

**UNIVERSIDAD DE HUANUCO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERIA CIVIL**



**TESIS**

---

**“Análisis y diseño de estructuras aporticadas con aisladores  
sísmicos en la ciudad de Huánuco - 2023”**

---

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

**AUTOR: Espinoza Loarte, Mario Omar**

**ASESOR: Aguilar Alcantara, Leonel Marlo**

**HUÁNUCO – PERÚ**

**2024**

U

D

H



**UDH**  
UNIVERSIDAD DE HUANCAYO  
<http://www.udh.edu.pe>

**TIPO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN:**

- Tesis ( X )
- Trabajo de Suficiencia Profesional( )
- Trabajo de Investigación ( )
- Trabajo Académico ( )

**LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN:** Estructuras**AÑO DE LA LÍNEA DE INVESTIGACIÓN** (2020)**CAMPO DE CONOCIMIENTO OCDE:****Área:** Ingeniería, Tecnología**Sub área:** Ingeniería civil**Disciplina:** Ingeniería civil**DATOS DEL PROGRAMA:**

Nombre del Grado/Título a recibir: Título

Profesional de Ingeniero Civil

Código del Programa: P07

Tipo de Financiamiento:

- Propio ( X )
- UDH ( )
- Fondos Concursables ( )

**DATOS DEL AUTOR:**

Documento Nacional de Identidad (DNI): 40622952

**DATOS DEL ASESOR:**

Documento Nacional de Identidad (DNI): 43415813

Grado/Título: Maestro en ingeniería civil con  
mención en dirección de empresas de la  
construcción

Código ORCID: 0000-0002-0877-5922

**DATOS DE LOS JURADOS:**

| Nº | APELLIDOS<br>Y NOMBRES                    | GRADO                                                                                          | DNI      | Código<br>ORCID         |
|----|-------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|-------------------------|
| 1  | Jara Trujillo,<br>Alberto Carlos          | Maestro en<br>ingeniería, con<br>mención en<br>gestión ambiental<br>y desarrollo<br>sostenible | 41891649 | 0000-0001-<br>8392-1769 |
| 2  | Valdivieso<br>Echevarria,<br>Martin Cesar | Maestro en<br>gestión pública                                                                  | 22416570 | 0000-0002-<br>0579-5135 |
| 3  | Taboada<br>Trujillo, William<br>Paolo     | Doctor en medio<br>ambiente y<br>desarrollo<br>sostenible                                      | 40847625 | 0000-0002-<br>4594-1491 |



# UNIVERSIDAD DE HUANUCO

## Facultad de Ingeniería

### PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

#### ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO

##### (A) CIVIL

En la ciudad de Huánuco, siendo las 17: 00 horas del día **miércoles 24 de abril de 2024**, en cumplimiento de lo señalado en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad de Huánuco, se reunieron los **Jurados Calificadores** integrado por los docentes:

- |                                          |              |
|------------------------------------------|--------------|
| ❖ MG. ALBERTO CARLOS JARA TRUJILLO       | - PRESIDENTE |
| ❖ MG. MARTIN CÉSAR VALDIVIESO ECHEVARRÍA | - SECRETARIO |
| ❖ MG. WILLIAM PAOLO TABOADA TRUJILLO     | - VOCAL      |

Nombrados mediante la RESOLUCIÓN No 0832-2024-D-FI-UDH, para evaluar la Tesis intitulada: **"ANÁLISIS Y DISEÑO DE ESTRUCTURAS APORTICADAS CON AISLADORES SÍSMICOS EN LA CIUDAD DE HUANUCO - 2023"**, presentado por el (la) Bachiller. **Bach. Mario Omar ESPINOZA LOARTE**, para optar el Título Profesional de Ingeniero(a) Civil.

Dicho acto de sustentación se desarrolló en dos etapas: exposición y absolución de preguntas: procediéndose luego a la evaluación por parte de los miembros del Jurado.

Habiendo absuelto las objeciones que le fueron formuladas por los miembros del Jurado y de conformidad con las respectivas disposiciones reglamentarias, procedieron a deliberar y calificar, declarándolo(a) **A.P.R.O.B.A.D.O.** por **Unanimidad** con el calificativo cuantitativo de **11** y cualitativo de **SUFICIENTE** (Art. 47).

Siendo las **18<sup>h</sup> 10'** horas del día 24 del mes de abril del año 2024, los miembros del Jurado Calificador firman la presente Acta en señal de conformidad.

  
MG. ALBERTO CARLOS JARA TRUJILLO  
DNI: 41891649  
ORCID: 0000-0001-8392-1769  
Presidente

  
MG. MARTIN CÉSAR VALDIVIESO ECHEVARRÍA  
DNI: 22416570  
ORCID: 0000-0002-0579-5135  
Secretario

  
MG. WILLIAM PAOLO TABOADA TRUJILLO  
DNI: 40847625  
ORCID: 0000-0002-4594-1491  
Vocal



## UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

### CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

El comité de integridad científica, realizó la revisión del trabajo de investigación del estudiante: MARIO OMAR ESPINOZA LOARTE, de la investigación titulada "ANÁLISIS Y DISEÑO DE ESTRUCTURAS APORTICADAS CON AISLADORES SÍSMICOS EN LA CIUDAD DE HUÁNUCO - 2023", con asesor(a) LEONEL MARLO AGUILAR ALCANTARA, designado(a) mediante documento: RESOLUCIÓN N° 251-2023-R-UDH del P. A. de INGENIERÍA CIVIL.

Puede constar que la misma tiene un índice de similitud del 21 % verificable en el reporte final del análisis de originalidad mediante el Software Turnitin.

Por lo que concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio y cumple con todas las normas de la Universidad de Huánuco.

Se expide la presente, a solicitud del interesado para los fines que estime conveniente.

Huánuco, 26 de junio de 2025



RICHARD J. SOLIS TOLEDO  
D.N.I.: 47074047  
cod. ORCID: 0000-0002-7629-6421



MANUEL E. ALIAGA VIDURIZAGA  
D.N.I.: 71345687  
cod. ORCID: 0009-0004-1375-5004

## 183. ESPINOZA LOARTE MARIO OMAR.docx

### INFORME DE ORIGINALIDAD

|                     |                     |               |                         |
|---------------------|---------------------|---------------|-------------------------|
| 21 %                | 21 %                | 2 %           | 4 %                     |
| INDICE DE SIMILITUD | FUENTES DE INTERNET | PUBLICACIONES | TRABAJOS DEL ESTUDIANTE |

### FUENTES PRIMARIAS

|    |                                                                      |      |
|----|----------------------------------------------------------------------|------|
| 1  | <a href="http://bibliotecas.unsa.edu.pe">bibliotecas.unsa.edu.pe</a> | 14 % |
|    | Fuente de Internet                                                   |      |
| 2  | <a href="http://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a>                   | 2 %  |
|    | Fuente de Internet                                                   |      |
| 3  | <a href="http://distancia.udh.edu.pe">distancia.udh.edu.pe</a>       | 1 %  |
|    | Fuente de Internet                                                   |      |
| 4  | <a href="http://repositorio.unsa.edu.pe">repositorio.unsa.edu.pe</a> | 1 %  |
|    | Fuente de Internet                                                   |      |
| 5  | Submitted to Universidad Politécnica del Perú                        | 1 %  |
|    | Trabajo del estudiante                                               |      |
| 6  | <a href="http://vsip.info">vsip.info</a>                             | <1 % |
|    | Fuente de Internet                                                   |      |
| 7  | <a href="http://repositorio.udh.edu.pe">repositorio.udh.edu.pe</a>   | <1 % |
|    | Fuente de Internet                                                   |      |
| 8  | <a href="http://kupdf.net">kupdf.net</a>                             | <1 % |
|    | Fuente de Internet                                                   |      |
| 9  | <a href="http://repositorio.usmp.edu.pe">repositorio.usmp.edu.pe</a> | <1 % |
|    | Fuente de Internet                                                   |      |
| 10 | <a href="http://1library.co">1library.co</a>                         | <1 % |
|    | Fuente de Internet                                                   |      |



RICHARD J. SOLIS TOLEDO

D.N.I.: 47074047

cod. ORCID: 0000-0002-7629-6421



MANUEL E. ALIAGA VIDURIZAGA

D.N.I.: 71345687

cod. ORCID: 0009-0004-1375-5004

## **DEDICATORIA**

A mis padres, hermanos y compañeros, quienes con su amor, sacrificio y enseñanzas han sido la base fundamental en cada paso de mi vida. Les agradezco que siempre hayan tenido fe en mí y me hayan proporcionado el apoyo necesario para triunfar.

En especial, a mi adorada hija Ariana, que es la razón principal de mis esfuerzos. A todos ustedes les dedico este logro con todo mi corazón. Sin su apoyo y confianza, nada de esto habría sido posible.

## **AGRADECIMIENTOS**

Deseo expresar mi mayor agradecimiento a la Universidad de Huánuco, una institución que proporciona no solo conocimiento académico, sino que también contribuye significativamente al crecimiento personal y profesional.

Tuve la increíble oportunidad de estudiar con maestros impresionantes, cuyo ejemplo, pasión y arduo trabajo me llevan y me planean construirme como profesional. La Universidad de Huánuco es mi hogar y estoy agradecido de haber tenido la oportunidad de ser un estudiante.

## ÍNDICE

|                                              |      |
|----------------------------------------------|------|
| DEDICATORIA.....                             | II   |
| AGRADECIMIENTOS.....                         | III  |
| ÍNDICE .....                                 | IV   |
| ÍNDICE DE TABLAS.....                        | VII  |
| ÍNDICE DE FIGURAS.....                       | IX   |
| RESUMEN.....                                 | XII  |
| ABSTRACT .....                               | XIII |
| INTRODUCCIÓN.....                            | XIV  |
| CAPITULO I.....                              | 15   |
| PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....              | 15   |
| 1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....           | 15   |
| 1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....          | 15   |
| 1.2.1. PROBLEMA GENERAL .....                | 15   |
| 1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS.....            | 16   |
| 1.3. OBJETIVOS.....                          | 16   |
| 1.3.1. OBJETIVO GENERAL .....                | 16   |
| 1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....            | 16   |
| 1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN ..... | 16   |
| 1.4.1. JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA.....           | 17   |
| 1.4.2. JUSTIFICACIÓN TEÓRICA.....            | 17   |
| 1.4.3. JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA.....       | 17   |
| 1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN .....  | 18   |
| 1.6. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN .....    | 18   |
| 1.6.1. VIABILIDAD .....                      | 18   |
| 1.6.2. TIEMPO .....                          | 18   |
| 1.6.3. FINANCIAMIENTO .....                  | 18   |
| CAPITULO II.....                             | 19   |
| MARCO TEÓRICO .....                          | 19   |
| 2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN .....  | 19   |
| 2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES .....    | 19   |
| 2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES.....          | 21   |
| 2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES .....            | 22   |

|                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.2. BASES TEÓRICAS .....                                                                 | 23 |
| 2.2.1. DISPOSITIVOS DE AISLAMIENTO ELASTOMÉRICO .....                                     | 23 |
| 2.2.2. AISLADORES DESLIZANTES.....                                                        | 25 |
| 2.2.3. COMPORTAMIENTO DEL SISTEMA AISLADO.....                                            | 27 |
| 2.2.4. PAUTAS GENERALES PARA EL ANÁLISIS Y DISEÑO<br>UTILIZANDO AISLADORES SÍSMICOS ..... | 29 |
| 2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES.....                                                       | 30 |
| 2.4. HIPÓTESIS.....                                                                       | 32 |
| 2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL.....                                                             | 32 |
| 2.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS .....                                                        | 32 |
| 2.5. VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN .....                                                  | 33 |
| 2.5.1. VARIABLES DEPENDIENTES .....                                                       | 33 |
| 2.5.2. VARIABLES INDEPENDIENTES.....                                                      | 33 |
| 2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES .....                                                | 33 |
| CAPITULO III.....                                                                         | 34 |
| METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN .....                                                        | 34 |
| 3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN .....                                                          | 34 |
| 3.1.1. ENFOQUE.....                                                                       | 34 |
| 3.1.2. ALCANCE O NIVEL.....                                                               | 34 |
| 3.1.3. DISEÑO.....                                                                        | 34 |
| 3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA .....                                                            | 35 |
| 3.2.1. POBLACIÓN.....                                                                     | 35 |
| 3.2.2. MUESTRA .....                                                                      | 35 |
| 3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS....                                   | 36 |
| 3.3.1. PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS.....                                                  | 36 |
| 3.3.2. PARA LA PRESENTACIÓN DE DATOS.....                                                 | 36 |
| 3.3.3. PARA EL ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS .....                                   | 36 |
| CAPITULO IV .....                                                                         | 37 |
| RESULTADOS .....                                                                          | 37 |
| 4.1. PROCESAMIENTO DE DATOS.....                                                          | 37 |
| 4.1.1. ESTRUCTURACIÓN DE LA EDIFICACIÓN.....                                              | 37 |
| 4.1.2. PREDIMENSIONAMIENTO Y METRADO DE CARGAS .....                                      | 40 |
| 4.1.3. ESTUDIO SÍSMICO DE LA ESTRUCTURA.....                                              | 53 |
| 4.1.4. ESTUDIO ESTÁTICO .....                                                             | 59 |

|                                                                                       |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.1.5. OPCIONES PARA EL SISTEMA DE AISLAMIENTO BASAL DE LA ESTRUCTURA .....           | 64  |
| 4.1.6. ANÁLISIS DINÁMICO .....                                                        | 73  |
| 4.1.7. DISEÑO DE LOS ELEMENTOS DE LA INFRAESTRUCTURA .....                            | 87  |
| 4.1.8. MODELO POR FLEXIÓN .....                                                       | 91  |
| 4.1.9. DISEÑO POR CORTE .....                                                         | 95  |
| 4.1.10. DISEÑO DE LOSA MACIZA .....                                                   | 96  |
| 4.1.11. MODELO POR CORTE .....                                                        | 98  |
| 4.1.12. DISEÑO DE COLUMNAS .....                                                      | 99  |
| 4.1.13. DISEÑO POR FLEXIÓN .....                                                      | 103 |
| 4.1.14. VERIFICACIÓN DE PRESIONES .....                                               | 104 |
| 4.1.15. DISEÑO POR CORTE .....                                                        | 106 |
| 4.1.16. DISEÑO POR FLEXIÓN .....                                                      | 107 |
| 4.1.17. DISEÑO DE LAS VIGAS DE CIMENTACIÓN .....                                      | 108 |
| 4.1.18. DISEÑO DE OTROS ELEMENTOS .....                                               | 109 |
| 4.1.19. DADOS DE CONCRETO .....                                                       | 115 |
| 4.1.20. COMPROBACIÓN LÍMITE DE LOS ESTADOS PARA LOS DISPOSITIVOS DE AISLAMIENTO ..... | 116 |
| CAPITULO V .....                                                                      | 120 |
| DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS .....                                                     | 120 |
| 5.1. PRESENTAR LA CONTRASTACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN .....  | 120 |
| CONCLUSIONES .....                                                                    | 123 |
| RECOMENDACIONES .....                                                                 | 125 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....                                                      | 127 |
| ANEXOS .....                                                                          | 129 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|                                                                                                 |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1 Operacionalización de variables .....                                                   | 33 |
| Tabla 2 Peso Específico y Peso Unitario .....                                                   | 45 |
| Tabla 3 Cargas mínimas (según RNE E-020) .....                                                  | 45 |
| Tabla 4 Factores de forma (C)* (RNE E-020) .....                                                | 46 |
| Tabla 5 Peso del Edificio por niveles .....                                                     | 47 |
| Tabla 6 Peso Sísmico del Edificio .....                                                         | 47 |
| Tabla 7 Factor de Zona "Z" (RNE-E030) .....                                                     | 53 |
| Tabla 8 Factor de Suelo "S" (RNE E-030) .....                                                   | 54 |
| Tabla 9 Periodos "Tp y TL" .....                                                                | 54 |
| Tabla 10 Estructural del edificio (RNE E-030) .....                                             | 55 |
| Tabla 11 Irregularidades en la altura "Ia" (RNE-E030) .....                                     | 56 |
| Tabla 12 Irregularidades en Planta "Ip" (RNE-E030) .....                                        | 57 |
| Tabla 13 Modos de Vibración en la estructura de base fija .....                                 | 60 |
| Tabla 14 Normativas de sismicidad aplicadas a estructuras con dispositivos<br>de aislación..... | 62 |
| Tabla 15 Rigideces y Desplazamientos de diseño y máximos .....                                  | 63 |
| Tabla 16 Fuerza lateral tanto del sistema de aislación como de la estructura<br>superior .....  | 64 |
| Tabla 17 Procedimiento de diseño de los aisladores LRB .....                                    | 66 |
| Tabla 18 Proceso de modelo de los deslizadores de forma plana .....                             | 72 |
| Tabla 19 Información inicial para el diseño de aisladores .....                                 | 72 |
| Tabla 20 Dimensiones de los dispositivos .....                                                  | 73 |
| Tabla 21 Características del sistema de aislamiento .....                                       | 73 |
| Tabla 22 Modos de oscilación de la edificación con aislamiento en la base                       | 74 |
| Tabla 23 Resultados obtenidos luego del análisis para el (SD) .....                             | 77 |
| Tabla 24 Resultados obtenidos luego del análisis para el (SMP) .....                            | 77 |
| Tabla 25 Resultados del análisis tiempo-historia (Lima-1974) .....                              | 80 |
| Tabla 26 Parámetros obtenidos del diagrama histerético .....                                    | 81 |
| Tabla 27 Comprobación de irregularidad Rigidez-Piso blando.....                                 | 82 |
| Tabla 28 Comprobación de irregularidad Rigidez-Piso débil.....                                  | 82 |
| Tabla 29 Verificación de deformidad en Masa o Peso .....                                        | 82 |
| Tabla 30 Comprobación de Irregularidad Torsional .....                                          | 83 |

|                                                                                                     |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabla 31 Comparación de los desplazamientos obtenidos en los análisis<br>estático y espectral ..... | 84  |
| Tabla 32 Comprobación de desplazamientos mínimos .....                                              | 85  |
| Tabla 33 Comparación de los Cortantes obtenidos de los análisis estático y<br>espectral .....       | 86  |
| Tabla 34 Comprobación de los cortantes mínimos .....                                                | 86  |
| Tabla 35 Comprobación de la fuerza de restitución .....                                             | 87  |
| Tabla 36 Longitud de anclaje para concreto $f'_c=210\text{kg/cm}^2$ .....                           | 89  |
| Tabla 37 Longitud de desarrollo para concreto $f'_c=210\text{kg/cm}^2$ .....                        | 90  |
| Tabla 38 Diseño por flexión de la losa aligerada en los niveles 1 al 3 .....                        | 93  |
| Tabla 39 Diseño por flexión de la losa aligerada en el nivel 4 .....                                | 94  |
| Tabla 40 Diseño por corte de la losa aligerada de los niveles 1 al 3 .....                          | 96  |
| Tabla 41 Diseño por corte de la losa aligera del 4 nivel .....                                      | 96  |
| Tabla 42 Parámetros de diseño para la losa del diafragma de aislación .....                         | 97  |
| Tabla 43 Requerimientos mínimos para la losa del diafragma de aislación .....                       | 97  |
| Tabla 44 Verificación del cortante en la losa sólida .....                                          | 99  |
| Tabla 45 Cargas y combinaciones de carga que actúan en la columna en<br>estudio .....               | 102 |
| Tabla 46 Verificación del cortante en las zapatas .....                                             | 107 |
| Tabla 47 Diseño a flexión de la zapata .....                                                        | 107 |
| Tabla 48 Análisis de flexión para la viga de cimentación .....                                      | 108 |
| Tabla 49 Modelo de corte para la viga de cimentación .....                                          | 109 |
| Tabla 50 Diseño a corte y flexión de la escalera .....                                              | 111 |
| Tabla 51 Proceso de modelo .....                                                                    | 112 |
| Tabla 52 Valores correspondientes a C1 (tabla 12, Norma E-030) .....                                | 113 |
| Tabla 53 Información el muro y condiciones de confinamiento .....                                   | 113 |
| Tabla 54 Calculo de la fuerza sísmica de diseño y mínima en el tabique .....                        | 114 |
| Tabla 55 Cálculo del momento flector $M_s$ y los esfuerzos en la albañilería .....                  | 114 |
| Tabla 56 Diseño de los arriostres .....                                                             | 115 |
| Tabla 57 Momentos debido al efecto $P - \Delta$ .....                                               | 117 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|                                                                                                                                                            |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 A. E. de caucho natural (NRB).....                                                                                                                | 24 |
| Figura 2 A. E. de alta amortiguación (HDR) .....                                                                                                           | 24 |
| Figura 3 A. E. con núcleo de plomo (LRB) .....                                                                                                             | 25 |
| Figura 4 Prueba compresional .....                                                                                                                         | 26 |
| Figura 5 Centro de gravedad .....                                                                                                                          | 26 |
| Figura 6 Situación sísmica.....                                                                                                                            | 27 |
| Figura 7 Impacto del aislamiento en el rendimiento dinámico .....                                                                                          | 28 |
| Figura 8 Modelo de estructura aislada .....                                                                                                                | 29 |
| Figura 9 Diseño de investigación .....                                                                                                                     | 34 |
| Figura 10 Planta del primer nivel de la estructura a aislar.....                                                                                           | 38 |
| Figura 11 Posicionamiento de dispositivos aisladores en las columnas del sótano.....                                                                       | 39 |
| Figura 12 Predimensionamiento de losa aligerada .....                                                                                                      | 41 |
| Figura 13 Predimensionamiento de las vigas.....                                                                                                            | 43 |
| Figura 14 Predimensionamiento de las columnas.....                                                                                                         | 44 |
| Figura 15 Grillas para el modelamiento .....                                                                                                               | 48 |
| Figura 16 Propiedades del concreto-ETABS .....                                                                                                             | 48 |
| Figura 17 Propiedades del acero-ETABS .....                                                                                                                | 49 |
| Figura 18 Barras de reforzamiento-ETABS.....                                                                                                               | 49 |
| Figura 19 Propiedades de columna de 50X50-ETABS .....                                                                                                      | 50 |
| Figura 20 Propiedades de columna de 40X60-ETABS .....                                                                                                      | 50 |
| Figura 21 Propiedades de viga principal de 30x50-ETABS.....                                                                                                | 51 |
| Figura 22 Propiedades de viga secundaria de 30x40-ETABS .....                                                                                              | 51 |
| Figura 23 Propiedades de losa aligerada de 20cm-ETABS .....                                                                                                | 52 |
| Figura 24 Representación en 3 dimensiones del diseño de la edificación....                                                                                 | 52 |
| Figura 25 Espectro de Respuesta de Diseño E-030 .....                                                                                                      | 59 |
| Figura 26 Lugar donde se encuentran los dispositivos de aislamiento al interior de las columnas .....                                                      | 60 |
| Figura 27 Rigideces efectivas KD (gris) y KM (amarillo) .....                                                                                              | 61 |
| Figura 28 Localización de equipos de aislamiento considerados .....                                                                                        | 65 |
| Figura 29 Representación en planta de los 2 modos iniciales de oscilación de la edificación aislada. Modo 1 (lado izquierdo) y Modo 2 (lado derecho). .... | 75 |

|                                                                                                                   |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 30 Representación en planta de los 2 modos iniciales de oscilación de la edificación aislada. Modo 1 ..... | 75  |
| Figura 31 Representación en planta de los 2 modos iniciales de oscilación de la edificación aislada. Modo 2 ..... | 75  |
| Figura 32 Espectro de diseño de la norma E-030 reducido por amortiguamiento y $R=1$ .....                         | 76  |
| Figura 33 Espectro de diseño de la norma E-030 reducido por amortiguamiento y $R=2$ .....                         | 77  |
| Figura 34 Componente Este-Oeste (EW) del sismo de Lima 1974 .....                                                 | 79  |
| Figura 35 Componente Norte-Sur (NS) del sismo de Lima 1974 .....                                                  | 79  |
| Figura 36 Superposición de espectros de la norma E-030 y las componentes EW y NS del sismo de Lima de 1974 .....  | 79  |
| Figura 37 Diagrama de histéresis para el sistema de aislamiento (total) .....                                     | 80  |
| Figura 38 Desplazamiento de piso del sistema aislado para el SD .....                                             | 83  |
| Figura 39 Derivas de piso del sistema aislado para el SD .....                                                    | 84  |
| Figura 40 Fuerza cortante que actúa en el edificio aislado .....                                                  | 85  |
| Figura 41 Aceleraciones en el edificio aislado .....                                                              | 86  |
| Figura 42 Resultados del acero para vigas-columnas .....                                                          | 91  |
| Figura 43 Diagrama de momento flector para la losa aligerada de los niveles 1 al 3 .....                          | 91  |
| Figura 44 Diagrama de momento flector para la losa aligerada del 4 nivel ..                                       | 92  |
| Figura 45 Diagrama de fuerzas cortantes para la losa aligerada de los niveles 1 al 3 .....                        | 95  |
| Figura 46 Diagrama de fuerzas cortantes para la losa aligerada del 4 nivel                                        | 95  |
| Figura 47 Momento flector en la orientación X-X .....                                                             | 98  |
| Figura 48 Momento de flexión en la orientación Y-Y .....                                                          | 98  |
| Figura 49 Representación gráfica de las fuerzas cortantes en ambas orientaciones de la losa sólida .....          | 99  |
| Figura 50 Espaciamiento máximo del refuerzo longitudinal (E-060) .....                                            | 101 |
| Figura 51 Diagrama de interacción en la dirección X-X de la columna .....                                         | 103 |
| Figura 52 Diagrama de interacción en la dirección Y-Y de la columna .....                                         | 103 |
| Figura 53 Momento para el cálculo del modelo de flexión en zapatas .....                                          | 104 |
| Figura 54 Presiones debidas a las cargas de Gravedad (CM+CV) (tonf/m2) .....                                      | 105 |

|                                                                                                                               |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 55 Presiones debidas a las cargas de Gravedad y el Sismo en la<br>dirección +X (CM+CV+SX) (tonf/m <sup>2</sup> ) ..... | 105 |
| Figura 56 Presiones debidas a las cargas de Gravedad y el Sismo en la<br>dirección +Y (CM+CV+SY) (tonf/m <sup>2</sup> ) ..... | 106 |
| Figura 57 Esfuerzos cortantes en las zapatas (Dir. X-X).....                                                                  | 107 |
| Figura 58 Representación gráfica de una escalinata en voladizo .....                                                          | 109 |
| Figura 59 Representación gráfica de los esfuerzos cortantes (izquierda) y los<br>momentos flectores (derecha) .....           | 110 |
| Figura 60 Detalle de acero de los dados de concreto .....                                                                     | 116 |

## RESUMEN

Una ventaja significativa del uso del aislamiento sísmico en el estudio y diseño de la estructura de pórticos es el cálculo preciso de los requisitos de rigidez, resistencia y ductilidad del sistema. Sobre la base de este cálculo, un edificio puede construirse para que funcione a determinados niveles de rendimiento para los que fue concebido. Del mismo modo, se puede evaluar la vulnerabilidad sísmica de las estructuras construidas teniendo en cuenta los requisitos y criterios sísmicos.

Esta tesis utiliza el aislamiento sísmico para mejorar el análisis sísmico y el diseño de una instalación médica (clínica). Este enfoque ayuda a minimizar los daños en la estructura y el contenido del edificio. Debido a la flexibilidad requerida por las tecnologías utilizadas, la estructura se comporta prácticamente de forma elástica cuando se producen terremotos importantes.

El edificio seleccionado está clasificado como sistema estructural, con pórticos de concreto armado, el cual estará situado en la ciudad de Huánuco y tendrá una planta regular, cuatro niveles y sótano.

La estructura del edificio fue la fase inicial, seguida del predimensionamiento del sistema aislado, un proceso iterativo que utiliza normas extranjeras, dando prioridad a la norma ASCE/SEI 7-10, para llegar a la configuración adecuada. A continuación, se tuvieron en cuenta las estipulaciones de nuestra norma sismorresistente E-030, y se verificaron todas las limitaciones mencionadas en ella, tanto en términos de deriva como de límites de cortante. Por último, se diseñaron los elementos estructurales del edificio.

**Palabras clave:** Aislación sísmica, flexibilidad, sismos, derivas, pórticos.

## ABSTRACT

A significant benefit of using seismic isolation in the study and design of the portal frame structure is the precise calculation of the system's stiffness, strength, and ductility requirements. Based on this calculation, a building may be built to function at certain performance levels for which it was intended. In a similar vein, structures that were constructed with seismic requirements and criteria in mind can have their seismic vulnerability assessed.

This thesis uses seismic isolation to improve seismic analysis and the design of a medical facility (clinical). This approach helps to minimize damage to the building's structure and content. Because of the flexibility required by the technologies used, the structure behaves practically in an elastic manner when significant earthquakes occur.

The selected building is classified as a structural system, with reinforced concrete frames, which will be located in the city of Huánuco and will have a regular floor plan, four levels and a basement.

The building structure was the initial phase, followed by the pre-dimensioning of the isolated system, an iterative process using foreign standards, giving priority to the ASCE/SEI 7-10 standard, to arrive at the appropriate configuration. Next, the stipulations of our seismic-resistant standard E-030 were taken into account, and all the restrictions specified in that standard were confirmed, both in drift and shear limits. Finally, the structural components of the isolated building were designed.

**Keywords:** Seismic isolation, flexibility, earthquakes, drifts, porches.

## INTRODUCCIÓN

El Perú es un país de constante vulnerabilidad sísmica. Por ello, es de suma importancia que la ingeniería civil siga investigando y empleando tecnologías que contribuyan a fortalecer la resiliencia de las edificaciones en el territorio. Esta investigación contribuirá a la divulgación y uso de los sistemas de aislamiento sísmico en las estructuras aporticadas, lo que permitirá impulsar una nueva era en la construcción en el Perú y elevar los estándares de seguridad y sostenibilidad.

La investigación realizada tiene como objetivo principal explorar los fundamentos del análisis y diseño de estructuras aporticadas con aisladores sísmicos, con énfasis en su aplicación al entorno peruano. Se abordarán los principios teóricos que sustentan el comportamiento de estas estructuras, así como las metodologías empleadas para su análisis y diseño.

Un logro importante en la ingeniería civil es la creación y el uso de sistemas de aislamiento sísmico en edificaciones aporticadas, que combinan las innovaciones tecnológicas con la economía estructural. En el contexto peruano, donde las normas de construcción sísmica, como la Norma Técnica E.030, establecen lineamientos estrictos para el diseño de estructuras resistentes a sismos, esta tecnología abre nuevas posibilidades para garantizar la seguridad estructural en edificaciones estratégicas y de uso público.

Las estructuras aporticadas son un tipo de sistema estructural ampliamente utilizado en edificaciones de mediana y gran escala debido a su flexibilidad y capacidad de distribución de cargas. Sin embargo, su desempeño ante fuerzas sísmicas puede ser limitado en ciertos escenarios, especialmente en zonas de alta peligrosidad. Por el contrario, los aislantes sísmicos son dispositivos que se colocan entre la base de una estructura y sus cimientos para separar la vibración del suelo y de la estructura. Esta tecnología permite reducir significativamente la aceleración transmitida al edificio, disminuyendo los daños potenciales y protegiendo tanto a los ocupantes como a los bienes materiales.

## **CAPITULO I**

### **PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

#### **1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA**

Los terremotos son comunes en nuestro país y se necesitan estructuras que puedan soportar la intensidad de los terremotos. Antes de que se utilizara el modelo E-030 en Perú, no existían estándares para el diseño y, por lo tanto, los modelos existentes pueden estar expuestos a eventos naturales. Es importante apoyar el desarrollo de este sector mediante el uso de métodos financieros fáciles de usar en el país.

En el Perú, la energía sísmica es muy importante en la construcción civil, y como se mencionó anteriormente, el país se encuentra en área arriesgada a la sismicidad, lo que conlleva que tenga capas más estandarizadas que elásticas y estén hechas en área plástica.

Porque conlleva un alto riesgo. El presente artículo tiene como objetivo realizar un alejamiento contra los sismos en la cimentación de las construcciones porticadas del departamento de Huánuco.

#### **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

Al momento de que un terremoto daña un edificio, la estructura del edificio se daña y para evitar este daño, el diseño sísmico se centra en el movimiento de los pisos y lo limita al máximo. Por tanto, la estructura requiere elementos con cordones de mayor tamaño y mayor ductilidad.

##### **1.2.1. PROBLEMA GENERAL**

¿Cómo mejorar el diseño de estructuras aporticadas con aisladores sísmicos en la ciudad de Huánuco - 2023?

### **1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS**

- ¿Cómo mejorar el diseño de aisladores sísmicos en estructuras aporticadas, considerando las condiciones geológicas y sísmicas en la ciudad de Huánuco?
- ¿Cómo mejorar la reducción de los desplazamientos, velocidades y aceleraciones globales en una estructura aporticada en la ciudad de Huánuco?
- ¿Cómo mejorar la comparación de los resultados obtenidos del tipo de aislador sísmico con las estructuras convencionales en la ciudad de Huánuco?

## **1.3. OBJETIVOS**

### **1.3.1. OBJETIVO GENERAL**

Analizar el diseño de estructuras aporticadas con aisladores sísmicos en la ciudad de Huánuco - 2023.

### **1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Diseñar aisladores sísmicos en estructuras aporticadas, considerando las condiciones geológicas y sísmicas en la ciudad de Huánuco.
- Determinar la reducción de los desplazamientos, velocidades y aceleraciones globales en una estructura aporticada en la ciudad de Huánuco.
- Comparar los resultados obtenidos del tipo de aislador sísmico con las estructuras convencionales en la ciudad de Huánuco.

## **1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

La tecnología de aislamiento sísmico, que motiva a numerosos innovadores a desarrollar nuevos sistemas cada año, es el foco de esta

investigación. Sin embargo, este estudio se enfoca en los sistemas convencionales y ampliamente utilizados, como los sistemas de elastómeros y otros sistemas exitosos.

Se anticipa que la implementación de sistemas estructurales aislados sísmicamente beneficiará a todas las edificaciones a nivel local y nacional al prevenir daños estructurales y, principalmente, colapsos.

Al dar confianza, seguridad y tranquilidad a las personas que han visto los efectos destructivos de los terremotos a lo largo de los años, este planteamiento podría tener un gran impacto en la población.

#### **1.4.1. JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA**

Esta investigación busca abordar esta problemática específica mediante el análisis y diseño de estructuras aporticadas con aisladores sísmicos, ofreciendo así una solución técnica y práctica para mejorar la resistencia sísmica de las edificaciones en la ciudad de Huánuco. Los resultados de este estudio tendrán una repercusión directa en la prevención de víctimas mortales y la minimización de pérdidas materiales durante futuras actividades sísmicas.

#### **1.4.2. JUSTIFICACIÓN TEÓRICA**

El uso de aisladores sísmicos representa una estrategia innovadora para mitigar los efectos sísmicos en las edificaciones. El estudio y la aplicación de teorías recopiladas en el análisis de investigaciones anteriores sobre el comportamiento de estructuras aporticadas con aisladores sísmicos constituyen la base de esta investigación.

#### **1.4.3. JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA**

Desde el punto de vista práctico, este estudio facilita el planteamiento de soluciones como el diseño de edificios con aislantes sísmicos. Esta mezcla de técnicas metodológicas permitirá obtener resultados fiables.

## **1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN**

Por lo dicho en la descripción del problema, el enfoque de investigación de este artículo es realizar análisis compartimental y diseño de balcón en la ciudad de Huánuco. Después del diseño, el edificio se fortalece mediante análisis sísmicos estáticos no lineales para que el edificio alcance el rendimiento deseado, lo que se refleja en el nivel de daño al edificio después del terremoto.

## **1.6. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN**

El estudio se hizo factible desde los siguientes puntos de vista:

### **1.6.1. VIABILIDAD**

Este estudio fue posible gracias a que el investigador tuvo la oportunidad de visitar diferentes bibliotecas de la zona, además de lograr revisar la evidencia y los equipos electrónicos, todos ellos datos secundarios; basado en información importante, con la colaboración de profesores universitarios que impartieron las materias que me presentaron. En cuanto al uso de equipos de transcripción y futuras investigaciones, no hay problemas, ya que los investigadores tienen acceso a estas herramientas.

### **1.6.2. TIEMPO**

Para llevar a cabo la investigación, los investigadores cuentan con un programa de trabajo conjunto durante un período de tiempo que se considera suficiente para apoyar el desarrollo de la investigación.

### **1.6.3. FINANCIAMIENTO**

Debido a la falta de apoyo de organismos públicos y/o privados en este campo, el investigador tiene que pagar los costos de redacción, impresión y transporte que involucra el proceso y proporcionar la información y demás información requerida en la indagación.

## **CAPITULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN**

##### **2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES**

La técnica de aislamiento sísmico, en su forma moderna, ha experimentado una evolución significativa a lo largo de las últimas décadas, respaldada por un extenso cuerpo de investigaciones internacionales. Estas incluyen análisis teóricos y pruebas experimentales realizadas tanto en modelos a escala como en sistemas de tamaño real, destacando Japón como un epicentro de avances en este campo. Su aplicación no solo se ha limitado a nuevas construcciones, sino que también ha sido fundamental en la rehabilitación de estructuras con capacidades reducidas.

