | 0         | 0  | 0.9818 | 0.9678 | 0     | 0         |
| Modal | 11   | 0.085         | 2.754E-06 | 0.015     | 0  | 0.9818 | 0.9827 | 0     | 0.0625    |
| Modal | 12   | 0.085         | 0.0001    | 0.001     | 0  | 0.9818 | 0.9838 | 0     | 0.0042    |
| Modal | 13   | 0.079         | 0.0126    | 0         | 0  | 0.9944 | 0.9838 | 0     | 0         |
| Modal | 14   | 0.07          | 0.0001    | 0.0001    | 0  | 0.9944 | 0.9838 | 0     | 0.0002    |
| Modal | 15   | 0.068         | 0         | 0.0111    | 0  | 0.9944 | 0.9949 | 0     | 0.0359    |

*Nota.* En el modo de vibración 1, se obtuvo un periodo de  $T_1 = 0,985s$ , con una masa participativa del 80,92 % en la dirección en X. En el modo de vibración 2, se obtuvo un periodo de  $T_2 = 0,77s$ , con una masa participativa del 81,74 % en la dirección en Y. En el modo de vibración 3, se obtuvo un periodo de  $T_3 = 0.742s$ . Obtenido de un análisis modal espectral.

**Figura 32***Modos de vibración y periodos de la edificación con base aislada*

| Case  | Mode | Period sec | UX        | UY     | UZ        | SumUX  | SumUY  | SumUZ     | RX        |
|-------|------|------------|-----------|--------|-----------|--------|--------|-----------|-----------|
| Modal | 1    | 2.668      | 0.9851    | 0.0005 | 0         | 0.9851 | 0.0005 | 0         | 0         |
| Modal | 2    | 2.619      | 0.001     | 0.9868 | 0         | 0.9861 | 0.9873 | 0         | 0.0003    |
| Modal | 3    | 2.53       | 0.0091    | 0.0107 | 0         | 0.9953 | 0.998  | 0         | 6.463E-06 |
| Modal | 4    | 0.572      | 0.0046    | 0      | 0         | 0.9999 | 0.998  | 0         | 0         |
| Modal | 5    | 0.454      | 0         | 0.0019 | 0         | 0.9999 | 0.9999 | 0         | 0.1774    |
| Modal | 6    | 0.438      | 1.692E-06 | 0      | 0         | 0.9999 | 0.9999 | 0         | 1.650E-05 |
| Modal | 7    | 0.253      | 0.0001    | 0      | 0         | 1      | 0.9999 | 0         | 0         |
| Modal | 8    | 0.204      | 0         | 0.0001 | 0         | 1      | 1      | 0         | 8.57E-06  |
| Modal | 9    | 0.195      | 0         | 0      | 0         | 1      | 1      | 0         | 0         |
| Modal | 10   | 0.143      | 9.741E-06 | 0      | 1.101E-06 | 1      | 1      | 1.273E-06 | 1.053E-06 |
| Modal | 11   | 0.134      | 0         | 0      | 0.2768    | 1      | 1      | 0.2768    | 0.013     |
| Modal | 12   | 0.132      | 0         | 0      | 0         | 1      | 1      | 0.2768    | 0         |
| Modal | 13   | 0.129      | 0         | 0      | 0.0008    | 1      | 1      | 0.2776    | 0.1477    |
| Modal | 14   | 0.128      | 0         | 0      | 0.0755    | 1      | 1      | 0.3532    | 0.0028    |
| Modal | 15   | 0.126      | 0         | 0      | 2.685E-06 | 1      | 1      | 0.3532    | 2.822E-06 |

*Nota.* En el modo de vibración 1, se obtuvo un periodo de  $T_1 = 2,668s$ , con una masa participativa del 98,51 % en la dirección en X. En el modo de vibración 2, se obtuvo un periodo de  $T_2 = 2,619s$ , con una masa participativa del 96,68 % en la dirección en Y. En el modo de vibración 3, se obtuvo un periodo de  $T_3 = 2,53s$ . Obtenido de un análisis modal espectral.

### Parámetros sísmicos

$$Z = 0,45 ; U = 1 ; S = 1,05 ; T_p = 0,6s ; T_L = 2,00s$$

$$T_1 = 0,985s ; T_2 = 0,77s ; T_3 = 0,742s$$

$$T_f = T_1 = 0,985s \quad \text{Periodo del modelo (Etabs) con base fija.}$$

$$g = 9,807 \frac{m}{s^2}$$

### Periodo objetivo

$$Factor = 3,5$$

$$T_M = Factor * T_f = 3,45s \quad \text{Periodo objetivo para el sist. de aislamiento.}$$

**Factor de amplificación sísmico**

$$C = \begin{cases} \text{if } T_M < T_P \\ \|C \leftarrow 2.5\| \\ \text{if } T_P \leq T_M \leq T_L \\ \|C \leftarrow 2,5 * \frac{T_P}{T_M}\| \\ \text{if } T_M \geq T_L \\ \|C \leftarrow 2,5 * \frac{T_P * T_L}{T_M^2}\| \end{cases} \quad C = 0,252$$

**Asumir el amortiguamiento**

**Tabla 12**

Factores de amortiguamiento  $B_M$

| $\beta_M$ | $B_M$ |
|-----------|-------|
| 0%        | 0,8   |
| 2%        | 0,8   |
| 5%        | 1     |
| 10%       | 1,2   |
| 15%       | 1,35  |
| 20%       | 1,5   |
| 30%       | 1,7   |
| 40%       | 1,9   |

*Nota.* Adecuado de la tabla N° 5 de la Norma E.031 del Reglamento Nacional de Edificaciones [RNE] (2019), debido a que  $\beta_M$  (15 %) asumido inicialmente fue diferente a lo indicado en dicha tabla, por lo que fue necesario realizar una interpolación lineal para obtener el factor de amortiguamiento  $B_M = 1,35$ .

$$C = \left(\frac{T_f}{T_M}\right)^2 \quad \varepsilon = 0,082 \quad \varepsilon_{obj} = 0,15$$

$$\varepsilon = \beta_M = 0,15 \quad \text{Porcentaje de amortiguamiento crítico.}$$

$$B_M = \text{linterp}(\beta_M, B_M, \varepsilon) = 1,35 \quad \text{Factor de amortiguamiento.}$$

**Aceleración espectral**

$$S_a = 1,5 * Z * U * S * C * g = 175,439 \frac{cm}{s^2} \quad \text{Aceleración espectral.}$$

### Desplazamiento

$$S_d = \frac{\frac{S_a}{\left(2 \cdot \frac{\pi}{TM}\right)^2}}{B_M} \quad S_d = 391,238\text{mm} \quad S_d = 39,124\text{cm}$$

### Cálculo de KM a partir de TM

$$W_{edif} = 25945,71\text{tonnef} \quad \text{peso del edificio}$$

$$W_{ais} = 5655,14\text{tonnef} \quad \text{peso del sistema de aislamiento}$$

$$W_{total} = W_{edif} + W_{ais} = 31600,85\text{tonnef} ; W_{total} = 309898,476\text{kN}$$

Convertir peso a masa:

$$M = \frac{W_{total}}{g} = 3222,39\text{tonnef} \frac{s^2}{m} \quad \text{masa del edificio}$$

$$T = 2 * \pi * \sqrt{\frac{M}{K}} \quad \text{periodo fundamental}$$

Cálculo de rigidez objetivo:

$$N = 81 \quad \text{Número de dispositivos}$$

$$K_{obj} = 4 * \pi^2 * \frac{M}{T_M^2} = 10703,585 \frac{\text{tonnef}}{m} \quad \text{Rigidez objetivo}$$

$$K_{Aisl} = \frac{K_{obj}}{N} = 132,143 \frac{\text{tonnef}}{m} \quad \text{Rigidez de cada aislador}$$

$$T = 2 * \pi * \sqrt{\frac{M}{K_{obj}}} = 3,45\text{s} \quad ; \quad K_{obj} = 104,966 \frac{\text{kN}}{\text{mm}}$$

### Cargas

$$C = 0,252 \quad \text{Factor de amplificación sísmica.}$$

$$R = 1 \quad \text{Factor básico de reducción.}$$

$$P = 26630,74 \text{ tonnef} \quad \text{Peso sísmico de la estructura sobre la interfaz de aislamiento.}$$

$P_S = 21794,21 \text{ tonnef}$       Peso sísmico efectivo de la estructura sobre la interfaz de aislamiento, calculada similar a P, pero sin incluir el nivel de base.

$CM = 21660,63 \text{ tonnef}$       Carga muerta.

$CV = 4970,11 \text{ tonnef}$       Carga viva.

Carga sísmica horizontal

$$CSH = \frac{Z*U*C*S}{R} * P_S \quad ; \quad CSH = 2599,295 \text{ tonnef} \quad ; \quad CSH = 25490,381kN$$

Carga sísmica vertical

$$CSV = 0,5 * (1,5 * Z * S) * CM \quad \quad CSV = 7675,986 \text{ tonnef}$$

Carga sísmica de nieve

$$CN = 0 \text{ tonnef}$$

### **Combinaciones de carga**

Carga Vertical Promedio

$$CVP = 1CM + 0.5CV \quad \quad CVP = 24145.685 \text{ tonnef}$$

Carga Vertical Máxima

$$CVM = 1,25(CM + CV) + 1(CSH + CSV) + 0,2(CN)$$

$$CVM = 43563,706 \text{ tonnef} \quad ; \quad CVM = 427214,02kN$$

Carga vertical mínima

$$CV_{\text{mín}} = 0,90(CM) - 1(CSH + CSV) \quad \quad CV_{\text{mín}} = 9219,286 \text{ tonnef}$$

### **Área total del diafragma rígido**

$$A_{\text{total}} = 3274,43m^2$$

**Carga vertical en los dispositivos**

Promedio

$$prom = \frac{CVP}{A_{total}} = 7,374 \frac{tonnef}{m^2}$$

Máxima

$$max = \frac{CVM}{A_{total}} = 13,304 \frac{tonnef}{m^2}$$

Mínima

$$min = \frac{CVmín}{A_{total}} = 2,816 \frac{tonnef}{m^2}$$

Dispositivo Céntrico

$$A_{trib} = 6,30m * 8,25m = 51,975m^2$$

$$CVP_C = prom * A_{trib} = 383,264 tonnef \quad \text{C.V.Prom sobre dispositivo 1.}$$

$$CVM_C = max * A_{trib} = 691,486 tonnef \quad \text{C.V.Máx sobre dispositivo 1.}$$

$$CVm_C = min * A_{trib} = 146,338 tonnef \quad \text{C.V.mín sobre dispositivo 1.}$$

Dispositivo Excéntrico

$$A_{trib2} = 6,30m * 4,125m = 25,988m^2$$

$$CVP_{Ex} = prom * A_{trib2} = 191,632 tonnef \quad \text{C.V.Prom sobre dispositivo 2.}$$

$$CVM_{Ex} = max * A_{trib2} = 345,743 tonnef \quad \text{C.V.Máx sobre dispositivo 2.}$$

$$CVm_{Ex} = min * A_{trib2} = 73,169 tonnef \quad \text{C.V.mín sobre dispositivo 2.}$$

Dispositivo esquinado

$$A_{trib3} = 3,15m * 4,125m = 12,994m^2$$

$$CVP_{Es} = prom * A_{trib3} = 95,816 tonnef \quad \text{C.V.Prom sobre dispositivo 2.}$$

$$CVM_{Es} = max * A_{trib3} = 172,872 tonnef \quad \text{C.V.Máx sobre dispositivo 2.}$$

$$CVm_{ES} = \min * A_{trib3} = 36,584 \text{ tonnef} \quad \text{C.V. m\u00edn sobre dispositivo 2.}$$

**Sismo m\u00e1ximo considerado (SMC)**

$$S_{aM} = 1.5 * Z * C * S * g \quad S_{aM} = 1754.391 \frac{mm}{s^2} \quad S_{aM} = 1.754 \frac{m}{s^2}$$

**Amortiguamiento efectivo**

**Tabla 13**

Factores de amortiguamiento  $B_M$  efectivo

| $\beta_M$ | $B_M$ |
|-----------|-------|
| 0 %       | 0,8   |
| 2 %       | 0,8   |
| 5 %       | 1     |
| 10 %      | 1,2   |
| 15 %      | 1,35  |
| 20 %      | 1,5   |
| 30 %      | 1,7   |
| 40 %      | 1,9   |

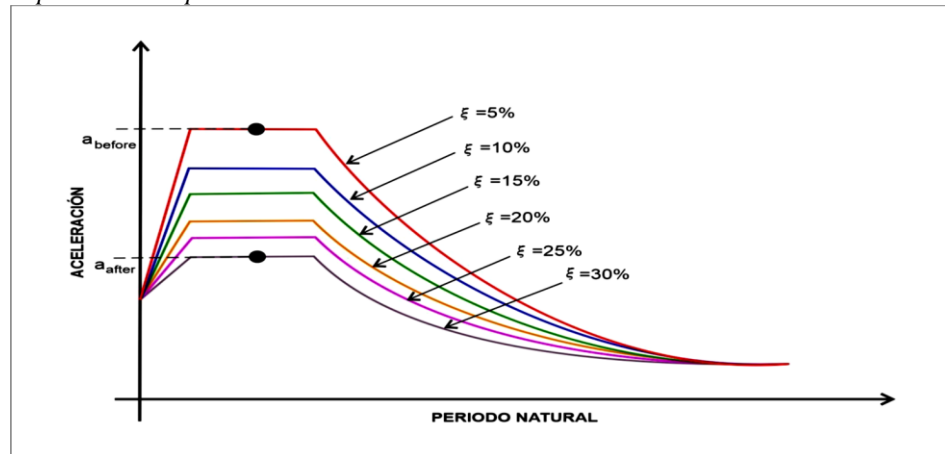
Nota. Obtenido de la Tabla N\u00b05 de la Norma E.031, en este caso  $\beta_M$  (20 %) se encontraba indicado en dicha tabla, siendo su factor  $B_M = 1.5$ .

$$\epsilon_c = \beta_M = 0,20 \quad \text{Porcentaje de amortiguamiento cr\u00edtico.}$$

$$B_M = \text{interp}(\beta_M, B_M, \epsilon_c) = 1,5 \quad \text{Factor de amortiguamiento.}$$

**Figura 33**

*Espectros de respuestas sísmicas*



*Nota.* Elaboración propia, expresa la reducción de la aceleración por el incremento de amortiguación, el cual es usado para estructuras desplantadas de la base. Tomado como referencia al estudio realizado por Hidalgo Toxqui y Ruiz Gómez (2010).

**Desplazamiento Máximo (DM)**

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

$D_M = 0.3521m \quad D_M = 35.2115cm \quad D_M = 352.1146mm$

**Desplazamiento Máximo (DM)**

**Figura 34**

*Centros de masa y rigidez*

| Story  | Diaphragm | Mass X tonf-s <sup>2</sup> /m | Mass Y tonf-s <sup>2</sup> /m | Cum Mass X tonf-s <sup>2</sup> /m | Cum Mass Y tonf-s <sup>2</sup> /m | XCCM m  | YCCM m  | XCR m   | YCR m   |
|--------|-----------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|---------|---------|---------|---------|
| Story1 | D1        | 426.90362                     | 426.90362                     | 426.90362                         | 426.90362                         | 34.1575 | 25.0738 | 34.2212 | 25.0559 |
| Story2 | D2        | 426.90362                     | 426.90362                     | 426.90362                         | 426.90362                         | 34.1575 | 25.0738 | 34.2193 | 25.0565 |
| Story3 | D3        | 426.90362                     | 426.90362                     | 426.90362                         | 426.90362                         | 34.1575 | 25.0738 | 34.2171 | 25.0571 |
| Story4 | D4        | 426.90362                     | 426.90362                     | 426.90362                         | 426.90362                         | 34.1575 | 25.0738 | 34.2148 | 25.0579 |
| Story5 | D5        | 416.12127                     | 416.12127                     | 416.12127                         | 416.12127                         | 34.1584 | 25.0973 | 34.2128 | 25.0638 |
| Story6 | D6        | 85.36711                      | 85.36711                      | 85.36711                          | 85.36711                          | 34.65   | 28.875  | 34.2481 | 25.3741 |
| BASE   | Dais      | 506.50289                     | 506.50289                     | 506.50289                         | 506.50289                         | 34.1587 | 25.074  | 34.2222 | 25.0556 |

*Nota.* Obtención del Software Etabs luego de realizar el análisis modal espectral, del cual se obtiene los valores de las coordenadas de los centros de masa y rigidez, tal cual se describe a continuación.

$C_{MX} = 34,1575m$     Coordenada centro de masa en X.

$$C_{MY} = 25,0738m \quad \text{Coordenada centro de masa en Y.}$$

$$C_{RX} = 34,2212m \quad \text{Coordenada centro de rigidez en X.}$$

$$C_{RY} = 25,0559m \quad \text{Coordenada centro de rigidez en Y.}$$

$$e_X = C_{MX} - C_{RX} = -0,064m \quad \text{Excentricidad en X.}$$

$$e_Y = C_{MY} - C_{RY} = -0,064m \quad \text{Excentricidad en Y.}$$

$$d = 69,30m \quad \text{Dimensión mayor de la proyección en planta de la estructura.}$$

$$b = 49,50m \quad \text{Dimensión menor de la proyección en planta de la estructura.}$$

$$e_{acc} = d * 0,05 = 3,465m \quad \text{Excentricidad accidental.}$$

$$e = e_Y + e_{acc} = 3,447m \quad \text{Excentricidad obtenida.}$$

$$y = \frac{d}{2} = 34,65m \quad \text{Distancia entre el centro de rigidez del sistema de aislamiento} \\ \text{sísmico y el elemento de interés.}$$

$$T_1 = 0,985s \quad \text{Periodo fundamental del modo 1.}$$

$$T_2 = 0,77s \quad \text{Periodo fundamental del modo 2.}$$

$$T_3 = 0,742s \quad \text{Periodo fundamental del modo 3.}$$

$$P_{T_1} = \frac{T_1}{T_3} = 1,327$$

$$N_{disp} = N = 81$$

$$\sum = 57744,56m^2$$

$$r_a = \frac{1}{12} * (b^2 + d^2)^{\frac{1}{2}} = 7,097m \quad \text{Radio de giro del sistema de aislamiento.}$$

$$P_T = \frac{1}{r_a} * \sqrt{\frac{\sum}{N_{disp}}} = 3,762$$

$$D_{TM} = \text{máx} \left( D_M * \left[ 1 + \left( \frac{y}{P_T^2} \right) * \left( \frac{12 * e}{b^2 + d^2} \right) \right], 1,15 * D_M \right) = 0,405m$$

$$D_{TM} = 40,493 \text{ cm} = 404,932 \text{ mm}$$

$$\text{Cond} = \text{if}(D_{TM} < 1,15 * D_M, \text{"Verificar"}, \text{"Ok"}) = \text{"Ok"}$$

### Propiedades de los dispositivos

$$\gamma = 1,0 \quad \text{Deformación por corte.}$$

$$G = 0,80 \text{ Mpa} \quad \text{Módulo de corte del caucho}$$

Según Libro MCEER Property Modification Factors For Sesimic Isoltors; Design

Guidance For Buildins. William J. MAcVitty

$$\text{Para } G = 0,5 - 1,0 \text{ Mpa}$$

#### Dispositivo 1

Rigidez horizontal:

$$P_{Umáx_1} = cvp_c$$

$$P_{Umáx_1} = 383,264 \text{ tonnef}$$

$$K_{h_1} = \left[ P_{Umáx_1} * \left( \frac{2\pi}{T_M} \right)^2 \right] * 0,1 \frac{s^2}{m} = 1,248 \text{ Mpa} * m$$

$$K_{h_1} = 1,248 \frac{kN}{mm} = 127,306 \frac{\text{tonnef}}{m}$$

#### Dispositivo 2

Rigidez horizontal:

$$P_{Umáx_2} = cvp_E$$

$$P_{Umáx_2} = 191,632 \text{ tonnef}$$

$$K_{h_2} = \left[ P_{Umáx_2} * \left( \frac{2\pi}{T_M} \right)^2 \right] * 0,1 \frac{s^2}{m} = 0,624 \text{ Mpa} * m$$

$$K_{h_2} = 0,624 \frac{kN}{mm} = 63,653 \frac{\text{tonnef}}{m}$$

Altura del dispositivo 1 y 2:

$$H_r = \frac{D_M}{\gamma} = 0,352m = 35,211cm = 352,115mm$$

Área del dispositivo 1 y 2:

$$A_1 = \frac{K_{h.1} * H_r}{G} = 0,549m^2$$

$$A_2 = \frac{K_{h.2} * H_r}{G} = 0,275m^2$$

Diámetro del dispositivo 1 y 2:

$$d_1 = 2 * \left( \sqrt{\frac{A_1}{\pi}} \right) = 0,836m = 83,644cm = 836,445mm$$

$$d_2 = 2 * \left( \sqrt{\frac{A_2}{\pi}} \right) = 0,591m = 59,146cm = 591,456mm$$

### **Resumen: Propiedades de los dispositivos**

**Tabla 14**

*Resumen de propiedades requeridas*

| <b>Propiedades</b>                 | <b>Disp. 1<br/>(céntrico)</b> | <b>Disp. 2<br/>(excéntrico)</b> | <b>Unidades</b> |
|------------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|-----------------|
| Rigidez Horizontal del Dispositivo | 1,248                         | 0,624                           | Mpa*m           |
| Altura del dispositivo             | 352,115                       | 352,115                         | mm              |
| Área del dispositivo               | 0,549                         | 0,275                           | m <sup>2</sup>  |
| Diámetro del dispositivo           | 0,836                         | 0,591                           | m               |
| Desplazamiento máximo (DM)         | 0,352                         | 0,352                           | m               |
| Desplazamiento Total Máximo (DTM)  | 0,405                         | 0,405                           | m               |
| Módulo de corte del cucho          | 0,8                           | 0,8                             | Mpa             |
| Porcentaje de Amortiguamiento      | 20                            | 20                              | %               |
| Cantidad de dispositivos           | 50                            | 31                              | Und             |

*Nota.* Obtención las dimensiones, características para cada dispositivo, en base a los cálculos realizados líneas arriba.

Tabla 15

*Propiedades de diseño del aislador según catálogo FIP INDUSTRIALE*

| Propiedades                              | Disp. 1                   | Disp. 2                   | Unid. |
|--|---------------------------|---------------------------|-------|
| <b>Modelo del dispositivo</b>            | <b>LRB-SN-850/200-185</b> | <b>LRB-SN-600/204-150</b> |       |
| Diámetro ( $d_{disp_1}$ ; $d_{disp_2}$ ) | 850                       | 600                       | mm    |
| Altura total                             | 382                       | 393                       | mm    |
| Tamaño de chapas                         | 900x900                   | 650x650                   | mm    |
| Espesor total de goma                    | 200                       | 204                       | mm    |
| Rigidez vertical (Kv)                    | 2288                      | 996                       | kN/mm |
| Rigidez horizontal efectiva (Keff)       | 2.47                      | 1,34                      | kN/mm |
| Desplazamiento de diseño                 | 400                       | 400                       | mm    |
| Carga estática vertical máxima           | 16910                     | 5140                      | kN    |
| Amortiguamiento efectivo                 | 21                        | 25                        | %     |
| Desplazamiento de fluencia               | 16                        | 16                        | mm    |
| Fuerza de fluencia (Fy)                  | 308                       | 198                       | kN    |

*Nota.* Se llega a seleccionar por una comparación de las características requeridas en nuestro diseño. Obtenido de FIP INDUSTRIALE S.p.A. (2007).

