

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS:**

**COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL BLOQUE “E” DEL INSTITUTO  
DE EDUCACIÓN SUPERIOR TECNOLÓGICO 4 DE JUNIO DE 1821  
COMPARANDO LA GUÍA PRÁCTICA FEMA P-2091 Y LA NORMA E.030-  
2018.**

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

**AUTOR**

**Bach. Brayam Anthony Rojas Tocto**

**ASESOR**

**Dr. Ing. Mauro Augusto Centurión Vargas**

**CAJAMARCA - PERÚ**


**2024**

## CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

### FACULTAD DE INGENIERÍA

- Investigador:** Brayam Anthony Rojas Tocto  
**DNI:** 72756951  
**Escuela Profesional:** Ingeniería Civil
- Asesor:** Dr. Ing. Mauro Augusto Centurión Vargas  
**Facultad:** Ingeniería
- Grado académico o título profesional**  
 Bachiller     Título profesional     Segunda especialidad  
 Maestro     Doctor
- Tipo de Investigación:**  
 Tesis     Trabajo de investigación     Trabajo de suficiencia profesional  
 Trabajo académico
- Título de Trabajo de Investigación:**  
"COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL BLOQUE "E" DEL INSTITUTO DE EDUCACIÓN SUPERIOR TECNOLÓGICO 4 DE JUNIO DE 1821 COMPARANDO LA GUÍA PRÁCTICA FEMA P-2091 Y LA NORMA E.030- 2018"
- Fecha de evaluación:** 04/12/2024
- Software antiplagio:**     TURNITIN     URKUND (ORIGINAL) (\*)
- Porcentaje de Informe de Similitud:** 16 %
- Código Documento :** oid:::3117:412760975
- Resultado de la Evaluación de Similitud:**  
 APROBADO     PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 04/12/2024

|   |  |
|---|--|
| <br><hr/> <b>FIRMA DEL ASESOR</b><br>Mauro Augusto Centurión Vargas<br>DNI: 26604421 | <p>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA<br/>FACULTAD DE INGENIERÍA<br/>UNIDAD DE INVESTIGACIÓN</p> <br><hr/> <b>Dra. Ing. Laura Sojta Bazán Díaz</b><br>DIRECTORA |
|   | <hr/> <b>UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FI</b>  |

## **DEDICATORIA**

A mis padres Walter y Bertha, les agradezco profundamente por su apoyo constante. Este logro no habría sido posible sin su ayuda y el amor que me han brindado a lo largo de mi vida. Gracias por ayudarme a ser una mejor persona y alcanzar mis metas.

A mi hermana Ibett, por ser una inspiración constante. Dedico este logro a ti para que sepas que, con esfuerzo y dedicación, todas las metas se pueden cumplir.

Brayam Anthony

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecerle a Dios por permitirme realizar está investigación superando caídas y obstáculos que se presentaron en el camino y siempre salir airoso.

A mi asesor, el Dr. Ing. Mauro Augusto Centurión Vargas, por su compromiso y dedicación en el desarrollo de la presente tesis.

A los docentes de la Universidad Nacional de Cajamarca, por ser responsables de mi desarrollo profesional y brindarme los conocimientos necesarios para realizar el presente trabajo de investigación.

También quiero expresar mi gratitud a mi familia y amigos, quienes han seguido de cerca cada paso de mi camino. Sus palabras de aliento, sus consejos y el interés que siempre han mostrado en mis objetivos han sido fundamentales para que hoy pueda celebrar este logro.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

|   |      |
|---|------|
| DEDICATORIA.....                            | i    |
| AGRADECIMIENTO.....                         | ii   |
| RESUMEN.....                                | xii  |
| ABSTRACT.....                               | xiii |
| CAPITULO I: INTRODUCCIÓN.....               | 1    |
| 1.1. Planteamiento del problema.....        | 1    |
| 1.2. Formulación del problema.....          | 2    |
| 1.3. Hipótesis de la investigación.....     | 3    |
| 1.4. Variables e indicadores.....           | 3    |
| 1.4.1. Variables independientes.....        | 3    |
| 1.4.2. Variable dependiente.....            | 3    |
| 1.5. Justificación de la investigación..... | 3    |
| 1.6. Alcances.....                          | 4    |
| 1.7. Limitaciones.....                      | 5    |
| 1.8. Objetivos.....                         | 5    |
| 1.8.1. Objetivo principal.....              | 5    |
| 1.8.2. Objetivos secundarios.....           | 5    |
| 1.9. Descripción de los contenidos.....     | 6    |
| CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.....             | 8    |
| 2.1. Antecedentes de la investigación.....  | 8    |
| 2.1.1. Antecedentes internacionales.....    | 8    |
| 2.1.2. Antecedentes nacionales.....         | 9    |
| 2.1.3. Antecedentes locales.....            | 11   |
| 2.2. Bases teóricas.....                    | 12   |

|  |           |
|--|-----------|
| 2.2.1 Teorema básico de la superposición.....                          | 12        |
| 2.2.2. Interacción inercial.....                                       | 15        |
| 2.2.3. Interacción cinemática.....                                     | 19        |
| 2.2.4. Tipos de modelado de interacción suelo-estructura. ....         | 24        |
| 2.2.5. Propagación de ondas en un medio infinito .....                 | 26        |
| 2.2.6. Coeficiente de amortiguamiento ( $\xi$ ).....                   | 30        |
| 2.2.7. Módulo de poisson ( $\nu$ ).....                                | 30        |
| 2.2.8. Flexibilidad de los cimientos y el suelo .....                  | 30        |
| 2.2.9. Resortes verticales y rotacionales. ....                        | 31        |
| 2.2.10. Resortes horizontales.....                                     | 33        |
| 2.2.11. Alargamiento del período.....                                  | 33        |
| 2.2.12. Amortiguamiento en la cimentación. ....                        | 35        |
| 2.2.13. Requisitos para el amortiguamiento en la cimentación.....      | 35        |
| 2.2.14. Relación de amortiguación efectiva. ....                       | 36        |
| 2.2.15. Amortiguación del suelo .....                                  | 37        |
| 2.2.16. Análisis sísmico con la norma E.030-2018.....                  | 37        |
| 2.3. Definición de términos básicos.....                               | 41        |
| <b>CAPITULO III: MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>                         | <b>43</b> |
| 3.1. Ubicación del proyecto .....                                      | 43        |
| 3.2. Época de la investigación .....                                   | 43        |
| 3.3. Descripción de la estructura en estudio .....                     | 44        |
| 3.4. Procedimiento de la investigación .....                           | 46        |
| 3.5. Tratamiento, análisis de datos y presentación de resultados ..... | 47        |
| 3.5.1. Tipo de investigación .....                                     | 47        |
| 3.5.2. Nivel de la investigación .....                                 | 47        |
| 3.5.3. Diseño de la investigación.....                                 | 47        |

|  |           |
|--|-----------|
| 3.6. Población, muestra y unidad de análisis .....               | 47        |
| 3.6.1. Población de estudio.....                                 | 47        |
| 3.6.2. Muestra.....  | 47        |
| 3.6.3. Unidad de análisis .....                                  | 47        |
| 3.7. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....       | 48        |
| 3.7.1. Técnicas de recolección de datos .....                    | 48        |
| 3.7.2. Instrumentos de recolección de datos.....                 | 48        |
| 3.8. Análisis e interpretación de datos .....                    | 49        |
| 3.9. Procedimiento .....   | 49        |
| 3.9.1. Análisis sísmico estático o de fuerzas equivalentes ..... | 49        |
| 3.9.2. Sismo dinámico modal espectral.....                       | 56        |
| 3.9.3. Análisis sísmico con interacción suelo estructura.....    | 58        |
| 3.10. Presentación de resultados .....                           | 83        |
| 3.10.1. Periodos de la estructura .....                          | 83        |
| 3.10.2. Desplazamiento de entrepiso.....                         | 83        |
| 3.10.3. Derivas de entrepiso .....                               | 85        |
| 3.10.4. Peso total de la estructura.....                         | 89        |
| 3.10.5. Fuerzas internas .....                                   | 89        |
| 3.10.6. Fuerzas cortantes .....                                  | 91        |
| 3.10.7. Reacciones en la base .....                              | 92        |
| <b>CAPITULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....</b>     | <b>93</b> |
| 4.1. Análisis y discusión .....                                  | 93        |
| 4.2. Contrastación de la hipótesis .....                         | 96        |
| <b>CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>          | <b>97</b> |
| 5.1. Conclusiones.....   | 97        |
| 5.2. Recomendaciones .....                                       | 98        |

|                                  |     |
|----------------------------------|-----|
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS ..... | 99  |
| ANEXOS.....                      | 103 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|                  |   |    |
|------------------|---|----|
| <b>Figura 1</b>  | Teorema básico de la superposición .....  | 13 |
| <b>Figura 2</b>  | La solución en tres pasos.....  | 14 |
| <b>Figura 3</b>  | Deflexiones causadas por la fuerza aplicada a una estructura de base fija .....   | 15 |
| <b>Figura 4</b>  | Estructura con flexibilidad vertical, horizontal y rotacional en su base .....  | 16 |
| <b>Figura 5</b>  | Cimentación sometida a ondas de corte inclinadas.....   | 21 |
| <b>Figura 6</b>  | Espectro de respuesta para el modelo RRS y la función de transferencia, $H_u$ .....   | 23 |
| <b>Figura 7</b>  | Método de análisis directo de ISE.....  | 25 |
| <b>Figura 8</b>  | Interacción cinemática e interacción inercial .....   | 26 |
| <b>Figura 9</b>  | Esfuerzos actuando sobre un elemento pequeño.....   | 27 |
| <b>Figura 10</b> | Naturaleza de los desplazamientos de las partículas de un suelo durante el paso de las ondas de compresión (P) y las ondas cortantes (S)..... | 29 |
| <b>Figura 11</b> | Ubicación de la zona de estudio.....  | 43 |
| <b>Figura 12</b> | Vista 3D de la edificación en estudio.....  | 51 |
| <b>Figura 13</b> | Definición de patrones de carga.....  | 52 |
| <b>Figura 14</b> | Paquete de carga para techo del nivel 2 en una dirección.....   | 52 |
| <b>Figura 15</b> | Paquete de carga para techo del nivel 1 en una dirección.....   | 52 |
| <b>Figura 16</b> | Paquete de carga para techo del nivel 1 en dos direcciones.....   | 53 |
| <b>Figura 17</b> | Creación del peso sísmico .....   | 53 |
| <b>Figura 18</b> | Coefficiente sísmico asignado en la dirección X-X .....   | 55 |
| <b>Figura 19</b> | Coefficiente sísmico asignado en la dirección Y-Y .....   | 55 |
| <b>Figura 20</b> | Carga dinámica en dirección X-X.....  | 56 |
| <b>Figura 21</b> | Carga dinámica en dirección Y-Y .....   | 57 |
| <b>Figura 22</b> | Cimentación con zapatas corridas, distribuidas por áreas de influencia.....   | 61 |
| <b>Figura 23</b> | Asignación de rigideces al elemento spring.....   | 66 |

|                  |  |     |
|------------------|--|-----|
| <b>Figura 24</b> | Vista 3D de la edificación con base flexible.....                        | 67  |
| <b>Figura 25</b> | Factor de reducción debido a la conexión de la cimentación.....          | 75  |
| <b>Figura 26</b> | Factor de reducción debido a la profundidad de la cimentación.....       | 78  |
| <b>Figura 27</b> | Espectro de diseño reducido en X-X.....                                  | 81  |
| <b>Figura 28</b> | Creación del caso response spectrum reducido en X-X.....                 | 81  |
| <b>Figura 29</b> | Espectro de diseño reducido en Y-Y.....                                  | 82  |
| <b>Figura 30</b> | Creación del caso response spectrum reducido en Y-Y.....                 | 82  |
| <b>Figura 31</b> | Comparación de periodos de vibración.....                                | 83  |
| <b>Figura 32</b> | Control de derivas: Sis_Esta_X.....                                      | 86  |
| <b>Figura 33</b> | Control de derivas: Sis_Esta_Y.....                                      | 87  |
| <b>Figura 34</b> | Control de derivas: Sis_Din_X.....                                       | 88  |
| <b>Figura 35</b> | Control de derivas: Sis_Din_Y.....                                       | 89  |
| <b>Figura 36</b> | Definición de material: concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$ .....           | 103 |
| <b>Figura 37</b> | Definición de material: acero de refuerzo $f_y=4200\text{kg/cm}^2$ ..... | 103 |
| <b>Figura 38</b> | Columna C1 de 0.40x0.80m.....  | 104 |
| <b>Figura 39</b> | Columna C2 de 0.35x0.70m.....  | 104 |
| <b>Figura 40</b> | Columna con forma de T (PL-01).....                                      | 105 |
| <b>Figura 41</b> | Viga N°01 de 0.30x0.70m.....   | 105 |
| <b>Figura 42</b> | Viga N°02 de 0.30x0.50m.....   | 106 |
| <b>Figura 43</b> | Viga N°03 de 0.40x0.25m.....   | 106 |
| <b>Figura 44</b> | Viga N°04 de 0.35x0.50m.....   | 107 |
| <b>Figura 45</b> | Viga N°05 de 0.35x0.90m.....   | 107 |
| <b>Figura 46</b> | Viga N°06 de 0.30x0.73m.....   | 108 |
| <b>Figura 47</b> | Viga N°07 de 0.65x0.30m.....   | 108 |
| <b>Figura 48</b> | Viga N°08 de 0.80x0.38m.....   | 109 |

|                  |   |     |
|------------------|---|-----|
| <b>Figura 49</b> | Muro con espesor de 30cm .....                              | 109 |
| <b>Figura 50</b> | Muro con espesor de 35 cm .....                             | 110 |
| <b>Figura 51</b> | Losa aligerada en la dirección X-X de 25cm de espesor ..... | 110 |
| <b>Figura 52</b> | Losa aligerada en la dirección Y-Y de 25cm de espesor ..... | 111 |
| <b>Figura 53</b> | Creación de diafragma rígido.....                           | 112 |
| <b>Figura 54</b> | Asignación de base empotrada.....                           | 112 |
| <b>Figura 55</b> | Ensamblaje de losa-muro .....                               | 112 |
| <b>Figura 56</b> | Discretización de vigas .....                               | 113 |
| <b>Figura 57</b> | Espectro de respuesta inelástico en la dirección X-X.....   | 115 |
| <b>Figura 58</b> | Espectro de respuesta inelástico en la dirección X-X.....   | 115 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|                 |  |    |
|-----------------|--|----|
| <b>Tabla 1</b>  | Especificaciones técnicas de los materiales.....                     | 44 |
| <b>Tabla 2</b>  | Verificación del sistema estructural.....                            | 58 |
| <b>Tabla 3</b>  | Velocidad de onda de corte para la profundidad de 39.64ft .....      | 60 |
| <b>Tabla 4</b>  | Zapatas identificadas .....  | 62 |
| <b>Tabla 5</b>  | Rigideces traslacionales y rotacionales .....                        | 65 |
| <b>Tabla 6</b>  | Valores de $RRS_{bsa}$ para varios periodos de interés .....         | 74 |
| <b>Tabla 7</b>  | Valores de $RRS_s$ para varios periodos de interés .....             | 76 |
| <b>Tabla 8</b>  | Espectro de diseño reducido por ISE en X-X.....                      | 78 |
| <b>Tabla 9</b>  | Espectro de diseño reducido por ISE en Y-Y.....                      | 79 |
| <b>Tabla 10</b> | Periodos de vibración .....  | 83 |
| <b>Tabla 11</b> | Desplazamientos (cm) de entrepiso en la dirección X-X-Sis_Esta ..... | 84 |
| <b>Tabla 12</b> | Desplazamientos (cm) de entrepiso en la dirección Y-Y-Sis_Esta ..... | 84 |
| <b>Tabla 13</b> | Desplazamientos de entrepiso (cm) en la dirección X-X-Sis_Dina ..... | 84 |
| <b>Tabla 14</b> | Desplazamientos (cm) de entrepiso en la dirección Y-Y-Sis_Dina ..... | 85 |
| <b>Tabla 15</b> | Derivas de entrepiso en la dirección X-X-Sis_Esta.....               | 85 |
| <b>Tabla 16</b> | Derivas de entrepiso en la dirección Y-Y-Sis_Esta.....               | 86 |
| <b>Tabla 17</b> | Derivas de entrepiso en la dirección X-X-Sis_Dina.....               | 87 |
| <b>Tabla 18</b> | Derivas de entrepiso en la dirección Y-Y-Sis_Dina.....               | 88 |
| <b>Tabla 19</b> | Peso total de la estructura .....                                    | 89 |
| <b>Tabla 20</b> | Fuerzas internas para sismo estático “PL-01” .....                   | 90 |
| <b>Tabla 21</b> | Fuerzas internas para sismo dinámico “PL-01”.....                    | 90 |
| <b>Tabla 22</b> | Fuerzas internas para sismo estático “PL-02” .....                   | 91 |
| <b>Tabla 23</b> | Fuerzas internas para sismo dinámico “PL-02”.....                    | 91 |
| <b>Tabla 24</b> | Fuerzas cortantes Sis_Din_X.....                                     | 91 |

|                 |  |     |
|-----------------|--|-----|
| <b>Tabla 25</b> | Fuerzas cortantes Sis_Din_Y.....                       | 92  |
| <b>Tabla 26</b> | Comparación de las reacciones en la base.....          | 92  |
| <b>Tabla 27</b> | Espectro de pseudo-aceleraciones en dirección X-X..... | 113 |
| <b>Tabla 28</b> | Espectro de pseudo-aceleraciones en dirección Y-Y..... | 114 |

## RESUMEN

Los eventos extremos, como terremotos, representan una grave amenaza para la infraestructura y la vida humana. En este contexto, ignorar la interacción suelo-estructura en el análisis estructural puede agravar los daños, al generar diseños inadecuados que comprometen la funcionalidad de las edificaciones y la seguridad de sus ocupantes. Para abordar esta problemática, se comparó el comportamiento estructural del bloque E del Instituto de Educación Superior Tecnológica 4 de junio de 1821 considerando dos enfoques: un modelo de base rígida, conforme a la norma E.030-2018, y un modelo de base flexible, basado en la metodología del FEMA P-2091. La edificación se modeló en el software ETABS v19, incorporando sus características arquitectónicas y estructurales. Posteriormente, se realizó un análisis sísmico estático y dinámico modal espectral en ambas condiciones, evaluando parámetros como los periodos de vibración, desplazamientos, derivas de entrepiso y fuerzas internas. Los resultados mostraron un incremento del 48.37% en el periodo fundamental de vibración. En conclusión, se observó una variación significativa en los parámetros dinámicos y estructurales, destacando que los desplazamientos aumentaron en 96.86% y las derivas un 60.93%.

**Palabras claves:** *Interacción suelo estructura, comportamiento estructural.*

## ABSTRAC

Extreme events, such as earthquakes, represent a serious threat to infrastructure and human life. In this context, ignoring the soil-structure interaction in the structural analysis can aggravate damage by generating inadequate designs that compromise the functionality of buildings and the safety of their occupants. To address this issue, the structural behavior of Block E of the Instituto de Educación Superior Tecnológica 4 de junio de 1821 was compared considering two approaches: a rigid base model, according to the E.030-2018 standard, and a flexible base model, based on the FEMA P-2091 methodology. The building was modeled in ETABS v19 software, incorporating its architectural and structural features. Subsequently, a static and dynamic modal spectral seismic analysis was performed in both conditions, evaluating parameters such as vibration periods, displacements, interstory drifts and internal forces. The results showed an increase of 48.37% in the fundamental period of vibration. In conclusion, a significant variation in the dynamic and structural parameters was observed, highlighting that the displacements increased by 96.86% and the drifts by 60.93%.

**Keywords:** *Soil-structure interaction, structural behaviour.*

# CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

## 1.1. Planteamiento del problema

Los eventos naturales extremos, como terremotos, huracanes, inundaciones y tsunamis, tienen el potencial de causar daños devastadores, afectando tanto la infraestructura como la vida humana. Particularmente en el caso de los terremotos, es fundamental garantizar que las estructuras sean diseñadas para resistir estas fuerzas, preservando tanto la integridad estructural como la seguridad de las personas (Mittal et al., 2024). Para lograrlo, es indispensable utilizar modelos de diseño estructural basados en principios realistas que permitan predecir de manera precisa el comportamiento de las edificaciones bajo condiciones adversas (Cruz et al., 2024).

De acuerdo con la norma peruana de diseño sismorresistente E.030, las instituciones educativas están clasificadas como edificaciones esenciales. Por lo tanto, deben garantizar un comportamiento estructural adecuado frente a movimientos sísmicos, brindando seguridad a los estudiantes. Sin embargo, en la práctica, existen casos que evidencian daños significativos en la infraestructura educativa tras eventos sísmicos. Un ejemplo claro es el terremoto ocurrido el 28 de noviembre de 2021, de magnitud 7.5, en Santa María de Nieva, Amazonas, que provocó daños estructurales en colegios de las regiones norteñas del país, como Piura, Cajamarca y Amazonas, según informes del Instituto Geofísico del Perú y el Ministerio de Educación. Estos hechos revelan la necesidad de desarrollar metodologías que representen con mayor fidelidad el comportamiento real de las estructuras frente a eventos sísmicos.

Actualmente, la norma E.030 utiliza un enfoque de diseño tradicional que asume una base rígida. Esto implica un empotramiento perfecto entre el suelo y la estructura, restringiendo los grados de libertad de traslación y rotación, y omitiendo características esenciales del suelo, como su amortiguamiento y deformabilidad. Esta simplificación no

refleja adecuadamente el comportamiento real de las estructuras, ya que incluso los suelos más compactos presentan deformaciones significativas bajo cargas sísmicas. Diversos estudios (Anand & Kumar, 2018) han demostrado que factores como la rigidez del suelo, el tipo de cimentación, el módulo cortante y las características geométricas de las estructuras influyen directamente en su respuesta frente a sismos.

La omisión de la interacción suelo-estructura (ISE) en el análisis puede resultar en diseños estructurales inseguros, que, además, conllevan problemas de sobredimensionamiento o subdimensionamiento. Estas deficiencias afectan tanto la funcionalidad como los costos de las edificaciones, generando pérdidas económicas y poniendo en riesgo la seguridad de los usuarios. Esto se debe, principalmente, a la variabilidad en la rigidez de los elementos estructurales cuando se considera la flexibilidad del suelo.

En este contexto, se identifica la necesidad de incorporar la interacción suelo-estructura en el diseño sismorresistente, especialmente en edificaciones asentadas sobre suelos arcillosos de baja rigidez. Por ello, este estudio se enfoca en analizar el comportamiento estructural del Instituto de Educación Superior Tecnológico 4 de junio de 1821. Según la norma E.030-2018, esta institución está clasificada como una edificación esencial de categoría A y se encuentra cimentada sobre un suelo intermedio S2, donde la flexibilidad del suelo no debería ser ignorada.

## **1.2. Formulación del problema**

Por lo explicado anteriormente, se formula el siguiente problema:

¿En cuánto varía el comportamiento estructural del Instituto de Educación Superior Tecnológico 4 de junio de 1821 al considerar el modelo tradicional de base rígida de la norma E.030 y el modelo de base flexible a través de la metodología de interacción suelo estructura del FEMA P-2091?

### **1.3. Hipótesis de la investigación**

El comportamiento estructural del Instituto de Educación Superior Tecnológico 4 de junio de 1821, presentará una variación mayor del 10% en los periodos de vibración, desplazamiento, derivas, fuerzas internas de los elementos estructurales y fuerzas cortantes, al comparar el modelo tradicional de base rígida establecido en la norma E.030-2018 con el modelo de base flexible propuesto por la metodología de interacción suelo estructura del FEMA P-2091.

### **1.4. Variables e indicadores**

#### **1.4.1. Variables independientes**

- Tipo de idealización en la base de la edificación: base empotrada, base flexible.

#### **1.4.2. Variable dependiente**

- Comportamiento Estructural

### **1.5. Justificación de la investigación**

La interacción suelo-estructura es un aspecto fundamental en el diseño sísmico de edificaciones, particularmente en países altamente sísmicos como el Perú. Ignorar este fenómeno, al asumir un modelo de base rígida, implica omitir factores clave como la rigidez y el amortiguamiento del suelo. Esto afecta directamente las características dinámicas de la estructura, incluyendo sus periodos, frecuencias y patrones de vibración, lo que a su vez altera las fuerzas internas en los elementos estructurales y la demanda sísmica a la que están sometidos.

Por ello, incorporar un enfoque actualizado que considere la interacción suelo-estructura tiene el potencial de generar un impacto significativo en la reducción de daños estructurales antes y después de un sismo. Esto no solo contribuiría a proteger

vidas humanas, sino que también permitiría optimizar los diseños estructurales, haciéndolos más resilientes, y reducir los costos asociados con la reconstrucción y reparación de infraestructura dañada.

Desde una perspectiva académica, la comparación de enfoques basados en modelos de base rígida y flexible permitirá ampliar los conocimientos existentes sobre el comportamiento estructural en condiciones sísmicas. Estos resultados podrían no solo contribuir al desarrollo de futuras investigaciones, sino también a la actualización de las normativas vigentes en el país. Además, el estudio tiene el potencial de fomentar la creación de herramientas de modelado más precisas, mejorando las prácticas de diseño y construcción a nivel nacional y promoviendo edificaciones más seguras y eficientes

## **1.6. Alcances**

En el presente estudio se comparó el comportamiento estructural del Instituto de Educación Superior Tecnológico 4 de junio de 1821 al considerar un modelo de cálculo de base rígida descrita en la norma E.030-2018 y un modelo de base flexible a través de la metodología de Interacción Suelo Estructura del FEMA P-2091. El objeto en estudio se ubica en el distrito de Jaén, provincia de Jaén, departamento de Cajamarca. Esta edificación de dos niveles cuenta con una cimentación de zapatas corridas sobre un suelo arcilloso.

El modelado se realizó en el software Etabs v.19, donde se llevó a cabo el análisis sísmico estático y el análisis sísmico modal espectral. Posteriormente se compararon los resultados obtenidos al considerar un modelo de base rígida y un modelo de base flexible.

Las características geométricas, distribución y forma de los elementos estructurales de la edificación se obtuvieron directamente de los planos arquitectónicos

y estructurales del expediente técnico. La velocidad de ondas de corte del suelo se determinó a partir del estudio geotécnico incluido en dicho expediente.

## **1.7. Limitaciones**

Los parámetros geotécnicos del suelo como: el módulo de poisson, el módulo de corte, y el amortiguamiento histerético del suelo serán calculados a partir de tablas que brinda la norma ASCE 7-22 y no serán calculados a través de ensayos en laboratorio.

El modelo empleado para simular la interacción suelo estructura recurre a simplificaciones teóricas como la homogeneidad del suelo y la linealidad del comportamiento estructural.

Debido a la falta de directrices específicas de la norma del FEMA P-2091 para modelar la flexibilidad del suelo en zapatas corridas mediante resortes, el presente estudio opta por dividir las zapatas en áreas de influencia y asignarle resortes a cada apoyo.

## **1.8. Objetivos**

### **1.8.1. Objetivo principal**

- Comparar el comportamiento estructural del bloque E del Instituto de Educación Superior Tecnológica 4 de junio de 1821 al considerar un modelo de cálculo de base rígida descrita en la norma E.030-2018 y un modelo de base flexible a través de la metodología de Interacción Suelo Estructura del FEMA P-2091.

### **1.8.2. Objetivos secundarios**

- Obtener los valores de los periodos de vibración de la estructura, los factores de participación de masa modal, los desplazamientos de entrepiso, las derivas de entrepiso, las fuerzas internas de los elementos estructurales y las fuerzas

cortantes para el análisis sísmico estático y dinámico, considerando el modelo de base rígida de la norma E.030-2018.

- Obtener los valores de los periodos de vibración de la estructura, los factores de participación de masa modal, los desplazamientos de entrepiso, las derivas de entrepiso, las fuerzas internas de los elementos estructurales y las fuerzas cortantes para el análisis sísmico estático y dinámico considerando el modelo de base flexible a través de la metodología de Interacción Suelo Estructura del FEMA P-2091.
- Analizar la variación de los resultados obtenidos para cada modelo y discutir los resultados.

## **1.9. Descripción de los contenidos**

El contenido del presente trabajo de investigación se divide en los siguientes capítulos:

**Capítulo I: INTRODUCCIÓN:** En este capítulo se incluyen aspectos fundamentales de la investigación, como el planteamiento del problema, la formulación del mismo, la hipótesis, la justificación, los alcances y limitaciones del estudio. Además, se detallan el objetivo general, los objetivos específicos y una descripción de los contenidos que conforman el trabajo.

**Capítulo II: MARCO TEÓRICO:** En el marco teórico se presentan los antecedentes teóricos relacionados con la investigación, destacando y sintetizando estudios de naturaleza similar a nivel internacional, nacional y local. Asimismo, se realiza un análisis de las bases teóricas que sustentan y fundamentan el desarrollo del estudio.

**Capítulo III: MATERIALES Y MÉTODOS:** Este capítulo abarca aspectos clave de la investigación, incluyendo la ubicación geográfica de la zona de estudio y el período en el que se desarrolló. Además, se detalla la metodología empleada, el procedimiento seguido, así como el análisis, tratamiento e interpretación de los datos, culminando con la presentación de los resultados obtenidos.

**Capítulo IV: ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS:** Luego de desarrollar y aplicar la metodología, en este capítulo se procederá a interpretar y discutir los resultados obtenidos, contrastándolos con los fundamentos teóricos que sustentan la investigación.

**Capítulo V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:** En este capítulo, tras analizar los resultados, se presentan las conclusiones alcanzadas, las cuales están directamente relacionadas con los objetivos planteados al inicio de la investigación. Finalmente, se ofrecen recomendaciones y sugerencias para futuras investigaciones de naturaleza similar.

## **BIBLIOGRAFIA**

## **ANEXOS**

## **CAPITULO II: MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Antecedentes de la investigación**

#### **2.1.1. Antecedentes internacionales**

Fernández Limés et al. (2023) en su artículo científico “Influence of static soil-structure interaction at 100-meter high buildings” elaborado en Colombia, evaluaron la interacción suelo estructura bajo condiciones estáticas, considerando las fuerzas internas, desplazamientos horizontales y modos de oscilación de un edificio de 100m de altura sometido a carga de viento. La metodología utilizada incluyó la recopilación de información sobre la geometría del edificio, modelado en el software Midas y un análisis lineal comparativo entre una base empotrada y un enfoque directo de la interacción suelo estructura. Los autores concluyeron que la interacción suelo estructura afecta significativamente la respuesta estructural del edificio, provocando una disminución en las frecuencias de oscilación y un aumento en los desplazamientos horizontales.

Corratgé Yzaguirre et al. (2021) en su artículo científico titulado “Influencia de la interacción dinámica suelo-estructura en el mecanismo de colapso y nivel de desempeño de edificaciones de hormigón armado” elaborado en Cuba, analizan la influencia de considerar la interacción dinámica suelo estructura en el comportamiento estructural de una edificación de diez niveles de hormigón armado con tipología mixta sometido a carga sísmica. En su estudio, implementaron el método estático no lineal push-over, y utilizaron los modelos de Pais & Kausel y Sargsian para considerar la interacción suelo estructura con suelos rígidos y arcillas blandas. Los resultados muestran que al considerar la interacción dinámica suelo estructura los desplazamientos

las derivas aumentan, mientras que la cortante basal disminuyen, llevando el nivel de desempeño sísmico al límite del colapso, lo cual no cumple con las normativas.

Abril & Avilés (2022) en su investigación “Análisis de la interacción suelo-estructura aplicando la guía práctica fema P-2091 en el bloque “G” de la Universidad Politécnica Salesiana, Sede Quito, Campus Sur”, elaborada en Ecuador, tuvieron como objetivo compara los modelos analíticos aplicando el método convencional de cimentación empotrada y resortes equivalentes empleando la metodología FEMA P-2091, con la finalidad de conocer el comportamiento de la interacción suelo-estructura; utilizó la siguiente metodología: recopilación de información existente, definición de parámetros del suelo, modelación en software considerando base empotrada y base flexible y comparación de resultados. Concluyeron que la metodología FEMA P-2091 presenta un modelo más cercano a la realidad, pues incluye el comportamiento del suelo en la cual se encuentra implantada la edificación, toma características propias de cada estrato, haciendo que este estudio sea más meticuloso en evidenciar las interacciones que se producen a nivel de suelo con la estructura.

### **2.1.2. Antecedentes nacionales**

Sánchez & Arias (2021) en su investigación “Análisis de los efectos de interacción suelo estructura en la dinámica estructural de un edificio de oficinas de 15 pisos”, elaborado en Lima. Tuvieron como objetivo analizar el efecto de la ISE en el comportamiento sísmico de las edificaciones mediante el analisis de un edificio de oficinas de 15 pisos con 2, 5 y 8 sótanos. Para llevar a cabo su investigación utilizaron la siguiente metodología: Recopilaron información y normas referentes al ISE, definieron las variantes del edificio y del estrato de apoyo a ser evaluadas, realizaron los modelos para cada variante utilizando el software SAP 2000, posteriormente realizaron

el análisis dinámico modal espectral y finalmente evaluaron y compararon los resultados para cada variante de estudio mediante gráficos. Concluyeron que a medida que la profundidad de cimentación aumenta, también lo hace la ISE, puesto que el confinamiento generado reduce la importancia del desplazamiento producido por el giro en la cimentación.

Araca Llanos et al. (2020) en su artículo científico titulado “Influence of soil-structure interaction on the behaviour of houses framed with isolated footings in the city of Juliaca” elaborado en Lima, tuvieron como objetivo determinar la influencia de la interacción suelo estructura en el comportamiento de las viviendas aporricadas de la ciudad de Juliaca, Perú, para ello modelaron las edificaciones considerando sus características geométricas y las propiedades geotécnicas del suelo, evaluando la respuesta sísmica al incorporar la flexibilidad del suelo. Los autores llegaron a concluir que, a mayor altura de la edificación, la interacción suelo estructura adquiría mayor relevancia en términos de alargamiento del periodo fundamental de la estructura. Sin embargo, en lo que respecta a las fuerzas cortante y los momentos volcantes, la influencia de la interacción suelo estructura no superaba el 1% .

Prada & Mateo (2023) en su investigación “Influencia de la interacción suelo-estructura en la respuesta sísmica de un edificio de oficinas de 6 pisos y 2 sótanos considerando diferentes condiciones de suelo”, realizada en Lima, tuvieron como objetivo determinar la influencia de la interacción suelo-estructura en la respuesta sísmica de un edificio de oficinas de 6 pisos y 2 sótanos bajo distintas condiciones de suelo. La metodología incluyó la recopilación de información sobre modelos matemáticos y normativas internacionales sobre la interacción suelo estructura, la elección de normativas adecuadas para evaluar cada tipo de suelo y la realización del

análisis estático, modal espectral y comparación de resultados. Los resultados demostraron que la interacción suelo estructura tiene una influencia significativa en suelos tipo S3 en un análisis preliminar. Sin embargo, al realizar el análisis sísmico considerando la interacción suelo estructura, se observaron mayores desplazamientos, derivas y fuerzas cortantes en suelos de tipo S1 y S2.

