

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



**ESTUDIO COMPARATIVO DE UNA EDIFICACIÓN DE NUEVE  
NIVELES Y DOS SÓTANOS, CON Y SIN AISLADORES SÍSMICOS**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE**

**INGENIERO CIVIL AMBIENTAL**

**AUTOR**

**DAVID CHRIST MILLONES CUMPA**

**ASESOR**

**ING. OVIDIO SERRANO ZELADA**

**Chiclayo, 2019**

## **DEDICATORIA**

A mis padres, Nery Cumpa y Santos Millones, y mi tía Rosa Cumpa; quienes me apoyaron incondicionalmente de todas las formas posibles en todo mi formación universitaria.

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, por haberme dado la fortaleza necesaria para poder enfrentar obstáculos que se me presentaron en el transcurso del desarrollo de mi tesis.

A la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, por haberme brindado los conocimientos necesarios para formarme como ingeniero civil ambiental.

A mis familiares y amigos, a las cuales les quiero agradecer su amistad, consejos, apoyo, ánimo y compañía en los momentos más difíciles de mi vida. Algunas están aquí conmigo y otras en mis recuerdos y en mi corazón; sin importar en donde estén quiero darles las gracias por sus enseñanzas, cariño y vivencias compartidas.

## RESUMEN

El aislamiento sísmico busca reducir considerablemente la fuerza del sismo con la que es afectada una edificación, aumentando la probabilidad de seguridad de los usuarios, la infraestructura y sus servicios. La presente tesis tuvo como objetivo general determinar el costo-beneficio por la inclusión de aisladores sísmicos en el diseño estructural de una edificación residencial de nueve niveles y dos sótanos, en la ciudad de Chiclayo, ante un evento sísmico de magnitud elevada, concluyendo que a corto plazo será eficiente estructuralmente; sin embargo, económicamente, implicará un aumento del costo del 18%, representado por S/. 703,761.00. Además, la inclusión de sótanos en la edificación, favoreció en la eliminación de los suelos expansibles, alcanzando un estrato más rígido favoreció el desempeño óptimo de los aisladores, también que el diseño de la infraestructura con un periodo estructural alejado y superior al periodo probable de suelo, disminuyó la probabilidad de incurrir en el fenómeno de resonancia sísmica.

**Palabras clave:** aisladores sísmicos, costo-beneficio, sótanos, elastómeros, riesgo sísmico.

## ABSTRACT

The seismic isolation seeks to reduce considerably the strength of the earthquake with which a building is affected, increasing the probability of safety of the users, the infrastructure and its services. The general objective of this thesis was to determine the cost-benefit of the inclusion of seismic insulators in the structural design of a residential building of nine levels and two basements, in the city of Chiclayo, before a seismic event of high magnitude, concluding that a short term will be structurally efficient; however, economically, it will imply an increase in the cost of 18%, represented by S / . 703,761.00. In addition, the inclusion of basements in the building, favored the removal of expandable soils, reaching a more rigid stratum favored the optimal performance of the insulators, as well as the design of the infrastructure with a structural period far and above the probable period of soil, the probability of incurring the phenomenon of seismic resonance decreased.