Valores globales para ambos dispositivos:

$$At_{dispositivo} = 500mm \quad \text{Altura total del dispositivo}$$

$$d_{diseño} = 500mm \quad \text{Desplazamiento de diseño}$$

### Rigidez efectiva lineal (de cada dispositivo)

$$Keff1 = k_{eff\_disp1} = 2.47 \frac{kN}{mm} = 251,87 \frac{tonnef}{m}$$

$$Keff2 = k_{eff\_disp2} = 1.34 \frac{kN}{mm} = 136,642 \frac{tonnef}{m}$$

### Rigidez compuesta del sistema

$$K_{obj\_total} = Keff1 * N_{disp1} + Keff2 * N_{disp2} = 157,54 \frac{kN}{mm}$$

$$K_{obj\_total} = 16064,609 \frac{tonnef}{m}$$

### Energía Disipada

$$E_{ciclo1} = 2 * \pi * Keff1 * D_M^2 * \beta_M = 361,465kN.m$$

$$E_{ciclo2} = 2 * \pi * K_{eff2} * D_M^2 * \beta_M = 208,777kN.m$$

### **Fuerza característica**

$$D_{y_{inicial}} = 0,00m$$

$$Q_1 = \frac{E_{ciclo1}}{4 * (D_M - D_{y_{inicial}})} = 256,639kN$$

$$Q_2 = \frac{E_{ciclo2}}{4 * (D_M - D_{y_{inicial}})} = 148,231kN$$

### **Rigidez post fluencia (k2)**

$$k_{2_{disp1}} = K_{eff1} - \frac{Q_1}{D_M} = 1591,151 \frac{kN}{m}$$

$$k_{2_{disp2}} = K_{eff2} - \frac{Q_2}{D_M} = 919,027 \frac{kN}{m}$$

### **Rigidez inicial (k1)**

$$k_{1_{disp1}} = k_{2_{disp1}} * 10 = 15911,505 \frac{kN}{m}$$

$$k_{1_{disp2}} = k_{2_{disp2}} * 10 = 9190,266 \frac{kN}{m}$$

### **Desplazamiento de fluencia**

$$D_{y_{.1}} = \frac{Q_1}{k_{1_{disp1}} - k_{2_{disp1}}} = 0,0179m$$

$$D_{y_{.2}} = \frac{Q_2}{k_{1_{disp2}} - k_{2_{disp2}}} = 0,0179m$$

### **Fuerza característica**

$$Q_{d1} = \frac{E_{ciclo1}}{4 * (D_M - D_{y_{.1}})} = 270.401kN$$

$$Q_{d2} = \frac{E_{ciclo2}}{4 * (D_M - D_{y_{.2}})} = 156.18kN$$

**Rigidez post fluencia (kd2)**

$$kd2_{disp1} = Keff1 - \frac{Qd_1}{D_M} = 1552,066 \frac{kN}{m}$$

$$kd2_{disp2} = Keff2 - \frac{Qd_2}{D_M} = 896,452 \frac{kN}{m}$$

**Rigidez inicial (kd1)**

$$kd1_{disp1} = kd2_{disp1} * 10 = 15520,657 \frac{kN}{m}$$

$$kd1_{disp2} = kd2_{disp2} * 10 = 8964,517 \frac{kN}{m}$$

**Fuerza de fluencia**

$$F_{y_1} = Qd_1 + (kd2_{disp1} * D_{y_1}) = 298,216kN$$

$$F_{y_2} = Qd_2 + (kd2_{disp2} * D_{y_2}) = 172,245kN$$

**Ratio (relación rigidez post fluencia / rigidez inicial)**

$$R_1 = \frac{kd2_{disp1}}{kd1_{disp1}} = 0,1 \quad R_2 = \frac{kd2_{disp2}}{kd1_{disp2}} = 0,1$$

**Periodo del sistema**

$$K_M = K_{obj\_total} = 157,54 \frac{kN}{mm} \quad K_M = 16064,609 \frac{tonnef}{m}$$

$$T_M = 2 * \pi * \sqrt{\frac{P}{K_M * g}} = 2,583s$$

**Frecuencia angular**

$$\omega = 2 * \frac{\pi}{T_M} = 2,432 \frac{rad}{s}$$

**Amortiguamiento efectivo**

$$\epsilon_{e1} = \frac{E_{ciclo1}}{\pi * D_M^2 * \omega} = 0,382kN \cdot \frac{s}{mm} \quad \epsilon_{e2} = \frac{E_{ciclo2}}{\pi * D_M^2 * \omega} = 0,22kN \cdot \frac{s}{mm}$$

### ***Registros sísmicos***

Para el caso de realizar el análisis dinámico tiempo – historia, nuestra norma E.031 describe que el movimiento del terreno será definido por un conjunto mínimo de 7 pares de registros sísmicos (componentes horizontales de aceleración en X e Y).

Por lo tanto, se eligió los 7 registros ocurridos hasta la fecha (mayor aceleración) en nuestro país y el vecino país de Chile, sobre todo en la zona del cinturón de fuego del pacífico (zona altamente sísmica).

**Tabla 16***Registros sísmicos*

| Item | Sismo         | Año        | Mw  | Profundidad | Estación             | Componente | Aceleración máxima (Registro) | Aceleración máxima (Filtrado) | Observaciones                 |
|------|---------------|------------|-----|-------------|----------------------|------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 1    | Lima 1966     | 1966       | 8.1 | 24.00 km    | Parque de la Reserva | EW         | 180.56 cm/s <sup>2</sup>      | 183.28863 cm/s <sup>2</sup>   | Corregido línea base Filtrado |
|      | Lima 1966     | 1966       | 8.1 | 24.00 km    | Parque de la Reserva | NS         | 268.24 cm/s <sup>2</sup>      | 261.97339 cm/s <sup>2</sup>   | Corregido línea base Filtrado |
| 2    | Huaraz 1970   | 1970       | 6.6 | 64.00 km    | Parque de la Reserva | EW         | 105.05 cm/s <sup>2</sup>      | 100.74912 cm/s <sup>2</sup>   | Corregido línea base Filtrado |
|      | Huaraz 1970   | 1970       | 6.5 | 64.00 km    | Parque de la Reserva | NS         | 87.81 cm/s <sup>2</sup>       | 101.11014 cm/s <sup>2</sup>   | Corregido línea base Filtrado |
| 3    | Lima 1974     | 1974       | 6.6 | 13.00 km    | Parque de la Reserva | EW         | 194.21 cm/s <sup>2</sup>      | 182.73099 cm/s <sup>2</sup>   | Corregido línea base Filtrado |
|      | Lima 1974     | 1974       | 6.6 | 13.00 km    | Parque de la Reserva | NS         | 180.09 cm/s <sup>2</sup>      | 167.24993 cm/s <sup>2</sup>   | Corregido línea base Filtrado |
| 4    | Atico 2001    | 2001       | 6.9 | 33.00 km    | Moquegua             | EW         | 295.15 cm/s <sup>2</sup>      | 288.58887 cm/s <sup>2</sup>   | Corregido línea base Filtrado |
|      | Atico 2001    | 2001       | 6.9 | 33.00 km    | Moquegua             | NS         | 219.99 cm/s <sup>2</sup>      | 230.50124 cm/s <sup>2</sup>   | Corregido línea base Filtrado |
| 5    | Pisco 2007    | 2007       | 7.0 | 40.00 km    | Ica                  | EW         | 272.82 cm/s <sup>2</sup>      | 291.97915 cm/s <sup>2</sup>   | Corregido línea base Filtrado |
|      | Pisco 2007    | 2007       | 7.0 | 40.00 km    | Ica                  | NS         | 333.66 cm/s <sup>2</sup>      | 364.51022 cm/s <sup>2</sup>   | Corregido línea base Filtrado |
| 6    | Tacna 2017    | 2017       | 6.3 | 100.00 km   | Sencico Tacna        | EW         | 94.87 cm/s <sup>2</sup>       | 97.98321 cm/s <sup>2</sup>    | Corregido línea base Filtrado |
|      | Tacna 2017    | 2017       | 6.3 | 100.00 km   | Sencico Tacna        | NS         | 107.13 cm/s <sup>2</sup>      | 109.1776 cm/s <sup>2</sup>    | Corregido línea base Filtrado |
| 7    | Mala 2021     | 2021       | 6.0 | 45.00 km    | Independencia        | EW         | 207.84 cm/s <sup>2</sup>      | 200.58785 cm/s <sup>2</sup>   | Corregido línea base Filtrado |
|      | Mala 2021     | 2021       | 6.0 | 45.00 km    | Independencia        | NS         | 153.59 cm/s <sup>2</sup>      | 157.12416 cm/s <sup>2</sup>   | Corregido línea base Filtrado |
| 8    | Amazonas 2021 | 2021       | 7.5 | 131.00 km   | Sencico Trujillo     | EW         | 32.892 cm/s <sup>2</sup>      | cm/s <sup>2</sup>             | Corregido línea base Filtrado |
|      | Amazonas 2021 | 2021       | 7.5 | 131.00 km   | Sencico Trujillo     | NS         | 33.961 cm/s <sup>2</sup>      | cm/s <sup>2</sup>             | Corregido línea base Filtrado |
| 9    | Lima 2022     | 07/01/2022 | 5.6 | 116.00 km   | IPEN Carabayllo      | EW         | 223.81 cm/s <sup>2</sup>      | 179.29964 cm/s <sup>2</sup>   | Corregido línea base Filtrado |
|      | Lima 2022     | 07/01/2022 | 5.6 | 116.00 km   | IPEN Carabayllo      | NS         | 236.45 cm/s <sup>2</sup>      | 185.74631 cm/s <sup>2</sup>   | Corregido línea base Filtrado |
| 10   | Amazonas 2022 | 03/02/2022 | 6.8 | 139.00 km   | Sencico Trujillo     | EW         | 8.02 cm/s <sup>2</sup>        | cm/s <sup>2</sup>             | Corregido línea base Filtrado |

*Nota.* Se presenta los 7 pares de registros sísmicos tomados en cuenta inicialmente para la realización del análisis dinámico Tiempo – Historia, para la selección se tuvo en cuenta las de mayor aceleración y magnitud, durante el transcurso del procesamiento se realizó un cambio en 4 registros por unas del vecino país, posterior a ello se tuvo que realizar el procesamiento de dichos registros sísmicos antes de insertar al software. Fuente CISMID.

## Registros sísmicos seleccionados:

1. Sismo de Lima - Perú 1966 (en dirección X e Y)
2. Sismo de Lima - Perú 1970 (en dirección X e Y)
3. Sismo de Lima - Perú 1974 (en dirección X e Y)
4. Sismo de Curicó - Chile 2010 (en dirección X e Y)
5. Sismo de Hualañe - Chile 2010 (en dirección X e Y)
6. Sismo de Maipú - Chile 2010 (en dirección X e Y)
7. Sismo de Talca - Chile 2010 (en dirección X e Y)

## CAPÍTULO IV

### ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1 RESULTADOS DE MODELOS

##### *Edificación con base fija*

##### Análisis estático

**Figura 35**

*Fuerza cortante en la base obtenido de un análisis estático*

| Output Case  | Case Type | FX tonf    | FY tonf    | FZ tonf | MX tonf-m  | MY tonf-m   | MZ tonf-m    |
|--------------|-----------|------------|------------|---------|------------|-------------|--------------|
| S_EstaticoX+ | LinStatic | -3198.8101 | 0          | 0       | 0          | -42569.2434 | 88731.2835   |
| S_EstaticoY+ | LinStatic | 0          | -3198.8101 | 0       | 42569.2434 | 0           | -120029.2015 |
| S_EstaticoX- | LinStatic | -3198.8101 | 0          | 0       | 0          | -42569.2434 | 73462.0089   |
| S_EstaticoY- | LinStatic | 0          | -3198.8101 | 0       | 42569.2434 | 0           | -98724.1051  |

*Nota.* Mediante el Software se obtuvo una fuerza cortante estática de 3198.81 toneladas para la dirección X e Y. Elaboración propia.

**Figura 36**

*Desplazamiento en el centro de masas obtenido de un análisis estático*

| Story  | Diaphragm | Output Case  | Case Type | UX cm   | UY cm   | RZ rad    | Point | X cm     | Y cm     |
|--------|-----------|--------------|-----------|---------|---------|-----------|-------|----------|----------|
| Story6 | D6        | S_EstaticoX+ | LinStatic | 5.9313  | -0.0064 | -0.000162 | 1     | 3465     | 2887.5   |
| Story6 | D6        | S_EstaticoY+ | LinStatic | -0.0715 | 3.5516  | 0.000197  | 1     | 3465     | 2887.5   |
| Story6 | D6        | S_EstaticoX- | LinStatic | 5.8283  | 0.0067  | 0.000118  | 1     | 3465     | 2887.5   |
| Story6 | D6        | S_EstaticoY- | LinStatic | 0.0721  | 3.5333  | -0.000192 | 1     | 3465     | 2887.5   |
| Story5 | D5        | S_EstaticoX+ | LinStatic | 5.5634  | 0.0012  | -0.000153 | 2     | 3415.841 | 2509.726 |
| Story5 | D5        | S_EstaticoY+ | LinStatic | 0.0011  | 3.3754  | 0.000186  | 2     | 3415.841 | 2509.726 |
| Story5 | D5        | S_EstaticoX- | LinStatic | 5.5633  | 0.001   | 0.00011   | 2     | 3415.841 | 2509.726 |
| Story5 | D5        | S_EstaticoY- | LinStatic | 0.0012  | 3.3757  | -0.000181 | 2     | 3415.841 | 2509.726 |
| Story4 | D4        | S_EstaticoX+ | LinStatic | 4.8173  | 0.0009  | -0.000132 | 6     | 3415.751 | 2507.379 |
| Story4 | D4        | S_EstaticoY+ | LinStatic | 0.0009  | 2.9441  | 0.000162  | 6     | 3415.751 | 2507.379 |
| Story4 | D4        | S_EstaticoX- | LinStatic | 4.8174  | 0.0007  | 9.8E-05   | 6     | 3415.751 | 2507.379 |
| Story4 | D4        | S_EstaticoY- | LinStatic | 0.0007  | 2.9444  | -0.000158 | 6     | 3415.751 | 2507.379 |
| Story3 | D3        | S_EstaticoX+ | LinStatic | 3.7035  | 0.0006  | -0.000101 | 13    | 3415.751 | 2507.379 |
| Story3 | D3        | S_EstaticoY+ | LinStatic | 0.0005  | 2.2837  | 0.000126  | 13    | 3415.751 | 2507.379 |
| Story3 | D3        | S_EstaticoX- | LinStatic | 3.7035  | 0.0004  | 7.7E-05   | 13    | 3415.751 | 2507.379 |

*Nota.* En la dirección en X se obtuvo un desplazamiento en el centro de masa de 5.93 cm, mientras que en la dirección en Y se obtuvo un desplazamiento en el centro de masa de 3.55 cm. Elaboración propia.

## Análisis dinámico modal espectral

**Figura 37**

*Modos de vibración de la edificación*

| Case  | Mode | Period sec | UX     | UY     | UZ | SumUX  | SumUY  | SumUZ | RX        |
|-------|------|------------|--------|--------|----|--------|--------|-------|-----------|
| Modal | 1    | 0.985      | 0.8092 | 0      | 0  | 0.8092 | 0      | 0     | 0         |
| Modal | 2    | 0.77       | 0      | 0.8174 | 0  | 0.8092 | 0.8174 | 0     | 0.1872    |
| Modal | 3    | 0.742      | 0.0004 | 0.0002 | 0  | 0.8095 | 0.8176 | 0     | 3.221E-05 |
| Modal | 4    | 0.297      | 0.1107 | 0      | 0  | 0.9202 | 0.8176 | 0     | 0         |
| Modal | 5    | 0.237      | 0      | 0.1077 | 0  | 0.9202 | 0.9253 | 0     | 0.6021    |

*Nota.* En el modo de vibración 1, se obtuvo un periodo de  $T_1 = 0.985$  s, con una masa participativa del 80.92% en la dirección en X. En el modo de vibración 2, se obtuvo un periodo de  $T_2 = 0.77$  s, con una masa participativa del 81.74% en la dirección en Y. En el modo de vibración 3, se obtuvo un periodo de  $T_3 = 0.742$  s. Elaboración propia.

**Figura 38**

*Fuerza cortante en la base, obtenido de un análisis dinámico*

| Output Case | Case Type   | FX tonf   | FY tonf    | FZ tonf | MX tonf-m   | MY tonf-m  | MZ tonf-m   |
|-------------|-------------|-----------|------------|---------|-------------|------------|-------------|
| S_DinamicoX | LinRespSpec | 1629.8592 | 1.0177     | 0       | 12.7428     | 21044.2466 | 41845.1505  |
| S_DinamicoY | LinRespSpec | 9.3391    | 17919.6955 | 0       | 234729.5506 | 116.6287   | 613442.7305 |

*Nota.* Se obtuvo una fuerza cortante dinámica de 1629.8592 toneladas para el sismo en la dirección en X, mientras que para el sismo en la dirección en Y se obtuvo una fuerza cortante de 17919.6955 toneladas. Elaboración propia.

**Figura 39**

*Fuerza cortante para cada nivel – sismo en X*

| Story  | Output Case | Case Type   | Step Type | Location | VX tonf   | VY tonf | T tonf-m   | MX tonf-m | MY tonf-m  |
|--------|-------------|-------------|-----------|----------|-----------|---------|------------|-----------|------------|
| Story6 | S_DinamicoX | LinRespSpec | Max       | Bottom   | 146.6451  | 0.1455  | 4212.3907  | 0.3639    | 366.6126   |
| Story5 | S_DinamicoX | LinRespSpec | Max       | Bottom   | 647.4879  | 0.3571  | 16864.8637 | 1.2322    | 2591.5832  |
| Story4 | S_DinamicoX | LinRespSpec | Max       | Bottom   | 1023.5293 | 0.6144  | 26403.9473 | 3.2718    | 6085.4793  |
| Story3 | S_DinamicoX | LinRespSpec | Max       | Bottom   | 1311.6067 | 0.8141  | 33730.3524 | 6.0435    | 10505.1041 |
| Story2 | S_DinamicoX | LinRespSpec | Max       | Bottom   | 1521.4328 | 0.9508  | 39067.9984 | 9.2926    | 15586.4488 |
| Story1 | S_DinamicoX | LinRespSpec | Max       | Bottom   | 1629.8592 | 1.0177  | 41845.1505 | 12.7428   | 21044.2466 |

Nota. Elaboración propia.

**Figura 40**

*Fuerza cortante para cada nivel – sismo en Y*

| Story  | Output Case | Case Type   | Step Type | Location | VX tonf | VY tonf    | T tonf-m    | MX tonf-m   | MY tonf-m |
|--------|-------------|-------------|-----------|----------|---------|------------|-------------|-------------|-----------|
| Story6 | S_DinamicoY | LinRespSpec | Max       | Bottom   | 1.8157  | 1304.0505  | 45195.3673  | 3260.1263   | 4.5391    |
| Story5 | S_DinamicoY | LinRespSpec | Max       | Bottom   | 3.1775  | 6606.5532  | 226530.2592 | 26195.1991  | 12.9604   |
| Story4 | S_DinamicoY | LinRespSpec | Max       | Bottom   | 5.4265  | 11083.8137 | 379664.9289 | 64610.6364  | 30.5473   |
| Story3 | S_DinamicoY | LinRespSpec | Max       | Bottom   | 7.3433  | 14563.4885 | 498675.0159 | 114879.526  | 55.301    |
| Story2 | S_DinamicoY | LinRespSpec | Max       | Bottom   | 8.7243  | 16892.1708 | 578311.3626 | 173018.0319 | 84.8512   |
| Story1 | S_DinamicoY | LinRespSpec | Max       | Bottom   | 9.3391  | 17919.6955 | 613442.7305 | 234729.5506 | 116.6287  |

Nota. Elaboración propia.

**Figura 41**

*Desplazamientos en el centro de masa en dirección X*

| Story  | Diaphragm | Output Case | Case Type   | Step Type | UX cm  | UY cm  | RZ rad  | Point | X cm     | Y cm     | Z cm |
|--------|-----------|-------------|-------------|-----------|--------|--------|---------|-------|----------|----------|------|
| Story6 | D6        | S_DinamicoX | LinRespSpec | Max       | 2.9115 | 0.0002 | 2.8E-05 | 1     | 3465     | 2887.5   | 2000 |
| Story5 | D5        | S_DinamicoX | LinRespSpec | Max       | 2.7561 | 0.0014 | 2.6E-05 | 2     | 3415.841 | 2509.726 | 1750 |
| Story4 | D4        | S_DinamicoX | LinRespSpec | Max       | 2.3942 | 0.0012 | 2.3E-05 | 6     | 3415.751 | 2507.379 | 1400 |
| Story3 | D3        | S_DinamicoX | LinRespSpec | Max       | 1.8501 | 0.0009 | 1.8E-05 | 13    | 3415.751 | 2507.379 | 1050 |
| Story2 | D2        | S_DinamicoX | LinRespSpec | Max       | 1.1616 | 0.0005 | 1.1E-05 | 20    | 3415.751 | 2507.379 | 700  |
| Story1 | D1        | S_DinamicoX | LinRespSpec | Max       | 0.4418 | 0.0002 | 4E-06   | 27    | 3415.751 | 2507.379 | 350  |

Nota. Elaboración propia.