### **2.1.3. Antecedentes locales**

Huamán (2018) en su investigación “Respuesta dinámica por los modelos de cálculo de interacción suelo estructura del FEMA y norma E030-2016 del edificio de comando de control ribereño – Iquitos” elaborado en Cajamarca, evaluó la diferencia dinámica existente en los modelos de calculo del Fema y la norma E.030-2016 en el edificio de comando de control ribereño-Iquito. La metodología incluyó recopilar información del expediente técnico del proyecto, realizar el modelamiento de la edificación y comparar los resultados obtenidos de los analisis sismicos dinámicos. El autor concluyó que, el modelo de base flexible de interacción suelo estructura es más seguro que el modelo de base rígida, debido a la incorporación de la flexibilidad del suelo de fundación y el factoramiento del espectro de pseudoaceleraciones debido a efectos cinematicos y amortiguamiento del suelo, por lo tanto menciona que los efectos causados por la interacción suelo estructura son relevantes y no debieran omitirse en la evaluación y diseño de estructuras, particularmente en zonas de suelos blandos.

Liñan (2023) en su investigación “Comparación de la respuesta estructural de los modelos de cálculo de interacción suelo estructura con la NTP E.030 2018 del pabellón de la I.E N°81703, distrito de Guadalupe, provincia de Pacasmayo, región la Libertad”. Tuvo como objetivo comparar la respuesta estructural de los modelos de cálculo de interacción suelo estructura y la NTP E-030 2018 del Pabellón “D” de la I.E N°81703,

distrito de Guadalupe, provincia de Pacasmayo, región la Libertad; para ello recopiló datos del expediente técnico y realizó el modelamiento de la estructura en el software ETABS V-2016 comparando los resultados de acuerdo a los modelos de cálculo de interacción suelo estructura. Llegó a la conclusión que existe mucha variación en algunos de los resultados presentados para los diversos modelos de interacción suelo estructura, debido a la complejidad del efecto ISE y a los métodos y consideraciones para hallar los parámetros que definen cada modelo de interacción suelo estructura, además considera que el efecto de la interacción suelo estructura es relevante y por esto no se debe omitir su inclusión en el análisis y diseño de estructuras.

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1 Teorema básico de la superposición**

Kausel et al. (1978) introduce un método para modelar la interacción suelo-estructura en cimentaciones embebidas. Utiliza un sistema de resortes para representar las propiedades de rigidez y amortiguamiento de la cimentación, tomando en cuenta la influencia del suelo circundante. Esta representación simplificada permite analizar el comportamiento dinámico de estructuras bajo cargas sísmicas, facilitando el diseño y análisis estructural de manera eficiente y precisa en el contexto de la dinámica de suelos y cimentaciones.

Como referencia de la figura 1 se asume las ecuaciones generales para la interacción suelo estructura, a través de la ecuación matricial:

$$M\ddot{U} + C\dot{Y} + KY = 0$$

La solución de esta ecuación es equivalente a la solución de dos ecuaciones matriciales:

$$M_1\ddot{U}_1 + C\dot{Y}_1 + KY_1 = 0 \dots \dots (1)$$

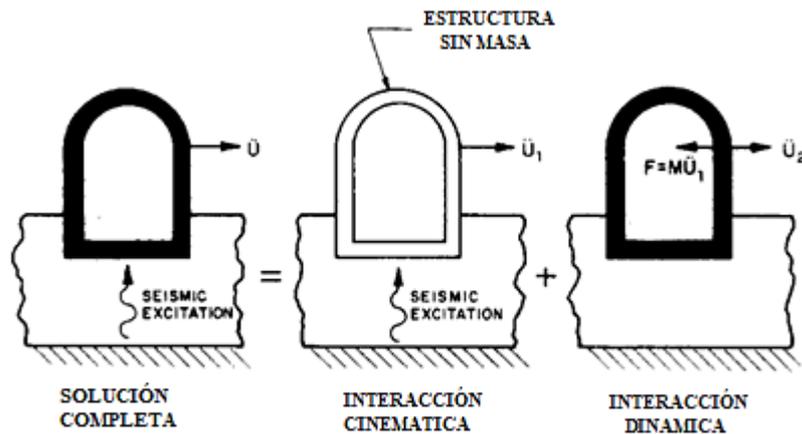
$$M\ddot{Y}_2 + C\dot{Y}_2 + KY_2 = -M_2\ddot{U}_1 \dots (2)$$

Donde,  $U_1 = Y_1 + U_g$ ,  $U = U_1 + Y_2$ ,  $Y = Y_1 + Y_2$ , además  $M = M_1 + M_2 * M_1$ , excluye la masa de la estructura y  $M_2$  excluye la masa del suelo.  $U_g$  es un movimiento del suelo generalizado.

La equivalencia de la ecuación (2) con (1) se demuestra por simple adición. En la ecuación (2) se encuentra primero la respuesta de la estructura sin masa y se denominará interacción cinemática. Los resultados de este paso se utilizan a continuación en la ecuación (3), que definirá la interacción inercial, y que se resuelve mediante la aplicación de fuerzas de inercia ficticias aplicadas únicamente a la estructura.

**Figura 1**

*Teorema básico de la superposición*



Fuente: Kausel et al. (1978).

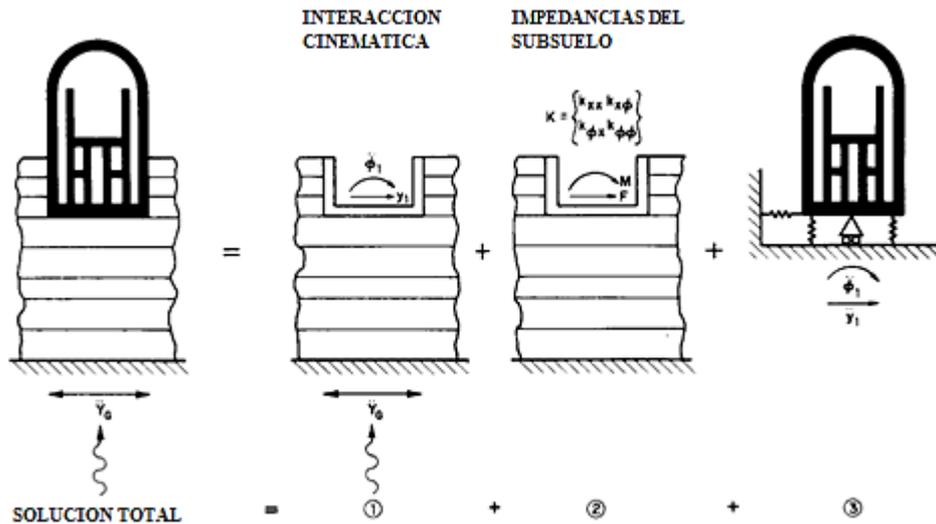
En el caso particular de que la combinación cimentación-estructura sea muy rígida, resulta legítimo sustituir la matriz de funciones de rigidez por las funciones globales de rigidez vertical, torsional, de balanceo y de oscilación, es decir, por "resortes" y "amortiguadores" dependientes de la frecuencia. También se deduce que la

solución de la fase de interacción cinemática está completamente definida por las rotaciones y traslaciones de la estructura sin masa, que se mueve como un cuerpo rígido. Por lo tanto, se puede sustituir la estructura sin masa de la ecuación (2) por una base rígida sin masa, sometida a la misma excitación del suelo que el sistema original.

Además, un examen más cuidadoso de la ecuación (3) mostrará que la solución  $Y_2$  puede considerarse como un vector de desplazamientos relativos a un soporte ficticio, mientras que las traslaciones y rotaciones del cuerpo rígido de los cimientos sin masa en la ecuación (2) son el movimiento equivalente del soporte. Siempre que la hipótesis de cimentación rígida sea pertinente, es válido dividir la solución en tres etapas. Como se aprecia en la figura 2.

**Figura 2**

*La solución en tres pasos*



Fuente: Kausel et al. (1978).

El paso (1) de la imagen de referencia consiste en determinar el movimiento de la base rígida sin masa, cuando se somete al mismo movimiento de entrada que la solución total. Esta es la solución de la ecuación (2). Para una cimentación empotrada dará, en general, tanto traslaciones como rotaciones.

(2) Determinación de las rigideces de la subrasante dependientes de la frecuencia para los grados de libertad pertinentes. En este paso se obtienen los denominados "resortes" del suelo.

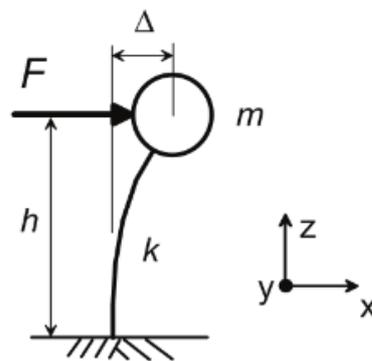
(3) Cálculo de la respuesta de la estructura real apoyada en resortes del suelo dependientes de la frecuencia, y sometida en la base de estos muelles al movimiento calculado en (1).

### 2.2.2. Interacción inercial

National Institute of Standards and Technology (2012) especifica que una base rígida se refiere a soportes de suelo con rigidez infinita (es decir, sin muelles de suelo). Una cimentación rígida se refiere a elementos de cimentación con rigidez infinita (es decir, no deformables). Una base fija es una combinación de elementos de cimentación rígidos sobre una base rígida. El análisis de una base flexible tiene en cuenta la deformabilidad tanto de los elementos de cimentación como del suelo.

#### Figura 3

*Deflexiones causadas por la fuerza aplicada a una estructura de base fija*



Fuente: National Institute of Standards and Technology (2012)

Como se aprecia en la figura 3, consideremos una estructura de un solo grado de libertad con rigidez,  $k$ , y masa,  $m$ , que descansa sobre una base fija. Una fuerza estática,  $F$ , provoca una deformación,  $\Delta$ :

$$\Delta = \frac{F}{k} \quad \dots (1)$$

Clough & Penzien (1995) especifican que, a partir de la dinámica estructural, la frecuencia de vibración natural no amortiguada  $\omega$ , y el periodo  $T$ .

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}, \quad T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} \quad \dots (2)$$

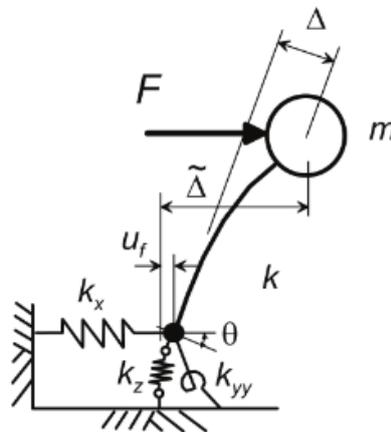
Sustituyendo la ecuación (1) en (2) se obtiene la siguiente expresión en función del periodo:

$$T^2 = (2\pi)^2 \frac{m}{F/\Delta} = (2\pi)^2 \frac{m\Delta}{F} \quad \dots (3)$$

Ahora considere la misma estructura con resortes verticales, horizontales y rotacionales en su base, representando los efectos de la flexibilidad del suelo contra una cimentación rígida, como se muestra en la 4.

**Figura 4**

*Estructura con flexibilidad vertical, horizontal y rotacional en su base*



Fuente: National Institute of Standards and Technology (2012)

La rigidez del resorte vertical en la dirección  $z$  se denota  $k_z$ , la rigidez del resorte horizontal en la dirección  $x$  se denota  $k_x$ , y el resorte rotacional se denota  $k_{yy}$ , representando la rotación en el plano  $x - z$  (alrededor del eje  $y - y$ ). Si se aplica una fuerza,  $F$ , a la masa en la dirección  $x$ , la estructura se deforma, como ocurre en el sistema de base fija, pero el esfuerzo cortante de la base ( $F$ ) desvía el resorte horizontal en  $u_f$ , y el momento de la base ( $F * h$ ) desvía el muelle rotacional en  $\theta$ . En consecuencia, la deflexión total con respecto al campo libre en la parte superior de la estructura,  $\tilde{\Delta}$ , es:

$$\tilde{\Delta} = \frac{F}{k} + u_f + \theta * h$$

$$\tilde{\Delta} = \frac{F}{k} + \frac{F}{k_x} + \left( \frac{F * h}{k_{yy}} \right) * h \quad \dots (4)$$

Si se sustituye la ecuación (3) en la ecuación (4) se obtiene una expresión para el periodo base flexible,  $\tilde{T}$  como:

$$\tilde{T}^2 = (2\pi)^2 \frac{m\tilde{\Delta}}{F} = (2\pi)^2 m \left( \frac{1}{k} + \frac{1}{k_x} + \frac{h^2}{k_{yy}} \right) \quad \dots (5)$$

Combinando las expresiones (2) y (5):

$$\left( \frac{\tilde{T}}{T} \right)^2 = \frac{k}{m} m \left( \frac{1}{k} + \frac{1}{k_x} + \frac{h^2}{k_{yy}} \right) \quad \dots (6)$$

La ecuación (6) se simplifica en una expresión clásica de alargamiento del periodo (Veletsos & Meek, Dynamic behaviour of building-foundation systems, 1974).

$$\frac{\tilde{T}}{T} = \sqrt{1 + \frac{k}{k_x} + \frac{kh^2}{k_{yy}}} \quad \dots (7)$$

La ecuación (7) puede aplicarse a estructuras multigrado de libertad tomando la altura,  $h$ , como la altura del centro de masa para la forma del primer modo. Esto se

conoce comúnmente como la altura modal efectiva, que es aproximadamente dos tercios de la altura total de la estructura.

Además de la prolongación del periodo, el comportamiento del sistema también se ve afectado por la amortiguación asociada a la interacción suelo-fundación, denominada amortiguación de la cimentación,  $\beta_f$ . Este amortiguamiento se compone de dos partes: (1) contribuciones de la histéresis del suelo (amortiguamiento histerético); y (2) radiación de energía, en forma de ondas de tensión, desde los cimientos (amortiguamiento por radiación). El amortiguamiento de los cimientos contribuye directamente al amortiguamiento del sistema de base flexible,  $\beta_0$  :

$$\beta_0 = \beta_f + \frac{1}{(\tilde{T}/T)^n} \beta_i \quad \dots (8)$$

La solución clásica de Veletsos & Nair (1975) tiene en cuenta la dependencia de la frecuencia de los términos de amortiguamiento de los cimientos. Asume que el amortiguamiento estructural es puramente viscoso y se aplica a una cimentación circular apoyada en un semiespacio. La ecuación para  $\beta_f$  proporcionada por Veletsos et al. (1998) es de valor complejo (es decir, compuesta de valores reales e imaginarios), lo que complica la interpretación de su significado físico.

El trabajo de Bielak (1976) utiliza las mismas condiciones, salvo que se supone que la cimentación es un cilindro que penetra en un semiespacio a una profundidad de empotramiento,  $D$ , y las expresiones resultantes son de valor real. El valor del exponente  $n$  en la ecuación 8 se toma como 3 para las soluciones de Veletsos y Bielak porque se supone que el amortiguamiento estructural es viscoso.

El procedimiento dado por Wolf (1985) desprecia la dependencia de frecuencia de los términos de rigidez de la cimentación, y asume que el amortiguamiento de

radiación de la cimentación es linealmente viscoso (es decir, coeficientes de amortiguamiento constantes para traslación y rotación,  $c_x$  y  $c_{yy}$ ), y se aplica para una cimentación circular que descansa sobre un semiespacio. Considerando la dependencia de la frecuencia, la forma de la expresión de amortiguamiento de Wolf (similar a Roesset, 1980) puede reescribirse como:

$$\beta_f = \left[ \frac{(\tilde{T}/T)^{n_s} - 1}{(\tilde{T}/T)^{n_s}} \right] \beta_s + \frac{1}{(\tilde{T}/T_x)^{n_x}} \beta_x + \frac{1}{(\tilde{T}/T_{yy})^{n_{yy}}} \beta_{yy}$$

Donde  $\beta_s$  es el amortiguamiento hysterético del suelo,  $\beta_x$  y  $\beta_{yy}$  son los coeficientes de amortiguamiento relacionados con el amortiguamiento por radiación de los modos traslacional y rotacional y  $T_x$  y  $T_{yy}$  son los periodos de vibración ficticios, calculados como si la única fuente de vibración fuera la traslación o rotación de los cimientos, como se indica a continuación:

$$T_x = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k_x}} \quad T_{yy} = 2\pi \sqrt{\frac{mh^2}{k_{yy}}}$$

### 2.2.3. Interacción cinemática

National Institute of Standards and Technology (2012) dice que la interacción cinemática es el resultado de la presencia de elementos de cimentación rígidos sobre o en el suelo, lo que provoca que los movimientos en la cimentación se desvíen de los movimientos en campo libre. Una causa de estas desviaciones es la promediación losa-base, en la que los movimientos del terreno espacialmente variables dentro de la envolvente del edificio se promedian dentro de la huella de los cimientos debido a la rigidez y resistencia del sistema de cimentación. Otra causa de desviación son los efectos de empotramiento, en los que los movimientos a nivel de cimentación se reducen como resultado de la reducción del movimiento del terreno con la profundidad por debajo de la superficie libre. Los modelos para los efectos de interacción cinemática

se expresan como relaciones dependientes de la frecuencia de las amplitudes de Fourier (es decir, funciones de transferencia) del movimiento de entrada de la cimentación (FIM) al movimiento de campo libre. El FIM es el movimiento teórico de la losa base si los elementos de cimentación cercanos a la superficie y la estructura no tuvieran masa.

El promediado de la losa base es el resultado de campos de ondas incidentes inclinados o incoherentes. En presencia de esos campos de ondas, los movimientos de traslación de la losa base se reducen en relación con el campo libre. Las reducciones de la traslación de la losa base tienden a ser más significativas a medida que disminuye el periodo. La dependencia del periodo de estos efectos se asocia principalmente con el aumento del tamaño efectivo de los cimientos en relación con las longitudes de onda sísmicas en periodos bajos. Además, los movimientos del terreno son más incoherentes a periodos bajos. (Stewart et al., 2004).

La incoherencia estocástica que persiste incluso cuando las ondas se sincronizan en sus tiempos de llegada es un fenómeno cuantificable a través de modelos de coherencia retardada. Este tipo de incoherencia se origina en las heterogeneidades presentes a lo largo de la trayectoria sísmica, desde la fuente hasta el emplazamiento, las cuales dispersan las ondas. (National Institute of Standards and Technology, 2012).

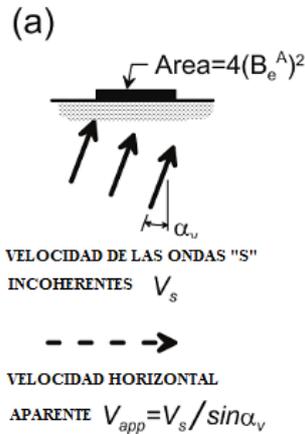
Las funciones de transferencia de los movimientos de entrada y de campo libre registrados en la cimentación son, por lo general, significativamente más bajas a altas frecuencias que las predichas por los modelos de paso de olas. Esto se debe a que el paso de las olas contribuye de forma relativamente modesta a la variación espacial del movimiento del terreno que impulsa el promediado de la losa de cimentación. Otras fuentes de variabilidad son la variabilidad estocástica de fase (cuantificada por la coherencia retardada) y las variaciones estocásticas de las amplitudes de Fourier. Para

capturar estos efectos en el análisis de las funciones se aplica un modelo simplificado semiempírico (Veletsos et al., 1997).

El modelo semiempírico se fundamenta en la formulación teórica del problema de interacción cinemática propuesto por Veletsos et al. (1997), quien aplica movimientos del terreno espacialmente variables a una cimentación rígida perfectamente adherida al suelo. Este modelo evalúa la respuesta de cimientos rígidos, sin masa, de formas circulares y rectangulares, ubicados en la superficie de un semiespacio elástico, frente a ondas S incoherentes que se propagan verticalmente o con un ángulo  $\alpha_v$  respecto a la vertical, tal como se muestra en la figura 5.

**Figura 5**

*Cimentación sometida a ondas de corte inclinadas*



Fuente: National Institute of Standards and Technology (2012)

El resultado de este análisis es una relación entre la amplitud de la función de transferencia y  $a_0^k$ . Esta relación es principalmente independiente de la forma del cimiento, pero depende en gran medida de un parámetro,  $k_a$ , que está relacionado con la coherencia retardada y la inclinación de la onda. Este parámetro escala el eje de frecuencias de la función de transferencia teórica. Para ondas que se propagan

verticalmente, la función de transferencia (Veletsos et al., 1997) se puede expresar como:

$$H_u = \left\{ \frac{1}{b_0^2} \left[ 1 - \exp(-2b_0^2) \left( I_0(2b_0^2) + I_1(2b_0^2) \right) \right] \right\}^{1/2} \quad \dots (9)$$

Donde  $b_0 = (\sqrt{4/\pi})k_a a_0^k$  y  $I_0$  y  $I_1$  son funciones de Bessel modificadas de orden cero y de primer orden, respectivamente. La ecuación (9) se ha desarrollado para cimentaciones circulares. El término  $\sqrt{4/\pi}$  adapta  $a_0^k$  (para rectángulos) a  $a_0$  definido para un radio equivalente que preserva el área de cimentación. Para valores pequeños y grandes del argumento ( $2b_0^2$ ), la suma de la función de Bessel en la ecuación (9) puede escribirse en términos de series de potencias y funciones exponenciales, respectivamente (Watson, 1995); para la aplicación rutinaria, estas aproximaciones pueden expresarse como:

$$(I_0(2b_0^2) + I_1(2b_0^2)) = \begin{cases} 1 + b_0^2 + b_0^4 + \frac{b_0^4}{2} + \frac{b_0^8}{4} + \frac{b_0^{10}}{12} & \text{for } b_0 \leq 1 \\ \exp(2b_0^2) \left[ \frac{1}{\sqrt{\pi}b_0} \left( 1 - \frac{1}{16b_0^2} \right) \right] & \text{for } b_0 > 1 \end{cases}$$

Los espectros de respuesta basados en el diseño se aplican generalmente a las condiciones de movimiento del terreno en campo libre. También se desarrollan conjuntos de historias temporales de aceleración cuando se van a realizar análisis de historia de respuesta.

El espectro de respuesta para  $u_{FIM}(S_{a-FIM})$  difiere del espectro para  $u_g(S_a)$  debido a una reducción de los componentes de movimiento del terreno de alta frecuencia debido a la interacción cinemática. Para frecuencias moderadas a bajas, la relación de ordenadas espectrales puede estimarse como:

$$\frac{S_{a-FIM}(f)}{S_a(f)} \approx H_u(f), \quad f < f_L \quad \dots (10)$$

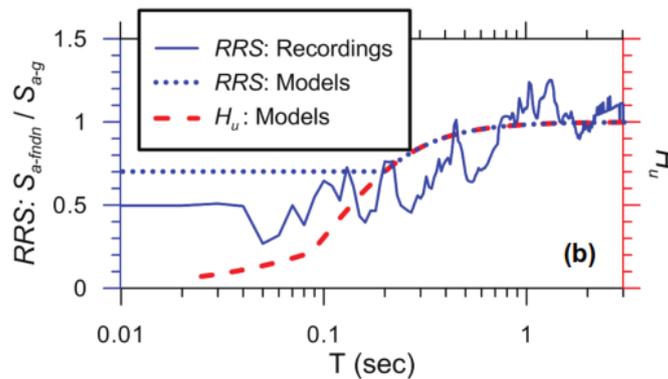
A frecuencias más altas, la aproximación de la ecuación (10) no es válida porque las ordenadas espectrales de alta frecuencia y el PGA están controlados por componentes de baja frecuencia del movimiento del terreno. A frecuencias altas, puede obtenerse una aproximación conservadora de las ordenadas espectrales:

$$\frac{S_{a-FIM}(f)}{S_a(f)} \approx H_u(f_L), \quad f > f_L \quad \dots (10)$$

Las diferencias entre las funciones de transferencia y las relaciones de los espectros de respuesta se ilustran en la figura 6. Se muestra la relación de espectros de respuesta (RRS) para la dirección E-O junto con: (1) el modelo de función de transferencia,  $H_u$ , tanto para el promedio base-losa como para los efectos de empotramiento; y (2) el modelo RRS derivado de  $H_u$  utilizando la ecuación (10). El modelo RRS capta las tendencias generales de los datos, aunque hay variaciones significativas de un periodo a otro en los datos (e incluso algunas ordenadas RRS superiores a la unidad).

**Figura 6**

*Espectro de respuesta para el modelo RRS y la función de transferencia,  $H_u$*



Fuente: National Institute of Standards and Technology (2012)

#### **2.2.4. Tipos de modelado de interacción suelo-estructura.**

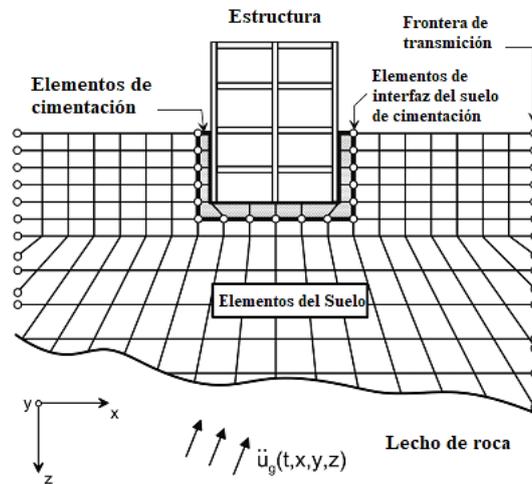
Según FEMA P-2091 (2020) “existen dos enfoques comunes para modelar la relación entre una estructura, su cimentación y el suelo de fundación, incluido la flexibilidad y amortiguamiento del suelo”.

El primero enfoque, se llama enfoque de subestructura, donde el suelo es representado mediante resortes; los resortes generalmente están orientados verticalmente para capturar rotaciones en la cimentación, que muchas veces son el contribuyente dominante a los efectos de la ISE. Los resortes horizontales se pueden usar para capturar la capacidad de la cimentación para desplazarse horizontalmente en relación con el campo libre, y los amortiguadores se pueden usar para capturar el amortiguamiento de la cimentación (FEMA P-2091, 2020).

El segundo enfoque, llamado enfoque de análisis directo, es donde el suelo y la estructura se modelan utilizando elementos finitos. El modelado del suelo se extiende suficientemente alrededor y debajo del edificio para explicar las propiedades del sitio, y las ondas sísmicas se imparten en el límite del suelo, excitando los elementos de la estructura y el suelo. La estructura, con su peso inercial y otras propiedades, a su vez afectará el comportamiento del suelo. En la práctica actual, el enfoque del método directo generalmente solo se lleva a cabo en grandes proyectos críticos como centrales nucleares o grandes proyectos de infraestructura, como puentes principales, túneles, estaciones de metro, tanques y estructuras marinas, y requiere experiencia especializada (FEMA P-2091, 2020).

## Figura 7

Método de análisis directo de ISE



Fuente: National Institute of Standards and Technology (2012)

Si consideramos que este movimiento de campo libre es igual a la excitación sísmica que se produce en la cimentación de la estructura, podemos decir que se trata de un interacción inercial, este tipo de interacción hace referencia a la dinámica que existe entre la estructura, su base y el suelo circundante causado por el movimiento de entrada de la base, ocasionando la modificación de las propiedades dinámicas de la estructura, como por ejemplo: alargamiento del periodo fundamental de vibración, el incremento o disminución del amortiguamiento por radiación y amortiguamiento histerético, esto debido a la inercia y flexibilidad asociado al suelo y la cimentación (FEMA P-2091, 2020).

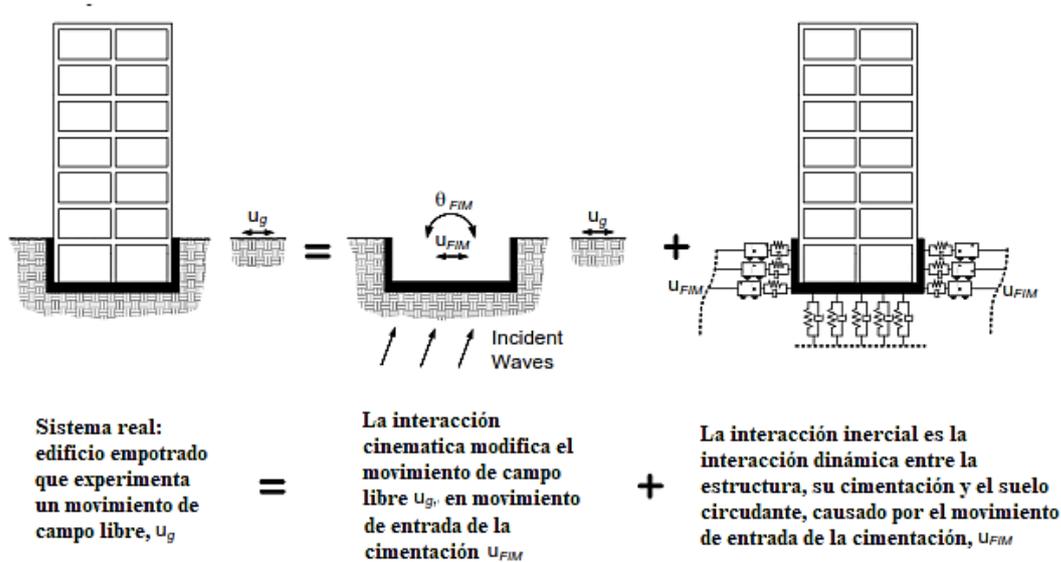
En cambio, si se modifica el movimiento del suelo del campo libre a un movimiento de entrada de la base, se considera como interacción cinemática (FEMA P-2091, 2020).

“Este efecto se origina debido a que la rigidez de la cimentación le impide ajustarse a las deformaciones del suelo causadas por el movimiento de campo libre, generando un fenómeno de difracción de ondas que modifica el movimiento del suelo

cerca a la cimentación, esto depende principalmente de la geometría de la cimentación, la estratigrafía del suelo y la naturaleza de la excitación sísmica” (Avilés y Pérez, 2004, p. 2). La interacción cinemática tiene una mayor influencia en estructuras altas y con cimentaciones profundas, debido al efecto de cabezo que se introduce por la profundidad de la cimentación. (Fernández, 2013).

**Figura 8**

*Interacción cinemática e interacción inercial*



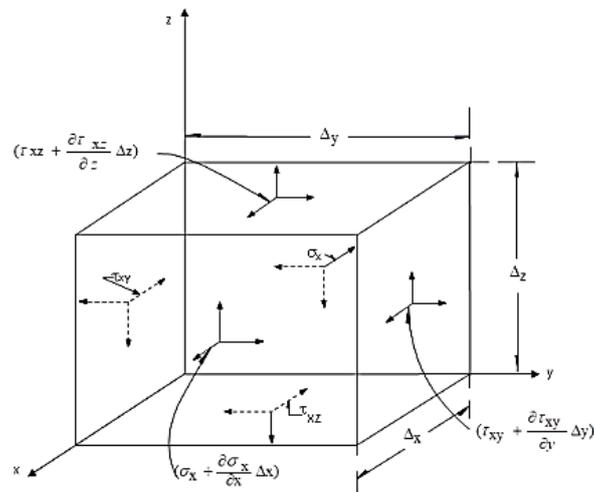
Fuente: National Institute of Standards and Technology (2012)

### 2.2.5. Propagación de ondas en un medio infinito

En un medio infinito, homogéneo e isótropo, sólo se pueden propagar los dos tipos de ondas que corresponden a las dos únicas soluciones que se obtienen de las ecuaciones de movimiento; estas dos clases de ondas son las llamadas ondas de compresión, primarias o dilatantes y las conocidas como ondas cortantes, secundarias o distorsionales.

## Figura 9

*Esfuerzos actuando sobre un elemento pequeño*



Fuente: Alva Hurtado (2020)

Partiendo del análisis de equilibrio de un elemento pequeño como el mostrado por la figura 9, se llega a las siguientes expresiones conocidas en la literatura como las ecuaciones de movimiento:

$$\rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = (\lambda + G) \frac{\partial \bar{\epsilon}}{\partial x} + G \nabla^2 u$$

$$\rho \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} = (\lambda + G) \frac{\partial \bar{\epsilon}}{\partial y} + G \nabla^2 v$$

$$\rho \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = (\lambda + G) \frac{\partial \bar{\epsilon}}{\partial z} + G \nabla^2 w$$

Estas ecuaciones representan las ecuaciones tridimensionales de movimiento para un sólido elástico, lineal e isótropo. Resulta que estas ecuaciones pueden manipularse para producir dos ecuaciones de onda. En consecuencia, sólo dos tipos de ondas pueden viajar a través de dicho sólido no limitado. Las características de cada tipo de onda serán reveladas por sus respectivas ecuaciones de onda. La solución para el primer tipo de onda puede obtenerse diferenciando cada una de las ecuaciones con respecto a  $x$ ,  $y$ , y  $z$  y sumando los resultados para obtener:

$$\rho \frac{\partial^2 \bar{\epsilon}}{\partial t^2} = (\lambda + G)\bar{\epsilon} + G\nabla^2 \bar{\epsilon}$$

Reordenando se obtiene la ecuación de onda:

$$\frac{\partial^2 \bar{\epsilon}}{\partial t^2} = \frac{(\lambda + 2G)}{\rho} \nabla^2 \bar{\epsilon}$$

Recordando que  $\bar{\epsilon}$  es la deformación volumétrica (que describe las deformaciones que no implican cizallamiento ni rotación), esta ecuación de onda describe una onda irrotacional, o dilatacional. Indica que una onda dilatacional se propagará a través del cuerpo a una velocidad:

$$v_p = \sqrt{\frac{\lambda + 2G}{\rho}}$$

A medida que  $\nu$  se aproxima a 0,5 (punto en el que el cuerpo se vuelve incompresible, es decir, infinitamente rígido con respecto a las deformaciones por dilatación),  $v_p$  se aproxima a infinito. Para obtener la solución para el segundo tipo de onda, se elimina  $\bar{\epsilon}$  diferenciando la segunda ecuación con respecto a  $z$  y la tercera ecuación con respecto a  $y$ , y restando una de la otra se tiene:

$$\rho \frac{\partial}{\partial t^2} \left( \frac{\partial w}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial z} \right) = G \nabla^2 \left( \frac{\partial w}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial z} \right)$$

Recordando la definición de rotación, la ecuación puede escribirse en forma de ecuación de onda:

$$\frac{\partial^2 \Omega_x}{\partial t^2} = \frac{G}{\rho} \nabla^2 \Omega_x$$

Esta ecuación describe una onda equivolumínica, o distorsionante, de rotación alrededor del eje  $x$ . Se pueden obtener expresiones similares por el mismo proceso para la rotación alrededor de los ejes  $y$  y  $z$ . Además, la ecuación muestra que una onda de distorsión se propagará a través del sólido a una velocidad:

$$v_s = \sqrt{\frac{G}{\rho}}$$

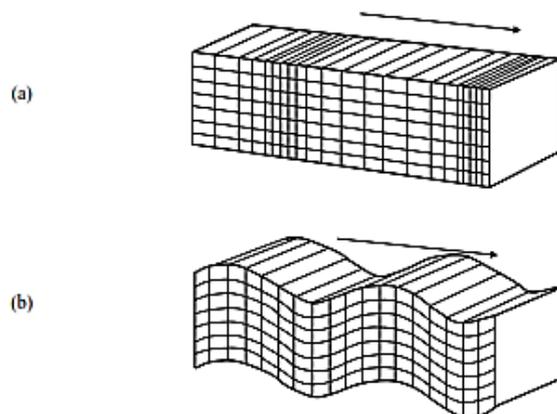
Además de la velocidad con que se propagan cada una de estas ondas existentes en un medio elástico infinito, llamadas ambas ondas de cuerpo, tienen la siguiente particularidad: en las ondas compresionales el movimiento de las partículas tiene la misma dirección en que se propagan (figura 10) mientras que en las ondas cortantes los movimientos de las partículas son perpendiculares a la dirección de su propagación. La relación entre las velocidades de estas dos clases de ondas está dada por la expresión:

$$\frac{v_c}{v_s} = \sqrt{\frac{2(1-\nu)}{1-2\nu}}$$

la cual implica que  $v_c > v_s$  para cualquier valor de  $\nu$ , y que para  $\nu = 0.5$ ,  $v_c$  adquiere un valor teórico de infinito.