El concepto de aislamiento sísmico tiene más de un siglo de antigüedad. Aunque inicialmente se implementó en puentes durante la década de 1970, hacia finales de ese periodo comenzó a adoptarse en edificios. Sin embargo, su adopción masiva ha ocurrido principalmente en los últimos 40 años, con un crecimiento exponencial en las últimas dos décadas gracias a los resultados excepcionales obtenidos por estructuras aisladas durante eventos sísmicos significativos.

Uno de los pioneros en este campo fue el inglés John Milne, quien, entre 1876 y 1895, llevó a cabo experimentos en Japón sobre aislamiento sísmico. Milne instrumentó una estructura diseñada específicamente para estudiar su comportamiento frente a movimientos telúricos, inicialmente utilizando esferas de gran diámetro como base de deslizamiento. Sin embargo, al no lograr estabilidad frente a cargas de viento, redujo el diámetro de las esferas a 1/4 de pulgada, alcanzando mejores resultados.

A lo largo del siglo XX, se exploraron diversos mecanismos para desacoplar las estructuras del suelo y reducir las fuerzas transmitidas durante un sismo. En 1996, James M. Kelly destacó ejemplos tempranos de edificios aislados, incluyendo estructuras en Ucrania, México y China, que implementaron sistemas innovadores como esferas de deslizamiento y capas de arena para desacoplar las bases estructurales.

En Japón, el desarrollo del aislamiento sísmico experimentó un gran impulso en las décadas de 1960 y 1970, cuando se introdujeron tecnologías avanzadas para desacoplar las estructuras del movimiento del terreno. En 1986, el país inauguró su primer edificio con base aislada, estableciendo un estándar en la ingeniería sísmica mediante el uso de aisladores de goma con núcleo de plomo, reconocidos por su alta capacidad para disipar energía y mitigar los efectos de los movimientos sísmicos.

Paralelamente, en Estados Unidos, la publicación de "Tentative Seismic Isolation Design Requirements" por el SEAOC en 1986 marcó el inicio de la incorporación del aislamiento sísmico en los códigos de diseño. Esto culminó con la inclusión de directrices específicas en el "Libro Azul" en 1990, estableciendo bases sólidas para su implementación en la ingeniería estructural.

Chile ha sido un líder en Sudamérica en el uso de aisladores sísmicos, adaptando el Código Uniforme de Edificación (UBC) de 1997 a sus condiciones locales mediante la norma NCh2745-2003. Ejemplos destacados de estructuras aisladas en Chile incluyen el conjunto habitacional Comunidad Andalucía, el centro médico San Carlos de Apoquindo y el Hospital Militar.

El uso de aisladores elastoméricos, que combinan la flexibilidad del caucho con la rigidez vertical proporcionada por placas de acero, ha sido clave para mejorar la respuesta de estructuras frente a sismos. Estudios como el de Korswagen, Arias y Huaranga evidencian cómo estos dispositivos concentran la respuesta modal en un único modo por

dirección, reduciendo la incertidumbre y optimizando el comportamiento estructural.

Hoy en día, el aislamiento sísmico se aplica en diversas regiones del mundo, incluyendo Japón, Estados Unidos, Nueva Zelanda, Italia, y países de Europa Oriental y América Latina. Aunque existen diferentes tipos de mecanismos de aislamiento, los sistemas elastoméricos son los más utilizados, representando cerca del 95% de las aplicaciones globales en estructuras aisladas, dada su eficacia comprobada en la reducción de daños y fuerzas transmitidas durante eventos sísmicos.

### **2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES**

La investigación de Soriano (2014) examina el comportamiento estructural del pabellón A de la Universidad Privada del Norte al comparar su respuesta con y sin el uso de aisladores sísmicos elastoméricos. El autor concluye que la incorporación de estos dispositivos mejora significativamente el desempeño estructural, logrando reducir tanto las derivas como las fuerzas en la base. Aunque se observan mayores desplazamientos en los diafragmas, las derivas entre pisos disminuyen en promedio un 60%, alcanzando una reducción del 88% en el caso del sismo de Lima de 1974. De manera similar, las fuerzas en la base se reducen en promedio un 79%, llegando hasta el 93% para el sismo de Lima de 1966. Este análisis refuerza la efectividad de los aisladores elastoméricos en la mitigación sísmica.

Por su parte, Aguiar, Vergara y Guaygua (2014) analizan las características y aportes de la primera y segunda generación de aisladores elastoméricos con núcleo de plomo y del sistema FPS, subrayando su relevancia en el diseño confiable de estos dispositivos. Enfatizan que, especialmente en regiones altamente sísmicas, esta tecnología no solo mejora la seguridad estructural, sino que también fomenta una mayor concienciación sobre el diseño de edificaciones con sistemas de aislamiento sísmico.

En su tesis de 2012, Korswagen, Arias y Huaranga exploran los tipos de aisladores, su comportamiento y los factores críticos para su implementación en el contexto peruano. Proponen el uso de un espectro modificado basado en la normativa vigente para el análisis de estructuras aisladas y destacan la necesidad de optimizar el espectro sísmico de la norma E-030 del 2006, particularmente para duraciones superiores a dos segundos.

Villagómez Molero (2015) contribuye al marco normativo peruano mediante el desarrollo de directrices específicas para el análisis y diseño de estructuras con aislamiento sísmico. Su trabajo aborda la carencia de una zona continua de desplazamiento en la normativa sismorresistente peruana y sugiere la adopción de un espectro de diseño fundamentado en tendencias obtenidas a partir de espectros de señal medidos.

Finalmente, Vergara y Zevallos (2014) investigan el diseño basado en el desempeño y el análisis sísmico estático no lineal aplicado a un edificio en Trujillo, La Libertad. Subrayan las ventajas de este enfoque, al tiempo que critican la falta de consideración adecuada del factor de amortiguamiento en la normativa peruana. Por su parte, Aguiar (2006) examina los parámetros que influyen en la determinación del factor de reducción de fuerzas sísmicas, revelando inconsistencias en los valores asignados por las normativas CEC-2000 y E-030 del 2016. Propone, como solución, una metodología de cálculo más adecuada al contexto sísmico local, contribuyendo al perfeccionamiento del diseño estructural en zonas de alta actividad sísmica.

### **2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES**

Por estos momentos la región Huánuco carece de investigaciones relacionadas al tema de investigación que se realizará; por ende, se tomarán en cuenta los resultados obtenidos de otras regiones.

## 2.2. BASES TEÓRICAS

Los aisladores sísmicos de base son elementos clave en la protección de estructuras frente a terremotos. Su propósito principal es crear una especie de desconexión entre el edificio y su base, lo que permite que la estructura superior (la superestructura) se mantenga estable incluso cuando el suelo se mueve. Además, estos dispositivos no solo soportan el peso del edificio, sino que también actúan como amortiguadores frente a los movimientos sísmicos, alargando los tiempos de vibración de la estructura y reduciendo los daños. Existen diversos sistemas de aislamiento en la base, cada uno diseñado con características únicas que responden a diferentes necesidades y contextos. Estos sistemas varían en cómo funcionan, los materiales que los componen, el costo de instalación y mantenimiento, y los tipos de edificaciones para los que son más adecuados. A pesar de sus diferencias, todos tienen el mismo objetivo: minimizar el impacto del movimiento sísmico al desacoplar la estructura del terreno.

En este análisis se profundiza en dos tipos principales de sistemas de aislamiento que son de especial interés:

- **Dispositivos elásticos de aislamiento:** creados para absorber y disipar la energía de los movimientos sísmicos a través de materiales flexibles como la goma.
- **Dispositivos de aislamiento deslizantes:** que permiten que la base del edificio se mueva de manera controlada, mientras la parte superior se mantiene relativamente inmóvil.

Ambos sistemas ofrecen soluciones innovadoras para enfrentar los desafíos que los terremotos imponen, contribuyendo significativamente a la seguridad y resiliencia de las edificaciones.

### 2.2.1. DISPOSITIVOS DE AISLAMIENTO ELASTOMÉRICO

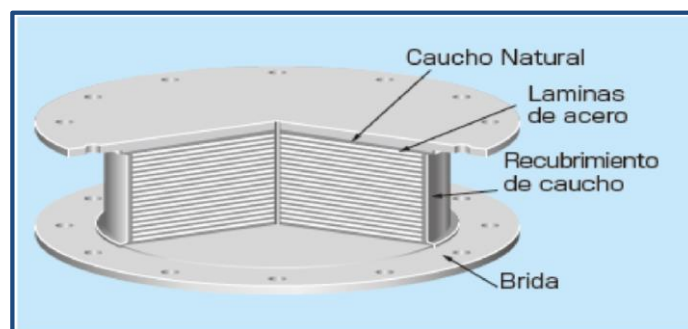
Los aisladores elastoméricos son dispositivos diseñados para proteger estructuras frente a terremotos mediante una ingeniosa combinación de materiales. Están formados por varias capas de

elastómeros, un material flexible parecido al caucho, alternadas con láminas de acero. Estas capas están unidas firmemente mediante un proceso de vulcanización, lo que les da su característica resistencia y estabilidad. Generalmente, los aisladores tienen forma circular o cuadrada, dependiendo de las necesidades específicas de la estructura.

Esta configuración permite que los aisladores sean flexibles lateralmente, lo que facilita el movimiento horizontal entre el edificio y el suelo durante un sismo. A la vez, ofrecen una rigidez vertical comparable a la de una columna de concreto armado, lo que garantiza que la estructura pueda soportar su peso sin problemas. El desempeño de estos aisladores depende en gran medida de cuánto se deformen durante un movimiento sísmico. Factores como la temperatura, el envejecimiento de los materiales y la frecuencia del movimiento también pueden influir, aunque en menor medida, en su eficacia. Este equilibrio entre flexibilidad y rigidez convierte a los aisladores elastoméricos en una solución confiable para mejorar la seguridad sísmica de las edificaciones.

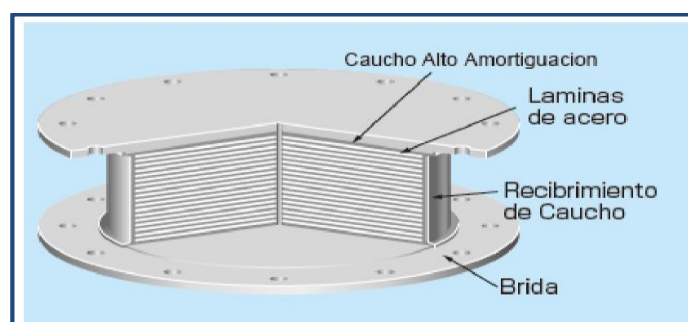
**Figura 1**

*A. E. de caucho natural (NRB)*



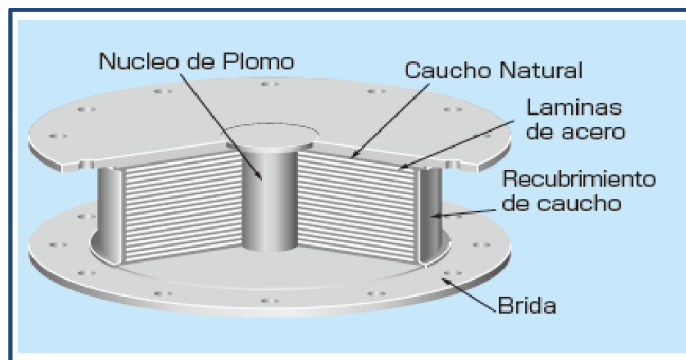
**Figura 2**

*A. E. de alta amortiguación (HDR)*



**Figura 3**

*A. E. con núcleo de plomo (LRB)*



### 2.2.2. AISLADORES DESLIZANTES

Los deslizadores por fricción, comúnmente conocidos como aisladores deslizantes, son dispositivos que aprovechan superficies deslizantes para proteger estructuras frente a movimientos sísmicos. Estas superficies suelen estar hechas de acero inoxidable, mientras que una placa de acero recubierta de material de baja fricción, como el PTFE (teflón), permite el desplazamiento controlado de la estructura sin depender directamente del suelo. Durante un terremoto, el sistema utiliza las fuerzas de fricción generadas para disipar la energía, minimizando el impacto sobre el edificio.

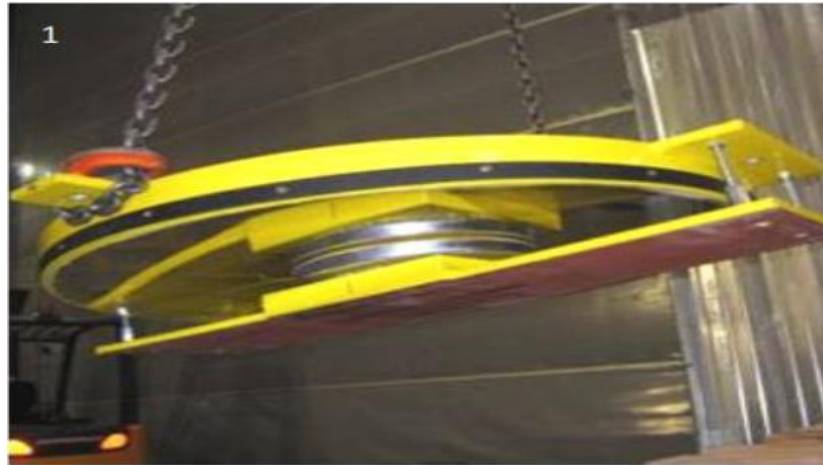
El rendimiento de estos dispositivos está influenciado por diversos factores. Entre ellos destacan la temperatura de funcionamiento, la presión de contacto, la velocidad de deslizamiento, y las condiciones de las superficies en contacto, como su limpieza, rugosidad y el desgaste natural con el tiempo. Todos estos elementos pueden afectar el coeficiente de fricción, que es esencial para el correcto desempeño del aislador.

Sin embargo, uno de los retos de los aisladores deslizantes es el mantenimiento. Con el tiempo, cualquier alteración en las superficies de deslizamiento, como la acumulación de suciedad, el desgaste o los cambios en su textura, puede modificar el coeficiente de fricción inicial. Por ello, es crucial realizar inspecciones y tareas de mantenimiento

regulares para mantener el sistema en condiciones óptimas y garantizar su efectividad en caso de un sismo.

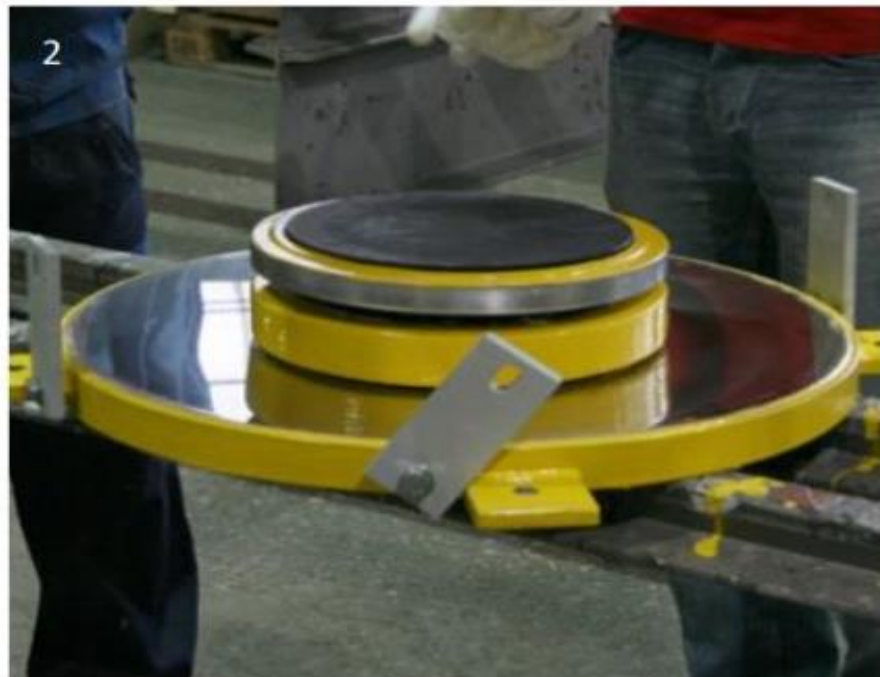
**Figura 4**

*Prueba compresional*



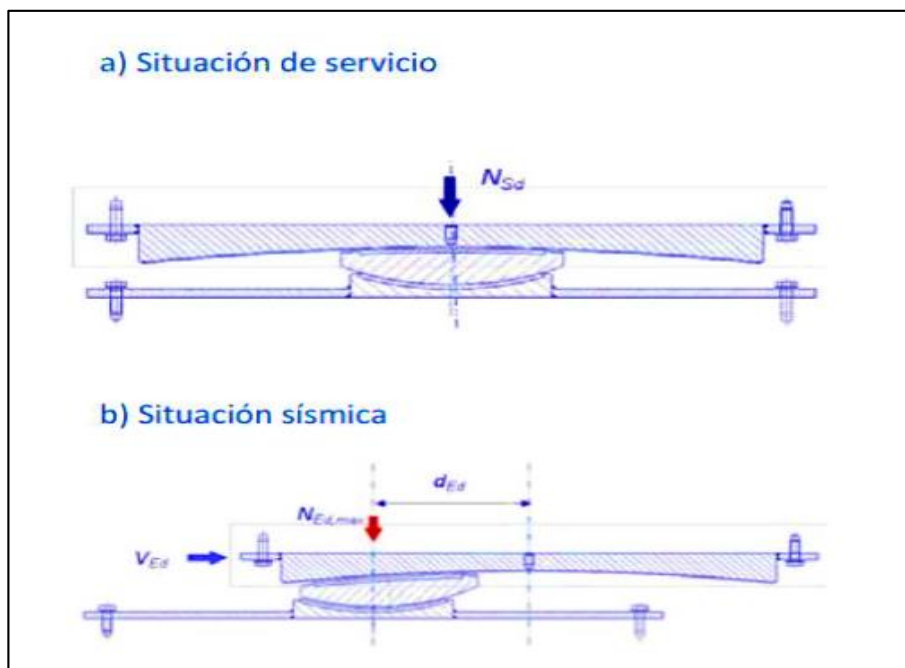
**Figura 5**

*Centro de gravedad*



**Figura 6**

*Situación sísmica*



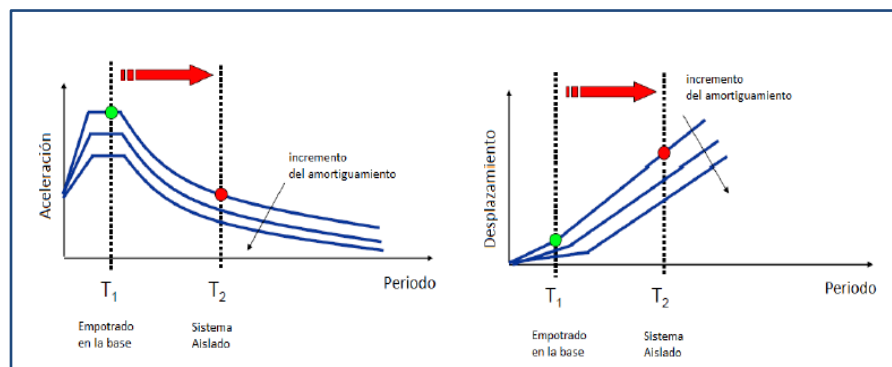
### 2.2.3. COMPORTAMIENTO DEL SISTEMA AISLADO

Las fuerzas sísmicas se verán reducidas al flexibilizar la estructura. Esta propiedad es fácilmente observable, ya que la incorporación de aisladores permite alterar el periodo de vibración. En la figura 7 se ilustra que, al aumentar la flexibilidad de la estructura, tanto la aceleración espectral en el edificio como las fuerzas sísmicas que actúan sobre él disminuyen.

Una característica importante de una estructura aislada es que los desplazamientos aumentan debido a la menor rigidez de la base. Dado que los desplazamientos relativos excesivos entre pisos pueden perjudicar tanto a los elementos estructurales como a los no estructurales, es imperativo vigilar este parámetro. En algunos casos, se utiliza un sistema combinado con disipadores para mejorar el rendimiento de los aisladores. El aumento de la amortiguación ayuda a limitar estos desplazamientos, como se demuestra en la siguiente figura.

**Figura 7**

*Impacto del aislamiento en el rendimiento dinámico*



Según el argumento de equilibrio energético, parte de la potencia  $EI(t)$  absorbida por la edificación durante la producción de un terremoto se convierte en desplazamiento  $EK(t)$  y un fragmento se guarda a modo de recuperación energética  $ES(t)$ . La recuperación de potencia se almacena como  $ES(t)$ . Disipación de energía en toda la estructura mediante la amortiguación  $ED(t)$  o el proceso de descomposición lenta  $EH(t)$ . Los aisladores de sismos suelen disminuir el proceso de degradación a medida que se minimiza el aporte energético ( $EI$ ) general del edificio.

Para comprender mejor los rasgos de personalidad, se puede examinar el sistema que se visualiza por el tamaño de liberación creado en la obra de Kelly en el año 1990. Hay 2 grados de análisis: el primero es un modelo estándar y el otro es el proceso discreto.

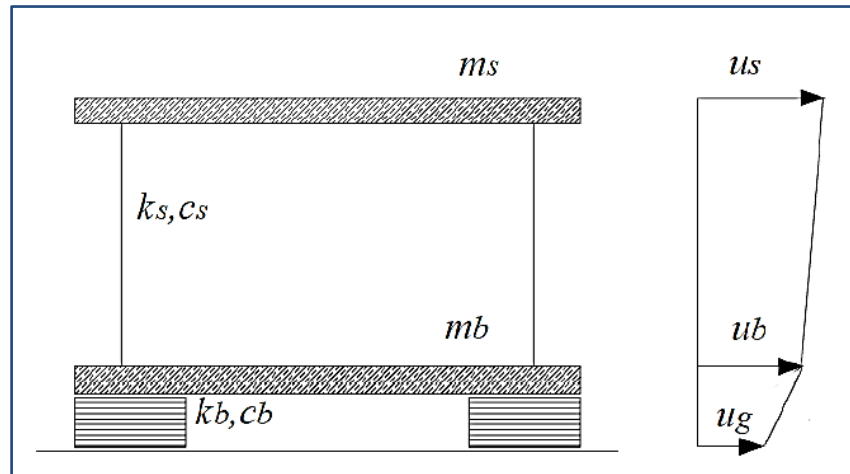
La cantidad de muestra se indica con la variable  $ms$ , mientras que las dimensiones de separación se indican con  $mb$ .

Considerando las propiedades de la muestra utilizada,  $ks$  y  $kb$  representan la dureza del grupo;  $cs$  y  $cb$  son su amortiguación. También existe la diferencia entre nosotros,  $UB$  y  $UG$ , la cual muestra el movimiento de la construcción, el aislamiento y la tierra, cada una por su lado.

En esta investigación, se supone que la mayoría de productos operan en un nivel de elasticidad y están amortiguados linealmente.

**Figura 8**

*Modelo de estructura aislada*



#### 2.2.4. PAUTAS GENERALES PARA EL ANÁLISIS Y DISEÑO UTILIZANDO AISLADORES SÍSMICOS

En el proceso de estudio y diseño, hay que tener en cuenta varios factores a la hora de utilizar aislantes:

##### EN LO QUE CONCIERNE AL SISTEMA DE AISLAMIENTO

**Disposición de carga:** Este es un factor significativo, porque cada aislador cuenta con una cantidad extrema determinada en las especificaciones de este producto. Por tanto, es necesario equilibrar la carga en todo el edificio para evitar la sobrecarga del aislamiento.

**Ordenar movimientos:** La alternativa de cambiar la edificación no se puede realizar en el caso de que exista una diferencia en el desplazamiento horizontal del nivel de la capa aislante en ambas direcciones, por lo que se garantiza la estanqueidad del diafragma en el nivel de separación.

**Efectos de torsión:** Es necesario evaluar la distancia al medio del peso de la capa aislante, así como en medio de tensión, porque si hay un efecto de torsión a este nivel, el aislador estará más involucrado en moverse en esa dirección. Análisis: De esta manera, se disminuye el propósito de hacer ruido en cada libertad.

**Consecuencia del 2do ordenamiento  $P - \Delta$ :** La eliminación en la interfaz de aislamiento crea excentricidades de carga, lo que hace que la estructura resista más tiempo.

**Juntas de separación:** Este parámetro debe tenerse en cuenta en los cambios de diseño. Puede alcanzar los 50 centímetros.

**La existencia de los sistemas de aislamiento:** Dado a que la tecnología es reciente, hay poca información concreta sobre las modificaciones mecánicas que experimentan los aisladores con el tiempo. Sin embargo, es imperativo instalarlos para facilitar su sustitución en el futuro, lo cual es factible incluso si están en la base.

**Cimentación:** El desplazamiento de los aisladores puede generar momentos  $P - \Delta$  considerables, los cuales deben ser absorbidos por la cimentación. En el caso de los aisladores de tipo péndulo invertido, estos momentos son completamente asumidos por la superestructura

**Variable de lugar:** Para elegir la mejor combinación aislante-estructura, se deben conocer las propiedades del suelo.

## 2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES

**Efecto inelástico:** Es un material que se puede deformar constantemente para que no desaparezca cuando se detiene la deformación. (Norma E-030).

**Confiabilidad:** Probabilidad de no superar el límite de estado. (Norma E-030).

**Ductilidad requerida:** Relación entre el desplazamiento máximo alcanzado por el sistema durante su respuesta sísmica y ascenso.

**Ductilidad:** Capacidad de un material estructural de debilitarse en ausencia de defectos. (Norma E-030).

**Efecto P:** Efecto de las cargas axiales y desplazamientos laterales sobre el momento flector de los elementos.

**Espectro de diseño:** Un espectro con respuesta para reducir los puntos correspondientes al sistema sísmico aplicado. (Estándar E-030).

**Espectro de resultado:** Muestra, en función del tiempo, el desplazamiento máximo del oscilador para un historial de aceleración específico (Norma E-030) con un grado de libertad especificado y el mismo coeficiente de amortiguación.

**Estado límite:** Los límites del comportamiento deseado e indeseable de un modelo.

**Estado límite de resistencia:** Es el término en el cual afecta a la protección de la edificación; se garantiza una capacidad de soportar una fatiga. (Norma E-030).

**Estados con margen de servicio:** Condiciones limitantes, las cuales afectan la suficiencia de la infraestructura para mantener su apariencia, mantenibilidad, durabilidad, comodidad de los ocupantes o cualquier funcionalidad en condiciones normales de uso y ocupación. (Norma E-030).

**Coeficiente de reducción de respuesta:** Utilizando la vibración de diseño (Norma E-030), divide la ordenada de la reacción de una estructura a una vibración con un resultado elástico por el coeficiente de reacción.

**Fuerza de diseño:** La fuerza externa puede reproducir el significado de los cambios externos y las tensiones provocadas por los movimientos inquietos de la base (Norma E-030).

**Fuerza sísmica:** La fuerza externa tiene la capacidad de reproducir la importancia de los cambios y tensiones externas provocadas por la intranquilidad de movimientos ubicados en la base (Norma E-030).

**Índice de confiabilidad:** Referido a la capacidad del modelo para cumplir con el propósito previsto en un período de tiempo determinado. Representa la medida de seguridad de la estructura.

**Nivel de diseño:** Conjunto de requisitos reglamentarios asociados con elementos específicos de mitigación de interferencias utilizados en el diseño de componentes de sistemas sísmicos. (Norma E-030).

**Peligro sísmico:** Evaluar la probabilidad de futuros eventos sísmicos que podrían afectar la integridad del edificio y sus ocupantes. (Norma E-030). Esta situación es una vulnerabilidad.

**Seguridad estructural:** Posibilidad en la que la edificación no llegue a una conducta limitada en un determinado periodo de tiempo. La protección debe ser resistente a los efectos sísmicos, fuertes y dúctiles (Norma E-030).

**Zona sísmica:** Región geográfica donde la máxima actividad sísmica esperada en un período determinado es la misma en todos sus puntos. (Norma E-030).

## **2.4. HIPÓTESIS**

### **2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL**

El análisis y diseño de estructuras aporticadas serán influenciado por los aisladores sísmicos en la ciudad de Huánuco - 2023.

### **2.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS**

- El diseño de aisladores sísmicos influirá en estructuras aporticadas, considerando las condiciones geológicas y sísmicas en la ciudad de Huánuco.
- La determinación de la reducción de los desplazamientos, velocidades y aceleraciones globales influirá en una estructura aporticada en la ciudad de Huánuco.
- Los resultados del tipo de aislador sísmico influirán con las estructuras convencionales en la ciudad de Huánuco.

## 2.5. VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN

### 2.5.1. VARIABLES DEPENDIENTES

Aisladores sísmicos.

### 2.5.2. VARIABLES INDEPENDIENTES

Análisis y diseño de estructuras aporticadas.

## 2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

**Tabla 1**

*Operacionalización de variables*

| <b>VARIABLES</b>                                                             | <b>DEFINICIÓN<br/>CONCEPTUAL</b>                                                                                    | <b>DEFINICIÓN<br/>OPERACIONAL</b>                                                          | <b>DIMENSION<br/>ES O<br/>SUBVARIABLES</b>                       | <b>INDICADORES</b>                                                                                                |
|------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Variable dependiente:<br><br>Aisladores sísmicos                             | Son herramientas y/o instrumentos de vanguardia que protegen las estructuras de los edificios de los daños causados | Aportar a nuestra ciudad referencias y criterios objetivamente determinados para el uso de | Análisis.<br><br>Configuración estructural<br><br>Evento sísmico | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Métodos</li> <li>• Aisladores sísmicos</li> <li>• Resistencia</li> </ul> |
| Variable independiente:<br><br>Análisis y diseño de estructuras aporticadas. | Un sistema de pórtico consiste en colocar un forjado sobre una serie de pórticos orientados en la misma dirección.  | Realizaremos modelamiento y diseño estructural.                                            | Diseño<br><br>Modelamiento estructural                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cálculos</li> <li>• Desplazamientos</li> <li>• Velocidades</li> </ul>    |

## CAPITULO III

### METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

#### 3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

##### 3.1.1. ENFOQUE

Para el desarrollo de este estudio, por su origen, se optó por aplicar los siguientes enfoques:

- a) **Descriptivo-explicativo.** Analiza estudio clínico sobre evaluación de aisladores sísmicos existentes para evaluación en estructura aporticada de Huánuco.
- b) **Analítico-sintético.** Un análisis exhaustivo de las muchas variables que este estudio crea a partir de las mismas variables nos permitirá sacar buenas conclusiones al comparar las teorías de trabajo.

##### 3.1.2. ALCANCE O NIVEL

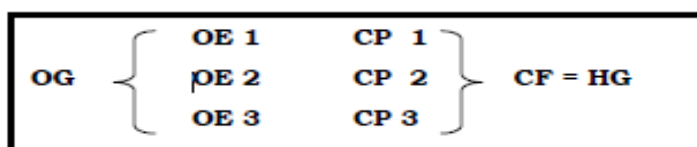
Nivel de investigación: Explicativa. Conforme a los propósitos y naturaleza del estudio, esta reunió las condiciones para ser considerada como una investigación que se ubica en el nivel descriptivo - explicativo correlacional ya que su objetivo primordial es poner en práctica los conocimientos del estudio.

##### 3.1.3. DISEÑO

La indagación de la naturaleza de la diferencia está respaldada por los siguientes objetivos de investigación:

**Figura 9**

*Diseño de investigación*



Donde:

OG = Objetivo general

OE = Objetivos específicos

CP = Conclusión parcial

CF = Conclusión final

HG = Hipótesis general

El diseño de la investigación es no experimental, porque no se manipuló ninguna de las variables.

Métodos de la investigación.

Este estudio de investigación, en virtud de su naturaleza, contempló la aplicación de los siguientes métodos:

- a) **Descriptivo-explicativo.** Determinó el análisis de los estudios sobre una evaluación de aisladores sísmicos existentes a fin de ser tomado en cuenta en las Estructuras apartidadas de Huánuco.
- b) **Analítico-sintético.** Los diversos componentes investigados fueron exhaustivamente analizados a través de sus respectivas variables, lo cual nos facilitará obtener conclusiones significativas para evaluar las hipótesis planteadas en el trabajo.

## **3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA**

### **3.2.1. POBLACIÓN**

Según Hernández (2014), la población es el grupo al cual se le pueden aplicar los resultados de la investigación.

Para este estudio se consideró como población a los edificios de 4 pisos de la ciudad de Huánuco que cuentan con sistema de aporticado.

### **3.2.2. MUESTRA**

Se optó por una muestra intencional no probabilística para analizar específicamente la estructura aporticada de un edificio de 4 pisos.

La muestra es básicamente un grupo más pequeño, dentro de la población, siendo un subconjunto de variables que comparten caracteres con el grupo general al que nos referimos como población (Hernández, 2014).

### **3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

#### **3.3.1. PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS**

##### **Técnicas de Organización y Recolección de información:**

- Contemplación de forma directa.
- Cuestionarios.
- Revisión de documentos.
- Investigación.

#### **3.3.2. PARA LA PRESENTACIÓN DE DATOS**

- Elaboración de cuadros.
- Creación de diagramas.
- Generación de diversos gráficos.

#### **3.3.3. PARA EL ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS**

Las herramientas consideradas durante este estudio incluyen pruebas de laboratorio y herramientas de software utilizadas para la recopilación de datos.

Las reuniones deben organizarse para identificar, aclarar y defender el tema que se estudia, y se utiliza para recopilar los datos necesarios para el estudio (Carrasco, 2016). La programación (CSI ETABS 2019) es un modelo de software que se encarga del modelo lineal estático y activo de estructuras de edificios y logra resultados significativos.

- Se utilizó el programa AutoCAD 2018 para crear el plano de construcción y el proceso de puerta.
- Microsoft Word y Excel 2018, programas de presentación.

## **CAPITULO IV**

### **RESULTADOS**

#### **4.1. PROCESAMIENTO DE DATOS**

##### **4.1.1. ESTRUCTURACIÓN DE LA EDIFICACIÓN**

###### **INTRODUCCIÓN**

En esta parte del trabajo se explicarán los pasos necesarios de obtención del modelo adecuado del edificio, a partir del cual se verificará la vista en planta y alzado, así como los detalles de distribución y planificación al intentar tener un diseño de edificio.

###### **REQUERIMIENTOS FUNDAMENTALES DE LA ESTRUCTURA**

- Cada edificio deberá contener variedades en el diseño para asegurar una suficiente solidez y resistencia al exterior en todas las direcciones.
- La configuración de la estructura debe permitir la operación continua, continua y eficiente de las fuerzas sísmicas.
- Existe la posibilidad de que se produzcan mayores tensiones y vibraciones debido a dimensiones irregulares o rigidez de los planos, o se debe evitar la altura tanto como sea posible. La arquitectura intenta conseguir todo lo posible: simetría, normalidad, sencillez y continuidad.
- La sistemática de la estructura tendrá reiteración y capacidad de alteración de forma, lo cual permitirá que la potencia se esparza inducida por los terremotos mediante un uso extraordinario sin deformación local. y fallas frágiles globales.

###### **DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA**

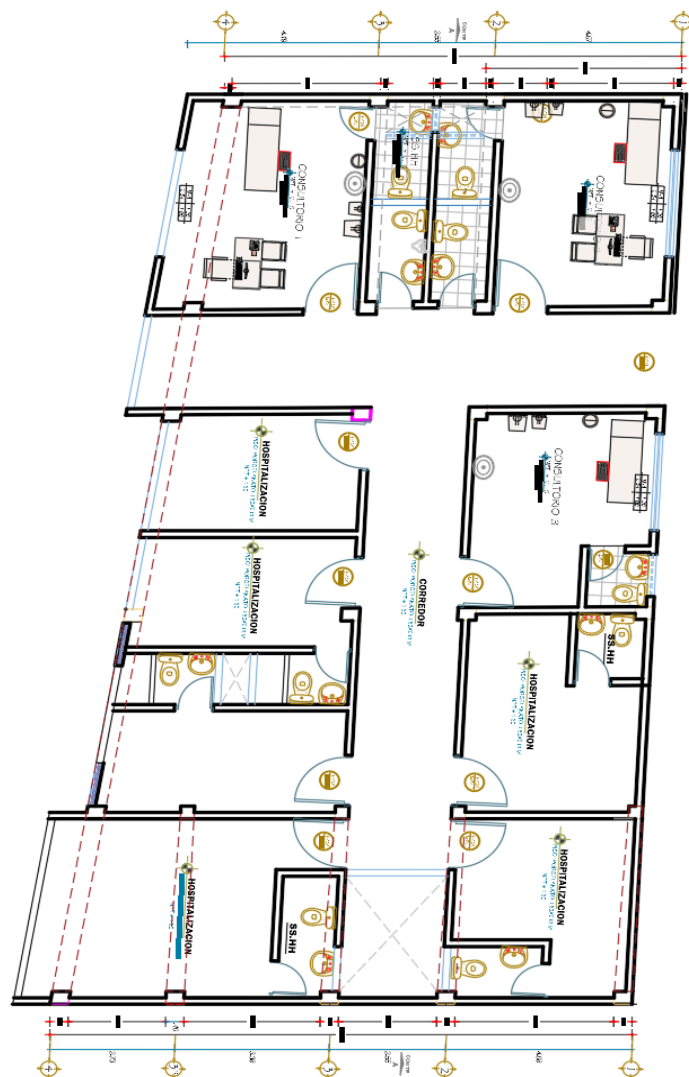
El edificio previsto con el fin de desarrollar este estudio es de uso asistencial (clínica), cuenta con cuatro plantas y sótano y estará ubicado en el piso medio (S2) de la ciudad de Huánuco. La altura total del edificio,

incluido el sótano, es de 13,46 m; su ancho es de 10,00 m y 12,74 m respectivamente y en la otra dirección el largo es de 21,54 m y 21,85 m respectivamente, y utilizaremos un sistema de estructura de techo en ambas direcciones. También hay un ascensor en la parte central del edificio, con dos escaleras al lado del ascensor central, una importante para uso y otra para el uso de individuos que se encargan del aseo de cada una de las partes.