**Figura 42**

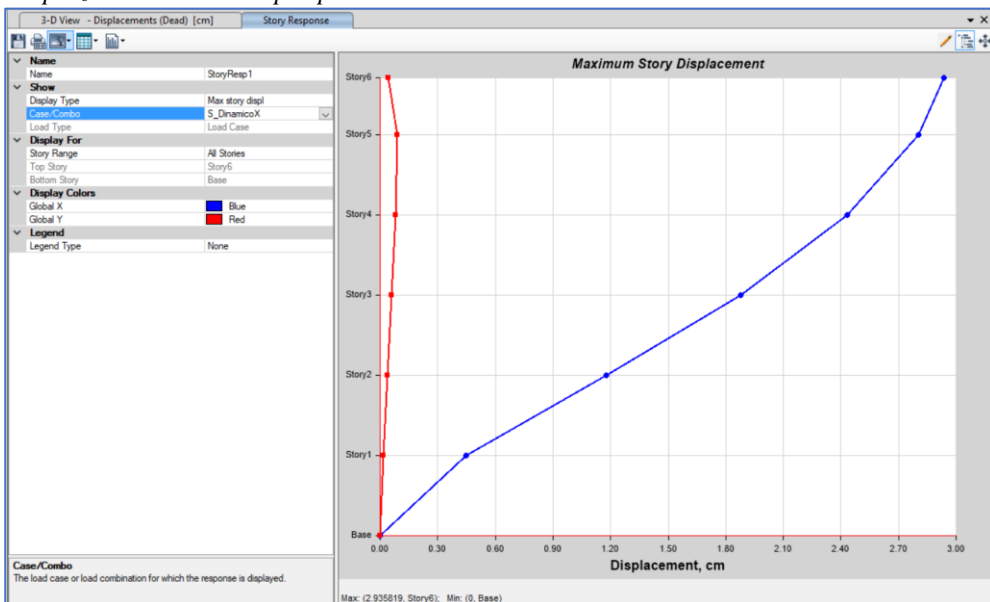
*Desplazamientos en el centro de masa en dirección Y*

| Diaphragm Center Of Mass Displacements      |        |           |                     |             |           |            |          |           |  |          |          |         |
|---|--------|-----------|---------------------|-------------|-----------|------------|----------|-----------|--|----------|----------|---------|
| File Edit Format-Filter-Sort Select Options |        |           |                     |             |           |            |          |           |  |          |          |         |
| Units: As Noted                             |        |           | Hidden Columns: Yes |             |           | Sort: None |          |           | Diaphragm Center Of Mass Displacements |          |          |         |
| Filter: ((Output Case) = 'S_DinamicoY')     |        |           |                     |             |           |            |          |           |  |          |          |         |
|   | Story  | Diaphragm | Output Case         | Case Type   | Step Type | UX<br>cm   | UY<br>cm | RZ<br>rad | Point                                  | X<br>cm  | Y<br>cm  | Z<br>cm |
| ▶   | Story6 | D6        | S_DinamicoY         | LinRespSpec | Max       | 0.0259     | 19.5089  | 6.7E-05   | 1                                      | 3465     | 2887.5   | 2000    |
|   | Story5 | D5        | S_DinamicoY         | LinRespSpec | Max       | 0.0126     | 18.6412  | 6.4E-05   | 2                                      | 3415.841 | 2509.726 | 1750    |
|   | Story4 | D4        | S_DinamicoY         | LinRespSpec | Max       | 0.0114     | 16.3352  | 5.6E-05   | 6                                      | 3415.751 | 2507.379 | 1400    |
|   | Story3 | D3        | S_DinamicoY         | LinRespSpec | Max       | 0.0091     | 12.7333  | 4.3E-05   | 13                                     | 3415.751 | 2507.379 | 1050    |
|   | Story2 | D2        | S_DinamicoY         | LinRespSpec | Max       | 0.0059     | 8.0967   | 2.7E-05   | 20                                     | 3415.751 | 2507.379 | 700     |
|   | Story1 | D1        | S_DinamicoY         | LinRespSpec | Max       | 0.0023     | 3.1581   | 1E-05     | 27                                     | 3415.751 | 2507.379 | 350     |

*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 43**

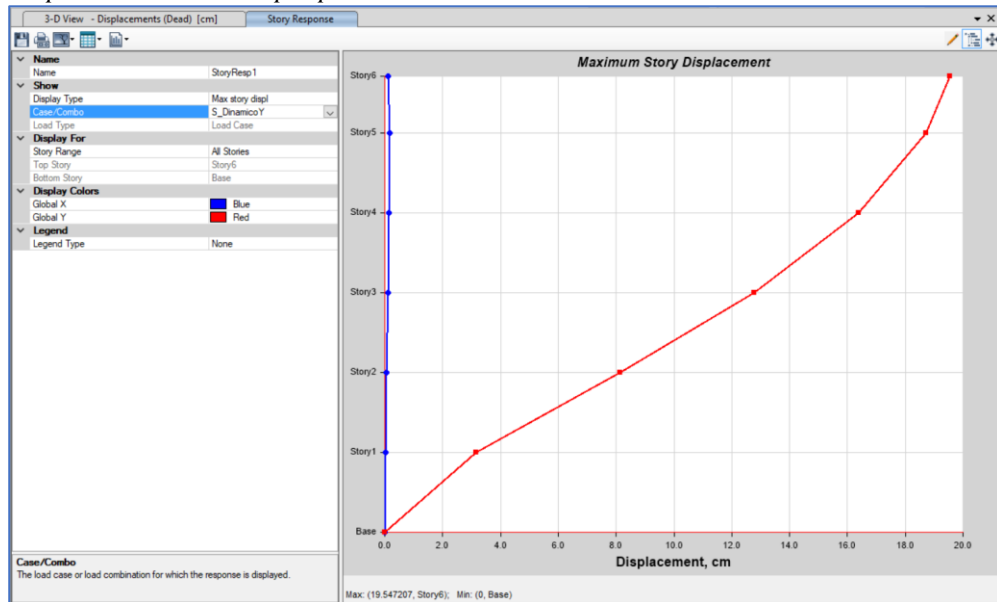
*Desplazamiento Máximo por piso – sismo en X*



*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 44**

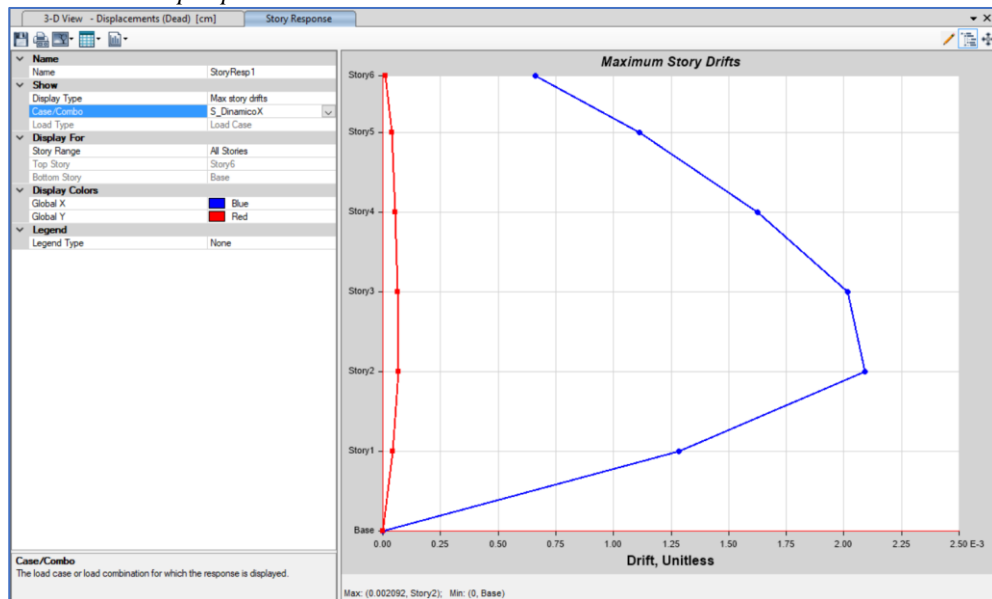
*Desplazamiento máximo por piso – sismo en Y*



Nota. Elaboración propia.

**Figura 45**

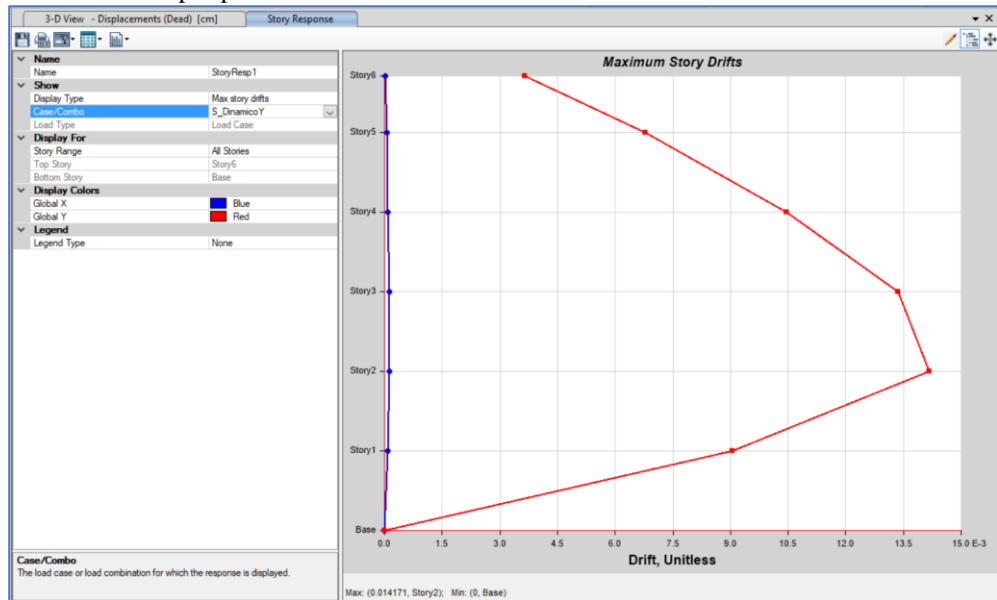
*Deriva máxima por piso – sismo en X*



Nota. Elaboración propia.

Figura 46

Deriva máxima por piso – sismo en Y



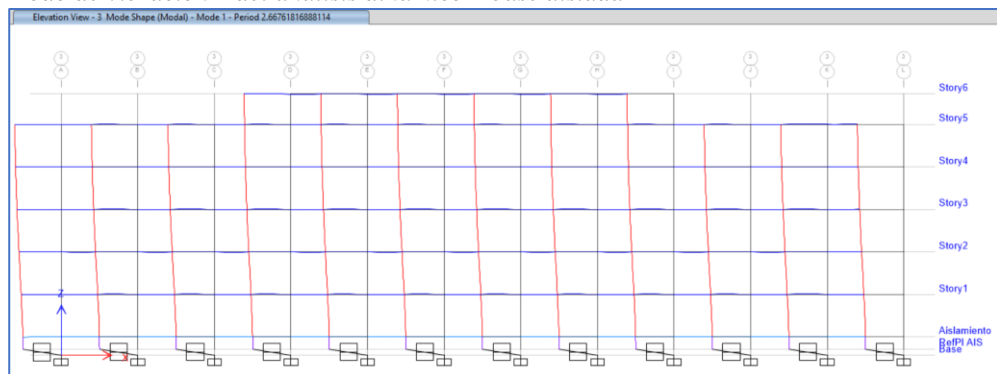
Nota. Elaboración propia.

## Edificación con base aislada

### Análisis dinámico modal espectral

Figura 47

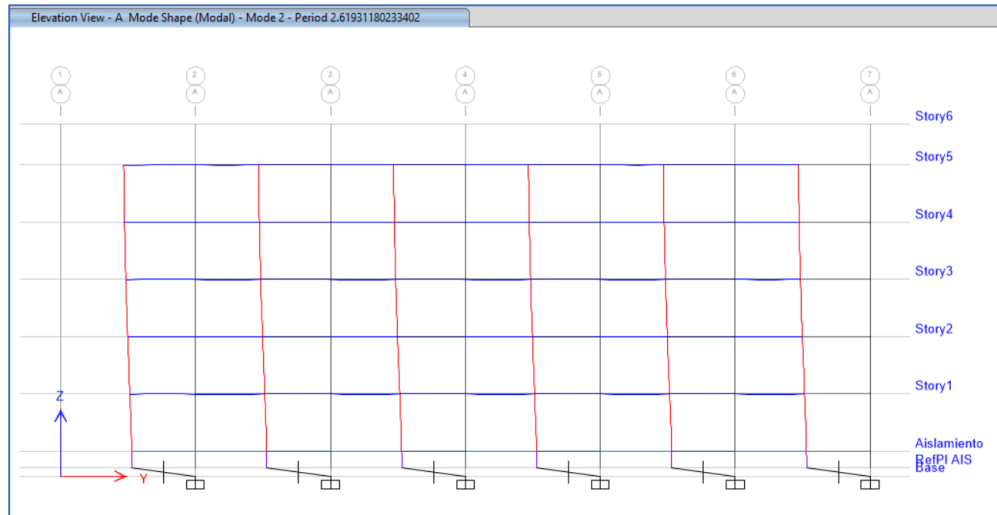
Modo de vibración 1 del análisis dinámico – base aislada



Nota. Se obtuvo un Periodo  $T_1 = 2.668$  s, realizando un Movimiento traslacional en la dirección en X.  
Elaboración propia.

**Figura 48**

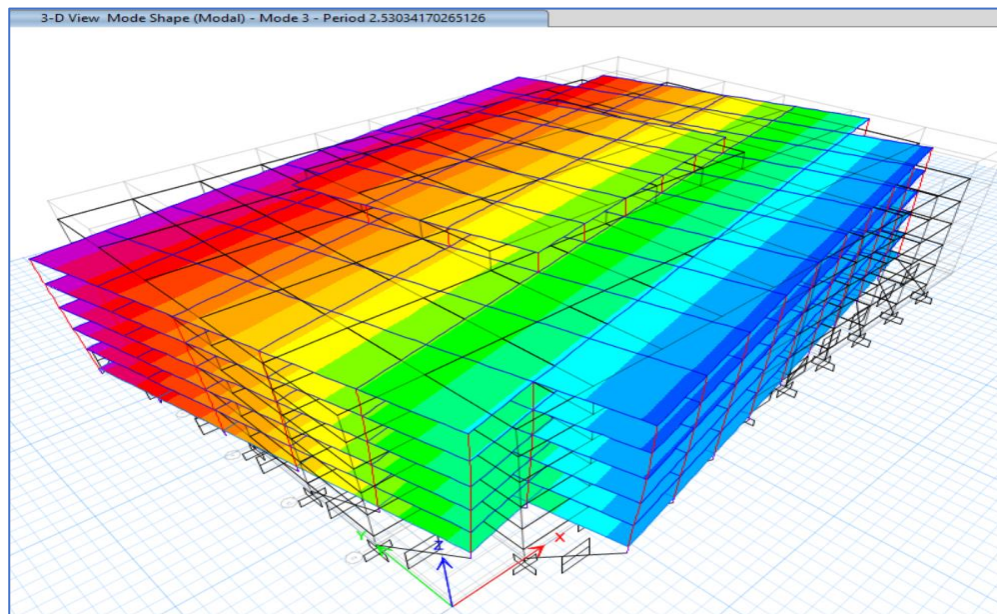
*Modo de vibración 2 del análisis dinámico – base aislada*



*Nota.* Se obtuvo un Periodo  $T_2 = 2.619$  s, realizando un Movimiento traslacional en la dirección en Y.  
Elaboración propia.

**Figura 49**

*Modo de vibración 3 del análisis dinámico – base aislada*

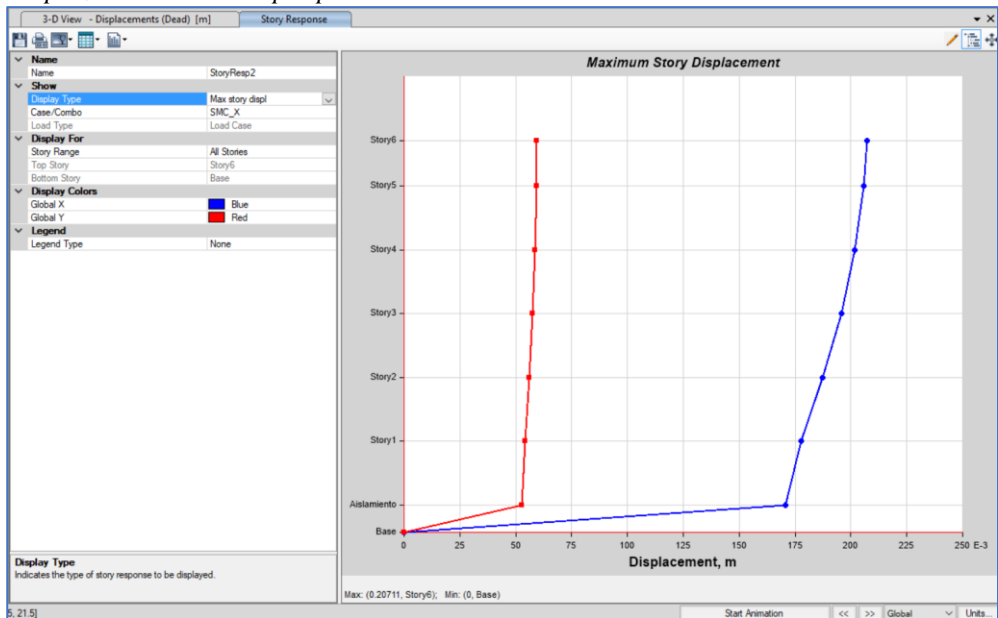


*Nota.* Se obtuvo un Periodo  $T_1 = 2.53$  s, realizando un Movimiento torsional. Elaboración propia.

**Figura 50***Fuerza cortante dinámica – base aislada*

| Base Reactions |             |           |           |           |         |            |            |             |  |
|----------------|-------------|-----------|-----------|-----------|---------|------------|------------|-------------|--|
| Output Case    | Case Type   | Step Type | FX tonf   | FY tonf   | FZ tonf | MX tonf-m  | MY tonf-m  | MZ tonf-m   |  |
| SMC_X          | LinRespSpec | Max       | 2860.4876 | 878.3698  | 0.3827  | 9484.8723  | 31796.6776 | 77641.4484  |  |
| SMC_Y          | LinRespSpec | Max       | 858.1464  | 2927.8987 | 0.3911  | 31616.2198 | 9539.0163  | 102748.1383 |  |

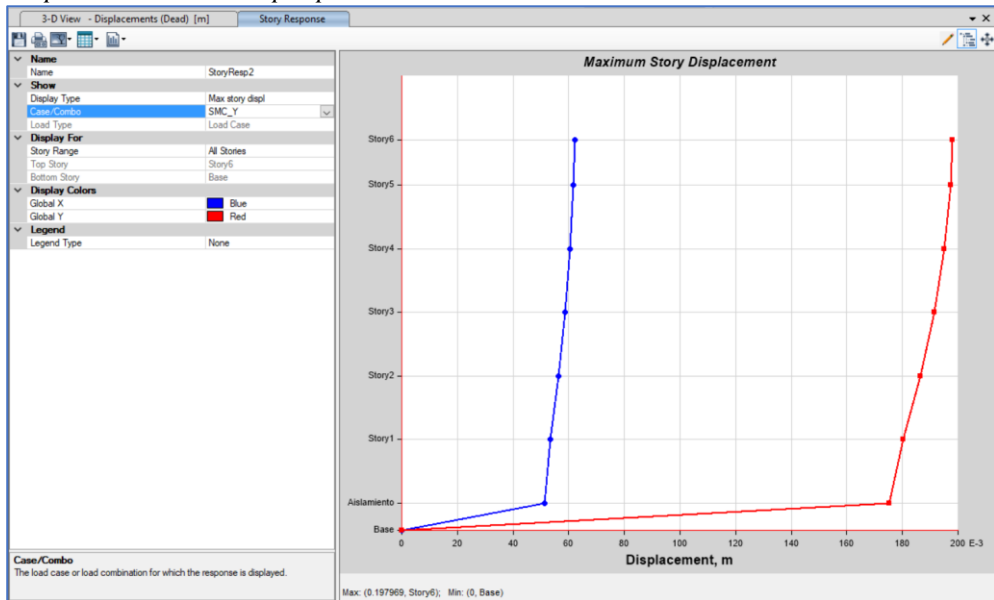
*Nota.* Se obtuvo una fuerza cortante dinámica de 2860.4876 toneladas para el sismo en la dirección en X, mientras que para el sismo en la dirección en Y se obtuvo una fuerza cortante de 2927.8987 toneladas. Elaboración propia.

**Figura 51***Desplazamiento máximo por piso – sismo máximo en X*

*Nota.* Elaboración propia.

Figura 52

*Desplazamiento máximo por piso – sismo máximo en Y*

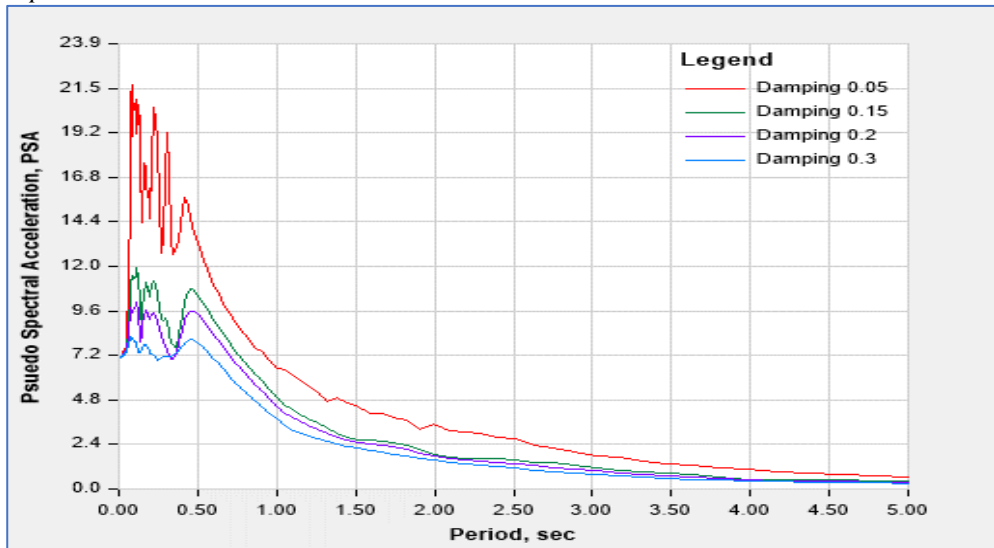


*Nota.* Elaboración propia.

### Análisis dinámico tiempo – historia (no lineal)

**Figura 53**

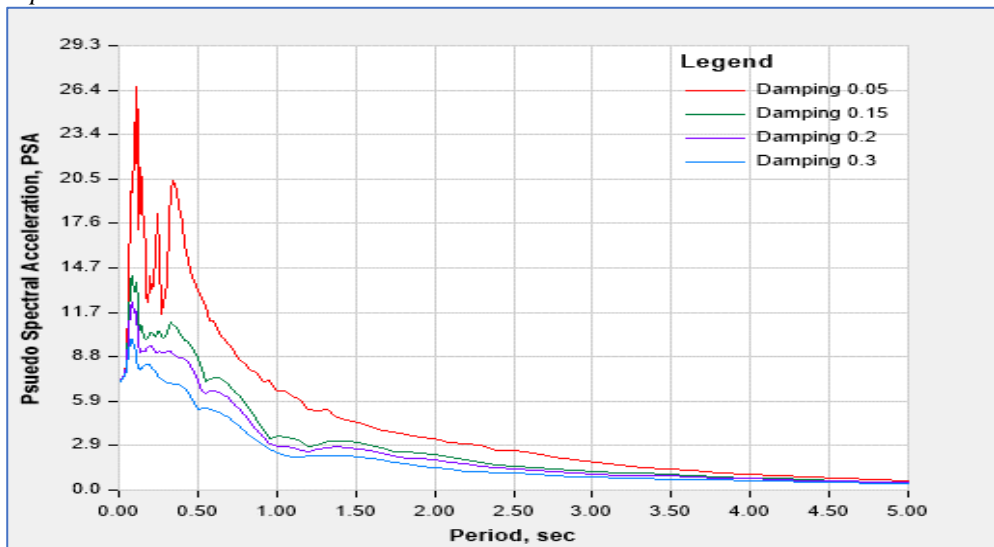
*Espectro de pseudo aceleraciones sismo Lima 1966 – en X*



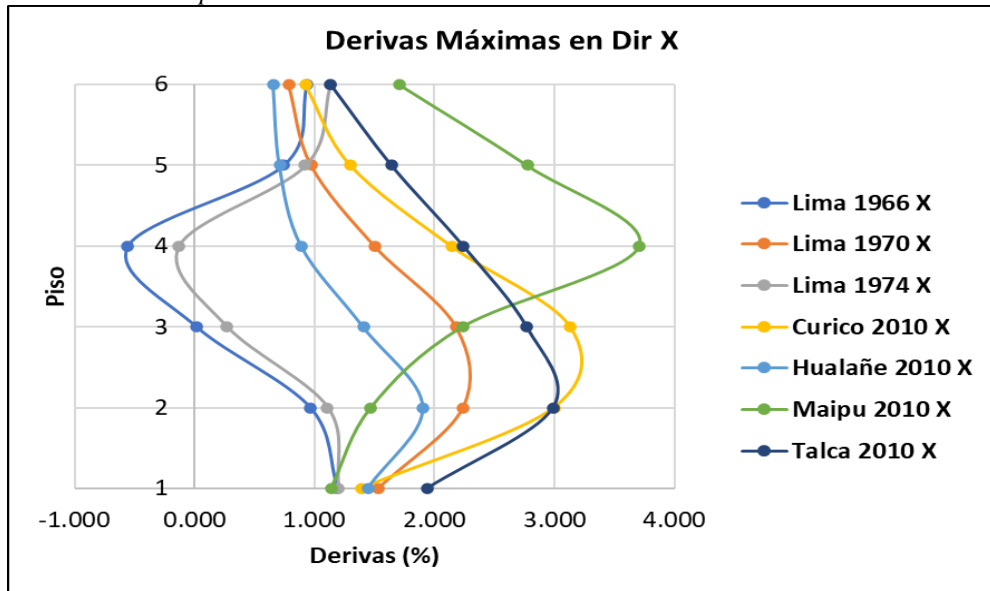
*Nota.* Se ilustra el espectro de pseudo aceleración que el programa genera a partir de los registros sísmicos insertados en la dirección X, el cual es escalado según las diferentes amortiguaciones, cabe mencionar que esto se obtiene para los 7 registros. Elaboración propia.