**Figura 10**

*Naturaleza de los desplazamientos de las partículas de un suelo durante el paso de las ondas de compresión (P) y las ondas cortantes (S).*



Fuente: Alva Hurtado (2020)

### 2.2.6. Coeficiente de amortiguamiento ( $\xi$ ).

“Este parámetro está asociado a la disipación de energía del suelo debido a una perturbación del mismo. Depende de factores como la amplitud de la deformación del que es directamente proporcional y del tiempo” (Garzón y Garena, 2016).

Se distinguen varios tipos de amortiguamiento: (1) Amortiguamiento Viscoso, el cual se presenta en materiales donde la energía disipada por cada ciclo de deformación incrementa en relación a la frecuencia (2) Amortiguamiento por Radiación, el cual se da cuando la energía disipada es producida por la radiación en las estructuras y (3) Amortiguamiento Histerético, el cual supone que la energía disipada es independiente de la frecuencia.

### 2.2.7. Módulo de poisson ( $\nu$ ).

El coeficiente de Poisson corresponde a la razón entre la elongación longitudinal y a la deformación transversal y está relacionado con el módulo de corte  $G$  y el módulo de elasticidad  $E$  mediante la siguiente ecuación.

$$\nu = 1 - \frac{E}{2G}$$

Donde,

$E$  = Módulo de elasticidad.

$G$  = Módulo de corte dinámico.

### 2.2.8. Flexibilidad de los cimientos y el suelo

FEMA P-2091 (2020) recomienda tener en cuenta ciertas propiedades del suelo al momento de realizar el análisis inercial de la interacción suelo-estructura, estas propiedades incluyen la velocidad de onda de corte ( $v_{so}$ ), el módulo de corte efectivo del suelo ( $G$ ), y la relación de poisson para el suelo ( $\nu$ ).

El módulo de corte inicial se calcula utilizando la siguiente fórmula:

$$G_0 = \frac{\gamma v_{so}^2}{g}$$

Donde,

$\gamma$  = Peso unitario del suelo.

$g$  = Aceleración de la gravedad

### **2.2.9. Resortes verticales y rotacionales.**

Al incluir resortes verticales y rotacionales para darle flexibilidad al suelo, se debe tener en cuenta que estos modelan la rigidez vertical de los cimientos afectando la rotación de un pórtico o muro alrededor de su base y modificando su periodo fundamental y desplazamiento de la edificación.

El FEMA P-2091 (2020) brinda tres métodos para modelar la cimentación mediante resortes verticales y rotacionales.

#### **Método 1: Cimentación rígida y suelo flexible.**

Este método consiste en utilizar resortes puntuales, modelando cada grado de libertad en la base de una cimentación con un resorte desacoplado. Se debe tener cuenta las ecuaciones de Pais y Kausel (1998) para calcular las rigideces de las zapatas en la superficie del suelo, y los factores de modificación para aumentar los valores de rigidez para cada grado de libertad en función del empotramiento de la cimentación en el suelo. Este método es recomendable para cimentaciones consideradas rígidas con respecto al suelo.

## **Método 2: Cimentación flexible y suelo flexible no lineal.**

Este método define resortes distribuidos que representan el soporte del suelo como un medio continuo discretizado, con un valor variable de rigidez para los resortes distribuidos a lo largo de la zapata. Este enfoque es recomendable para análisis no lineales donde el acoplamiento de rigidez axial y rotacional se modela con resortes no lineales.

## **Método 3: Cimentación flexible y suelo flexible lineal.**

Este método define los resortes distribuidos que representan el soporte del suelo como un medio continuo discretizado, con un valor uniforme de rigidez para los resortes distribuidos a lo largo de la zapata. Este método se utiliza mejor cuando la flexibilidad de los elementos estructurales de la cimentación se modela explícitamente. Se recomienda utilizar la siguiente fórmula para calcular el coeficiente de resorte de la subbase unitario.

$$k_{sv} = \frac{1.3G}{B_f(1 - \nu)}$$

Dónde,

$G$  = Módulo de corte efectivo.

$B_f$  = Ancho total de la base.

$\nu$  = Coeficiente de Poisson.

Además, el efecto de rigidez del método 3 se puede comparar con un resorte vertical mediante la siguiente transformación, adaptada de Yim y Chopra (1984).

$$k_{yy} = \frac{2}{3} k_{sv} B_f L^3$$

Donde,

$L$  = longitud de la base.

A diferencia del método 1, el método 3 no considera los factores de corrección por empotramiento de la cimentación.

#### **2.2.10. Resortes horizontales.**

Generalmente la flexibilidad horizontal no es tan determinante como la flexibilidad rotacional y vertical, sin embargo, debe realizarse el modelado analítico considerando toda fuente de flexibilidad. Se debe tener en cuenta que la rigidez horizontal generalmente incluirá la resistencia de todos los elementos que componen la cimentación, resistentes a cargas sísmicas y por gravedad.

#### **Método 1**

Este método considera la ecuación de Pais y Kausel (1988) para calcular la rigidez horizontal en la superficie de la base, mediante la siguiente fórmula.

$$k_{x,sur} = \frac{GB}{2 - \nu} \left[ 6.8 \left( \frac{L}{B} \right)^{0.65} + 2.4 \right]$$

Además, se debe de aplicar un factor de corrección por empotramiento de la cimentación en el suelo, cuya fórmula es la siguiente:

$$n_x = \left[ 1 + \left( 0.33 + \frac{1.34}{1 + L/B} \right) \left( \frac{D}{B} \right)^{0.8} \right]$$

Donde,

$D$  = profundidad desde la superficie del suelo hasta el fondo de la cimentación.

#### **2.2.11. Alargamiento del período**

Según FEMA P-2091 (2020), al tener una base flexible representada por resortes verticales y horizontales, se genera un alargamiento en el periodo fundamental y generalmente aumenta el grado de participación masiva en modos fundamentales.

Para calcular el efecto de alargamiento del periodo en el corte de la base de diseño, se debe comparar los periodos fundamentales y los coeficientes de respuesta sísmica que pertenecen a los modelos de base flexible y base rígida. Para calcular el ajuste de la fuerza cortante en la base debido a la ISE, se utiliza la siguiente fórmula:

$$\Delta V = \left( C_s - \frac{\tilde{C}_s}{B_{SSI}} \right) \bar{W}$$

Donde,

$C_s$  = Coeficiente de respuesta sísmica suponiendo una base estructural fija.

$\tilde{C}_s$  = Coeficiente de respuesta sísmica suponiendo una base estructural flexible.

$B_{SSI}$  = Factor para ajustar el espectro de respuesta y el espectro de respuesta MCER. (Se toma como 1 porque se supone una relación de amortiguamiento del 5%).

$\bar{W}$  = Peso causado por la masa modal efectiva, en el modo fundamental, alternativamente tomado como el peso sísmico efectivo.

Según el ASCE/SEI 7-16 debemos utilizar las siguientes formular para limitar la reducción de la fuerza cortante en la base debido a la ISE, para ello se limita la reducción en función del factor de modificación de respuesta ( $R$ ).

$$\tilde{V} = V - \Delta V \geq \alpha V$$

$$\alpha = \begin{cases} 0.7 & \text{para } R \leq 3 \\ 0.5 + \frac{R}{1.5} & \text{para } 3 < R < 6 \\ 0.9 & \text{para } R > 6 \end{cases}$$

Donde,

$\tilde{V}$  = la fuerza cortante en la base de la estructura ajustado para la interacción suelo estructura.

$V$  = la fuerza cortante en la base de la estructura de base empotrada.

$R$  = Coeficiente de modificación de respuesta.

### **2.2.12. Amortiguamiento en la cimentación.**

El segundo efecto que ocasiona la interacción inercial considerando una base flexible, es el amortiguamiento en la base, la cual tiene dos contribuyentes: la amortiguación del suelo y la amortiguación por radiación.

Según FEMA P-2091 (2020), el amortiguamiento del suelo es la amortiguación histerético del suelo. Es similar al amortiguamiento viscoso inherente en la superestructura, pero es independiente del periodo de base flexible de la estructura.

El amortiguamiento por radiación es la amortiguación en el sistema suelo estructura causado por la generación y propagación de ondas desde la base, que son causadas por los desplazamientos dinámicos de la base en relación con los desplazamientos en campo libre. El amortiguamiento por radiación es mayor cuando la relación rigidez de suelo estructura es más grande.

### **2.2.13. Requisitos para el amortiguamiento en la cimentación.**

Existen 3 casos en los que no está permitido incorporar el amortiguamiento en la cimentación (FEMA P-2091, 2020).

CASO 1: Un sistema de cimentación que consiste en zapatas que no están interconectadas y que están espaciadas menos que la dimensión más grande del elemento resistente a la fuerza lateral soportado en la dirección en consideración.

CASO 2: Un sistema de cimentación que consiste o incluye cimiento profundo como pilas o pilotes.

CASO 3: Un sistema de cimentación que consiste en esteras estructurales interconectadas por losas de concreto que son flexibles o que no están conectados continuamente a vigas u otros elementos de cimentación.

### 2.2.14. Relación de amortiguación efectiva.

En forma general, las demandas del código sísmico de procedimientos lineales se basan en una relación de amortiguación viscosa equivalente del 5% para la estructura. Sin embargo, cuando se considera la ISE, es necesario calcular una amortiguación de viscosidad efectiva para el sistema de estructural de la cimentación, para ello el ASCE/SEI 7-16, brinda las siguientes ecuaciones:

$$\beta_0 = \beta_f + \frac{\beta}{\left(\frac{\tilde{T}}{T}\right)_{eff}^2} \leq 0.20$$

Donde,

$\beta_0$  = relación de amortiguación efectiva del sistema estructural de la cimentación.

$\beta_f$  = relación efectiva de amortiguación viscosa relacionada con la interacción suelo cimentación.

$\beta$  = relación de amortiguación viscosa efectiva de la estructura, tomada como 5% a menos que se justifique lo contrario por el análisis.

$\left(\frac{\tilde{T}}{T}\right)_{eff}$  = relación de alargamiento del periodo efectivo.

$$\left(\frac{\tilde{T}}{T}\right)_{eff} = \left\{1 + \frac{1}{u} \left( \left(\frac{\tilde{T}}{T}\right)^2 - 1 \right)\right\}^{0.5}$$

Donde,

$\tilde{T}$  = periodo fundamental de la estructura utilizando un modelo de base flexible.

$T$  = periodo fundamental de la estructura utilizando un modelo de base rígida.

$u$  = demanda de ductilidad efectiva. Se puede tomar  $u$  como  $R/\Omega_0$ , donde  $R$  y  $\Omega_0$  se extraen de la tabla 12.2-1 del ASCE/SEI 7-16.

$$\beta_f = \left[ \frac{\left(\frac{\tilde{T}}{\bar{T}}\right)^2 - 1}{\left(\frac{\tilde{T}}{\bar{T}}\right)^2} \right] \beta_s + \beta_{rd}$$

Donde,

$\beta_s$  = relación de amortiguamiento histerético del suelo.

$\beta_{rd}$  = relación de amortiguamiento por radiación.

### **2.2.15. Amortiguación del suelo**

Según FEMA P-2091 (2020), la amortiguación del suelo o también llamado amortiguamiento histerético del suelo ocurre debido al corte dentro del suelo y en la interfaz suelo cimentación. Para determinar los valores de la relación de amortiguamiento histerético del suelo ( $\beta_s$ ), se puede obtener mediante el análisis de respuesta del sitio determinado por un ingeniero geotécnico o directamente de la tabla 8-1.

### **2.2.16. Análisis sísmico con la norma E.030-2018.**

#### **2.2.16.1 Análisis sísmico estático o de fuerzas estáticas equivalente.**

Según la Norma E.030 (2018), este método representa las solicitaciones sísmicas por un conjunto de fuerzas laterales aplicadas en los centros de gravedad de cada nivel, acompañados de momentos torsores de piso. Además, se consideran las siguientes simplificaciones:

- ✓ Se asume que existe un solo modo fundamental al que corresponde el 100% de la masa del edificio.
- ✓ Durante el movimiento, el edificio adopta una forma única de oscilación lateral que sólo depende de la altura ( $h$ ) y de un exponente ( $k$ ).

- ✓ El efecto torsional se considera totalmente desacoplado del movimiento traslacional.

#### 2.2.16.1.1 Fuerza cortante en la base

Se considera como la acumulación progresiva de las fuerzas cortantes en cada piso, reflejados en la base de la estructura. Se determina en función del peso sísmico ( $P$ ), y del “coeficiente sísmico”, el cual a su vez se relaciona con los factores que dependen de la ubicación ( $Z, S$ ), uso ( $U$ ), y tipo de sistema estructural de la edificación ( $R, C$ ).

$$V = \left( \frac{ZUCS}{R} \right) P$$

Para determinar la fuerza cortante en la base de la edificación correspondiente al método estático se debe considerar:

$$\frac{C}{R} \geq 0.11$$

#### 2.2.16.1.2. Distribución de la fuerza sísmica en altura.

La fuerza cortante total actuante ( $V$ ), se distribuye en un conjunto de fuerzas sísmicas horizontales aplicados en los centros de gravedad de cada nivel correspondiente a la dirección considerada. Se expresa mediante la siguiente fórmula:

$$F_i = \alpha_i \cdot V$$

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

Donde  $n$  es el número de pisos del edificio y  $k$  es un exponente que depende del periodo fundamental de vibración de la estructura ( $T$ ), que se presenta en 2 casos.

- Para  $T \leq 0.5$  :  $k = 1$

b) Para  $T \geq 0.5$  :  $k = (0.75 + 0.5T) \leq 2.0$

### **2.2.16.1.3. Período fundamental de vibración**

Es uno de los parámetros con mayor influencia en los resultados del análisis, para calcularlo se considera la siguiente ecuación:

$$T = \frac{h_n}{C_T}$$

Donde,

$C_T = 35$  Para edificios cuyos elementos resistentes en la dirección considerada sean:

- a) Pórticos de concreto armado sin muros de corte.
- b) Pórticos dúctiles de acero con uniones resistente a momentos, sin arriostramiento.

$C_T = 45$  Para edificios cuyos elementos resistentes en la dirección considerada sean:

- a) Pórticos de concreto armado con muros en las cajas de ascensores y escaleras.
- b) Pórticos de acero arriostrado.

$C_T = 60$  Para edificios de albañilería y para todos los edificios de concreto armado duales, de muros estructurales, y muros de ductilidad limitada.

### **2.2.16.2 Análisis dinámico modal espectral.**

#### **2.2.16.2.1. Modos de vibración.**

La norma nos dice que, para calcular los modos de vibración, se debe realizar un modelamiento que considere adecuadamente la distribución de masas y rigideces de la edificación, y se usen como mínimo los 3 primeros modos predominantes o el número

de modos necesarios para lograr que la suma de las masas efectivas sea mayor o igual al 90% de la masa total de la edificación.

#### **2.2.16.2.2. Aceleración espectral**

Para cada dirección de análisis se utiliza un espectro inelástico de pseudo aceleraciones definido por:

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

Consideramos parámetros como “*C*” está en función del periodo, y los parámetros *Z, U, S* son iguales para ambas direcciones, solo el factor “*R*” que está en función del sistema estructural y las irregularidades en planta y altura, puede ser diferente de acuerdo a cada dirección de análisis.

Para el análisis dinámico modal espectral no se considera el valor mínimo *C/R* que sí se establece en el análisis estático, ya que estaríamos incrementando los modos de vibración de periodo largo con respecto a los otros modos. Además, no se utilizará los resultados de las fuerzas internas que se obtengan deberán ser escalados para garantizar que la fuerza cortante en la base de la edificación sea la mínima requerida que indica la norma. Esta fuerza cortante mínima está en función del valor obtenido del método estático.

#### **2.2.16.2.3. Criterios de combinación**

Según la Norma E.030 (2018), nos dice que con los criterios de combinación cuadrática completa se podrá encontrar las respuestas máximas elásticas esperadas (*r*) de los elementos estructurales y de los componentes globales de la edificación como fuerza cortante en la base, cortantes de entrepiso, desplazamientos relativos y derivas.

#### **2.2.16.2.4. Fuerza cortante mínima**

Para cada dirección de análisis, la fuerza cortante en el primer entrepiso de la edificación no podrá ser menor que el 80% de la fuerza cortante calculada mediante el método estático para estructuras regulares, ni menor que el 90% de la fuerza cortante calculada mediante el método estático para estructuras irregulares.

Si no cumple los requisitos mencionados, entonces se deberá escalar proporcionalmente todos los resultados obtenidos, excepto los desplazamientos, hasta que las fuerzas cortantes cumplan con los valores mínimos establecidos en la norma.

#### **2.2.16.2.5. Sistemas estructurales (de concreto armado).**

La norma E.030 (2018) establece distintos tipos de sistemas estructurales basados en la norma E.060 Concreto Armado del RNE, los cuales se presentan a continuación:

- **Pórticos:** El 80% de la fuerza cortante en la base lo absorben las columnas de la edificación.
- **Sistema Dual:** La fuerza cortante en la base debe ser absorbida entre un 20% y 70% por los muros estructurales.
- **Muros Estructurales:** La fuerza cortante que actúa en la base de la edificación debe ser absorbida en más del 70% por los muros estructurales.

### **2.3. Definición de términos básicos**

**Sismo:** Un sismo es el resultado de la acumulación de esfuerzos y deformaciones que se producen principalmente por el movimiento de las placas tectónicas (Chopra, 2014).

**Interacción Suelo Estructura:** “La interacción dinámica suelo-estructura consiste en un conjunto de efectos cinemáticos e inerciales producidos en la estructura y el suelo

como resultado de la deformabilidad de este ante excitación sísmica” (Avilés & Pérez, 2004).

**Suelo de Fundación:** Estrato delimitado del suelo bajo la estructura donde se transmiten las cargas provenientes de la superestructura (Alva Hurtado, 2020).

**Modelo de Base Rígida:** Modelo que considera un empotramiento perfecto entre la estructura y el suelo de fundación, es decir se restringen las traslaciones y las rotaciones en la base de la estructura (Ministerio de vivienda, 2018).

**Espectro de Diseño Sísmico:** Es un gráfico que nos da la aceleración máxima de una estructura en función de su período natural de vibración (García, 1998).

**Efecto de sitio:** Son modificaciones en amplitud, duración y contenido frecuencial que experimentan las ondas sísmicas cuando llegan a la superficie (Kausel et al., 1978).

**Análisis Dinámico Modal Espectral:** Es un método que se utiliza para el cálculo de los esfuerzos y desplazamientos máximos de una estructura inducidos por el sismo (García, 1998).

**Elementos Estructurales:** Componentes de una edificación que se encargan de aportar resistencia y rigidez a la estructura, además de soportar distintos tipos de cargas (Chopra, 2014).

**Cortante Basal:** Es la acumulación progresiva de las fuerzas cortantes de cada piso, el cual se refleja en la base de la edificación (Ministerio de vivienda, 2018).



### 3.3. Descripción de la estructura en estudio

#### 3.3.1. Descripción general

El instituto contempla la construcción de 11 bloques, de los cuales se analizará el bloque E, un edificio de 2 niveles, con ambientes correspondientes a enfermería técnica y laboratorio clínico. El bloque E tiene un área de 481.20 m<sup>2</sup> y un perímetro de 94.16 m, la altura del primer nivel es de 4.45m y segundo nivel de 5.85m.

El sistema estructural se compone en la dirección X de un sistema dual, conformada por pórticos y muros estructurales y en la dirección Y un sistema de muros estructurales; el sistema de techo es a través de losas aligeradas en una y dos direcciones; la cimentación es través de zapatas corridas y los elementos no estructurales están confinados.

#### 3.3.2. Especificaciones técnicas de los elementos estructurales y propiedades geotécnicas del suelo de cimentación.

**Tabla 1**

*Especificaciones técnicas de los materiales*

| <b>Especificaciones Técnicas de los materiales</b> |                     |                              |
|--|---------------------|------------------------------|
| <b>Concreto</b>                                    |                     |                              |
|  | Columnas            | 210 kg/cm <sup>2</sup>       |
|  | Muros               | 210 kg/cm <sup>2</sup>       |
|  | Placas              | 210 kg/cm <sup>2</sup>       |
| Resistencia a la compresión (f' <sub>c</sub> )     | Vigas               | 210 kg/cm <sup>2</sup>       |
|  | Zapata              | 210 kg/cm <sup>2</sup>       |
|  | Losa Aligerada      | 210 kg/cm <sup>2</sup>       |
|  | Viga de cimentación | 210 kg/cm <sup>2</sup>       |
| Peso unitario del concreto (γ)                     |                     | 2400 kg/cm <sup>3</sup>      |
| Módulo de elasticidad (E)                          |                     | 217370.65 kg/cm <sup>2</sup> |

|   |                            |
|---|----------------------------|
| Módulo de Poisson ( $\mu$ )                   | 0.2                        |
| <b>Acero</b>                                  |                            |
| Esfuerzo de fluencia del acero ( $f_y$ )      | 4200 kg/cm <sup>2</sup>    |
| Resistencia mínima a la tracción<br>( $f_u$ ) | 6300 kg/cm <sup>2</sup>    |
| Peso unitario del acero ( $\gamma$ )          | 7850 kg/cm <sup>2</sup>    |
| Módulo de elasticidad (E)                     | 2000000 kg/cm <sup>2</sup> |

**Fuente:** Expediente técnico

### 3.3.3. Cargas

Para el metrado de cargas se utilizó la norma E.020-Cargas, del Reglamento Nacional de Edificaciones, la cual divide las cargas, en carga viva y carga muerta.

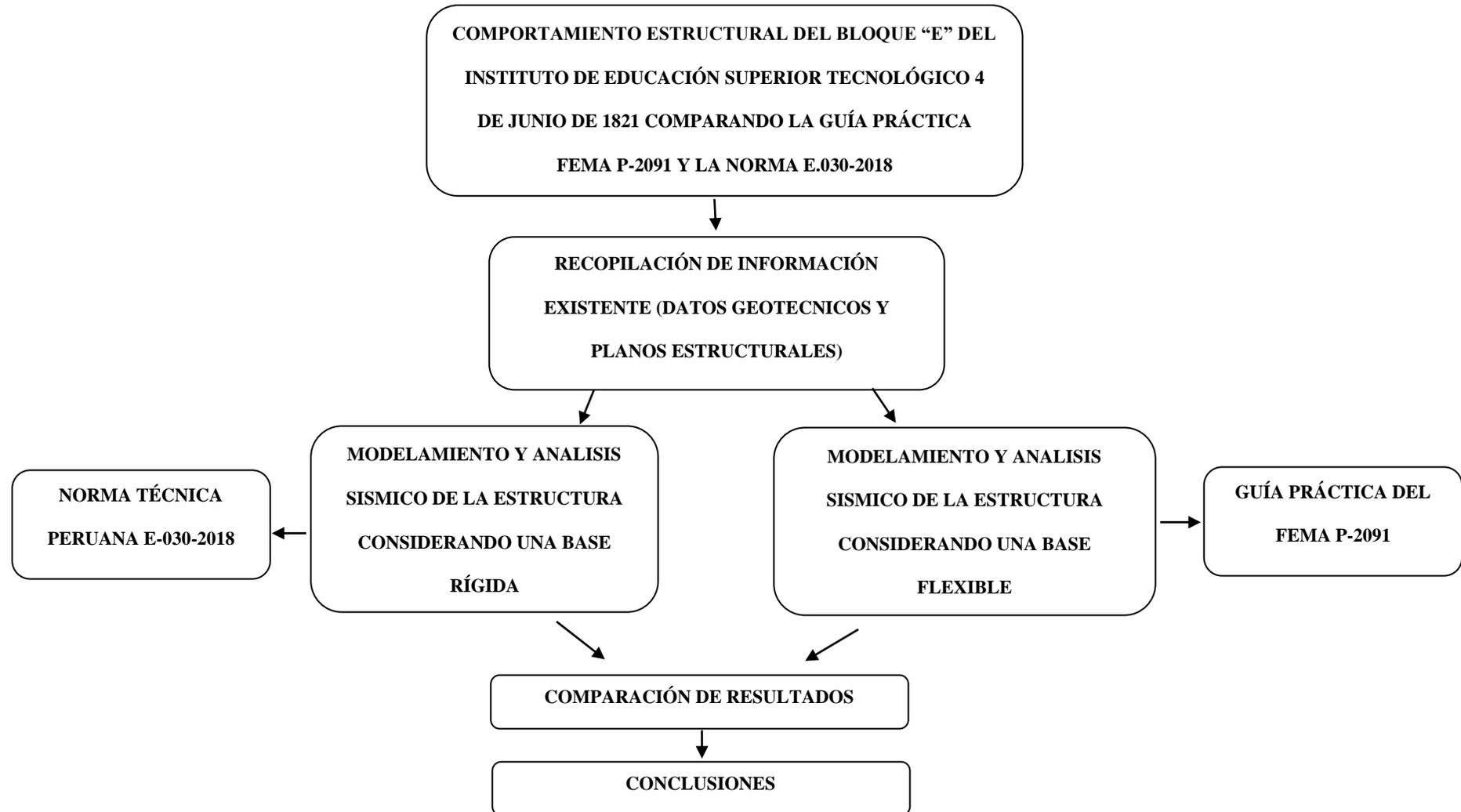
#### 3.3.3.1. Carga muerta

De acuerdo a la norma E.020, el peso propio de la losa aligerada armada en una dirección con un espesor de 0.25 cm es de 350 kg/m<sup>2</sup>, por lo tanto, el peso propio del ladrillo de techo es de 110 kg/m<sup>2</sup> en la losa de una dirección y 70 kg/m<sup>2</sup> en losa de dos direcciones, además se considera una carga por acabados de 100 kg/m<sup>2</sup> y una carga por tabiquería de 100 kg/m<sup>2</sup>.

#### 3.3.3.2. Carga viva

De acuerdo a la norma E.020, se considera para corredores y escaleras una carga viva de 400 kg/m<sup>2</sup>, y para la carga viva de techo como mínimo 60 kg/cm<sup>2</sup> si el grado de inclinación del techo es mayor a 3°.

### 3.4. Procedimiento de la investigación



### **3.5. Tratamiento, análisis de datos y presentación de resultados**

#### **3.5.1. Tipo de investigación**

La investigación es de tipo transversal, ya que las medidas serán medidas en una sola ocasión.

#### **3.5.2. Nivel de la investigación**

La investigación es de nivel descriptivo, ya que se analizará, interpretará y se hará una comparación de los resultados del comportamiento estructural de la edificación.

#### **3.5.3. Diseño de la investigación**

Corresponde a una investigación no experimental, con enfoque cuantitativo.

### **3.6. Población, muestra y unidad de análisis**

#### **3.6.1. Población de estudio**

Bloques del Instituto de Educación Superior Tecnológico 4 de junio de 1821.

#### **3.6.2. Muestra**

La muestra está conformada por el bloque E del Instituto de Educación Superior Tecnológico 4 de junio de 1821.

#### **3.6.3. Unidad de análisis**

La unidad de análisis corresponde a una edificación dual de muros estructurales y pórticos de concreto armado.

### **3.7. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

#### **3.7.1. Técnicas de recolección de datos**

Se emplearon las siguientes técnicas:

- **Revisión bibliográfica:** Se llevó a cabo un análisis exhaustivo de la literatura científica, informes técnicos y normativas aplicables a la interacción suelo-estructura. Este proceso incluyó la revisión de artículos académicos, estudios de caso y publicaciones especializadas en dinámica estructural, que proporcionaron las bases teóricas para comprender los principios de la interacción suelo-estructura. Además, se consultaron normas técnicas relevantes, incluyendo la norma peruana E.030, el estándar internacional ASCE 7-22, y la guía FEMA P-2091. Estas normas fueron revisadas con el objetivo de identificar los enfoques y métodos empleados para modelar la flexibilidad del suelo y su efecto en el comportamiento estructural, así como las diferencias en los criterios de diseño sísmico entre el contexto peruano y el internacional. La recopilación de estas fuentes permitió construir un marco de referencia integral, proporcionando tanto la base teórica como las herramientas prácticas para llevar a cabo un análisis comparativo riguroso en el estudio.

#### **3.7.2. Instrumentos de recolección de datos**

- **Plano de arquitectura y estructuras:** Se obtuvieron directamente del expediente técnico, detallan la disposición espacial, dimensiones y características constructivas de la edificación, y fueron esenciales para el modelamiento en el software ETABS 19. Contar con estos planos permitió una representación precisa de la estructura, facilitando la aplicación de cargas y el análisis de comportamiento estructural en diversas condiciones.

### **3.8. Análisis e interpretación de datos**

De los resultados obtenidos del modelamiento de la edificación en el Etabs.19, se analizarán las fuerzas internas de los elementos estructurales, los desplazamientos relativos de entrepiso o derivas, la fuerza cortante en la base, los periodos de vibración y el amortiguamiento de la estructura, comparando el modelo de cálculo de base rígida de la norma E.030-2018 y el modelo de cálculo de base flexible de interacción suelo estructura de la norma FEMA P-2091.

### **3.9. Procedimiento**

#### **3.9.1. Análisis sísmico estático o de fuerzas equivalentes**

Para el estudio se utilizaron los siguientes parámetros:

Zonificación: La zona de estudio es en la provincia de Jaén, departamento de Cajamarca, la cual corresponde a una zona sísmica de 2, por lo tanto, el factor de zonificación es 0.25 ( $Z=0.25$ ).

Microzonificación Sísmica y Estudios de Sitio: De acuerdo al estudio de mecánica de suelo, la estratigrafía del suelo se define como un suelo arcilloso de baja plasticidad, y de acuerdo al ensayo Geofísico MASW, su velocidad promedio de onda de corte varía entre 180 y 500 m/s. Por tanto, de acuerdo a la norma E.030 corresponde un Suelo intermedio. ( $S_2=1.20$ ,  $T_p=0.6$ ,  $T_L=2.0$ ).

Factor de Amplificación Sísmica: Considerando las características de sitio, se define el factor de amplificación sísmica como la aceleración estructural respecto de la aceleración de suelo, con un valor de  $C=2.5$ .

Categoría de la Edificación: Como la edificación de estudio corresponde a un Instituto Superior Tecnológico, se considera como una edificación esencial (A2), cuyo factor de uso toma el valor de  $U=1.50$ .

Sistema Estructural: Se considera una estructura de concreto armado, cuya dirección X-X presenta un sistema estructural Dual con un coeficiente básico de reducción de fuerzas sísmicas de  $R_0=7$  y en la dirección Y-Y presenta un sistema de Muros Estructurales con un coeficiente básico de reducción de fuerzas sísmicas de  $R_0=6$ .

Factor de Irregularidad: De acuerdo a la configuración geométrica de la estructura, no se presentan irregularidades en planta y en altura, por tanto, el factor de irregularidad toma el valor de  $I_p=1$ ,  $I_a=1$ .

Resumiendo, tenemos:

Factor de Zona:  $Z = 0.25$

Parámetro del Suelo:  $S_2=1.20$ ,  $T_p=0.6$ ,  $T_L=2.0$

Factor de Uso (A2):  $U=1.50$

Sistema Estructural: En X-X (Dual),  $R_0=7$  y en Y-Y (Muros estructurales),  $R_0=6$

Factor de Irregularidad:  $I_p=1$ ,  $I_a=1$ .

Factor de Reducción de Fuerzas Sísmicas: En la dirección X-X,  $R=7$  y en dirección Y-Y,  $R=6$ .

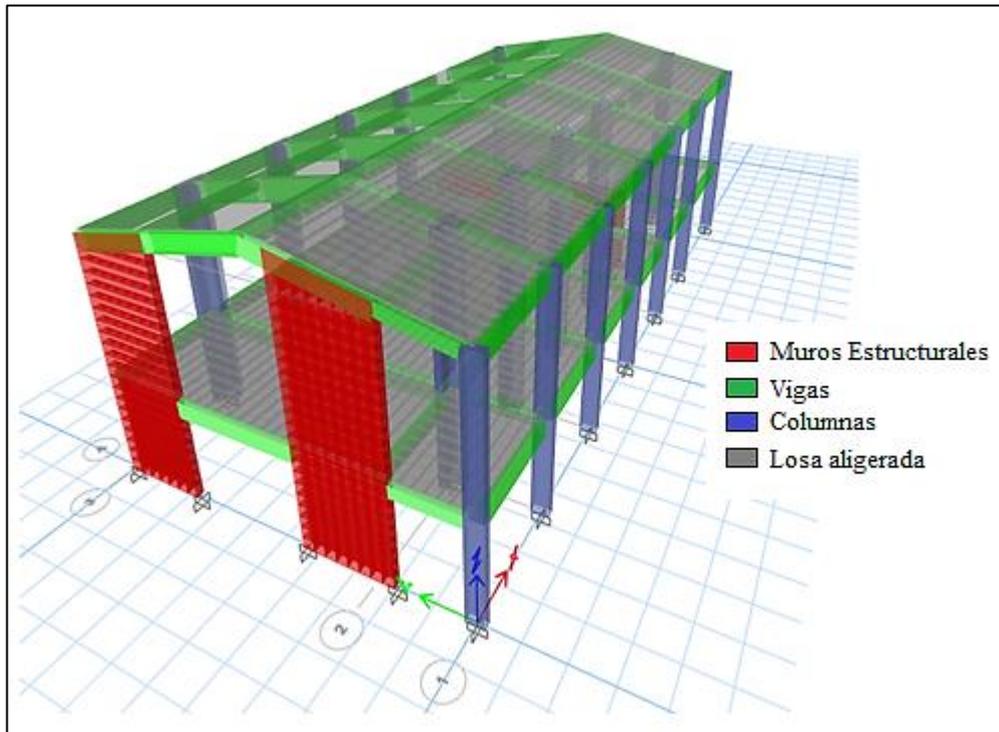
Los parámetros obtenidos servirán para calcular la cortante basal y posteriormente los desplazamientos y derivas de entrepiso.