En el análisis y las especificaciones de construcción se puede utilizar concreto que cuenta con una resistencia a la compresión de 210 kilogramos/centímetros cuadrados y acero es cual cuenta con una resistencia de fluencia de 4200 kilogramos/centímetros cuadrados.

**Figura 10**

*Planta del primer nivel de la estructura a aislar*



Con el propósito de que este edificio tenga las características necesarias, se debe ampliar la distancia entre el segundo y tercer eje (Figura 10). Si los ejes están demasiado juntos, se creará demasiada competencia en la relación e impedirá el cambio. En cuanto a longitud, el plan pasa por los centros 3, 4 y 5. La distancia en los ejes G. y F. se considera saliente.

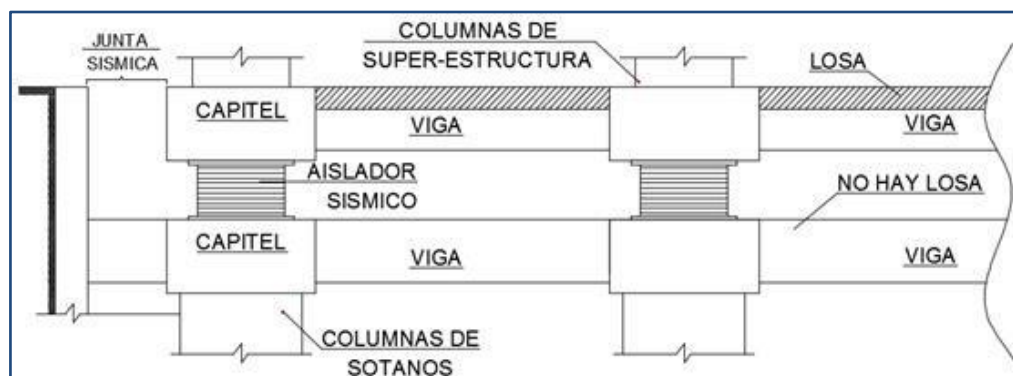
## DESCRIPCIÓN DE LA SUBESTRUCTURA CON AISLADORES SÍSMICOS

La principal distinción entre la cimentación permanente y el edificio con aislante sísmico es la técnica de aislamiento sísmico utilizada para el otro nivel, que requiere una rigidez mínima. Las dimensiones de estos productos para suelos son mayores. Dado el suceso de que las vigas son consideradas vigas que tienen una altura superior a 70 cm y losas con una altura superior a 20 cm.

El sistema de aislamiento, específicamente el aislamiento, se encuentra por encima de la línea del sótano y por debajo de los paneles aislantes antes mencionados en aisladores elásticos para controles deslizantes rectos, estos lugares estarán en la parte inferior del techo. Se colocan aisladores para evitar que el edificio se pandee. En este artículo se utilizaron 2 diseños de aislamiento: centro de aluminio y aislamientos elastoméricos con deslizamiento plano.

**Figura 11**

*Posicionamiento de dispositivos aisladores en las columnas del sótano*



El modelo estará hecho del material del suelo porque sabemos que cuando hay un terremoto fuerte, el suelo producirá grandes deformaciones de corte debido al movimiento del suelo, especialmente si el suelo es blando o licuado, y también si la deformación es muy grande, causará daños permanentes y graves. Dado que los departamentos separados son responsables de soportar la superestructura en los edificios.

#### **4.1.2. PREDIMENSIONAMIENTO Y METRADO DE CARGAS**

##### **GENERALIDADES**

Cada edificio debe pasar por el proceso de diseño antes de la revisión del diseño. Aquí tenemos que asegurarnos de que las dimensiones que necesitamos no sean demasiado exageradas, ya que estas se ajustarán más adelante en el procedimiento de mejora del tiempo. La respuesta del estudio de será de carga gravitacional y carga sísmica.

Se utilizarán libros de varios autores y se terminará el primer borrador de acuerdo con el proyecto de legislación del país. En las dimensiones propuestas deben tenerse en cuenta las tensiones mínimas de cada componente (pilares, vigas, losas y cimientos) para controlar las deformaciones y garantizar la resistencia sísmica de la estructura.

##### **PREDIMENSIONAMIENTO DE LOSAS**

Para evitar grandes impactos, la longitud de las placas es pequeña y esto suele controlar su diseño y para ello encontraremos distintas variedades de losas (firmes, desgastadas, desgastadas, etc.) con presión suficiente para dos funciones; primero, transfiera cargas y, segundo, coloque los deflectores rígidamente para que el movimiento horizontal y la rotación sean consistentes.

En el edificio que examinaremos se utilizan dos tipos principales de paneles; el primero para los paneles y capas aislantes (separación de diafragmas) entre el 1º y 4º piso.

Según la norma RNE E-060, se recomienda utilizar una altura mínima para evitar controles periódicos de la flecha de las losas.

$$h \geq \frac{ln}{25}$$

En placas firmes se puede evaluar el grosor separando la longitud del paño entre 180:

$$h \geq \frac{\text{Perimetro}}{180}$$

Las medidas son las siguientes, teniendo en cuenta el perímetro máximo para la losa maciza de 21.15 metros y la luz mayor para la losa aligerada de  $ln=4.6$  metros:

- Aligerado:  $h = 4.6/25 = 18.4\text{cm} \rightarrow h=20\text{cm}$
- Losa maciza:  $h = 2 \cdot (4.6 + 6.15) / 180 = 11.9\text{cm} \rightarrow h=20\text{cm}$

| Espesor de la losa aligerada (cm) | Espesor del ladrillo (cm) | Luces (L) de:   |
|-----------------------------------|---------------------------|-----------------|
| 17                                | 12                        | Menores a 4 m   |
| 20                                | 15                        | Entre 4 y 5.5 m |
| 25                                | 20                        | Entre 5 y 6.5 m |
| 30                                | 25                        | Entre 6 y 7.5 m |

Fuente. Estructuración y Diseño -Antonio Blanco Blasco.

**Figura 12**

*Predimensionamiento de losa aligerada*

### I.- Predimensionamiento de Losas

#### *1.- Losa Aligerada*

| Descripción    | Dimensión del Paño |           | Factor  | Dimensiones a Usar |              |
|----------------|--------------------|-----------|---------|--------------------|--------------|
|                | Longitud (m)       | Ancho (m) |         | Loseta (e) m       | Altura (h) m |
| Losa aligerada | 4.510              | 3.470     | $Ln/25$ | <b>0.050</b>       | <b>0.200</b> |

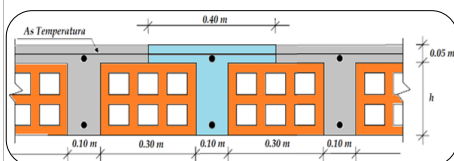


Fig N° 1. Losa Aligerada del 1 - 23 Nivel

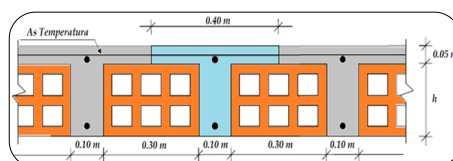


Fig N° 2. Losa Aligerada del 4 Nivel

## PREDIMENSIONAMIENTO DE VIGAS

La longitud de la viga suele tener en cuenta alturas entre  $L/10$  y  $L/12$  del margen. Las medidas de anchura pueden variar entre 0.30 y 0.50 de la altura, pero la longitud incluirá el grosor del suelo o el techo. Como parte del pórtico o de los componentes antisísmicos del edificio de hormigón armado, la viga debe tener un espesor mínimo de 0.25 cm, según la norma RNE E-060.

Para las vigas secundarias, si se supone que la losa del piso está sometida únicamente a cargas sísmicas, estas pueden tener menor peralte. Ahora bien, considerando que la viga tiene la misma profundidad en ambas direcciones del edificio: en el caso de la viga principal, es necesario aumentar el ancho.

Para el predimensionamiento de las vigas se considera el siguiente rango:

$$h = \frac{L}{12} @ \frac{L}{14}$$

Las luces de vigas del proyecto en la dirección X-X son: 6.15 metros, 6.0 metros, 4.45 metros y 5.0 metros; en la dirección Y-Y son de 3.7 metros a 4.6 metros. Como resultado, se determinó instalar vigas subsidiarias con secciones de 30x35 cm y 30x40 cm y vigas principales con anchuras y profundidades de 30x40 cm y 30x50 cm, respectivamente.

Para los pisos de la superestructura se ha tenido en cuenta todo lo anterior, Para las vigas del nivel de aislamiento y las vigas que unen los pilares del sótano se ha tenido en cuenta la siguiente longitud de 30x70 cm; estas medidas satisfacen los requisitos de rigidez del nivel.

También hay que tener en cuenta los voladizos, ya que la norma E-060 establece el peralte mínimo para voladizos  $L/8$ . La altura en voladizo del proyecto es de 2.8 m, teniendo en cuenta los 30x70 cm inferiores para evitar vibraciones excesivas.

**Figura 13****Predimensionamiento de las vigas****II.- Predimensionamiento de Vigas****1.-Metrado de Cargas****1.1. Carga Muerta (WD)**

|                             |              |                    |
|-----------------------------|--------------|--------------------|
| - Losa Aligerada            | -----        | 0.3000 tn/m2       |
| - Acabados                  | -----        | 0.0500 tn/m2       |
| - Tabiquería                | -----        | 0.1000 tn/m2       |
| <b>- Carga Muerta Total</b> | <b>-----</b> | <b>0.450 tn/m2</b> |

**1.2. Carga de Viva (WL)**

|                           |              |                    |
|---------------------------|--------------|--------------------|
| - Peso por Persona        | -----        | 0.3000 tn/m2       |
| <b>- Carga Viva Total</b> | <b>-----</b> | <b>0.300 tn/m2</b> |

**2.-Dimensiones de Vigas**

| Descripción     | Wu (tn) | Factor  | Longitud (m) | Dimensiones a Usar |              |
|-----------------|---------|---------|--------------|--------------------|--------------|
|                 |         |         |              | Base (B) m         | Altura (H) m |
| Viga Principal  | 0.114   | 11.8470 | 4.51         | <b>0.300</b>       | <b>0.400</b> |
| Viga Secundaria | 0.114   | 11.8470 | 3.47         | <b>0.300</b>       | <b>0.500</b> |

**PREDIMENSIONAMIENTO DE COLUMNAS**

Se dividen en tres tipos según sus funciones: columna central, columna de borde y columna de esquineras, para cada línea donde la fuerza axial es la carga principal.

Supongamos que el campo de la columna del medio es igual a:

$$Ac = \frac{P_{servicio}}{0.45f'_c}$$

Y para las columnas de borde y esquineras el área será:

$$Ac = \frac{P_{servicio}}{0.35f'_c}$$

Debido a su resistencia sísmica, sus dimensiones serán mayores. La longitud adoptada para nuestro proyecto es de 0.50x0.50 m. para la columna central y de 0.40x0.60 m. para columnas laterales y columnas esquineras.

## Figura 14

### Predimensionamiento de las columnas

#### III.- Predimensionamiento de Columnas

##### 1.- Datos Previos

- Carga para Columna en Edificaciones de Categoría "A" ( F ----- 1.5000 tn/m<sup>2</sup>
- Fuerza a la Compresión del Concreto ( $f'c$ ) ----- 2100.00 tn/m<sup>2</sup>
- Area minima de Columna en Zonas de Bajo Riesgo Sísmico ----- 0.0600 m<sup>2</sup>
- Numero de Niveles ----- 4.0000

##### 2.- Dimensiones de Columnas

| Descripción       | AT (m <sup>2</sup> ) | Pg (tn) | Area de Columna (Ac) m <sup>2</sup> | Dimensiones a Usar (m) |       |
|-------------------|----------------------|---------|-------------------------------------|------------------------|-------|
| Columna Central 1 | 15.340               | 92.040  | 0.125                               | 0.500                  | 0.500 |
| Columna Central 2 | 13.700               | 82.200  | 0.112                               | 0.400                  | 0.600 |

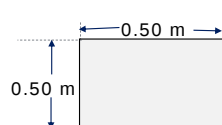


Fig N° 3. Dimensiones de Columna Central

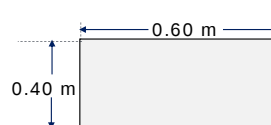


Fig N° 4. Dimensiones de Columna Medianera

*Nota.* En la tabla anterior se muestra el predimensionamiento de las columnas de la estructura de concreto armado para el análisis sismorresistente.

## PREDIMENSIONAMIENTO DE MUROS DE CORTE Y DE SÓTANO

Los muros de los sótanos deben tener un grosor mínimo de 20 centímetros, de acuerdo con la norma E-060 de RNE. Además, el diseño del muro debe incluir acciones perpendiculares a su plano.

El proyecto contempla una anchura de 25 cm.

## METRADO DE CARGAS

Las mediciones de carga se realizarán de acuerdo con el Reglamento Nacional de Edificaciones E-020 para la determinación de cargas muertas o permanentes (CM) y cargas vivas (CV).

- **Carga muerta (CM):** Tendremos en cuenta la información que se muestra en la siguiente tabla, y la masa de los elementos que componen el proyecto durante toda la vida útil del edificio.

**Tabla 2***Peso Específico y Peso Unitario*

| <b>PESO ESPECÍFICO</b> | <b>kg/m<sup>3</sup></b> |
|------------------------|-------------------------|
| Concreto armado        | 2400.00                 |
| <b>PESOS UNITARIOS</b> | <b>kg/m<sup>2</sup></b> |
| Losa aligerada h=0.20m | 300.00                  |
| Losa maciza h=0.20m    | 480.00                  |
| Piso terminado         | 100.00                  |
| Albañilería e=15cm     | 285.00                  |

•**Carga viva (CV):** Son los que cambian con el tiempo y tienen en cuenta factores como el peso de las personas y los equipos móviles. La tabla 3 enumera los tipos de edificios que se tuvieron en cuenta para nuestro examen.

**Tabla 3***Cargas mínimas (según RNE E-020)*

| <b>SOBRE CARGA</b>                                   | <b>kg/m<sup>2</sup></b> |
|------------------------------------------------------|-------------------------|
| Salas de operación, laboratorios y zonas de servicio | 300.00                  |
| Corredores y escaleras                               | 400.00                  |
| Baños (no mayor a)                                   | 300.00                  |

•**Carga de viento:** Dado que los edificios aislados deben soportar los impactos del viento, la carga del viento es crucial. Podemos calcular que la velocidad del viento en la región de estudio es de 90 km/h, basándonos en el mapa de vientos de la norma E-020 del Reglamento Nacional de Edificación.

La velocidad del viento de diseño hasta 10 metros de altura debe ser la velocidad máxima aceptable del viento, pero no debe ser inferior a 75 km/h. Concordante con la siguiente fórmula:

$$V_h = V \left( \frac{h}{10} \right)^{0.22}$$

Donde:

V : velocidad de diseño en la altura h en km/h.

V<sub>h</sub> : velocidad de diseño hasta 10 metros de altura en km/h.

H : Altura sobre el terreno en metros.

Suponiendo que la carga externa del viento (presión o succión) es estática y perpendicular a la superficie sobre la que actúa, para calcularla se utiliza la siguiente fórmula:

$$P_h = 0.005 C V_h^2$$

Dentro de este marco específico:

P<sub>h</sub> : presión o succión del viento a una altura h en kg/m<sup>2</sup>.

C : factor de forma adimensional.

V<sub>h</sub> : velocidad de diseño a la altura h, en km/h.

La información mencionada proviene directamente de la tabla 4 incluida en la normativa E-020 del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE).

**Tabla 4**

*Factores de forma (C)\* (RNE E-020)*

| <b>CONSTRUCCIÓN</b>                                      | <b>Barlovento</b> | <b>Sotavento</b> |
|----------------------------------------------------------|-------------------|------------------|
| Superficies verticales de edificios                      | 0.80              | -0.60            |
| * El signo positivo indica presión y el negativo succión |                   |                  |

La presión del viento sobre nuestro edificio, calculada usando las ecuaciones, es:

$$V_h = 90 \left( \frac{16.5}{10} \right)^{0.22}$$

$$P_h = 0.005 * (0.8 + 0.6) * (100.48)^{0.22} = 70.68 \text{ kg/m}^2.$$

$$F = P_h * A = 70.68 * (22.82 * 16) = 25.81 \text{ ton}.$$

## PESO DE LA EDIFICACIÓN

Con base en los valores calculados previamente, calcularemos el peso de cada piso de la estructura mediante el empleo del software Etabs. Los datos pertinentes están presentados en la Tabla 5.

**Tabla 5**

*Peso del Edificio por niveles*

| <b>DESCRIPCIÓN</b>        | <b>CARGA MUERTA<br/>(CM)<br/>(tonf)</b> | <b>CARGA VIVA<br/>(CV)<br/>(tonf)</b> |
|---------------------------|-----------------------------------------|---------------------------------------|
| <i>Piso 4</i>             | <i>275.62</i>                           | <i>51.93</i>                          |
| <i>Piso 3</i>             | <i>370.05</i>                           | <i>133.66</i>                         |
| <i>Piso 2</i>             | <i>377.31</i>                           | <i>133.67</i>                         |
| <i>Piso 1</i>             | <i>378.16</i>                           | <i>133.66</i>                         |
| <i>Nivel de aislación</i> | <i>426.02</i>                           | <i>138.16</i>                         |
| <b>Total</b>              | <b>1827.17</b>                          | <b>591.07</b>                         |

La norma peruana y otras normas de códigos de diseño sísmico asumen que, dependiendo del método de preparación, la carga sísmica generada durante un terremoto será comparable a la suma del material muerto y la proporción de material vivo. Al respecto se decidió una carga habitable del 50% para los materiales de estudio, ya que se trata de un edificio (clínica) destinado a fines de salud. En la Tabla 6 se presenta qué es esto.

**Tabla 6**

*Peso Sísmico del Edificio*

| <b>DESCRIPCIÓN<br/>N</b> | <b>Carga Muerta<br/>(Tonf)<br/>(TONF)</b> | <b>Carga Viva<br/>(Tonf)<br/>(TONF)</b> | <b>CM+50%CV<br/>(TONF)</b> |
|--------------------------|-------------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------|
| Nivel 4                  | 275.62                                    | 51.93                                   | 301.59                     |
| Nivel 3                  | 370.05                                    | 133.66                                  | 436.88                     |
| Nivel 2                  | 377.31                                    | 133.67                                  | 444.15                     |
| Nivel 1                  | 378.16                                    | 133.66                                  | 444.99                     |
| Nivel de<br>aislación    | 426.02                                    | 138.16                                  | 495.10                     |
| <b>Total</b>             | <b>1,827.17</b>                           | <b>591.07</b>                           | <b>2,122.70</b>            |

A la hora de calcular el periodo de la estructura, esta masa será muy útil. Se creó un modelo tridimensional del edificio, en el que se calcularon los tres grados de libertad de cada cubierta para construir un diafragma rígido. Los pilares forman una capa de aislamiento y están unidos en la base por vigas.

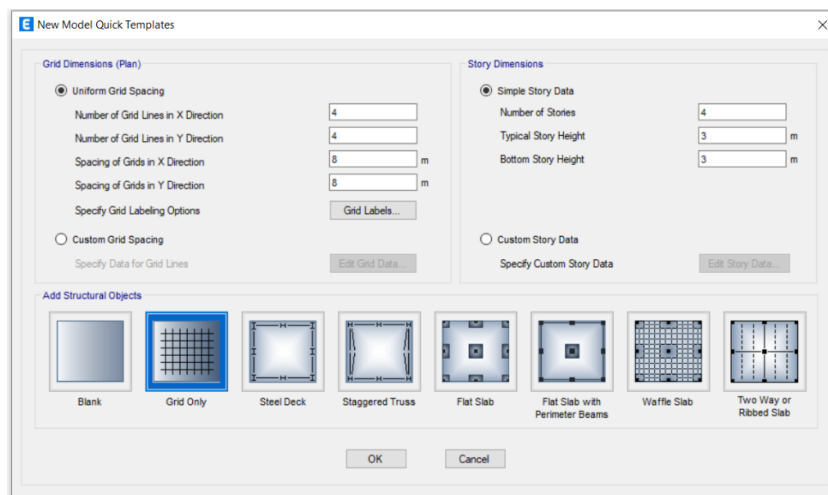
## MODELAMIENTO EN ETABS

Tras abrir el programa, configuraremos las unidades con las que vamos a trabajar. Estas unidades ya tendrán los parámetros de diseño dados, que consideraremos mientras modelamos para el estudio sismorresistente.

Configuraremos las grillas según nuestro plano de arquitectura, tanto en los ejes X-X, Y-Y y Z-Z

**Figura 15**

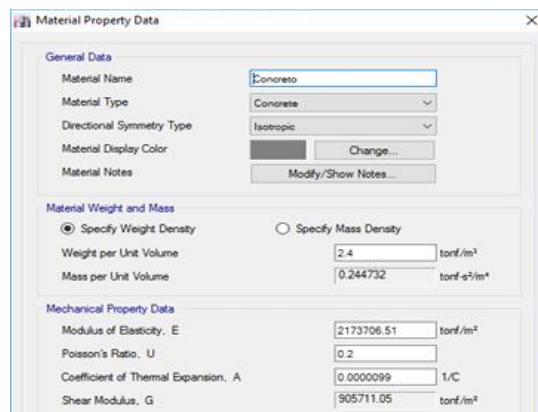
*Grillas para el modelamiento*



Definiremos y configuraremos los materiales que se emplearán en el análisis de la estructura.

**Figura 16**

*Propiedades del concreto-ETABS*



*Nota.* En la imagen anterior se aprecian las propiedades del concreto del software ETABS para el análisis sismorresistente.

**Figura 17**

*Propiedades del acero-ETABS*

The dialog box 'Material Property Data' is shown with the following fields and values:

- General Data:**
  - Material Name: Acero Corrugado
  - Material Type: Rebar
  - Directional Symmetry Type: Uniaxial
  - Material Display Color: (Blue swatch) Change...
  - Material Notes: Modify/Show Notes...
- Material Weight and Mass:**
  - ☒ Specify Weight Density ☐ Specify Mass Density
  - Weight per Unit Volume: 7.849 tonf/m<sup>3</sup>
  - Mass per Unit Volume: 0.80038 tonf-s<sup>2</sup>/m<sup>4</sup>
- Mechanical Property Data:**
  - Modulus of Elasticity, E: 20389019.16 tonf/m<sup>2</sup>
  - Coefficient of Thermal Expansion, A: 0.0000117 1/C

*Nota.* En la imagen anterior se aprecian las propiedades del acero del software ETABS para el análisis sismorresistente.

**Figura 18**

*Barras de reforzamiento-ETABS*

The dialog box 'Reinforcing Bar Sizes' is shown with the following content:

**Current Bar Set**

| Bar ID | Bar Area (m <sup>2</sup> ) | Bar Diameter (m) |
|--------|----------------------------|------------------|
| 3/8"   | 0.0001                     | 0.00953          |
| 1/2"   | 0.0001                     | 0.0127           |
| 5/8"   | 0.0002                     | 0.01588          |
| 3/4"   | 0.0003                     | 0.01905          |
| 1"     | 0.0005                     | 0.0254           |

**Click To:**

- Clear All Bars
- Sort Bars By ID
- Add Common Bar Set...

OK Cancel

*Nota.* En la imagen anterior se aprecian las propiedades de las barras de refuerzo del software ETABS para el análisis sismorresistente.

Definiremos los elementos estructurales que participaran en la edificación; losas aligeradas 1D, vigas, columnas.

Según el predimensionamiento, estas medidas no serán las definitivas, ya que al momento de realizar el análisis pueden variar sus medidas.

**Figura 19**

*Propiedades de columna de 50X50-ETABS*

Frame Section Property Data

**General Data**

Property Name: CR (50x50)

Material:  $f_c=210\text{kg/cm}^2$

Notional Size Data: Modify/Show Notional Size...

Display Color:   Change...

Notes: Modify/Show Notes...

**Shape**

Section Shape: Concrete Rectangular

**Section Property Source**

Source: User Defined

**Section Dimensions**

Depth: 0.5 m

Width: 0.5 m

**Property Modifiers**

Modify/Show Modifiers...  
Currently Default

**Reinforcement**

Modify/Show Rebar...

*Nota.* En la imagen anterior se aprecian las propiedades de la columna 50x50 para el análisis sismorresistente.

**Figura 20**

*Propiedades de columna de 40X60-ETABS*

Frame Section Property Data

**General Data**

Property Name: CR (40x60)

Material:  $f_c=210\text{kg/cm}^2$

Notional Size Data: Modify/Show Notional Size...

Display Color:   Change...

Notes: Modify/Show Notes...

**Shape**

Section Shape: Concrete Rectangular

**Section Property Source**

Source: User Defined

**Section Dimensions**

Depth: 0.6 m

Width: 0.4 m

**Property Modifiers**

Modify/Show Modifiers...  
Currently Default

**Reinforcement**

Modify/Show Rebar...

*Nota.* En la imagen anterior se aprecian las propiedades de la columna 40x60 para el análisis sismorresistente.

**Figura 21**

*Propiedades de viga principal de 30x50-ETABS*

Frame Section Property Data

**General Data**

Property Name: VP 30x50

Material: f'c=210kg/cm2

Notional Size Data: Modify/Show Notional Size...

Display Color:   Change...

Notes: Modify/Show Notes...

**Shape**

Section Shape: Concrete Rectangular

**Section Property Source**

Source: User Defined

**Section Dimensions**

Depth: 0.5 m

Width: 0.3 m

**Property Modifiers**

Modify/Show Modifiers...  
Currently Default

**Reinforcement**

Modify/Show Rebar...

*Nota.* En la imagen anterior se aprecian las propiedades de la viga principal 30x50 para el análisis sismorresistente.

**Figura 22**

*Propiedades de viga secundaria de 30x40-ETABS*

Frame Section Property Data

**General Data**

Property Name: VS 30x40

Material: f'c=210kg/cm2

Notional Size Data: Modify/Show Notional Size...

Display Color:   Change...

Notes: Modify/Show Notes...

**Shape**

Section Shape: Concrete Rectangular

**Section Property Source**

Source: User Defined

**Section Dimensions**

Depth: 0.4 m

Width: 0.3 m

**Property Modifiers**

Modify/Show Modifiers...  
Currently Default

**Reinforcement**

Modify/Show Rebar...

*Nota.* En la imagen anterior se aprecian las propiedades de la viga secundaria 30x40 para el análisis sismorresistente.

**Figura 23**

*Propiedades de losa aligerada de 20cm-ETABS*

Slab Property Data

**General Data**

Property Name: Losa 20cm

Slab Material:  $f'c=210\text{kg/cm}^2$

Notional Size Data: Modify/Show Notional Size...

Modeling Type: Membrane

Modifiers (Currently Default): Modify/Show...

Display Color:  Change...

Property Notes: Modify/Show...

☒ Use Special One-Way Load Distribution

**Property Data**

Type: Ribbed

Overall Depth: 0.2 m

Slab Thickness: 0.05 m

Stem Width at Top: 0.1 m

Stem Width at Bottom: 0.1 m

Rib Spacing (Perpendicular to Rib Direction): 0.3 m

Rib Direction is Parallel to: Local 1 Axis

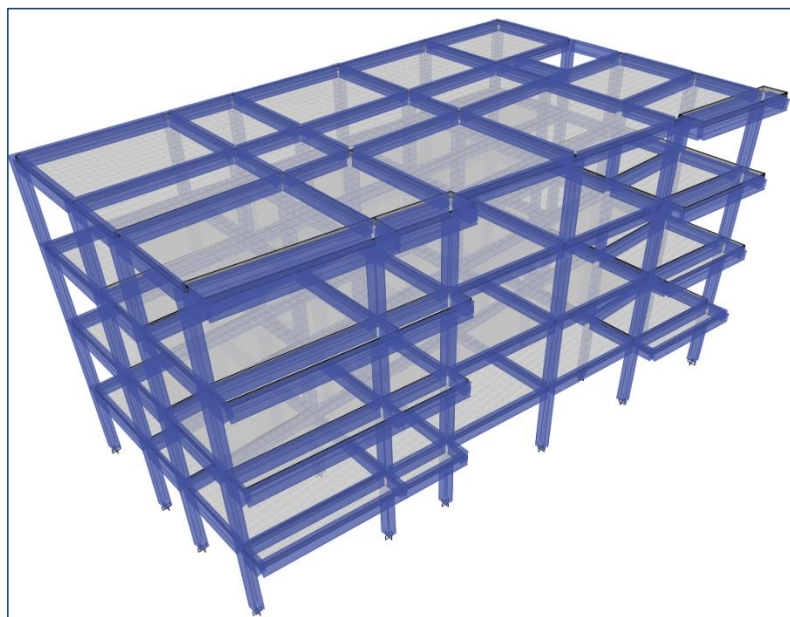
OK Cancel

*Nota.* En la imagen anterior se aprecian las propiedades de la losa aligerada de 20 cm para el análisis sismorresistente.

Tras definir los componentes estructurales que intervendrán en nuestra investigación, modelamos la estructura de acuerdo con la distribución arquitectónica.

**Figura 24**

*Representación en 3 dimensiones del diseño de la edificación*



### 4.1.3. ESTUDIO SÍSMICO DE LA ESTRUCTURA

#### REGLAMENTOS SÍSMICOS

La norma del Reglamento Nacional de Edificaciones E-030 explica los parámetros sísmicos utilizados en el diseño de estructuras sismorresistentes. La aceleración máxima se fija en un valor constante según la norma generada por las rocas, basándose en mapas de zonificación sísmica con una probabilidad superior al 10% en cincuenta años, y es utilizado a modo de modelo sísmico (generación de terremotos). Las edificaciones individuales, especialmente sus sistemas de aislamiento, deben diseñarse para resistir el terremoto más grande, que se cree que tiene un 2% de probabilidad de ocurrir dentro de 50 años. La aceleración máxima del terremoto es 1,5 veces la del terremoto de producción. Los parámetros sísmicos que la norma E-030 establece se describen a continuación:

**VARIABLE DE ÁREA (Z):** Es el factor de mayor aceleración horizontal sobre suelo rígido, y tiene un 10% de probabilidades de ser superado en los próximos cincuenta años. El valor Z de los datos informativos, que procede de la tabla 7 de la norma E-030, es de 0.35.

**Tabla 7**

*Factor de Zona "Z" (RNE-E030)*

| <b>Factores de zona "Z"</b> |          |
|-----------------------------|----------|
| <b>Zona</b>                 | <b>Z</b> |
| 4                           | 0.45     |
| 3                           | 0.35     |
| 2                           | 0.25     |
| 1                           | 0.10     |

**PARÁMETROS DE SITIO (S, Tp Y TL):** El coeficiente de amplificación sísmica S y los correspondientes periodos de tiempo Tp y TL deben utilizarse para determinar el tipo de suelo que refleja con mayor exactitud las características de la localidad.

**Tabla 8***Factor de Suelo "S" (RNE E-030)*

| <i>Factor de suelo "S"</i> |           |           |           |           |
|----------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| <b>ZONA\SUELO</b>          | <b>S0</b> | <b>S1</b> | <b>S2</b> | <b>S3</b> |
| Z4                         | 0.80      | 1.00      | 1.05      | 1.10      |
| Z3                         | 0.80      | 1.00      | 1.15      | 1.20      |
| Z2                         | 0.80      | 1.00      | 1.20      | 1.40      |
| Z1                         | 0.80      | 1.00      | 1.60      | 2.00      |

**Tabla 9***Periodos "Tp y TL"*

| <i>Periodos "Tp y TL".</i> |           |           |           |           |
|----------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| <b>PERFIL DEL SUELO</b>    |           |           |           |           |
|                            | <b>S0</b> | <b>S1</b> | <b>S2</b> | <b>S3</b> |
| <b>TP(s)</b>               | 0.30      | 0.40      | 0.60      | 1.00      |
| <b>TL(s)</b>               | 3.00      | 2.50      | 2.00      | 1.60      |

**COEFICIENTE DE AMPLIFICACIÓN SÍSMICA (C):** Este componente es el factor de amplificación de refuerzo de la aceleración estructural en relación con la aceleración del suelo.

$$C = \begin{cases} 2.5; T \leq T_p \\ 2.5 \left( \frac{T_p}{T} \right); T_p < T \leq T_l \\ 2.5 \left( \frac{T_p T_l}{T^2} \right); T > T_l \end{cases}$$

**CATEGORÍA DE LAS EDIFICACIONES Y FACTOR DE USO (U):**

Es el factor de utilización (U) el que determina la categoría de un edificio. Un factor U igual a 1.0 se toma en consideración para las estructuras que tienen aislamiento sísmico en la base.

**SISTEMAS ESTRUCTURALES Y COEFICIENTE FUNDAMENTAL DE DISMINUCIÓN (R):** Se clasifican según los materiales usados y el sistema de estructuración sismo-resistente para cada dirección de análisis. (Tabla 10 según la norma E-030), se detallan las diversas constantes que podrá asumir el coeficiente R.

**Tabla 10***Estructural del edificio (RNE E-030)*

| <b>Sistema Estructural</b>                               | <b>"R0"</b> |
|----------------------------------------------------------|-------------|
| <b>Acero:</b>                                            |             |
| Pórticos Especiales Resistentes a Momentos (SMF)         | 8.00        |
| Pórticos Intermedios Resistentes a Momentos (IMF)        | 7.00        |
| Pórticos Ordinarios Resistentes a Momentos (OMF)         | 6.00        |
| Pórticos Especiales Concéntricamente Arriostrados (SCBF) | 8.00        |
| Pórticos Ordinarios Concéntricamente Arriostrados (OCBF) | 6.00        |
| Pórticos Excéntricamente Arriostrados (EBF)              | 8.00        |
| <b>Concreto Armado:</b>                                  |             |
| Pórticos                                                 | 8.00        |
| Dual                                                     | 7.00        |
| De Muros estructurales                                   | 6.00        |
| Muros de ductilidad limitada                             | 4.00        |
| <b>Albañilería Armada o confinada</b>                    | 3.00        |
| <b>Madera (por esfuerzos admisibles)</b>                 | 7.00        |

Dado que la investigación incluye un método de construcción de concreto armado vertido in situ, se ha seleccionado  $R_0 = 8.0$  para ambas orientaciones (edificios con cimientos fuertes). Para edificaciones aisladas (superestructuras), el valor de  $R = 3/8R_0$ , se puede tomar como se mencionó anteriormente, pero no más de 2. Asimismo, para el diseño de sistema de aislamiento y para la subestructura, su valor de diseño es  $R$  que equivale a 1.0.

**FACTOR CON IRREGULARIDAD ( $I_a$ ,  $I_p$ ):** Estos factores reflejan discrepancias en términos de altitud y disposición en el plano; se analizarán en profundidad a continuación:

**Irregularidad en altura ( $I_a$ ):** Para analizar la inconsistencia, adoptamos los valores de  $R$  mencionados anteriormente, asumiendo que el modelo se ejecuta continuamente. Se tomará el valor más bajo de los siguientes parámetros en 2 rutas. A continuación, la tabla muestra los tipos de irregularidades en altura.

**Tabla 11***Irregularidades en la altura "la" (RNE-E030)*

| <b>DESCRIPCIÓN</b>                                 | <b>IA</b> |
|----------------------------------------------------|-----------|
| Irregularidad de Rigidez - Piso Blando             | 0.75      |
| Irregularidad de resistencia - Piso Débil          | 0.75      |
| Irregularidad Extrema de Rigidez                   | 0.50      |
| Irregularidad Extrema de Resistencia               | 0.50      |
| Irregularidad de Masa o Peso                       | 0.90      |
| Irregularidad Geométrica Vertical                  | 0.90      |
| Discontinuidad en los Sistemas Resistentes         | 0.80      |
| Discontinuidad extrema en los Sistemas Resistentes | 0.60      |

Irregularidad de rigidez - piso blando: La superficie rugosa surge cuando la rigidez lateral de la capa intermedia es inferior al 70% de la rigidez lateral de la capa intermedia próxima o inferior al 80% de la rigidez lateral media de las tres capas superiores vecinas, según una parte de la investigación.

Irregularidades de resistencia-piso débil: Cuando la resistencia al cizallamiento de la capa intermedia en una dirección analizada es inferior al 80% de su resistencia instantánea, se produce una irregularidad.

Irregularidad extrema de rigidez: Esta disparidad surge si, en una dirección del estudio, la rigidez lateral del sándwich es inferior al 60% de la rigidez lateral del sándwich o inferior al 70% de la rigidez lateral media de las tres capas.

Irregularidad extrema de resistencia: Este conflicto se produce cuando la resistencia de la capa intermedia al deslizamiento en una dirección determinada es inferior al 65% de la resistencia de la capa intermedia directa.

Irregularidad de masa o peso: Cuando el peso sísmico de un piso es superior a 1.5 veces el de los pisos cercanos, se produce un desequilibrio. El sótano y el techo no pueden aplicarse con este modelo.