**Keywords:** seismic isolators, cost-benefit, basements, elastomers, seismic risk.

# ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>I. INTRODUCCIÓN.</b> .....	<b>1</b>
<b>II. MARCO TEÓRICO.</b> .....	<b>5</b>
<b>2.1. Antecedentes</b> .....	<b>5</b>
<b>2.1.1. Antecedente N°01: Historia de la aislación sísmica en el mundo</b> .....	<b>6</b>
<b>2.1.2. Antecedente N°02: Historia de la aislación sísmica en Perú</b> .....	<b>7</b>
<b>2.1.3. Antecedente N°03: Aisladores sísmicos: definición, tipos y características</b> 13	
<b>2.1.3.1. Definición de aislamiento sísmico</b> .....	<b>13</b>
<b>2.1.3.2. Caracterización principal de una estructura aislada en su base</b> .....	<b>14</b>
<b>2.1.3.3. Tipología de aisladores sísmicos</b> .....	<b>14</b>
<b>2.1.3.3.1. Aislador elastomérico convencional</b> .....	<b>14</b>
<b>2.1.3.3.2. Aislador elastomérico de alto amortiguamiento (HDR)</b> .....	<b>14</b>
<b>2.1.3.3.3. Aislador elastomérico con núcleo de plomo (LRB)</b> .....	<b>15</b>
<b>2.1.3.3.4. Aislador de péndulo friccional (FPS)</b> .....	<b>16</b>
<b>2.1.4. Antecedente N°04: Distribución espacial de áreas de ruptura y lagunas sísmicas en el borde oeste del Perú. Por Hernando Tavera &amp; Isabel Bernal, del Instituto Geofísico del Perú</b> .....	<b>17</b>
<b>2.1.5. Antecedente N°05: Chipana, Carlos Contreras. «Aislador sísmico. La tierra se mueve, el edificio no.» Diario La República, 25 de Julio de 2012</b> .....	<b>18</b>
<b>2.1.6. Antecedente N°06: Diseño de un edificio residencial con sótanos con sistema de aislamiento sísmico en Perú, Edificio Madre diseñado por Prisma Ingenieros ...</b> 19	
<b>2.1.7. Antecedente N°07: Construcción del primer edificio residencial con sistema de aislamiento sísmico en Perú”, “Edificio Tower Atlantik Ocean”</b> .....	<b>21</b>
<b>2.1.8. Antecedente N°08: Tesis de Licenciatura de Ingeniería Civil “Análisis y diseño de estructuras con aisladores sísmicos en el Perú” en Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP)</b> .....	<b>21</b>
<b>2.1.9. Antecedente N°09: Microzonificación y evaluación de peligros por geodinámica interna, de la ciudad de Chiclayo</b> .....	<b>22</b>
<b>2.1.10. Antecedente N°10: Experiencia internacional en métodos para la construcción de sótanos en lugares con nivel freático alto y suelos blandos</b> .....	<b>29</b>
<b>2.2. Bases Teórico Científicas</b> .....	<b>30</b>
<b>2.2.1. Código de American Society of Civil Engineers, ASCE 7-10</b> .....	<b>30</b>

2.2.2. Norma chilena NCH 2745 OF 2003 “Análisis y diseño de edificios con aislación sísmica” .....	32
2.2.3. Norma peruana E.030 “Diseño Sismorresistente” del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE).....	34
2.2.4. Libro: Design of Seismic Isolator Structures, from theory to practice. Autor: Kelly.1999 .....	40
2.2.4.1. Introducción .....	40
2.2.4.2. Parámetros del modelo bilineal .....	41
2.2.4.3. Propiedades mecánicas de los aisladores elastoméricos .....	43
2.2.4.4. Características mecánicas de aisladores con núcleo de plomo. ....	49
2.2.4.5. Modelo Bilineal de un aislador elastomérico de alto amortiguamiento .....	51
2.2.4.6. Características mecánicas de un aislador utilizando un sistema de péndulo de fricción .....	52
2.2.4.7. Pandeo crítico de Aisladores Elastoméricos. ....	54
2.2.4.8. Estabilidad ante grandes desplazamientos laterales.....	55
2.2.4.9. Área reducida .....	56
2.2.4.10. Hipótesis pandeo crítico .....	57
2.2.4.11. Estabilidad ante “Estiramiento” .....	58
2.1. Definición de términos básicos .....	59
2.1.1. Aislamiento sísmico .....	59
2.1.2. Aisladores sísmicos .....	59
2.1.3. Rigidez efectiva o secante.....	59
2.1.4. Vulnerabilidad sísmica .....	59
2.1.5. Riesgo sísmico .....	59
2.1.6. Amortiguamiento efectivo .....	60
2.1.7. Sismo de diseño.....	60
2.1.8. Aisladores elastoméricos.....	60
2.1.9. Aisladores con corazón de plomo.....	60
<b>III. METODOLOGÍA. ....</b>	<b>61</b>
3.1. Tipo y nivel de investigación.....	61
3.2. Diseño de investigación .....	61
3.3. Población, muestra, muestreo.....	61
3.3.1. Descripción de la arquitectura del edificio.....	62
3.3.2. Descripción de la estructura del edificio convencional .....	63