### 3.9.1.1. Modelamiento de la estructura

Siguiendo los planos de arquitectura y estructuras se procedió a modelar la edificación en el software Etabs.19.

**Figura 12**

*Vista 3D de la edificación en estudio*

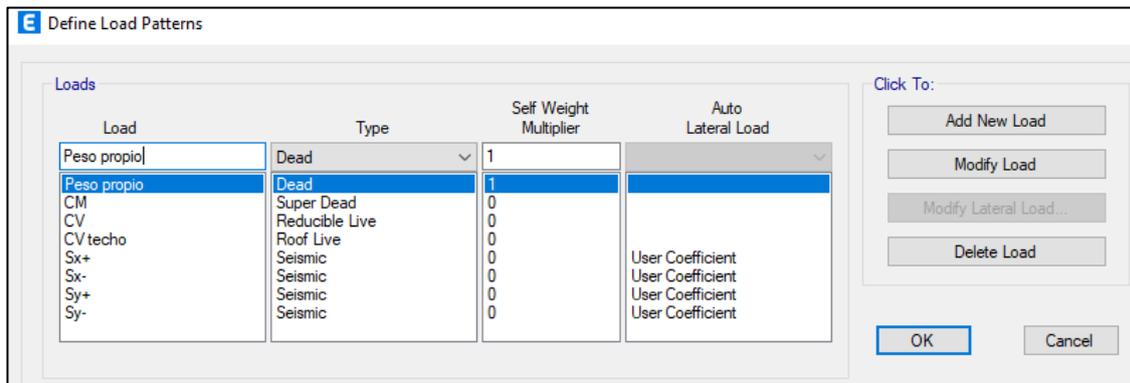


### 3.9.1.2. Definición de patrones de carga

Definimos los patrones de cargas, las cuales serán: La carga muerta, el peso propio, la carga viva, la carga viva de techo, la carga de sismo estático en dirección X-X y dirección Y-Y con excentricidad positiva y negativa.

**Figura 13**

*Definición de patrones de carga*

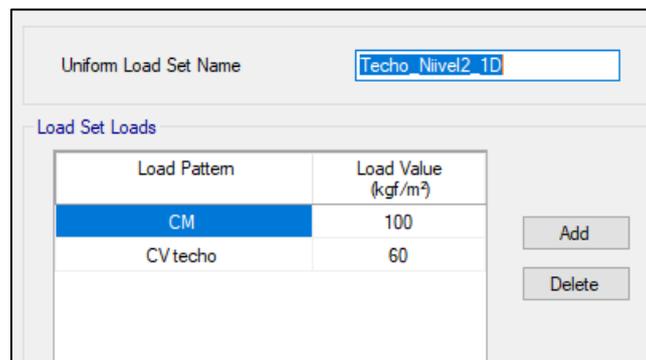


### 3.9.1.3 Asignación de cargas por gravedad

Se crearon paquetes de cargas correspondientes a cada losa de cada nivel de la estructura y se consideraron las cargas distribuidas mencionadas en el ítem 3.3.3.

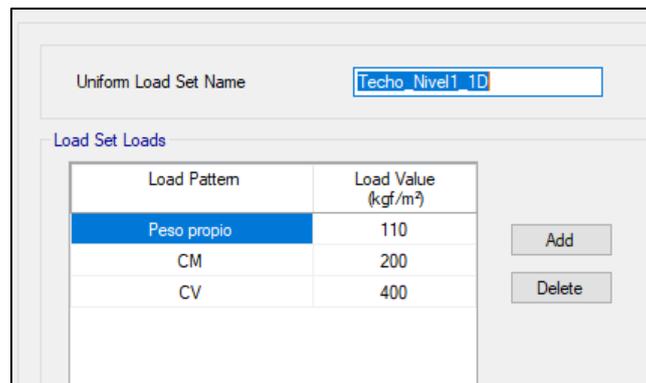
**Figura 14**

*Paquete de carga para techo del nivel 2 en una dirección*



**Figura 15**

*Paquete de carga para techo del nivel 1 en una dirección*



**Figura 16**

*Paquete de carga para techo del nivel 1 en dos direcciones*

| Load Pattern | Load Value (kgf/m²) |
|--------------|---------------------|
| Peso propio  | 70                  |
| CM           | 200                 |
| CV           | 400                 |

### 3.9.1.5. Creación de peso sísmico.

Según la norma E.030, para edificaciones esenciales categoría A, se toma el 50% de la carga viva y para techos se toma el 25% de la carga viva.

**Figura 17**

*Creación del peso sísmico*

| Load Pattern | Multiplier |
|--------------|------------|
| Peso propio  | 1          |
| Peso propio  | 1          |
| CV           | 0.5        |
| CV techo     | 0.25       |
| CM           | 1          |

### 3.9.1.8 Sismo Estático

Se calculó el coeficiente sísmico analizándolo de forma independiente en la dirección X-X e Y-Y, teniendo en cuenta los parámetros obtenidos previamente.

**Dirección X-X:**

Factor de Zona  $Z=0.25$

Categoría  $U=1.50$

Factor de Amplificación Sísmica  $C=2.50$

Factor del Suelo  $S=1.20$

Factor de Reducción  $R=7$

$$C_s = \frac{ZUCS}{R}$$

$$C_s = \frac{0.25 \times 1.50 \times 2.50 \times 1.20}{7} = 0.1607$$

Calculamos el periodo fundamental de acuerdo a la norma E.030.

$$T = \frac{h_n}{C_T} = \frac{10.30}{60} = 0.172 \text{ seg.}$$

Calculamos el factor  $k$  relacionado con el periodo fundamental de la vibración de la estructura.

Para  $T \leq 0.5$  segundos :  $k = 1$ , por tanto el valor que tomaremos para  $k$  será igual a 1.

**Dirección Y-Y:**

Factor de Zona  $Z=0.25$

Categoría  $U=1.50$

Factor de Amplificación Sísmica  $C=2.50$

Factor del Suelo  $S=1.20$

Factor de Reducción  $R=6$

$$C_s = \frac{ZUCS}{R}$$

$$C_s = \frac{0.25 \times 1.50 \times 2.50 \times 1.20}{6} = 0.1875$$

Calculamos el periodo fundamental de acuerdo a la norma E.030.

$$T = \frac{h_n}{C_T} = \frac{10.30}{60} = 0.172 \text{ seg.}$$

Calculamos el factor  $k$  relacionado con el periodo fundamental de la vibración de la estructura.

Para  $T \leq 0.5 \text{ segundos}$  :  $k = 1$ , por tanto el valor que tomaremos para  $k$  será igual a 1.

Asignamos los coeficientes sísmicos cálculos en el software Etabs.19:

**Figura 18**

*Coficiente sísmico asignado en la dirección X-X*

The screenshot shows the 'Direction and Eccentricity' and 'Factors' panels. In the 'Direction and Eccentricity' panel, the 'X Dir + Eccentricity' checkbox is checked, and the 'Ecc. Ratio (All Diaph.)' is set to 0.05. In the 'Factors' panel, the 'Base Shear Coefficient, C' is 0.1607 and the 'Building Height Exp., K' is 1. The 'Story Range' panel shows 'Top Story' as 'Nivel 2' and 'Bottom Story' as 'Base'.

**Figura 19**

*Coficiente sísmico asignado en la dirección Y-Y*

The screenshot shows the 'Direction and Eccentricity' and 'Factors' panels. In the 'Direction and Eccentricity' panel, the 'Y Dir + Eccentricity' checkbox is checked, and the 'Ecc. Ratio (All Diaph.)' is set to 0.05. In the 'Factors' panel, the 'Base Shear Coefficient, C' is 0.1875 and the 'Building Height Exp., K' is 1. The 'Story Range' panel shows 'Top Story' as 'Nivel 2' and 'Bottom Story' as 'Base'.

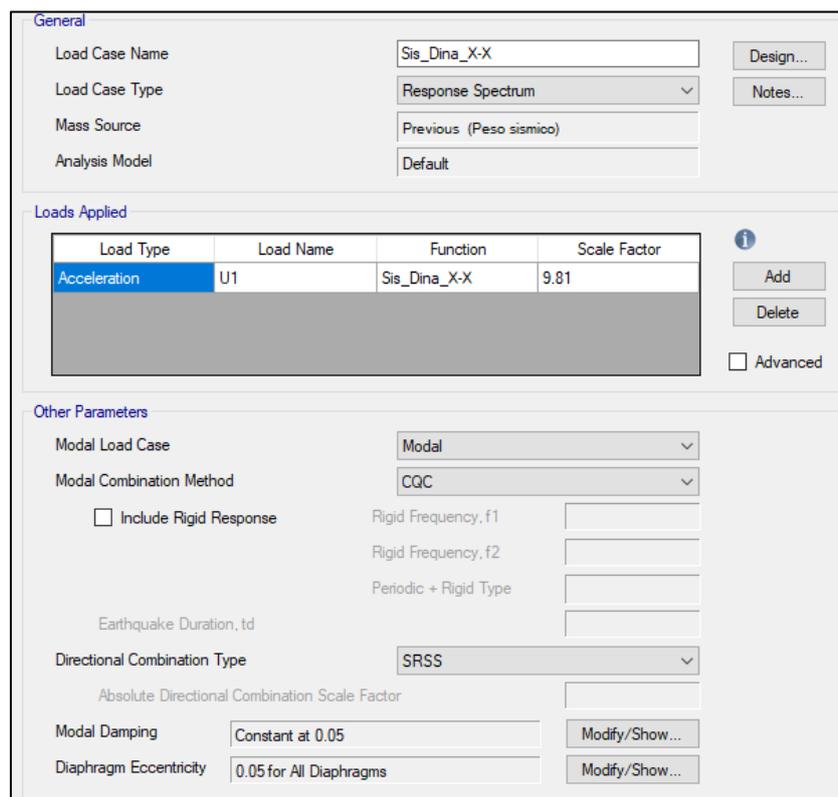
### 3.9.2. Sismo dinámico modal espectral.

Para realizar el análisis dinámico modal espectral, se tuvo en consideración 3 modos de vibración por nivel de la edificación, haciendo un total de 6 modos fundamentales de la estructura, además se consideró el tipo de caso modal Ritz que tienen en consideración las aceleraciones en las direcciones X-X e Y-Y ya que tiene una mejor convergencia de los datos en relación al porcentaje de masa participativa por modo de vibración.

También se definió los casos de carga que afectarán a la edificación para cada dirección de análisis.

**Figura 20**

*Carga dinámica en dirección X-X*



| Load Type    | Load Name | Function     | Scale Factor |
|--------------|-----------|--------------|--------------|
| Acceleration | U1        | Sis_Dina_X-X | 9.81         |

**Figura 21**

*Carga dinámica en dirección Y-Y*

**General**

Load Case Name: Sis\_Dina\_Y-Y [Design...]  
Load Case Type: Response Spectrum [Notes...]  
Mass Source: Previous (Peso sísmico)  
Analysis Model: Default

**Loads Applied**

| Load Type    | Load Name | Function     | Scale Factor |
|--------------|-----------|--------------|--------------|
| Acceleration | U2        | Sis_Dina_Y-Y | 9.81         |

[Add] [Delete]  Advanced

**Other Parameters**

Modal Load Case: Modal  
Modal Combination Method: CQC  
 Include Rigid Response  
Rigid Frequency, f1: [ ]  
Rigid Frequency, f2: [ ]  
Periodic + Rigid Type: [ ]  
Earthquake Duration, td: [ ]  
Directional Combination Type: SRSS  
Absolute Directional Combination Scale Factor: [ ]  
Modal Damping: Constant at 0.05 [Modify/Show...]  
Diaphragm Eccentricity: 0.05 for All Diaphragms [Modify/Show...]

### 3.9.2.1. Creación del espectro de respuesta

Se tuvo en cuenta la variación del periodo de 0.2seg. a 10seg. y para cada dirección horizontal de análisis se utilizó un espectro de pseudo aceleración definido por:

$$S_a = \frac{ZUCS}{R} \cdot g$$

Se visualiza la fuerza cortante que absorben los muros, para verificar el sistema estructural en el eje X-X y el eje Y-Y.

**Tabla 2***Verificación del sistema estructural*

| Descripción                | Dirección x-x | Dirección y-y              |
|----------------------------|---------------|----------------------------|
| Cortante en muros          | 49.88         | 208.64                     |
| Cortante en la base        | 202.44        | 236.18                     |
| % en muros                 | 24.64         | 88.34                      |
| <b>Sistema estructural</b> | <b>Dual</b>   | <b>Muros Estructurales</b> |

**3.9.3. Análisis sísmico con interacción suelo estructura**

El análisis sísmico considerando una base flexible en la estructura se analiza siguiendo las recomendaciones que brinda la norma FEMA P-2091 (2020). Comenzando por saber cuan relevante es la inclusión de la interacción suelo estructura dentro del análisis sísmico estático y dinámico, para ello se tiene en consideración la siguiente ecuación fundamental:

$$h'/(v_s T) \geq 0.10$$

Dónde,

$h'$  = Altura efectiva de la estructura, puede ser  $2/3 (h_n)$  en pies (ft).

$v_s$  = Velocidad de onda de corte efectiva promedio (ft/s).

$T$  = Periodo fundamental de la estructura considerando base empotrada (s).

- Determinamos la profundidad de empotramiento de la zapata ( $e$ ).

$$e = 1.75m = 5.74 \text{ ft}$$

- Determinamos la profundidad efectiva del perfil de suelo ( $z_p$ ).

$$z_p = (B^3 L)^{0.25}$$

Ecuación 1 – Profundidad efectiva del perfil del suelo.

Dónde,

$B$  = Mitad del ancho de cimentación en pies (ft).

$L$  = Mitad del largo de cimentación en pies (ft).

Considerando el ancho total de la cimentación como 17.40m y el largo total de 34.60m, tenemos:

$$z_p = (28.54^3 * 56.76)^{0.25} = 33.90 \text{ ft}$$

- Determinamos la profundidad efectiva para la rotación de la cimentación ( $z_p + e$ ).

$$r = 39.64 \text{ ft}$$

- Determinamos la velocidad media de onda de corte de baja deformación ( $v_{so}$ ) para la profundidad efectiva de rotación de la cimentación.

$$v_{so} = \frac{\sum d_i}{\sum \left(\frac{d_i}{v_{si}}\right)}$$

Dónde,

$d_i$  = Espesor de las capas entre la rasante y la profundidad efectiva de rotación de la cimentación. (ft).

$v_{si}$  = Velocidad de onda de corte (ft/s).

Considerando los resultados de los ensayos geofísicos MASW del estudio de mecánica de suelos, se tiene las velocidades de onda de corte correspondiente a cada espesor de suelo; se analiza una profundidad de 39.64 ft medidos desde la rasante.

**Tabla 3***Velocidad de onda de corte para la profundidad de 39.64ft*

| Cotas<br>(m) | Espesor<br>de suelo<br>(m) | Espesor<br>de suelo<br>(ft) | Vso (ft/s) |
|--------------|----------------------------|-----------------------------|------------|
| 720          | 0.79                       | 2.59                        | 552.3      |
| 719.21       | 0.88                       | 2.89                        | 552.07     |
| 718.33       | 0.96                       | 3.15                        | 549.8      |
| 717.37       | 1.05                       | 3.44                        | 627.46     |
| 716.32       | 1.14                       | 3.74                        | 725.66     |
| 715.18       | 1.23                       | 4.04                        | 831.46     |
| 713.95       | 1.32                       | 4.33                        | 921.46     |
| 712.63       | 1.4                        | 4.59                        | 976.77     |
| 711.23       | 1.49                       | 4.89                        | 1047.51    |
| 709.74       | 1.58                       | 5.18                        | 1092.65    |
| 708.16       | 0.24                       | 0.80                        | 1156.82    |

$$v_{so} = 782.59 \text{ ft/s} = 238.53 \text{ m/s}$$

De acuerdo a la norma peruana E.030 verificamos que es un suelo intermedio (S2) y de acuerdo a la norma del ASCE 7-16 verificamos que es un suelo tipo D.

- Determinamos la relación de velocidad efectiva de onda de corte ( $v_s/v_{so}$ ).

Para ello, calculamos  $S_{DS} = ZUCS = 0.25 * 1.5 * 2.5 * 1.2 = 1.125$ , luego de acuerdo a la tabla 19.3-1 del ASCE 7-16 interpolamos el valor de  $S_{DS}/2.5 = 0.45$ , obteniendo un valor de  $v_s/v_{so} = 0.66$ .

- Determinamos la velocidad media efectiva de la onda de corte ( $v_s$ ).

$$v_s = v_{so} * \left( \frac{v_s}{v_{so}} \right) = 516.51 \text{ ft/s}$$

- Consideramos el periodo fundamental de la estructura calculado en el software ETABS.19 considerando una base empotrada.

$$T = 0.306 \text{ s}$$

- Calculamos la relación entre la rigidez de la estructura y la del suelo.

$$\frac{h'}{v_s T} = \frac{26.36}{499.50 * 0.306} = 0.167 > 0.10$$

Al ser mayor a 0.10 nos dice que es relevante aplicar la interacción suelo estructura.

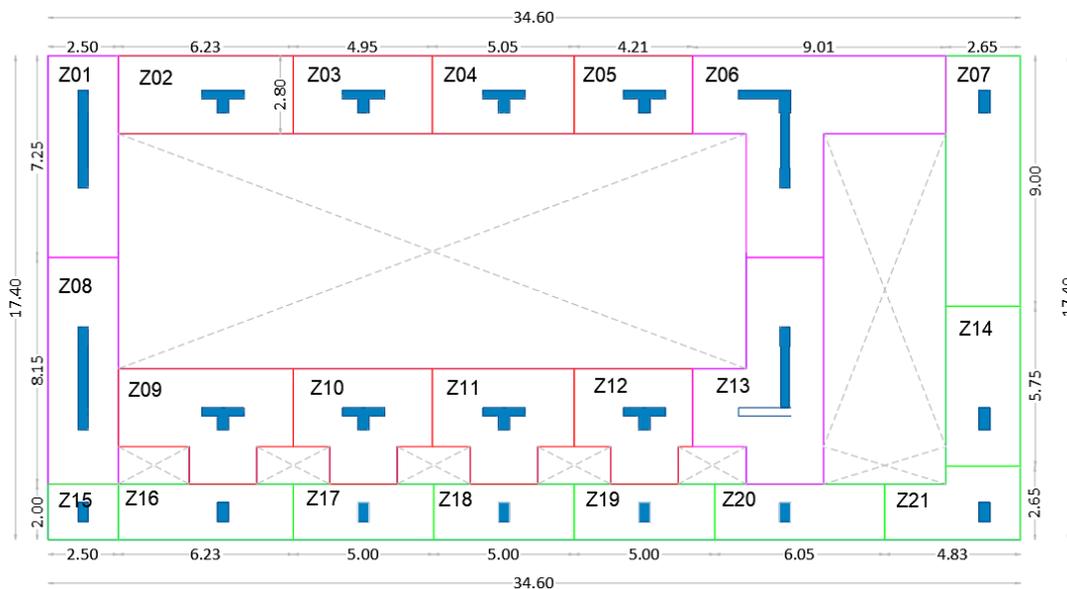
### 3.9.3.1. Cálculo de Rigideces de las Zapatas

Al tener una cimentación con zapatas corridas, estas presentan una geometría irregular, por ello se procedió a calcular sus inercias y transformarlas a una zapata con forma regular que mantengan la misma inercia, mediante el teorema de Steiner.

Se tiene en cuenta las dimensiones de la zapata como  $2B$  correspondiente al lado más corto y  $2L$  como la distancia más larga.

**Figura 22**

*Cimentación con zapatas corridas, distribuidas por áreas de influencia*



Las zapatas corridas han sido divididas en 21 zapatas regulares y las medidas se presentan en la siguiente tabla:

**Tabla 4***Zapatas identificadas*

| <b>Código de Zapata</b> | <b>Largo<br/>2L (m)</b> | <b>Ancho<br/>2B (m)</b> | <b>Largo<br/>L (m)</b> | <b>Ancho<br/>B (m)</b> |
|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|
| Z-1                     | 7.25                    | 2.5                     | 3.625                  | 1.25                   |
| Z-2                     | 6.23                    | 2.8                     | 3.115                  | 1.4                    |
| Z-3                     | 4.95                    | 2.8                     | 2.475                  | 1.4                    |
| Z-4                     | 5.05                    | 2.8                     | 2.525                  | 1.4                    |
| Z-5                     | 4.21                    | 2.8                     | 2.105                  | 1.4                    |
| Z-6                     | 9                       | 7.8                     | 4.5                    | 3.9                    |
| Z-7                     | 9                       | 2.65                    | 4.5                    | 1.325                  |
| Z-8                     | 8.15                    | 2.5                     | 4.075                  | 1.25                   |
| Z-9                     | 6                       | 3.8                     | 3                      | 1.9                    |
| Z-10                    | 5                       | 4.2                     | 2.5                    | 2.1                    |
| Z-11                    | 5                       | 4.2                     | 2.5                    | 2.1                    |
| Z-12                    | 4.5                     | 4.45                    | 2.25                   | 2.225                  |
| Z-13                    | 7.45                    | 4                       | 3.725                  | 2                      |
| Z-14                    | 5.75                    | 2.65                    | 2.875                  | 1.325                  |
| Z-15                    | 2.5                     | 2                       | 1.25                   | 1                      |
| Z-16                    | 6.23                    | 2                       | 3.115                  | 1                      |
| Z-17                    | 5                       | 2                       | 2.5                    | 1                      |
| Z-18                    | 5                       | 2                       | 2.5                    | 1                      |
| Z-19                    | 5                       | 2                       | 2.5                    | 1                      |
| Z-20                    | 6.05                    | 2                       | 3.025                  | 1                      |
| Z-21                    | 4                       | 1.09                    | 2                      | 0.545                  |

Se calcula el módulo de corte efectivo ( $G$ ):

$$\gamma_{suelo} = 1.8 \text{ tn/m}^3$$

$$v_{so} = 238.53 \text{ m/s}$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}$$

$$G_o = \frac{\gamma \cdot v_{so}^2}{g} = 10\,440.09 \text{ tn/m}^2$$

Luego, de acuerdo a la tabla 19.3-2 del ASCE 7-16, se calcula la relación del módulo de corte efectivo  $G/G_o = 0.45$ .

$$G = G_o * \frac{G}{G_o} = 4698.4 \text{ tn/m}^2 = 962 \text{ kips/ft}^2$$

Para un suelo arcillo el módulo de Poisson es 0.45.

Se calcula las rigideces rotacionales y traslacionales para cada zapata de acuerdo a las ecuaciones de Pais and Kausel (1988) que proporciona el NIST (2012).

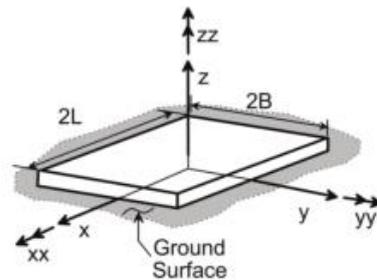
Datos de la Zapata:

Código de Zapata: Z-01

Ancho (B): 4.10 ft

Largo (L): 11.89 ft

Profundidad de empotramiento (D): 5.74 ft



Rigidez Traslacional en la dirección X:

$$K_x = \frac{GB}{2 - \nu} \left( 6.8 * \left( \frac{L}{B} \right)^{0.65} + 2.4 \right) = 40\,686.512 \text{ kip/ft}$$

Rigidez Traslacional en la dirección Y:

$$K_y = \frac{GB}{2 - \nu} \left( 6.8 * \left( \frac{L}{B} \right)^{0.65} + 0.8 * \left( \frac{L}{B} \right) + 1.6 \right) = 44\,555.298 \text{ kip/ft}$$

Rigidez Traslacional en la dirección Z:

$$K_z = \frac{GB}{1 - \nu} \left( 3.1 * \left( \frac{L}{B} \right)^{0.75} + 1.6 \right) = 60\,891.945 \text{ kip/ft}$$

Rigidez Rotacional en la dirección X-X:

$$K_{xx} = \frac{GB^3}{1-\nu} \left( 3.2 * \left( \frac{L}{B} \right) + 0.8 \right) = 1\,215\,425.4 \text{ kip/ft}$$

Rigidez Rotacional en la dirección Y-Y:

$$K_{yy} = \frac{GB^3}{1-\nu} \left( 3.73 * \left( \frac{L}{B} \right)^{2.40} + 0.27 \right) = 5\,823\,265.8 \text{ kip/ft}$$

Rigidez Rotacional en la dirección Z-Z:

$$K_{zz} = GB^3 \left( 4.25 * \left( \frac{L}{B} \right)^{2.45} + 4.06 \right) = 4\,096\,568 \text{ kip/ft}$$

Se calcula los factores de corrección por empotramiento para la rigidez estática.

Factor de corrección para la traslación en X e Y:

$$n_x = \left[ 1 + \left( 0.33 + \frac{1.34}{1 + \left( \frac{L}{B} \right)} \right) \left( \frac{D}{B} \right)^{0.8} \right] = 1.882$$

$$n_y = 1.882$$

Factor de corrección para la traslación en Z:

$$n_z = \left[ 1 + \left( 0.25 + \frac{0.25}{\frac{L}{B}} \right) \left( \frac{D}{B} \right)^{0.8} \right] = 1.363$$

Factor de corrección para la rotación en X:

$$n_{xx} = \left[ 1 + \frac{D}{B} + \left( \frac{1.60}{0.35 + \frac{L}{B}} \right) \left( \frac{D}{B} \right)^2 \right] = 3.365$$

Factor de corrección para la rotación en Y:

$$n_{yy} = \left[ 1 + \frac{D}{B} + \left( \frac{1.60}{0.35 + \left(\frac{L}{B}\right)^4} \right) \left(\frac{D}{B}\right)^2 \right] = 2.444$$

Factor de corrección para la rotación en Z:

$$n_{zz} = \left[ 1 + \left( 1.30 + \frac{1.32}{\frac{L}{B}} \right) \left(\frac{D}{B}\right)^{0.9} \right] = 3.376$$

Se muestran las rigideces efectivas de cada zapata afectadas por el factor de corrección por empotramiento:

**Tabla 5**

*Rigideces traslacionales y rotacionales*

| Código de Zapata | Nº Apoyos | $k_z$ (kip/ft) | $k_y$ (kip/ft) | $k_x$ (kip/ft) | $k_{zz}$ (kip/ft) | $k_{yy}$ (kip/ft) | $k_{xx}$ (kip/ft) |
|------------------|-----------|----------------|----------------|----------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Z-01             | 2         | 41497.8605     | 41926.5354     | 38286.0078     | 6915006.71        | 7116030.85        | 2044953.23        |
| Z-02             | 1         | 80581.5551     | 79868.1228     | 74580.7847     | 10569930.1        | 10238277.6        | 4319983.14        |
| Z-03             | 1         | 72417.0473     | 72341.2919     | 68882.3842     | 6925644.21        | 6309408.17        | 3750376.47        |
| Z-04             | 1         | 73061.0674     | 72945.3453     | 69342.4891     | 7165040.66        | 6558818.3         | 3793998.16        |
| Z-05             | 1         | 67641.2385     | 67669.864      | 65326.3034     | 5328964.14        | 4683478.89        | 3420374.93        |
| Z-06             | 3         | 51413.413      | 39686.9984     | 39199.9714     | 14843219.5        | 10802746.7        | 9126457.13        |
| Z-07             | 1         | 95493.9957     | 93737.6904     | 84467.9359     | 22294417.6        | 23691851.7        | 5143920.14        |
| Z-08             | 2         | 44169.8663     | 44283.8444     | 40039.1362     | 8883668.2         | 9355521.61        | 2213592.2         |
| Z-09             | 1         | 90930.69       | 83464.6998     | 80244.7394     | 11861001.7        | 10300276          | 6501015.23        |
| Z-10             | 1         | 88591.1898     | 78882.8603     | 77702.6864     | 10126638.4        | 7823768.8         | 6735139.98        |
| Z-11             | 1         | 88591.1898     | 78882.8603     | 77702.6864     | 10126638.4        | 7823768.8         | 6735139.98        |
| Z-12             | 1         | 87749.8044     | 76435.3032     | 76362.9133     | 9773269.43        | 6962932.98        | 6901256.73        |

|      |   |            |            |            |            |            |            |
|------|---|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Z-13 | 3 | 34317.1016 | 30950.1521 | 29341.35   | 5935594.89 | 5482404.59 | 2703605.69 |
| Z-14 | 1 | 75729.418  | 76374.0306 | 71479.5949 | 8839946.16 | 8502159.17 | 3817197.01 |
| Z-15 | 1 | 47220.0759 | 52146.1993 | 51149.2733 | 1896668.93 | 1847344.12 | 1722579.58 |
| Z-16 | 1 | 70039.0674 | 75604.8761 | 68621.9734 | 9530958.05 | 9916307.28 | 2768813.24 |
| Z-17 | 1 | 62636.0599 | 68628.9413 | 63461.0572 | 6037745.33 | 6015363.54 | 2427899.81 |
| Z-18 | 1 | 62636.0599 | 68628.9413 | 63461.0572 | 6037745.33 | 6015363.54 | 2427899.81 |
| Z-19 | 1 | 62636.0599 | 68628.9413 | 63461.0572 | 6037745.33 | 6015363.54 | 2427899.81 |
| Z-20 | 1 | 68920.4908 | 74579.5118 | 67862.1885 | 8945922.42 | 9254999.64 | 2718154.88 |
| Z-21 | 1 | 43721.046  | 58069.5985 | 51986.14   | 3371304.13 | 3643866.88 | 1043938.67 |

### 3.9.3.2. Asignación de los coeficientes de rigidez.

Para ello definimos los resortes a través de la opción Point Spring, los cuales serán asignados en cada apoyo de la base de la edificación. Se consideran las rigideces traslacionales y rotacionales calculadas para cada zapata.