**Figura 54**

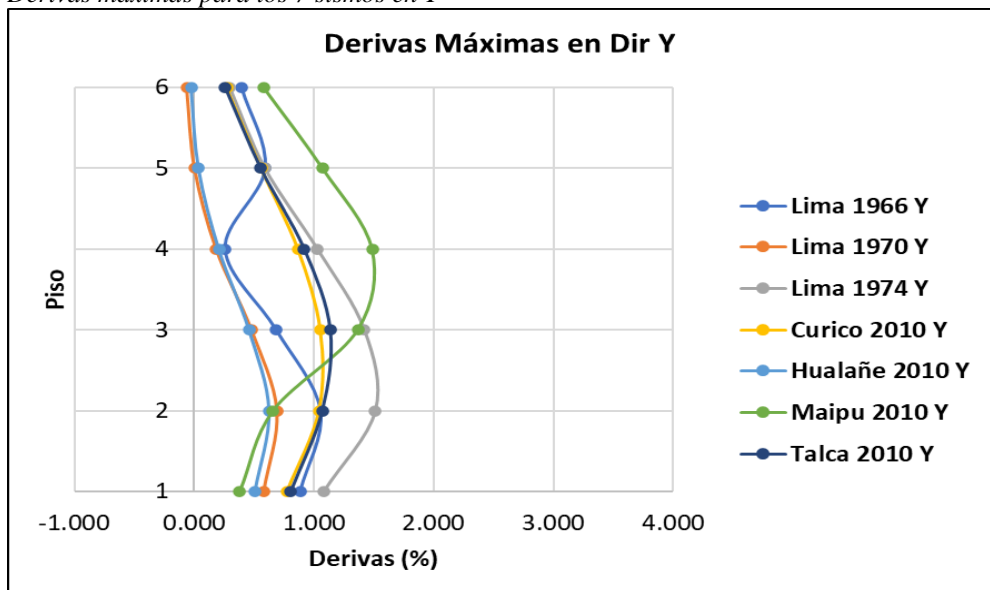
*Espectro de pseudo aceleraciones sismo Lima 1966 – en Y*



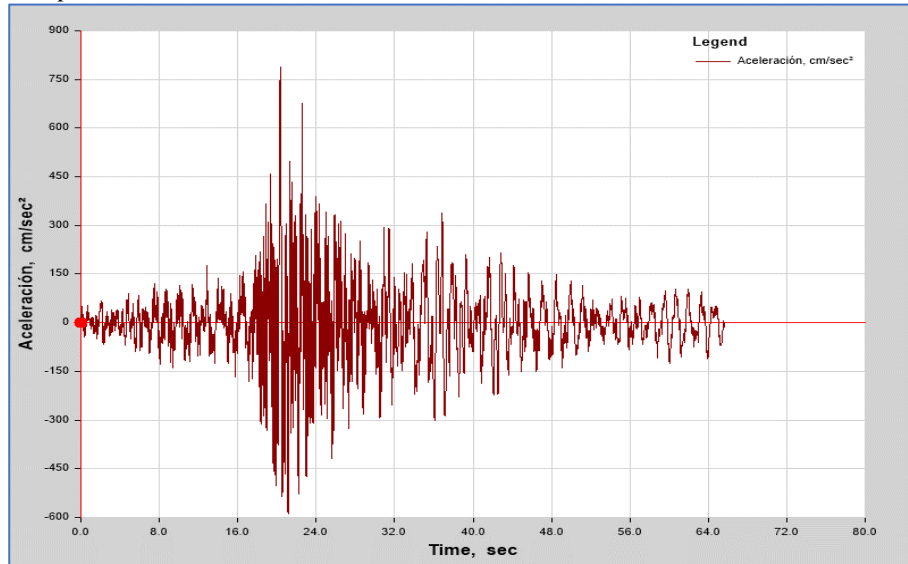
*Nota.* Se ilustra el espectro de pseudo aceleración que el programa genera a partir de los registros sísmicos insertados en la dirección Y, el cual es escalado según las diferentes amortiguaciones, cabe mencionar que esto se obtiene para los 7 registros. Elaboración propia.

**Figura 55***Derivas máximas para los 7 sismos en X*

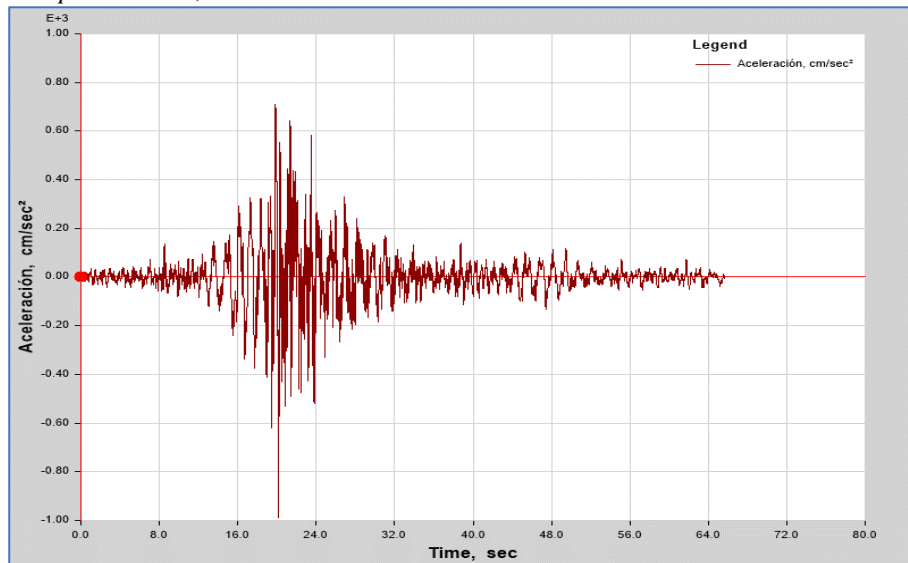
*Nota.* Se ilustra gráficamente el comportamiento de las derivadas máximas obtenidas a partir de los 7 registros sísmicos en la dirección X. Elaboración propia.

**Figura 56***Derivas máximas para los 7 sismos en Y*

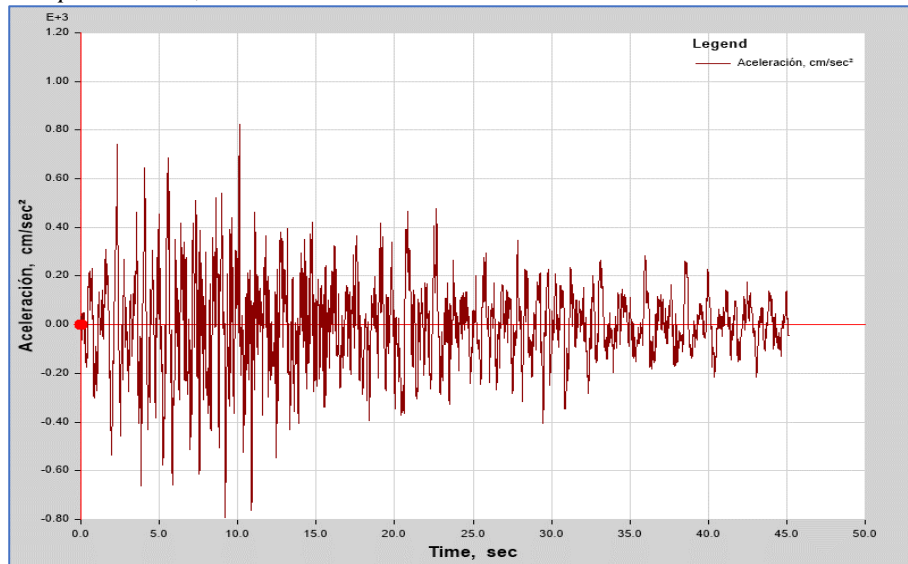
*Nota.* Se ilustra gráficamente el comportamiento de las derivadas máximas obtenidas a partir de los 7 registros sísmicos en la dirección Y. Elaboración propia.

**Figura 57***Tiempo – historia, sismo Lima 1966 en X*

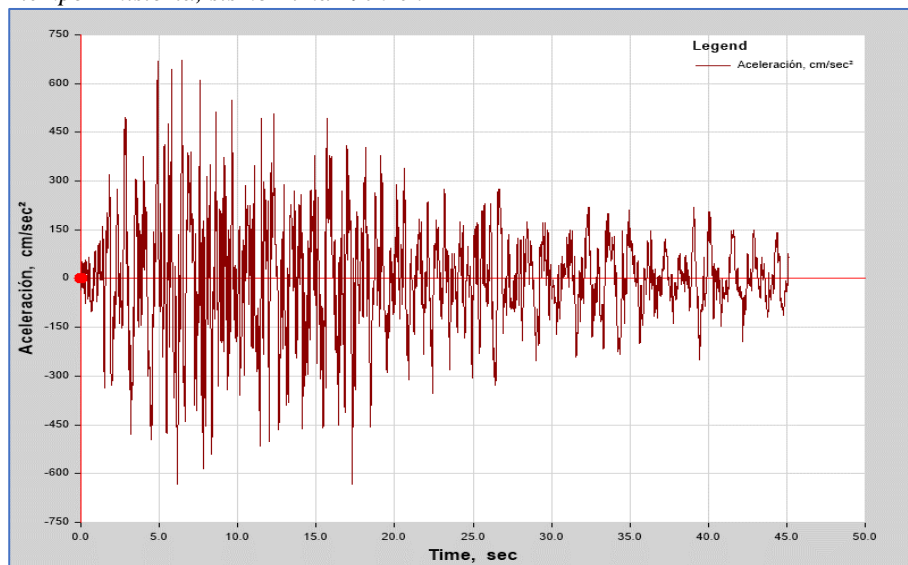
*Nota.* Se ilustra gráficamente el registro sísmico luego de haber realizado su respectivo procesamiento de dichos datos, el cual expresa una Aceleración máxima de 789.54 cm/s<sup>2</sup> en un Tiempo de 20.78 s. cabe mencionar que dicha ilustración se puede obtener para los 7 registros considerados. Elaboración propia.

**Figura 58***Tiempo – historia, sismo Lima 1966 en Y*

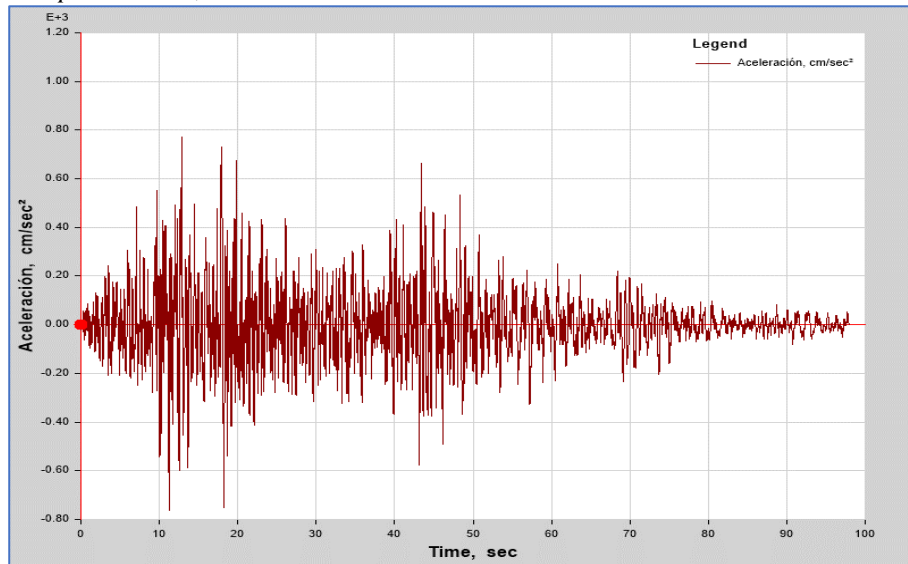
*Nota.* Se ilustra gráficamente el registro sísmico luego de haber realizado su respectivo procesamiento de dichos datos, el cual expresa una Aceleración máxima de 708.17 cm/s<sup>2</sup> en un Tiempo de 19.81 s. cabe mencionar que dicha ilustración se puede obtener para los 7 registros considerados. Elaboración propia.

**Figura 59***Tiempo – historia, sismo Lima 1970 en X*

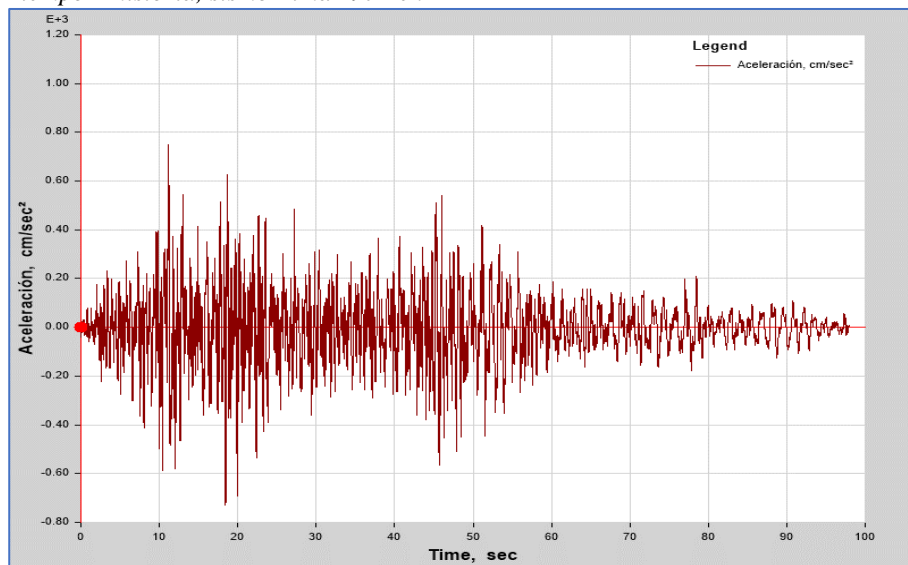
*Nota.* Se ilustra gráficamente el registro sísmico luego de haber realizado su respectivo procesamiento de dichos datos, el cual expresa una Aceleración máxima de 822.27 cm/s<sup>2</sup> en un Tiempo de 10.1s. Elaboración propia.

**Figura 60***Tiempo – historia, sismo Lima 1970 en Y*

*Nota.* Se ilustra gráficamente el registro sísmico luego de haber realizado su respectivo procesamiento de dichos datos, el cual expresa una Aceleración máxima de 671.44 cm/s<sup>2</sup> en un Tiempo de 6.44s. Elaboración propia.

**Figura 61***Tiempo – historia, sismo Lima 1974 en X*

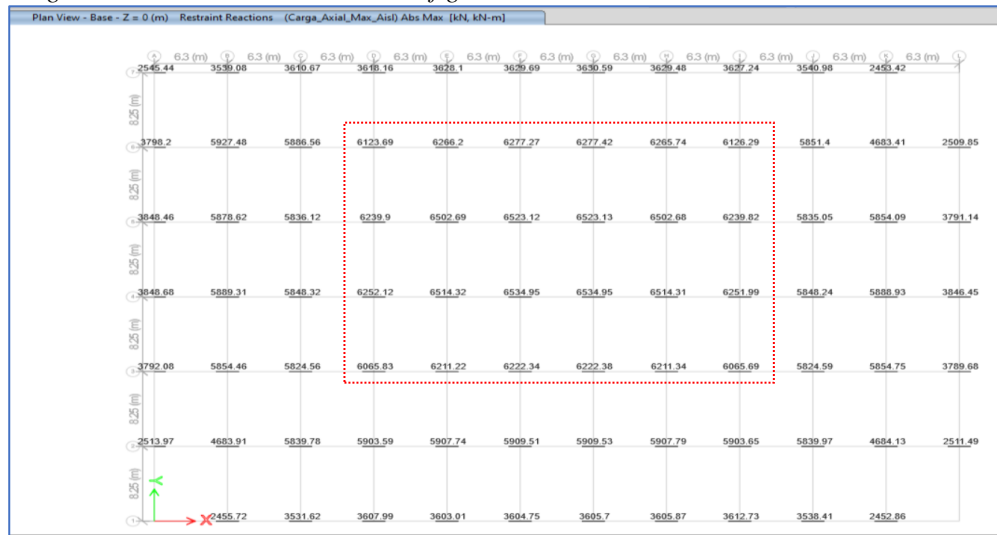
*Nota.* Se ilustra gráficamente el registro sísmico luego de haber realizado su respectivo procesamiento de dichos datos, el cual expresa una Aceleración máxima de 773.35 cm/s<sup>2</sup> en un Tiempo de 12.85s. Elaboración propia.

**Figura 62***Tiempo – historia, sismo Lima 1974 en Y*

*Nota.* Se ilustra gráficamente el registro sísmico luego de haber realizado su respectivo procesamiento de dichos datos, el cual expresa una Aceleración máxima de 750.11 cm/s<sup>2</sup> en un Tiempo de 11.18s. Elaboración propia.

**Figura 63**

*Cargas axiales máximas en nuestra configuración*



*Nota.* Se ilustra y se remarca los dispositivos que reciben mayores cargas axiales, siendo estas prácticamente las centrales. Elaboración propia.

**Figura 64**

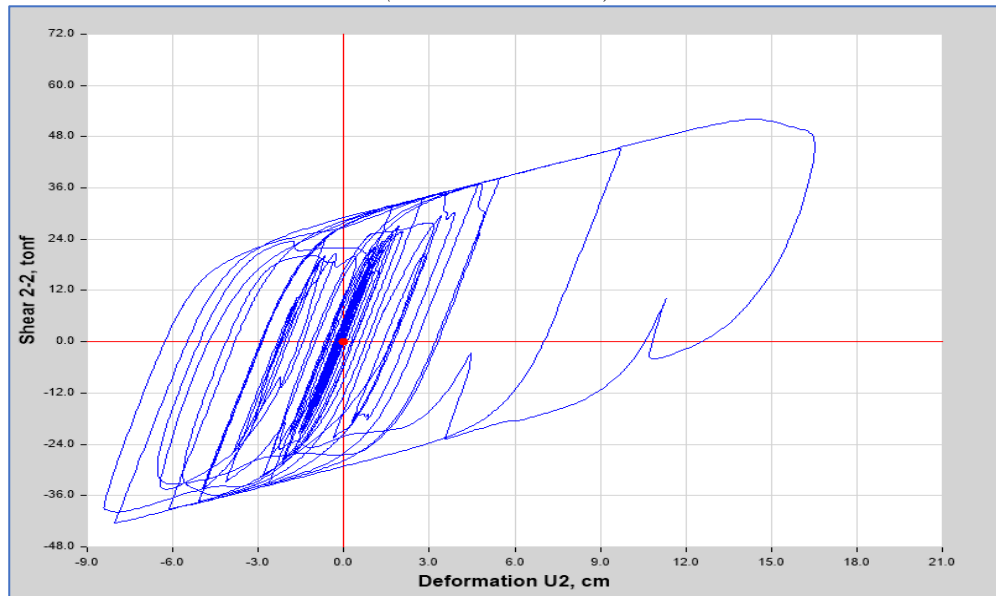
*Máximas cargas axiales en kN*

|                 |                 |                 |                 |                 |                 |
|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 6123.69<br>K 62 | 6266.2<br>K 63  | 6277.27<br>K 64 | 6277.42<br>K 65 | 6265.74<br>K 66 | 6126.29<br>K 67 |
| 6239.9<br>K 50  | 6502.69<br>K 51 | 6523.12<br>K 52 | 6523.13<br>K 53 | 6502.68<br>K 54 | 6239.82<br>K 55 |
| 6252.12<br>K 38 | 6514.32<br>K 39 | 6534.95<br>K 40 | 6534.95<br>K 41 | 6514.31<br>K 42 | 6251.99<br>K 43 |
| 6065.83<br>K 26 | 6211.22<br>K 27 | 6222.34<br>K 28 | 6222.38<br>K 29 | 6211.34<br>K 30 | 6065.69<br>K 31 |

*Nota.* Se ilustra las cargas axiales que reciben cada dispositivo, siendo estas expresadas en una unidad de kN. Elaboración propia.

**Figura 65**

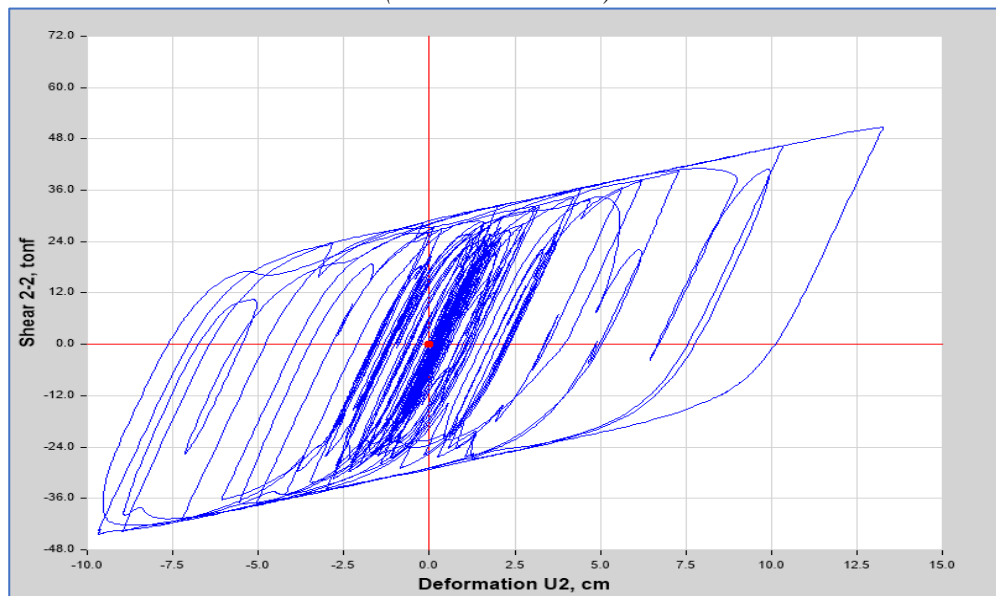
*Curva histerética del aislador K26 (Sismo Lima 1966 X)*



*Nota.* De la ilustración se obtiene un Cortante máximo de 52.08 Tonf y un Desplazamiento máximo de 14.45 cm. Elaboración propia.