3.3.3. Descripción de la estructura del edificio aislado .....	63
3.4. Criterios de selección .....	64
3.5. Operacionalización de variables .....	65
3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	67
3.7. Procedimientos .....	67
3.8. Plan de procesamiento y análisis de datos .....	67
3.8.1. Método de Estudio de Mecánica de Suelos .....	68
3.8.1.1. Cargas .....	68
3.8.1.2. Asentamientos .....	70
3.8.1.3. Coeficiente de Balasto .....	71
3.8.1.4. Evaluación de Estabilidad de Taludes .....	73
3.8.2. Método para el cálculo de parámetros de pseudo aceleración .....	76
3.8.2.1. Cálculo de parámetros de pseudo aceleración Ss y S1 .....	76
3.8.2.2. Tipo de Análisis Sísmico .....	81
3.8.3. Métodos para el diseño de aisladores sísmicos .....	83
3.8.3.1. Guía de diseño de aislador elastomérico de alto amortiguamiento (HDR) .....	83
3.8.3.2. Guía de diseño de aislador elastomérico con núcleo de plomo (LRB) .....	86
3.8.3.3. Guía de diseño de aislador de péndulo friccional (FPS) .....	90
3.8.4. Método de modelamiento en software .....	93
3.8.4.1. Método de modelamiento de edificación .....	93
3.8.4.2. Método de modelamiento de aisladores sísmicos .....	101
3.8.4.3. Método de generación de registros sísmicos artificiales .....	106
3.9. Consideraciones éticas .....	112
3.10. Matriz de consistencia .....	113
<b>IV. RESULTADOS .....</b>	<b>114</b>
4.1. Estudio de Mecánica de Suelos .....	114
4.1.1. Capacidad de Carga .....	114
4.1.2. Propiedades Geotécnicas .....	115
4.1.3. Cargas .....	117
4.1.4. Coeficiente de Balasto .....	118
4.2. Diseño de Estructura Convencional .....	121
4.2.1. Parámetros sísmicos .....	121
4.2.3. Verificación de irregularidades .....	123

4.2.3.1. Verificación de irregularidades en altura .....	123
4.2.3.2. Verificación de irregularidades en planta .....	130
4.2.4. Coeficiente de Reducción .....	134
4.2.5. Sistema estructural .....	134
4.2.6. Estimación del peso .....	135
4.2.7. Tipo de análisis sísmico .....	135
4.2.7.1. Análisis sísmico estático .....	136
4.2.7.2. Análisis sísmico dinámico .....	137
4.2.8. Diseño de elementos estructurales .....	139
4.2.8.1. Diseño de Vigas .....	139
4.2.8.2. Diseño de viguetas .....	145
4.2.8.3. Diseño de columnas .....	147
4.2.8.4. Diseño de placas .....	153
4.2.8.5. Diseño de losa maciza .....	163
4.2.8.6. Diseño de platea de cimentación .....	166
4.2.8.7. Diseño de vigas de cimentación .....	173
4.2.8.8. Diseño de muros pantalla .....	175
4.3. Diseño de aisladores sísmicos .....	191
4.3.1. Diseño de aislador de caucho de alto amortiguamiento .....	191
4.3.1.1. Propiedades dinámicas de aislador de alto amortiguamiento .....	191
4.3.1.2. Diseño por Sismo de Diseño Base (DBE) .....	192
4.3.1.3. Diseño por Sismo Máximo Esperado (MCE) .....	201
4.3.1.4. Carga axial máxima .....	209
4.3.1.5. Carga axial mínima .....	211
4.3.1.6. Verificación de carga máxima y mínima .....	212
4.3.1.7. Verificación de factores de seguridad .....	214
4.3.1.8. Peso del aislador .....	217
4.3.1.9. Resumen de propiedades geométricas y dinámicas .....	218
4.3.2. Diseño de aislador de caucho con núcleo de plomo (LRB) .....	219
4.3.2.1. Propiedades dinámicas de aislador con núcleo de plomo (LRB) .....	219
4.3.2.2. Diseño de aislador con Sismo de Diseño Base (DBE) .....	220
4.3.2.3. Diseño de aislador con Sismo Máximo Esperado (MCE) .....	234
4.3.2.4. Carga Máxima .....	248