Irregularidad geométrica vertical: Si la longitud en planta de la estructura frente a cargas externas es superior a 1.3 veces la separación

entre plantas vecinas en cada dirección de análisis, esta disposición es inconsistente.

Variabilidad en los sistemas de desistencia: Esta variación se produce ya que el des alineamiento del eje en cualquier elemento que resista el deslizamiento en más del 10% es mayor al 25 por ciento de longitud adecuada de la variable.

Variabilidad en el límite de los sistemas de resistencia: La discontinuidad se produce mediante la fortaleza de corte resistida por los elementos fijos (lo que evita desniveles en la red), como se explicó anteriormente, es más del 25% del aceite de corte total. Porque antes no había contradicción y nosotros tampoco tenemos contradicción.

**Irregularidad en planta (Ip):** Comenzamos el análisis de la misma forma que con las irregularidades de altura. Se tomará el valor mínimo de la forma irregular de abajo en ambas direcciones. En la tabla subsiguiente se detallan los diseños de disparidades las cuales abordaremos en el siguiente apartado.

**Tabla 12**

*Irregularidades en Planta "Ip" (RNE-E030)*

| <b>DEFINICIÓN</b>           | <b>Ip</b> |
|-----------------------------|-----------|
| Discontinuidad de Torsión   | 0.75      |
| Discontinuidad de Torsión   | 0.60      |
| Limite                      |           |
| Esquinas que sobresalen     | 0.90      |
| <b>Discontinuidad en el</b> | 0.85      |
| <b>Diafragma</b>            |           |
| Sistemas no paralelos       | 0.90      |

Irregularidad torsional: Ocurre cuando, en una dirección focal, el desplazamiento máximo de la entreplanta en un extremo del edificio, incluidas las excentricidades de colisión ( $\Delta_{max}$ ), es superior a 1.2 veces el desplazamiento entre instalaciones de la mitad del tamaño del edificio. Para estructuras con diafragmas rígidos, este requisito solo se aplica si

el material de la entreplanta supera el 50% del desplazamiento máximo permitido para el mismo momento de carga ( $\Delta$  CM).

Irregularidad torsional: Esto ocurre cuando la excentricidad de impacto ( $\Delta$  max) en un extremo del edificio es superior a 1.5 veces la transferencia relativa media en el extremo del entrepiso en la dirección de análisis, lo que da lugar al mayor desplazamiento del entrepiso en ese extremo. con respecto a la duración de igual peso ( $\Delta$  prom). El modelo sólo se aplica a estructuras con diafragmas robustos y sólo cuando la carga máxima del forjado supera el 50% de la carga exterior.

Esquinas Entrantes: Cuando la longitud de un espécimen en ambas direcciones supera el 20% de su anchura total, se clasifica como irregular.

Discontinuidad del Diafragma: El patrón se considera irregular cuando existen irregularidades repentinas en el diafragma o cambios significativos en la rigidez, incluyendo una apertura mayor al 50% de toda el área del elemento diafragmático.

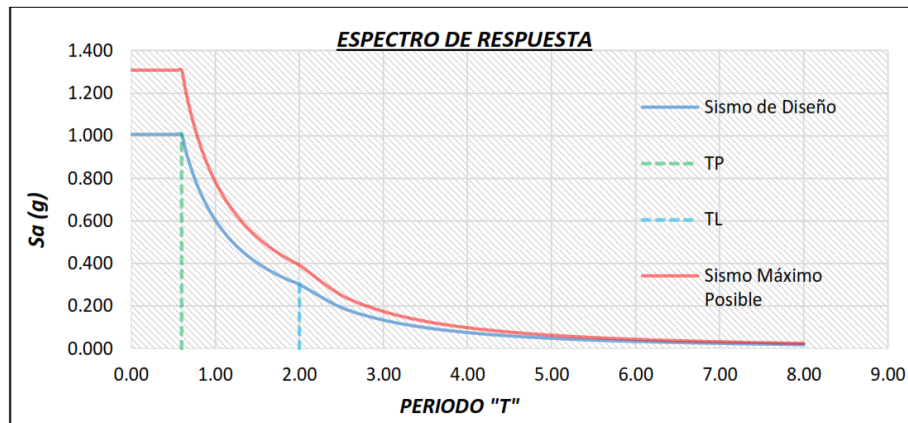
Sistemas no equidistantes: Esta discontinuidad ocurre en casos de que la fuerza lateral con resistencia principal en la dirección de análisis no es paralela. Si los ejes del marco o de la pared forman un ángulo inferior a 30°, no se utiliza si el material que está desigual contra la fuerza de corte del suelo es inferior al 10%.

Entre todas las irregularidades mencionadas anteriormente, no se permiten irregularidades excesivas para edificaciones individuales (Norma Técnica de Aislamiento Sísmico, E-031).

La figura 25 nos hace ver el espectro de resultado, mediante la normativa, en el cual la vinculación entre un diseño sísmico y la sismicidad limite permisible es 1.5.

**Figura 25**

*Espectro de Respuesta de Diseño E-030*



#### 4.1.4. ESTUDIO ESTÁTICO

A nivel de diseño sísmico (DS), establecemos la separación inicial utilizando la metodología estática y un diseño con un grado de simplicidad de liberación.

El análisis modal de un edificio se basa en la fijación para obtener el tiempo y la forma de sus vibraciones. También estimamos que la duración (TD) de una casa unifamiliar es aproximadamente de 2.5 a 3.5 veces la duración de una casa tipo granero.

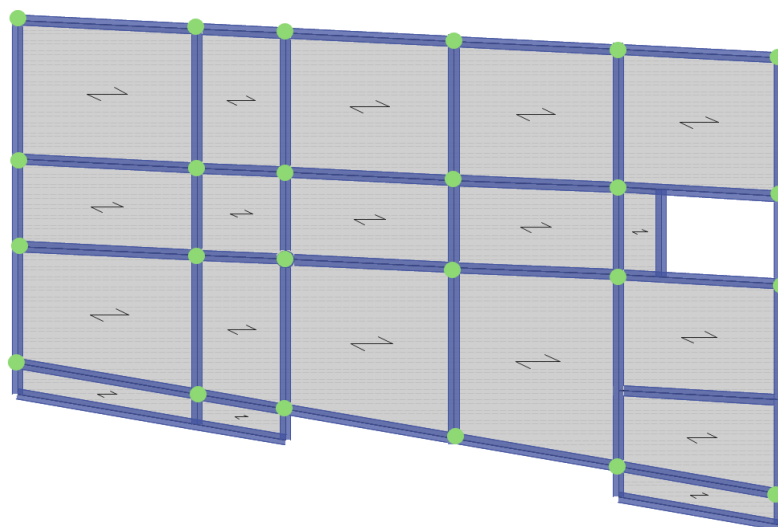
Debemos evitar dividir el bucle por mucho tiempo (más de 5 segundos) para evitar demasiadas cosas que puedan usarse fácilmente. La Tabla 13 presenta las respuestas de intervención en el proceso. Esto nos ayudará a calcular lo anterior y determinar su forma porque es la traducción de los dos primeros tipos que debemos encontrar en una casa separada.

**Tabla 13***Modos de Vibración en la estructura de base fija*

| <b>Tipos</b> | <b>Momentos</b> | <b>UX %</b> | <b>UY %</b> | <b>RZ %</b> |
|--------------|-----------------|-------------|-------------|-------------|
| 01           | 0.79            | 0.0%        | 0.77        | 0.02        |
| 02           | 0.73            | 26.2%       | 0.01        | 0.52        |
| 03           | 0.72            | 54.1%       | 0.01        | 0.25        |
| 04           | 0.24            | 0.1%        | 0.12        | 0.00        |
| 05           | 0.23            | 10.8%       | 0.00        | 0.01        |
| 06           | 0.22            | 0.5%        | 0.00        | 0.12        |
| 07           | 0.14            | 0.8%        | 0.01        | 0.00        |
| 08           | 0.12            | 2.3%        | 0.02        | 0.00        |
| 09           | 0.11            | 1.4%        | 0.02        | 0.00        |
| 10           | 0.11            | 0.2%        | 0.00        | 0.05        |
| 11           | 0.10            | 0.3%        | 0.00        | 0.00        |
| 12           | 0.08            | 1.4%        | 0.00        | 0.00        |
| 13           | 0.08            | 0.0%        | 0.15        | 0.00        |
| 14           | 0.07            | 0.0%        | 0.00        | 0.02        |
| 15           | 0.07            | 0.0%        | 0.00        | 0.00        |

Como puede ver en la Tabla 13, el segundo tipo es la rotación y no tiene que pasar en una edificación aislada; corregiremos esto posteriormente agregando aisladores.

La Figura 26 muestra el plano de una edificación que será aislada, en el cual se decidió ubicar el edificio a realizar el aislamiento.

**Figura 26***Lugar donde se encuentran los dispositivos de aislamiento al interior de las columnas*

Los dispositivos de aislamiento se ubican por encima del suelo de la habitación subterránea, con excepción del interior de la caja del

ascensor. Los aisladores hay que colocarlos al nivel del sótano porque si los ponemos al mismo nivel que los aisladores anteriores. Dividir el hueco del ascensor en secciones significa perder su función.

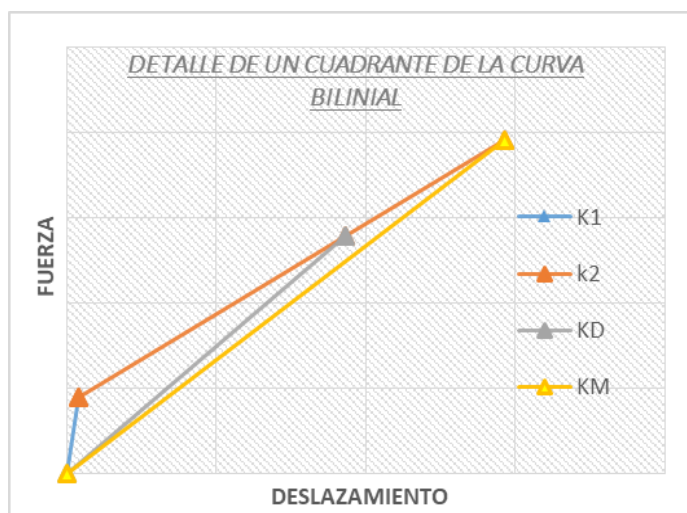
Para Máxima Probabilidad (S.M.P.) se seguirán los mismos pasos que se siguieron en el modelo sísmico (SD) y se refirió anteriormente, el coeficiente de SD al nivel SMP es 1.5. Suponiendo una rigidez constante  $K_1$  y  $K_2$ , el gráfico de histéresis de un temperamento SD aislado podría seguir hasta el momento en que se alcancen los cambios y las fuerzas requeridas para SMP. La relación de estas normas determina la dureza efectiva  $K_{Mmin}$ , la cual será inferior al valor obtenido para SD. Con este rigor, se pueden predecir períodos de MT más largos con el mismo poder.

Los cambios de DM se revierten mediante el siguiente proceso:

- SMP asume máxima flexibilidad y máxima ganancia de potencia.  $V_{max}$  usando un gráfico bilineal.
- Obtenga el nuevo porcentaje de amortiguamiento ( $\beta_M$ ) de la ecuación elástica lineal y use este valor para determinar el valor del  $\beta_M$  reducido.
- DM Cálculo de desplazamiento máximo utilizando el espectro estándar E-030 para clase SMP.

**Figura 27**

*Rigideces efectivas  $K_D$  (gris) y  $K_M$  (amarillo)*



El desarrollo termina en el momento en que los desplazamientos supuesto y calculado se acercan entre sí.

La Tabla 14 muestra los detalles de los parámetros sísmicos que se encuentran en el Artículo 5.1 que se usa en la estructura aislada.

**Tabla 14**

*Normativas de sismicidad aplicadas a estructuras con dispositivos de aislación*

| <b>EXPLICACIÓN</b>                                                           | <b>SÍMBOLO</b> | <b>UNIDAD</b> |      |
|------------------------------------------------------------------------------|----------------|---------------|------|
| Elemento de área (Modelo de sino)-área 3                                     | Z (SD)         | 0.35          | g    |
| Elemento de área (Sismo limite permisible)-área 3                            | Z (SMP)        | 0.52          | g    |
| Factor para el perfil de terreno-S2                                          | S              | 1.15          | -    |
| Intervalo de oscilación "TP" para el terreno                                 | Tp             | 0.60          | s    |
| Tiempo de oscilación "TL" para el terreno                                    | TL             | 2.00          | s    |
| Coficiente de Utilización para la parte superior de la estructura.           | U              | 1.00          | -    |
| Elemento de aumento sísmico (S.D).                                           | C              | 0.405         |      |
| Elemento de aumento sísmico (S.M.P)                                          | C              | 0.362         |      |
| Coficiente de reducción para la parte superior de la estructura              | Rs             | 2.00          | -    |
| Coficiente de disminución para el sistema de aislamiento y la subestructura. | R              | 1.00          | -    |
| Carga sísmica del sistema constructivo                                       | W              | 2122.40       | tonf |

Una vez que conocemos el valor TD, podemos usar la ecuación para calcular la rigidez efectiva mínima KDmin del sistema de aislamiento durante un terremoto. Para calcular la dureza máxima KDmax, se recomienda para el diseño que este valor sea un 10% mayor que KDmin. Teniendo en cuenta la incertidumbre de 0.9, se obtiene un valor total de 1.25 (Rodriguez M, 2015). Por lo tanto, debemos hacer lo siguiente:

$$K_{Dmax} = 1.25K_{Dmin}$$

Por otro lado, sólo se puede realizar el análisis "bajo", teniendo en cuenta la tolerancia de calidad nominal anteriormente mencionada (KDmax = 1.25 KDmin.), ya que el máximo y máximo modificable de este análisis son los que más se obtienen. Mediante control estático. Al final del diseño, la dureza nominal se verifica probando los resultados del modelo.

Para considerar el factor de amortiguación, se sugiere tener en cuenta lo siguiente:

- Un factor de amortiguación reducido mejorará la eficiencia del aislamiento, aunque generará mayores fuerzas y movimientos en la estructura del edificio.
- Demasiada amortiguación reducirá la tensión, pero hará que la casa se comporte como si tuviera una base sólida, lo que aún no es útil debido al pequeño efecto sobre el aislamiento.

Calcularemos la competencia para modelo sísmico y sismicidad límite, el modelo y desplazamiento máximo, y el desplazamiento máximo total. Duración objetivo TD = 2.66 segundos, duración máxima TM = 2.82 segundos, amortiguaciones  $\beta$  D = 25.6 por ciento y

$\beta$  M = 21.6 por ciento respectivamente; estos datos se obtuvieron después de numerosas interacciones. Así mismo, confirmamos que la estimación TD durante la construcción de los cimientos estaba en el rango de (2.5 ~ 3.5) veces. La Tabla 15 presenta estos datos.

**Tabla 15**

*Rigideces y Desplazamientos de diseño y máximos*

| <b>EXPLICACIÓN</b>                             | <b>SÍMBOLO</b> | <b>UNIDAD</b>  |
|------------------------------------------------|----------------|----------------|
| Carga sísmica de la estructura con aislamiento | W              | 2122.40 tonf   |
| Tiempo objetivo (modelo de sismo)              | TD             | 2.62 s         |
| Tiempo objetivo (sismo límite permisible)      | TM             | 2.82 s         |
| Coefficiente de amortiguamiento                | BD             | 1.61 -         |
| Coefficiente de amortiguamiento                | BM             | 1.53 -         |
| Rigidez KDmín                                  | KDmín          | 1494.84 tonf/m |
| Rigidez KKmín                                  | KKmín          | 1335.04 tonf/m |
| Movimiento de modelo                           | DD             | 0.18 m         |
| Movimiento límite                              | DM             | 0.29 m         |
| Desplazamiento Total del modelo o (1.1 DD)     | DTD            | 0.20 m         |
| Movimiento Máximo Total (1.1 DM)               | DTM            | 0.32 m         |

La Tabla 16 muestra la información para la fuerza lateral del diseño del sistema de aislamiento y la fuerza lateral mínima de la superestructura.

**Tabla 16***Fuerza lateral tanto del sistema de aislación como de la estructura superior*

| <b>EXPLICACIÓN</b>                                                  | <b>SÍMBOLO</b> |        | <b>UNIDAD</b> |
|---------------------------------------------------------------------|----------------|--------|---------------|
| Fuerza lateral del sistema de aislamiento (R=1).                    | Vb             | 278.12 | tonf          |
| Fuerza lateral mínima de la superestructura (R=2).                  | Vs             | 139.06 | tonf          |
| Vs debe ser mayor que:                                              |                |        |               |
| - El cortante producido por los efectos del viento                  | V              | 25.81  | Tonf          |
| - 1.5 veces la fuerza de activación del sistema de aislamiento (Qd) | V              | 121.95 | tonf          |

En comparación con los resultados obtenidos cuando  $C/R=0.11$  (RNE E-030), estos valores deberían ser mayores.

Los resultados serán superiores a aquel conseguido cuando  $C/R$  es igual a 0.11, según la norma RNE E-030.

Con una relación  $C/R$  de 0.11, la fuerza lateral Vb equivale a 121.73 toneladas de fuerza.

La fuerza cortante Vs con una relación  $C/R$  de 0.11 es de 60.86 toneladas de fuerza.

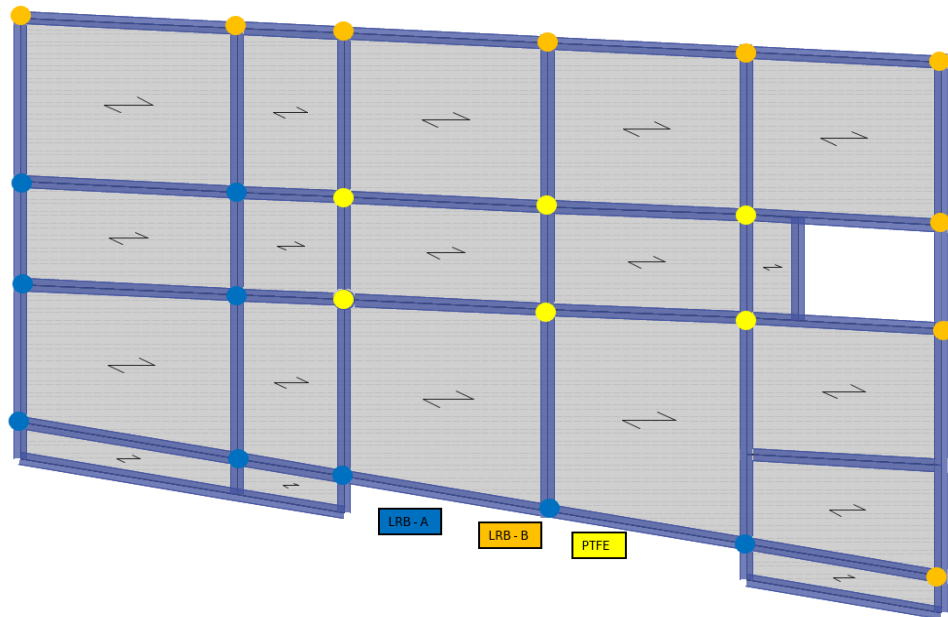
#### **4.1.5. OPCIONES PARA EL SISTEMA DE AISLAMIENTO BASAL DE LA ESTRUCTURA**

En este escrito, optamos por examinar dos categorías de aisladores: aquellos compuestos por plomo elástico y aquellos que presentan superficies lisas para el deslizamiento. Se eligen solo para buenos terremotos. Se agregó un control deslizante para corregir el problema de torsión en el aislador.

Intentando no introducir torsión en la estructura, corrigiéndola y definiendo los dos primeros tipos de vibración, podemos asegurar para cada dispositivo una buena tensión encontrada en el producto anterior. Así mismo, se sugiere no abarcar diferentes tipos de mecanismo por el precio de probar sus modelos. La Figura 28 nos indica la localización de equipos de aislamiento considerados.

**Figura 28**

*Localización de equipos de aislamiento considerados*



Dado que el centro de los aisladores de plomo seleccionados tiene la misma medida, los diámetros del cable son diferentes. Obtendremos más detalles posteriormente.

### **PRINCIPIOS DE MODELO APLICADOS A LOS DISPOSITIVOS DE AISLAMIENTO**

El modelo del dispositivo de aislamiento tiene que respaldar que el material aislante pueda soportar masas gravitacionales máximas a lo largo de toda su existencia en la estructura. Los aisladores, en estructura separada, tienen la característica de cambiar el tiempo y disipar energía durante un terremoto. Dependiendo de los objetivos del diseño, se deben seguir los próximos procesos de modelo (Mayes y Naeim, 2001).

- Concluir la medida más pequeña de la dimensión de obra y la localización del aislamiento requerido para cargas de gravedad máximas.
- Elija el equipo adecuado para su aislamiento.
- Seleccione la longitud de los aisladores para reducir las fuerzas sísmicas durante el período de tiempo deseado.

- Determine el factor de amortiguación del dispositivo de aislamiento de modo que el cambio estructural en la carga del viento pueda controlarse dentro del límite de diseño.
- Si es necesario, verifique el rendimiento de la máquina aislante bajo gravedad, calor, terremotos y otras cargas.

## PROCESO DE DISEÑO DE UN AISLADOR SÍSMICO

Los procedimientos de modelo del dispositivo de aislamiento son iterativos, por lo que existen muchos métodos para el diseño del dispositivo, pero todos concurren con las respuestas iniciales, generalmente el tiempo de retraso y la amortiguación. A continuación, se detallan los procedimientos seguidos para crear las herramientas incluidas en este documento.

**Procedimiento de diseño para los aisladores con núcleo de plomo (LRB):** Para realizar el Diseño se necesita de información inicial, las cuales son:

- Peso sísmico de la estructura ( $W$ ).
- Peso final aplicada en el aislador ( $P_u$ ).
- Tiempo objetivo ( $T_D$ ).
- Amortiguación efectiva del objetivo ( $\beta_{eff}$ ).
- Desplazamiento de diseño.
- Aceleración Espectral ( $S_a$ ).

La Tabla proporciona los pasos que se utilizaron:

**Tabla 17**

*Procedimiento de diseño de los aisladores LRB*

| PASO | DEFINICIÓN                                            | FÓRMULAS                          | ACLARACIÓN                                                                                                |
|------|-------------------------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 01   | Rigidez Efectiva ( $K_{eff}$ )                        | $K_{eff} = 4 \pi^2 W / g T_D^2$   |                                                                                                           |
| 02   | Energía perdida en cada periodo histerético ( $W_D$ ) | $W_D = 2 \pi K_{eff} D^2 \beta_D$ | Consideramos "D d" como longitud $x x D$ en la gráfica histerética, por lo tanto, D D es equivalente a D. |
| 03   | Magnitud distintiva ( $Q$ )                           | $Q = W_D / 4(D - D_y)$            | Suponemos que el movimiento de fluencia $D_y$ es igual a cero.                                            |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                              |                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 04                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Rigidez Post-Fluencia (K2 o Kd)              | $K_2 = K_{eff} - Q/D$                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| 05                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Desplazamiento de Fluencia (Dy)              | $K_1 = \alpha K_2$<br>$D_y = Q/(K_1 - K_2)$ | Para determinar el valor de Dy, inicialmente aceptamos la conexión entre las rigideces K1 y K2                                                                                                                                                                                                               |
| *Utilizando la magnitud encontrada para Dy se vuelve a calcular la magnitud de Q con la fórmula del procedimiento 3                                                                                                                                                                                                      |                                              |                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>Cálculo del Área de Plomo</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                              |                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| 06                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Fortaleza de la Fluencia (Fy)                | $F_y = Q + K_2 D_y$                         | Suponemos que el movimiento de fluencia Dy es igual a cero.                                                                                                                                                                                                                                                  |
| 07                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Zona general de plomo (A <sub>pb</sub> )     | $A_{pb} = F_y / \sigma_y$                   | Aquí, $\sigma_y$ representa el esfuerzo de fluencia del plomo, y se estima aproximadamente en 10 MPa.                                                                                                                                                                                                        |
| 08                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Diámetro del Plomo (D <sub>pb</sub> )        | $D_{pb} = \sqrt{4A_{pb} / \pi}$             | Se sugiere ajustar la medida del plomo a una magnitud estándar o comercial.                                                                                                                                                                                                                                  |
| * Con el diámetro de plomo escogido recalculémoslos valores de A <sub>pb</sub> , F <sub>y</sub> y el valor de Q.<br>* Se aconseja que la relación entre Q/ W se encuentre en el rango del 3% al 10%.<br>* Dado el valor final de "Q", procedemos a recalcular el valor de "K2" utilizando la ecuación del paso número 4. |                                              |                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>Características de la Goma</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                              |                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| 09                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Altura de la Goma (Hr)                       | $H_r = D_o / \gamma_s$                      | Tomamos un número para la desfiguración por corte, representada por " $\gamma_s$ ", el cual puede extenderse desde el 150% hasta el 250%.                                                                                                                                                                    |
| 10                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Grosor de las Láminas de Goma                | tr                                          | Este dato fluctúa dentro del intervalo de 6 mm a 10 mm.                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 11                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Cantidad de Capas de Goma (n)                | $n = H_r / t_r$                             | Ajustar la cantidad de "n" y posteriormente recalculamos el valor de Hr.                                                                                                                                                                                                                                     |
| 12                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Medida de la rigidez torsional del material. | G                                           | Ubicado en la franja aproximada de 0.38 a 0.7 MPa.                                                                                                                                                                                                                                                           |
| 13                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Área Total de Goma (A <sub>r</sub> )         | $A_r = K_2 H_r / G$                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| 14                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Diámetro del aislador (De)                   | $De = \sqrt{(4A_r / \pi) + D_{pb}^2}$       | Asimismo, es posible determinar las medidas del dispositivo de aislamiento de la fórmula $De = \sqrt{(4Pu / \pi \sigma)}$ , en el que "Pu" plasma la carga final aplicada al aislador y " $\sigma$ " y representa la fuerza a comprimir de la goma. Se aproxima en la respuesta de "De" medidas comerciales. |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                       |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| * Utilizando el diámetro final seleccionado, procedemos a recalcular los valores del área de goma "Ar" y el coeficiente de rigidez de post-fluencia "k2".<br>* Usando el valor definitivo de "k2", procedemos a recalcular la rigidez efectiva utilizando la ecuación correspondiente del paso número 4. |                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                       |
| 15                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Recalculamos los valores de TD y $\beta_D$<br>$T_D = 2\pi\sqrt{W/(gK_{eff})}$<br>$\beta_D = 2Q(D_D - D_y)/(\pi K_{eff}D_D^2)$ | Es esencial que estos coeficientes concuerden con las suposiciones iniciales; en caso contrario, se pueden ajustar los rasgos del dispositivo de aislamiento hasta lograr la correspondencia deseada. |

También se deberá verificar la frecuencia rígida "Kv" sea superior a 10 Hz de ese modo evitando oscilaciones exageradas de la edificación a lo largo los trabajos de aislamiento. La rigidez vertical de la junta caucho-plomo está definida por la siguiente ecuación:

$$K_v = \frac{E_c A}{H_r} + \frac{E_{cpb} A_{pbpb}}{H_{pb}}$$

En el cual:

- "Ec" es el patrón de compresión del componente de acero de jebe dentro del círculo aislante.

$$E_c = \frac{6G_r S^2 K}{6G_r S^2 + K}$$

K es el tipo de compresión del caucho, que se puede suponer que es de 2000 MPa. "Gr" denota la medida de la rigidez torsional, el módulo de corte del caucho, el cual oscila entre 0.38 y 0.70 MPa dependiendo de la composición del caucho. "S" se determina mediante el cálculo del coeficiente.

$$S = \frac{D_e^2 - D_{pb}^2}{4De tr}$$

- "Ecpb" representa el modelo de compresión del plomo, y se puede asumir una estimación de 14000 Metros pascales.

De modo que, si no se alcanza la frecuencia mínima de 10 Hz, se debe aumentar la medida del aislador o disminuir el diámetro del aislador o disminuir su altitud.

## VERIFICACIÓN DE ESTADOS LÍMITES

Posterior a la determinación del tamaño del dispositivo aislante, es necesario comprobar los márgenes que podría obtener el dispositivo de aislamiento a lo largo de su funcionamiento.

Comprobación de la fuerza ejercida el acero: El grosor de las láminas de acero, tanto la superior como la inferior, se considera el valor "ts". Para ello, primero calculamos la magnitud de la fuerza máxima ejercida en la placa, la cual está influenciada por el grosor del caucho y del acero, así como la tensión máxima de compresión en el dispositivo aislante:

$$\sigma_s = 1.5 \frac{t_r}{t_s} \sigma_c$$

Esta fuerza debe mantenerse por debajo del umbral permitido de tensión,  $\sigma_{adm}$ , el cual podemos estimar como el 75 % del límite de esfuerzo,  $\sigma_y$ , conforme a la ecuación:

$$\sigma_{adm} = 0.75 \sigma_y, \sigma_s \leq \sigma_{adm}$$

En el caso de que no se pueda lograr este equilibrio, es necesario ajustar el caucho o las varillas de acero.

Máxima flexión angular: Esta máxima flexión angular es originada por los resultados de la deformación angular por cortante " $\gamma_s$ ", compresión " $\gamma_c$ " y flexión " $\gamma_b$ "; este último se puede despreciar debido al menor impacto. Es necesario verificar que la flexión angular extrema sea inferior a la deformación angular permisible. " $\gamma_{permitida}$ ", fórmula:

$$\gamma_{max} = \gamma_s + \gamma_c + \gamma_b \approx \gamma_s + \gamma_c \leq \gamma_{permisible}.$$

La máxima deformación angular se puede calcular a nivel de SMP, donde, " $\gamma_s$ " y " $\gamma_c$ " se determinan mediante las siguientes ecuaciones.

$$\gamma_{\max} = \frac{D_{TM}}{H_r}$$

$$\gamma_c = 6 S \varepsilon_c$$

Donde  $\varepsilon_c$  se calcula con la siguiente ecuación:

$$\varepsilon_c = \frac{\frac{P_{max}}{A}}{E_0(1 + 2kS^2)}$$

donde el valor de  $E_0$  es un dato del fabricante y  $k$  varía de 0.7 - 1.0. Por lo tanto, la máxima deformación angular permitida se puede dar por:

$$\gamma_{\text{permisible}} = \frac{0.85 \varepsilon_b}{F.S.}$$

El factor de seguridad (F.S.) debe considerarse mayor o igual a 1.5, mientras que la deformación de rotura de la goma  $\varepsilon_b$ , está entre 5.5 y 6. Si no se cumple con la ecuación, se debería ajustar la altura de la goma.

Verificación por pandeo: A modo de garantizar que el pandeo no se llegue a dar, se hallará la carga crítica " $P_{crit}$ " según la fórmula que se muestra:

$$P_{crit} = \frac{P_s}{2} \left( \sqrt{1 + 4 \frac{P_E}{P_s}} - 1 \right)$$

Donde:

" $P_s$ " es la rigidez de corte efectiva, " $A_s$ " se refiere al área de corte efectiva, y " $h$ " se refiere a la altura del aislante sin láminas de apoyo.

$$P_s = (GA)_{eff} = GA_s$$

$$A_s = A \frac{h}{H_r}$$

“PE” es la carga de Euler, se muestra en la siguiente ecuación.

$$P_E = \frac{\pi^2 (EI)_{eff}}{h^2}$$

“(EI) eff” es la rigidez del dispositivo cuando está inclinado (tilting). Esta rigidez se puede estimar, mediante la aplicación de la fórmula.

$$P(EI)_{eff} = \frac{1}{3} E_C I$$

$$I = \frac{\pi}{3} \left[ \left( \frac{D_2}{2} \right)^4 - \left( \frac{D_i}{2} \right)^4 \right]$$

Finalmente, se confirma que la relación entre la carga crítica y la carga máxima es superior al factor de seguridad, o F.S., cuyo valor máximo que tomaremos en consideración para el sismo SMP es de 1,5 (Trevor E. Kelly, 2001).

$$\frac{P_{crit}}{P_{max}} \geq F.S.$$

Se aconseja reducir la altura o aumentar el diámetro del aislador si no se cumple esta condición.

**Comprobación de estabilidad frente al volcamiento:** Dado que los aisladores estarán conectados a la plataforma de aislamiento superior con pernos de anclaje incrustados en la base, no es necesario analizar este efecto. Además, no deberían existir grandes desplazamientos diferenciales entre los dispositivos.

**Procedimiento del diseño de deslizadores planos (PTFE):** En estos dispositivos, se sugiere seguir el siguiente proceso para hallar sus propiedades.

**Tabla 18**

*Proceso de modelo de los deslizadores de forma plana*

| <b>PASOS</b> | <b>RESEÑA</b>                                                                                                                                                                                                                    | <b>FÓRMULAS</b>                                                                                  | <b>OBSERVACIÓN</b>                                                                                                                                                                                                                         |
|--------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 01           | Área de contacto del deslizador ( $A_s$ )                                                                                                                                                                                        | $A_s = \frac{P}{\delta_t}$                                                                       | Este valor se determinará a partir de la carga vertical del deslizador, $P$ , y la tensión permitida para la compresión del teflón, $\sigma_t$ , se hallará este valor.                                                                    |
| 02           | Diámetro del deslizador ( $D_A$ )                                                                                                                                                                                                | $D_A = D_S + 2D_{TM}$                                                                            | Este diámetro abarca tanto el diámetro del elemento deslizador, $D_S$ , como el desplazamiento 2 veces $D_{TM}$ .                                                                                                                          |
|              | * Una vez que se ha seleccionado la medida final " $D_A$ ", se procede a recalcular la medida total del deslizador, denominado " $D_{AT}$ ", incorporando un ancho adicional mediante sellos de seguridad a la medida " $D_A$ ". |                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                            |
| 03           | Espesor de la placa inferior ( $h_i$ )                                                                                                                                                                                           | $F_p = \sigma_b \left( \frac{\pi}{4} \right) (D_S + 2h_i)^2$ $F_T = \sigma_t A_s$ $F_p \geq F_T$ | Calculamos el ancho " $h_i$ " de modo que la oposición al aplaste ( $F_p$ ) de esta placa supere la carga límite que proviene del factor deslizante ( $F_t$ ). Aquí, " $\sigma_b$ " representa la fuerza de tensión permisible de aplaste. |
| 04           | Calcular la altura del deslizador, $H$ , adicionando el ancho $h_i$ , más el espesor de la placa superior $h_s$ y la altura del elemento deslizador $h_d$ .                                                                      |                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                            |

Del proceso anterior obtenemos las características de los dispositivos seleccionados; en la tabla se presentan las informaciones inicialmente recolectadas.

**Tabla 19**

*Información inicial para el diseño de aisladores*

| <b>EN DISPOSITIVOS ELASTOMERICOS</b>                          |          |         |
|---------------------------------------------------------------|----------|---------|
| Peso sísmico de la estructura ( $W$ )                         | 2,122.40 | tonf    |
| Periodo objetivo ( $TD$ )                                     | 2,66     | s       |
| Amortiguamiento efectivo ( $\beta_{eff}$ )                    | 25,60%   |         |
| Desplazamiento del diseño ( $DD$ )                            | 0,18     | m       |
| Aceleración espectral ( $S_a$ )                               | 0,16     | g       |
| <b>EN DISPOSITIVOS DESLIZANTES</b>                            |          |         |
| Carga máxima sobre el deslizador ( $P_u$ )                    | 138,00   | tonf    |
| Tensión admisible en compresión para el teflón ( $\sigma_t$ ) | 4,410.00 | tonf/m2 |
| Tensión admisible en compresión ( $\sigma_b$ )                | 3,000.00 | tonf/m2 |
| Altura de las placas de apoyo ( $h$ )                         | 2.20     | cm      |
| Altura del elemento deslizador ( $h_d$ )                      | 7.50     | cm      |

En conclusión, las Tablas 20 y 21 presentan una síntesis de las respuestas derivadas de los pasos mencionados anteriormente.

**Tabla 20***Dimensiones de los dispositivos*

|     | <b>LRB-A</b> | <b>LRB-B</b> | <b>PTFE</b> |    |                                    |
|-----|--------------|--------------|-------------|----|------------------------------------|
| D   | 650.00       | 650.00       | 1000.00     | mm | Diámetro del aislador              |
| Dpb | 60.00        | 75.00        | -           | mm | Diámetro de plomo                  |
| n   | 32.00        | 32.00        | -           |    | Número de capas de neopreno        |
| tr  | 10.00        | 10.00        | -           | mm | Espesor de las láminas de neopreno |
| ts  | 2.50         | 2.50         | -           | mm | Grosor de las láminas de acero     |
| Hr  | 320.00       | 320.00       | -           | mm | Alto general del neopreno          |

**Tabla 21***Características del sistema de aislamiento*

|         | <b>LRB-A</b> | <b>LRB-B</b> | <b>PTFE</b> | <b>total</b> |
|---------|--------------|--------------|-------------|--------------|
| N°      | 17.00        | 9.00         | 5.00        | 31.00        |
| Dy      | 0.0069       | 0.0090       | 0.0000      | -            |
| Keff    | 53.84        | 64.37        | 0.00        | 1494.54      |
| T       | -            | -            | -           | 2.72         |
| $\beta$ | 15.9%        | 20.8%        | 63.7%       | 25.6%        |
| B       | -            | -            | -           | 1.61         |
| K1      | 398.42       | 422.50       | -           | -            |
| Fy      | 2.88         | 4.50         | -           | -            |
| K2/K1   | 0.10         | 0.10         | -           | -            |

#### 4.1.6. ANÁLISIS DINÁMICO

La diferencia de dureza en el dispositivo se incluye en el análisis estático. Comenzamos con un proceso de selección para identificar a los participantes; realizaremos una evaluación espectral para contrastar con las respuestas de la evaluación estática; también llevaremos a cabo un estudio temporal para de esa manera entender la respuesta del modelo en esta circunstancia.