**Figura 66**

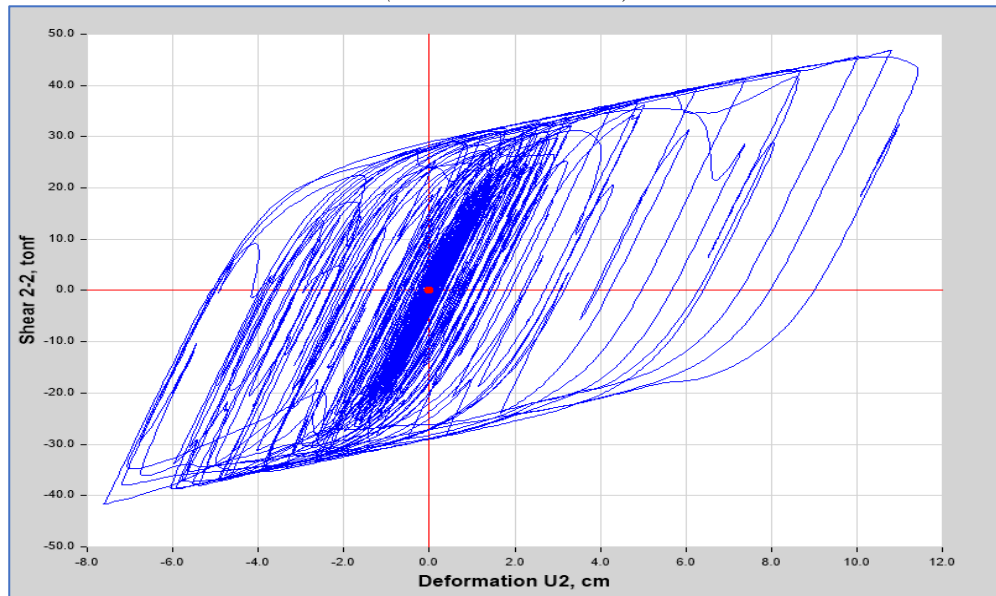
*Curva histerética del aislador K40 (Sismo Lima 1974 X)*



*Nota.* De la ilustración se obtiene un Cortante máximo: 50.78 Tonf y un Desplazamiento máximo de 13.27 cm. Elaboración propia.

**Figura 67**

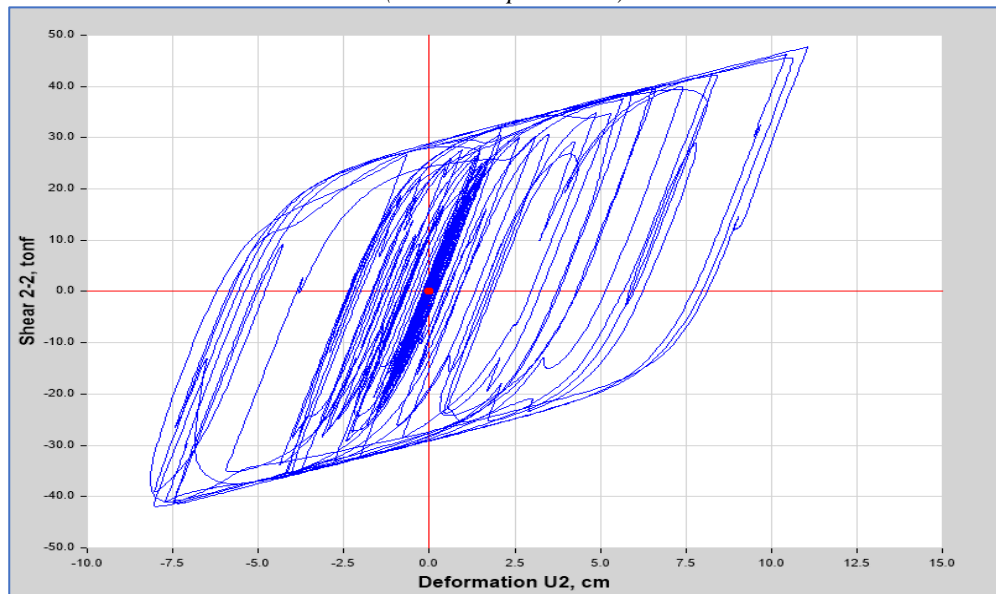
*Curva histerética del aislador K41 (Sismo Curicó 2010 X)*



*Nota.* De la ilustración se obtiene un Cortante máximo de 46.92 Tonf y un Desplazamiento máximo de 10.80 cm. Elaboración propia.

**Figura 68**

*Curva histerética del aislador K52 (Sismo Maipú 2010 X)*



*Nota.* De la ilustración se obtiene un Cortante máximo de 47.75 Tonf y un Desplazamiento máximo de 11.07 cm. Elaboración propia.

**Figura 69**

*Fuerza cortante en la base - sismo Lima 1966*

| E Base Reactions   |               |            |           |           |            |         |              |              |              |
|--|---------------|------------|-----------|-----------|------------|---------|--------------|--------------|--------------|
| File Edit Format-Filter-Sort Select Options                                  |               |            |           |           |            |         |              |              |              |
| Units: As Noted Hidden Columns: Yes Sort: None Base Reactions                |               |            |           |           |            |         |              |              |              |
| Filter: ([Output Case] = 'THNL_LIMA66_X' OR [Output Case] = 'THNL_LIMA66_Y') |               |            |           |           |            |         |              |              |              |
|  | Output Case   | Case Type  | Step Type | FX tonf   | FY tonf    | FZ tonf | MX tonf-cm   | MY tonf-cm   | MZ tonf-cm   |
| ▶  | THNL_LIMA66_X | NonModHist | Max       | 2834.7371 | 2391.5885  | 6.2347  | 3443575.839  | 3873919.226  | 12281209.811 |
|  | THNL_LIMA66_X | NonModHist | Min       | -3480.209 | -2306.555  | -5.3218 | -3365737.213 | -6311988.01  | -11401314    |
|  | THNL_LIMA66_Y | NonModHist | Max       | 3433.2259 | 2378.861   | 4.635   | 3318765.913  | 4171809.893  | 11434143.636 |
|  | THNL_LIMA66_Y | NonModHist | Min       | -3413.15  | -2563.1977 | -5.1123 | -2806057.133 | -5656997.802 | -8741320.34  |

*Nota.* Mediante el análisis tiempo – historia no lineal, se obtuvo una fuerza cortante en la base máxima de 2834.74 toneladas en la dirección en “X”, mientras en la dirección en “Y” se obtuvo una fuerza cortante de 2378.86 toneladas. Elaboración propia.

**Figura 70**

*Fuerza cortante en la base - sismo Lima 1970*

| E Base Reactions   |               |            |           |            |            |         |              |              |              |
|--|---------------|------------|-----------|------------|------------|---------|--------------|--------------|--------------|
| File Edit Format-Filter-Sort Select Options                                  |               |            |           |            |            |         |              |              |              |
| Units: As Noted Hidden Columns: Yes Sort: None Base Reactions                |               |            |           |            |            |         |              |              |              |
| Filter: ([Output Case] = 'THNL_LIMA70_X' OR [Output Case] = 'THNL_LIMA70_Y') |               |            |           |            |            |         |              |              |              |
|  | Output Case   | Case Type  | Step Type | FX tonf    | FY tonf    | FZ tonf | MX tonf-cm   | MY tonf-cm   | MZ tonf-cm   |
| ▶  | THNL_LIMA70_X | NonModHist | Max       | 3350.9272  | 2764.7447  | 5.0859  | 3395469.964  | 4570034.676  | 11071802.44  |
|  | THNL_LIMA70_X | NonModHist | Min       | -3095.1126 | -2321.6701 | -5.4435 | -3407375.47  | -4313566.291 | -10200723    |
|  | THNL_LIMA70_Y | NonModHist | Max       | 3697.6285  | 2129.2468  | 5.7004  | 2873408.403  | 4351747.981  | 11025184.792 |
|  | THNL_LIMA70_Y | NonModHist | Min       | -2968.9435 | -2030.9238 | -6.3161 | -3096638.828 | -4712826.479 | -12283050    |

*Nota.* Mediante el análisis tiempo – historia no lineal, se obtuvo una fuerza cortante en la base máxima de 3350.93 toneladas en la dirección en “X”, mientras en la dirección en “Y” se obtuvo una fuerza cortante de 2129.25 toneladas. Elaboración propia.

**Figura 71**

*Fuerza cortante en la base - sismo Lima 1974*

| E Base Reactions   |               |            |           |            |            |         |              |              |               |
|--|---------------|------------|-----------|------------|------------|---------|--------------|--------------|---------------|
| File Edit Format-Filter-Sort Select Options                                  |               |            |           |            |            |         |              |              |               |
| Units: As Noted Hidden Columns: Yes Sort: None Base Reactions                |               |            |           |            |            |         |              |              |               |
| Filter: ([Output Case] = 'THNL_LIMA74_X' OR [Output Case] = 'THNL_LIMA74_Y') |               |            |           |            |            |         |              |              |               |
|  | Output Case   | Case Type  | Step Type | FX tonf    | FY tonf    | FZ tonf | MX tonf-cm   | MY tonf-cm   | MZ tonf-cm    |
| ▶  | THNL_LIMA74_X | NonModHist | Max       | 2975.6033  | 2202.4095  | 5.9166  | 3163842.442  | 4905838.838  | 10804874.4... |
|  | THNL_LIMA74_X | NonModHist | Min       | -3393.9807 | -2652.2739 | -5.7783 | -3306875.517 | -5800725.621 | -10109244     |
|  | THNL_LIMA74_Y | NonModHist | Max       | 3164.9081  | 2417.6931  | 5.9646  | 3728043.229  | 4604506.35   | 15446516.7... |
|  | THNL_LIMA74_Y | NonModHist | Min       | -4081.916  | -2434.8342 | -5.4892 | -2800015.024 | -5312473.529 | -15288979     |

*Nota.* Mediante el análisis tiempo – historia no lineal, se obtuvo una fuerza cortante en la base máxima de 2975.60 toneladas en la dirección en “X”, mientras en la dirección en “Y” se obtuvo una fuerza cortante de 2417.69 toneladas. Elaboración propia.

**Figura 72**

*Fuerza cortante en la base - sismo Curicó 2010*

| E Base Reactions   |               |            |                     |            |            |            |              |              |                |
|--|---------------|------------|---------------------|------------|------------|------------|--------------|--------------|----------------|
| File Edit Format-Filter-Sort Select Options                                  |               |            |                     |            |            |            |              |              |                |
| Units: As Noted  |               |            | Hidden Columns: Yes |            |            | Sort: None |              |              | Base Reactions |
| Filter: ([Output Case] = 'THNL_CURICO_X' OR [Output Case] = 'THNL_CURICO_Y') |               |            |                     |            |            |            |              |              |                |
|  | Output Case   | Case Type  | Step Type           | FX tonf    | FY tonf    | FZ tonf    | MX tonf-cm   | MY tonf-cm   | MZ tonf-cm     |
| ▶  | THNL_CURICO_X | NonModHist | Max                 | 2785.7792  | 2330.6565  | 5.075      | 3331962.988  | 4939199.026  | 11883533.536   |
|  | THNL_CURICO_X | NonModHist | Min                 | -3134.9852 | -2486.2387 | -5.6288    | -3413282.342 | -4428796.915 | -11807161      |
|  | THNL_CURICO_Y | NonModHist | Max                 | 3326.0248  | 2225.9376  | 5.4134     | 3680262.628  | 4499899.478  | 10713858.1...  |
|  | THNL_CURICO_Y | NonModHist | Min                 | -2888.6178 | -2288.9469 | -5.7866    | -2795407.19  | -5022122.82  | -10959590      |

*Nota.* Mediante el análisis tiempo – historia no lineal, se obtuvo una fuerza cortante en la base máxima de 2785.78 toneladas en la dirección en “X”, mientras en la dirección en “Y” se obtuvo una fuerza cortante de 2225.94 toneladas. Elaboración propia.

**Figura 73**

*Fuerza cortante en la base - sismo Hualañe 2010*

| E Base Reactions   |                |            |                     |            |            |            |              |              |                |
|--|----------------|------------|---------------------|------------|------------|------------|--------------|--------------|----------------|
| File Edit Format-Filter-Sort Select Options                                    |                |            |                     |            |            |            |              |              |                |
| Units: As Noted  |                |            | Hidden Columns: Yes |            |            | Sort: None |              |              | Base Reactions |
| Filter: ([Output Case] = 'THNL_HUALANE_X' OR [Output Case] = 'THNL_HUALANE_Y') |                |            |                     |            |            |            |              |              |                |
|  | Output Case    | Case Type  | Step Type           | FX tonf    | FY tonf    | FZ tonf    | MX tonf-cm   | MY tonf-cm   | MZ tonf-cm     |
| ▶  | THNL_HUALANE_X | NonModHist | Max                 | 3736.6982  | 2405.1706  | 4.8663     | 3637325.449  | 4815468.693  | 12247539.8...  |
|  | THNL_HUALANE_X | NonModHist | Min                 | -2575.2248 | -2606.6408 | -5.5201    | -3487619.037 | -4581233.456 | -11248649      |
|  | THNL_HUALANE_Y | NonModHist | Max                 | 3066.6926  | 2581.2354  | 6.4032     | 3129508.08   | 4940793.357  | 11803500.116   |
|  | THNL_HUALANE_Y | NonModHist | Min                 | -3395.393  | -2338.6125 | -5.5436    | -3138343.207 | -4594816.828 | -10435067      |

*Nota.* Mediante el análisis tiempo – historia no lineal, se obtuvo una fuerza cortante en la base máxima de 3736.70 toneladas en la dirección en “X”, mientras en la dirección en “Y” se obtuvo una fuerza cortante de 2581.24 toneladas. Elaboración propia.

**Figura 74**

*Fuerza cortante en la base - sismo Maipú 2010*

| E Base Reactions   |              |            |                     |            |            |            |              |              |                |
|--|--------------|------------|---------------------|------------|------------|------------|--------------|--------------|----------------|
| File Edit Format-Filter-Sort Select Options                                |              |            |                     |            |            |            |              |              |                |
| Units: As Noted  |              |            | Hidden Columns: Yes |            |            | Sort: None |              |              | Base Reactions |
| Filter: ([Output Case] = 'THNL_MAIPI_X' OR [Output Case] = 'THNL_MAIPI_Y') |              |            |                     |            |            |            |              |              |                |
|  | Output Case  | Case Type  | Step Type           | FX tonf    | FY tonf    | FZ tonf    | MX tonf-cm   | MY tonf-cm   | MZ tonf-cm     |
| ▶  | THNL_MAIPI_X | NonModHist | Max                 | 2794.4     | 2108.0009  | 5.3471     | 3565292.974  | 4235150.95   | 11864082.103   |
|  | THNL_MAIPI_X | NonModHist | Min                 | -3188.8569 | -2357.7506 | -5.4702    | -3255866.788 | -5655995.332 | -11466921      |
|  | THNL_MAIPI_Y | NonModHist | Max                 | 3201.9187  | 2475.4033  | 6.1271     | 4186436.888  | 4759529.557  | 10763500.0...  |
|  | THNL_MAIPI_Y | NonModHist | Min                 | -3057.8364 | -2193.7852 | -5.2646    | -3182970.131 | -3921647.353 | -12588916      |

*Nota.* Mediante el análisis tiempo – historia no lineal, se obtuvo una fuerza cortante en la base máxima de 2794.40 toneladas en la dirección en “X”, mientras en la dirección en “Y” se obtuvo una fuerza cortante de 2475.40 toneladas. Elaboración propia.

**Figura 75**

*Fuerza cortante en la base - sismo Talca 2010*

| E Base Reactions   |              |            |           |            |            |         |              |              |               |
|--|--------------|------------|-----------|------------|------------|---------|--------------|--------------|---------------|
| File Edit Format-Filter-Sort Select Options                                |              |            |           |            |            |         |              |              |               |
| Units: As Noted Hidden Columns: Yes Sort: None Base Reactions              |              |            |           |            |            |         |              |              |               |
| Filter: ([Output Case] = 'THNL_TALCA_X' OR [Output Case] = 'THNL_TALCA_Y') |              |            |           |            |            |         |              |              |               |
|  | Output Case  | Case Type  | Step Type | FX tonf    | FY tonf    | FZ tonf | MX tonf-cm   | MY tonf-cm   | MZ tonf-cm    |
| ▶  | THNL_TALCA_X | NonModHist | Max       | 2716.2218  | 2154.2373  | 5.6376  | 3187004.694  | 4919810.889  | 10718411.929  |
|  | THNL_TALCA_X | NonModHist | Min       | -3061.4195 | -2415.2713 | -6.5888 | -2890864.372 | -5302861.718 | -10111390     |
|  | THNL_TALCA_Y | NonModHist | Max       | 3488.8807  | 2374.9428  | 5.4142  | 3286606.101  | 5180628.266  | 10623898.6... |
|  | THNL_TALCA_Y | NonModHist | Min       | -3008.3432 | -2280.5394 | -5.8341 | -3678374.692 | -4470634.152 | -10296725     |

*Nota.* Mediante el análisis tiempo – historia no lineal, se obtuvo una fuerza cortante en la base máxima de 2716.22 toneladas en la dirección en “X”, mientras en la dirección en “Y” se obtuvo una fuerza cortante de 2374.94 toneladas. Elaboración propia.

**Figura 76**

*Desplazamiento de los dispositivos con mayor carga axial*

| Story       | Link Element | Output Case    | Case Type  | Step Type | U1 cm  | U2 cm   |
|-------------|--------------|----------------|------------|-----------|--------|---------|
| Aislamiento | K39          | THNL_CURICO_X  | NonModHist | Max       | 0.0033 | 11.4308 |
| Aislamiento | K39          | THNL_CURICO_Y  | NonModHist | Max       | 0.0034 | 8.9132  |
| Aislamiento | K39          | THNL_HUALANE_X | NonModHist | Max       | 0.0032 | 9.0485  |
| Aislamiento | K39          | THNL_HUALANE_Y | NonModHist | Max       | 0.0034 | 13.3954 |
| Aislamiento | K39          | THNL_MAIPU_X   | NonModHist | Max       | 0.003  | 11.0581 |
| Aislamiento | K39          | THNL_MAIPU_Y   | NonModHist | Max       | 0.0032 | 10.0171 |
| Aislamiento | K39          | THNL_TALCA_X   | NonModHist | Max       | 0.0032 | 10.1201 |
| Aislamiento | K39          | THNL_TALCA_Y   | NonModHist | Max       | 0.0033 | 9.9089  |
| Aislamiento | K39          | THNL_LIMA66_X  | NonModHist | Max       | 0.003  | 16.6164 |
| Aislamiento | K39          | THNL_LIMA66_Y  | NonModHist | Max       | 0.0033 | 14.7647 |
| Aislamiento | K39          | THNL_LIMA70_X  | NonModHist | Max       | 0.0032 | 10.2238 |
| Aislamiento | K39          | THNL_LIMA70_Y  | NonModHist | Max       | 0.0035 | 9.6025  |
| Aislamiento | K39          | THNL_LIMA74_X  | NonModHist | Max       | 0.0032 | 13.267  |
| Aislamiento | K39          | THNL_LIMA74_Y  | NonModHist | Max       | 0.0032 | 20.8394 |

*Nota.* El aislador LRB K39, tiene un desplazamiento máximo de 20.84 cm producido por la aceleración del sismo de Lima 1974 en la dirección en Y. Elaboración propia.

**Figura 77***Desplazamiento de los dispositivos con mayor carga axial*

| Story       | Link Element | Output Case    | Case Type  | Step Type | U1<br>cm | U2<br>cm |
|-------------|--------------|----------------|------------|-----------|----------|----------|
| Aislamiento | K40          | THNL_CURICO_X  | NonModHist | Max       | 0.0035   | 11.4309  |
| Aislamiento | K40          | THNL_CURICO_Y  | NonModHist | Max       | 0.0034   | 8.9131   |
| Aislamiento | K40          | THNL_HUALANE_X | NonModHist | Max       | 0.0032   | 9.0486   |
| Aislamiento | K40          | THNL_HUALANE_Y | NonModHist | Max       | 0.0034   | 13.3954  |
| Aislamiento | K40          | THNL_MAIPU_X   | NonModHist | Max       | 0.003    | 11.0581  |
| Aislamiento | K40          | THNL_MAIPU_Y   | NonModHist | Max       | 0.0032   | 10.0171  |
| Aislamiento | K40          | THNL_TALCA_X   | NonModHist | Max       | 0.0036   | 10.1201  |
| Aislamiento | K40          | THNL_TALCA_Y   | NonModHist | Max       | 0.0034   | 9.9089   |
| Aislamiento | K40          | THNL_LIMA66_X  | NonModHist | Max       | 0.0031   | 16.6165  |
| Aislamiento | K40          | THNL_LIMA66_Y  | NonModHist | Max       | 0.003    | 14.7646  |
| Aislamiento | K40          | THNL_LIMA70_X  | NonModHist | Max       | 0.0039   | 10.2238  |
| Aislamiento | K40          | THNL_LIMA70_Y  | NonModHist | Max       | 0.0032   | 9.6026   |
| Aislamiento | K40          | THNL_LIMA74_X  | NonModHist | Max       | 0.0034   | 13.2669  |
| Aislamiento | K40          | THNL_LIMA74_Y  | NonModHist | Max       | 0.0031   | 20.8395  |

*Nota.* El aislador LRB K40, tiene un desplazamiento máximo de 20.84 cm producido por la aceleración del sismo de Lima 1974 en la dirección en Y. Elaboración propia.

**Figura 78***Desplazamiento de los dispositivos con mayor carga axial*

| Story       | Link Element | Output Case    | Case Type  | Step Type | U1<br>cm | U2<br>cm |
|-------------|--------------|----------------|------------|-----------|----------|----------|
| Aislamiento | K51          | THNL_CURICO_X  | NonModHist | Max       | 0.0034   | 11.451   |
| Aislamiento | K51          | THNL_CURICO_Y  | NonModHist | Max       | 0.0033   | 8.902    |
| Aislamiento | K51          | THNL_HUALANE_X | NonModHist | Max       | 0.0033   | 9.0914   |
| Aislamiento | K51          | THNL_HUALANE_Y | NonModHist | Max       | 0.0032   | 13.4005  |
| Aislamiento | K51          | THNL_MAIPU_X   | NonModHist | Max       | 0.0035   | 11.0675  |
| Aislamiento | K51          | THNL_MAIPU_Y   | NonModHist | Max       | 0.0032   | 10.0696  |
| Aislamiento | K51          | THNL_TALCA_X   | NonModHist | Max       | 0.0034   | 10.1455  |
| Aislamiento | K51          | THNL_TALCA_Y   | NonModHist | Max       | 0.0033   | 9.9173   |
| Aislamiento | K51          | THNL_LIMA66_X  | NonModHist | Max       | 0.0038   | 16.7119  |
| Aislamiento | K51          | THNL_LIMA66_Y  | NonModHist | Max       | 0.0031   | 14.7897  |
| Aislamiento | K51          | THNL_LIMA70_X  | NonModHist | Max       | 0.0032   | 10.2539  |
| Aislamiento | K51          | THNL_LIMA70_Y  | NonModHist | Max       | 0.0033   | 9.6317   |
| Aislamiento | K51          | THNL_LIMA74_X  | NonModHist | Max       | 0.0034   | 13.2946  |
| Aislamiento | K51          | THNL_LIMA74_Y  | NonModHist | Max       | 0.0034   | 20.863   |

*Nota.* El aislador LRB K51, tiene un desplazamiento máximo de 20.86 cm producido por la aceleración del sismo de Lima 1974 en la dirección en Y. Elaboración propia.