**Figura 23**

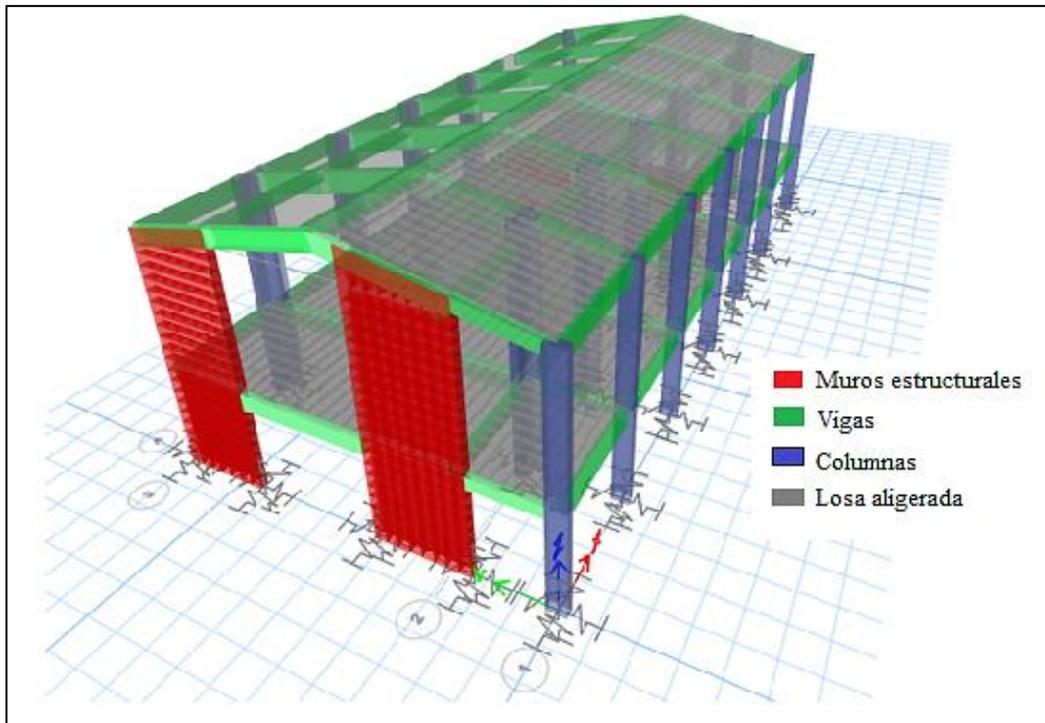
*Asignación de rigideces al elemento spring*

The screenshot shows a software dialog box with the following sections:

- General Data:**
  - Property Name: Z\_01
  - Display Color: Yellow (with a 'Change...' button)
  - Property Notes: (with a 'Modify/Show Notes...' button)
- Spring Stiffness Options:**
  - User Specified/Link Properties
  - Based on Soil Profile and Footing Dimensions
- Simple Spring Stiffness in Global Directions:**
  - Translation X: 56.977 tonf/mm
  - Translation Y: 62.395 tonf/mm
  - Translation Z: 61.757 tonf/mm
  - Rotation about X-Axis: 3043.277 tonf-mm/rad
  - Rotation about Y-Axis: 10589.999 tonf-mm/rad
  - Rotation about Z-Axis: 10290.837 tonf-mm/rad

**Figura 24**

*Vista 3D de la edificación con base flexible*



### 3.9.3.3 Calculo del amortiguamiento debido a la ISE.

- **Amortiguamiento por radiación:**

En la dirección X-X:

Se toma como análisis la zapata N°12 debido a que presenta la mayor rigidez rotacional.

$$Peso\ Total = 2\ 716.049\ kips$$

$$Masa = 84.389\ kips * seg^2 / ft$$

$$Factor\ de\ masa\ participativa = 0.844$$

$$L = 7.38\ ft$$

$$B = 7.30\ ft$$

$$v_s = 516.51\ ft / seg^2$$

$$\tilde{T} = 0.456\ seg$$

$$K_{xx} = 6\ 901\ 256.73\ kips / ft$$

$$K_y = 7\,6435.30 \text{ kips/ft}$$

$$G = 962.23 \text{ kips/ft}^2$$

$$h = 33.79 \text{ ft}$$

$$h^* = 23.65 \text{ ft}$$

$$M^* = 72.906$$

Cálculo de la frecuencia adimensional:

$$a_0 = \frac{2\pi B}{\bar{T} v_s} = 0.196$$

Cálculo de los factores adimensionales:

$$\alpha_{xx} = 1 - \left[ \frac{(0.55 + 0.01\sqrt{(L/B) - 1})a_0^2}{(2.4 - \frac{0.4}{(L/B)^3}) + a_0^2} \right] = 0.732$$

$$\Psi = \sqrt{\frac{2(1 - \nu)}{(1 - 2\nu)}} = 2.5 \leq 2.5$$

Cálculo del periodo de traslación:

$$T_y = 2\pi \sqrt{\frac{M^*}{K_y}} = 0.192$$

Cálculo del periodo de rotación:

$$T_{xx} = 2\pi \sqrt{\frac{M^*(h^*)^2}{\alpha_{xx}K_{xx}}} = 0.558$$

Cálculo del coeficiente de amortiguación traslacional de la cimentación:

$$\beta_y = \left[ \frac{4(L/B)}{(K_y/GB)} \right] \left[ \frac{a_0}{2} \right] = 0.036$$

Cálculo del coeficiente de amortiguación rotacional de la cimentación:

$$\beta_{xx} = \left[ \frac{(4\Psi/3)(L/B)a_0^2}{\left(\frac{K_{xx}}{GB^3}\right) \left[ (2.2 - \frac{0.4}{(L/B)^3}) + a_0^2 \right]} \right] \left[ \frac{a_0}{2\alpha_{xx}} \right] = 0.0005$$

Cálculo del coeficiente efectivo de amortiguación por radiación:

$$\beta_{rd} = \frac{1}{(\tilde{T}/T_y)^2} \beta_y + \frac{1}{(\tilde{T}/T_{xx})^2} \beta_{xx} = 0.007$$

En la dirección Y-Y:

Se toma como análisis la zapata N°08 debido a que presenta la mayor rigidez rotacional.

$$Peso\ Total = 2\ 716.049\ kips$$

$$Masa = 84.389\ kips * seg^2 / ft$$

$$Factor\ de\ masa\ participativa = 0.844$$

$$L = 13.37\ ft$$

$$B = 4.10\ ft$$

$$v_s = 516.51\ ft/seg^2$$

$$\tilde{T} = 0.456\ seg$$

$$K_{xx} = 2\ 213\ 592.20\ kips/ft$$

$$K_y = 44\ 283.84\ kips/ft$$

$$G = 962.23\ kips/ft^2$$

$$h = 33.79\ ft$$

$$h^* = 23.65\ ft$$

$$M^* = 72.906$$

Cálculo de la frecuencia adimensional:

$$a_0 = \frac{2\pi B}{\tilde{T}v_s} = 0.11$$

Cálculo de los factores adimensionales:

$$\alpha_{xx} = 1 - \left[ \frac{(0.55 + 0.01\sqrt{(L/B) - 1})a_0^2}{(2.4 - \frac{0.4}{(L/B)^3}) + a_0^2} \right] = 0.771$$

$$\Psi = \sqrt{\frac{2(1 - \nu)}{(1 - 2\nu)}} = 2.5 \leq 2.5$$

Cálculo del periodo de traslación:

$$T_y = 2\pi \sqrt{\frac{M^*}{K_y}} = 0.252$$

Cálculo del periodo de rotación:

$$T_{xx} = 2\pi \sqrt{\frac{M^*(h^*)^2}{\alpha_{xx}K_{xx}}} = 0.960$$

Cálculo del coeficiente de amortiguación traslacional de la cimentación:

$$\beta_y = \left[ \frac{4(L/B)}{(K_y/GB)} \right] \left[ \frac{a_0}{2} \right] = 0.064$$

Cálculo del coeficiente de amortiguación rotacional de la cimentación:

$$\beta_{xx} = \left[ \frac{(4\Psi/3)(L/B)a_0^2}{\left(\frac{K_{xx}}{GB^3}\right) \left[ (2.2 - \frac{0.4}{(L/B)^3}) + a_0^2 \right]} \right] \left[ \frac{a_0}{2\alpha_{xx}} \right] = 0.0001$$

Cálculo del coeficiente efectivo de amortiguación por radiación:

$$\beta_{rd} = \frac{1}{(\tilde{T}/T_y)^2} \beta_y + \frac{1}{(\tilde{T}/T_{xx})^2} \beta_{xx} = 0.020$$

- **Amortiguamiento efectivo:**

En la dirección X-X:

Como datos tenemos el período de la estructura con base empotrada  $T = 0.306$  y el período de la estructura con base flexible  $\tilde{T} = 0.454$ . La amortiguación histerética del suelo se calcula de acuerdo a la interpolación de la tabla 8-1 del ASCE 7-16,  $\beta_s = 0.08$ . El factor de reducción sísmica para la dirección X-X es  $R = 7$  con una sobre resistencia de  $\Omega = 2.50$ , además se considera un amortiguamiento de la estructura  $\beta = 0.05$  y el valor del amortiguamiento efectivo por radiación calculado previamente que es  $\beta_{rd} = 0.007$ .

Cálculo del coeficiente de amortiguamiento viscoso con ISE:

$$\beta_f = \left[ \frac{(\tilde{T}/T)^2 - 1}{(\tilde{T}/T)^2} \right] \beta_s + \beta_{rd} = 0.0509$$

Cálculo de la ductilidad del sistema:

$$\mu = \frac{R}{\Omega} = 2.80$$

Cálculo de la relación de periodos efectivo:

$$\left( \frac{\tilde{T}}{T} \right)_{eff} = \left\{ 1 + \frac{1}{\mu} \left[ \left( \frac{\tilde{T}}{T} \right)^2 - 1 \right] \right\}^{0.5} = 1.391$$

Cálculo del amortiguamiento efectivo del sistema suelo-estructura:

$$\beta_0 = \beta_f + \frac{\beta}{(\tilde{T}/T)_{eff}^2} = 0.0767 \leq 0.20$$

En la dirección Y-Y:

Como datos tenemos el período de la estructura con base empotrada  $T = 0.306$  y el período de la estructura con base flexible  $\tilde{T} = 0.454$ . La amortiguación histerética del suelo se calcula de acuerdo a la interpolación de la tabla 8-1 del ASCE 7-16,  $\beta_s = 0.08$ . El factor de reducción sísmica para la dirección X-X es  $R = 6$  con una sobre resistencia de  $\Omega = 2.50$ , además se considera un amortiguamiento de la estructura  $\beta = 0.05$  y el valor del amortiguamiento efectivo por radiación calculado previamente que es  $\beta_{rd} = 0.02$ .

Cálculo del coeficiente de amortiguamiento viscoso con ISE:

$$\beta_f = \left[ \frac{(\tilde{T}/T)^2 - 1}{(\tilde{T}/T)^2} \right] \beta_s + \beta_{rd} = 0.0639$$

Cálculo de la ductilidad del sistema:

$$\mu = \frac{R}{\Omega} = 2.40$$

Cálculo de la relación de periodos efectivo:

$$\left( \frac{\check{T}}{T} \right)_{eff} = \left\{ 1 + \frac{1}{\mu} \left[ \left( \frac{\tilde{T}}{T} \right)^2 - 1 \right] \right\}^{0.5} = 1.457$$

Cálculo del amortiguamiento efectivo del sistema suelo-estructura:

$$\beta_0 = \beta_f + \frac{\beta}{\left( \frac{\tilde{T}}{T} \right)_{eff}^2} = 0.0875 \leq 0.20$$

Para cada dirección de análisis de acuerdo al amortiguamiento efectivo calculado, se considerado un factor de reducción para ajustar el espectro de diseño.

En la dirección X-X:

$$B_{SSI} = \frac{4}{[5.6 - \ln(100(\beta_0))]} = 1.1229$$

En la dirección Y-Y:

$$B_{SSI} = \frac{4}{[5.6 - \ln(100(\beta_0))]} = 1.1657$$

### 3.9.3.5. Reducción del espectro de diseño debido a la conexión de la cimentación.

Como primer efecto cinemático que se produce al aplicar la interacción suelo estructura es la modificación del espectro de diseño debido a la conexión que presenta la cimentación.

$$T = 0.2 \text{ seg}$$

$$2B = 57.09 \text{ ft}$$

$$2L = 113.52 \text{ ft}$$

$$A_b = 6\,480.86 \text{ ft}^2$$

Cálculo de la base efectiva:

$$b_e = \sqrt{A_b} = 80.50 \text{ ft}$$

Cálculo del factor  $b_0$ :

$$b_0 = 0.0001 * \left( \frac{2\pi b_e}{T} \right) = 0.25$$

Cálculo del factor  $B_{bsa}$ :

$$B_{bsa} = 1 + b_0^2 + b_0^4 + \frac{b_0^6}{2} + \frac{b_0^8}{4} + \frac{b_0^{10}}{12} = 1.07$$

Cálculo del factor de reducción debido a la conexión de la cimentación:

$$RRS_{bsa} = 0.25 + 0.75 * \left\{ \frac{1}{b_0^2} [1 - (\exp(-2b_0^2)) * B_{bsa}] \right\}^{0.5} = 0.977$$

Generamos el gráfico de reducción debido a la conexión de la cimentación.

**Tabla 6**

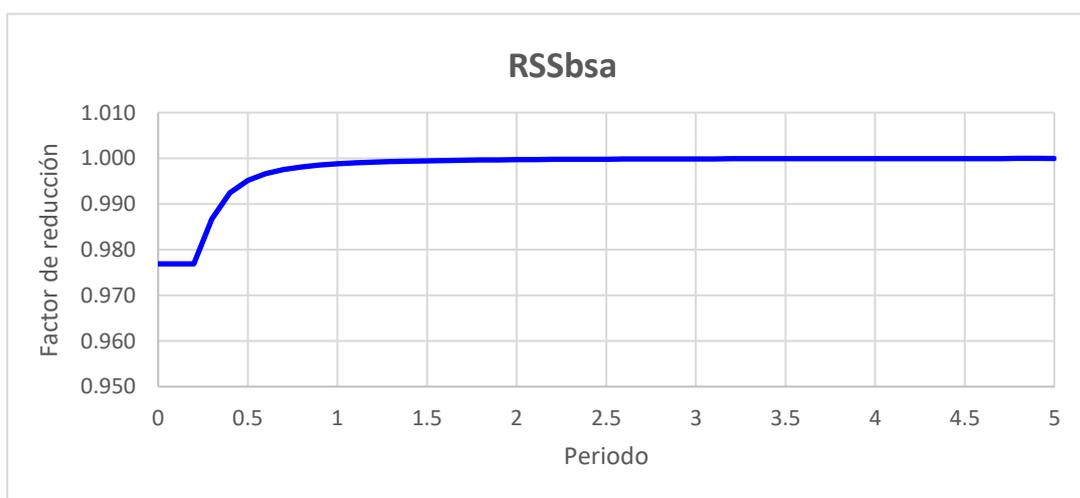
*Valores de  $RRS_{bsa}$  para varios periodos de interés*

| <b>Gráfico <math>RRS_{bsa}</math></b> |                         |                             |                               |
|---------------------------------------|-------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| <b>T(seg)</b>                         | <b><math>b_0</math></b> | <b><math>B_{bsa}</math></b> | <b><math>RRS_{bsa}</math></b> |
| 0                                     | 0.25                    | 1.07                        | 0.977                         |
| 0.1                                   | 0.25                    | 1.07                        | 0.977                         |
| 0.2                                   | 0.25                    | 1.07                        | 0.977                         |
| 0.3                                   | 0.1905                  | 1.0376                      | 0.9867                        |
| 0.4                                   | 0.1429                  | 1.0208                      | 0.9924                        |
| 0.5                                   | 0.1143                  | 1.0132                      | 0.9951                        |
| 0.6                                   | 0.0953                  | 1.0092                      | 0.9966                        |
| 0.7                                   | 0.0817                  | 1.0067                      | 0.9975                        |
| 0.8                                   | 0.0714                  | 1.0051                      | 0.9981                        |
| 0.9                                   | 0.0635                  | 1.0040                      | 0.9985                        |
| 1                                     | 0.0572                  | 1.0033                      | 0.9988                        |
| 1.1                                   | 0.0520                  | 1.0027                      | 0.9990                        |
| 1.2                                   | 0.0476                  | 1.0023                      | 0.9992                        |
| 1.3                                   | 0.0440                  | 1.0019                      | 0.9993                        |
| 1.4                                   | 0.0408                  | 1.0017                      | 0.9994                        |
| 1.5                                   | 0.0381                  | 1.0015                      | 0.9995                        |
| 1.6                                   | 0.0357                  | 1.0013                      | 0.9995                        |
| 1.7                                   | 0.0336                  | 1.0011                      | 0.9996                        |
| 1.8                                   | 0.0318                  | 1.0010                      | 0.9996                        |
| 1.9                                   | 0.0301                  | 1.0009                      | 0.9997                        |
| 2                                     | 0.0286                  | 1.0008                      | 0.9997                        |
| 2.1                                   | 0.0272                  | 1.0007                      | 0.9997                        |
| 2.2                                   | 0.0260                  | 1.0007                      | 0.9997                        |
| 2.3                                   | 0.0249                  | 1.0006                      | 0.9998                        |
| 2.4                                   | 0.0238                  | 1.0006                      | 0.9998                        |
| 2.5                                   | 0.0229                  | 1.0005                      | 0.9998                        |
| 2.6                                   | 0.0220                  | 1.0005                      | 0.9998                        |
| 2.7                                   | 0.0212                  | 1.0004                      | 0.9998                        |
| 2.8                                   | 0.0204                  | 1.0004                      | 0.9998                        |
| 2.9                                   | 0.0197                  | 1.0004                      | 0.9999                        |
| 3                                     | 0.0191                  | 1.0004                      | 0.9999                        |

|     |        |        |        |
|-----|--------|--------|--------|
| 3.1 | 0.0184 | 1.0003 | 0.9999 |
| 3.2 | 0.0179 | 1.0003 | 0.9999 |
| 3.3 | 0.0173 | 1.0003 | 0.9999 |
| 3.4 | 0.0168 | 1.0003 | 0.9999 |
| 3.5 | 0.0163 | 1.0003 | 0.9999 |
| 3.6 | 0.0159 | 1.0003 | 0.9999 |
| 3.7 | 0.0154 | 1.0002 | 0.9999 |
| 3.8 | 0.0150 | 1.0002 | 0.9999 |
| 3.9 | 0.0147 | 1.0002 | 0.9999 |
| 4   | 0.0143 | 1.0002 | 0.9999 |
| 4.1 | 0.0139 | 1.0002 | 0.9999 |
| 4.2 | 0.0136 | 1.0002 | 0.9999 |
| 4.3 | 0.0133 | 1.0002 | 0.9999 |
| 4.4 | 0.0130 | 1.0002 | 0.9999 |
| 4.5 | 0.0127 | 1.0002 | 0.9999 |
| 4.6 | 0.0124 | 1.0002 | 0.9999 |
| 4.7 | 0.0122 | 1.0001 | 0.9999 |
| 4.8 | 0.0119 | 1.0001 | 0.9999 |
| 4.9 | 0.0117 | 1.0001 | 0.9999 |
| 5   | 0.0114 | 1.0001 | 1.0000 |

**Figura 25**

*Factor de reducción debido a la conexión de la cimentación*



### 3.9.3.6. Reducción del espectro de diseño debido a la profundidad de la cimentación.

Como segundo efecto cinemático que se produce al aplicar la interacción suelo estructura es la modificación del espectro de diseño debido a la profundidad de empotramiento de la cimentación.

$$e = 5.75 \text{ ft}$$

$$T = 0.2 \text{ seg}$$

$$v_s = 516.51 \text{ ft/seg}^2$$

Cálculo del factor de reducción debido a la profundidad de la cimentación:

$$RRS_e = 0.25 + 0.75 * \cos\left(\frac{2\pi e}{Tv_s}\right) = 0.955$$

**Tabla 7**

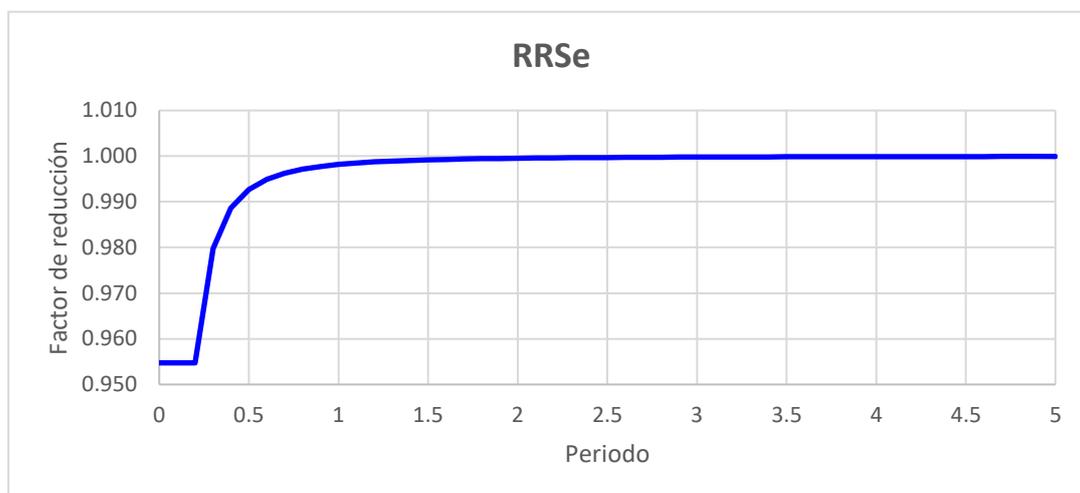
*Valores de  $RRS_s$  para varios periodos de interés*

| <b>Gráfico <math>RRS_s</math></b> |          |                         |                           |
|-----------------------------------|----------|-------------------------|---------------------------|
| <b>T(seg)</b>                     | <b>e</b> | <b><math>v_s</math></b> | <b><math>RRS_e</math></b> |
| 0                                 | 5.74     | 516.51                  | 0.955                     |
| 0.1                               | 5.74     | 516.51                  | 0.955                     |
| 0.2                               | 5.74     | 516.51                  | 0.955                     |
| 0.3                               | 5.74     | 516.51                  | 0.980                     |
| 0.4                               | 5.74     | 516.51                  | 0.989                     |
| 0.5                               | 5.74     | 516.51                  | 0.993                     |
| 0.6                               | 5.74     | 516.51                  | 0.995                     |
| 0.7                               | 5.74     | 516.51                  | 0.996                     |
| 0.8                               | 5.74     | 516.51                  | 0.997                     |
| 0.9                               | 5.74     | 516.51                  | 0.998                     |
| 1                                 | 5.74     | 516.51                  | 0.998                     |
| 1.1                               | 5.74     | 516.51                  | 0.998                     |
| 1.2                               | 5.74     | 516.51                  | 0.999                     |
| 1.3                               | 5.74     | 516.51                  | 0.999                     |
| 1.4                               | 5.74     | 516.51                  | 0.999                     |
| 1.5                               | 5.74     | 516.51                  | 0.999                     |

|     |      |        |       |
|-----|------|--------|-------|
| 1.6 | 5.74 | 516.51 | 0.999 |
| 1.7 | 5.74 | 516.51 | 0.999 |
| 1.8 | 5.74 | 516.51 | 0.999 |
| 1.9 | 5.74 | 516.51 | 0.999 |
| 2   | 5.74 | 516.51 | 1.000 |
| 2.1 | 5.74 | 516.51 | 1.000 |
| 2.2 | 5.74 | 516.51 | 1.000 |
| 2.3 | 5.74 | 516.51 | 1.000 |
| 2.4 | 5.74 | 516.51 | 1.000 |
| 2.5 | 5.74 | 516.51 | 1.000 |
| 2.6 | 5.74 | 516.51 | 1.000 |
| 2.7 | 5.74 | 516.51 | 1.000 |
| 2.8 | 5.74 | 516.51 | 1.000 |
| 2.9 | 5.74 | 516.51 | 1.000 |
| 3   | 5.74 | 516.51 | 1.000 |
| 3.1 | 5.74 | 516.51 | 1.000 |
| 3.2 | 5.74 | 516.51 | 1.000 |
| 3.3 | 5.74 | 516.51 | 1.000 |
| 3.4 | 5.74 | 516.51 | 1.000 |
| 3.5 | 5.74 | 516.51 | 1.000 |
| 3.6 | 5.74 | 516.51 | 1.000 |
| 3.7 | 5.74 | 516.51 | 1.000 |
| 3.8 | 5.74 | 516.51 | 1.000 |
| 3.9 | 5.74 | 516.51 | 1.000 |
| 4   | 5.74 | 516.51 | 1.000 |
| 4.1 | 5.74 | 516.51 | 1.000 |
| 4.2 | 5.74 | 516.51 | 1.000 |
| 4.3 | 5.74 | 516.51 | 1.000 |
| 4.4 | 5.74 | 516.51 | 1.000 |
| 4.5 | 5.74 | 516.51 | 1.000 |
| 4.6 | 5.74 | 516.51 | 1.000 |
| 4.7 | 5.74 | 516.51 | 1.000 |
| 4.8 | 5.74 | 516.51 | 1.000 |
| 4.9 | 5.74 | 516.51 | 1.000 |
| 5   | 5.74 | 516.51 | 1.000 |

**Figura 26**

*Factor de reducción debido a la profundidad de la cimentación*



**3.9.3.7. Espectro de diseño reducido debido a la interacción suelo estructura.**

Considerando los factores de reducción debido al amortiguamiento, a la conexión de la cimentación y a la profundidad de la cimentación se grafica el espectro de diseño que se utilizará para realizar el análisis dinámico en ambas direcciones de la edificación.

**Espectro de Diseño en la dirección X-X:**

**Tabla 8**

*Espectro de diseño reducido por ISE en X-X*

| <b>T</b> | <b>C</b> | <b>Sa/g</b> | <b>Sa/g*RRS</b> | <b>Sa/g*RRS/B</b> |
|----------|----------|-------------|-----------------|-------------------|
| 0        | 2.500    | 0.1607      | 0.1499          | 0.1335            |
| 0.1      | 2.500    | 0.1607      | 0.1499          | 0.1335            |
| 0.2      | 2.500    | 0.1607      | 0.1499          | 0.1335            |
| 0.3      | 2.500    | 0.1607      | 0.1538          | 0.1370            |
| 0.4      | 2.500    | 0.1607      | 0.1552          | 0.1382            |
| 0.5      | 2.500    | 0.1607      | 0.1559          | 0.1388            |
| 0.6      | 2.500    | 0.1607      | 0.1562          | 0.1391            |
| 0.7      | 2.143    | 0.1378      | 0.1341          | 0.1194            |
| 0.8      | 1.875    | 0.1205      | 0.1174          | 0.1046            |
| 0.9      | 1.667    | 0.1071      | 0.1044          | 0.0930            |
| 1        | 1.500    | 0.0964      | 0.0940          | 0.0837            |

|     |       |        |        |        |
|-----|-------|--------|--------|--------|
| 1.1 | 1.364 | 0.0877 | 0.0855 | 0.0761 |
| 1.2 | 1.250 | 0.0804 | 0.0784 | 0.0698 |
| 1.3 | 1.154 | 0.0742 | 0.0724 | 0.0645 |
| 1.4 | 1.071 | 0.0689 | 0.0672 | 0.0599 |
| 1.5 | 1.000 | 0.0643 | 0.0627 | 0.0559 |
| 1.6 | 0.938 | 0.0603 | 0.0588 | 0.0524 |
| 1.7 | 0.882 | 0.0567 | 0.0554 | 0.0493 |
| 1.8 | 0.833 | 0.0536 | 0.0523 | 0.0466 |
| 1.9 | 0.789 | 0.0508 | 0.0496 | 0.0441 |
| 2   | 0.750 | 0.0482 | 0.0471 | 0.0419 |
| 2.1 | 0.680 | 0.0437 | 0.0427 | 0.0380 |
| 2.2 | 0.620 | 0.0398 | 0.0389 | 0.0347 |
| 2.3 | 0.567 | 0.0365 | 0.0356 | 0.0317 |
| 2.4 | 0.521 | 0.0335 | 0.0327 | 0.0291 |
| 2.5 | 0.480 | 0.0309 | 0.0301 | 0.0268 |
| 2.6 | 0.444 | 0.0285 | 0.0279 | 0.0248 |
| 2.7 | 0.412 | 0.0265 | 0.0258 | 0.0230 |
| 2.8 | 0.383 | 0.0246 | 0.0240 | 0.0214 |
| 2.9 | 0.357 | 0.0229 | 0.0224 | 0.0199 |
| 3   | 0.333 | 0.0214 | 0.0209 | 0.0186 |
| 4   | 0.188 | 0.0121 | 0.0118 | 0.0105 |
| 6   | 0.083 | 0.0054 | 0.0052 | 0.0047 |
| 8   | 0.047 | 0.0030 | 0.0029 | 0.0026 |
| 10  | 0.030 | 0.0019 | 0.0019 | 0.0017 |

**Espectro de Diseño en la dirección Y-Y:**

**Tabla 9**

*Espectro de diseño reducido por ISE en Y-Y*

| <b>T</b>   | <b>C</b> | <b>Sa/g</b> | <b>Sa/g*RRS</b> | <b>Sa/g*RRS/B</b> |
|------------|----------|-------------|-----------------|-------------------|
| <b>0</b>   | 2.500    | 0.1875      | 0.1749          | 0.1500            |
| <b>0.1</b> | 2.500    | 0.1875      | 0.1749          | 0.1500            |
| <b>0.2</b> | 2.500    | 0.1875      | 0.1749          | 0.1500            |
| <b>0.3</b> | 2.500    | 0.1875      | 0.1795          | 0.1540            |
| <b>0.4</b> | 2.500    | 0.1875      | 0.1811          | 0.1553            |
| <b>0.5</b> | 2.500    | 0.1875      | 0.1818          | 0.1560            |

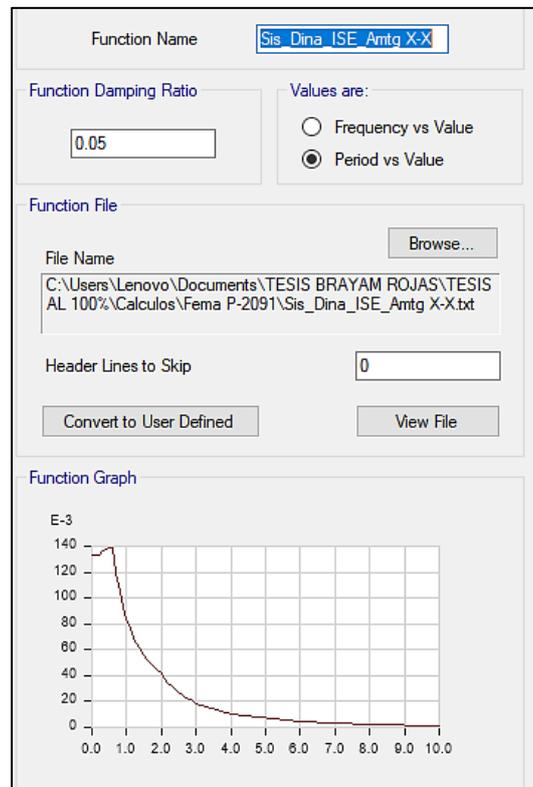
|            |       |        |        |        |
|------------|-------|--------|--------|--------|
| <b>0.6</b> | 2.500 | 0.1875 | 0.1822 | 0.1563 |
| <b>0.7</b> | 2.143 | 0.1607 | 0.1564 | 0.1342 |
| <b>0.8</b> | 1.875 | 0.1406 | 0.1370 | 0.1175 |
| <b>0.9</b> | 1.667 | 0.1250 | 0.1218 | 0.1045 |
| <b>1</b>   | 1.500 | 0.1125 | 0.1097 | 0.0941 |
| <b>1.1</b> | 1.364 | 0.1023 | 0.0998 | 0.0856 |
| <b>1.2</b> | 1.250 | 0.0938 | 0.0915 | 0.0785 |
| <b>1.3</b> | 1.154 | 0.0865 | 0.0844 | 0.0724 |
| <b>1.4</b> | 1.071 | 0.0804 | 0.0784 | 0.0673 |
| <b>1.5</b> | 1.000 | 0.0750 | 0.0732 | 0.0628 |
| <b>1.6</b> | 0.938 | 0.0703 | 0.0686 | 0.0589 |
| <b>1.7</b> | 0.882 | 0.0662 | 0.0646 | 0.0554 |
| <b>1.8</b> | 0.833 | 0.0625 | 0.0610 | 0.0523 |
| <b>1.9</b> | 0.789 | 0.0592 | 0.0578 | 0.0496 |
| <b>2</b>   | 0.750 | 0.0563 | 0.0549 | 0.0471 |
| <b>2.1</b> | 0.680 | 0.0510 | 0.0498 | 0.0427 |
| <b>2.2</b> | 0.620 | 0.0465 | 0.0454 | 0.0389 |
| <b>2.3</b> | 0.567 | 0.0425 | 0.0415 | 0.0356 |
| <b>2.4</b> | 0.521 | 0.0391 | 0.0381 | 0.0327 |
| <b>2.5</b> | 0.480 | 0.0360 | 0.0352 | 0.0302 |
| <b>2.6</b> | 0.444 | 0.0333 | 0.0325 | 0.0279 |
| <b>2.7</b> | 0.412 | 0.0309 | 0.0301 | 0.0259 |
| <b>2.8</b> | 0.383 | 0.0287 | 0.0280 | 0.0240 |
| <b>2.9</b> | 0.357 | 0.0268 | 0.0261 | 0.0224 |
| <b>3</b>   | 0.333 | 0.0250 | 0.0244 | 0.0209 |
| <b>4</b>   | 0.188 | 0.0141 | 0.0137 | 0.0118 |
| <b>6</b>   | 0.083 | 0.0063 | 0.0061 | 0.0052 |
| <b>8</b>   | 0.047 | 0.0035 | 0.0034 | 0.0029 |
| <b>10</b>  | 0.030 | 0.0023 | 0.0022 | 0.0019 |

Asignamos los espectros de diseño calculado para cada dirección de análisis al programa

Etabs v.19.

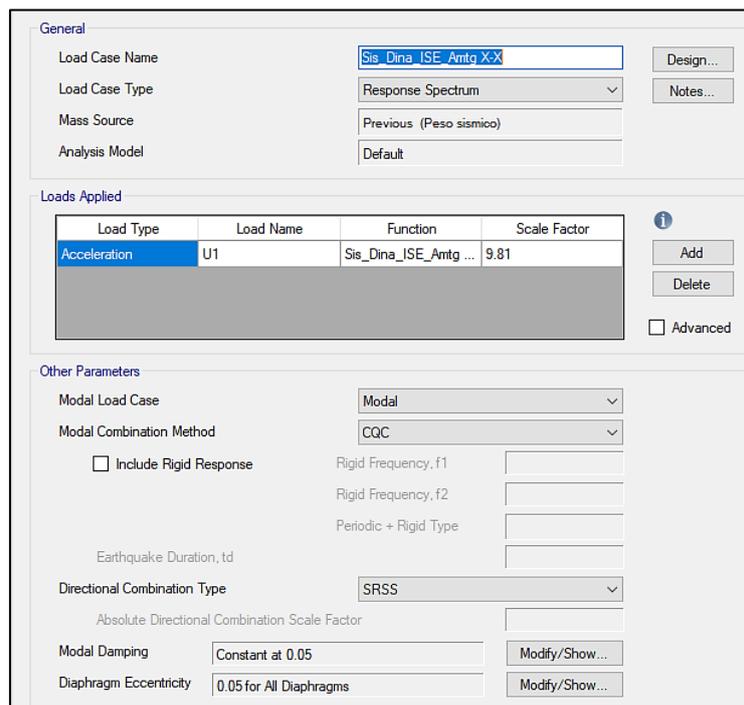
**Figura 27**

*Espectro de diseño reducido en X-X*



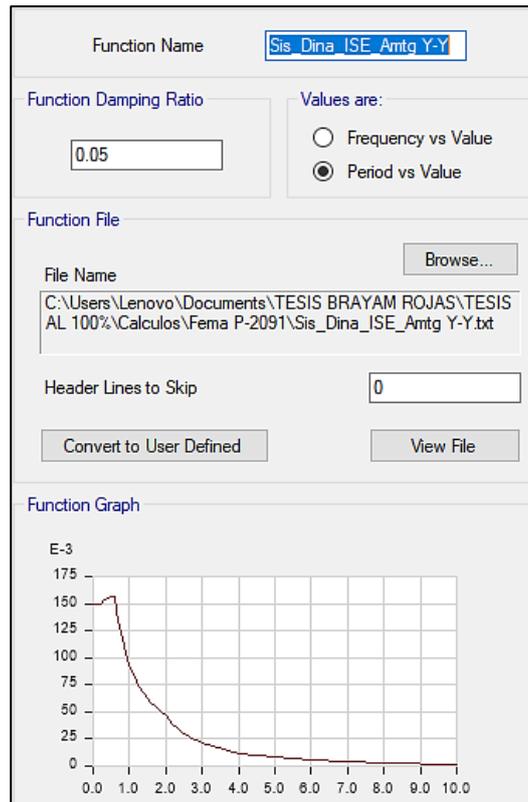
**Figura 28**

*Creación del caso response spectrum reducido en X-X*



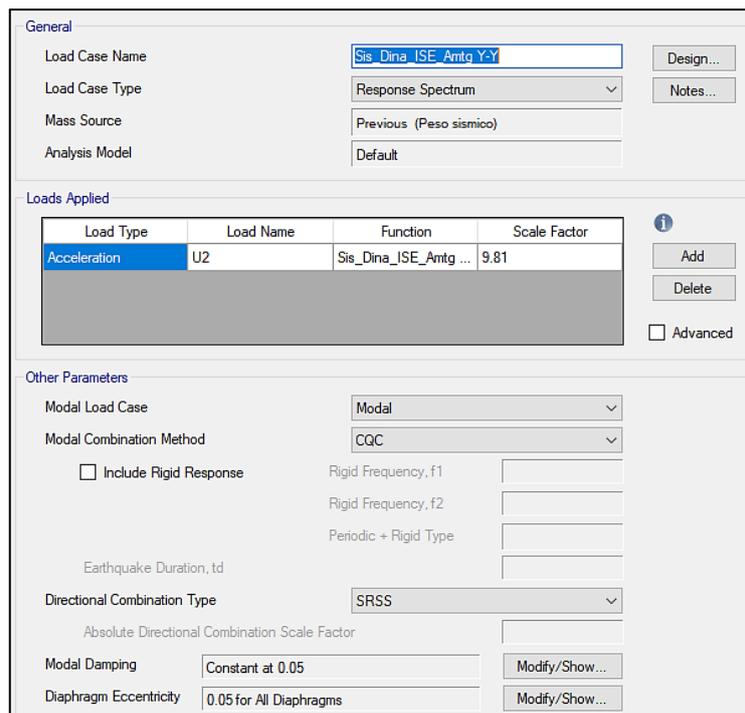
**Figura 29**

*Espectro de diseño reducido en Y-Y*



**Figura 30**

*Creación del caso response spectrum reducido en Y-Y*



### 3.10. Presentación de resultados

#### 3.10.1. Periodos de la estructura

Del análisis modal se obtuvieron los siguientes resultados de periodos de vibración considerando el modelo idealizado de base empotrada y el modelo de base flexible.