#### ANÁLISIS MODAL

Mediante este estudio analizaremos el tiempo útil que se tuvo en el estudio y también analizaremos el % efectivo en las marcas más importantes que necesitan ser traducidas.

Una buena participación en el modo deslizar requiere al menos un 90% de participación. Si no se hace esto, se debe realizar una nueva

dureza para asegurar que el área de dureza esté cerca del centro de masa. Para ello se utiliza el software E.T.A.B.S. En la Tabla 22. Se muestran las conclusiones del estudio relacionadas únicamente con una edificación.

**Tabla 22**

*Modos de oscilación de la edificación con aislamiento en la base*

| <b>MODO</b> | <b>TIEMPOS</b> | <b>UX<br/>%</b> | <b>UY<br/>%</b> | <b>RZ<br/>%</b> |
|-------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 01          | 2.80           | 1.0%            | 97.1%           | 1.8%            |
| 02          | 2.79           | 98.7%           | 1.1%            | 0.1%            |
| 03          | 2.54           | 0.3%            | 1.7%            | 97.9%           |
| 04          | 0.51           | 0.0%            | 0.2%            | 0.0%            |
| 05          | 0.47           | 0.1%            | 0.0%            | 0.1%            |
| 06          | 0.46           | 0.1%            | 0.0%            | 0.1%            |
| 07          | 0.21           | 0.0%            | 0.0%            | 0.0%            |
| 08          | 0.20           | 0.0%            | 0.0%            | 0.0%            |
| 09          | 0.19           | 0.0%            | 0.0%            | 0.0%            |
| 10          | 0.14           | 0.0%            | 0.0%            | 0.0%            |
| 11          | 0.12           | 0.0%            | 0.0%            | 0.0%            |
| 12          | 0.11           | 0.0%            | 0.0%            | 0.0%            |
| 13          | 0.11           | 0.0%            | 0.0%            | 0.0%            |
| 14          | 0.10           | 0.0%            | 0.0%            | 0.0%            |
| 15          | 0.08           | 0.0%            | 0.0%            | 0.0%            |

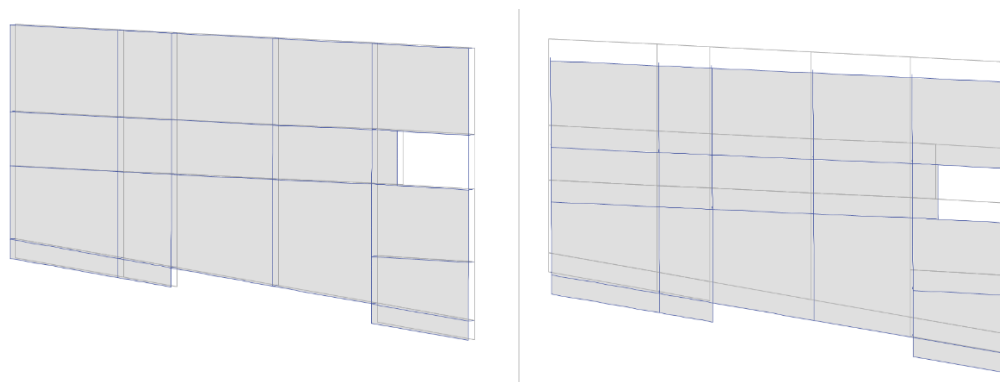
En la Tabla 22, se evidencia que los dos primeros modos han alcanzado su objetivo de lograr la translación; su participación es superior al 90 por ciento y cercana entre los 2.

También, el tiempo en esta prueba (TD) es igual a 2.74 s, aproximadamente en los 2 rumbos; es similar a los resultados obtenidos del estudio estático (TD = 2.66 s). De este modo, la separación de rigidez resulta adecuada.

Una mirada planificada nos permitirá comprender mejor su comportamiento.

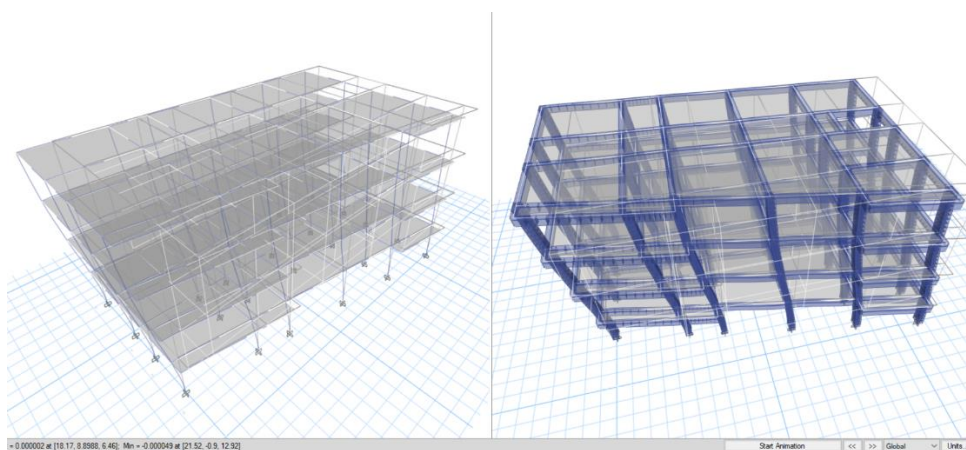
**Figura 29**

*Representación en planta de los 2 modos iniciales de oscilación de la edificación aislada. Modo 1 (lado izquierdo) y Modo 2 (lado derecho).*



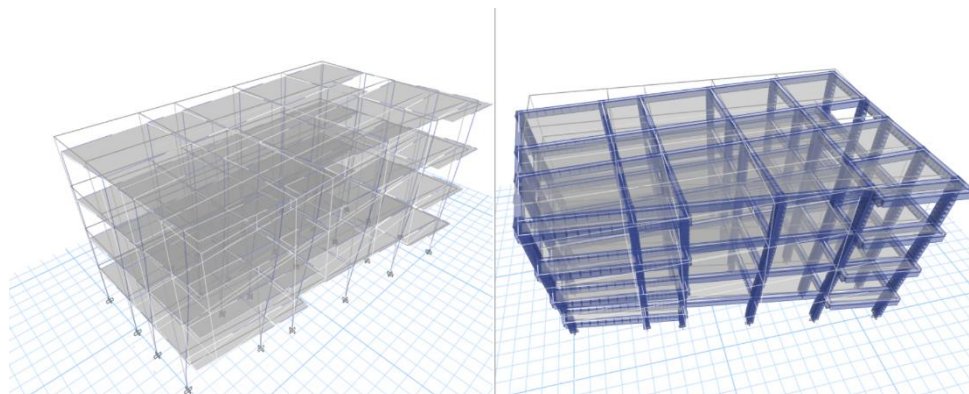
**Figura 30**

*Representación en planta de los 2 modos iniciales de oscilación de la edificación aislada. Modo 1*



**Figura 31**

*Representación en planta de los 2 modos iniciales de oscilación de la edificación aislada. Modo 2*



## Análisis espectral

El análisis espectral se llevará a cabo utilizando el espectro de diseño especificado en la norma E-030, junto con los parámetros sísmicos establecidos en el Reglamento Nacional de Edificaciones. Este espectro debe ajustarse aplicando el coeficiente “BD”, que refleja el amortiguamiento efectivo calculado. La reducción correspondiente se aplica a partir del periodo largo, que representa el comportamiento de la estructura aislada.

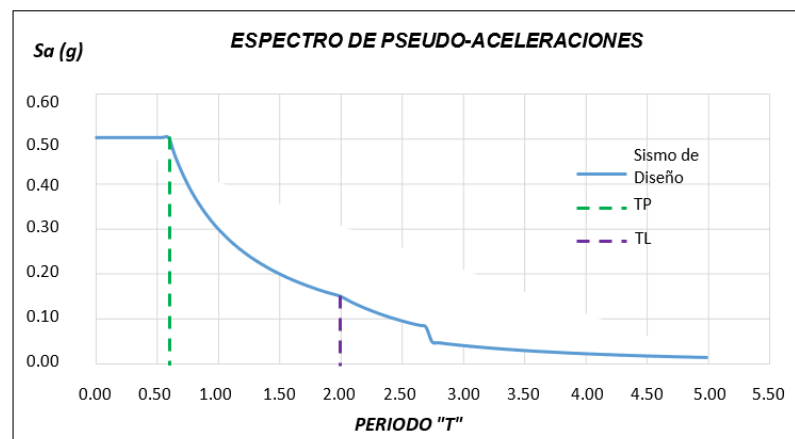
De mismo modo, al realizar este proceso se tiene en cuenta el sismo máximo probable. Por lo tanto, la ecuación es la siguiente:

$$S_a = \frac{ZUCS}{RB_D} g$$
$$S_{a\ SMP} = 1.5 \frac{ZUCS}{RB_M} g$$

Por ende, el análisis espectral se llevará a cabo empleando el espectro delineado en la figura 32, considerando su uniformidad en ambas direcciones y adoptando un valor de R que sea equivalente a 1.0.

**Figura 32**

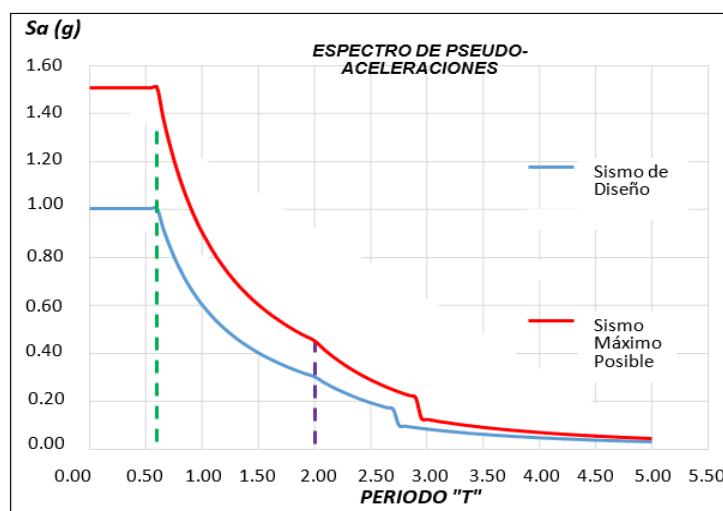
*Espectro de diseño de la norma E-030 reducido por amortiguamiento y R=1*



Para diseñar los componentes estructurales de la superestructura, el espectro se reduce en un factor de  $R=2$ . El espectro se utiliza para verificar los desplazamientos y las desviaciones entre pisos.

**Figura 33**

*Espectro de diseño de la norma E-030 reducido por amortiguamiento y  $R=2$*



Los datos correspondientes al sismo de diseño y al sismo máximo que podría producirse para la estructura aislada se muestran en las tablas 23 y 24, respectivamente.

**Tabla 23**

*Resultados obtenidos luego del análisis para el (SD)*

| PARÁMETRO                                               | DIRECCIÓN X-X |      | DIRECCIÓN Y-Y |        |
|---------------------------------------------------------|---------------|------|---------------|--------|
|                                                         | x             | y    | x             | y      |
| Desplazamiento de diseño DM (cm)                        | 29.5          | 0.50 | 0.59          | 26.50  |
|                                                         | 4             |      |               |        |
| Desplazamiento total de diseño DTM (cm)                 | 36.41         |      | 33.20         |        |
| Aceleración máxima en la estructura (m/s <sup>2</sup> ) | 1.66          | 0.16 | 0.39          | 1.72   |
| Cortante de diseño del sistema de aislamiento           | 393.          | 6.41 | 6.41          | 352.08 |
| Vb (tonf), $R=1$                                        | 88            |      |               |        |

**Tabla 24**

*Resultados obtenidos luego del análisis para el (SMP)*

| Parámetro                                                      | Dirección X-X |     | Dirección Y-Y |      |
|----------------------------------------------------------------|---------------|-----|---------------|------|
|                                                                | x             | y   | x             | y    |
| Desplazamiento de diseño DD (cm)                               | 17.66         | 0.1 | 0.22          | 17.4 |
|                                                                | 7             |     |               | 4    |
| Desplazamiento total de diseño DTD (cm)                        | 21.988        |     | 22.184        |      |
| Deriva máxima de entre piso                                    | 0.0021        |     | 0.00254       |      |
| Aceleración máxima en la estructura (m/s <sup>2</sup> )        | 1.14          | 0.0 | 0.21          | 1.20 |
|                                                                | 9             |     |               |      |
| Cortante de diseño del sistema de aislamiento Vb (tonf), $R=1$ | 263.59        | 2.3 | 2.30          | 259. |
|                                                                |               | 0   |               | 04   |
| Cortante de diseño del sistema de aislamiento Vs (tonf), $R=2$ | 131.80        | 1.1 | 1.15          | 129. |
|                                                                |               | 5   |               | 52   |

En cuanto al sismo de diseño, podemos observar que la mayor aceleración que actúa sobre la estructura es de alrededor de 0,12 g y 0,122 g en la dirección x - y. Estas aceleraciones son significativamente inferiores a las observadas en el estudio para la estructura de base fija. En los terremotos relevantes, los desplazamientos máximos y de diseño son bastante comparables. Más adelante se realizará un análisis más detallado de estos resultados.

### **Análisis tiempo - historia**

Las características bilineales de los dispositivos se utilizan para determinar la respuesta no lineal a lo largo del tiempo. Es necesario verificar los valores de rigidez y amortiguación efectiva que se incluyeron en el análisis elástico del edificio aislado.

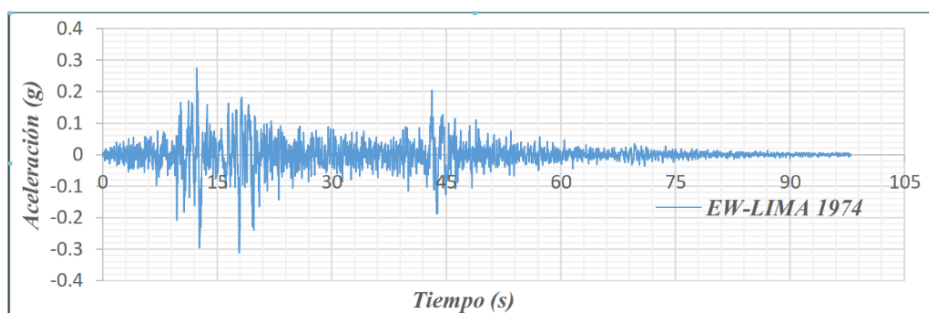
Los datos en cuestión se procesaron utilizando el programa SeismoSignal. El acelerograma también se escaló a un PGA de 0,35 g utilizando la herramienta SeismoMatch para garantizar que cumpliera con la norma E-030.

La aplicación de cargas gravitatorias a la estructura en sentido vertical es un paso necesario antes de aplicar un registro para el análisis T-H no lineal. Esto se justifica porque el principio de superposición no se cumple en un análisis no lineal y porque la estructura ya está experimentando tensiones verticales durante un sismo. Alternativamente, al igual que con los dispositivos de fricción, puede darse el caso de que la fuerza cortante ejercida sobre un aislador dependa de la carga vertical que soporta.

Para realizar el análisis T-H al nivel del sismo de diseño, las figuras 34 y 35 muestran los elementos de los acelerogramas escalados y corregidos del sismo de Lima de 1974.

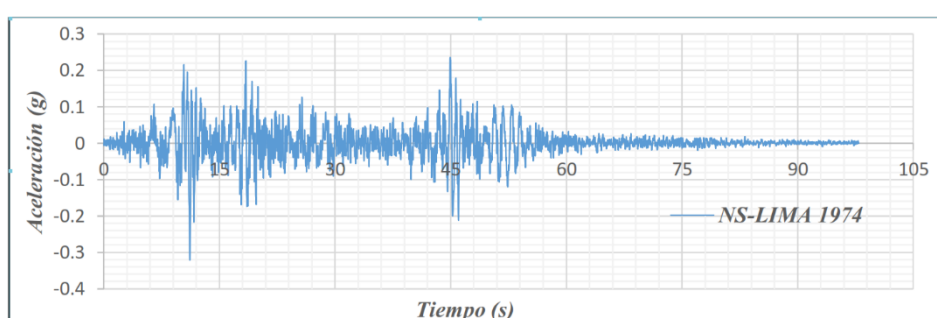
**Figura 34**

*Componente Este-Oeste (EW) del sismo de Lima 1974*



**Figura 35**

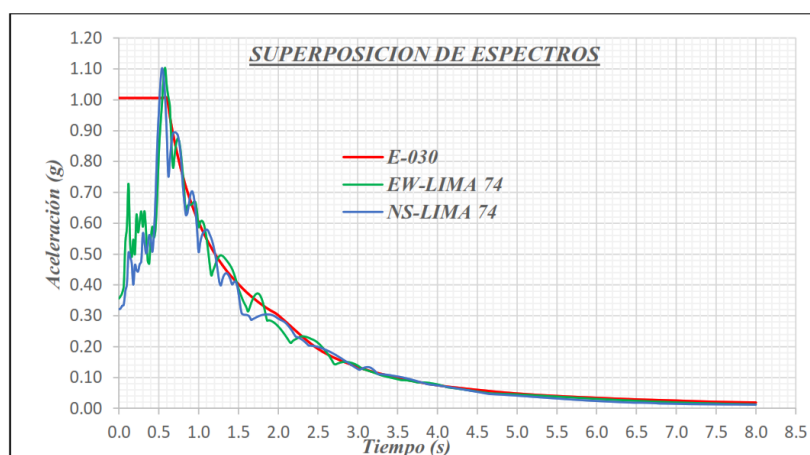
*Componente Norte-Sur (NS) del sismo de Lima 1974*



Se utilizó el software SeismoMatch con una amortiguación del 5% para determinar los espectros de cada componente del sismo elegido. A continuación, estos espectros se superpusieron al espectro de la norma E-030. La superposición de estos espectros se puede ver en la figura 36.

**Figura 36**

*Superposición de espectros de la norma E-030 y las componentes EW y NS del sismo de Lima de 1974*



Es evidente que estos espectros del sismo de Lima de 1974, escalados en la norma E-030, son bastante comparables en todo el rango de tiempo de la norma ASCE 7-10. Para obtener los mejores resultados, insistimos una vez más en que esto debe hacerse con al menos tres pares de registros; si desea obtener el promedio de los resultados, debe hacerlo con siete pares de registros.

**Tabla 25**

*Resultados del análisis tiempo-historia (Lima-1974)*

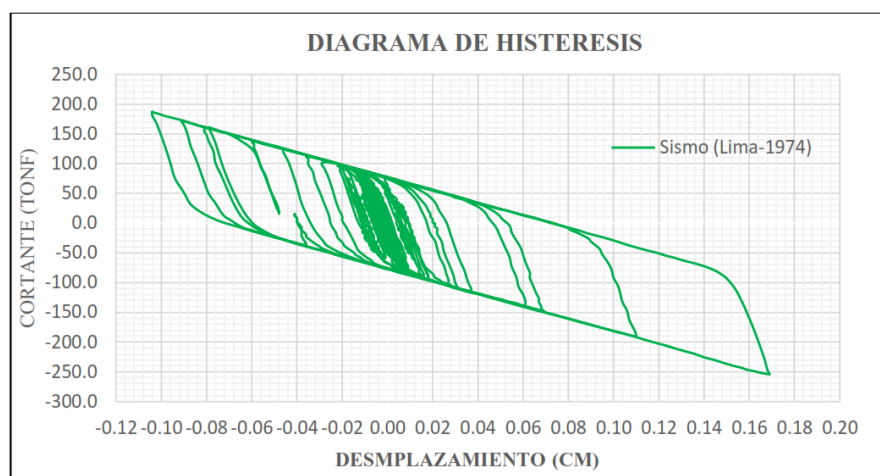
| Parámetro                                                    | Dirección x-x |       | Dirección y-y |        |
|--------------------------------------------------------------|---------------|-------|---------------|--------|
|                                                              | x             | y     | x             | y      |
| Desplazamiento de diseño DD (cm)                             | 16.90         | 5.40  | 5.60          | 16.20  |
| Desplazamiento total de diseño DTD (cm)                      | 18.12         |       | 17.40         |        |
| Deriva máxima de entre piso                                  | 0.0028        |       | 0.00324       |        |
| Aceleración máxima en la estructura (m/s <sup>2</sup> )      | 2.04          | 0.85  | 0.71          | 2.30   |
| Cortante de diseño del sistema de aislamiento Vb (tonf), R=1 | 254.17        | 87.83 | 90.57         | 248.83 |
| Cortante de diseño del sistema de aislamiento Vs (tonf), R=2 | 127.08        | 43.92 | 45.28         | 124.41 |

En la Tabla 25, la fuerza cortante ( $V_{bx} = 263,59$  tonf y  $V_{by} = 259,84$  tonf) y los desplazamientos del análisis espectral ( $DD_x = 17,66$  cm y  $DD_y = 17,44$  cm) tienen valores bastante comparables entre sí.

Los datos de la tabla 25 se tomaron del diagrama de histéresis que produjo el sistema de aislamiento del edificio; la figura 37 muestra esta cifra.

**Figura 37**

*Diagrama de histéresis para el sistema de aislamiento (total)*



Como se ha indicado anteriormente, las ecuaciones se utilizan para calcular los atributos iniciales introducidos en el sistema; la tabla 26 muestra estos valores. El examen de los diagramas de histéresis (figura 37) proporciona los valores de  $V_{max}$ ,  $D^+$ ,  $V_{min}$ ,  $D^-$  y  $Q_d$ . Podemos suponer que el valor de  $D_y$  es el calculado en el estudio anterior.

**Tabla 26**

*Parámetros obtenidos del diagrama histerético*

| <b>Parametro</b>   | <b>Sismo (Lima 1974)</b> |
|--------------------|--------------------------|
| $D^+$ (cm)         | 16.90                    |
| $D^-$ (cm)         | -10.40                   |
| $D$ (cm)           | 13.65                    |
| $V_{máx}$ (tonf)   | 187.43                   |
| $V_{min}$ (tonf)   | -254.17                  |
| $K_{eff}$ (tonf/m) | 1,617.56                 |
| $Q_d$ (tonf)       | 76.00                    |
| $D_y$ (cm)         | 0.800                    |
| $\beta_{eff}$      | 20.6%                    |

El valor de la rigidez y amortiguamiento efectivos del análisis estático ( $K_{eff}=1494.54\text{tonf/m}$ ,  $\beta_{eff}=25.6\%$ ), difiere en aprox. 9% y 19% respectivamente, de los valores calculados con el diagrama de histéresis. Para asegurar el buen comportamiento de la estructura se recomienda acortar esta diferencia. Esto se pudo deber porque solo se consideró un solo par de registros, lo cual no debe de suceder (se considera como mínimo 3 pares de registros, para considerar los máximos de estos; o 7 pares para poder considerar el promedio).

Ahora que se han establecido las especificaciones del edificio aislado, podemos buscar las anomalías mencionadas en el punto 5.1.

Las discrepancias reales en la altura de estructuras específicas se muestran en las tablas 27 y 28.

**Tabla 27***Comprobación de irregularidad Rigidez-Piso blando*

| PISO   | RIGIDEZ<br>(TONF/M |          | RIGIDEZ-PISO<br>BLANDO |         | RIGIDEZ-PISO<br>BLANDO |        | COMPROBACIÓN |         |
|--------|--------------------|----------|------------------------|---------|------------------------|--------|--------------|---------|
|        | x-x                | y-y      | x-x                    | y-y     | x-x                    | y-y    |              |         |
| Piso 5 | 325.12             | 257.68   |                        |         |                        |        |              |         |
| Piso 4 | 13333.70           | 9651.60  | 4100.75                |         | 3745.34                |        | Regular      | Regular |
|        |                    |          | %                      |         | %                      |        |              |         |
| Piso 3 | 17969.16           | 14436.61 | 134.68%                |         | 149.58%                |        | Regular      | Regular |
|        |                    | 5        |                        |         |                        |        |              |         |
| Piso 2 | 20452.98           | 17635.61 | 113.66%                | 193.99% | 122.16%                | 217.31 | Regular      | Regular |
|        |                    | 0        |                        |         |                        | %      |              |         |
| Piso 1 | 28430.56           | 26474.31 | 139.92%                | 164.80% | 150.12%                | 190.35 | Regular      | Regular |
|        |                    | 6        |                        |         |                        | %      |              |         |

**Tabla 28***Comprobación de irregularidad Rigidez-Piso débil*

| PISO   | CORTANTE<br>(TONF) |        | Resistenci<br>a-Piso<br>Débil | resistencia<br>-piso débil | comprobación |         |
|--------|--------------------|--------|-------------------------------|----------------------------|--------------|---------|
|        | x-x                | y-y    |                               |                            |              |         |
| Piso 5 | 0.72               | 0.79   |                               |                            |              |         |
| Piso 4 | 42.54              | 45.00  | 5908.33%                      | 5696.20%                   | Regular      | Regular |
| Piso 3 | 101.49             | 104.36 | 238.58%                       | 231.91%                    | Regular      | Regular |
| Piso 2 | 154.65             | 155.25 | 152.38%                       | 148.76%                    | Regular      | Regular |
| Piso 1 | 204.18             | 201.69 | 132.03%                       | 129.91%                    | Regular      | Regular |

**Tabla 29***Verificación de deformidad en Masa o Peso*

| PISO   | PESO<br>SÍSMICO | COMPROBACIÓN |
|--------|-----------------|--------------|
|        | (tonf)          |              |
| Piso 4 | 301.59          | Regular      |
| Piso 3 | 436.88          | Regular      |
| Piso 2 | 444.15          | Regular      |
| Piso 1 | 444.99          | Regular      |

Según los datos anteriores, no hemos podido identificar ninguna anomalía en nuestro edificio. Hemos detectado las siguientes anomalías en la altura: geometría vertical (porque todos los pisos tienen el mismo tamaño); discontinuidad en los sistemas resistentes (no aplicable porque todos los componentes de nuestro edificio son continuos).

A continuación, examinaremos la tabla 30 para verificar las anomalías en la distribución de los pisos.

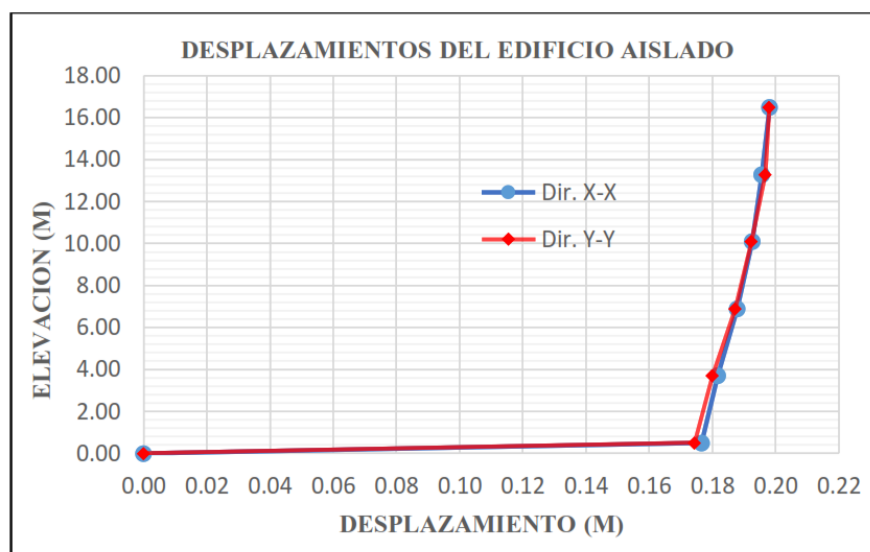
**Tabla 30***Comprobación de Irregularidad Torsional*

| PISO   | Max desplazamiento Relativo |         | Desplazamiento Relativo del CM |         | comprobación |         |
|--------|-----------------------------|---------|--------------------------------|---------|--------------|---------|
|        | x-x                         | y-y     | x-x                            | y-y     | x-x          | y-y     |
| Piso 5 | 0.00080                     | 0.00102 | 0.00082                        | 0.00102 |              |         |
| Piso 4 | 0.00110                     | 0.00160 | 0.00106                        | 0.00150 | Regular      | Regular |
| Piso 3 | 0.00200                     | 0.00250 | 0.00190                        | 0.00232 | Regular      | Regular |
| Piso 2 | 0.00270                     | 0.00310 | 0.00252                        | 0.00290 | Regular      | Regular |
| Piso 1 | 0.00212                     | 0.00230 | 0.00201                        | 0.00210 | Regular      | Regular |

Teniendo en cuenta los resultados de nuestro análisis modal, que indicaban que los dos primeros modos de la estructura eran esencialmente traslacionales, se predijo que esta irregularidad no se produciría. Como consecuencia, tampoco experimentamos las siguientes irregularidades: sistemas no paralelos (porque todos los ejes del edificio son paralelos a la dirección del análisis); discontinuidad del diafragma (ya que las aberturas que proporciona representan mucho menos de la mitad de la superficie total en cada nivel).

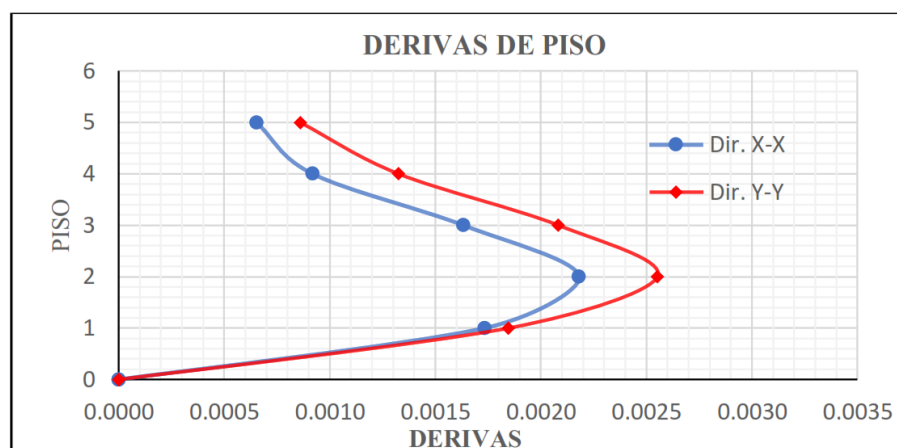
### Control de desplazamientos

En esta sección se compararán los resultados del análisis modal-espectral con los desplazamientos y las derivas derivados del análisis estático. Los desplazamientos y las derivas obtenidos se muestran en las figuras 38 y 39.

**Figura 38***Desplazamiento de piso del sistema aislado para el SD*

**Figura 39**

*Derivas de piso del sistema aislado para el SD*



Como se puede observar en la figura 38, los modos en las direcciones “x” e “y” tienen una participación de masa comparable, ya que los desplazamientos en estas direcciones son muy similares. La mayor deriva para el sismo de diseño no supera el valor límite (0,003), como se muestra en la figura 39. Encontramos las mayores derivas, siendo la más alta 0,00255, en la dirección “y”.

Ahora compararemos los resultados del análisis estático con el análisis espectral observando la tabla 31.

**Tabla 31**

*Comparación de los desplazamientos obtenidos en los análisis estático y espectral*

| DESCRIPCIÓN                        | SIMB. | ANÁLISIS |           |          |
|------------------------------------|-------|----------|-----------|----------|
|                                    |       | ESTÁTICO | ESPECTRAL |          |
|                                    |       |          | Dir. x-x  | Dir. y-y |
| Desplazamiento de Diseño (m)       | DD    | 0.186    | 0.177     | 0.174    |
| Desplazamiento Máximo (m)          | DM    | 0.293    | 0.295     | 0.265    |
| Desplazamiento Total de Diseño (m) | DTD   | 0.205    | 0.219     | 0.222    |
| Desplazamiento Máximo Total (m)    | DTM   | 0.322    | 0.364     | 0.332    |

Determinamos el espacio mínimo de junta sísmica (DTM) necesario para la estructura utilizando los valores que se muestran en la Tabla 31. Además, revisaremos los requisitos enumerados en el punto 2.4.1.2 (apartado “a”) de la Tabla 32.

**Tabla 32**

*Comprobación de desplazamientos mínimos*

| DESCRIPCIÓN                          | $\alpha$ % EST. | DINÁMICO |          |     |
|--------------------------------------|-----------------|----------|----------|-----|
|                                      |                 | Dir. x-x | Dir. y-y |     |
| DTD Dinámico $\geq$ 90% DTD Estático | 0.184           | 0.219    | 0.222    | OK! |
| DTM Dinámico $\geq$ 80% DTM Estático | 0.258           | 0.364    | 0.332    | OK! |

Los desplazamientos del análisis dinámico sí cumplen los requisitos básicos de ASCE 7-10.

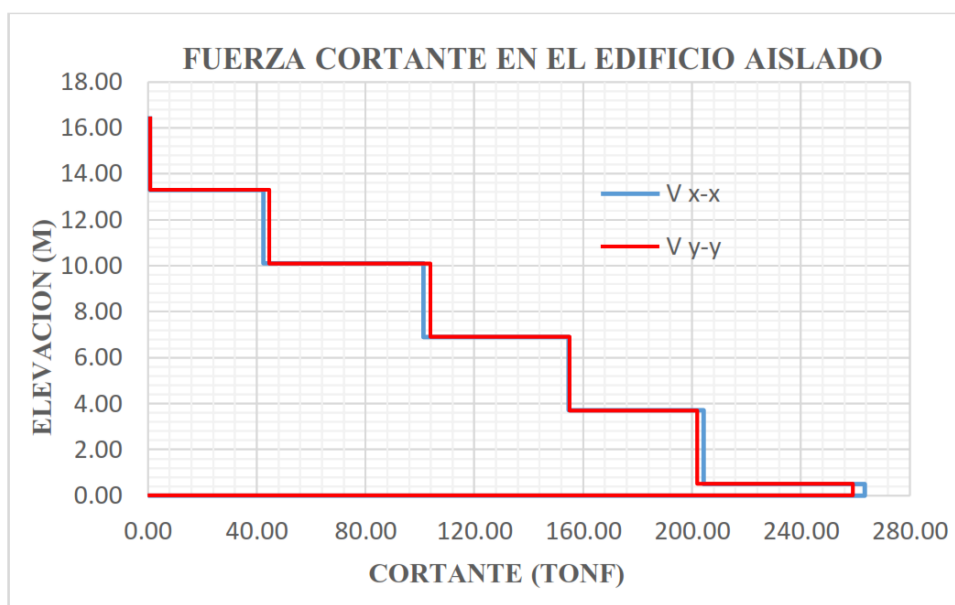
### Fuerza cortante mínima en la base.

Se realizará una comparación entre los desplazamientos y los resultados de los estudios espectrales y estáticos. A continuación, se comprobará que cumplen con las tensiones mínimas del código ASCE 7-10.

Las aceleraciones y los cortantes que actúan sobre el edificio se representan en las figuras 40 y 41, respectivamente.

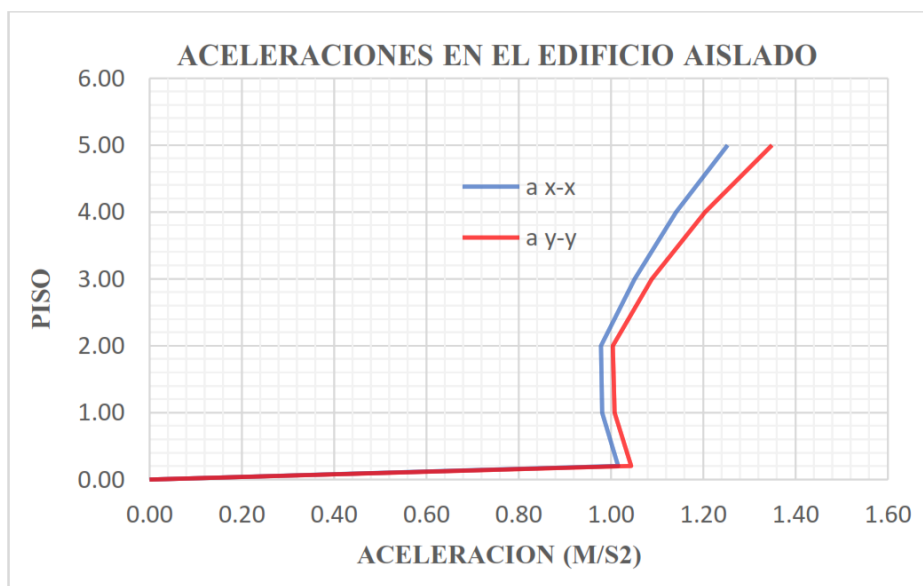
**Figura 40**

*Fuerza cortante que actúa en el edificio aislado*



**Figura 41**

*Aceleraciones en el edificio aislado*



Los resultados de los análisis estáticos y dinámicos del edificio aislado se compararán en la Tabla 33 con el fin de verificar posteriormente los requisitos mínimos de la norma ASCE 7-10 (apartado 2.4.1.2, sección “b”).