**Figura 79**

*Desplazamiento de los dispositivos con mayor carga axial*

| Story       | Link Element | Output Case    | Case Type  | Step Type | U1<br>cm | U2<br>cm |
|-------------|--------------|----------------|------------|-----------|----------|----------|
| Aislamiento | K52          | THNL_CURICO_X  | NonModHist | Max       | 0.0035   | 11.4509  |
| Aislamiento | K52          | THNL_CURICO_Y  | NonModHist | Max       | 0.0034   | 8.9021   |
| Aislamiento | K52          | THNL_HUALANE_X | NonModHist | Max       | 0.0039   | 9.0913   |
| Aislamiento | K52          | THNL_HUALANE_Y | NonModHist | Max       | 0.0032   | 13.4005  |
| Aislamiento | K52          | THNL_MAIPU_X   | NonModHist | Max       | 0.0036   | 11.0675  |
| Aislamiento | K52          | THNL_MAIPU_Y   | NonModHist | Max       | 0.0034   | 10.0697  |
| Aislamiento | K52          | THNL_TALCA_X   | NonModHist | Max       | 0.0034   | 10.1455  |
| Aislamiento | K52          | THNL_TALCA_Y   | NonModHist | Max       | 0.0033   | 9.9173   |
| Aislamiento | K52          | THNL_LIMA66_X  | NonModHist | Max       | 0.003    | 16.7118  |
| Aislamiento | K52          | THNL_LIMA66_Y  | NonModHist | Max       | 0.0031   | 14.7898  |
| Aislamiento | K52          | THNL_LIMA70_X  | NonModHist | Max       | 0.0032   | 10.2539  |
| Aislamiento | K52          | THNL_LIMA70_Y  | NonModHist | Max       | 0.0034   | 9.6317   |
| Aislamiento | K52          | THNL_LIMA74_X  | NonModHist | Max       | 0.0042   | 13.2946  |
| Aislamiento | K52          | THNL_LIMA74_Y  | NonModHist | Max       | 0.0034   | 20.8629  |

*Nota.* El aislador LRB K52, tiene un desplazamiento máximo de 20.86 cm producido por la aceleración del sismo de Lima 1974 en la dirección en Y. Elaboración propia.

**Figura 80**

*Deformación – Desplazamiento por dispositivos en X*

| E Element Deformations - Links                 |             |              |             |             |           |          |          |          |
|--|-------------|--------------|-------------|-------------|-----------|----------|----------|----------|
| File Edit Format-Filter-Sort Select Options    |             |              |             |             |           |          |          |          |
| Units: As Noted Hidden Columns: Yes Sort: None |             |              |             |             |           |          |          |          |
| Filter: ([Output Case] = 'SMC_X')              |             |              |             |             |           |          |          |          |
|  | Story       | Link Element | Output Case | Case Type   | Step Type | U1<br>cm | U2<br>cm | U3<br>cm |
|  | Aislamiento | K61          | SMC_X       | LinRespSpec | Max       | 0.001    | 17.0288  | 5.229    |
|  | Aislamiento | K62          | SMC_X       | LinRespSpec | Max       | 0.0002   | 17.0286  | 5.2254   |
|  | Aislamiento | K63          | SMC_X       | LinRespSpec | Max       | 0.0002   | 17.0288  | 5.2223   |
|  | Aislamiento | K64          | SMC_X       | LinRespSpec | Max       | 0.0002   | 17.0287  | 5.2198   |
|  | Aislamiento | K65          | SMC_X       | LinRespSpec | Max       | 0.0002   | 17.0286  | 5.2177   |
|  | Aislamiento | K66          | SMC_X       | LinRespSpec | Max       | 0.0011   | 17.0288  | 5.2162   |
|  | Aislamiento | K67          | SMC_X       | LinRespSpec | Max       | 0.0002   | 17.0286  | 5.2151   |
|  | Aislamiento | K68          | SMC_X       | LinRespSpec | Max       | 0.0014   | 17.0295  | 5.2143   |
|  | Aislamiento | K69          | SMC_X       | LinRespSpec | Max       | 0.0649   | 16.9946  | 5.2458   |
|  | Aislamiento | K70          | SMC_X       | LinRespSpec | Max       | 0.0665   | 16.9953  | 5.2055   |
|  | Aislamiento | K71          | SMC_X       | LinRespSpec | Max       | 0.0158   | 17.0544  | 5.229    |
|  | Aislamiento | K72          | SMC_X       | LinRespSpec | Max       | 0.0156   | 17.0499  | 5.2245   |
|  | Aislamiento | K73          | SMC_X       | LinRespSpec | Max       | 0.0156   | 17.0506  | 5.2204   |
|  | Aislamiento | K74          | SMC_X       | LinRespSpec | Max       | 0.0156   | 17.0505  | 5.2168   |
|  | Aislamiento | K75          | SMC_X       | LinRespSpec | Max       | 0.0157   | 17.0505  | 5.2138   |

*Nota.* Se obtiene la Deformación – Desplazamiento por dispositivos (Aisladores LRB), considerando el sismo máximo en el sentido X, por lo cual el dispositivo  $K_{71}$  presenta una deformación de 17.0544cm. Elaboración propia.

**Figura 81***Deformación – Desplazamiento por dispositivos en Y*

| E Element Deformations - Links                 |             |              |             |             |           |          |          |          |
|--|-------------|--------------|-------------|-------------|-----------|----------|----------|----------|
| File Edit Format-Filter-Sort Select Options    |             |              |             |             |           |          |          |          |
| Units: As Noted Hidden Columns: Yes Sort: None |             |              |             |             |           |          |          |          |
| Filter: ([[Output Case] = 'SMC_Y')             |             |              |             |             |           |          |          |          |
|  | Story       | Link Element | Output Case | Case Type   | Step Type | U1<br>cm | U2<br>cm | U3<br>cm |
|  | Aislamiento | K67          | SMC_Y       | LinRespSpec | Max       | 0.0004   | 5.1094   | 17.3738  |
|  | Aislamiento | K68          | SMC_Y       | LinRespSpec | Max       | 0.0015   | 5.1097   | 17.3647  |
|  | Aislamiento | K69          | SMC_Y       | LinRespSpec | Max       | 0.0195   | 5.0992   | 17.462   |
|  | Aislamiento | K70          | SMC_Y       | LinRespSpec | Max       | 0.0519   | 5.0994   | 17.3273  |
|  | Aislamiento | K71          | SMC_Y       | LinRespSpec | Max       | 0.0518   | 5.1182   | 17.4139  |
|  | Aislamiento | K72          | SMC_Y       | LinRespSpec | Max       | 0.0519   | 5.1169   | 17.4052  |
|  | Aislamiento | K73          | SMC_Y       | LinRespSpec | Max       | 0.052    | 5.1171   | 17.3964  |
|  | Aislamiento | K74          | SMC_Y       | LinRespSpec | Max       | 0.0521   | 5.1171   | 17.3877  |
|  | Aislamiento | K75          | SMC_Y       | LinRespSpec | Max       | 0.0522   | 5.1171   | 17.379   |
|  | Aislamiento | K76          | SMC_Y       | LinRespSpec | Max       | 0.0523   | 5.1171   | 17.3704  |
|  | Aislamiento | K77          | SMC_Y       | LinRespSpec | Max       | 0.0524   | 5.1171   | 17.3619  |
|  | Aislamiento | K78          | SMC_Y       | LinRespSpec | Max       | 0.0525   | 5.1169   | 17.3535  |
|  | Aislamiento | K79          | SMC_Y       | LinRespSpec | Max       | 0.0525   | 5.1182   | 17.3451  |
|  | Aislamiento | K80          | SMC_Y       | LinRespSpec | Max       | 0.0555   | 5.1044   | 17.3372  |
|  | Aislamiento | K81          | SMC_Y       | LinRespSpec | Max       | 0.0545   | 5.1039   | 17.4203  |

*Nota.* Se obtiene la Deformación – Desplazamiento por dispositivos (Aisladores LRB), considerando el sismo máximo en el sentido Y, por lo cual el dispositivo  $K_{69}$  presenta una deformación de 17.4620cm. Elaboración propia.

## 4.2 VERIFICACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### Según el análisis dinámico modal espectral

#### Edificación con base fija

**Tabla 17**

*Control de derivas en el sentido X*

| Nivel | Altura Hi (cm) | Rx   | Desplazamientos<br>Ux (cm) | Desplazamiento Relativo<br>Dr Ux (cm) | Deriva Elástica     | Deriva Inelástica                    | Control Dr XX |           |
|-------|----------------|------|----------------------------|---------------------------------------|---------------------|--------------------------------------|---------------|-----------|
|       |                |      |                            |                                       | (**) Di / Hi<br>"X" | (*) Di = 0.75R x Dr<br>0.75R x Dr Ux | X.X           | X.X       |
| 6     | 250.00         | 8.00 | 2.912                      | 0.1554                                | 0.00062             | 0.00373                              | 0.007         | Cumple    |
| 5     | 350.00         | 8.00 | 2.756                      | 0.3619                                | 0.00103             | 0.00620                              | 0.007         | Cumple    |
| 4     | 350.00         | 8.00 | 2.394                      | 0.5441                                | 0.00155             | 0.00933                              | 0.007         | NO cumple |
| 3     | 350.00         | 8.00 | 1.850                      | 0.6885                                | 0.00197             | 0.01180                              | 0.007         | NO cumple |
| 2     | 350.00         | 8.00 | 1.162                      | 0.7198                                | 0.00206             | 0.01234                              | 0.007         | NO cumple |
| 1     | 350.00         | 8.00 | 0.442                      | 0.4418                                | 0.00126             | 0.00757                              | 0.007         | NO cumple |

*Nota.* Se demuestra que en la mayoría de niveles las derivas inelásticas obtenidas mediante el análisis dinámico modal espectral NO se encuentran dentro del límite permisible por la norma E.030 diseño sismorresistente. Elaboración propia.

**Tabla 18**

*Control de Derivas en el sentido Y*

| Nivel | Altura Hi (cm) | Ry   | Desplazamientos<br>Uy (cm) | Desplazamiento Relativo<br>Dr Uy (cm) | Deriva Elástica     | Deriva Inelástica                    | Control Dr YY |           |
|-------|----------------|------|----------------------------|---------------------------------------|---------------------|--------------------------------------|---------------|-----------|
|       |                |      |                            |                                       | (**) Di / Hi<br>"Y" | (*) Di = 0.75R x Dr<br>0.75R x Dr Uy | Y.Y           | Y.Y       |
| 6     | 250.00         | 8.00 | 19.509                     | 0.8677                                | 0.00347             | 0.02082                              | 0.007         | NO cumple |
| 5     | 350.00         | 8.00 | 18.641                     | 2.3060                                | 0.00659             | 0.03953                              | 0.007         | NO cumple |
| 4     | 350.00         | 8.00 | 16.335                     | 3.6019                                | 0.01029             | 0.06175                              | 0.007         | NO cumple |
| 3     | 350.00         | 8.00 | 12.733                     | 4.6366                                | 0.01325             | 0.07948                              | 0.007         | NO cumple |
| 2     | 350.00         | 8.00 | 8.097                      | 4.9386                                | 0.01411             | 0.08466                              | 0.007         | NO cumple |
| 1     | 350.00         | 8.00 | 3.158                      | 3.1581                                | 0.00902             | 0.05414                              | 0.007         | NO cumple |

*Nota.* Se demuestra que en todos los niveles las derivas inelásticas obtenidas mediante el análisis dinámico modal espectral NO se encuentran dentro del límite permisible por la norma E.030 diseño sismorresistente. Elaboración propia.

## Edificación con base aislada

### Análisis Modal En X:

**Tabla 19**

*Control de Derivas de entrepiso en la dirección X*

| Nivel       | Deriva  | Derivas (%) | Control de Dr. X-X |                  |
|-------------|---------|-------------|--------------------|------------------|
| Story 6     | 0.00064 | 0.638       | <b>0.0035</b>      | <b>SI cumple</b> |
| Story 5     | 0.00111 | 1.109       | <b>0.0035</b>      | <b>SI cumple</b> |
| Story 4     | 0.00175 | 1.753       | <b>0.0035</b>      | <b>SI cumple</b> |
| Story 3     | 0.00237 | 2.372       | <b>0.0035</b>      | <b>SI cumple</b> |
| Story 2     | 0.00271 | 2.709       | <b>0.0035</b>      | <b>SI cumple</b> |
| Story 1     | 0.00200 | 2.001       | <b>0.0035</b>      | <b>SI cumple</b> |
| Aislamiento | 0.11363 | 113.628     | -                  | -                |

*Nota.* Se demuestra que, en todos los niveles de la superestructura, obtenidas mediante el análisis dinámico modal espectral SI se encuentran dentro del límite permisible por la norma E.031 Aislamiento Sísmico. Elaboración propia.

**Tabla 20**

*Desplazamiento del Centro de Masa (CM)*

| Nivel       | Desplazamiento del CM (cm) |
|-------------|----------------------------|
| Story 6     | 20.6840                    |
| Story 5     | 20.5246                    |
| Story 4     | 20.1364                    |
| Story 3     | 19.5228                    |
| Story 2     | 18.6926                    |
| Story 1     | 17.7445                    |
| Aislamiento | 17.0442                    |

*Nota.* Se observa que, la diferencia entre el nivel 1 y el último nivel es de aproximadamente de 3cm, siendo un valor similar al caso con Base Fija, esto considerando al sistema como un modelo simplificado. Elaboración propia.

**Tabla 21**

*Desplazamientos máximos de piso en la dirección X*

| Nivel       | Desplazamientos máximos (cm) |
|-------------|------------------------------|
| Story 6     | 20.7110                      |
| Story 5     | 20.5772                      |
| Story 4     | 20.1859                      |
| Story 3     | 19.5694                      |
| Story 2     | 18.7373                      |
| Story 1     | 17.7885                      |
| Aislamiento | 17.0882                      |

*Nota.* Se aprecia que, el desplazamiento máximo del sistema de aislamiento es aproximadamente la mitad del desplazamiento de diseño de los dispositivos y/o el desplazamiento total máximo ( $D_{TM}$ ) calculado. Además de un Análisis tiempo-Historia (usado con fines de verificación) se obtuvo que el desplazamiento máximo que presenta el dispositivo  $K_{71}$  es de 17.0544cm, ello considerando un sismo máximo considerado. Elaboración propia.

**Tabla 22***Aceleraciones en los diafragmas en la dirección X*

| <b>Nivel</b> | <b>Aceleración del diafragma (m/s<sup>2</sup>)</b> |
|--------------|--|
| Story 6      | 1.4662   |
| Story 5      | 1.3799   |
| Story 4      | 1.2257   |
| Story 3      | 1.1078   |
| Story 2      | 1.1001   |
| Story 1      | 1.1879   |
| Aislamiento  | 1.2629   |

*Nota.* Se observa que, los valores entre el nivel de aislamiento y el último nivel difieren ligeramente. Sin embargo, comparándolo con el registro sísmico de Lima 1970-X que presenta una aceleración máxima de 8.2227m/s<sup>2</sup>, se determina que el sistema de aislamiento reduce al 15% el impacto de movimiento del suelo. Elaboración propia.

**Tabla 23***Fuerzas cortantes de cada entrepiso en la dirección X*

| <b>Nivel</b> | <b>Fuerza cortante (tonf)</b> |
|--------------|-------------------------------|
| Story 6      | 124.9811                      |
| Story 5      | 696.3046                      |
| Story 4      | 1207.2645                     |
| Story 3      | 1639.7402                     |
| Story 2      | 2018.043                      |
| Story 1      | 2385.2135                     |
| Aislamiento  | 2860.4876                     |

*Nota.* Respecto a los resultados con base fija, el valor de la fuerza cortante en la base sobre el sistema de aislamiento aumentó en un 43% en el sentido X. Además, en el sistema con base fija el valor de la fuerza cortante supera el 80% de lo calculado, cumpliendo lo indicado en la norma E.030 para estructuras regulares y en el sistema con aislamiento el valor es mayor al calculado con la ecuación 12 de la norma E.031, lo cual es requerida para activar plenamente el sistema de aislamiento. Elaboración propia.

Análisis modal En Y:**Tabla 24***Derivas de entrepiso en la dirección Y*

| Nivel       | Deriva  | Derivas (%) | Control de Dr. Y-Y |                  |
|-------------|---------|-------------|--------------------|------------------|
| Story 6     | 0,00032 | 0,324       | <b>0,0035</b>      | <b>SÍ cumple</b> |
| Story 5     | 0,00065 | 0,645       | <b>0,0035</b>      | <b>SÍ cumple</b> |
| Story 4     | 0,00105 | 1,052       | <b>0,0035</b>      | <b>SÍ cumple</b> |
| Story 3     | 0,00146 | 1,460       | <b>0,0035</b>      | <b>SÍ cumple</b> |
| Story 2     | 0,00175 | 1,747       | <b>0,0035</b>      | <b>SÍ cumple</b> |
| Story 1     | 0,00151 | 1,507       | <b>0,0035</b>      | <b>SÍ cumple</b> |
| Aislamiento | 0,11640 | 116,404     | -                  | -                |

*Nota.* Se demuestra que, en todos los niveles de la superestructura, obtenidas mediante el análisis dinámico modal espectral SI se encuentran dentro del límite permisible por la norma E.031. Elaboración propia.

**Tabla 25***Desplazamiento del centro de masa (CM)*

| Nivel       | Desplazamiento del CM (cm) |
|-------------|----------------------------|
| Story 6     | 19,7857                    |
| Story 5     | 19,7046                    |
| Story 4     | 19,4787                    |
| Story 3     | 19,1106                    |
| Story 2     | 18,5996                    |
| Story 1     | 17,9880                    |
| Aislamiento | 17,4606                    |

*Nota.* Se observa que, la diferencia entre el nivel 1 y el último nivel es de aproximadamente de 2cm, difiriendo ligeramente. Sin embargo, en el sistema con base fija la diferencia es de unos 16cm aproximadamente, con ello presentando mayor distorsión de entrepiso, en ambos casos considerando al sistema como un modelo simplificado. Elaboración propia.

**Tabla 26***Desplazamientos máximos de piso en la dirección Y*

| Nivel       | Desplazamientos máximos (cm) |
|-------------|------------------------------|
| Story 6     | 19,7669                      |
| Story 5     | 19,7305                      |
| Story 4     | 19,5072                      |
| Story 3     | 19,1430                      |
| Story 2     | 18,6370                      |
| Story 1     | 18,0310                      |
| Aislamiento | 17,5079                      |

*Nota.* Se aprecia que, el desplazamiento máximo del sistema de aislamiento es aproximadamente la mitad del desplazamiento de diseño de los dispositivos y/o el desplazamiento total máximo ( $D_{TM}$ ) calculado. Además de un Análisis tiempo-Historia (usado con fines de verificación) se obtuvo que el desplazamiento máximo que presenta el dispositivo  $K_{69}$  es de 17.4620cm, ello considerando un sismo máximo considerado. Elaboración propia.

**Tabla 27***Aceleraciones en los diafragmas en la dirección Y*

| <b>Nivel</b> | <b>Aceleración del diafragma (m/s<sup>2</sup>)</b> |
|--------------|--|
| Story 6      | 1,2929   |
| Story 5      | 1,2590   |
| Story 4      | 1,1813   |
| Story 3      | 1,1186   |
| Story 2      | 1,1016   |
| Story 1      | 1,1299   |
| Aislamiento  | 1,1610   |

*Nota.* Se observa que, los valores entre el nivel de aislamiento y el último nivel difieren ligeramente. Sin embargo, comparándolo con el registro sísmico de Lima 1974-Y que presenta una aceleración máxima de 7,5011m/s<sup>2</sup>, se determina que el sistema de aislamiento reduce al 15 % el impacto de movimiento del suelo. Elaboración propia.

**Tabla 28***Fuerzas cortantes de cada entrepiso en la dirección Y*

| <b>Nivel</b> | <b>Fuerza cortante (tonf)</b> |
|--------------|-------------------------------|
| Story 6      | 109,8878                      |
| Story 5      | 628,5959                      |
| Story 4      | 1124,0570                     |
| Story 3      | 1580,2558                     |
| Story 2      | 2007,5332                     |
| Story 1      | 2423,7105                     |
| Aislamiento  | 2927,8987                     |

*Nota.* Respecto a los resultados con base fija, el valor de la fuerza cortante en la base sobre el sistema de aislamiento se redujo a un 16 % en el sentido Y. por otro lado, en el sistema con base fija el valor de la fuerza cortante supera el 80 % de lo calculado, cumpliendo lo indicado en la norma E.030 para estructuras regulares y en el sistema con aislamiento el valor es mayor al calculado con la ecuación 12 de la norma E.031, lo cual es requerida para activar plenamente el sistema de aislamiento. Elaboración propia.

## CONCLUSIONES

**Primera.** La influencia del **estudio de mecánica de suelos** en el diseño sísmico con la implementación de un sistema de aislamiento en la base tiene un impacto significativo en el desempeño estructural, ya que, tanto las características del suelo como las propiedades del sistema de aislamiento, pueden influir directamente en la respuesta sísmica de un edificio. Asimismo, este estudio permite establecer los parámetros necesarios para la cimentación, proporcionando una guía sobre el tipo de cimentación más adecuado para el proyecto. De acuerdo al estudio realizado, se determinó que la capacidad admisible de la C-01=2,26Kg/cm<sup>2</sup> y C-02=2,21Kg/cm<sup>2</sup>, a una profundidad de 3 m. perfil del suelo S2 (suelos intermedios), tipo de cimentación recomendada; zapatas aisladas, cimientos corridos, zapatas cuadradas, vigas de cimentación. No presenta problemas especiales de cimentación (licuación, colapso, expansión, napa freática).

**Segunda.** La **estructuración y predimensionamiento** de los elementos estructurales son pasos fundamentales en el proceso para realizar un análisis y diseño sísmico de una edificación, ya sea con aisladores en la base o sin ellos. Estos procesos influyen directamente en cómo se llevará a cabo el análisis sísmico y en la capacidad de la estructura para

resistir los efectos de un terremoto. Si el predimensionamiento no es adecuado, el análisis sísmico podría no reflejar el comportamiento real de la estructura, ya que las fuerzas internas en los elementos pueden estar mal distribuidas o subestimadas. En un **sistema con aislamiento**, los aisladores modifican la dinámica de la estructura, alterando la frecuencia natural y la distribución de las fuerzas sísmicas. Un diseño inicial adecuado de los elementos estructurales es necesario para anticipar cómo estos aisladores interaccionarán con el resto de la estructura, ajustando el predimensionamiento para soportar las nuevas características dinámicas introducidas por el sistema de aislamiento. Sin embargo, en un **sistema sin aislamiento**, las fuerzas sísmicas se transmiten directamente a la superestructura. Por lo tanto, el predimensionamiento de los elementos estructurales debe ser más conservador, considerando la resistencia adicional necesaria para que la estructura pueda soportar las cargas sísmicas sin fallar. Por lo tanto en este proceso definió que se utilizará columnas C-1 0,75x0,65 m, vigas en X e Y para el nivel de base VP-1 0,50x1,00 m, vigas VP-2 0,30x0,60 m para los niveles 1,2,3,4 y 5 en la dirección X, vigas VP-3 0,40x0,75 m para los niveles 1, 2, 3, 4 y 5 en la dirección Y, capiteles Cap 1,00x1,00 m. obteniendo 2 tipos de aisladores DIS-1 con  $D=0,85$  m y DIS-2 con  $D=0,60$  m.