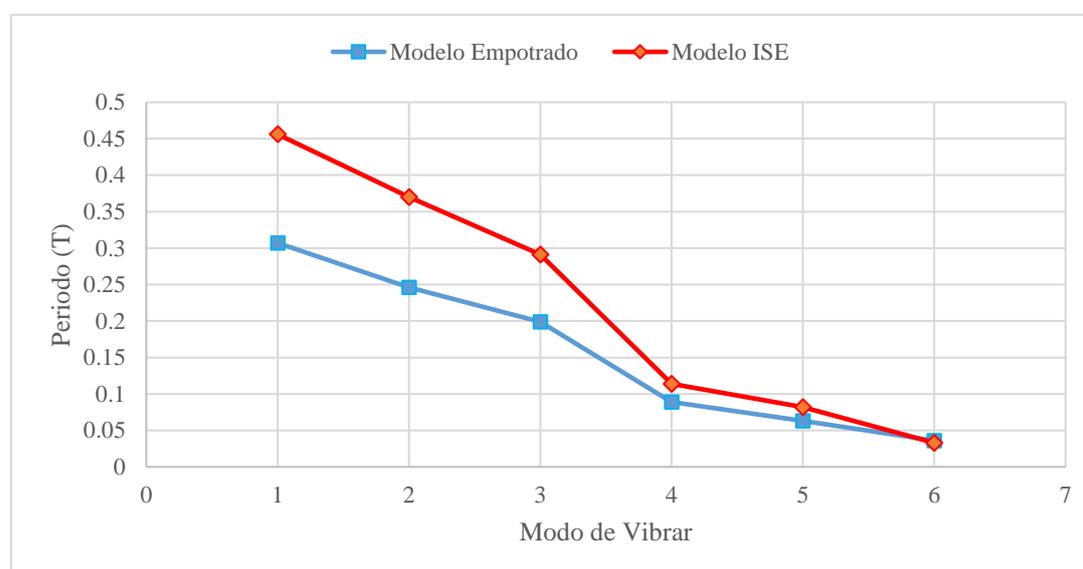
**Tabla 10**

*Periodos de vibración*

| Modo | Modelo - Base empotrada | Modelo - Base flexible | Variación |
|------|-------------------------|------------------------|-----------|
| 1    | 0.306                   | 0.454                  | 48.37%    |
| 2    | 0.246                   | 0.369                  | 50.00%    |
| 3    | 0.199                   | 0.290                  | 45.73%    |
| 4    | 0.087                   | 0.113                  | 29.89%    |
| 5    | 0.062                   | 0.081                  | 30.65%    |
| 6    | 0.037                   | 0.033                  | -10.81%   |

**Figura 31**

*Comparación de periodos de vibración*



#### 3.10.2. Desplazamiento de entrepiso

Los desplazamientos obtenidos de la edificación se muestran en la tabla 12 y 13 para el análisis estático en la dirección X-X e Y-Y.

- **Análisis estático**

**Tabla 11**

*Desplazamientos (cm) de entrepiso en la dirección X-X-Sis\_Esta*

| Nivel | Dirección X-X           |                        | Variación |
|-------|-------------------------|------------------------|-----------|
|       | Modelo - Base empotrada | Modelo - Base flexible |           |
| 2     | 6.059                   | 12.305                 | 103.09%   |
| 1     | 1.97                    | 6.166                  | 212.99%   |
| Base  | 0                       | 0                      | 0.00      |

**Tabla 12**

*Desplazamientos (cm) de entrepiso en la dirección Y-Y-Sis\_Esta*

| Nivel | Dirección Y-Y           |                        | Variación |
|-------|-------------------------|------------------------|-----------|
|       | Modelo - Base empotrada | Modelo - Base flexible |           |
| 2     | 4.786                   | 10.767                 | 124.97%   |
| 1     | 1.512                   | 4.721                  | 212.24%   |
| Base  | 0                       | 0                      | 0.00      |

Los desplazamientos obtenidos de la edificación se muestran en la tabla 14 y 15 para el análisis dinámico en la dirección X-X e Y-Y.

- **Análisis dinámico**

**Tabla 13**

*Desplazamientos de entrepiso (cm) en la dirección X-X-Sis\_Dina*

| Nivel | Dirección X-X           |                        | Variación |
|-------|-------------------------|------------------------|-----------|
|       | Modelo - Base empotrada | Modelo - Base flexible |           |
| 2     | 5.207                   | 9.53                   | 83.02%    |
| 1     | 1.642                   | 4.782                  | 191.23%   |
| Base  | 0                       | 0                      | 0.00      |

**Tabla 14***Desplazamientos (cm) de entrepiso en la dirección Y-Y-Sis\_Dina*

| Nivel | Dirección Y-Y           |                        |           |
|-------|-------------------------|------------------------|-----------|
|       | Modelo - Base empotrada | Modelo - Base flexible | Variación |
| 2     | 4.297                   | 8.459                  | 96.86%    |
| 1     | 1.328                   | 3.69                   | 177.86%   |
| Base  | 0                       | 0                      | 0.00      |

**3.10.3. Derivas de entrepiso**

Las derivas inelásticas se muestran en la tabla 16 y 17 para el análisis estático en la dirección X-X e Y-Y.

- **Análisis estático**

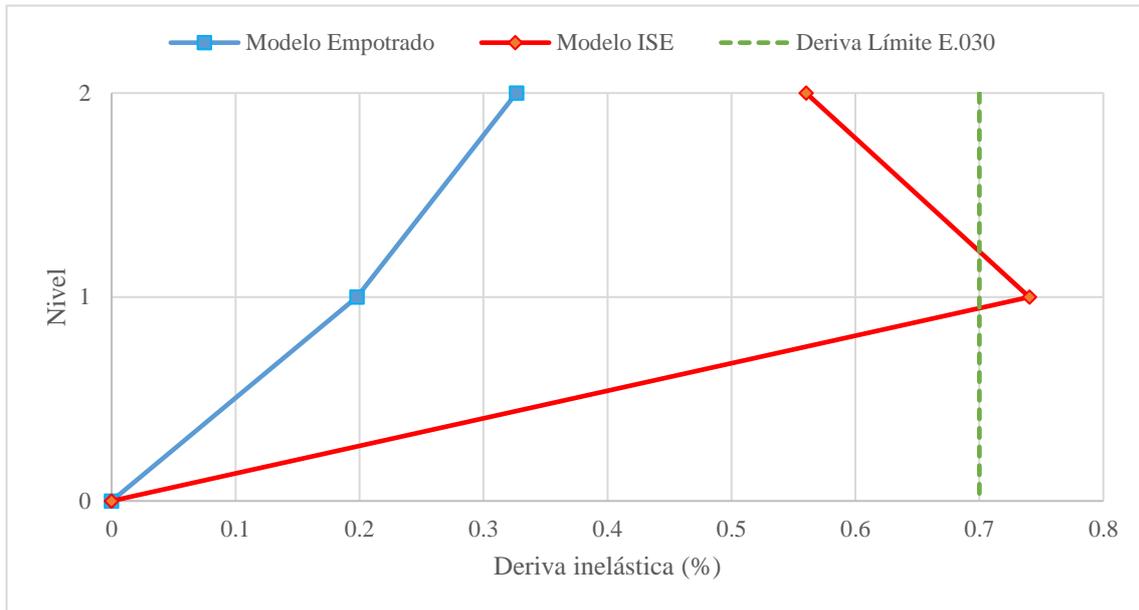
**Tabla 15***Derivas de entrepiso en la dirección X-X-Sis\_Esta*

| Nivel | Modelo - Base empotrada |                  | Modelo - Base flexible |                  | Variación |
|-------|-------------------------|------------------|------------------------|------------------|-----------|
|       | Derivas Inelásticas     | $\Delta < 0.007$ | Derivas Inelásticas    | $\Delta < 0.007$ |           |
| 2     | 0.0037                  | CUMPLE           | 0.0055                 | CUMPLE           | 50.07%    |
| 1     | 0.0023                  | CUMPLE           | 0.0073                 | NO CUMPLE        | 212.19%   |

En la figura 33 se visualiza las derivas para el análisis sísmico estático en la dirección X-X.

**Figura 32**

*Control de derivas: Sis\_Esta\_X*



**Tabla 16**

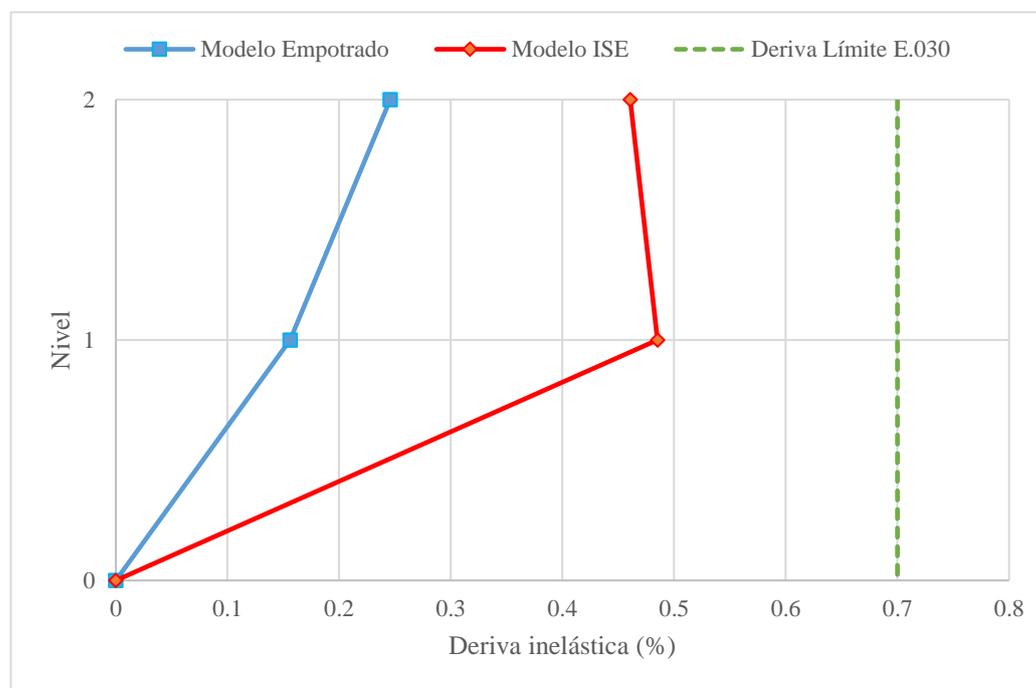
*Derivas de entrepiso en la dirección Y-Y-Sis\_Esta*

| Nivel | Modelo - Base empotrada |                  | Modelo - Base flexible |                  | Variación |
|-------|-------------------------|------------------|------------------------|------------------|-----------|
|       | Derivas Inelásticas     | $\Delta < 0.007$ | Derivas Inelásticas    | $\Delta < 0.007$ |           |
| 2     | 0.0024                  | CUMPLE           | 0.0045                 | CUMPLE           | 87.01%    |
| 1     | 0.0015                  | CUMPLE           | 0.0048                 | CUMPLE           | 211.18%   |

En la figura 34 se visualiza las derivas para el análisis sísmico estático en la dirección Y-Y.

**Figura 33**

*Control de derivas: Sis\_Esta\_Y*



Las derivas inelásticas se muestran en la tabla 18 y 19 para el análisis dinámico en la dirección X-X e Y-Y.

- **Análisis dinámico**

**Tabla 17**

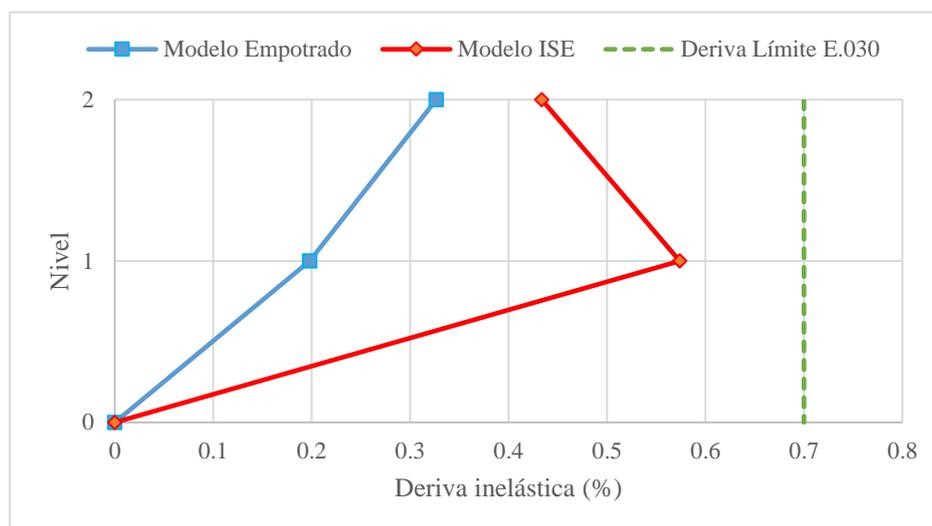
*Derivas de entrepiso en la dirección X-X-Sis\_Dina*

| Nivel | Modelo - Base empotrada |                  | Modelo - Base flexible |                  | Variación |
|-------|-------------------------|------------------|------------------------|------------------|-----------|
|       | Derivas Inelásticas     | $\Delta < 0.007$ | Derivas Inelásticas    | $\Delta < 0.007$ |           |
| 2     | 0.0032                  | CUMPLE           | 0.0043                 | CUMPLE           | 32.79%    |
| 1     | 0.0019                  | CUMPLE           | 0.0056                 | CUMPLE           | 190.51%   |

En la figura 35 se visualiza las derivas para el análisis sísmico dinámico en la dirección X-X.

**Figura 34**

*Control de derivas: Sis\_Din\_X*



**Tabla 18**

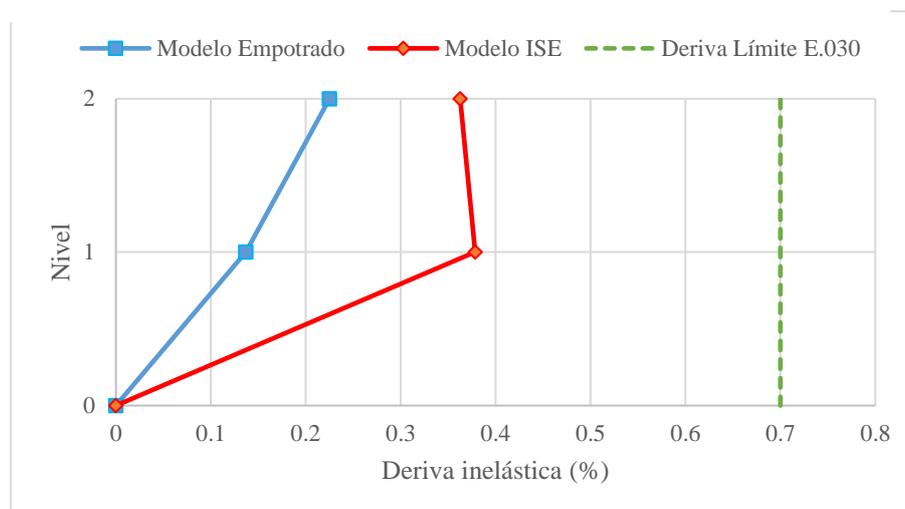
*Derivas de entrepiso en la dirección Y-Y-Sis\_Dina*

| Nivel | Modelo - Base empotrada |                  | Modelo - Base flexible |                  | Variación |
|-------|-------------------------|------------------|------------------------|------------------|-----------|
|       | Derivas Inelásticas     | $\Delta < 0.007$ | Derivas Inelásticas    | $\Delta < 0.007$ |           |
| 2     | 0.0022                  | CUMPLE           | 0.0036                 | CUMPLE           | 60.93%    |
| 1     | 0.0013                  | CUMPLE           | 0.0037                 | CUMPLE           | 177.52%   |

En la figura 36 se visualiza las derivas para el análisis sísmico dinámico en la dirección Y-Y.

**Figura 35**

*Control de derivas: Sis\_Din\_Y*



#### 3.10.4. Peso total de la estructura

El peso total de la estructura es de 1232.00 Tn.

**Tabla 19**

*Peso total de la estructura*

| Nivel      | Peso (tn) |
|------------|-----------|
| 2          | 550.07    |
| 1          | 681.93    |
| Peso Total | 1232.00   |

#### 3.10.5. Fuerzas internas

Para la evaluación de las fuerzas internas se tomó como muestra la columna en forma de T con código PL-01 ubicada entre los ejes E-1 y E-B, además el muro de concreto armado PL-03 ubicado entre los ejes E-1 y E-A. Se evaluaron las fuerzas axiales, cortantes y momentos para el análisis estático y análisis dinámico en ambas direcciones.

En la tabla 20 y 21 se muestran los resultados obtenidos para las fuerzas internas de la columna PL-01, para el análisis sísmico estático y dinámico.

- **Análisis estático**

**Tabla 20**

*Fuerzas internas para sismo estático “PL-01”*

| <b>Dirección</b> | <b>Fuerzas Internas (Tn)</b> | <b>Modelo Empotrado</b> | <b>Modelo ISE</b> | <b>Diferencia</b> | <b>Variación</b> |
|------------------|------------------------------|-------------------------|-------------------|-------------------|------------------|
| X-X              | Fuerza Axial                 | 7.53                    | 11.38             | 3.85              | 33.83%           |
|                  | Fuerza Cortante              | 14.68                   | 10.39             | -4.29             | -41.29%          |
|                  | Momento (Tn.m)               | 54.57                   | 37.14             | -17.43            | -46.93%          |
| Y-Y              | Fuerza Axial                 | 5.07                    | 9.45              | 4.38              | 46.35%           |
|                  | Fuerza Cortante              | 3.16                    | 1.18              | -1.98             | -167.80%         |
|                  | Momento (Tn.m)               | 12.70                   | 3.87              | -8.83             | -228.17%         |

- **Análisis dinámico**

**Tabla 21**

*Fuerzas internas para sismo dinámico “PL-01”*

| <b>Dirección</b> | <b>Fuerzas Internas (Tn)</b> | <b>Modelo Empotrado</b> | <b>Modelo ISE</b> | <b>Diferencia</b> | <b>Variación</b> |
|------------------|------------------------------|-------------------------|-------------------|-------------------|------------------|
| X-X              | Fuerza Axial                 | 6.25                    | 8.36              | 2.11              | 25.24%           |
|                  | Fuerza Cortante              | 11.64                   | 7.94              | -3.70             | -46.60%          |
|                  | Momento (Tn.m)               | 43.09                   | 28.16             | -14.93            | -53.02%          |
| Y-Y              | Fuerza Axial                 | 4.49                    | 7.14              | 2.65              | 37.11%           |
|                  | Fuerza Cortante              | 1.47                    | 1.51              | 0.04              | 2.65%            |
|                  | Momento (Tn.m)               | 5.58                    | 4.08              | -1.50             | -36.76%          |

En la tabla 22 y 23 se muestran los resultados obtenidos para las fuerzas internas del muro PL-02, para el análisis sísmico estático y dinámico.

- **Análisis estático**

**Tabla 22***Fuerzas internas para sismo estático "PL-02"*

| Dirección | Fuerzas Internas (Tn) | Modelo Empotrado | Modelo ISE | Diferencia | Variación |
|-----------|-----------------------|------------------|------------|------------|-----------|
| X-X       | Fuerza Axial          | 9.35             | 14.72      | 5.37       | 36.48%    |
|           | Fuerza Cortante       | 1.62             | 2.53       | 0.91       | 35.97%    |
|           | Momento (Tn.m)        | 11.26            | 8.80       | -2.46      | -27.95%   |
| Y-Y       | Fuerza Axial          | 7.36             | 9.85       | 2.49       | 25.28%    |
|           | Fuerza Cortante       | 30.62            | 34.22      | 3.60       | 10.52%    |
|           | Momento (Tn.m)        | 219.67           | 179.77     | -39.90     | -22.20%   |

- **Análisis dinámico**

**Tabla 23***Fuerzas internas para sismo dinámico "PL-02"*

| Dirección | Fuerzas Internas (Tn) | Modelo Empotrado | Modelo ISE | Diferencia | Variación |
|-----------|-----------------------|------------------|------------|------------|-----------|
| X-X       | Fuerza Axial          | 8.02             | 11.00      | 2.98       | 27.09%    |
|           | Fuerza Cortante       | 3.11             | 3.67       | 0.56       | 15.26%    |
|           | Momento (Tn.m)        | 30.91            | 22.82      | -8.09      | -35.45%   |
| Y-Y       | Fuerza Axial          | 6.58             | 7.18       | 0.60       | 8.36%     |
|           | Fuerza Cortante       | 22.92            | 20.68      | -2.24      | -10.83%   |
|           | Momento (Tn.m)        | 163.41           | 107.56     | -55.85     | -51.92%   |

**3.10.6. Fuerzas cortantes**

Las fuerzas cortantes que se obtuvieron para ambos modelos, se presentan en la tabla 24 y 25 para el análisis sísmico dinámico en la dirección X-X e Y-Y.

- **Análisis dinámico**

**Tabla 24***Fuerzas cortantes Sis\_Din\_X*

| Nivel | Fuerza Cortante (Tn)    |                        |           |
|-------|-------------------------|------------------------|-----------|
|       | Modelo - Base empotrada | Modelo - Base flexible | Variación |
| 2     | 109.60                  | 93.05                  | -15.10%   |
| 1     | 158.52                  | 150.57                 | -5.02%    |

**Tabla 25**

*Fuerzas cortantes Sis\_Din\_Y*

| Nivel | Fuerza Cortante (Tn)    |                        |           |
|-------|-------------------------|------------------------|-----------|
|       | Modelo - Base empotrada | Modelo - Base flexible | Variación |
| 2     | 128.73                  | 102.55                 | -20.33%   |
| 1     | 185.27                  | 157.85                 | -14.80%   |

### 3.10.7. Reacciones en la base

**Tabla 26**

*Comparación de las reacciones en la base*

| Caso de Análisis                 | Reacciones en la base (Tn) |         |       |         |         |         |
|----------------------------------|----------------------------|---------|-------|---------|---------|---------|
|                                  | FX                         | FY      | FZ    | MX      | MY      | MZ      |
| <b>Modelo Empotrado</b>          |                            |         |       |         |         |         |
| Sis_Din_X                        | 158.59                     | 11.02   | 0.00  | 86.25   | 1340.98 | 1029.53 |
| Sis_Din_Y                        | 11.78                      | 185.41  | 0.00  | 1567.10 | 98.01   | 3180.21 |
| <b>Modelo ISE</b>                |                            |         |       |         |         |         |
| Sis_Din_ISE_X                    | 150.83                     | 14.88   | 0.00  | 117.41  | 1223.83 | 958.66  |
| Sis_Din_ISE_Y                    | 15.66                      | 159.64  | 0.00  | 1307.46 | 125.96  | 2917.84 |
| <b>Comparación de Resultados</b> |                            |         |       |         |         |         |
| Sismo en X                       |                            |         |       |         |         |         |
| Variación (%)                    | -4.90%                     | 35.05%  | 0.00% | 36.12%  | -8.74%  | -6.88%  |
| Sismo en Y                       |                            |         |       |         |         |         |
| Variación (%)                    | 32.94%                     | -13.90% | 0.00% | -16.57% | 28.52%  | -8.25%  |

## CAPITULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 4.1. Análisis y discusión

Luego de haber obtenido los resultados de los periodos, desplazamientos, derivas de entrepiso, fuerzas internas en elementos estructurales y reacciones en la base, se procede a discutir los valores mismos.

- **Periodo fundamental.**

De acuerdo a la tabla 10 se observa que el periodo fundamental de la estructura considerando una base empotrada es de 0.306 seg, mientras que el periodo fundamental considerando una base flexible es de 0.454 seg, con una diferencia de 0.148 seg. Aumentado en un 48.37%, asimismo se observa que en el modo número 2, 3, 4, 5 y 6 se presenta una variación del 50.00%, 45.73% y 29.89%, 30.65% y -10.81% respectivamente.

- **Derivas de entrepiso para el sismo estático.**

En la dirección X-X, de acuerdo a la tabla 16 se observan las derivas correspondientes para el sismo estático, donde al considerar la interacción suelo estructuras, las derivas aumentan en un 212.19% para el primer nivel y 50.07% en el segundo nivel, superando el límite de distorsión máximo permitido por la norma E.030-2018, con una deriva máxima de 0.0073 para el modelo ISE y 0.0023 para el modelo empotrado.

En la dirección Y-Y, de acuerdo a la tabla 17 se observan las derivas correspondientes para el sismo estático, las cuales han aumentado en un 211.18% en el primer nivel y 87.01% en el segundo nivel; teniendo una deriva máxima de 0.0048 para el modelo ISE y 0.0024 para el modelo empotrado.

- **Derivas de entrepiso para el sismo dinámico.**

En la dirección X-X, de acuerdo a la tabla 18 se observan las derivas correspondientes para el sismo dinámico, teniendo una deriva máxima de 0.0056 para el modelo ISE y 0.0032 para el modelo empotrado, aumentando en un 190.51% y 32.79% para el nivel 1 y 2 respectivamente.

En la dirección Y-Y, de acuerdo a la tabla 19 se observan las derivas correspondientes para el sismo dinámico, teniendo una deriva máxima de 0.0037 para el modelo ISE y 0.0022 para el modelo empotrado, aumentando en un 177.52% y 60.93% para el nivel 1 y 2 respectivamente.

- **Fuerzas internas de columnas PL-01.**

Para el sismo estático, se compararon los resultados de las fuerzas axiales, cortantes y momentos, obteniendo la diferencia y variación con relación al modelo de interacción suelo estructura. De acuerdo a la tabla 20, en la dirección X-X, la fuerza axial aumenta en un 33.83%, la fuerza cortante disminuye en 41.29% y el momento también se reduce en 46.93%.

Para el sismo dinámico, se compararon los resultados de las fuerzas axiales, cortantes y momentos, obteniendo la diferencia y variación con relación al modelo de interacción suelo estructura. De acuerdo a la tabla 21, en la dirección X-X, la fuerza axial aumenta en un 25.24%, la fuerza cortante disminuye en 46.60% y el momento también se reduce en 53.02%.

- **Fuerzas internas de muro de concreto armado PL-02.**

Para el sismo estático, se compararon los resultados de las fuerzas axiales, cortantes y momentos, obteniendo la diferencia y variación con relación al modelo de interacción

suelo estructura. De acuerdo a la tabla 22, en la dirección X-X, la fuerza axial aumenta en un 36.48%, la fuerza cortante aumenta en 35.97% y el momento se reduce en 27.95%.

Para el sismo dinámico, se compararon los resultados de las fuerzas axiales, cortantes y momentos, obteniendo la diferencia y variación con relación al modelo de interacción suelo estructura. De acuerdo a la tabla 23, en la dirección Y-Y, la fuerza axial aumenta en un 8.36%, la fuerza cortante disminuye en 10.83% y el momento también se reduce en 51.92%.

- **Fuerzas cortantes**

En la dirección X-X, según la tabla 24, se observa que la fuerza cortante disminuye en 5.02% y 15.10% para el nivel 1 y 2 respectivamente.

En la dirección Y-Y, según la tabla 25, se observa que la fuerza cortante disminuye en 14.80% y 20.33% para el nivel 1 y 2 respectivamente.

- **Reacciones en la base de la estructura**

Se compararon fuerzas de las reacciones en la base, obteniendo las variaciones con respecto al modelo de interacción suelo estructura.

Al analizar las reacciones de la base considerando el modelo de base rígida se obtuvieron algunos aumentos en fuerzas y momentos con respecto al modelo de base flexible, la fuerza en la dirección X disminuyó en 4.87%, la fuerza en la dirección Y aumento en 35.51%, el momento con respecto a X aumento en 35.91% y los momentos con respecto a Y y Z disminuyeron en 8.71 y 6.88% respectivamente.

Al considerar el sismo en Y, la fuerza con respecto a X aumento en 32.94%, la fuerza en la dirección Y disminuyó en 13.90%, el momento con respecto a X disminuyó en 16.57%, el

momento con respecto a Y aumento en 28.52% y el momento con respecto a Z disminuyeron en 8.25%.

#### **4.2. Contrastación de la hipótesis**

Se tiene que la hipótesis planteada: “El comportamiento estructural del Instituto de Educación Superior Tecnológico 4 de junio de 1821, presentará un aumento de 10% en los periodos de vibración, desplazamiento, derivas, fuerzas internas de los elementos estructurales y fuerzas cortante, al comparar el modelo tradicional de base rígida establecido en la norma E.030-2018 con el modelo de base flexible propuesto por la metodología de interacción suelo estructura del FEMA P-2091”, se cumple en su totalidad, puesto que al realizar el análisis correspondiente se obtuvieron variaciones mayores al 10% en los valores de los periodos de vibración, desplazamientos, derivas de entrepiso, fuerzas de entrepiso y las fuerzas internas de elementos estructurales como columnas y muros, respecto al modelo de base rígida que considera el empotramiento perfecto entre el suelo y la superestructura.

## CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. Conclusiones

- Al comparar el comportamiento estructural considerando la idealización de una base rígida y una base flexible, se genera variaciones mayores al 10% en lo que respecta a los periodos, desplazamientos, derivas de entrepiso y fuerzas internas de los elementos estructurales como muros y columnas respecto al modelo que considera el empotramiento perfecto.
- En los periodos de vibración, los incrementos que se observaron varían en 48.37%, 50.00%, 45.73 % y 29.89%, 30.65% y -10.81% para los 6 primeros modos de vibrar respectivamente. Este aumento se atribuye a la flexibilidad introducida por la base, que permite vibraciones adicionales en la cimentación, alejándose de la idealización de base rígida de la norma E.030-2018.
- En relación con los desplazamientos máximos, los incrementos mayores que se dieron fueron de 96.86% y 177.86% para el primer y segundo nivel, considerando el análisis dinámico en la dirección Y-Y. Este comportamiento se debe a que, al idealizar los apoyos como flexibles, la base también experimenta desplazamientos que se amplifican hacia los niveles superiores de la estructura, afectando de manera significativa su respuesta global.
- Respecto a las derivas de entrepiso, se detectaron incrementos considerables entre el 30% y el 215%. Considerando el análisis dinámico en la dirección X-X, se tienen aumentos de 190.51% y 32.79% para el primer y segundo nivel respectivamente, asimismo para el análisis dinámico en la dirección Y-Y, se tiene aumentos de 177.52% y 60.93% para el primer y segundo nivel respectivamente. Además, para el análisis estático en la dirección X-X, la deriva del primer nivel supera el límite establecido por

la norma E.030 para estructuras de concreto armado, lo que pone de manifiesto la relevancia de considerar este efecto para garantizar un diseño estructural seguro.

- Por otro lado, las fuerzas internas del muro estructural PL-02 mostraron un aumento en las fuerzas axiales y una reducción en los momentos de 21.85% y 18.16% para el análisis estático y una reducción de 26.17% y 34.18% para el análisis dinámico. Esto se debe a que la base flexible puede disipar más energía sísmica, esto quiere decir que las fuerzas laterales que inducen momentos no se transmiten con la misma intensidad, ya que parte de esa energía es absorbida por la base.
- En síntesis, la interacción suelo-estructura tiene un impacto considerable en el comportamiento dinámico y sísmico de las edificaciones, tanto en términos de incremento de derivas y desplazamientos como en la redistribución de fuerzas internas.

## **5.2. Recomendaciones**

- Se sugiere que en investigaciones posteriores se analice la interacción suelo-estructura en el diseño de edificaciones esenciales, especialmente aquellas que incluyan sótanos o cimentaciones sobre pilotes, con el fin de estudiar su comportamiento estructural bajo condiciones más complejas y garantizar mayores niveles de seguridad.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdel Raheem, S., Ahmed, M., & Ahmed Alazrek, T. M. (2014). Soil-raft foundation-structure interaction effects on seismic performance of multi-story MRF buildings. *Engineering Structures and Technologies*, 6(2), 43-61. <https://doi.org/10.3846/2029882X.2014.972656>
- Abril, J., & Avilés, D. (2022). *Análisis de la interacción suelo-estructura aplicando la guía práctica fema P-2091 en el bloque "G" de la Universidad Politécnica Salesiana, Sede Quito, Campus Sur*. Obtenido de Repositorio Institucional Universidad Politécnica Salesiana: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/23073>
- Alva Hurtado, J. (2020). *Dinámica de suelos*. EDUNI.
- Anand, V., & Kumar, S. (2018). Seismic Soil-structure Interaction: A State-of-the-Art Review. *Structures*, 16, 317-326. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2018.10.009>
- Araca Llanos, F., Gómez Catacora, L., Cahui Galarza, A., & Marín Mamani, G. (2020). Influence of soil-structure interaction on the behaviour of houses framed with isolated footings in the city of Juliaca. *Revista Científica de la UCSA*, 7(2), 70-81. <https://doi.org/10.18004/ucsa/2409-8752/2020.007.02.070>
- Avilés, J., & Pérez, L. (2004). Bases para las nuevas disposiciones reglamentarias sobre interacción dinámica suelo-estructura. *Revista de Ingeniería Sísmica No. 71*, 1-36.
- Bielak, J. (1976). Modal analysis for building soil interaction. *Journal of the Engineering Mechanics Division*, 102(5), 771-786. <https://doi.org/10.1061/JMCEA3.0002160>
- Chopra, A. (2014). *Dinámica de estructuras*. Pearson.
- Clariá, J. (2022). *Caracterización y comportamiento del módulo de elasticidad dinámico de loess en estado natural y compactado*. Recuperado el 14 de 07 de 2023, de Repositorio Universidad Nacional de Córdoba: <http://hdl.handle.net/11086/25818>
- Clough, R., & Penzien, J. (1995). *Dynamics of Structures*. McGraw Hill.