**Tabla 33**

*Comparación de los Cortantes obtenidos de los análisis estático y espectral*

| DEFINICIÓN                                          | SIMBOLO. | Estático | ESTUDIO   |          |
|-----------------------------------------------------|----------|----------|-----------|----------|
|                                                     |          |          | Espectral |          |
|                                                     |          | o        | Dir. x-x  | Dir. y-y |
| Fuerza lateral del sistema de aislamiento (R=1)     | Vb       | 278.126  | 263.59    | 259.04   |
| Fuerza lateral mínima para la superestructura (R=2) | Vs       | 139.063  | 131.795   | 129.520  |

**Tabla 34**

*Comprobación de los cortantes mínimos*

| DESCRIPCIÓN                                          | DINÁMICO        |          |          |     |
|------------------------------------------------------|-----------------|----------|----------|-----|
|                                                      | $\alpha\%$ Est. | Dir. x-x | Dir. y-y |     |
| Vb Dinámico $\geq$ 90% Vb Estático                   | 250.313         | 263.59   | 259.04   | OK! |
| VS Dinámico $\geq$ 80% VS Estático (Estr. Regulares) | 111.250         | 131.80   | 129.52   | OK! |

Las fuerzas cortantes derivadas del análisis modal-espectral cumplen con los estándares mínimos de la norma ASCE 7-10, tal y como se muestra en la Tabla 34.

### **Fuerza restitutiva del sistema aislado**

El sistema de aislamiento debe poder volver a su posición inicial tras un desplazamiento lateral provocado por un sismo, tal y como se detalla en el capítulo 2, apartado 2.4.3. De lo contrario, los componentes de la subestructura podrían sufrir concentraciones de tensiones, deformaciones permanentes indeseadas y, en el peor de los casos, fallos estructurales.

Para lograrlo, debe cumplirse la siguiente ecuación.

$$F_{D_{TD}} - F_{50\%D_{TD}} \geq 0.025W$$

**Tabla 35**

*Comprobación de la fuerza de restitución*

| <b>PARÁMETRO</b>       | <b>VALOR</b> | <b>UNID.</b> |
|------------------------|--------------|--------------|
| $D_{TD}$               | 0.22         | m            |
| $K_2$                  | 1057.57      | tonf/m       |
| $F_{D_{TD}}$           | 315.17       | tonf         |
| $F_{50\%D_{TD}}$       | 198.23       | tonf         |
| $\Delta F$             | 116.93       | tonf         |
| $0.025W$               | 68.73        | tonf         |
| $\Delta F \geq 0.025W$ |              | <b>OK!!</b>  |

## **4.1.7. DISEÑO DE LOS ELEMENTOS DE LA INFRAESTRUCTURA**

### **DISEÑO PARA CARGAS DE GRAVEDAD Y SÍSMICAS**

El análisis de pórticos, vigas o losas comúnmente se lleva a cabo mediante enfoques tradicionales como el método Cross, así como mediante enfoques más contemporáneos, incluido el método rígido implementado a través de herramientas como el software E.T.A.B.S.

La edificación objeto del análisis se construirá de acuerdo con los requisitos de la normativa RNE para concreto armado E-060. Se ha

determinado que para determinadas propiedades los requisitos requeridos ( $R_u$ ) no superarán lo que pueden proporcionar ( $\Phi R_n$ ):

$$\Phi R_n \geq R_u$$

La resistencia de diseño a deformación, carga axial, fuerza tangencial y torsión. ( $\Phi R_n$ ) proporcionada por los componentes y sus conexiones a otros elementos se tomarán como resistencia nominal y se calcularán multiplicando por el componente de disminución ( $\Phi$ ). Próximo.

- Para flexión sin carga axial.  $\Phi = 0.90$
- Para carga axial y carga axial con flexión.
  - Carga axial de tracción con o sin flexión.  $\Phi = 0.90$
  - Carga axial de compresión con o sin flexión.
    - ✓ Elementos con refuerzo en espiral.  $\Phi = 0.75$
    - ✓ Otros elementos.  $\Phi = 0.70$
- Para cortante y torsión.  $\Phi = 0.70$
- Para aplastamiento en el concreto.  $\Phi = 0.85$

La norma E-060 del Reglamento Nacional de Edificaciones indica que es posible utilizar combinaciones de cargas amplificadas mediante factores específicos, dependiendo de su naturaleza, para calcular la resistencia requerida o última ( $U$ ) y los esfuerzos en condiciones extremas. En el caso de edificaciones, se consideran las cargas muertas ( $CM$ ), vivas ( $CV$ ), de empuje del suelo ( $CE$ ) y sísmicas ( $CS$ ). Las combinaciones correspondientes son las siguientes:

$$U = 1.4CM + 1.7CV$$

$$U = 1.25(CM + CV) \pm CS$$

$$U = 0.9CM \pm CS$$

$$U = 1.4CM + 1.7(CV + CE)$$

$$U = 0.9CM + 1.7CE$$

## CONSIDERACIONES IMPORTANTES DE DISEÑO

Para evitar fallos por compresión (fallos frágiles) al diseñar elementos sometidos a cargas de flexión, se debe buscar el fallo por tracción. Esto se puede lograr restringiendo la cantidad de acero a valores que ofrezcan suficiente ductilidad. A continuación, se indican algunos aspectos que hay que tener en cuenta:

- Crear componentes continuos que distribuyan los momentos incluyendo acero tanto en tensión como en compresión.
- El concreto debe limitarse con refuerzo transversal en los lugares donde hay mucha compresión.
- La calidad del acero de refuerzo no debe ser superior a la requerida para el grado ARN 420 o 4200 kg/cm<sup>2</sup>.
- La norma establece un límite máximo para este acero con el fin de garantizar su ductilidad.
- En cuanto a las dimensiones de la viga:
  - ✓ su anchura no puede ser inferior a 25 cm.
  - ✓ Se requiere que la curvatura efectiva “d” sea al menos el 25% de la luz libre.
  - ✓ Es mejor evitar las juntas en lugares sometidos a grandes esfuerzos.
- Debemos tener en cuenta lo siguiente al detallar:
  - ✓ Dependiendo del diámetro de la barra y de la resistencia del concreto, la longitud de anclaje  $L_{dg}$  del refuerzo longitudinal garantiza la resistencia al rendimiento del acero. Véase la tabla 36.

**Tabla 36**

*Longitud de anclaje para concreto  $f'_c=210\text{kg/cm}^2$*

| $\Phi$ BARRILLAS | LDG (cm) |
|------------------|----------|
| 1/2"             | 25.0     |
| 5/8"             | 35.0     |
| 3/4"             | 42.0     |
| 1"               | 56.0     |

- ✓ La longitud de desarrollo  $L_d$ , medida desde el punto de cortante teórico, es la distancia mínima hasta el punto de cortante real de la armadura longitudinal. Tabla 36.

**Tabla 37**

*Longitud de desarrollo para concreto  $f'_c=210\text{kg/cm}^2$*

| $\phi$ BARRA | COMPRESIÓN       | TRACCIÓN<br>sup. | TRACCIÓN<br>inf. |
|--------------|------------------|------------------|------------------|
|              | $L_d(\text{cm})$ | $L_d(\text{cm})$ | $L_d(\text{cm})$ |
| 1/2"         | 25.0             | 45.0             | 58.0             |
| 5/8"         | 35.0             | 56.0             | 73.0             |
| 3/4"         | 42.0             | 67.0             | 88.0             |
| 1"           | 56.0             | 112.0            | 145.0            |

- Se requiere una resistencia mínima del concreto de  $210\text{ kg/cm}^2$ .

### **Diseño de losas**

En este proyecto se han estudiado dos tipos de losa. Para el diafragma de aislamiento se ha estudiado una losa maciza reforzada en dos dimensiones, mientras que para la losa de la superestructura se han considerado losas más ligeras.

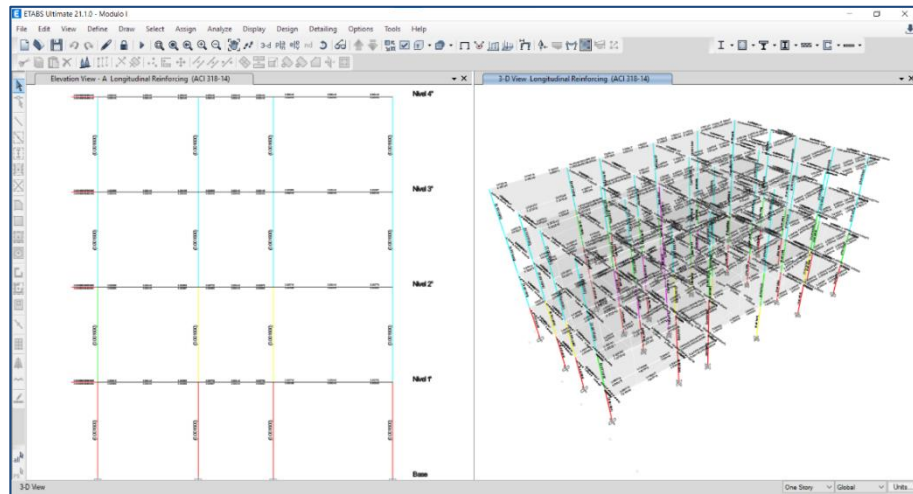
Según la ecuación, las losas y las vigas planas están destinadas únicamente a soportar cargas gravitatorias, ya que no experimentan acciones de carga sísmica.

### **Diseño de losas aligeradas**

En la construcción de losas aligeradas se utilizan viguetas; las cargas necesarias para producir los diagramas de momentos flectores y esfuerzos cortantes se muestran en la Tabla 37. Se emplean cargas alternas para generar los esfuerzos máximos. Se emplean cargas alternas para generar los esfuerzos máximos. Esto se debe a que ciertas partes tendrán la carga viva mientras que otras no. Al determinar las tensiones máximas, es necesario tener en cuenta este patrón de carga fluctuante.

**Figura 42**

*Resultados del acero para vigas-columnas*



*Nota.* El programa ETABS para diseño antisísmico muestra la cantidad de acero utilizada en las vigas y pilares de la imagen superior.

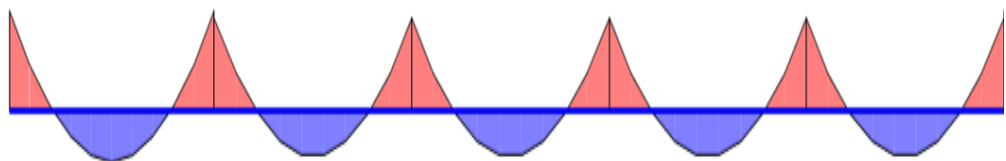
#### **4.1.8. MODELO POR FLEXIÓN**

- Al diseñar las losas aligeradas para resistir flexión, se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:
- El tendido eléctrico se tiene en cuenta en el diseño para los malos tiempos.
- Considere  $WL^2/24$  para un último momento de soporte negativo.
- Para el momento adecuado es necesario comprobar si está diseñado como una línea rectangular o como una viga en forma de "T".

Se muestra a continuación el gráfico de los momentos flectores de las losas aligeradas en los niveles uno al tres (figura 43), junto con la losa aligerada correspondiente al nivel cuatro (figura 44).

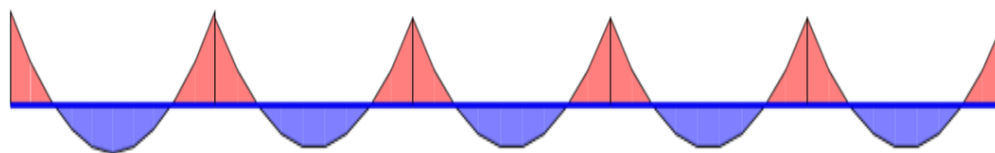
**Figura 43**

*Diagrama de momento flector para la losa aligerada de los niveles 1 al 3*



**Figura 44**

*Diagrama de momento flector para la losa aligerada del 4 nivel*



Los detalles del diseño de flexión aplicado a las losas aligeradas en los niveles 1 a 3 se dan en la Tabla 38, y el diseño único para la losa aligerada en el nivel superior se muestra en la Tabla 39.

**Tabla 38**

*Diseño por flexión de la losa aligerada en los niveles 1 al 3*

|                                 | Apoyo<br>ext.         | Centro      | Apoyo       | Centro                | Apoyo       | Centro        | Apoyo                 | Centro        | Apoyo       | Centro                | Apoyo ext.  |
|---------------------------------|-----------------------|-------------|-------------|-----------------------|-------------|---------------|-----------------------|---------------|-------------|-----------------------|-------------|
| <b><i>h (cm) =</i></b>          | 20.00                 | 20.00       | 20.00       | 20.00                 | 20.00       | 20.00         | 20.00                 | 20.00         | 20.00       | 20.00                 | 20.00       |
| <b><i>b (cm) =</i></b>          | 10.00                 | 40.00       | 10.00       | 40.00                 | 10.00       | 40.00         | 10.00                 | 40.00         | 10.00       | 40.00                 | 10.00       |
| <b><i>recub (cm) =</i></b>      | 3.00                  | 3.00        | 3.00        | 3.00                  | 3.00        | 3.00          | 3.00                  | 3.00          | 3.00        | 3.00                  | 3.00        |
| <b><i>d (cm) =</i></b>          | 17.00                 | 17.00       | 17.00       | 17.00                 | 17.00       | 17.00         | 17.00                 | 17.00         | 17.00       | 17.00                 | 17.00       |
| <b><i>fy (kg/cm2) =</i></b>     | 4,200.00              | 4,200.00    | 4,200.00    | 4,200.00              | 4,200.00    | 4,200.00      | 4,200.00              | 4,200.00      | 4,200.00    | 4,200.00              | 4,200.00    |
| <b><i>fc (kg/cm2) =</i></b>     | 210.00                | 210.00      | 210.00      | 210.00                | 210.00      | 210.00        | 210.00                | 210.00        | 210.00      | 210.00                | 210.00      |
| <b><i>p min =</i></b>           | 0.0018                | 0.0018      | 0.0018      | 0.0018                | 0.0018      | 0.0018        | 0.0018                | 0.0018        | 0.0018      | 0.0018                | 0.0018      |
| <b><i>p máx =</i></b>           | 0.0160                | 0.0160      | 0.0160      | 0.0160                | 0.0160      | 0.0160        | 0.0160                | 0.0160        | 0.0160      | 0.0160                | 0.0160      |
| <b><i>Mu (-) (tonf-m) =</i></b> | 0.49                  | 0.00        | 1.27        | 0.00                  | 0.88        | 0.00          | 0.96                  | 0.00          | 0.90        | 0.00                  | 0.49        |
| <b><i>Mu (+) (tonf-m) =</i></b> | 0.00                  | 1.10        | 0.00        | 0.47                  | 0.00        | 0.67          | 0.00                  | 0.44          | 0.00        | 0.71                  | 0.00        |
| <b><i>Ku =</i></b>              | 16.93                 | 9.52        | 43.94       | 4.07                  | 30.28       | 5.80          | 33.22                 | 3.81          | 31.14       | 6.14                  | 16.93       |
| <b><i>P =</i></b>               | 0.00475               | 0.00260     | 0.01391     | 0.00109               | 0.00896     | 0.00156       | 0.00996               | 0.00102       | 0.00925     | 0.00166               | 0.00475     |
|                                 | <b>OK!!</b>           | <b>OK!!</b> | <b>OK!!</b> | <b>As mín</b>         | <b>OK!!</b> | <b>As mín</b> | <b>OK!!</b>           | <b>As mín</b> | <b>OK!!</b> | <b>As mín</b>         | <b>OK!!</b> |
| <b><i>As (cm2) =</i></b>        | 0.81                  | 1.77        | 2.36        | 1.22                  | 1.52        | 1.22          | 1.69                  | 1.22          | 1.57        | 1.22                  | 0.81        |
| <b><i>hf (cm) =</i></b>         | -                     | 5.00        | -           | 5.00                  | -           | 5.00          | -                     | 5.00          | -           | 5.00                  | -           |
| <b><i>a(cm) =</i></b>           | -                     | 1.04        | -           | 0.72                  | -           | 0.72          | -                     | 0.72          | -           | 0.72                  | -           |
|                                 | <b><i>V (bxh)</i></b> |             |             | <b><i>V (bxh)</i></b> |             |               | <b><i>V (bxh)</i></b> |               |             | <b><i>V (bxh)</i></b> |             |
| <b><i>As (cm2)</i></b>          | 1 Ø 1/2               | 1 Ø 3/8     | 1 Ø 1/2     | 1 Ø 3/8               | 1 Ø 3/8     | 1 Ø 3/8       | 1 Ø 3/8               | 1 Ø 3/8       | 1 Ø 3/8     | 1 Ø 3/8               | 1 Ø 3/8     |
| <b><i>colocado</i></b>          | 0 Ø 1/2               | 1 Ø 1/2     | 1 Ø 1/2     | 1 Ø 3/8               | 1 Ø 1/2     | 1 Ø 3/8       | 1 Ø 1/2               | 1 Ø 3/8       | 1 Ø 1/2     | 1 Ø 3/8               | 1 Ø 3/8     |
|                                 | <b>OK!!</b>           | <b>OK!!</b> | <b>OK!!</b> | <b>OK!!</b>           | <b>OK!!</b> | <b>OK!!</b>   | <b>OK!!</b>           | <b>OK!!</b>   | <b>OK!!</b> | <b>OK!!</b>           | <b>OK!!</b> |

**Tabla 39**

*Diseño por flexión de la losa aligerada en el nivel 4*

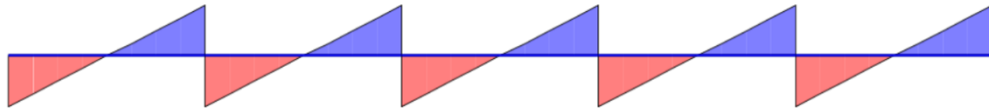
|                                                   | Apoyo<br>ext.  | Centro        | Apoyo          | Centro        | Apoyo          | Centro        | Apoyo          | Centro        | Apoyo          | Centro        | Apoyo ext.     |
|---------------------------------------------------|----------------|---------------|----------------|---------------|----------------|---------------|----------------|---------------|----------------|---------------|----------------|
| <b><i>h (cm) =</i></b>                            | 20.00          | 20.00         | 20.00          | 20.00         | 20.00          | 20.00         | 20.00          | 20.00         | 20.00          | 20.00         | 20.00          |
| <b><i>b (cm) =</i></b>                            | 10.00          | 40.00         | 10.00          | 40.00         | 10.00          | 40.00         | 10.00          | 40.00         | 10.00          | 40.00         | 10.00          |
| <b><i>recub (cm) =</i></b>                        | 3.00           | 3.00          | 3.00           | 3.00          | 3.00           | 3.00          | 3.00           | 3.00          | 3.00           | 3.00          | 3.00           |
| <b><i>d (cm) =</i></b>                            | 17.00          | 17.00         | 17.00          | 17.00         | 17.00          | 17.00         | 17.00          | 17.00         | 17.0           | 17.00         | 17.00          |
| <b><i>f<sub>y</sub> (kg/cm<sup>2</sup>) =</i></b> | 4,200.00       | 4,200.00      | 4,200.00       | 4,200.00      | 4,200.00       | 4,200.00      | 4,200.00       | 4,200.00      | 4,200.00       | 4,200.00      | 4,200.00       |
| <b><i>f<sub>c</sub> (kg/cm<sup>2</sup>) =</i></b> | 210.00         | 210.00        | 210.00         | 210.00        | 210.00         | 210.00        | 210.0          | 210.00        | 210.00         | 210.00        | 210.00         |
| <b><i>p min =</i></b>                             | 0.0018         | 0.0018        | 0.0018         | 0.0018        | 0.0018         | 0.0018        | 0.0018         | 0.0018        | 0.0018         | 0.0018        | 0.0018         |
| <b><i>p máx =</i></b>                             | 0.0160         | 0.0160        | 0.0160         | 0.0160        | 0.0160         | 0.0160        | 0.0160         | 0.0160        | 0.0160         | 0.0160        | 0.0160         |
| <b><i>Mu (-) (tonf-m) =</i></b>                   | 0.35           | 0.00          | 0.70           | 0.00          | 0.45           | 0.00          | 0.45           | 0.00          | 0.48           | 0.00          | 0.35           |
| <b><i>Mu (+) (tonf-m) =</i></b>                   | 0.00           | 0.60          | 0.00           | 0.21          | 0.00           | 0.32          | 0.00           | 0.21          | 0.00           | 0.38          | 0.00           |
| <b><i>Ku =</i></b>                                | 11.97          | 5.19          | 24.22          | 1.82          | 15.57          | 2.77          | 15.57          | 1.82          | 16.61          | 3.29          | 11.97          |
| <b><i>P =</i></b>                                 | 0.00329        | 0.00140       | 0.00698        | 0.00048       | 0.00434        | 0.00074       | 0.00434        | 0.00048       | 0.00465        | 0.00088       | 0.00329        |
|                                                   | <b>OK!!</b>    | <b>As mín</b> | <b>OK!!</b>    | <b>As mín</b> | <b>OK!!</b>    | <b>As mín</b> | <b>OK!!</b>    | <b>As mín</b> | <b>OK!!</b>    | <b>As mín</b> | <b>OK!!</b>    |
| <b><i>As (cm<sup>2</sup>) =</i></b>               | 0.56           | 1.22          | 1.19           | 1.22          | 0.74           | 1.22          | 0.74           | 1.22          | 0.79           | 1.22          | 0.56           |
| <b><i>hf (cm) =</i></b>                           | -              | 5.00          | -              | 5.00          | -              | 5.00          | -              | 5.00          | -              | 5.00          | -              |
| <b><i>a(cm) =</i></b>                             | -              | 0.72          | -              | 0.72          | -              | 0.72          | -              | 0.72          | -              | 0.72          | -              |
|                                                   | <b>V (bxh)</b> |               | <b>V (bxh)</b> |               | <b>V (bxh)</b> |               | <b>V (bxh)</b> |               | <b>V (bxh)</b> |               | <b>V (bxh)</b> |
| <b><i>As (cm<sup>2</sup>)</i></b>                 | 1 Ø 3/8        | 2 Ø 3/8       | 1 Ø 1/2        | 2 Ø 3/8       | 1 Ø 1/2        | 2 Ø 3/8       | 1 Ø 1/2        | 2 Ø 3/8       | 1 Ø 1/2        | 2 Ø 3/8       | 1 Ø 3/8        |
| <b><i>colocado</i></b>                            | 0 Ø 3/8        | 0 Ø 3/8       | 0 Ø 3/8        | 0 Ø 3/8       | 0 Ø 3/8        | 0 Ø 3/8       | 0 Ø 3/8        | 0 Ø 3/8       | 0 Ø 3/8        | 0 Ø 3/8       | 0 Ø 3/8        |
|                                                   | <b>OK!!</b>    | <b>OK!!</b>   | <b>OK!!</b>    | <b>OK!!</b>   | <b>OK!!</b>    | <b>OK!!</b>   | <b>OK!!</b>    | <b>OK!!</b>   | <b>OK!!</b>    | <b>OK!!</b>   | <b>OK!!</b>    |

#### 4.1.9. DISEÑO POR CORTE

La luz no tiene la capacidad de cortar metal, por lo que sus piezas deben poder absorber la fuerza de corte que necesitan; en caso contrario, las vigas se utilizarán para ampliación. Se deben quitar todas las tejas; el segundo está roto. Como sugiere el nombre, es necesario eliminar las baldosas rotas. Si esta expansión no puede satisfacer la necesidad de corte, debe considerar la altura del tablero.

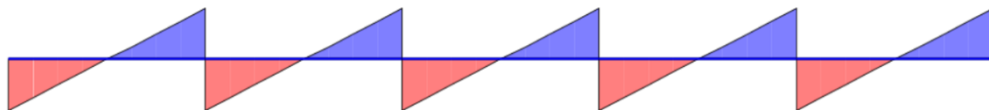
**Figura 45**

*Diagrama de fuerzas cortantes para la losa aligerada de los niveles 1 al 3*



**Figura 46**

*Diagrama de fuerzas cortantes para la losa aligerada del 4 nivel*



El cálculo del esfuerzo cortante de las losas aligeradas se describe detalladamente en las tablas 40 y 41. Es evidente que el ensanchamiento intercalado de las viguetas se ha utilizado en los niveles 1 a 3, sin embargo, esta consideración no es aplicable al último nivel debido a su menor carga viva.

**Tabla 40**

*Diseño por corte de la losa aligerada de los niveles 1 al 3*

| <b>DISEÑO POR CORTE DE LOSA ALIGERADA</b> |                       |                       |                       |                       |                       |                       |
|-------------------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
|                                           | <b>APOYO EXTR.</b>    | <b>APOYO</b>          | <b>APOYO</b>          | <b>APOYO</b>          | <b>APOYO</b>          | <b>APOYO EXTR.</b>    |
| $V_u$ (tonf) =                            | 1.20                  | 1.64                  | 1.25                  | 1.27                  | 1.34                  | 0.95                  |
| $b$ (cm) =                                | 10.00                 | 10.00                 | 10.00                 | 10.00                 | 10.00                 | 10.00                 |
| $d$ (cm) =                                | 17.00                 | 17.00                 | 17.00                 | 17.00                 | 17.00                 | 17.00                 |
| $f'c$ (kg/cm <sup>2</sup> ) =             | 210.00                | 210.00                | 210.00                | 210.00                | 210.00                | 210.00                |
| $V_c$ (tonf) =                            | 1.31                  | 1.31                  | 1.31                  | 1.31                  | 1.31                  | 1.31                  |
| $\phi V_c$ =                              | 1.11                  | 1.11                  | 1.11                  | 1.11                  | 1.11                  | 1.11                  |
| $\phi V_c > V_u$ =                        | <b>SI</b>             | <b>SI</b>             | <b>SI</b>             | <b>SI Sección</b>     | <b>SI</b>             | <b>OK!!</b>           |
|                                           | <b>Sección</b>        | <b>Sección</b>        | <b>Sección</b>        |                       | <b>Sección</b>        |                       |
| Ensanche =                                | SI                    | SI                    | SI                    | SI                    | SI                    | NO                    |
|                                           | <b>Ens. Intercal.</b> | <b>Ens. Intercal.</b> | <b>Ens. Intercal.</b> | <b>Ens. Intercal.</b> | <b>Ens. Intercal.</b> | <b>Ens. Intercal.</b> |
| $b$ (cm) =                                | 25.00                 | 25.00                 | 25.00                 | 25.00                 | 25.00                 | 25.00                 |
| $d$ (cm) =                                | 17.00                 | 17.00                 | 17.00                 | 17.00                 | 17.00                 | 17.00                 |
| $V_c$ (tonf) =                            | 3.26                  | 3.26                  | 3.26                  | 3.26                  | 3.26                  | 3.26                  |
| $\phi V_c$ =                              | 2.77                  | 2.77                  | 2.77                  | 2.77                  | 2.77                  | 2.77                  |
| $\phi V_c > V_u$ =                        | <b>OK!!</b>           | <b>OK!!</b>           | <b>OK!!</b>           | <b>OK!!</b>           | <b>OK!!</b>           | <b>OK!!</b>           |

**Tabla 41**

*Diseño por corte de la losa aligera del 4 nivel*

| <b>DISEÑO POR CORTE DE LOSA ALIGERADA</b> |                    |              |              |              |              |                    |
|-------------------------------------------|--------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------------|
|                                           | <b>APOYO EXTR.</b> | <b>APOYO</b> | <b>APOYO</b> | <b>APOYO</b> | <b>APOYO</b> | <b>APOYO EXTR.</b> |
| $V_u$ (tonf) =                            | 0.62               | 0.90         | 0.68         | 0.70         | 0.66         | 0.50               |
| $b$ (cm) =                                | 10.00              | 10.00        | 10.00        | 10.00        | 10.00        | 10.00              |
| $d$ (cm) =                                | 17.00              | 17.00        | 17.00        | 17.00        | 17.00        | 17.00              |
| $f'c$ (kg/cm <sup>2</sup> ) =             | 210.00             | 210.00       | 210.00       | 210.00       | 210.00       | 210.00             |
| $V_c$ (tonf) =                            | 1.31               | 1.31         | 1.31         | 1.31         | 1.31         | 1.31               |
| $\phi V_c$ =                              | 1.11               | 1.11         | 1.11         | 1.11         | 1.11         | 1.11               |
| $\phi V_c > V_u$ =                        | <b>OK!!</b>        | <b>OK!!</b>  | <b>OK!!</b>  | <b>OK!!</b>  | <b>OK!!</b>  | <b>OK!!</b>        |
| Ensanche =                                | NO                 | NO           | NO           | NO           | NO           | NO                 |

#### 4.1.10. DISEÑO DE LOSA MACIZA

Dependiendo de su tamaño y necesidad, podemos encontrar dos tipos de paneles: los que añaden resistencia en ambas direcciones y los que añaden resistencia en una dirección. En este caso (separando el diafragma). el panel se utilizará para soportar ambas direcciones y se formará doblando y cortando, ya que es liviano. La construcción del piso se realizó bajo el programa SAFE2016 y el piso fue preconstruído con una altura de 0.20 m. y una hilera promedio de 0.30x0.70 m.

## Diseño por flexión

Las tablas 39 y 40 representan las normativas requeridas y los valores mínimos para el diseño de placas, respectivamente.

**Tabla 42**

*Parámetros de diseño para la losa del diafragma de aislación*

| <b>Parámetro</b>                                  | <b>Valor</b> | <b>Unid.</b>           |
|---------------------------------------------------|--------------|------------------------|
| Resistencia de compresión del concreto ( $f'_c$ ) | 210.0        | kg/c<br>m <sup>2</sup> |
| Esfuerzo de fluencia del acero ( $f_y$ )          | 4200.<br>0   | kg/c<br>m <sup>2</sup> |
| Ancho considerado para el análisis (b)            | 100.0        | cm                     |
| Espesor de la losa (h)                            | 20.0         | cm                     |
| Recubrimiento                                     | 3.0          | cm                     |
| Peralte efectivo(d)                               | 17.0         | cm                     |

**Tabla 43**

*Requerimientos mínimos para la losa del diafragma de aislación*

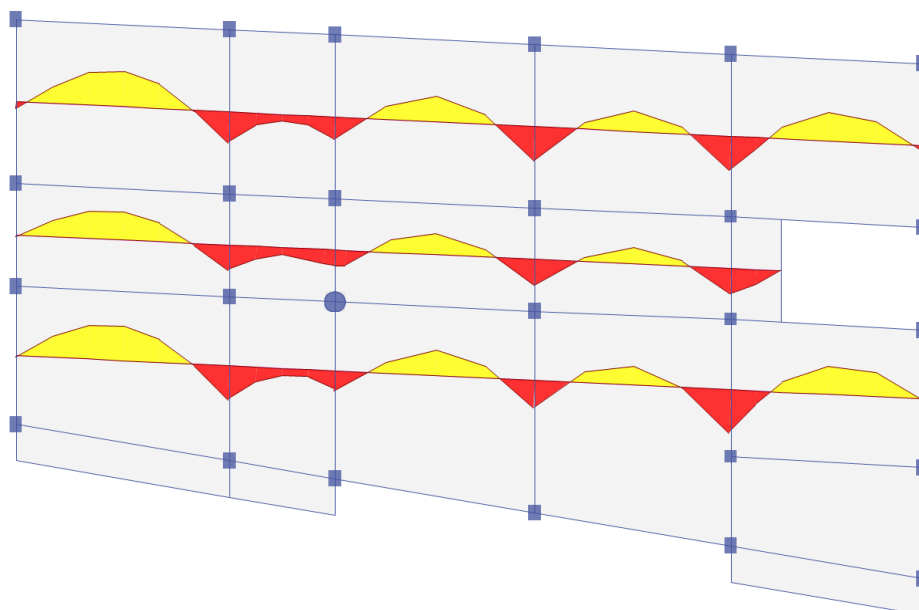
| <b>Requerimiento</b>            | <b>Valor</b>          | <b>Unid.</b>       |
|---------------------------------|-----------------------|--------------------|
| Acero mínimo en tracción        | 3.60                  | cm <sup>2</sup> /m |
| Espaciamiento máximo (As mín.)  | 40.00                 | cm                 |
| Distribución As mín.            | $\Phi$ 3/8 @<br>0.20m |                    |
| $\Phi$ Mn (As mín.)             | 2.30                  | tonf-m             |
| $\Phi$ Mn ( $\Phi$ 3/8 @ 0.10m) | 4.34                  | tonf-m             |

Se decidió instalar una placa de diámetro de  $\Phi$  3/8 a unos 20 cm en la sección de arriba e inferior. Del mismo modo, se debe instalar una barra de acero de  $\Phi$  3/8" cada 20 cm entre el eje 4 y F (ver material de la placa).

La Figura 47 y la Figura 48 muestran el momento flector en las direcciones X-X e Y-Y, respectivamente, cuando se combina una masa U: 1.40 centímetros + 1.70 CV.

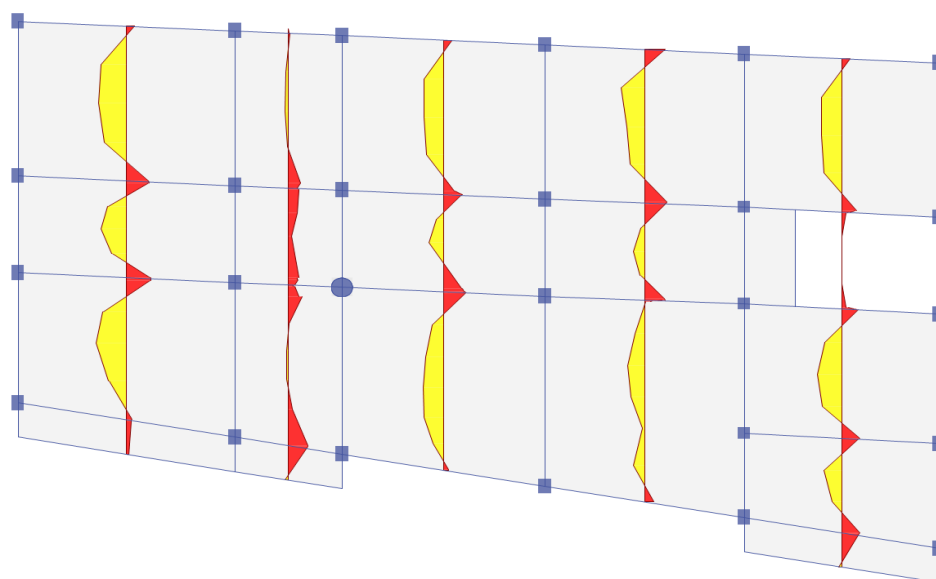
**Figura 47**

*Momento flector en la orientación X-X*



**Figura 48**

*Momento de flexión en la orientación Y-Y*



#### **4.1.11. MODELO POR CORTE**

Si la losa no tiene el espesor suficiente para soportar el esfuerzo cortante requerido, se procede a aumentar su espesor.

La representación gráfica 27 muestra una imagen de la potencia de corte producida sobre el elemento horizontal (losa) y de qué manera podemos ver que la potencia de corte máxima realizada es de 4.35 toneladas, es decir, no más que el valor de la fuerza cortante protegida por el elemento horizontal (losa), ver Tabla 44.

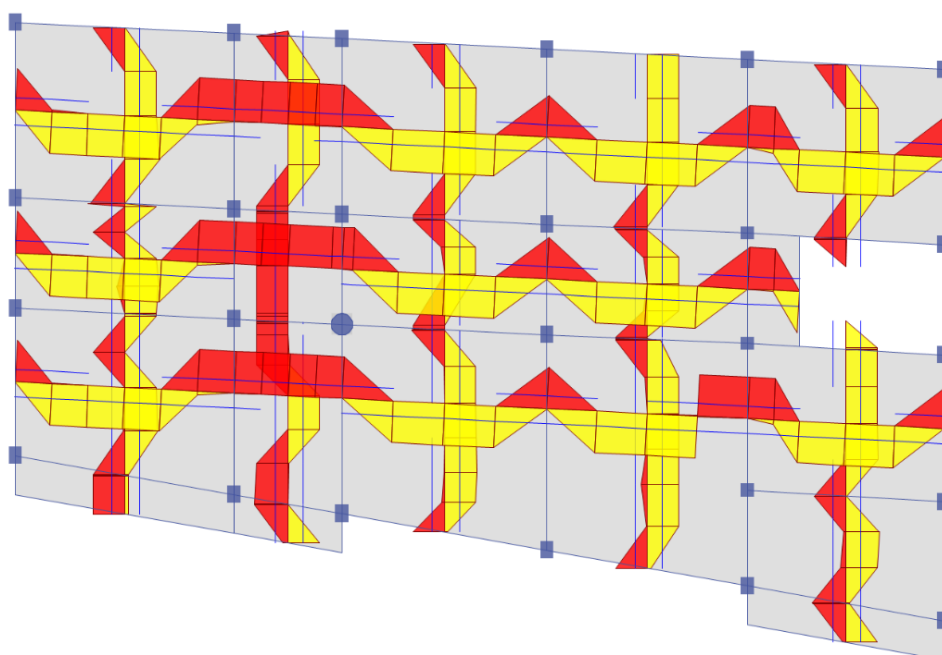
**Tabla 44**

*Verificación del cortante en la losa sólida*

| Parámetro                    | Valor       | Unidad. |
|------------------------------|-------------|---------|
| V <sub>ux</sub>              | 4.35        | tonf    |
| V <sub>uy</sub>              | 2.81        | tonf    |
| V <sub>c</sub>               | 13.06       | tonf    |
| $\Phi V_c$ ( $\Phi = 0.85$ ) | 11.10       | tonf    |
| $\Phi V_c \geq V_u$          | <b>OK!!</b> |         |

**Figura 49**

*Representación gráfica de las fuerzas cortantes en ambas orientaciones de la losa sólida*



#### 4.1.12. DISEÑO DE COLUMNAS

Para garantizar un rendimiento adecuado, la norma nacional de edificaciones E-060 para estructuras de columnas establece los criterios precisos de resistencia.