- Tercera.** En cuanto a la evaluación de los **criterios de desempeño**, al comparar los **desplazamientos máximos**, en el sistema sin aislamiento, se registraron 2,912 cm en el sentido X y 19,509 cm en el sentido Y. En cambio, en el sistema con aislamiento, los desplazamientos fueron de 20,711 cm en el sentido X y 19,767 cm en el sentido Y. Además, el desplazamiento que se genera en el nivel de aislamiento fue de 17,09 cm en dirección X y 17,51 cm en dirección Y, en ambos casos no supera el desplazamiento de diseño de los dispositivos de aislamiento propuestos ( $d_{diseño} = 400 \text{ mm} = 40 \text{ cm}$ ).
- Cuarta.** Con relación a las **derivadas o distorsiones de entrepiso**, en el sistema sin aislamiento, los valores superaron ampliamente el límite máximo reglamentado (0,007). En el sentido X, los primeros 4 niveles no cumplieron con el criterio y, en el sentido Y, ninguno de los niveles se ajustó al límite permitido. En cambio, en el sistema con aislamiento, los valores en todos los niveles (por encima del sistema de aislamiento) estuvieron por debajo del límite establecido de 0,0035, tanto en el sentido X como en el Y.
- Quinta.** Respecto a la **fuerza cortante dinámica**, en el sistema sin aislamiento, se registró un valor de 1629,8592 toneladas para el sismo en la dirección X y 17 919,6955 toneladas para el sismo en la dirección Y. En el sistema

con aislamiento, las fuerzas cortantes dinámicas fueron de 2860,4876 toneladas en la dirección X y 2927,8987 toneladas en la dirección Y.

**Sexta.** En referencia a la **aceleración** registrada en el sistema con aislamiento, fue de 1,466 m/s<sup>2</sup> en el último nivel y 1,263 m/s<sup>2</sup> en el nivel de aislamiento en el sentido X. En el sentido Y, los valores registrados fueron de 1,293 m/s<sup>2</sup> en el último nivel y 1,161 m/s<sup>2</sup> en el nivel de aislamiento.

**Sétima.** Finalmente, se concluye que la implementación de un diseño sismorresistente con un sistema de aislamiento en la base es una de las estrategias más efectivas para mejorar el desempeño estructural de una edificación, con características similares.

## RECOMENDACIONES

- Primera.** Se recomienda que, si bien no se cuentan con los resultados de ensayos de **laboratorio** específicos para los aisladores, se podría revisar investigaciones previas que utilicen datos experimentales o simulaciones de aisladores de similares características.
- Segunda.** Por otro lado, dado que el tiempo es limitado, es clave priorizar ciertos aspectos del estudio. Por ejemplo, concentrarse en una sola fase del proceso de diseño o en un tipo específico de estructura. Esto permitiría hacer un análisis más profundo dentro de los límites del tiempo disponible.
- Tercera.** Una recomendación muy importante es que la estructuración o distribución de elementos de una edificación sea lo más simétrica posible, puesto que eso generará que los centros de masas y rigideces coincidan o estén muy cercanos, es recomendable por varias razones relacionadas con el comportamiento dinámico de la edificación, especialmente en condiciones sísmicas; ayudando a evitar torsiones adicionales y asegura una distribución más equilibrada de las fuerzas sísmicas. Esto se traduce en una mejor estabilidad, mayor seguridad y un comportamiento más predecible ante un sismo, reduciendo el riesgo de daños estructurales graves.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AcontCivil. (2021, junio 31). *Estática aplicada: Equilibrio de estructuras con cargas perpendiculares al plano*. PEAKD. <https://peakd.com/hive-196387/@acont/calculo-reacciones-cargas-perpendiculares-al-plano>
- Acuña, E., Chiroque, J., Crisanto, L. y Taboada, D. (2020). *Aislamiento Sísmico de Edificaciones* (1era Edición). Saing Consulting Ingeniería Sismorresistente. <https://saingconsulting.com/libro-aislamiento-sismico-de-edificaciones-fundamentos-clave-en-analisis-y-diseno-de-edificios-aislados-lrb/>
- Arias-Gómez, J., Villasís-Keever, M. Á. y Miranda, M. G. (2016). El protocolo de investigación III: la población de estudio. *Revista Alergia México*, 63(2), 201-206. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=486755023011>
- Blanco, A. (s. f.). *Estructuración y Diseño de Edificaciones de Concreto Armado* (9na Edición). Instituto de la Construcción y Gerencia [ICG].
- Cassano, A. M. (2009). *Análisis de estructuras bajo acciones dinámicas* (Editorial Universitaria de la Universidad Tecnológica Nacional, Ed.). Universidad Tecnológica Nacional. [http://www.edutecne.utn.edu.ar/guias\\_de\\_estudio/estruc\\_dinam.pdf](http://www.edutecne.utn.edu.ar/guias_de_estudio/estruc_dinam.pdf)
- Castillo Martínez, G. F. y Vásquez Díaz, B. Z. (2020). *Análisis Comparativo del Comportamiento Sísmico Entre una Vivienda Multifamiliar con y sin Aislamiento en la Base, en la Urbanización San Isidro II Etapa, Trujillo 2020*

[Tesis de Pregrado, Universidad Privada Del Norte].  
<https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/26480>

CDV Ingeniería Antisísmica. (2018). *Aisladores Sísmicos DIS*. CDV Ingeniería Antisísmica. <https://www.cdvperu.com/aisladores-sismicos-dis/>

Centurión, L. (2022, febrero 18). *Así será el Nuevo Proyecto Ex Cuartel San Martín en Perú 2022*. [video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=XhvSbu6uwTA>

Control y Diseño de Estructuras SAS. (2017, febrero 26). *Introducción sobre los distintos sistemas de control de respuesta sísmica en edificaciones*. EFE PRIMA CE. <https://www.efepripace.co/sistemas-control-respuesta-sismica-edificaciones/>

Córdova, C. (2016, septiembre 18). *Primer Foro Internacional de Promoción de Edificaciones Seguras: Criterios Sismorresistente Para Arquitectos*. [video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=cR7KB01GFw0>

Córdova Rojas, C. (2017, febrero 2). *Curso de Especialización: Análisis y Diseño de Estructuras con ETABS 2016*.

Cuaquera, M. N. y Farfán, U. (2021). Evaluación de la reducción estructural en el diseño de un edificio con aisladores sísmicos en el distrito de Tacna. *Ingeniería Investiga*, 3(2), 107-118. <https://doi.org/10.47796/ing.v3i2.536>

- DISIPA Ingenieros. (2020). *Región Ancash: Hospitales Modernos con Aislamiento Sísmico*. Grupo Prisma. <http://www.disipaing.com/blog/region-ancash-hospitales-modernos-con-aislamiento-sismico/>
- FIP INDUSTRIALE S.p.A. (2007). *Lead rubber bearings Series LRB*. <https://es.scribd.com/document/337734349/FIP-Industriale-Lead-rubber-bearings-Series-LRB>
- Genatios, C. y Lafuente, M. (2016). *Introducción al Uso de Aisladores y Disipadores en Estructuras* (P. Maragno, Ed.; Primera Edición). CAF-Banco de Desarrollo de América Latina. <https://scioteca.caf.com/handle/123456789/1213>
- Gómez, D., Marulanda, J. y Thomson, P. (2008). Sistemas de control para la protección de estructuras civiles sometidas a cargas dinámicas. *Dyna*, 75(155), 77-89. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49611953009>
- González, B. (2022, junio 30). *Regiones volcánicas y sísmicas del mundo*. Ecología Verde. <https://www.ecologiaverde.com/regiones-volcanicas-y-sismicas-del-mundo-1767.html>
- Herrera, M. T. (2017). Desempeño sísmico en estructuras aporticadas de concreto armado y de albañilería confinada utilizando aisladores elastoméricos. *Proceedings of the LACCEI international Multi-conference for Engineering, Education and Technology*. <https://doi.org/10.18687/LACCEI2017.1.1.204>

- Hidalgo, J. P. y Ruiz, S. E. (2010). Factor de Reducción  $\beta$  por Incremento de Amortiguamiento Viscoso, para Estructuras Desplantadas Sobre Roca. *Revista de Ingeniería Sísmica* No, 83, 1-23.  
[https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0185-092X2010000200001](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-092X2010000200001)
- Huanca, J. E. y Meléndez, M. A. (2016). *Análisis Dinámico Modal Espectral de una Edificación Convencional y otra con Aisladores Sísmicos a Nivel Intermedio de la Estructura en la Ciudad de Tacna* [Tesis de Pregrado, Universidad Privada de Tacna].  
<https://repositorio.upt.edu.pe/handle/20.500.12969/158>
- Instituto Geofísico del Perú [IGP]. (2022). *Mapas sísmicos*. Ministerio del Ambiente. <https://ultimosismo.igp.gob.pe/mapas-sismicos>
- López, P. L. (2004). Población Muestra Y Muestreo. *Punto Cero*, 09(08), 69-74.  
[http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1815-02762004000100012](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-02762004000100012)
- Meléndez, E. y Gutiérrez, M. Á. (2019). *Diseño y proceso constructivo de instalación de los aisladores sísmicos elastoméricos en la base, en los bloques A y B del Nuevo Hospital Hipólito Unanue de Tacna* [Tesis de Pregrado, Universidad Privada de Tacna].  
<https://repositorio.upt.edu.pe/handle/20.500.12969/905?show=full>

Mendoza, J. L. y Sanchez, J. O. (2020). *Diseño de sistema de aislamiento sísmico en la base con dispositivos LRB para un centro hospitalario aporricado según norma en la ciudad de Trujillo 2020* [Tesis de Pregrado, Universidad Privada del Norte].

[https://core.ac.uk/display/479293570?source=1&algorithmId=15&similarToDoc=286702195&similarToDocKey=CORE&recSetID=f70644d4-c4d0-4c3e-8c16-d0f5972cc2e8&position=1&recommendation\\_type=same\\_repo&otherRecs=479293570,288876432,198130501,196532657,232120698](https://core.ac.uk/display/479293570?source=1&algorithmId=15&similarToDoc=286702195&similarToDocKey=CORE&recSetID=f70644d4-c4d0-4c3e-8c16-d0f5972cc2e8&position=1&recommendation_type=same_repo&otherRecs=479293570,288876432,198130501,196532657,232120698)

Morales, R. M. M. (2006). *Diseño en Concreto Armado* (3ra Edición). Instituto de la Construcción y Gerencia [ICG].

[https://tienda.construccion.org/producto/disenio\\_en\\_concreto\\_armado\\_\\_3ra](https://tienda.construccion.org/producto/disenio_en_concreto_armado__3ra)

Muñoz, A. (2020). *Comentarios a la Norma Peruana E.030 [Diseño Sismorresistente]*. SENCICO.

[https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1129512/COMENTARIOS\\_A\\_LA\\_NORMA\\_PERUANA\\_E.030\\_DISE% C3% 91O\\_SISMORRESISTENTE.pdf](https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1129512/COMENTARIOS_A_LA_NORMA_PERUANA_E.030_DISE% C3% 91O_SISMORRESISTENTE.pdf)

Muñoz, J. A. (2020). *Conferencia de actualización de la Norma Peruana de Aislamiento E.031*. [video]. YouTube.

<https://www.youtube.com/watch?v=bfYmG3yyZYE>

National Geographic. (2023). *Las 3 regiones con más terremotos del mundo*.

National Geographic Society. <https://www.nationalgeographic.com/medio-ambiente/2023/02/las-3-regiones-con-mas-terremotos-del-mundo>

Oviedo, R. (2016). *Diseño sismorresistente de edificaciones de concreto armado* (primera edición). Oviedo Ingeniería.

Reglamento Nacional de Edificaciones [RNE]. (2018). *Norma Técnica E.030 [Diseño Sismorresistente]*. Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento [MVCS], SENCICO. <https://www.gob.pe/institucion/sencico/informes-publicaciones/887225-normas-del-reglamento-nacional-de-edificaciones-rne>

Reglamento Nacional de Edificaciones [RNE]. (2019). *Norma Técnica E.031 [Aislamiento Sísmico]*. Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento [MVCS], SENCICO. <https://www.gob.pe/institucion/sencico/informes-publicaciones/887225-normas-del-reglamento-nacional-de-edificaciones-rne>

Rosales, A., Sandivar, J. y Orihuela, J. (2020). Proposal of parameters for the design of seismic insulators through a comparative analysis of the seismic response of an essential building with anti-seismic isolation under various international standards. *Proceedings of the LACCEI international Multi-conference for Engineering, Education and Technology*. <https://doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.40>

- Ruiz, C. N. y Torres, A. I. (2019). *Análisis comparativo del comportamiento sísmico dinámico de estructuras esenciales con aisladores de base del tipo elastomérico con núcleo de plomo IRB y disipadores tipo contraventeos restringidos al pandeo BRB, y su incidencia en la relación costo/beneficio del sistema estructural* [Tesis de Pregrado, Universidad Técnica de Ambato].  
<https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/29198>
- Sanz, L. (2017). *Sistemas constructivos para sismos* [Tesis de Pregrado, Universidad Politécnica de Madrid]. <https://oa.upm.es/47076/>
- Tinman, M. (2020, julio 30). *Retos y aplicaciones de la Norma E.031 aislamiento sísmico.* [Video]. YouTube.  
<https://www.youtube.com/watch?v=QaHutkCklzY&t=221s>
- Valerio, J. J. (2015). *Análisis comparativo de un edificio fijo en la base vs un edificio aislado utilizando 4 tipos de aisladores sísmicos* [Tesis de Maestría, Universidad Politécnica de Cataluña].  
<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/80231/TFM-Jacob%20Valerio.pdf>
- Villarreal, G. (2017, febrero 10). *Conferencia 17: Diseño estructural con aislamiento sísmico y disipación de energía.* [Video]. YouTube.  
<https://www.youtube.com/watch?v=lxDhI908tFs>

Zellat, K. y Kadri, T. (2015). Influencia del sistema de aislación sísmica en la respuesta de los puentes. *Revista ingeniería de construcción*, 30(3), 210-214.  
<https://doi.org/10.4067/S0718-50732015000300006>

Zúñiga, O. (2013). *Metodología de diseño sísmico de sistemas de aislamiento de base mediante el control del daño en contenidos* [Tesis de Doctorado, Universidad Autónoma Metropolitana]. <https://core.ac.uk/display/286702195>

## **ANEXO**



**CORPORACIÓN LEMCON S.R.L.**  
CONTRATISTAS GENERALES - MECÁNICA DE SUELOS - CONCRETO Y PAVIMENTOS



## INFORME TECNICO:

ESTUDIO DE SUELOS CON FINES DE CAPACIDAD PORTANTE CLASIFICACION E IDENTIFICACION.

### TESIS:

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN.  
“DISEÑO SISMICO DE UNA EDIFICACION PARA ALMACENAMIENTO EN LA GENOVESA AGROINDUSTRIAS DE CINCO NIVELES CON UN SISTEMA APORTICADO Y AISLADORES SISMICOS EN LA CIUDAD DE TACNA – 2023”.

### TESISTA:

BACHILLER. WILSON FLORES CHACAPACHA.

### UBICACIÓN:

PARQUE INDUSTRIAL Mz. I Lote 10 DEPARTAMENTO DE TACNA - REGION TACNA.



### FECHA

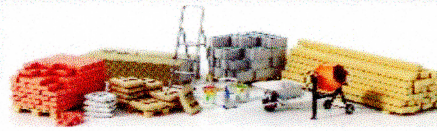
TACNA, FEBRERO DEL 2023



*Jonathan B. Baluarte Huanchi*  
INGENIERO CIVIL  
C.I.P. N° 198383

Asociación las buganvillas manzana “M” – lote: 07- Coronel Gregorio Albarracín - Tacna [joseluis@outlook.es](mailto:joseluis@outlook.es)  
celular: #983 372588 RUC. 20603133278 - TACNA - PERU





## INDICE

### **1.0 Generalidades**

Exposición de Motivos

1.1 Objetivos

1.2 Normatividad

1.3 Ubicación y descripción del Área de estudio

1.4 Acceso al Área de estudio

1.5 Condiciones climática y altitud de la zona

### **2.0 Investigaciones Geognósticas**

2.1 Aspectos Geológicos Locales

2.2 Aspectos Geomorfológicos

2.3 Condiciones Hidrogeológicas

2.4 Sismicidad

2.5 Parámetros Sísmicos

### **3.0 Investigaciones de Campo**

3.1 Exploración de Suelos

3.2 Reconocimiento de Campo

3.3 Fase de Campo (muestreo)

### **4.0 Investigaciones en Laboratorio**

4.1 Ensayos de Laboratorio

4.2 Caracterización de suelos

### **5.0 Perfiles Estratigráficos**

### **6.0 Análisis de Cimentación**

6.1 Profundidad de Cimentación

6.2 Tipo de Cimentación

6.3 Calculo de Capacidad Portante

6.4 Análisis de Asentamientos

### **7.0 Factor de seguridad**

### **8.0 Nivel freático**

### **9.0 Agresión del suelo a la Cimentación**

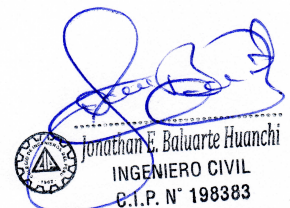
### **10.0 Observaciones**

### **11.0 Conclusiones**

### **12.0 Recomendaciones**

### **13.0 ANEXOS**

- ✓ ANEXO 01 ENSAYOS DE LABORATORIO.
- ✓ ANEXO 02 PERFIL ESTRATIGRAFICO.
- ✓ ANEXO 03 PANEL FOTOGRAFICO – PLANO DE UBICACIÓN.

  
Jonathan E. Baluarte Huanchi  
INGENIERO CIVIL  
C.I.P. N° 198383





## HOJA DE RESUMEN DE LAS CONDICIONES DE CIMENTACIONES

### ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS PARA LA TESIS DEL BACHILLER: WILSON FLORES CHACAPACHA

TESIS: " DISEÑO SISMICO DE UNA EDIFICACION PARA ALMACENAMIENTO EN LA GENOVESA AGROINDUSTRIAS DE CINCO NIVELES CON UN SISTEMA APORTICADO Y AISLADORES SISMICOS EN LA CIUDAD DE TACNA - 2023"

**DISTRITO DE TACNA –DEPARTAMENTO TACNA – PROVINCIA TACNA**

| RESUMEN DE LAS CONDICIONES DE CIMENTACIÓN                         |  |                        |                  |
|---|--|------------------------|------------------|
| <b>Profesional responsables (PR):</b>                             | Jonathan E. Baluarte Huanchi   | <b>Ing. Civil CIP:</b> | 198383           |
| <b>Tipo de cimentación:</b>                                       | Zapatas asiladas Cimientos corridos, zapatas cuadradas, Vigas de Cimentación.                |                        |                  |
| <b>Estrato de apoyo de la cimentación:</b>                        | GP   |                        |                  |
| <b>Profundidad de la Napa Freática:</b>                           | No Identifica hasta a la profundidad de exploración  | <b>Fecha:</b>          | Febrero del 2023 |
| <b>Parámetros de diseño de la cimentación</b>                     |  |                        |                  |
| Profundidad de cimentación:                                       | 3.00 m   |                        |                  |
| Presión admisible (BxL) :   | C-01 =2.26 kg/cm <sup>2</sup> (2.50 x 2.00m)<br>C-02 =2.21 kg/cm <sup>2</sup> (2.50 x 2.00m) |                        |                  |
| Factor de seguridad por Corte (estático, Dinámico) :              | 3.00   |                        |                  |
| Asentamiento diferencial:   | Menor a un asentamiento de 2.54cm lo cual es permitida                                       |                        |                  |
| <b>Parámetros Sísmico del suelo (De acuerdo a la Norma E0.30)</b> |  |                        |                  |
| Zona Sísmica:   | Zona 4   |                        |                  |
| Tipo de perfil del Suelo:   | Suelos Intermedios (S2)  |                        |                  |
| Factor del Suelo (S):   | 1.00   |                        |                  |
| Periodo TP (s):   | 0.60   |                        |                  |
| Periodo TL (s):   | 2.00   |                        |                  |
| <b>Agresividad del suelo a la cimentación:</b>                    | moderada, uso de cemento tipo IP, y/o Antisalitre, relación máxima de agua-cemento 0.50 a/c. |                        |                  |
| <b>Problemas Especiales de cimentación</b>                        |  |                        |                  |
| Licuefacción:   | NO PRESENTA EN EL ÁREA DE ESTUDIO  |                        |                  |
| Colapso:  | NO PRESENTA EN EL ÁREA DE ESTUDIO  |                        |                  |
| Expansión:  | NO PRESENTA EN EL ÁREA DE ESTUDIO  |                        |                  |