- Corratgé Yzaguirre, Z., Martínez Cid, J., & Cobelo Cristiá, W. (2021). Influencia de la interacción dinámica suelo-estructura en el mecanismo de colapso y nivel de desempeño de edificaciones de hormigón armado. *Hormigón y Acero*, 73(296), 41-53. <https://doi.org/10.33586/hya.2021.3027>
- Cruz, L., Todorovska, M., Chen, M., Trifunac, M., Aihemaiti, A., Linc, G., & Culi, J. (2024). For how large soil shear wave velocity the soil-structure interaction effects on a tall building can be neglected? – A case study. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 184(108845). <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2024.108845>
- Far, H. (2019). Advanced computation methods for soil-structure interaction analysis of structures resting on soft soils. *International Journal of Geotechnical Engineering*, 13(4), 352-359. <https://doi.org/10.1080/19386362.2017.1354510>
- FEMA P-2091. (2010). *A Practical Guide to Soil-Structure Interaction*. Obtenido de Federal Emergency Management Agency: <https://www.fema.gov/sites/default/files/documents/fema-p-2091-soil-structure-interaction.pdf>
- Fernández Limés , A., Fernández Lorenzo, I., & Cobelo Cristiá, W. D. (2023). nfluence of static soil-structure interaction at 100-meter high buildings. *Ingeniería y Desarrollo*, 41(2). <https://doi.org/10.14482/inde.41.02.201.456>
- Fernández, L. (2011). *Respuesta dinámica de pilas y pilotes de punta y de fricción ante cargas laterales*. Recuperado el 14 de 07 de 2023, de Repositorio Universidad Nacional Autónoma de México: <https://repositorio.unam.mx/contenidos/67455>
- García Reyes, L. E. (1998). *Dinámica estructural aplicada al diseño sísmico*. Universidad de los Andes.
- Garzón, J., & Gerena, I. (2016). *Evaluación de las propiedades dinámicas de un suelo cohesivo reconstituido, bajo la reproducción en equipo triaxial dinámico de una fuente sísmica conocida*. Recuperado el 14 de 07 de 2023, de Repositorio Universidad La Gran Colombia: <http://hdl.handle.net/11396/5208>

- Huamán Mendoza, G. (2018). *Respuesta dinámica por los modelos de cálculo de interacción suelo estructura del FEMA y norma E030-2016 del edificio de comando de control ribereño – Iquitos [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Cajamarca]*. Repositorio Institucional. Retrieved from <http://hdl.handle.net/20.500.14074/2198>
- Kausel, E., Whitman, R., Moray, J., & Elsabee, F. (1978). The spring method for embedded foundations. *Nuclear Engineering and Design*, 48(2), 377-392. [https://doi.org/10.1016/0029-5493\(78\)90085-7](https://doi.org/10.1016/0029-5493(78)90085-7)
- Liñan Nizama, M. (2023). *Comparación de la Respuesta Estructural de los Modelos de Cálculo de Interacción Suelo Estructura con la NTP E030 2018 del Pabellón "D" de la I.E. N° 81703, Distrito de Guadalupe, Provincia de Pacasmayo, Región La Libertad*. Repositorio Institucional. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.14074/5397>
- Mehraj Wani, F., Vemuri, J., Rajaram, C., & Babu R, D. (2022). Effect of soil structure interaction on the dynamic response of reinforced concrete structures. *Natural Hazards Research*, 2(4), 304-315. <https://doi.org/10.1016/j.nhres.2022.11.002>
- Mendoza, J., & Rodas, H. (2015). *Análisis de interacción suelo estructura de centros educativos con zapatas corridas en la urb. Nicolas Garatea – nuevo chimbote*. Recuperado el 27 de 06 de 2023, de Repositorio Institucional Universidad Nacional de Santa: <https://hdl.handle.net/20.500.14278/1918>
- Ministerio de vivienda. (2018). *E.030 - Diseño sismorresistente*. Lima.
- Mittal, V., Samanta, M., & Kanungo, D. (2024). Influence of isolated footing embedment on the seismic performance of building considering the soil-foundation-structure interaction: An experimental approach. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2024.04.019>
- National Institute of Standards and Technology. (2012). *Soil-structure interaction for building structures (NIST GCR 12-917-21)*. Retrieved from <https://www.nist.gov/publications/soil-structure-interaction-building-structures>

- Prada, G., & Mateo, I. (2023). *Influencia de la interacción suelo-estructura en la respuesta sísmica de un edificio de oficinas de 6 pisos y 2 sótanos considerando diferentes condiciones de suelo*. Recuperado el 27 de 06 de 2023, de Repositorio Pontificia Universidad Católica del Perú: <http://hdl.handle.net/20.500.12404/24247>
- Rodríguez Sánchez, A. G., & Villavicencio Arias, S. J. (2021). *Análisis de los efectos de la interacción suelo – estructura en la dinámica estructural de un edificio de oficinas de 15 pisos*. Retrieved 2024, from Repositorio Pontificia Universidad Católica del Perú: <http://hdl.handle.net/20.500.12404/20817>
- Stewart, J. P., Comartin, C., & Moehle, J. (2004). Implementation of Soil-Structure Interaction Models in Performance Based Design Procedures.
- Veletsos, A., & Meek, J. (1974). Dynamic behaviour of building-foundation systems. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 3(2), 121-138. <https://doi.org/10.1002/eqe.4290030203>
- Veletsos, A., & Nair, V. D. (1975). Seismic Interaction of Structures on Hysteretic Foundations. *Journal of the Structural Division*, 101, 109-129.
- Veletsos, A., Prasad, A., & Wu, W. (1997). Transfer functions for rigid rectangular foundations. *Earthquake Engineering Structural Dynamics*, 26(1), 5-17. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1096-9845\(199701\)26:1%3C5::AID-EQE619%3E3.0.CO;2-X](https://doi.org/10.1002/(SICI)1096-9845(199701)26:1%3C5::AID-EQE619%3E3.0.CO;2-X)
- Villareal Castro, G., Cerna Vasquez, M., & Espinoza Torres, C. (2021). Seismic Interaction of Soil-Structure in Buildings with limited ductility walls on foundation plates. *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras*, 26(1), 153-178. <https://doi.org/10.24133/riie.v26i1.1967>
- Wolf, J. (1985). *Dynamic Soil Structure Interaction*. Prentice Hall.

## ANEXOS

### ANEXO 01: Modelamiento de la edificación en el software Etabs v19.

**Figura 36**

*Definición de material: concreto  $f'c=210\text{kg/cm}^2$*

The screenshot shows the 'Material Property Data' dialog box for concrete. The 'General Data' section includes: Material Name: 'Concreto  $f'c=210\text{ kg/cm}^2$ ', Material Type: 'Concrete', Directional Symmetry Type: 'Isotropic', Material Display Color: a grey swatch with a 'Change...' button, and Material Notes: a 'Modify/Show Notes...' button. The 'Material Weight and Mass' section has 'Specify Weight Density' selected, with 'Weight per Unit Volume' set to 2.4 tonf/m<sup>3</sup> and 'Mass per Unit Volume' set to 2.4 kN-s<sup>3</sup>/m<sup>4</sup>. The 'Mechanical Property Data' section includes: Modulus of Elasticity, E: 217370.65 kgf/cm<sup>2</sup>, Poisson's Ratio, U: 0.2, Coefficient of Thermal Expansion, A: 0.0000099 1/C, and Shear Modulus, G: 90571.1 kgf/cm<sup>2</sup>. The 'Design Property Data' section has a 'Modify/Show Material Property Design Data...' button.

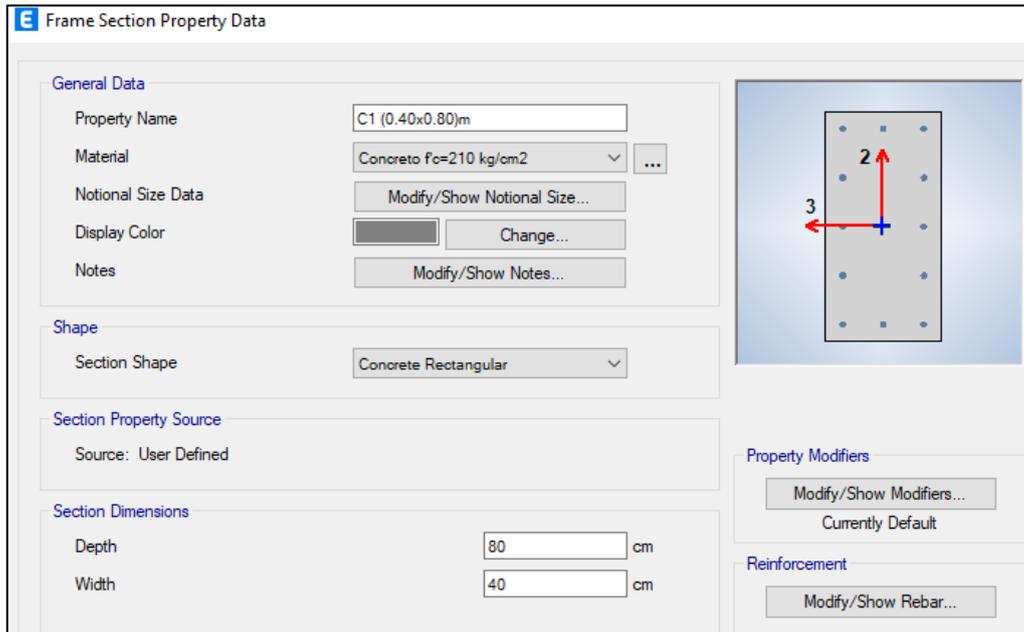
**Figura 37**

*Definición de material: acero de refuerzo  $f_y=4200\text{kg/cm}^2$*

The screenshot shows the 'Material Property Data' dialog box for reinforcement steel. The 'General Data' section includes: Material Name: 'Acero de refuerzo  $f_y=4200\text{kg/cm}^2$ ', Material Type: 'Rebar', Directional Symmetry Type: 'Uniaxial', Material Display Color: a blue swatch with a 'Change...' button, and Material Notes: a 'Modify/Show Notes...' button. The 'Material Weight and Mass' section has 'Specify Weight Density' selected, with 'Weight per Unit Volume' set to 7.85 tonf/m<sup>3</sup> and 'Mass per Unit Volume' set to 7.85 kN-s<sup>3</sup>/m<sup>4</sup>. The 'Mechanical Property Data' section includes: Modulus of Elasticity, E: 2000000 kgf/cm<sup>2</sup>, and Coefficient of Thermal Expansion, A: 0.0000117 1/C. The 'Design Property Data' section has a 'Modify/Show Material Property Design Data...' button.

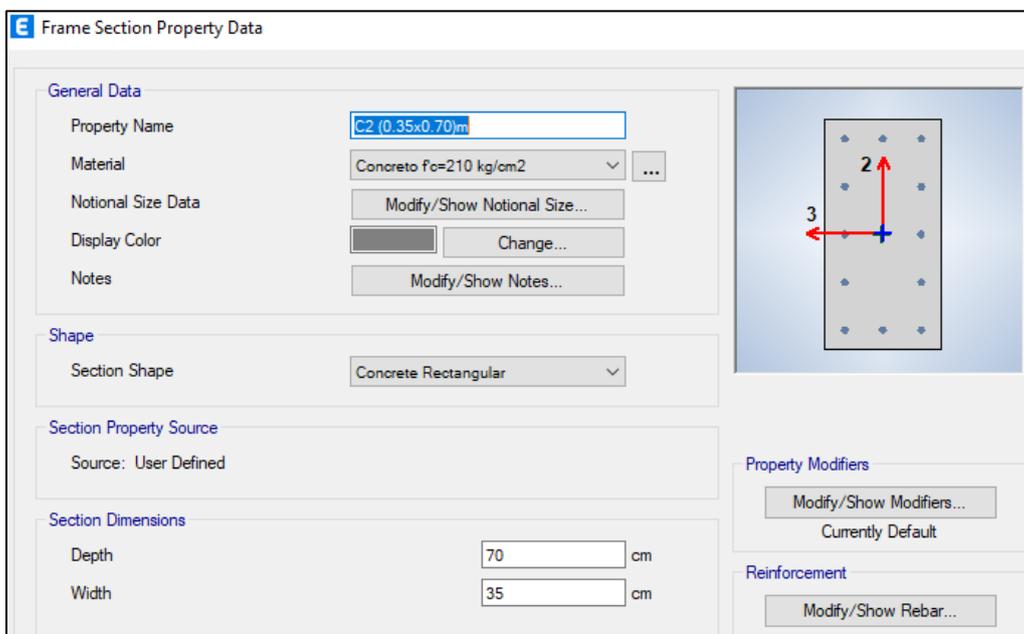
**Figura 38**

*Columna C1 de 0.40x0.80m*



**Figura 39**

*Columna C2 de 0.35x0.70m*



**Figura 40**

*Columna con forma de T (PL-01)*

**E** Frame Section Property Data

**General Data**

Property Name: PL-01

Material: Concreto  $f_c=210$  kg/cm<sup>2</sup>

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

Display Color:  Change...

Notes: Modify/Show Notes...

**Shape**

Section Shape: Concrete Tee

**Section Property Source**

Source: User Defined

**Section Dimensions**

Total Depth: 80 cm

Total Width: 150 cm

Flange Thickness: 30 cm

Web Thickness At Flange: 40 cm

Web Thickness At Tip: 40 cm

**Property Modifiers**

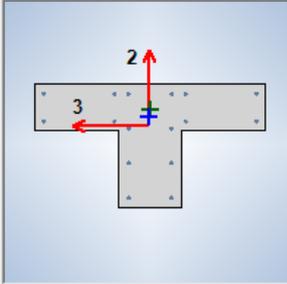
Modify/Show Modifiers...  
Currently Default

**Reinforcement**

Modify/Show Rebar...

**Mirror**

Mirror About Local 3-Axis



**Figura 41**

*Viga N°01 de 0.30x0.70m*

**E** Frame Section Property Data

**General Data**

Property Name: V1 (0.30x0.70)m

Material: Concreto  $f_c=210$  kg/cm<sup>2</sup>

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: 70 cm

Width: 30 cm

**Property Modifiers**

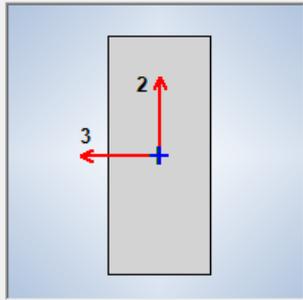
Modify/Show Modifiers...  
Currently Default

**Reinforcement**

Modify/Show Rebar...

**Mirror**

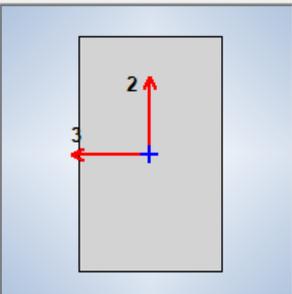
Mirror About Local 3-Axis



**Figura 42**

*Viga N°02 de 0.30x0.50m*

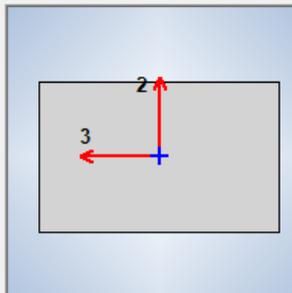
|   |   |
|---|---|
| <b>General Data</b>                           |   |
| Property Name                                 | V2 (0.30x0.50)m   |
| Material                                      | Concreto $f_c=210$ kg/cm <sup>2</sup> ...   |
| Notional Size Data                            | Modify/Show Notional Size...  |
| Display Color                                 |  Change... |
| Notes   | Modify/Show Notes...  |
| <b>Shape</b>                                  |   |
| Section Shape                                 | Concrete Rectangular  |
| <b>Section Property Source</b>                |   |
| Source:                                       | User Defined  |
| <b>Section Dimensions</b>                     |   |
| Depth   | 50 cm   |
| Width   | 30 cm   |
| <b>Property Modifiers</b>                     |   |
| Modify/Show Modifiers...<br>Currently Default |   |
| <b>Reinforcement</b>                          |   |
| Modify/Show Rebar...                          |   |



**Figura 43**

*Viga N°03 de 0.40x0.25m*

|   |   |
|---|---|
| <b>General Data</b>                           |   |
| Property Name                                 | V3 (0.40x0.25)m   |
| Material                                      | Concreto $f_c=210$ kg/cm <sup>2</sup> ...   |
| Notional Size Data                            | Modify/Show Notional Size...  |
| Display Color                                 |  Change... |
| Notes   | Modify/Show Notes...  |
| <b>Shape</b>                                  |   |
| Section Shape                                 | Concrete Rectangular  |
| <b>Section Property Source</b>                |   |
| Source:                                       | User Defined  |
| <b>Section Dimensions</b>                     |   |
| Depth   | 25 cm   |
| Width   | 40 cm   |
| <b>Property Modifiers</b>                     |   |
| Modify/Show Modifiers...<br>Currently Default |   |
| <b>Reinforcement</b>                          |   |
| Modify/Show Rebar...                          |   |



**Figura 44**

*Viga N°04 de 0.35x0.50m*

**E** Frame Section Property Data

**General Data**

Property Name: V4 (0.35x0.50)m

Material: Concreteo f<sub>c</sub>=210 kg/cm<sup>2</sup>

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: 50 cm

Width: 35 cm

**Property Modifiers**

Modify/Show Modifiers...  
Currently Default

**Reinforcement**

Modify/Show Rebar...

**Figura 45**

*Viga N°05 de 0.35x0.90m*

**E** Frame Section Property Data

**General Data**

Property Name: V5 (0.35x0.90)m

Material: Concreteo f<sub>c</sub>=210 kg/cm<sup>2</sup>

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: 90 cm

Width: 35 cm

**Property Modifiers**

Modify/Show Modifiers...  
Currently Default

**Reinforcement**

Modify/Show Rebar...

**Figura 46**

*Viga N°06 de 0.30x0.73m*

**E** Frame Section Property Data

**General Data**

Property Name: V6 (0.30x0.73)m

Material: Concreteo f<sub>c</sub>=210 kg/cm<sup>2</sup>

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: 73 cm

Width: 30 cm

**Property Modifiers**

Modify/Show Modifiers...  
Currently Default

**Reinforcement**

Modify/Show Rebar...

**Figura 47**

*Viga N°07 de 0.65x0.30m*

**E** Frame Section Property Data

**General Data**

Property Name: V7 (0.65x0.30)m

Material: Concreteo f<sub>c</sub>=210 kg/cm<sup>2</sup>

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: 30 cm

Width: 65 cm

**Property Modifiers**

Modify/Show Modifiers...  
Currently Default

**Reinforcement**

Modify/Show Rebar...

**Figura 48**

*Viga N°08 de 0.80x0.38m*

**General Data**

Property Name: V8 (0.80x0.38)m

Material: Concreto  $f_c=210$  kg/cm<sup>2</sup>

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: 38 cm

Width: 80 cm

**Property Modifiers**

Modify/Show Modifiers...  
Currently Default

**Reinforcement**

Modify/Show Rebar...

**Diagram:** A rectangular cross-section of a beam with a coordinate system. The vertical axis is labeled '2' with an upward arrow, and the horizontal axis is labeled '3' with a leftward arrow.

**Figura 49**

*Muro con espesor de 30cm*

**General Data**

Property Name: M1 30cm

Property Type: Specified

Wall Material: Concreto  $f_c=210$  kg/cm<sup>2</sup>

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

Modeling Type: Shell-Thick

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

Display Color:      Change...

Property Notes: Modify/Show...

**Property Data**

Thickness: 30 cm

Include Automatic Rigid Zone Area Over Wall

**Figura 50**

*Muro con espesor de 35 cm*

The screenshot shows a software interface for defining a wall property. It is divided into two main sections: "General Data" and "Property Data".

**General Data:**

- Property Name: M2\_35cm
- Property Type: Specified
- Wall Material: Concreto  $f_c=210$  kg/cm<sup>2</sup>
- Notional Size Data: Modify/Show Notional Size...
- Modeling Type: Shell-Thick
- Modifiers (Currently Default): Modify/Show...
- Display Color: A dark purple color swatch with a Change... button.
- Property Notes: Modify/Show...

**Property Data:**

- Thickness: 35 cm
- Include Automatic Rigid Zone Area Over Wall

**Figura 51**

*Losa aligerada en la dirección X-X de 25cm de espesor*

The screenshot shows a software interface for defining a ribbed slab property. It is divided into two main sections: "General Data" and "Property Data".

**General Data:**

- Property Name: L\_Alig\_1DX\_25cm
- Slab Material: Concreto  $f_c=210$  kg/cm<sup>2</sup>
- Notional Size Data: Modify/Show Notional Size...
- Modeling Type: Shell-Thin
- Modifiers (Currently Default): Modify/Show...
- Display Color: A grey color swatch with a Change... button.
- Property Notes: Modify/Show...

**Property Data:**

- Type: Ribbed
- Overall Depth: 25 cm
- Slab Thickness: 5 cm
- Stem Width at Top: 10 cm
- Stem Width at Bottom: 40 cm
- Rib Spacing (Perpendicular to Rib Direction): 40 cm
- Rib Direction is Parallel to: Local 1 Axis

**Figura 52**

*Losa aligerada en la dirección Y-Y de 25cm de espesor*

| General Data                  |  |
|-------------------------------|--|
| Property Name                 | <input type="text" value="L_Alig_1DY_25cm"/>                             |
| Slab Material                 | Concreto $f_c=210$ kg/cm <sup>2</sup> <input type="button" value="..."/> |
| Notional Size Data            | <input type="button" value="Modify/Show Notional Size..."/>              |
| Modeling Type                 | Shell-Thin <input type="button" value="v"/>                              |
| Modifiers (Currently Default) | <input type="button" value="Modify/Show..."/>                            |
| Display Color                 | <input type="button" value="Change..."/>                                 |
| Property Notes                | <input type="button" value="Modify/Show..."/>                            |

| Property Data                                |   |
|--|---|
| Type   | Ribbed <input type="button" value="v"/>       |
| Overall Depth                                | <input type="text" value="25"/> cm            |
| Slab Thickness                               | <input type="text" value="5"/> cm             |
| Stem Width at Top                            | <input type="text" value="10"/> cm            |
| Stem Width at Bottom                         | <input type="text" value="40"/> cm            |
| Rib Spacing (Perpendicular to Rib Direction) | <input type="text" value="40"/> cm            |
| Rib Direction is Parallel to                 | Local 2 Axis <input type="button" value="v"/> |

**Figura 53**

*Losa aligerada en dos direcciones de 25cm de espesor*

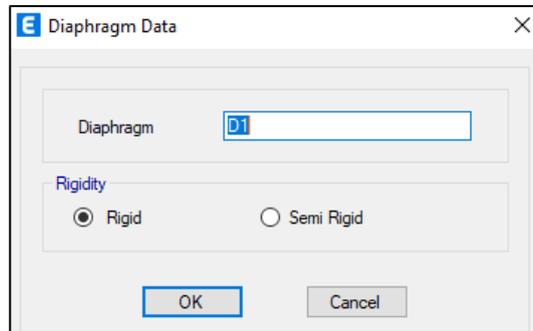
| General Data                  |  |
|-------------------------------|--|
| Property Name                 | <input type="text" value="L_Alig_2D_25cm"/>                              |
| Slab Material                 | Concreto $f_c=210$ kg/cm <sup>2</sup> <input type="button" value="..."/> |
| Notional Size Data            | <input type="button" value="Modify/Show Notional Size..."/>              |
| Modeling Type                 | Shell-Thin <input type="button" value="v"/>                              |
| Modifiers (Currently Default) | <input type="button" value="Modify/Show..."/>                            |
| Display Color                 | <input type="button" value="Change..."/>                                 |
| Property Notes                | <input type="button" value="Modify/Show..."/>                            |

| Property Data                                    |   |
|--|---|
| Type   | Waffle <input type="button" value="v"/> |
| Overall Depth                                    | <input type="text" value="25"/> cm      |
| Slab Thickness                                   | <input type="text" value="5"/> cm       |
| Stem Width at Top                                | <input type="text" value="10"/> cm      |
| Stem Width at Bottom                             | <input type="text" value="40"/> cm      |
| Spacing of Ribs that are Parallel to Slab 1-Axis | <input type="text" value="40"/> cm      |
| Spacing of Ribs that are Parallel to Slab 2-Axis | <input type="text" value="40"/> cm      |

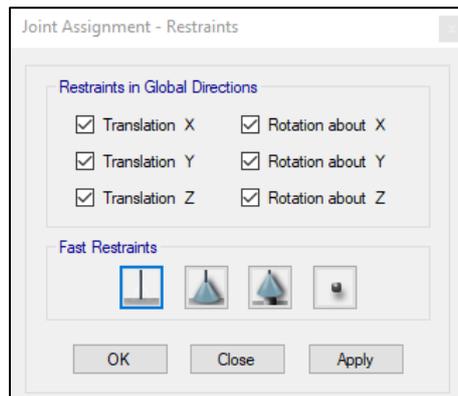
**Figura 53**

*Creación de diafragma rígido*



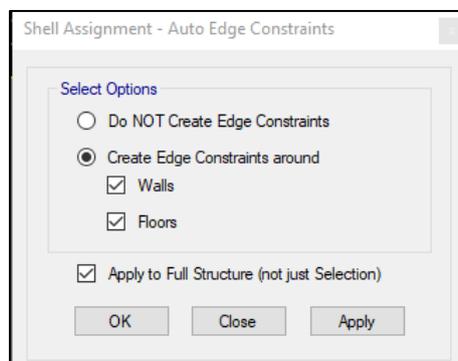
**Figura 54**

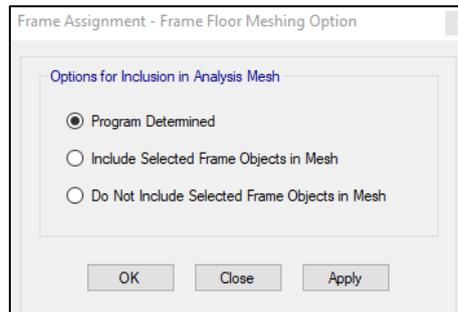
*Asignación de base empotrada*



**Figura 55**

*Ensamblaje de losa-muro*



**Figura 56***Discretización de vigas***Tabla 27***Espectro de pseudo-aceleraciones en dirección X-X*

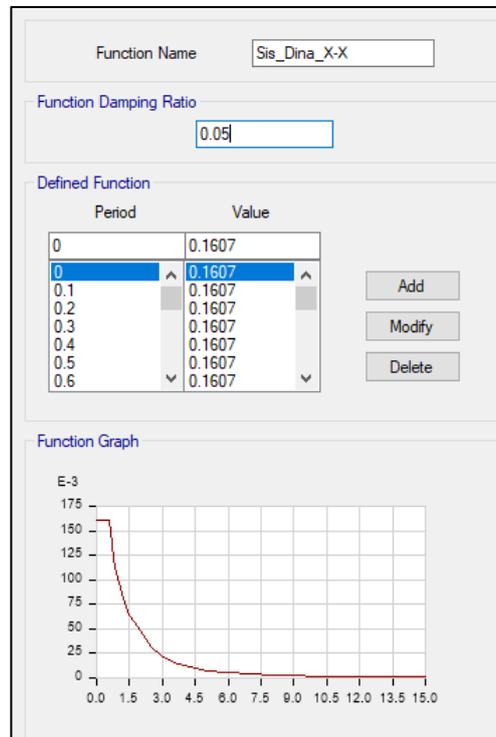
| <b>C</b> | <b>T</b>   | <b>Sa</b> | <b>C</b> | <b>T</b>   | <b>Sa</b> |
|----------|------------|-----------|----------|------------|-----------|
| 2.50     | <b>0</b>   | 1.5766    | 0.83     | <b>1.8</b> | 0.5255    |
| 2.50     | <b>0.1</b> | 1.5766    | 0.79     | <b>1.9</b> | 0.4979    |
| 2.50     | <b>0.2</b> | 1.5766    | 0.75     | <b>2</b>   | 0.4730    |
| 2.50     | <b>0.3</b> | 1.5766    | 0.68     | <b>2.1</b> | 0.4290    |
| 2.50     | <b>0.4</b> | 1.5766    | 0.62     | <b>2.2</b> | 0.3909    |
| 2.50     | <b>0.5</b> | 1.5766    | 0.57     | <b>2.3</b> | 0.3576    |
| 2.50     | <b>0.6</b> | 1.5766    | 0.52     | <b>2.4</b> | 0.3285    |
| 2.14     | <b>0.7</b> | 1.3514    | 0.48     | <b>2.5</b> | 0.3027    |
| 1.88     | <b>0.8</b> | 1.1825    | 0.44     | <b>2.6</b> | 0.2799    |
| 1.67     | <b>0.9</b> | 1.0511    | 0.41     | <b>2.7</b> | 0.2595    |
| 1.50     | <b>1</b>   | 0.9460    | 0.38     | <b>2.8</b> | 0.2413    |
| 1.36     | <b>1.1</b> | 0.8600    | 0.36     | <b>2.9</b> | 0.2250    |
| 1.25     | <b>1.2</b> | 0.7883    | 0.33     | <b>3</b>   | 0.2102    |
| 1.15     | <b>1.3</b> | 0.7277    | 0.19     | <b>4</b>   | 0.1182    |
| 1.07     | <b>1.4</b> | 0.6757    | 0.08     | <b>6</b>   | 0.0526    |
| 1.00     | <b>1.5</b> | 0.6306    | 0.05     | <b>8</b>   | 0.0296    |
| 0.94     | <b>1.6</b> | 0.5912    | 0.03     | <b>10</b>  | 0.0189    |
| 0.88     | <b>1.7</b> | 0.5564    |          |            |           |

**Tabla 28***Espectro de pseudo-aceleraciones en dirección Y-Y*

| <b>C</b> | <b>T</b>   | <b>Sa</b> | <b>C</b> | <b>T</b>   | <b>Sa</b> |
|----------|------------|-----------|----------|------------|-----------|
| 2.50     | <b>0</b>   | 1.8394    | 0.83     | <b>1.8</b> | 0.6131    |
| 2.50     | <b>0.1</b> | 1.8394    | 0.79     | <b>1.9</b> | 0.5809    |
| 2.50     | <b>0.2</b> | 1.8394    | 0.75     | <b>2</b>   | 0.5518    |
| 2.50     | <b>0.3</b> | 1.8394    | 0.68     | <b>2.1</b> | 0.5005    |
| 2.50     | <b>0.4</b> | 1.8394    | 0.62     | <b>2.2</b> | 0.4560    |
| 2.50     | <b>0.5</b> | 1.8394    | 0.57     | <b>2.3</b> | 0.4172    |
| 2.50     | <b>0.6</b> | 1.8394    | 0.52     | <b>2.4</b> | 0.3832    |
| 2.14     | <b>0.7</b> | 1.5766    | 0.48     | <b>2.5</b> | 0.3532    |
| 1.88     | <b>0.8</b> | 1.3795    | 0.44     | <b>2.6</b> | 0.3265    |
| 1.67     | <b>0.9</b> | 1.2263    | 0.41     | <b>2.7</b> | 0.3028    |
| 1.50     | <b>1</b>   | 1.1036    | 0.38     | <b>2.8</b> | 0.2815    |
| 1.36     | <b>1.1</b> | 1.0033    | 0.36     | <b>2.9</b> | 0.2625    |
| 1.25     | <b>1.2</b> | 0.9197    | 0.33     | <b>3</b>   | 0.2453    |
| 1.15     | <b>1.3</b> | 0.8489    | 0.19     | <b>4</b>   | 0.1380    |
| 1.07     | <b>1.4</b> | 0.7883    | 0.08     | <b>6</b>   | 0.0613    |
| 1.00     | <b>1.5</b> | 0.7358    | 0.05     | <b>8</b>   | 0.0345    |
| 0.94     | <b>1.6</b> | 0.6898    | 0.03     | <b>10</b>  | 0.0221    |
| 0.88     | <b>1.7</b> | 0.6492    |          |            |           |