## FACTORES DE REDUCCION

Al diseñar columnas, se utilizan diferentes factores de reducción en función de las circunstancias. Por ejemplo, el factor  $\Phi$  para demandas de flexocompresión en columnas con estribo oscila entre 0.70 y 0.90, dependiendo de la carga axial. Para la resistencia a cortante se utiliza un valor fijo de  $\Phi$  igual a 0.85. La armadura transversal se encarga de cumplir los criterios de cortante y confinamiento, mientras que la longitudinal está destinada a satisfacer las necesidades de resistencia a la compresión por flexión.

## REFUERZO LONGITUDINAL

El gráfico interactivo que muestra las ubicaciones de todos los momentos nominales frente a los valores de diferencia axial se utilizó para ejecutar el diseño de flexocompresión de la columna; Todos los detalles sobre la carga que puede soportar la línea y el período de combinación se incluyen en los detalles. Estos resultados se calculan basándose en el mismo supuesto de diseño a flexión, excepto que ya no se tiene en cuenta la presencia de cargas axiales.

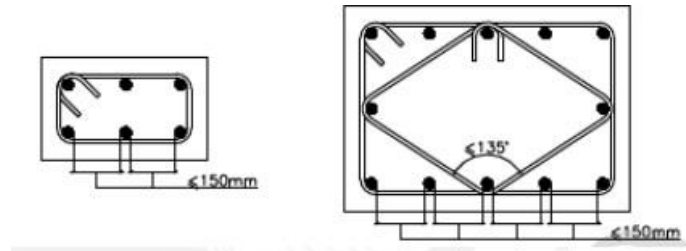
Al modificar la representación gráfica se adopta un valor de 0.70 para la reducción de  $\Phi$  en masas que exceden el 10% de la máxima esfuerzo axial ( $0.10 f'c A_g$ ). Este valor se incrementa de manera lineal hasta alcanzar 0.90 en situaciones de cargas puras de flexión o axiales. Es importante destacar que la normativa establece un límite del 80% para la masa axial límite en la mayoría de las columnas con estribos. Asimismo, se tiene que tener en cuenta lo que sigue:

- La extensión no puede ser inferior al 1% ni superior al 5% de la superficie total de la parte horizontal del componente. La longitud del elemento no puede ser inferior al 1% ni superior al 8% de la superficie total de su sección transversal. Si la cantidad es superior al 4%, el plano debe especificar los parámetros de construcción de las barras de acero utilizadas en las uniones viga-columna.

- La distancia entre las longitudes de los cables sin soporte externo no debe exceder los 15 cm (representación Figura 50).

**Figura 50**

*Espaciamiento máximo del refuerzo longitudinal (E-060)*



## RESISTENCIA AL CORTE

La contribución del concreto y la armadura transversal determinan conjuntamente la resistencia a cortante de los pilares. Cuando el pilar experimenta esfuerzos axiales, la contribución del hormigón, indicada por “ $V_c$ ”, puede aumentar. De acuerdo con la ecuación, se calcula la contribución del hormigón al esfuerzo cortante en los pilares.

$$V_c = 0.53\sqrt{f'_c} \left( 1 + \frac{P_u}{140A_g} \right) bd$$

Donde:

$f'_c$ : Resistencia a la compresión del concreto.

$P_u$ : Carga axial considerada.

$A_g$ : Área de la sección bruta.

Se debe considerar lo siguiente:

- Zona de confinamiento: Se define como la mayor entre la sexta parte de la luz libre del elemento, 500 mm, o la dimensión máxima de la sección transversal del elemento en la cara del nudo o en la sección donde puede producirse fluencia por flexión.
- Separación máxima de refuerzo transversal: En la zona de confinamiento, esta separación no puede ser superior a 100 mm, seis veces el diámetro de la armadura longitudinal, o un tercio de la dimensión mínima del elemento.

- Separación fuera de la zona de confinamiento, el espacio libre no puede ser superior a 300 mm o más de lo que exijan los esfuerzos cortantes.
- Distancia entre ramas de estribos o grapas: La distancia transversal, medida entre ramas de estribos cerrados o grapas suplementarias, no debe ser mayor de 350 mm, medida de centro a centro.

Teniendo en cuenta estos factores, pasamos al diseño de la columna de la estructura.

A continuación, se muestra el diseño de un pilar de 50x50 cm, que se ha elegido como el más necesario. El requerimiento mínimo de acero de la sección está representado por una distribución de acero compuesta por cuatro barras de  $\Phi$  3/4" y ocho barras de  $\Phi$  5/8" (Figura 50). El análisis realizado en el programa ETABS arrojó las cargas aplicadas a esta columna.

Los valores de las tensiones producidas por las distintas cargas que actúan sobre la columna se muestran en la Tabla 45, junto con las combinaciones de carga que deben aplicarse al cálculo de flexocompresión de la columna.

**Tabla 45**

*Cargas y combinaciones de carga que actúan en la columna en estudio*

|           | <b>P(tonf)</b> | <b>M2(tonf-m)</b> | <b>M3(tonf-m)</b> |
|-----------|----------------|-------------------|-------------------|
| <b>CM</b> | 80.81          | -0.68             | 5.06              |
| <b>CV</b> | 35.07          | 0.12              | 1.27              |
| <b>SX</b> | -1.12          | -1.34             | -17.56            |
| <b>SY</b> | -1.49          | -20.27            | -0.9              |

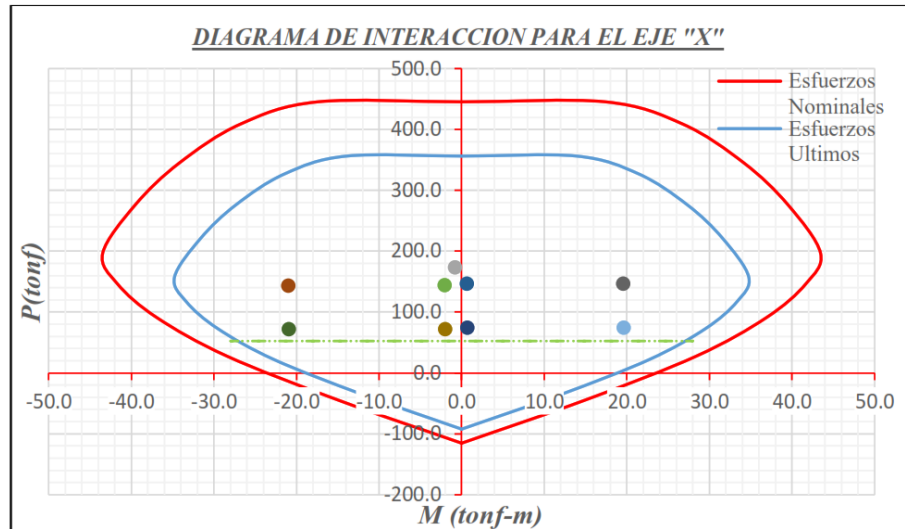
#### **COMBINACIONES DE CARGAS**

| <b>COMBINACION</b>    | <b>Pu(tonf)</b> | <b>Mux(tonf-m)</b> | <b>Muy(tonf-m)</b> |
|-----------------------|-----------------|--------------------|--------------------|
| <b>1.4CM+1.7CV</b>    | 172.75          | -0.75              | 9.24               |
| <b>1.25(CM+CV)+SX</b> | 143.73          | -2.04              | -9.65              |
| <b>1.25(CM+CV)-SX</b> | 145.97          | 0.64               | 25.47              |
| <b>1.25(CM+CV)+SY</b> | 143.36          | -20.97             | 7.01               |
| <b>1.25(CM+CV)-SY</b> | 146.34          | 19.57              | 8.81               |
| <b>0.9CM+SX</b>       | 71.61           | -1.95              | -13.01             |
| <b>0.9CM-SX</b>       | 73.85           | 0.73               | 22.11              |
| <b>0.9CM+SY</b>       | 71.24           | -20.88             | 3.65               |
| <b>0.9CM-SY</b>       | 74.22           | 19.66              | 5.45               |

En las figuras 51 y 52 se muestran los diagramas de interacción de la columna investigada en las direcciones “x” e “y”, respectivamente, junto con las combinaciones de carga a las que está sometida.

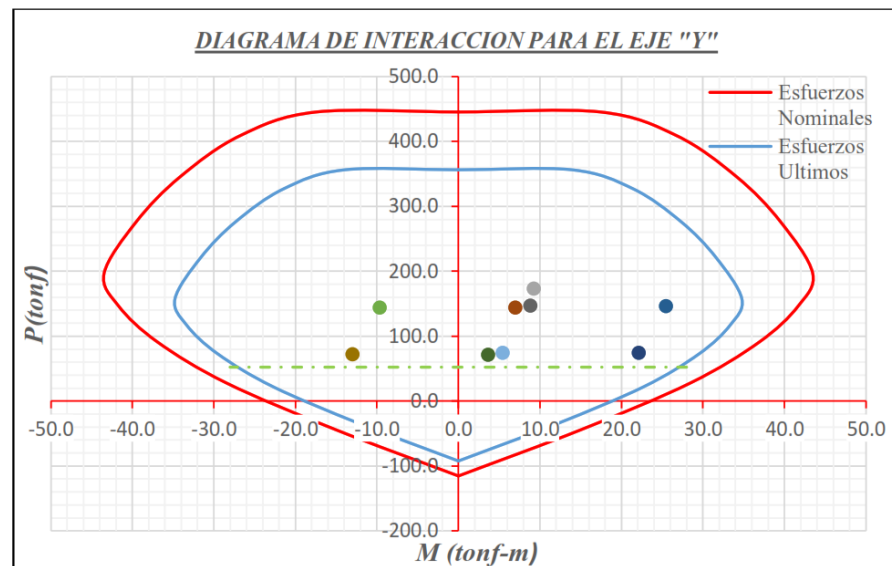
**Figura 51**

*Diagrama de interacción en la dirección X-X de la columna*



**Figura 52**

*Diagrama de interacción en la dirección Y-Y de la columna*



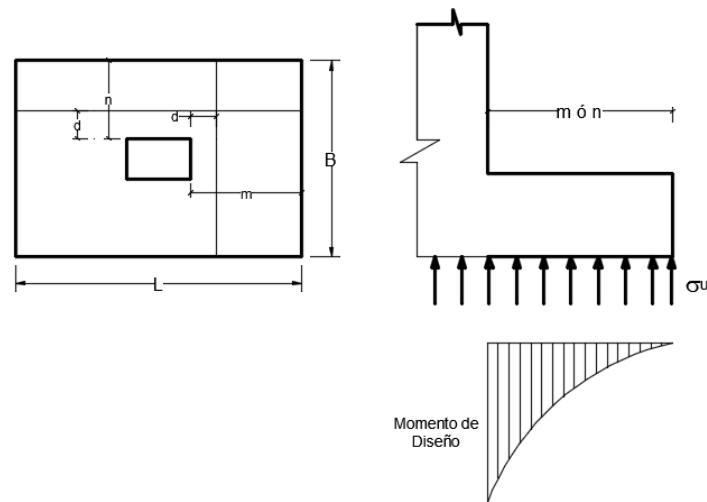
#### 4.1.13. DISEÑO POR FLEXIÓN

Luego de haber obtenido una buena súper altura "d" para evitar perforar o cortar en la base, pasamos al diseño del doblez. La flexión se basa en el momento obtenido en la superficie lateral y sigue el mismo

proceso utilizado en la construcción de la viga. El momento se puede obtener de la siguiente manera.

**Figura 53**

*Momento para el cálculo del modelo de flexión en zapatas*



$$M_u = \frac{\sigma_u B m^2}{2}; \quad M_u = \frac{\sigma_u L n^2}{2}$$

Tras explicar lo anterior, pasaremos al diseño y la inspección de los cimientos del edificio.

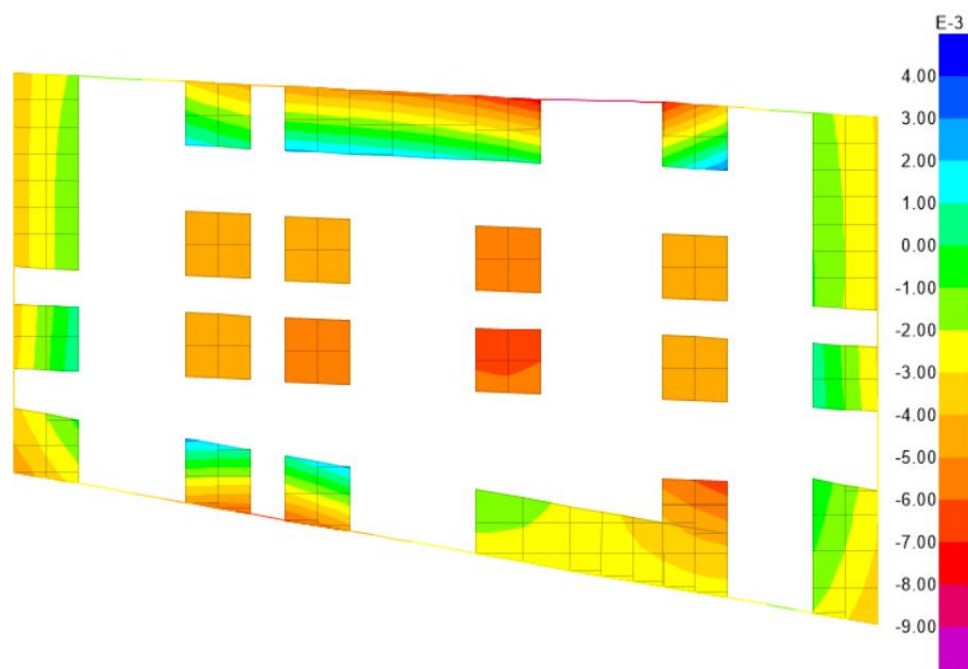
#### **4.1.14. VERIFICACIÓN DE PRESIONES**

Se ha utilizado el software SAFE para calcular las presiones, y las combinaciones de carga de las ecuaciones se utilizan para verificar las presiones. Dados los valores habituales en nuestra ciudad, se ha considerado en este caso un peso específico de  $1.80 \text{ kg/m}^3$  y un valor de presión de tierras aceptable de  $2.5 \text{ kg/cm}^2$ .

Las presiones de tierra producidas por las combinaciones de carga mencionadas se muestran en las figuras adjuntas.

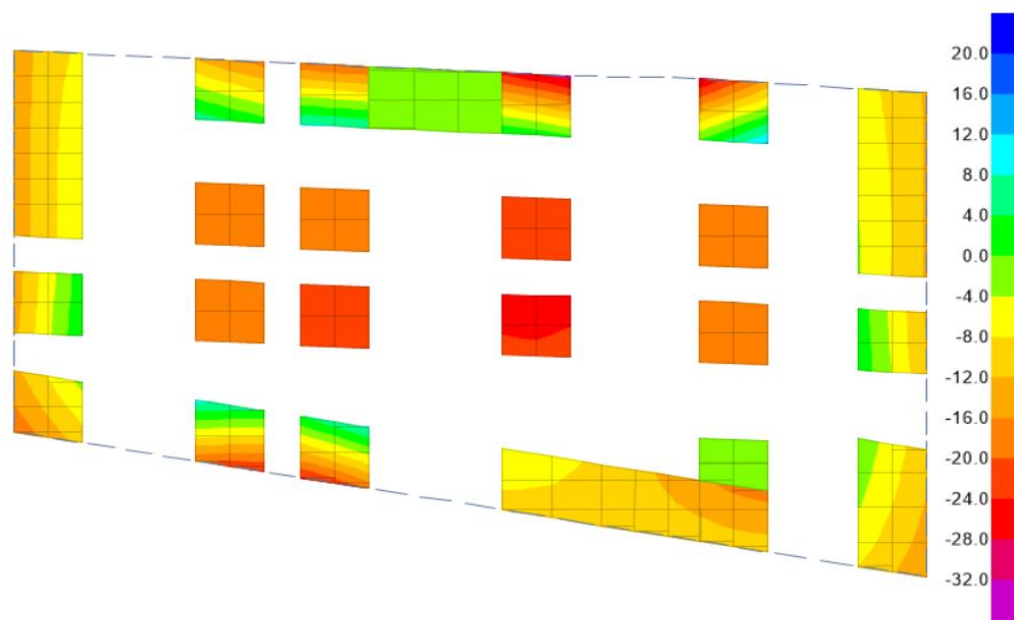
**Figura 54**

*Presiones debidas a las cargas de Gravedad (CM+CV) (tonf/m2)*



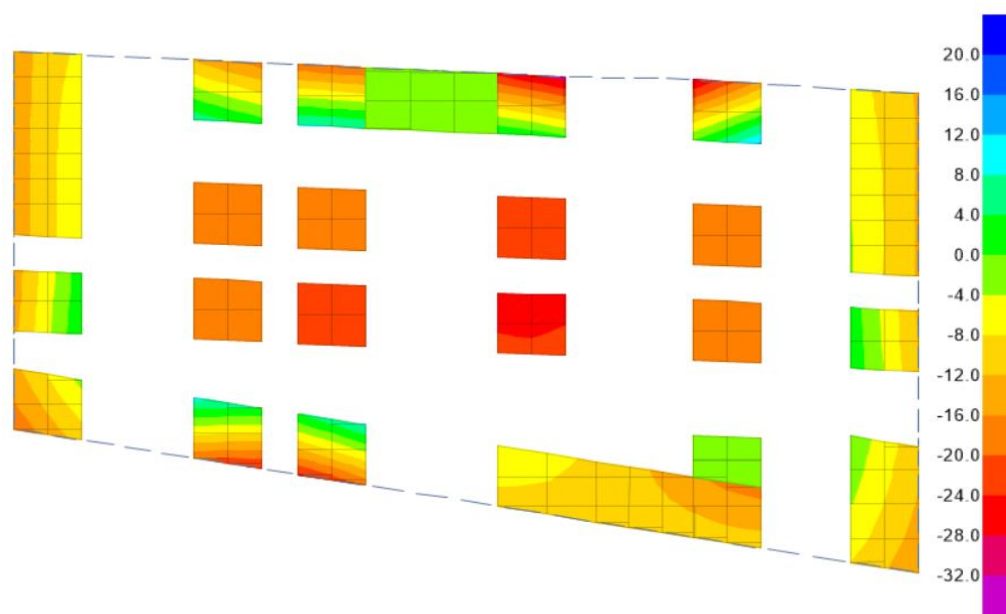
**Figura 55**

*Presiones debidas a las cargas de Gravedad y el Sismo en la dirección +X  
(CM+CV+SX) (tonf/m2)*



**Figura 56**

*Presiones debidas a las cargas de Gravedad y el Sismo en la dirección +Y  
(CM+CV+SY) (tonf/m<sup>2</sup>)*



La presión calculada es inferior a los umbrales predeterminados. Las presiones deben mantenerse por debajo de la capacidad permitida para cargas gravitatorias, que en este caso es de 25 toneladas de fuerza por metro cuadrado. La capacidad permitida aumenta un 30% en condiciones sísmicas, hasta 32.5 toneladas de fuerza por metro cuadrado.

#### **4.1.15. DISEÑO POR CORTE**

Los aspectos a tener en cuenta para el modelo mediante corte se han explicado con anterioridad. En la representación Figura 57, se presentan las fuerzas de corte en las zapatas en el rumbo X-X, y se comprueba su cumplimiento según los criterios establecidos en la Tabla.

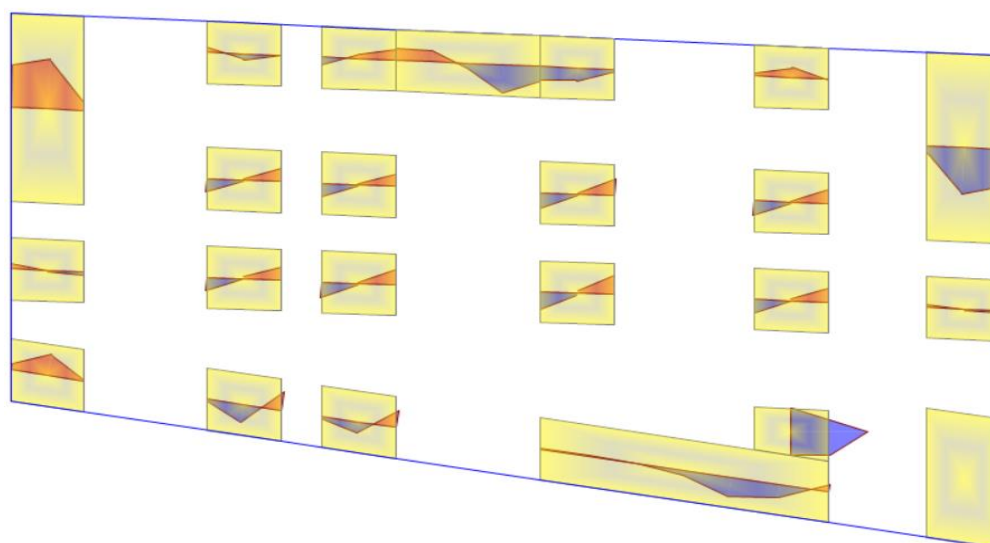
**Tabla 46**

Verificación del cortante en las zapatas

| PARÁMETRO                | VALOR       | UNID. |
|--------------------------|-------------|-------|
| $V_{ux}$                 | 30.9.00     | tonf  |
| $V_{uy}$                 | 22.5.00     | tonf  |
| $V_c$                    | 38.40       | tonf  |
| $\Phi V_c (\Phi = 0.85)$ | 32.64       | tonf  |
| $\Phi V_c \geq V_u$      | <b>OK!!</b> |       |

**Figura 57**

Esfuerzos cortantes en las zapatas (Dir. X-X)



#### 4.1.16. DISEÑO POR FLEXIÓN

En la tabla 47 se muestra el cálculo a flexión de la zapata, que tiene unas dimensiones de 2.60x2.60m y es la más solicitada, en las intersecciones de los ejes A y 4 y C y 4. Como vemos, la colocación de acero  $\varnothing 3/4"$  a 0.20m en ambas direcciones.

**Tabla 47**

Diseño a flexión de la zapata

|                       | DIRECCIÓN<br>X-X | DIRECCIÓN Y-<br>Y |
|-----------------------|------------------|-------------------|
| $H_z (cm) =$          | 60.0             | 60.0              |
| $b (cm) =$            | 100.0            | 100.0             |
| $recub (cm) =$        | 10.0             | 10.0              |
| $d (cm) =$            | 50.0             | 50.0              |
| $f_y (kg/cm^2) =$     | 4200.0           | 4200.0            |
| $f'_c (kg/cm^2) =$    | 210.0            | 210.0             |
| $\rho \text{ mín.} =$ | 0.0018           | 0.0018            |
| $P \text{ máx.} =$    | 0.0160           | 0.0160            |
| $M_u (tonf-m)$        | 20.00            | 22.00             |
| $=$                   |                  |                   |

|                 |                              |                              |
|-----------------|------------------------------|------------------------------|
| $K_u =$         | 8.00                         | 8.80                         |
| $\rho =$        | 0.00217<br><b>OK!!</b>       | 0.00240<br><b>OK!!</b>       |
| $As (cm^2/m) =$ | 10.86                        | 11.98                        |
| $As colocado$   | $\varnothing 3/4"$<br>@ 0.25 | $\varnothing 3/4"$<br>@ 0.20 |

#### 4.1.17. DISEÑO DE LAS VIGAS DE CIMENTACIÓN

A continuación, se presenta el análisis del modelo del haz central, siguiendo un patrón similar al del haz de luz. Se tomó en cuenta la viga VC-0.30x0.70 cm, y los diseños correspondientes a la flexión y el corte se detallan en las tablas 48 y 49, respectivamente.

**Tabla 48**

*Análisis de flexión para la viga de cimentación*

| UNIDAD                    |                 | TRAMO 1 |       |       |
|---------------------------|-----------------|---------|-------|-------|
| Sección                   |                 | 1-1     | 2-2   | 3-3   |
| Base de la sección "b"    | cm              | 30.0    | 30.0  | 30.0  |
| Peralte de la sección "h" | cm              | 70.0    | 70.0  | 70.0  |
| # de capas de "As (-)"    |                 | 1       | 1     | 1     |
| # de capas de "As (+)"    |                 | 1       | 1     | 1     |
| Acero mínimo "As min"     | cm <sup>2</sup> | 4.64    | 4.64  | 4.64  |
| Acero máximo "As máx."    | cm <sup>2</sup> | 40.80   | 40.80 | 40.80 |

| ACERO NEGATIVO                 |                 |       |      |       | ACERO POSITIVO                 |                 |      |      |      |
|--------------------------------|-----------------|-------|------|-------|--------------------------------|-----------------|------|------|------|
| Resistencia requerida "Mu (-)" | tonf.m          | 15.00 | -    | 15.00 | Resistencia requerida "Mu (+)" | tonf.m          | -    | 6.50 | -    |
| Acero requerido "As (-)"       | cm <sup>2</sup> | 6.93  | 0.00 | 6.93  | Acero requerido "As (+)"       | cm <sup>2</sup> | 0.00 | 2.92 | 0.00 |
| # de barras corridas           |                 | 2     | 2    | 2     | # de barras corridas           |                 | 2    | 2    | 2    |
| Ø de acero corrido             |                 | 3/4"  | 3/4" | 3/4"  | Ø de acero corrido             |                 | 3/4" | 3/4" | 3/4" |

|                                |       |       |       |                                |       |       |       |
|--------------------------------|-------|-------|-------|--------------------------------|-------|-------|-------|
| # de bastones                  | OK!   | OK!   | OK!   | # de bastones                  | OK!   | OK!   | OK!   |
| Ø de bastones                  | 1     | 0     | 1     | Ø de bastones                  | 0     | 0     | 0     |
| Acero colocado "As (-)"        | OK!   | OK!   | OK!   | Acero colocado "As (+)"        | OK!   | OK!   | OK!   |
| Resistencia nominal "Ø Mn (-)" | 8.55  | 5.70  | 8.55  | Resistencia nominal "Ø Mn (+)" | 8.55  | 8.55  | 8.55  |
| M. Crítico de agriet. "Mcr"    | 18.31 | 12.45 | 18.31 | M. Crítico de agriet. "Mcr"    | 18.31 | 18.31 | 18.31 |
| Ø Mn ≥ 1.2Mcr                  | 7.10  | 7.10  | 7.10  | Ø Mn ≥ 1.2Mcr                  | 7.10  | 7.10  | 7.10  |
| Mu ≤ Ø Mn                      | OK!   | OK!   | OK!   | Mu ≤ Ø Mn                      | OK!   | OK!   | OK!   |

|                 |         |
|-----------------|---------|
| Corte de acero  | Dual    |
| Mn(+) ≥ Mn(-)/3 | tip. II |

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| $Mn(\pm)x \geq Mn(-)/4$ | OK! |
| $Mn(+) \geq Mn(-)/2$    | OK! |

**Tabla 49**

*Modelo de corte para la viga de cimentación*

| SECCIÓN                                                  | UNIDA<br>D  | TRAMO 1                                                                     |
|----------------------------------------------------------|-------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| Resistencia Última "Vu"                                  | Tonf        | 40.00                                                                       |
| Resistencia del Concreto "Vc" Vu /<br>$\emptyset < > Vc$ | tonf        | 13.82                                                                       |
| Resist. de As requerida "Vs"                             | tonf        | Diseñar por corte                                                           |
| $\emptyset$ del estribo                                  | $\emptyset$ | 3/8"                                                                        |
| "So" Zona de confinamiento                               | cm          | 10.00                                                                       |
| "Lo" Zona de confinamiento Vu2                           | cm          | 140.00                                                                      |
| Vu / $\emptyset < > Vc$ "S"                              | tonf        | 27.69                                                                       |
| Zona Central                                             | cm          | Diseñar por corte                                                           |
|                                                          |             | 17.50                                                                       |
| Armado de Estribos                                       |             | Estribaje por sismo<br>$\emptyset$ 3/8": 1 @ 5; 14 @ 10; Rsto. @<br>17.5 cm |

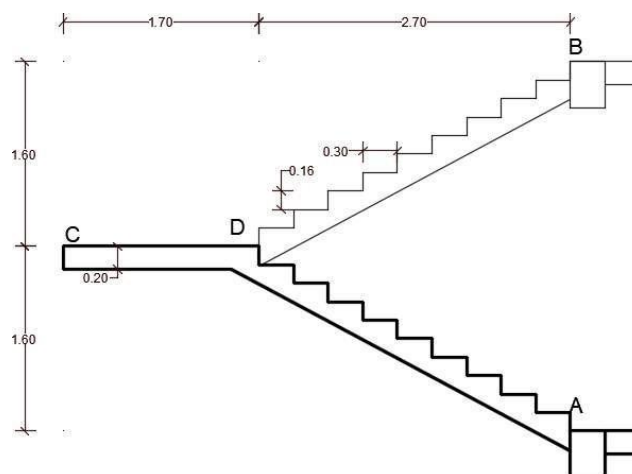
#### 4.1.18. DISEÑO DE OTROS ELEMENTOS

##### DISEÑO DE ESCALERAS

El comportamiento de las escalinatas depende únicamente de la gravedad. Al ser autoportantes, no requieren ningún apoyo en la plataforma intermedia. En la imagen se muestra su diagrama esquemático junto con la longitud total de las escaleras.

**Figura 58**

*Representación gráfica de una escalinata en voladizo*



Ahora procederemos a calcular la masa de la escalinata, teniendo en cuenta las siguientes masas:

$$pprampa = 0.256 \times 2.4 = 0.615 \text{ m}$$

$$ppdescanso = 0.2 \times 2.4 = 0.48 \text{ kg}$$

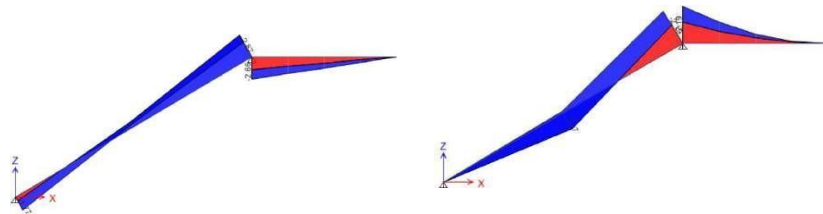
$$pt = 50 \text{ m}^2$$

$$S/C = 400 \text{ m}^2$$

Al diseñar la rampa, es clave garantizar que el punto D permanezca estable, por lo que su apoyo virtual se considera al evaluar la respuesta estructural. En la figura 59 aparece un esquema con las distribuciones de presión, la fuerza cortante y el momento flector resultante.

**Figura 59**

*Representación gráfica de los esfuerzos cortantes (izquierda) y los momentos flectores (derecha)*



A partir de los resultados del estudio, el diseño de la escalera se ilustra en la figura 58. Allí se aprecia la necesidad de colocar vigas de  $0.20 \times 0.20 \text{ m}$  en la unión entre la rampa y la plataforma para evitar torsiones. Los detalles de las varillas metálicas están recogidos en los planos correspondientes.

**Tabla 50**

*Diseño a corte y flexión de la escalera*

| <b>DISEÑO POR FLEXION</b>      |                |                |
|--------------------------------|----------------|----------------|
|                                | <i>Centro</i>  | <i>Apoyo</i>   |
| $h$ (cm) =                     | 15.00          | 15.00          |
| $b$ (cm) =                     | 100.00         | 100.00         |
| $recub$ (cm) =                 | 3.00           | 3.00           |
| $d$ (cm) =                     | 12.00          | 12.00          |
| $f_y$ (kg/cm <sup>2</sup> ) =  | 4200.00        | 4200.00        |
| $f'_c$ (kg/cm <sup>2</sup> ) = | 0.016          | 210.00         |
| $\rho$ mín.=                   | 210.00         | 0.016          |
| $\rho$ máx.=                   | 0.0018         | 0.0018         |
| $M_u$ (-) (tonf-m) =           | 0.00           | 2.19           |
| $M_u$ (+) (tonf-m) =           | 1.07           | 0.00           |
| $K_u$ =                        | 7.43           | 15.21          |
| $\rho$ =                       | 0.00201        | 0.00424        |
|                                | OK!!           | OK!!           |
| $A_s$ (cm <sup>2</sup> /m) =   | 2.42           | 5.08           |
| $A_s$ colocado                 | Ø 3/8"<br>@ 25 | Ø 1/2"<br>@ 20 |

| <b>DISEÑO POR FLEXION</b>      |              |
|--------------------------------|--------------|
|                                | <b>APOYO</b> |
| $V_u$ (tonf) =                 | 2.87         |
| $d$ (c) =                      | 100.00       |
| $d$ (cm) =                     | 12.00        |
| $f'_c$ (kg/cm <sup>2</sup> ) = | 210.00       |
| $V_c$ (tonf) =                 | 9.22         |
| Ø $V_c$ =                      | 7.83         |
| Ø $V_c > V_u$ =                | OK!          |

| <b>COMPROBACIONES</b>                 |                             |                         |
|---------------------------------------|-----------------------------|-------------------------|
| <b>FLEXO TRACCIÓN</b>                 | <b>FLEXO COMPRESIÓN.</b>    |                         |
| $A_s = \frac{T}{f_y}$                 | debe cumplir que:           |                         |
| $A_s = 4.83\text{cm}^2$               | $\frac{C}{bd} \leq 0.85f_y$ |                         |
|                                       | $C/(bd) =$                  | 9.38kgf/cm <sup>2</sup> |
| Refuerzo instalado en rampas.         | $0.85f'_c =$                | 178.50                  |
| $A_s = 12.78\text{cm}^2$              |                             |                         |
| $f_y A_s \geq 0.04f'_c A_c$ <b>OK</b> |                             | <b>OK</b>               |

Se decidió utilizar varillas de Ø 3/8" a una distancia de 0.20 metros para el refuerzo positivo en las rampas, y varillas de Ø 3/8" a una

distancia de 0,10 metros para el refuerzo en los apoyos, lo que equivale a Ø 1/2" a 0.20 metros.

Se producirán tensiones de compresión y tracción en la rampa inferior y en la rampa superior, respectivamente. Para asegurarnos de que estas tensiones están dentro de los límites permitidos, las verificamos. A continuación, se presentan los resultados de estas inspecciones.

Se producirán fuerzas de torsión que transmiten cargas verticales de hasta la mitad de la longitud del rellano, medida desde la unión entre el rellano y la rampa, en los lugares donde se unen el rellano y las rampas. A continuación, se muestra el diseño comparable.

**Tabla 51**

*Proceso de modelo*

|                             | <b>DISEÑO</b> |
|-----------------------------|---------------|
| $h$ (cm) =                  | 20.0          |
| $b$ (cm) =                  | 85.0          |
| $recub$ (cm) =              | 3.0           |
| $d$ (cm) =                  | 17.0          |
| $\rho$ min =                | 0.0018        |
| $\rho$ máx =                | 0.0160        |
| $Mu$ (tonf-m) =             | 9.30          |
| $Ku$ =                      | 37.85         |
| $\rho$ =                    | 0.01160       |
|                             | <b>OK!</b>    |
| $As$ (cm <sup>2</sup> /m) = | 16.77         |
| $As$ colocado               | 5/8 @ 10.00   |

## DISEÑO DE TABIQUES

El valor de la resistencia de diseño para los componentes no estructurales se calcula mediante la siguiente fórmula, de acuerdo con la norma E-030:

$$F = \frac{a_i}{g} C_1 P_e$$

Donde:

$a_i$ : Aceleración horizontal en el nivel donde el elemento no estructural está respaldado.

$P_e$ : Peso del elemento no estructural.

C<sub>1</sub>: Valor constante obtenido de la Tabla 51.

**Tabla 52**

Valores correspondientes a C<sub>1</sub> (tabla 12, Norma E-030)

| <b>VALORES DE C<sub>1</sub></b>                                                                                                    |      |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Elementos que al fallar puedan precipitarse fuera de la edificación y cuya falla entrañe peligro para personas u otras estructuras | 3.00 |
| Muros y tabiques dentro de una edificación                                                                                         | 2.00 |
| Tanques sobre la azotea, casa de máquinas, pérgolas, parapetos en la azotea                                                        | 3.00 |
| Equipos rígidos conectados rígidamente al piso                                                                                     | 1.50 |

Sin embargo, en ninguna altura de la estructura, la magnitud de la fuerza F, determinada mediante la siguiente ecuación, será inferior a:

$$F_{\min} = 0.5ZUSP_e$$

Para el caso de los puntos sin paneles ubicados en o debajo de la base (sótano) de la estructura, la cerca debe construirse con una línea horizontal que incorpore la ecuación ya presentada.

Al momento de calcular la separación de sismicidad entre el tabique y el techo, podemos multiplicar la deformación máxima del entrepiso por la altura del tabique.

Luego continuaremos creando a lo largo del eje E, en el tramo que se extiende desde el eje 4 hasta el eje 5, se delimitará una región con una longitud de 5.75 metros y una altura de 2.6 metros.