### 13.0 ANEXOS.

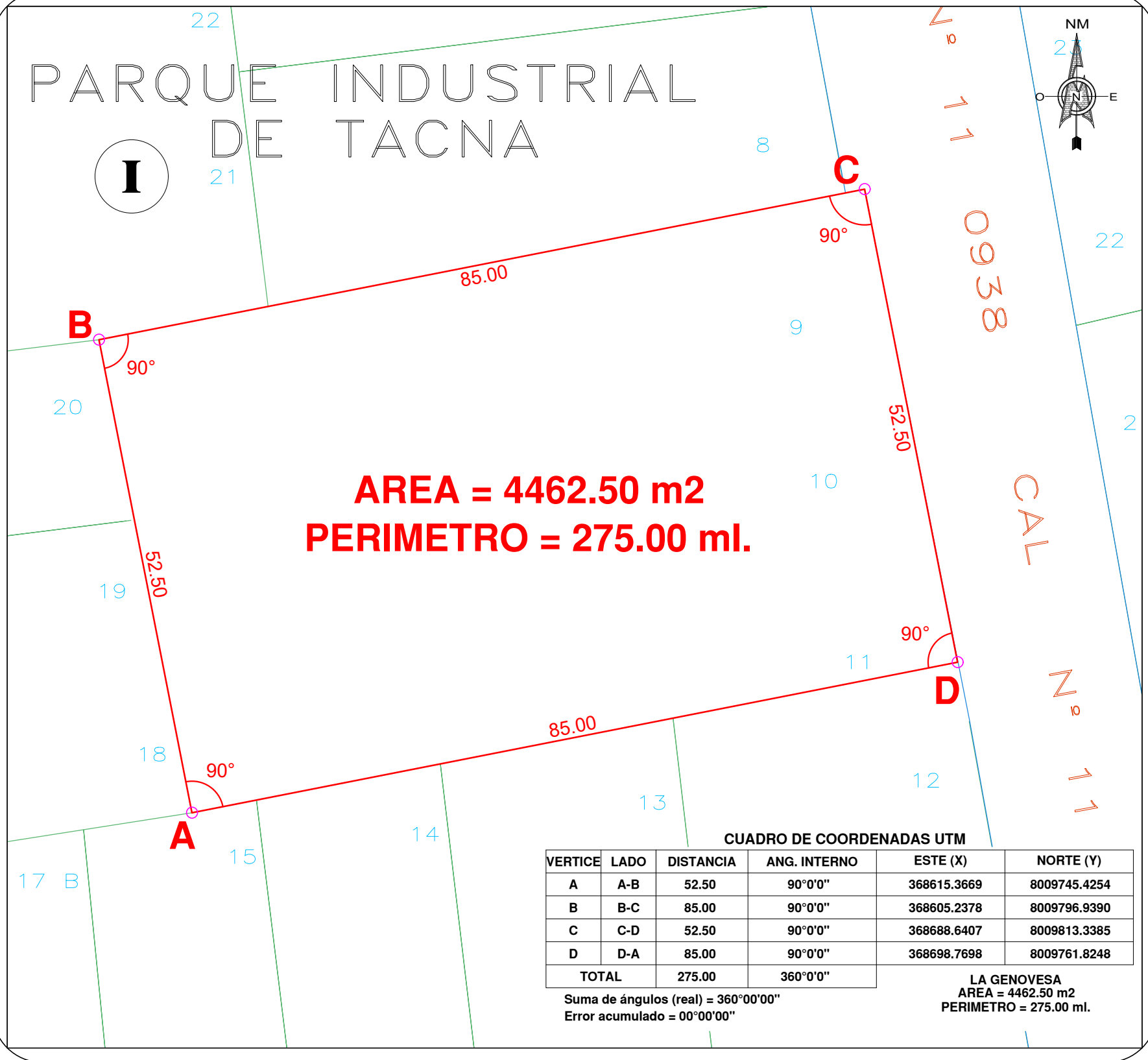


Jonathan E. Baluarte Huanchi  
INGENIERO CIVIL  
C.I.P. N° 198383



# PARQUE INDUSTRIAL DE TACNA

**I**



**AREA = 4462.50 m<sup>2</sup>**  
**PERIMETRO = 275.00 ml.**

CUADRO DE COORDENADAS UTM

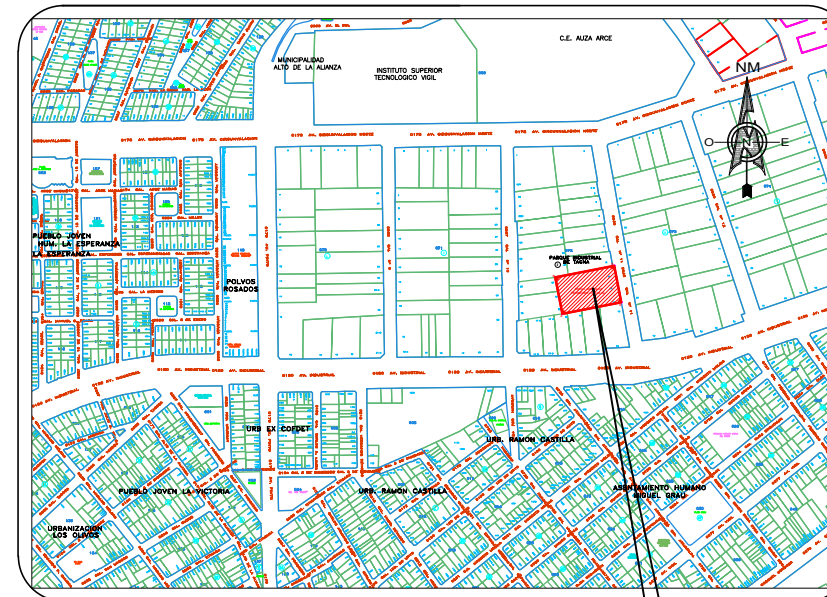
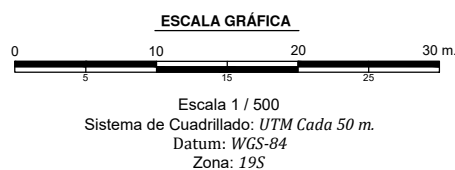
| VERTICE | LADO | DISTANCIA | ANG. INTERNO | ESTE (X)    | NORTE (Y)    |
|---------|------|-----------|--------------|-------------|--------------|
| A       | A-B  | 52.50     | 90°0'0"      | 368615.3669 | 8009745.4254 |
| B       | B-C  | 85.00     | 90°0'0"      | 368605.2378 | 8009796.9390 |
| C       | C-D  | 52.50     | 90°0'0"      | 368688.6407 | 8009813.3385 |
| D       | D-A  | 85.00     | 90°0'0"      | 368698.7698 | 8009761.8248 |
| TOTAL   |      | 275.00    | 360°0'0"     |             |              |

Suma de ángulos (real) = 360°00'00"  
 Error acumulado = 00°00'00"

LA GENOVESA  
 AREA = 4462.50 m<sup>2</sup>  
 PERIMETRO = 275.00 ml.

## PLANO DE UBICACION

ESCALA: 1/500



## PLANO DE LOCALIZACION

ESCALA: 1/10,000

PLANO: TOPOGRAFICO-UBICACION Y LOCALIZACION

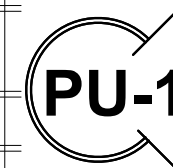
LAMINA:

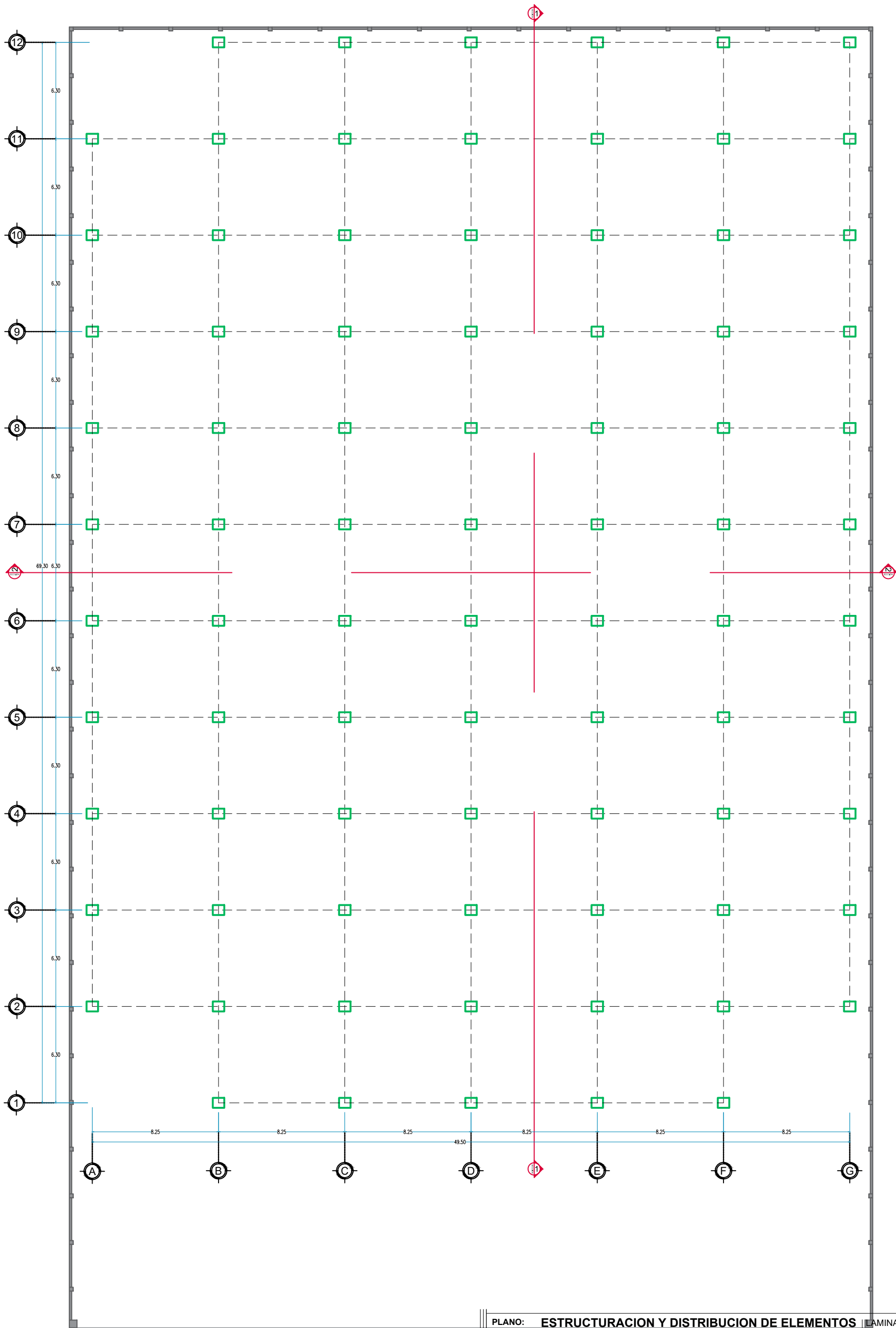
PROPIETARIOS: LA GENOVESA AGROINDUSTRIAS S.A.

UBICACION: PARQUE INDUSTRIAL MZ. I, LT. 09,10,11 - CALLE N°11 - TACNA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE TACNA

CAD: W.P.Ch. ESCALA: INDICADA FECHA: JULIO - 2024

METODO DE MEDICION: CARTESIANO DATUM: WGS-84 zona 19S





**ESTRUCTURACION Y DISTRIBUCION  
EN PLANTA**

ESCALA: 1/250

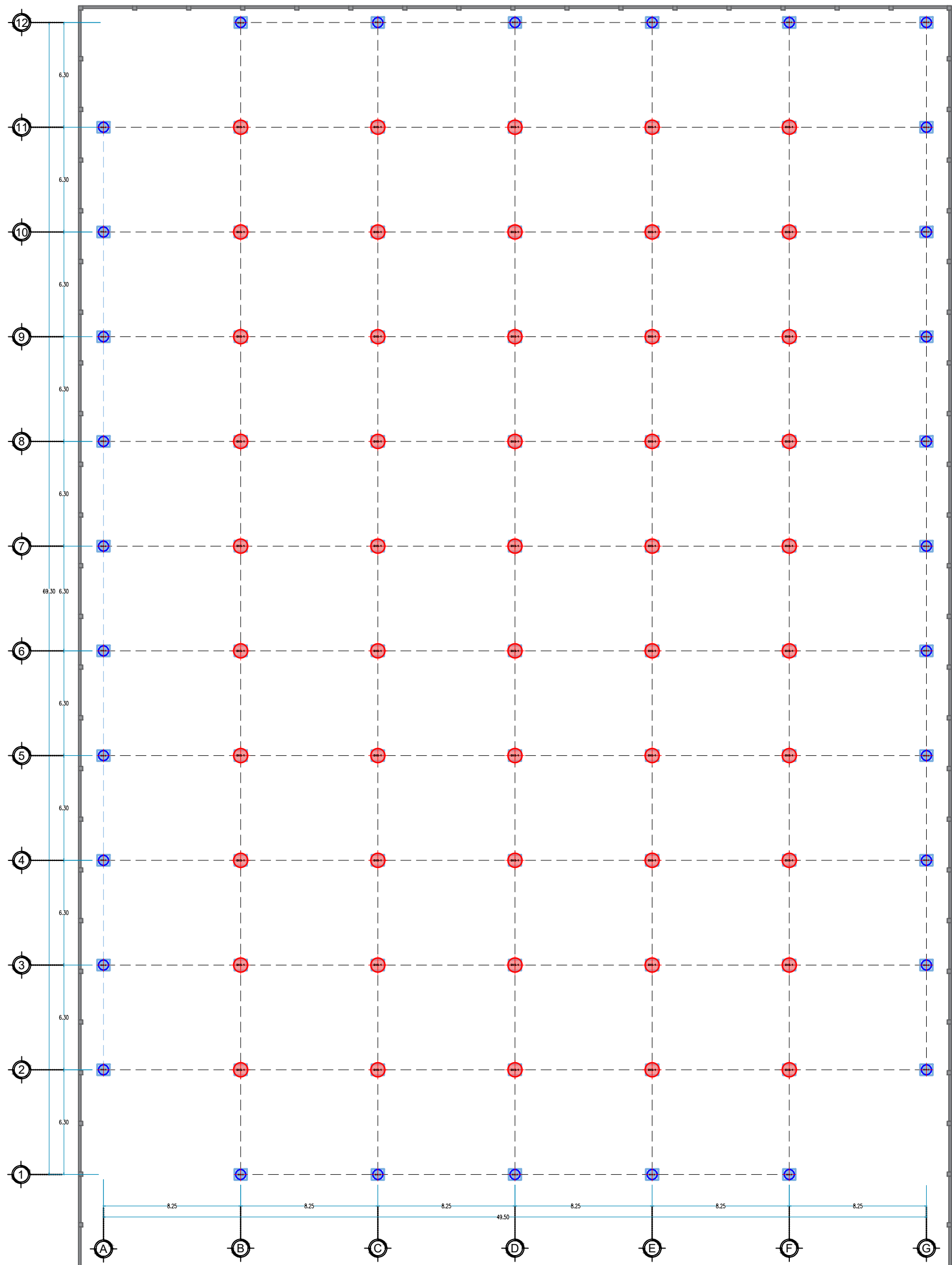
PLANO: **ESTRUCTURACION Y DISTRIBUCION DE ELEMENTOS** LAMINA:

PROPIETARIOS: **LA GENOVESA AGROINDUSTRIAS S.A.**

UBICACION: **PARQUE INDUSTRIAL MZ. I, LT. 09,10,11 - CALLE N°11 - TACNA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE TACNA**

CAD: *W.F.Ch.* ESCALA: **INDICADA** FECHA: **JULIO - 2024**

**E-1**



| LEYENDA  |  |          |  |
|----------|--|----------|--|
| ELEMENTO | DESCRIPCION  | ELEMENTO | DESCRIPCION  |
|          | Dispositivos Elatoméricos LRB - SN 850/200-185<br>Para elementos que vas ubicadas en el centro de la estructuración, por el soporte a mayor carga. |          | Dispositivos Elatoméricos LRB - SN 600/204-150<br>Para elementos que vas ubicadas los bordes de la estructuración, por el soporte a menor carga. |

## DISTRIBUCION DE LOS DISPOSITIVOS DE AISLAMIENTO

ESCALA: 1/250

PLANO: ESTRUCTURACION Y DISTRIBUCION DE ELEMENTOS

LAMINA:

PROPIETARIOS:

LA GENOVESA AGROINDUSTRIAS S.A.

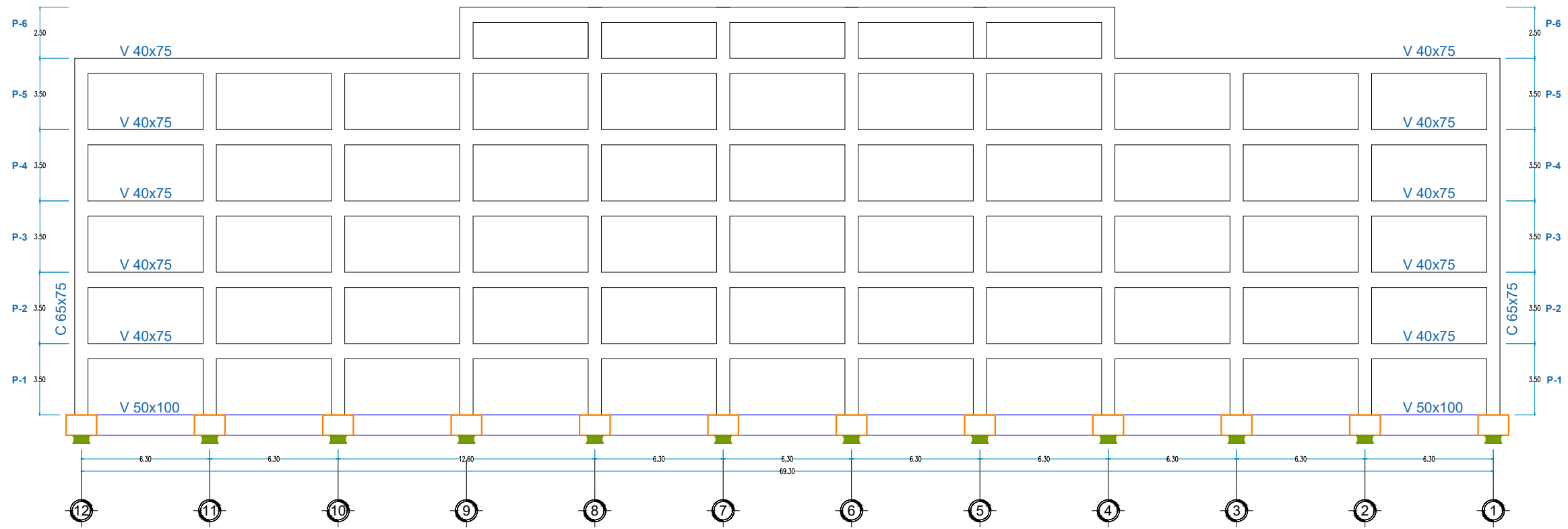
UBICACION: PARQUE INDUSTRIAL MZ. I, LT. 09,10,11 - CALLE N°11 - TACNA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE TACNA

CAD: W.F.CH.

ESCALA: INDICADA

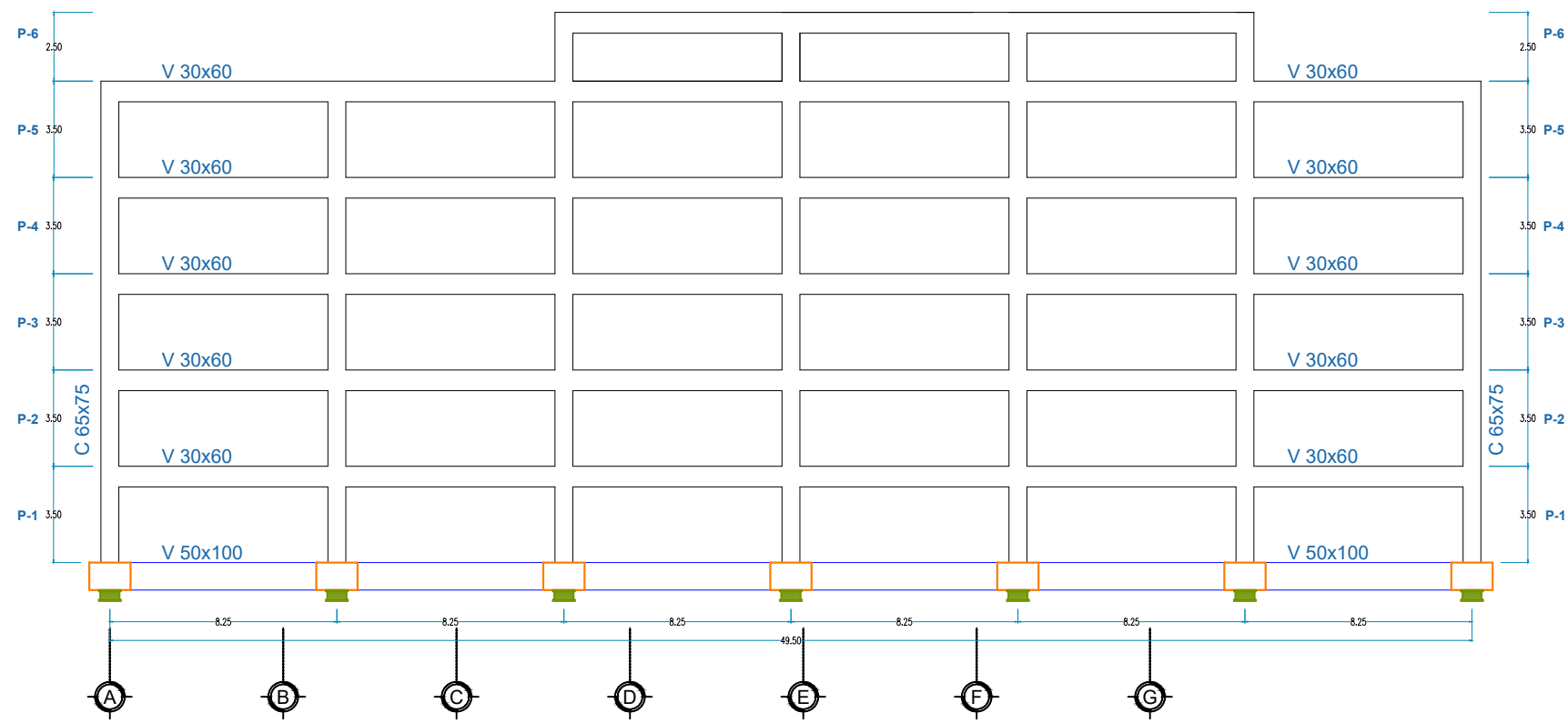
FECHA: JULIO - 2024

**E-2**



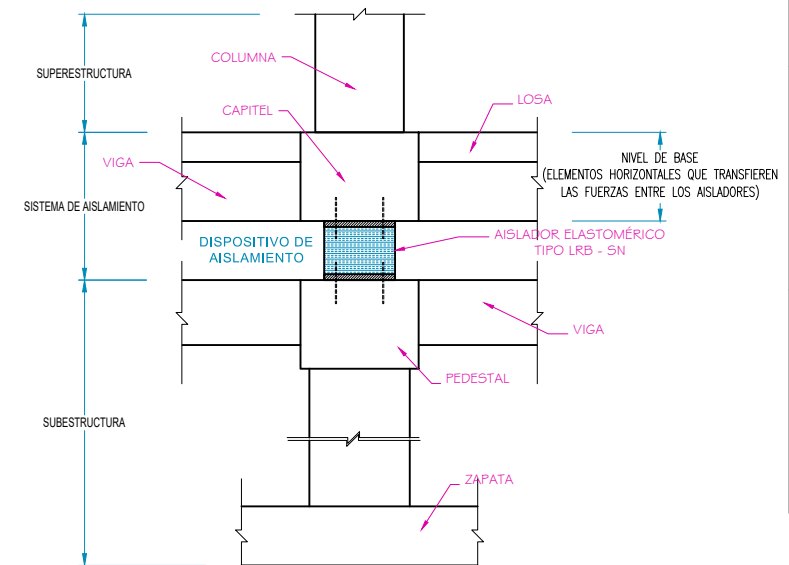
**EDIFICIO AISLADO - SECCION 1-1**

ESCALA: 1/250



**EDIFICIO AISLADO - SECCION 2-2**

ESCALA: 1/250



**DETALLE TÍPICO DE LA ESTRUCTURA AISLADA**

ESCALA: S/E

| CUADRO DE ELEMENTOS   |                |
|---|----------------|
| ELEMENTO  | TIPO / ESQUEMA |
| C-1<br>Columnas (único elemento)<br>Para: Niveles 1, 2, 3, 4, 5.  |                |
| VP-1<br>Vigas Peraltadas<br>Para: Nivel de Base o Sist. de Aislamiento. En ambas direcciones.   |                |
| VP-2<br>Vigas Peraltadas<br>Para: Niveles 1, 2, 3, 4 y 5. En la dirección X.  |                |
| VP-3<br>Vigas Peraltadas<br>Para: Niveles 1, 2, 3, 4 y 5. En la dirección Y.  |                |
| Cap<br>Capiteles (único elemento)<br>Para: Nivel de base o en el Sistema de Aislamiento.  |                |
| DIS -1<br>Dispositivos Elastoméricos LRB - SM 850/200-165<br>Para elementos que van ubicados en el centro de la estructura, por el soporte a mayor carga. |                |
| DIS -2<br>Dispositivos Elastoméricos LRB - SM 600/204-150<br>Para elementos que van ubicados los bordes de la estructura, por el soporte a menor carga.   |                |

|  |            |
|--|------------|
| PLANO: SECCIONES Y DETALLES  | LAMINA:    |
| PROPIETARIOS: LA GENOVESA AGROINDUSTRIAS S.A.  | <b>E-3</b> |
| UBICACION: PARQUE INDUSTRIAL MZ. I, LT. 09,10,11 - CALLE N°11 - TACNA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE TACNA |            |
| CAD: W.F.CH. ESCALA: INDICADA FECHA: JULIO - 2024  |            |