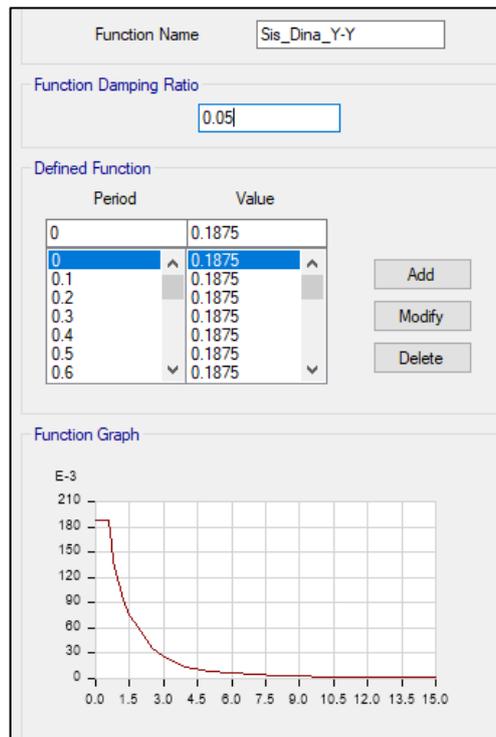
**Figura 57**

*Espectro de respuesta inelástico en la dirección X-X*



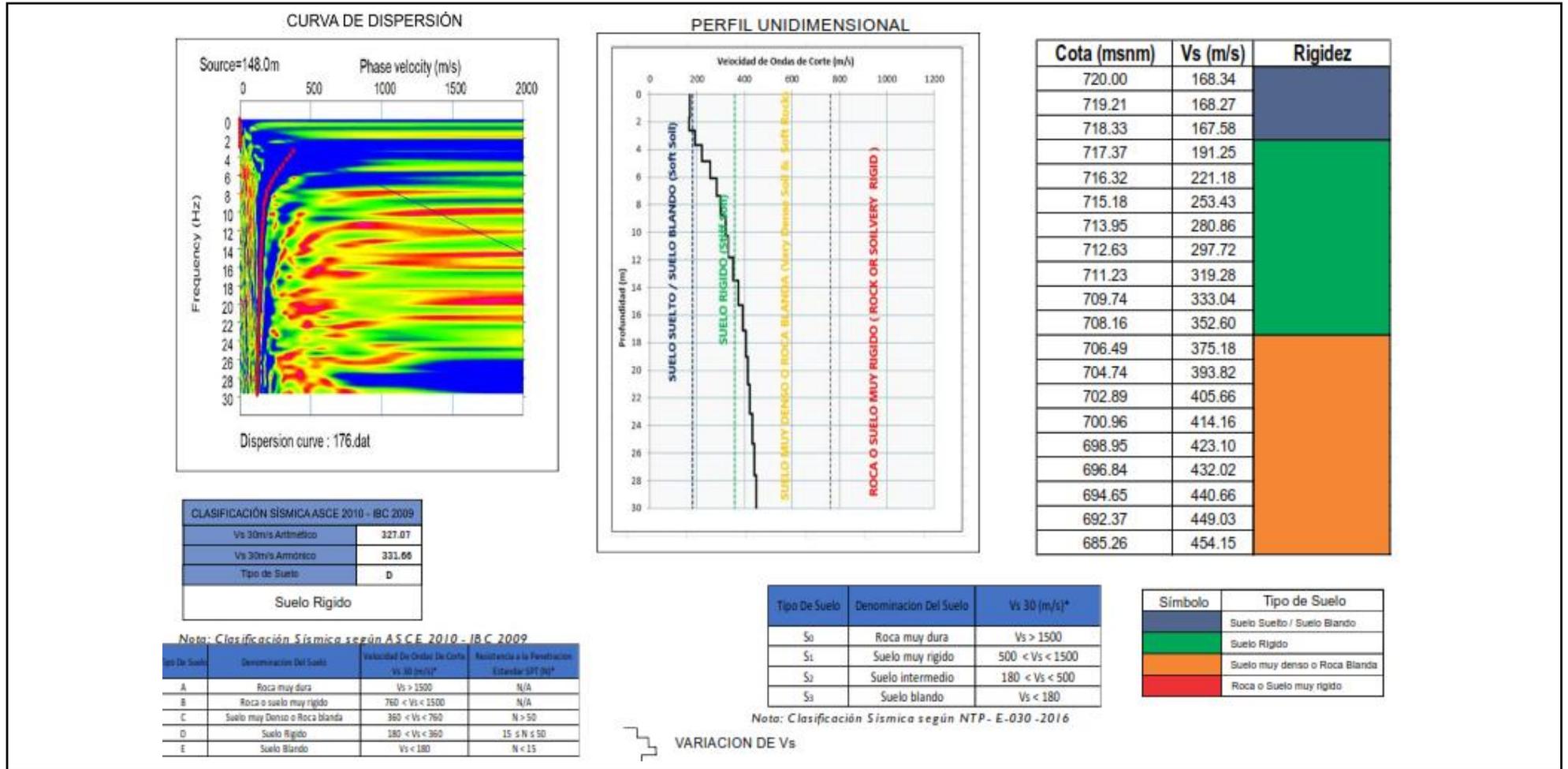
**Figura 58**

*Espectro de respuesta inelástico en la dirección X-Y*



## **ANEXO 02: ENSAYO GEOFISICO MASW**

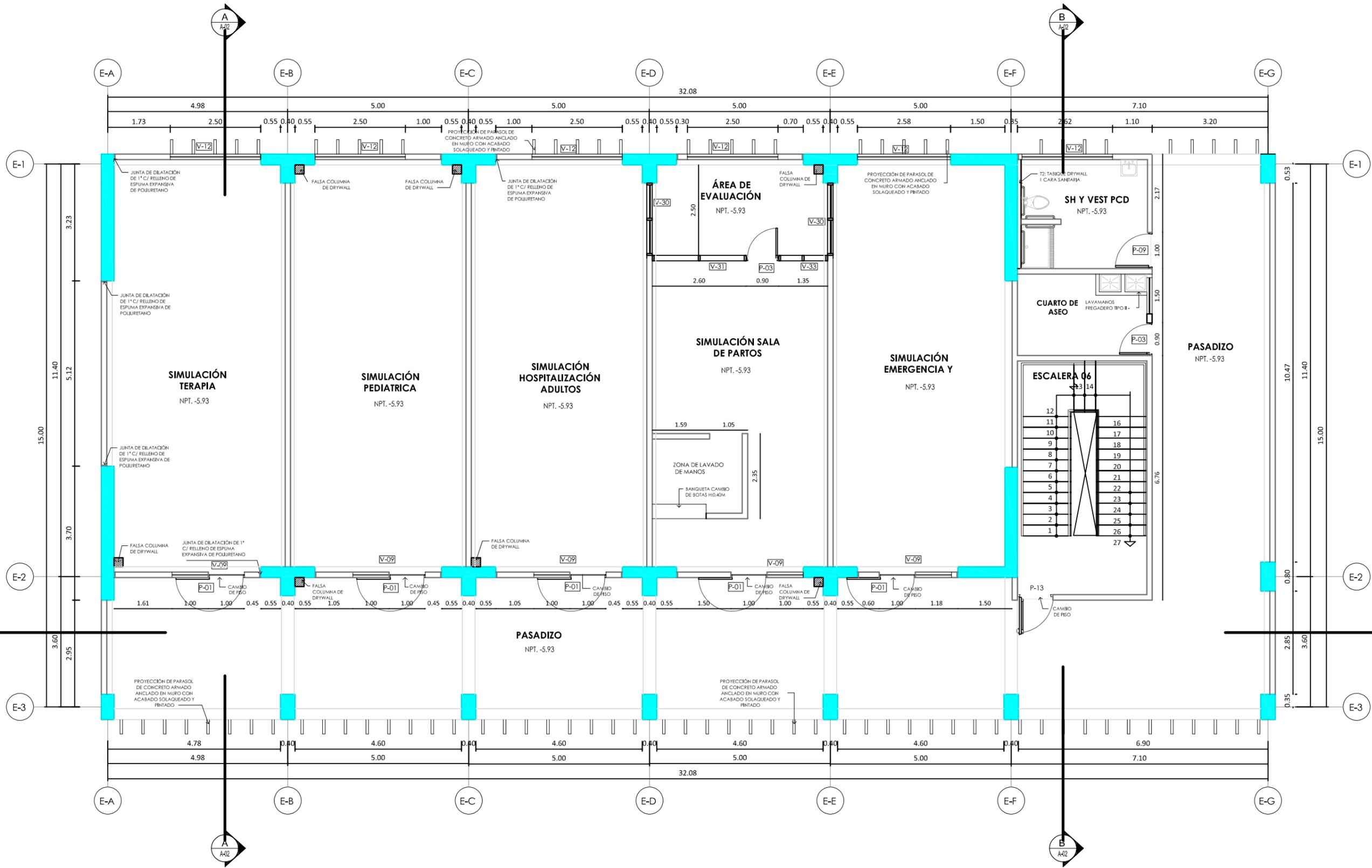
**Perfil MASW – 02**



(\* ) Ver nota al final del anexo

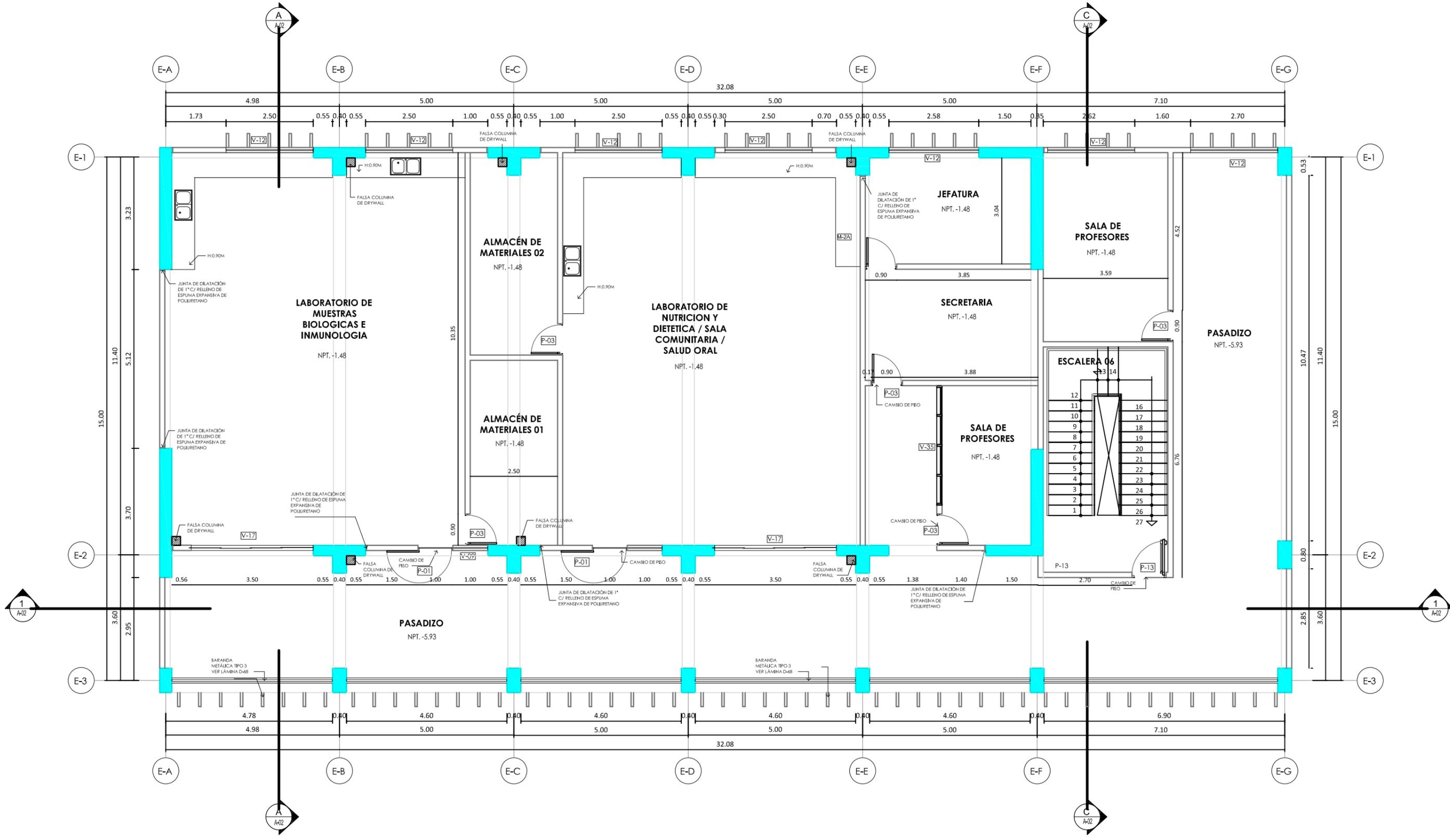
|   |   |                                |                      |
|---|---|--------------------------------|----------------------|
| OSCAR RICARDO ZUÑIGA VALENCIA<br>ARQUITECTO CAP 4646<br>GERENTE DE PROYECTO | WIDMAR SAAVEDRA SAAVEDRA<br>INGENIERO CIVIL CIP N° 115668<br>ESPECIALISTA EN MECÁNICA DE SUELOS | WEISS<br>ENGINEERING<br>S.A.C. | EST<br><br>2 ( de 7) |
|---|---|--------------------------------|----------------------|

## **ANEXO 03: PLANOS**



**ARQUITECTURA PRIMER NIVEL**  
ESC:1:50

| REVISIONES |       |
|------------|-------|
| N°         | FECHA |
|            |       |
|            |       |
|            |       |



**ARQUITECTURA SEGUNDO NIVEL**  
ESC:1/50

**ZB CONSULTORES**  
 NOMBRE DE PROYECTO:  
**ESTUDIO DEFINITIVO DEL PROYECTO: MEJORAMIENTO DEL SERVICIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR TECNOLÓGICA DEL IEST 4 DE JUNIO DE 1821, DEL DISTRITO Y PROVINCIA DE JAÉN, DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA**

UBICACIÓN DEL PROYECTO  
 DEPARTAMENTO: CAJAMARCA    SECTOR: MONTEGRANDE  
 PROVINCIA: JAÉN    AVENIDA: LA CULTURA 04 DE JUNIO  
 DISTRITO: JAÉN    NÚMERO: 413

PROYECTISTA:  
**LISSETH SAMANAMUD VELASQUEZ**  
 ARQUITECTA C.A.P. 10553

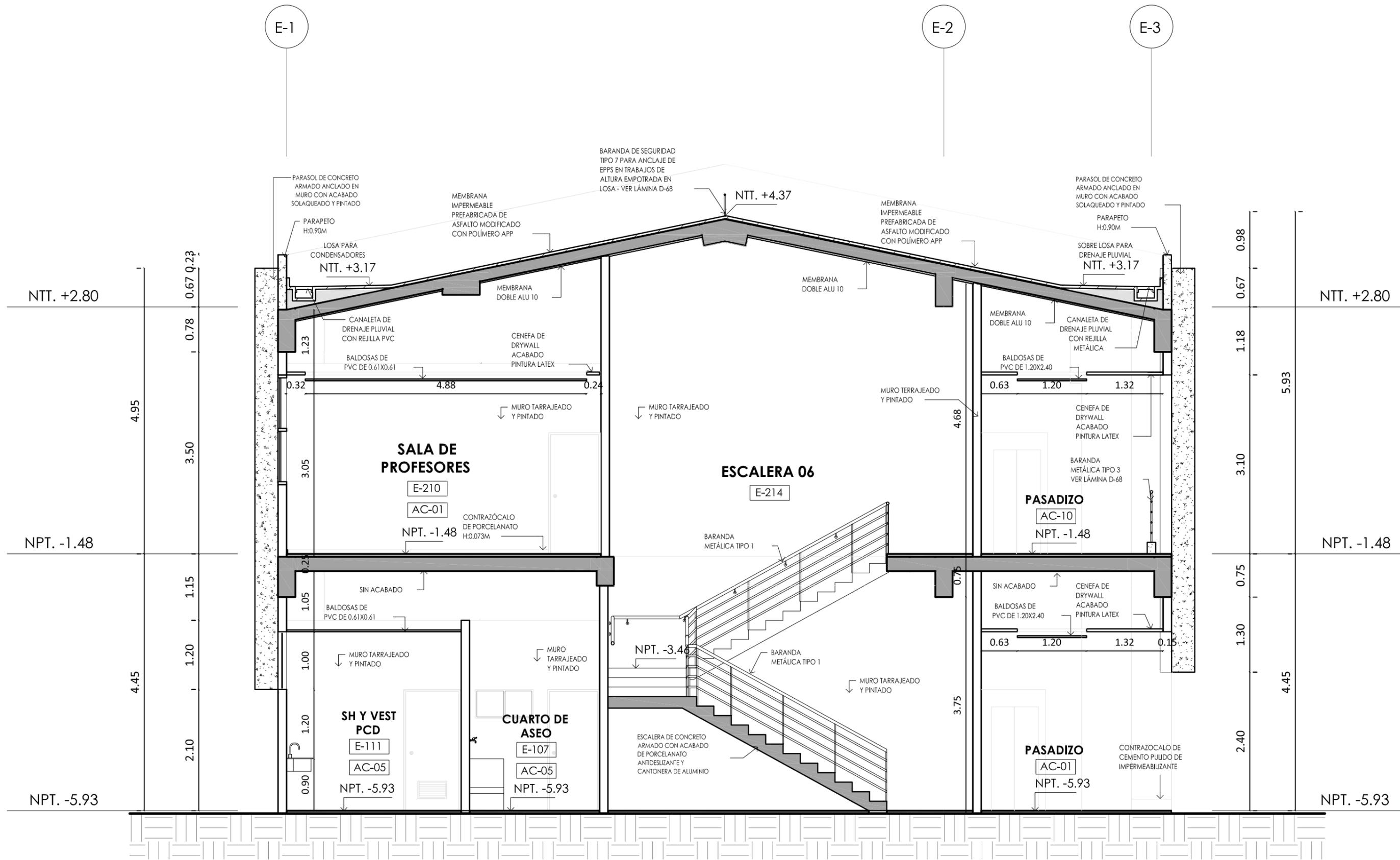
| REVISIONES |       |
|------------|-------|
| N°         | FECHA |
|            |       |
|            |       |
|            |       |
|            |       |

DESCRIPCIÓN  
 ESCALA: INDICADA  
**JULIO DEL 2024**

ARQUITECTURA  
 PLANTA-DISTRIBUCIÓN-NIVEL 2

LÁMINA N°:  
**A-02**





**CORTE B-B**  
ESC:1/50



NOMBRE DE PROYECTO:  
ESTUDIO DEFINITIVO DEL PROYECTO: MEJORAMIENTO DEL SERVICIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR TECNOLÓGICA DEL IEST 4 DE JUNIO DE 1821, DEL DISTRITO Y PROVINCIA DE JAÉN, DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA

UBICACIÓN DEL PROYECTO  
DEPARTAMENTO: CAJAMARCA SECTOR: MONTEGRANDE  
PROVINCIA: JAÉN AVENIDA: LA CULTURA 04 DE JUNIO  
DISTRITO: JAÉN NÚMERO: 413

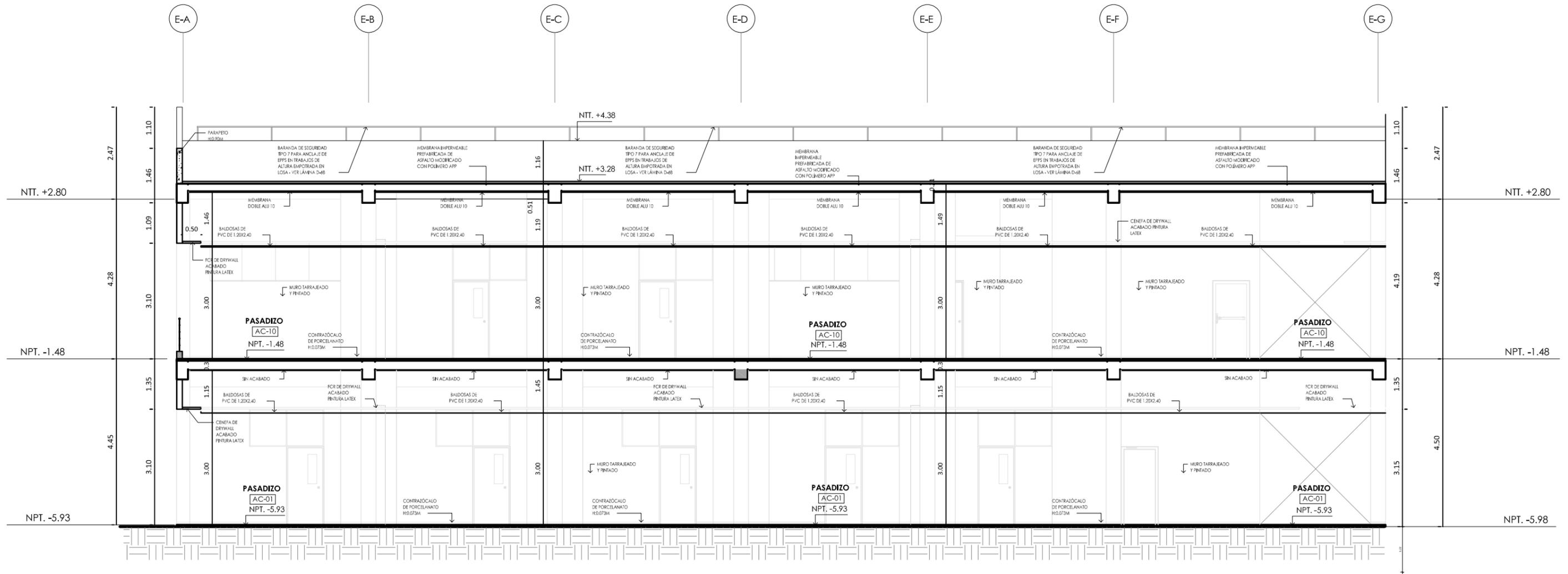
PROYECTISTA:  
LISSETH SAMANAMUD VELASQUEZ  
ARQUITECTA C.A.P. 10533

| REVISIONES |       |
|------------|-------|
| N°         | FECHA |
|            |       |
|            |       |
|            |       |

ESCALA: INDICADA  
JULIO DEL 2024

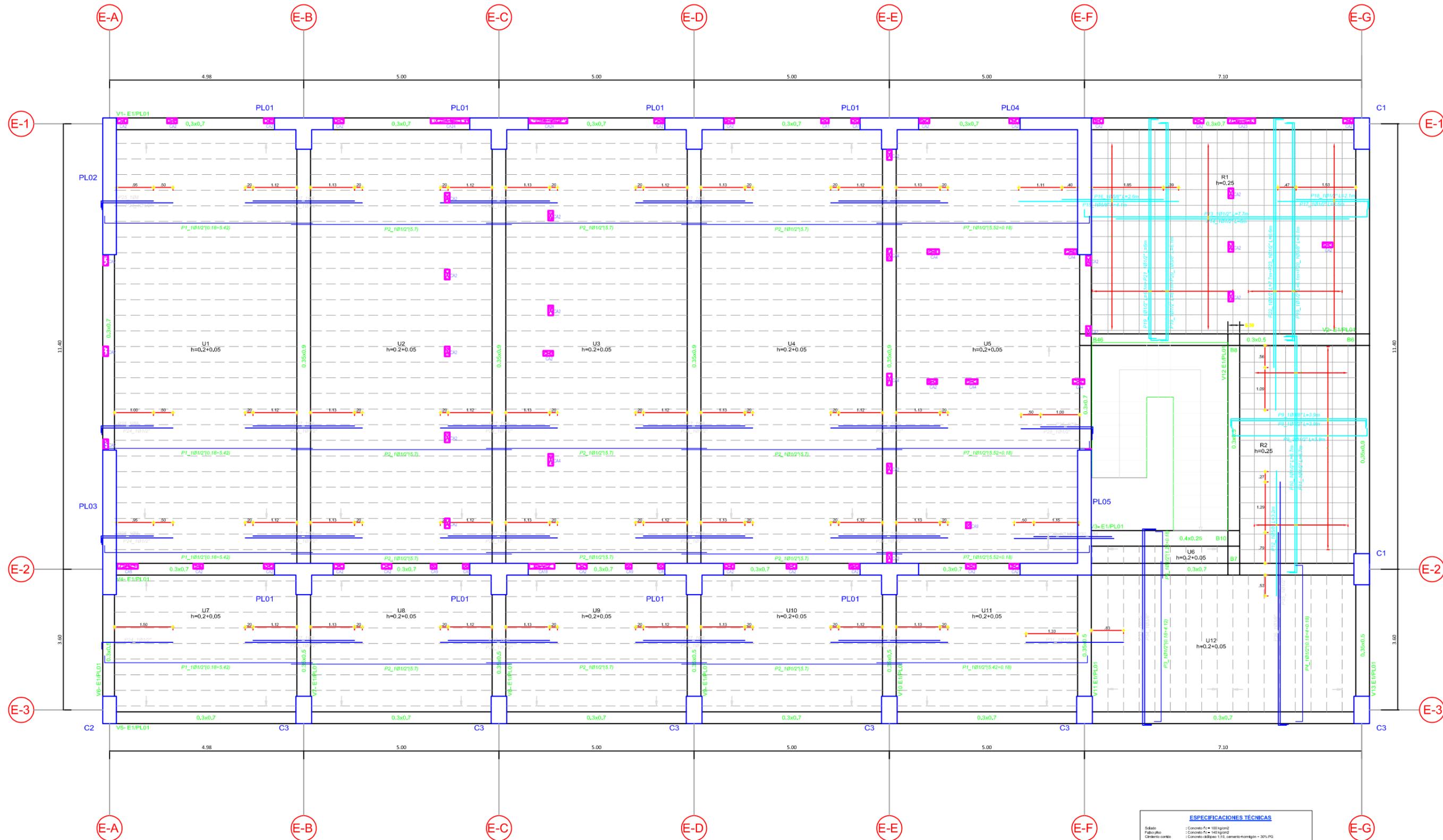
ARQUITECTURA  
CORTES Y ELEVACIÓN

LÁMINA N°:  
A-04



**CORTE 1-1**  
ESC: 1/50

| REVISIONES |       |
|------------|-------|
| N°         | FECHA |
|            |       |
|            |       |
|            |       |
|            |       |
|            |       |



**ALIGERADO DE PRIMER NIVEL**  
ESC:1/50



**ESPECIFICACIONES TÉCNICAS**

Suelos: Concreto Fc = 180 kg/cm<sup>2</sup>  
 Falso piso: Concreto Fc = 140 kg/cm<sup>2</sup>  
 Chispeo combo: Concreto de Ripio 1:1:5, cemento-mortero = 30% PG

**CONCRETO ARMADO:**

|   |  |
|---|--|
| Zapatas, vigas y losas de cimentación         | f <sub>yk</sub> = 210 Kg/cm <sup>2</sup> |
| Muro de contención                            | f <sub>yk</sub> = 210 Kg/cm <sup>2</sup> |
| Columnas, muros y placas                      | f <sub>yk</sub> = 210 Kg/cm <sup>2</sup> |
| Parapetos, bovedillas y alféizares            | f <sub>yk</sub> = 210 Kg/cm <sup>2</sup> |
| Bovedillas reforzadas                         | f <sub>yk</sub> = 210 Kg/cm <sup>2</sup> |
| Losas y dón                                   | f <sub>yk</sub> = 210 Kg/cm <sup>2</sup> |
| Cielera y estructuras en contacto con el agua | f <sub>yk</sub> = 280 Kg/cm <sup>2</sup> |
| Escaleras y rampas                            | f <sub>yk</sub> = 210 Kg/cm <sup>2</sup> |
| Subestación eléctrica                         | f <sub>yk</sub> = 210 Kg/cm <sup>2</sup> |
| Elementos de contrahoyo                       | f <sub>yk</sub> = 175 Kg/cm <sup>2</sup> |

**ACERO DE REFUERZO:**  
Acero compacto ASTM A615-60 tipo 4,200 Kg/cm<sup>2</sup>

**ALBAÑILERÍA:** Muros Portantes y tabiques

**MORTERO:** Tipo P1: 1:4, cemento-arena 0  
 Tipo P2: 1:1:5, cemento-caliza-arena.

**LADRILLO:** King Kong Tipo IV (30cm x 23cm x 23cm), f<sub>yk</sub> mín = 130 kg/cm<sup>2</sup>

**RECOMENDACIONES:**

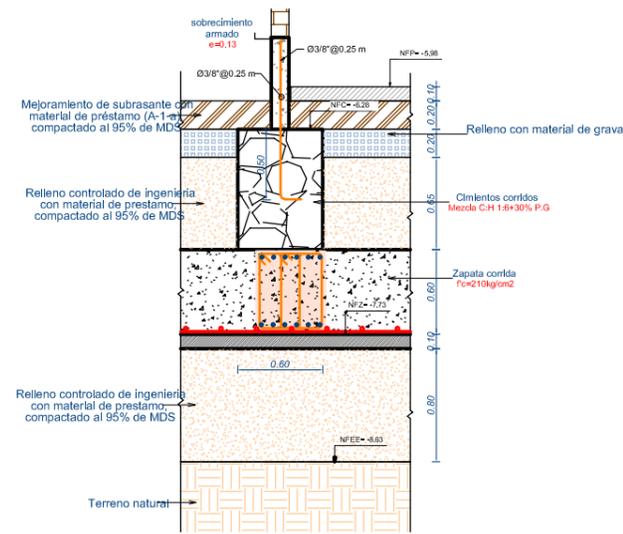
- Concreto colocado contra el suelo y expuesto permanentemente a 47 °C
- Concreto en contacto permanente con la intemperie:
  - Barra SIP 3 o menor: 4 cm
  - Barra 3/4" o mayor: 5 cm
- Concreto no expuesto a la intemperie:
  - Muros, losas, mallas, bovedillas y alféizares: 2 cm
  - Placas de alfilería y alféizares: 2 cm (interiores), 3 cm (exteriores)
  - Vigas y columnas: 4 cm
  - Mallas electrolíticas: 1,5 cm

NOTA: Las indicaciones de recubrimientos hechas en los dibujos de los planos mandan sobre los aquí consignados.

| REVISIONES |       | DESCRIPCIÓN |
|------------|-------|-------------|
| N°         | FECHA |             |
|            |       |             |
|            |       |             |

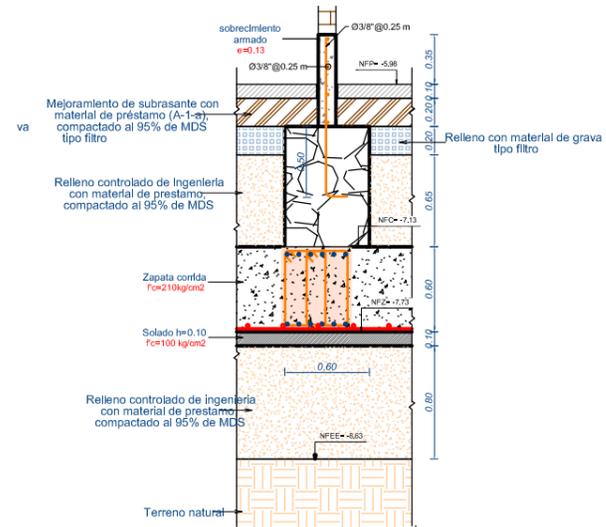






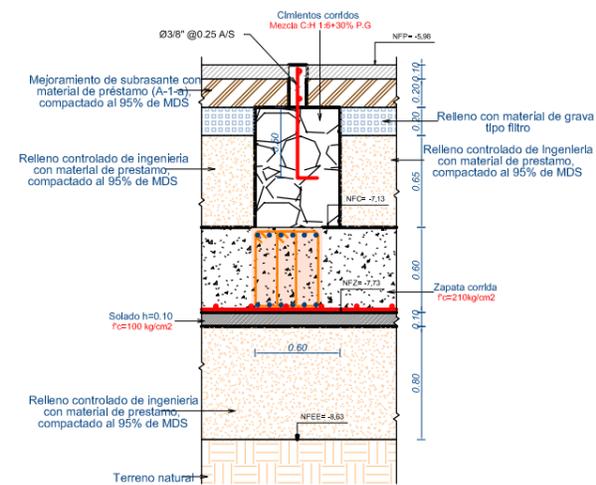
**CORTE A**

ESC:1/50



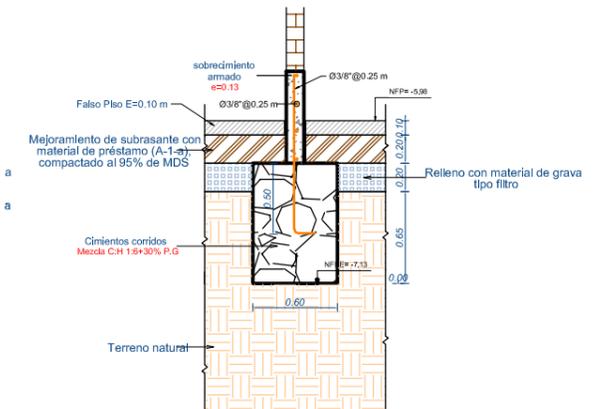
**CORTE B**

ESC:1/50



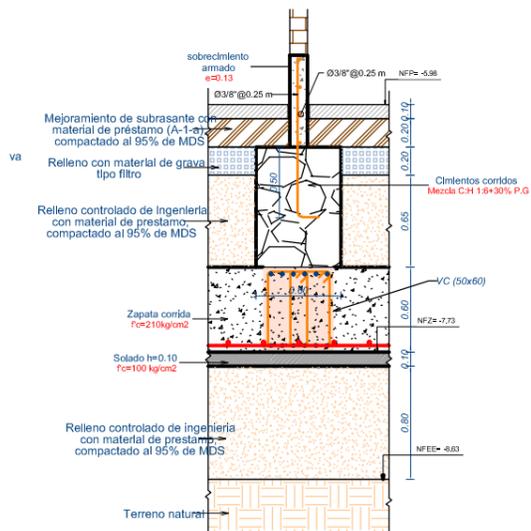
**CORTE C**

ESC:1/50



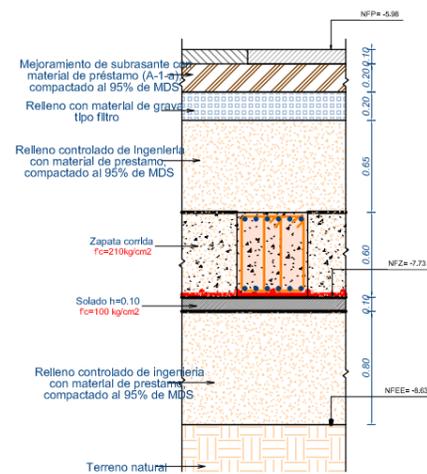
**CORTE D**

ESC:1/50



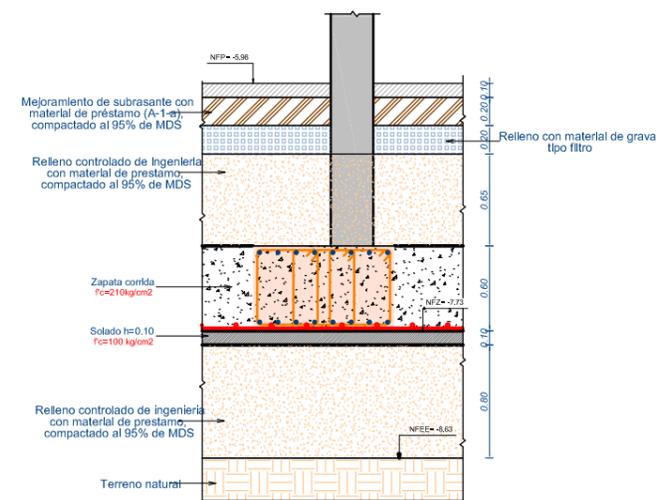
**CORTE E**

ESC:1/50



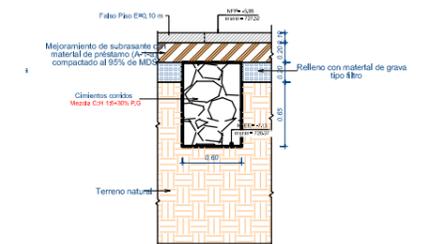
**CORTE F**

ESC:1/50



**CORTE G**

ESC:1/50



**CORTE H**

ESC:1/50

LEYENDA DE NIVELES

|                |  |
|----------------|--|
| NFC:           | Nivel fondo de Cimiento                          |
| NFP:           | Nivel de Falso Piso                              |
| NFZ:           | Nivel de Fondo de Zapata                         |
| NFS:           | Nivel de Fondo de Solado                         |
| N.Pav.:        | Nivel de Pavimento                               |
| NFV:           | Nivel de Fondo de Viga                           |
| NL:            | Nivel de Losa                                    |
| NFEM:          | Nivel de Fondo de Excavación Masiva              |
| NFEE:          | Nivel de Fondo de Excavación Específica          |
| msnm:          | Elevación absoluta metros sobre el nivel del mar |
| Niv. Variable: | Nivel Variable                                   |



NOMBRE DE PROYECTO:  
**ESTUDIO DEFINITIVO DEL PROYECTO: MEJORAMIENTO DEL SERVICIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR TECNOLÓGICA DEL IEST 4 DE JUNIO DE 1821, DEL DISTRITO Y PROVINCIA DE JAÉN, DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA**

UBICACIÓN DEL PROYECTO

DEPARTAMENTO: CAJAMARCA SECTOR : MONTEGRANDE  
 PROVINCIA : JAÉN AVENIDA : LA CULTURA 04 DE JUNIO  
 DISTRITO : JAÉN NÚMERO : 413

PROYECTISTA:  
**EDWARD CERON TORRES**  
 INGENIERO CIVIL C.I.P. 10533



| REVISIONES |       |
|------------|-------|
| N°         | FECHA |
|            |       |
|            |       |
|            |       |
|            |       |

ESCALA: INDICADA  
**JULIO DEL 2024**

ESTRUCTURAS  
 CIMENTACIÓN

LÁMINA N°:  
**E-03**

## **ANEXO 04: FOTOGRAFIAS DE LA EDIFICACIÓN**