**Tabla 53**

Información el muro y condiciones de confinamiento

| <b>DIRECCIÓN DEL MURO:</b>            | <b>DIRECCIÓN</b> | <b>X-X</b>        |
|---------------------------------------|------------------|-------------------|
| Densidad del muro, Ym =               | 1900.00          | kg/m <sup>3</sup> |
| Espesor del Muro, tm =                | 0.14             | m                 |
| Peso del Muro, Pe=                    | 266.00           | kg/m <sup>2</sup> |
| Longitud del Muro, Lm =               | 5.75             | m                 |
| Altura del Muro, Hm =                 | 2.70             | m                 |
| # Numero de paños =                   | 2.00             |                   |
| Peralte de columna de arriostre, bc = | 0.15             | m                 |
| Lmi =                                 | 2.73             | m                 |

**Tabla 54**

*Calculo de la fuerza sísmica de diseño y mínima en el tabique*

| <b>DETERMINACIÓN DE LA MÍNIMA FUERZA SÍSMICA</b> |           |       |
|--------------------------------------------------|-----------|-------|
| Factor de Zona, Z =                              | <b>Z3</b> | 0.35  |
| Factor de uso, U =                               | <b>A1</b> | 1.00  |
| Factor de Suelo, S =                             | <b>S2</b> | 1.15  |
| Coefficiente de sismicidad, C1 =                 |           | 2.00  |
| Mínima fuerza de sismicidad: Fhmín =             | 53.53     | kg/m2 |

| <b>HALLAR DE LA FORTALEZA DEL MODELO SÍSMICO</b> |       |       |
|--------------------------------------------------|-------|-------|
| Aceleración Horizontal del suelo, ai =           | 1.22  | m/s2  |
| Aceleración de la gravedad, g =                  | 9.81  | m/s2  |
| Fuerza de Diseño, Fi =                           | 66.02 | kg/m2 |
| Carga sísmica de la albañilería, w =             | 52.81 | kg/m2 |

El momento de flexión en la albañilería, denominado como "Ms" y generado por la carga sísmica "w", se determina mediante la siguiente fórmula:

$$M_s = mwa^2$$

La tensión admisible en flexión, que viene determinada por  $f'_t=1.5\text{kg/cm}^2$  de la mampostería, debe ser superior a la tensión habitual derivada del momento flector "Ms".

$$f_m = \frac{6M_s}{t^2} \leq f'_c$$

**Tabla 55**

*Cálculo del momento flector Ms y los esfuerzos en la albañilería*

| <b>DETERMINACIÓN DEL MOMENTO FLECTOR Y LOS ESFUERZOS</b> |            |        |
|----------------------------------------------------------|------------|--------|
| Momento flector, Ms =                                    | 43.73      | kg-m/m |
| Esfuerzo normal debido a Ms, fm =                        | 1.339      | kg/cm2 |
| Esfuerzo admisible, $f'_t$ =                             | 1.500      | kg/cm2 |
| $f_m \leq f'_t$                                          | <b>OK!</b> |        |

Pasaremos ahora a diseñar los componentes de confinamiento, lo que requiere elevar la carga "w" en la variable 1.25 para alcanzar las condiciones de rotura.

**Tabla 56**

*Diseño de los arriostres*

| <b>Diseño de los arriostres</b>            |             |                    |
|--------------------------------------------|-------------|--------------------|
| $1.25 w =$                                 | 66.02       | kg/m <sup>2</sup>  |
| Carga sobre el arriostre,<br>$Wf =$        | 179.90      | kg/m               |
| <b>Momento último, <math>M_u =</math></b>  | 600.08      | kg/m               |
| <i>Sección de la columna</i>               |             |                    |
| $b =$                                      | 15.00       | cm                 |
| $d =$                                      | 12.50       | cm                 |
| $f'_c =$                                   | 210.00      | kg/cm <sup>2</sup> |
| $f_y =$                                    | 4200.00     | kg/cm <sup>2</sup> |
| $k_u =$                                    | 25.60       |                    |
| $\rho =$                                   | 0.00742     |                    |
| $A_s =$                                    | 1.392       | cm <sup>2</sup>    |
| #barras:                                   | 4.00        | Ø 3/8"             |
| <b>Cortante último, <math>V_u =</math></b> | 363.17      | <b>¡OK!</b>        |
| $V_c = 0.53\sqrt{f'_c}bd =$                | 1440.08     |                    |
| $\phi V_c =$                               | 1224.07     | kg                 |
| $V_u \leq \phi V_c$                        | <b>¡OK!</b> | kg                 |

*Nota. No es necesario utilizar acero para corte, instalaremos barras de  $\phi$  8 mm a una distancia de 0.20*

La junta de dilatación se calcula multiplicando la altura del muro (2,70 m) por la mayor pendiente tomada en cuenta para el sismo de cálculo (0,003). El resultado es el siguiente:

$$\frac{\Delta_i}{h} = 0.003$$

$$h = 270 \text{ cm}$$

$$\Delta_i = 0.003 * 270 \text{ equivale a } 0.81 \text{ cm}$$

La fisura sísmica para una gran deformación es de 0.81 cm, por lo que decidimos usar una junta de 1/2 pulgada.

#### **4.1.19. DADOS DE CONCRETO**

Diseñados para soportar los esfuerzos normales, cortantes y de flexión transmitidos por el pilar, estos componentes se colocan en la parte superior e inferior de cada dispositivo de aislamiento.

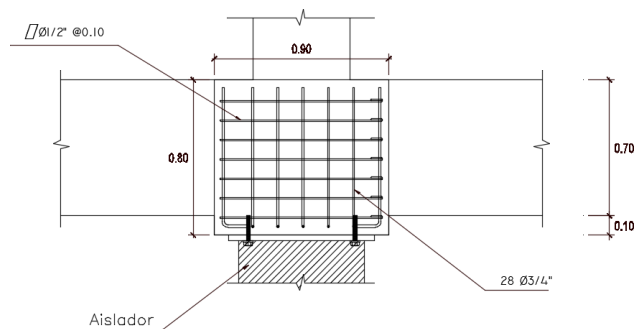
Para el refuerzo vertical se utilizó la menor cantidad de acero (1%) necesaria para los pilares. Los requisitos de la Normativa Nacional de Edificación E-060 para los nudos en los sistemas de pórticos exigían la

adición de un refuerzo transversal mínimo, ya que la matriz está esencialmente confinada en la unión de vigas y pilares.

Los detalles del refuerzo de acero para los cubos de hormigón se muestran en la Figura 60.

**Figura 60**

*Detalle de acero de los dados de concreto*



#### **4.1.20. COMPROBACIÓN LÍMITE DE LOS ESTADOS PARA LOS DISPOSITIVOS DE AISLAMIENTO**

Para el dispositivo que vamos a separar, es imprescindible comprobar dos cosas: que resista el ángulo máximo de deformación y que mantenga estabilidad frente al pandeo. Por ello aplicamos un factor de seguridad de 1.5, tal como se explicó anteriormente. Ambas comprobaciones se realizan considerando el SMP.

Los resultados de estas inspecciones se muestran en la Tabla 57. La combinación de carga 0.9CM-S es muy importante, ya que muestra si se manifiestan tensiones en los dispositivos de fricción. Esto indica que los dispositivos de fricción se están levantando, lo que no debería ocurrir. Afortunadamente, los dispositivos de fricción de nuestro edificio no registran ninguna deformación.

**Tabla 57**

Momentos debido al efecto P -  $\Delta$

| DEAD       |                       |                           | LIVE       |                       |                           | SX         |                |            | SY                    |                       |                | EFECTO P - Δ<br>tonf-m |            |                       |                           |                  |            |          |                    |                    |
|------------|-----------------------|---------------------------|------------|-----------------------|---------------------------|------------|----------------|------------|-----------------------|-----------------------|----------------|------------------------|------------|-----------------------|---------------------------|------------------|------------|----------|--------------------|--------------------|
| FZ<br>tonf | M22(xx<br>)<br>tonf-m | M33<br>(yy)<br>tonf<br>-m | FZ<br>tonf | M22(xx<br>)<br>tonf-m | M33<br>(yy)<br>tonf<br>-m | FX<br>tonf | FY<br>ton<br>f | FZ<br>tonf | M22(xx<br>)<br>tonf-m | M33<br>(yy)<br>tonf-m | FX<br>ton<br>f | FY<br>tonf             | FZ<br>tonf | M22(xx<br>)<br>tonf-m | M33<br>(yy)<br>tonf<br>-m | 12D+L+ E <br>X-X | Y-Y        | D D<br>m | MPDx<br>tonf-<br>m | MPDy<br>tonf-<br>m |
| 92.11      | 12.13                 | -<br>1.25                 | 21.3<br>0  | 2.14                  | -<br>0.74                 | 11.1<br>6  | 2.5<br>3       | 12.1<br>8  | 2.73                  | 10.6<br>9             | 2.0<br>6       | 10.2<br>1              | 20.1<br>7  | 17.14                 | 2.19                      | 144.0<br>1       | 152.0<br>0 | 0.1<br>8 | 12.72              | 13.42              |
| 54.85      | -2.95                 | -<br>3.34                 | 15.3<br>4  | -0.66                 | -<br>1.69                 | 10.5<br>4  | 1.5<br>8       | 11.8<br>7  | 4.11                  | 9.96                  | 2.0<br>6       | 10.2<br>1              | 1.72       | 25.85                 | 1.28                      | 93.03            | 82.88      | 0.1<br>8 | 8.21               | 7.32               |
| 52.51      | -0.73                 | -<br>5.14                 | 12.4<br>2  | -0.29                 | -<br>1.74                 | 9.90       | 0.6<br>2       | 13.6<br>3  | 2.75                  | 9.50                  | 2.0<br>6       | 10.2<br>1              | 17.1<br>9  | 17.36                 | 1.07                      | 89.06            | 92.62      | 0.1<br>8 | 7.86               | 8.18               |
| 70.64      | -1.94                 | -<br>2.91                 | 14.4<br>0  | -0.54                 | -<br>1.20                 | 9.67       | 0.4<br>4       | 15.8<br>8  | 2.74                  | 10.1<br>8             | 1.8<br>2       | 10.1<br>0              | 0.77       | 19.44                 | 0.47                      | 115.0<br>5       | 99.94      | 0.1<br>8 | 10.16              | 8.82               |
| 60.01      | -3.17                 | -<br>5.14                 | 14.7<br>0  | -0.37                 | -<br>1.84                 | 10.1<br>7  | 1.4<br>7       | 13.4<br>2  | 2.71                  | 9.88                  | 2.0<br>6       | 10.2<br>1              | 12.4<br>7  | 17.04                 | 1.79                      | 100.1<br>3       | 99.18      | 0.1<br>8 | 8.84               | 8.76               |
| 58.1       | -1.84                 | -<br>2.83                 | 13.2<br>1  | -0.63                 | -<br>1.22                 | 10.7<br>4  | 2.6<br>5       | 11.8<br>8  | 2.71                  | 10.7<br>1             | 2.0<br>6       | 10.2<br>1              | 15.2<br>6  | 17.04                 | 2.38                      | 94.81            | 98.19      | 0.1<br>8 | 8.37               | 8.67               |
| 96.88      | 8.25                  | 3.93                      | 28.7<br>5  | 1.43                  | 1.09                      | 11.1<br>6  | 2.5<br>3       | 3.82       | 0.99                  | 23.2<br>0             | 1.1<br>0       | 9.76                   | 17.4<br>2  | 10.59                 | 4.75                      | 148.8<br>3       | 162.4<br>3 | 0.1<br>8 | 13.14              | 14.34              |
| 71.48      | -2.67                 | 2.98                      | 29.3<br>5  | -0.81                 | 0.85                      | 10.5<br>4  | 1.5<br>8       | 2.69       | 1.77                  | 18.4<br>7             | 1.1<br>0       | 9.76                   | 0.38       | 19.22                 | 2.38                      | 117.8<br>2       | 115.5<br>1 | 0.1<br>8 | 10.40              | 10.20              |
| 80         | -2.14                 | 5.32                      | 30.4<br>2  | -0.46                 | 1.34                      | 9.90       | 0.6<br>2       | 2.19       | 1.87                  | 17.7<br>1             | 1.1<br>0       | 9.76                   | 1.31       | 19.29                 | 0.91                      | 128.6<br>1       | 127.7<br>3 | 0.1<br>8 | 11.36              | 11.28              |
| 88.26      | -1.87                 | 1.08                      | 32.4<br>3  | -0.60                 | -<br>0.67                 | 9.67       | 0.4<br>4       | 5.26       | 1.75                  | 17.3<br>6             | 1.1<br>0       | 9.76                   | 0.72       | 19.08                 | 0.88                      | 143.6<br>0       | 139.0<br>6 | 0.1<br>8 | 12.68              | 12.28              |

|       |       |      |      |       |      |      |     |      |      |      |     |      |      |       |      |       |       |     |       |       |
|-------|-------|------|------|-------|------|------|-----|------|------|------|-----|------|------|-------|------|-------|-------|-----|-------|-------|
| 86.45 | -1.10 | 2.75 | 34.2 | -0.20 | 0.50 | 10.1 | 1.4 | 2.17 | 1.73 | 18.3 | 1.1 | 9.76 | 3.03 | 18.78 | 2.40 | 140.1 | 141.0 | 0.1 | 12.37 | 12.45 |
|       |       |      | 3    |       |      | 7    | 7   |      |      | 8    | 0   |      |      |       |      | 4     | 0     | 8   |       |       |
| 72.97 | -0.75 | 1.73 | 23.2 | -0.05 | 0.75 | 12.8 | 3.1 | 3.87 | 0.95 | 23.2 | 1.3 | 11.6 | 12.6 | 10.25 | 5.17 | 114.6 | 123.4 | 0.1 | 10.13 | 10.90 |
|       |       |      | 4    |       |      | 4    | 7   |      |      | 6    | 1   | 7    | 0    |       |      | 7     | 0     | 8   |       |       |
| 53.73 | -2.08 | 1.72 | 19.3 | -0.74 | 0.25 | 11.1 | 2.5 | 1.87 | 0.31 | 23.5 | 0.2 | 9.40 | 17.2 | 10.19 | 4.83 | 85.69 | 101.1 | 0.1 | 7.57  | 8.93  |
|       |       |      | 4    |       |      | 6    | 3   |      |      | 8    | 6   |      | 8    |       |      |       | 0     | 8   |       |       |
| 70.87 | 0.28  | -    | 29.4 | 0.13  | -    | 10.5 | 1.5 | 1.05 | 0.55 | 18.6 | 0.2 | 9.40 | 0.21 | 18.38 | 2.41 | 115.5 | 114.6 | 0.1 | 10.20 | 10.13 |
|       |       | 0.66 | 3    |       | 0.44 | 4    | 8   |      |      | 2    | 6   |      |      |       |      | 2     | 8     | 8   |       |       |
| 64.76 | 1.04  | 2.65 | 29.3 | 0.61  | 1.08 | 0.00 | 0.0 | 1.90 | 0.63 | 17.9 | 0.0 | 0.00 | 24.0 | 20.17 | 0.90 | 108.9 | 131.1 | 0.1 | 19.24 | 23.16 |
|       |       |      | 6    |       |      |      | 0   |      |      | 0    | 0   |      | 5    |       |      | 7     | 2     | 8   |       |       |
| 52.48 | -4.29 | -    | 23.0 | -1.67 | -    | 0.00 | 0.0 | 9.18 | 0.69 | 3.18 | 0.0 | 0.00 | 24.5 | 19.29 | 1.39 | 95.22 | 110.6 | 0.1 | 16.82 | 19.53 |
|       |       | 9.68 | 6    |       | 6.41 |      | 0   |      |      |      | 0   |      | 8    |       |      |       | 2     | 8   |       |       |
| 77.09 | -0.74 | -    | 31.7 | 0.19  | 0.38 | 10.1 | 1.4 | 0.24 | 0.75 | 18.5 | 0.2 | 9.40 | 5.37 | 16.66 | 2.43 | 124.4 | 129.5 | 0.1 | 10.99 | 11.44 |
|       |       | 0.63 | 0    |       |      | 7    | 7   |      |      | 8    | 6   |      |      |       |      | 5     | 8     | 8   |       |       |
| 74.66 | 0.01  | -    | 24.5 | -0.06 | -    | 12.8 | 3.1 | 1.57 | 0.31 | 23.6 | 0.3 | 11.2 | 12.5 | 9.78  | 5.28 | 115.7 | 126.6 | 0.1 | 10.22 | 11.18 |
|       |       | 2.45 | 6    |       | 0.64 | 4    | 7   |      |      | 6    | 1   | 3    | 0    |       |      | 2     | 5     | 8   |       |       |
| 67.08 | 2.84  | 4.59 | 19.9 | 2.57  | 1.88 | 0.00 | 0.0 | 14.6 | 1.32 | 17.4 | 0.0 | 0.00 | 11.4 | 3.22  | 0.78 | 115.0 | 111.9 | 0.1 | 20.32 | 19.77 |
|       |       |      | 5    |       |      |      | 0   | 3    |      | 2    | 0   |      | 8    |       |      | 8     | 3     | 8   |       |       |
| 78.81 | -2.16 | -    | 24.1 | -0.76 | 0.22 | 11.1 | 2.5 | 2.11 | 0.71 | 22.4 | 0.9 | 10.3 | 21.3 | 10.93 | 4.60 | 120.8 | 140.0 | 0.1 | 10.67 | 12.37 |
|       |       | 1.28 | 9    |       |      | 6    | 3   |      |      | 7    | 1   | 1    | 3    |       |      | 7     | 9     | 8   |       |       |
| 90.33 | 1.95  | -    | 34.2 | 0.45  | 0.04 | 10.5 | 1.5 | 0.51 | 1.30 | 18.3 | 0.9 | 10.3 | 0.56 | 20.07 | 2.36 | 143.1 | 143.2 | 0.1 | 12.64 | 12.65 |
|       |       | 1.52 | 7    |       |      | 4    | 8   |      |      | 2    | 1   | 1    |      |       |      | 8     | 3     | 8   |       |       |
| 111.4 | 0.68  | -    | 48.2 | -0.12 | -    | 0.00 | 0.0 | 1.11 | 1.34 | 17.5 | 0.0 | 0.00 | 2.08 | 20.27 | 0.90 | 183.1 | 184.1 | 0.1 | 32.35 | 32.52 |
| 7     |       | 5.06 | 9    |       | 1.27 |      | 0   |      |      | 6    | 0   |      |      |       |      | 6     | 3     | 8   |       |       |
| 95.4  | -2.07 | -    | 39.2 | -0.18 | -    | 0.00 | 0.0 | 6.67 | 1.28 | 17.0 | 0.0 | 0.00 | 1.11 | 19.85 | 0.80 | 160.3 | 154.8 | 0.1 | 28.32 | 27.34 |
|       |       | 7.69 | 3    |       | 2.37 |      | 0   |      |      | 4    | 0   |      |      |       |      | 8     | 2     | 8   |       |       |
| 88.38 | -5.38 | -    | 30.1 | -1.60 | 0.03 | 10.1 | 1.4 | 0.33 | 1.29 | 18.2 | 0.9 | 10.3 | 3.53 | 19.57 | 2.43 | 136.5 | 139.7 | 0.1 | 12.06 | 12.34 |
|       |       | 1.56 | 8    |       |      | 7    | 7   |      |      | 2    | 1   | 1    |      |       |      | 7     | 7     | 8   |       |       |
| 110.0 | 1.84  | -    | 28.7 | 0.69  | 0.74 | 12.8 | 3.1 | 1.57 | 0.70 | 22.5 | 1.0 | 12.3 | 15.5 | 10.60 | 5.03 | 162.3 | 176.3 | 0.1 | 14.33 | 15.57 |
| 2     |       | 2.43 | 5    |       |      | 4    | 7   |      |      | 3    | 9   | 2    | 8    |       |      | 4     | 5     | 8   |       |       |

|       |       |      |      |       |      |      |     |      |      |      |     |      |      |       |      |       |       |     |       |       |
|-------|-------|------|------|-------|------|------|-----|------|------|------|-----|------|------|-------|------|-------|-------|-----|-------|-------|
| 59.97 | -1.25 | 5.33 | 15.2 | -0.36 | 1.75 | 13.3 | 3.0 | 13.1 | 2.56 | 10.7 | 2.4 | 13.8 | 20.6 | 17.81 | 2.19 | 100.3 | 107.8 | 0.1 | 8.86  | 9.52  |
|       |       |      | 1    |       |      | 4    | 2   | 8    |      | 4    | 9   | 4    | 4    |       |      | 5     | 1     | 8   |       |       |
| 66.31 | -0.77 | 7.31 | 19.4 | -0.44 | 2.94 | 12.6 | 1.8 | 12.9 | 3.77 | 10.0 | 2.4 | 13.8 | 2.64 | 26.25 | 1.28 | 111.9 | 101.7 | 0.1 | 9.89  | 8.98  |
|       |       |      | 9    |       |      | 0    | 8   | 0    |      | 1    | 9   | 4    |      |       |      | 6     | 0     | 8   |       |       |
| 72.62 | -1.52 | 6.34 | 20.5 | -0.43 | 2.46 | 11.8 | 0.7 | 12.3 | 3.69 | 9.60 | 2.4 | 13.8 | 2.42 | 25.71 | 0.49 | 120.0 | 110.0 | 0.1 | 10.60 | 9.72  |
|       |       |      | 2    |       |      | 4    | 4   | 8    |      |      | 9   | 4    |      |       |      | 4     | 8     | 8   |       |       |
| 91.25 | -0.38 | 5.19 | 24.3 | -0.22 | 2.30 | 11.5 | 0.5 | 12.4 | 3.64 | 9.33 | 2.4 | 13.8 | 0.64 | 25.40 | 0.43 | 146.2 | 134.4 | 0.1 | 12.91 | 11.87 |
|       |       |      | 0    |       |      | 6    | 3   | 5    |      |      | 9   | 4    |      |       |      | 5     | 4     | 8   |       |       |
| 86.19 | -2.22 | 3.15 | 19.5 | -0.42 | 1.54 | 12.1 | 1.7 | 12.4 | 3.67 | 9.96 | 2.4 | 13.8 | 2.93 | 25.55 | 7.00 | 135.4 | 125.8 | 0.1 | 11.96 | 11.11 |
|       |       |      | 0    |       |      | 6    | 5   | 8    |      |      | 9   | 4    |      |       |      | 1     | 6     | 8   |       |       |
| 71.77 | 2.79  | 4.43 | 12.6 | 0.55  | 1.26 | 12.8 | 3.1 | 12.3 | 2.42 | 10.7 | 2.4 | 13.8 | 14.2 | 16.81 | 2.40 | 111.1 | 113.0 | 0.1 | 9.81  | 9.98  |
|       |       |      | 8    |       |      | 4    | 7   | 1    |      | 7    | 9   | 4    | 3    |       |      | 1     | 3     | 8   |       |       |

## **CAPITULO V**

### **DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS**

#### **5.1. PRESENTAR LA CONTRASTACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**

##### **Discusión 1:**

##### **Organización, estimación inicial y cuantificación de cargas**

La investigación determinó que la estructura aislada producía mejores resultados estructurales que una estructura compartida. Esto pone de relieve cómo la homogeneidad de un edificio es crucial para garantizar un comportamiento estructural adecuado. En nuestra investigación, se analizaron los elementos discontinuos, que tienen un rol esencial en la estructuración. Dado que los resultados están dentro de los límites establecidos por la legislación nacional, cumplen la normativa peruana. Además, el análisis se realizó con la herramienta ETABS, y los resultados satisfacen las normas del Reglamento Nacional de Edificación (RNE). También se realizó la cuantificación de las cargas en la estructura con marcos, con el fin de evaluar la respuesta sísmica de la edificación. Con esta investigación buscamos descubrir cómo se comporta la estructura durante un terremoto, con el fin de garantizar que el edificio resista y permanezca en pie sin colapsar.

##### **Discusión 02:**

##### **Evaluación de resultados estructurales en una edificación de tres pisos con estructura de concreto armado.**

En el estudio comparativo realizado por Laso, se analizó el uso de distintos programas para el modelado estructural, destacando que el programa Android de Estructura podría adoptar normativas más conservadoras. En nuestro trabajo, se modeló un edificio de tres niveles con estructura porticada utilizando el software ETABS. Durante el proceso, se establecieron las medidas y secciones correspondientes, incorporando las características previamente evaluadas. Posteriormente, se realizaron los

análisis estructurales de acuerdo con los modos de oscilación descritos en la NTP E-030. Según la normativa, la cantidad de modos de oscilación por altura debe ser de 3, abarcando más del 90% del peso participativo. En este caso, se emplearon 9 modos de vibración, y los resultados mostraron que la duración del primer modo es de 0.47 segundos, disminuyendo progresivamente hasta llegar a 0.07 segundos en el noveno modo. También se obtuvieron los desplazamientos laterales del edificio: 0.000766 m en el tercer nivel, 0.001222 m en el segundo nivel y 0.000999 m en el primer nivel. Estos movimientos se encuentran dentro de las restricciones fijadas por la legislación peruana, lo que corrobora la reacción sísmica de la construcción.

### **Discusión 3:**

#### **Identificación de la estructura arquitectónica más crucial y verificación de los resultados del modelo.**

En este estudio, se determinó que la estructura arquitectónica más crítica es la 03-03. Se verificaron las cuantías mínimas y máximas de acero según las normativas peruanas para este tipo de pórtico, utilizando los resultados obtenidos del modelo en el software ETABS. En cuanto a las vigas, se consideró un área de aislamiento que se extiende desde el extremo de soporte hasta una distancia igual a  $2d$ , resultando en 78 cm en este caso. Los estribos deben colocarse a 5 cm de la cara del apoyo en esta zona, y la distribución de la fuerza transversal debe ser determinada según el valor más bajo entre  $0.25 * d$ , 8 veces el diámetro del refuerzo horizontal y 30 cm. En este caso, el valor calculado fue 10 cm. Las normas estipulan que el área de acero en el modelado de la columna debe estar comprendida entre el 1% y el 8% de la sección del concreto. El área de acero medida en ETABS se ajustó a las normas de los códigos RNE y ACI, midiendo  $16\text{cm}^2$ .

En cuanto al diseño de la losa aligerada, se evaluaron las cargas y se obtuvieron valores de momento flector negativo ( $M_u$ ) y momento flector positivo ( $M_n$ ), verificando que las varillas de acero cumplieran con los márgenes de diseño del código ACI. Además, se consideró que las varillas no deben separarse más de cinco veces el grosor de la losa, utilizando varillas

de  $\frac{1}{4}$  de pulgada a 25 cm de distancia. Los resultados mostraron que todos los elementos de acero cumplen con los requisitos de diseño establecidos.

Finalmente, se diseñaron las escaleras y la zapata aislada. Para esta última, se utilizó una columna cuadrada de 40 cm x 40 cm que soporta cargas muertas y vivas específicas. Se verificó que la zapata no fallaría por funcionamiento. La distribución del acero en la zapata fue determinada con varillas de  $\frac{1}{2}$  pulgada a 40 cm de distancia. En conjunto, todos los elementos de la estructura cumplieron con los criterios de diseño establecidos por las normativas.

## CONCLUSIONES

- Se pudo aislar de manera satisfactoria la edificación estudiada, usando los sistemas de aislamiento elásticos las cuales contienen centro de plomo (LRB) y resbaladores planos el sistema de aislamiento (LRB) de las cuales se utilizaron 26 unidades tiene un espesor de 65 centímetros, 17 unidades de estos aisladores tienen un espesor de plomo de 6.0 centímetros y 9 unidades tiene plomo con un espesor de 7.5 centímetros, los resbaladores planos (cinco unidades de deslizadores PTFE) tienen un espesor de 100.00 centímetros.
- El análisis de modo de las cargas participantes mostró que las 2 primeras unidades de modo son generalmente de traslación, de esa manera se tiene una carga que participa en el primer modo equivalente a 97.1 por ciento y 98.7 por ciento en el 2do modo. Esto se quiere en edificaciones aisladas que los 2 modos iniciales sean traslacionales y de ese modo se evite daños de fletamento que intervienen en la buena función de dicho sistema.
- Después de haber realizado un estudio estático y modal espectral, se tiene por conclusión que las respuestas de estos 2 se asimilan en el periodo (Test. Igual a 2.72 s, Tdin. Igual a 2.80 s), el movimiento de modelo (DDest. = 0.186 metros, DDdin.x = 0.177 metros, DDdin.y = 0.174 metros).
- Las velocidades necesarias en los distintos niveles del edificio aislado varían de 1.04 m/s<sup>2</sup> en la 1ra planta a 1.35 m/s<sup>2</sup> en el nivel final (0.11g a 0.137g), el cual plasma un valor representativamente bajo a lo que se debe obtener en una edificación común.
- Los tajantes y movimientos que se han conseguido de los estudios dinámicos y estáticos formalizan los requerimientos minuciosos que se observan en la normativa A.S.C.E-SEI 7, Los resultados alcanzados para las fuerzas tajantes y los movimientos son:

| <b>DESCRIPCIÓN</b>                                                                                       | <b><math>\alpha</math> % Est</b> | <b>DINÁMICO</b> |                 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|-----------------|-----------------|
|                                                                                                          |                                  | <b>Dir. x-x</b> | <b>Dir. y-y</b> |
| El valor de VB Dinámico es igual o mayor al 90 por ciento del valor de VB Estático.                      | 250,313                          | 263,59          | 259,04          |
| El valor de VS Dinámico es igual o mayor al 80 por ciento del valor de VS Estático.<br>(Estr. Regulares) | 111,250                          | 131,80          | 129,52          |
| El valor de DTD Dinámico es igual o mayor al 90 por ciento del valor de DTD Estático.                    | 0,184                            | 0,219           | 0,222           |

- Las deformaciones entre pisos son inferiores al límite establecido (0.003) para el modelo sísmico. La mayor deformación registrada es equivalente a 0.0022 en el eje x-x, y en el eje y-y equivale 0.00255.
- Se nota que, al introducir los aisladores en el edificio, el tiempo de edificación experimenta un incremento, los movimientos se incrementan, la deformación entre pisos comienza a bajar y los movimientos también presentan una reducción. Esto resulta en un mejor comportamiento general en la edificación.
- Se ha considerado apropiado emplear vigas con una altura mayor en el diafragma de aislamiento ya que a se llevarán a cabo mayores cargas durante si tiempo de uso. Además, se opta por utilizar vigas de arrostramiento en la parrilla baja con el fin de evitar desplazamientos en las columnas que podrían obstaculizar el rendimiento efectivo de los dispositivos de aislamiento.
- Se ha decidido que es conveniente conectar todas las bases con vigas de cimentación para evitar cualquier tipo de movimiento diferencial en la base que pueda afectar al funcionamiento del sistema de aislamiento.

## RECOMENDACIONES

- Se sugiere limitar el uso a no más de tres diseños de dispositivos de aislamiento, ya que la fabricación y ensayo de cada uno para su demostración pueden resultar costosos si se emplean demasiados diseños.
- Se aconseja el uso de sistemas de aislamiento con una mayor zona perpendicular, ya que estos son muy efectivos debido a que cuentan con una habilidad de carga superior.
- Se sugiere evitar elevar significativamente el lapso de la edificación aislada (mayor a 5 s) por que se utilizan dispositivos de mayor flexibilidad, los cuales podrían no ser factibles de fabricar, también la falta de estudios específicos para tiempos tan prolongados.
- Conducir la evaluación de riesgo sísmico con el fin de establecer el factor que vincula la rapidez del modelo sísmico (SD) con el sismo máximo permisible (SMP). Esto se debe a que el elemento adoptado de 1.5 se fundamenta en investigaciones de actividad sísmica realizadas en EE.UU.
- Con el propósito de mejorar la supervisión de las deformaciones entrepisos y el modelo del sistema de aislamiento, se aconseja llevar a cabo el análisis del periodo histórico, empleando la cantidad mínima de un par de registros requerido según las normativas. Esto se debe a que, según nuestra aplicación de este estudio, al utilizar únicamente 2 de inspecciones, se observaron disparidades al momento de calcular las características no lineales del sistema de aislamiento, especialmente en el amortiguamiento ( $\Delta K_{eff}$  equivale a un 9% y  $\Delta \beta_{eff}$  equivale a un 19%).
- Se recomienda realizar un análisis detallado de la combinación de la carga 0.9CM-S en los sistemas de aislamiento, particularmente cuando se utilicen elementos de roce. Esto es importante porque esa carga refleja la tracción que se está generando. En el caso de los dispositivos de fricción, si se observa un aumento en los valores, podría indicar un

comportamiento no deseado, lo que podría comprometer el rendimiento del sistema.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anónimo, (Diciembre de 2012), *EMB CONSTRUCCIÓN* Obtenido de <https://www.emb.cl/construccion/articulo.mvc?xid=2495&ni=proteccion-sismica-de-estructuras-sistemas-de-aislacion-sismica-y-disipacion-de-energia>
- Burgos, (2011), *Disipación de energía sísmica para el diseño y reforzamiento de edificaciones.*
- Casabonne, (2011) *Tecnologías en construcción presente y futuro - Aisladores Sísmicos.*
- CHILE, (2003) *NCH2745, Análisis y diseño de edificios con asilación sísmica - requisitos .*
- Chumpitaz Martinez, J. H. (s.f.), *PROCEDIMIENTOS DE ANÁLISIS Y DISEÑO PARA EDIFICIOS SÍSMICAMENTE AISLADOS EN EL PERÚ.* PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ, Lima.
- Jacob, V. Z. (s.f.), *Análisis Comparativo de un Edificio Fijo en la Base vs un Edificio Utilizando 4 Tipos de Aisladores Sísmicos.* Escola de Camins.
- Medina Mamani, G. M., & Choque Ccallomamani, J. (s.f.), *ANÁLISIS, COMPORTAMIENTO Y DISEÑO EN CONCRETO ARMADO DE UN EDIFICIO DE 6 NIVELES CON UN SÓTANO CON AISLADORES ELASTOMERICOS CON NÚCLEO DE PLOMO.* UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN.
- MENDO RODRÍGUEZ, (s.f.) *“BASES PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA NORMA PERUANA DE ANÁLISIS Y DISEÑO DE EDIFICIOS CON AISLACIÓN SÍSMICA”.* PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ.
- Meza Blandon, R., & Snchez García, (2011), *Guía de diseño sísmico de aisladores elastoméricos y de fricción para la República de Nicaragua.*

Michael, *IMPLEMENTACIÓN DE AISLADORES SÍSMICOS EN UN EDIFICIO DE VIVIENDAS EN LIMA, PERÚ*. PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ, Lima.

Sierra Castellanos, & Paez Duque, D. V. (s.f.) *Aisladores Sísmicos de Base: Un Compendio de Alternativas*. UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA, Bogotá.

### **COMO CITAR ESTE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**

Espinoza Loarte, M. (2025). *Análisis y diseño de estructuras aporticadas con aisladores sísmicos en la ciudad de Huánuco - 2023* [Tesis de pregrado, Universidad de Huánuco]. Repositorio Institucional UDH. <http://...>

## **ANEXOS**

## ANEXO 1

### MATRIZ DE CONSISTENCIA

| PROBLEMA                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | OBJETIVOS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | HIPÓTESIS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | METODOLOGÍA                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>Problema general:</b><br/>¿Cómo mejorar el análisis y diseño de estructuras aporticadas con aisladores sísmicos en la ciudad de Huánuco - 2023?</p> <p><b>Problemas específicos:</b><br/>¿Cómo mejorar el diseño de aisladores sísmicos para estructuras aporticadas en la ciudad de Huánuco?<br/>¿Cómo mejorar la reducción de los desplazamientos, velocidades y aceleraciones globales en una estructura aporticada en la ciudad de Huánuco?<br/>¿Cómo mejorar la comparación de los resultados obtenidos del tipo de aislador sísmico con las estructuras convencionales en la ciudad de Huánuco?</p> | <p><b>Objetivo general:</b><br/>Analizar el diseño de estructuras aporticadas con aisladores sísmicos en la ciudad de Huánuco - 2023.</p> <p><b>Objetivos específicos:</b><br/>Diseñar aisladores sísmicos para estructuras aporticadas en la ciudad de Huánuco.<br/>Determinar la reducción de los desplazamientos, velocidades y aceleraciones globales en una estructura aporticada en la ciudad de Huánuco.<br/>Comparar los resultados obtenidos del tipo de aislador sísmico con las estructuras convencionales en la ciudad de Huánuco.</p> | <p><b>Hipótesis general:</b><br/>El análisis y diseño de estructuras aporticadas serán influidos por los aisladores sísmicos en la ciudad de Huánuco - 2023.</p> <p><b>Hipótesis específicas:</b><br/>El diseño de aisladores sísmicos influirá para estructuras aporticadas en la ciudad de Huánuco.<br/>La determinación de la reducción de los desplazamientos, velocidades y aceleraciones globales influirán en una estructura aporticada en la ciudad de Huánuco.<br/>Los resultados del tipo de aislador sísmico influirán con las estructuras convencionales en la ciudad de Huánuco.</p> <p><b>Variables:</b><br/>X= Análisis y diseño de estructuras aporticadas<br/>Y= Aisladores Sísmicos</p> | <p><b>Tipo de investigación</b><br/><b>Enfoque:</b><br/>Enfoque cuantitativo.</p> <p><b>Alcance o nivel:</b><br/>Nivel Descriptivo – Explicativo<br/><b>Diseño:</b><br/>No experimental</p> <p><b>Población:</b><br/>Edificio</p> <p><b>Muestra:</b><br/>Estructura aporticada con aisladores</p> |