4.3.2.5. Verificación de factores de seguridad .....	250
4.3.2.6. Peso del aislador .....	252
4.3.2.7. Resumen de propiedades dinámicas y geométricas .....	254
4.3.3. Diseño de aislador de péndulo de fricción simple (FPS).....	255
4.3.3.1. Diseño de aislador de péndulo fricción simple (FPS) .....	255
4.3.3.2. Cálculo de detalles de aislador de péndulo de fricción simple (FPS) .....	259
4.3.3.3. Resumen de propiedades bilineales de aislador de péndulo de fricción simple (FPS) .....	262
4.3.4. Diseño de deslizadores sísmicos .....	263
<b>V. DISCUSIÓN.....</b>	<b>265</b>
<b>5.1. Análisis comparativo estructural .....</b>	<b>266</b>
5.1.1. Desplazamientos máximos .....	266
5.1.2. Desplazamientos en Sistema de Aislación .....	267
5.1.3. Modos de vibración .....	268
5.1.4. Desplazamientos y derivas .....	279
5.1.4.1. Desplazamiento y derivas por DBE.....	280
5.1.4.2. Desplazamiento y derivas por MCE.....	288
5.1.5. Corte Basal.....	293
5.1.5.1. Corte Basal por DBE .....	293
5.1.5.2. Corte Basal por MCE .....	296
5.1.6. Aceleración absoluta .....	299
5.1.6.1. Aceleración absoluta por DBE.....	299
<b>5.2. Análisis comparativo por metrado estructural.....</b>	<b>303</b>
5.2.1. Metrado de Movimiento de tierras .....	303
5.2.2. Metrado de Concreto .....	306
5.2.3. Metrado de encofrado y desencofrado .....	309
5.2.4. Metrado de Acero .....	312
5.2.5. Metrado de ladrillo de techo .....	315
<b>5.3. Análisis comparativo de relación de insumos .....</b>	<b>317</b>
5.3.1. Relación de insumos de mano de obra .....	317
5.3.2. Relación de insumos de mano de obra .....	319
5.3.3. Relación de insumos por tipo concreto.....	321
5.3.4. Relación de insumos de Materiales para encofrado y desencofrado .....	323
5.3.5. Relación de insumos por tipo de acero .....	325

<b>5.4. Análisis comparativo económico</b> .....	327
<b>5.4.1. Costos de mano de obra</b> .....	327
<b>5.4.2. Costos de equipos</b> .....	329
<b>5.4.3. Costos por tipo de resistencia a la compresión del concreto</b> .....	331
<b>5.4.4. Costos de materiales para encofrado y desencofrado</b> .....	333
<b>5.4.5. Costos por tipo de acero</b> .....	335
<b>5.4.6. Costos de ladrillo</b> .....	337
<b>5.5. Análisis general por relación de insumos y costos totales</b> .....	338
<b>VI. CONCLUSIONES</b> .....	<b>343</b>
<b>VII. RECOMENDACIONES</b> .....	<b>345</b>
<b>VIII. LISTA DE REFERENCIAS</b> .....	<b>346</b>
<b>IX. ANEXOS</b> .....	<b>349</b>
9.1. Anexo 1. Reporte de Ensayo SPT N°02 .....	349
9.2. Anexo 2. Reporte de Clasificación de Suelos SPT-1/M-1 .....	350
9.3. Anexo 3. Reporte de Clasificación de Suelos SPT-1/M-2 .....	351
9.4. Anexo 4. Reporte de Clasificación de Suelos SPT-1/M-3 .....	352
9.5. Anexo 5. Reporte de Clasificación de Suelos SPT-1/M-4 .....	353
9.6. Anexo 6. Reporte de Clasificación de Suelos SPT-1/M-5 .....	354
9.7. Anexo 7. Reporte de Clasificación de Suelos SPT-1/M-6 .....	355

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración II-1. Estructura de un aislador sísmico.....	13
Ilustración II-2. Tipos de Sistema de Protección Sísmica.....	13
Ilustración II-3. Corte Aislador Elastomérico Convencional.....	15
Ilustración II-4. Corte Aislador Elastomérico con Núcleo de Plomo.....	16
Ilustración II-5. Corte Aislador Tipo Friccional .....	16
Ilustración II-6. Corte Aislador Tipo Péndulo Friccional .....	16
Ilustración II-1. Mapa de intensidades sísmicas de Chiclayo, según microzonificación de Basauri.....	26
Ilustración II-2. Mapa de geotecnia local de Chiclayo, según microzonificación de Basauri.	26
Ilustración II-3. Mapa de suelos expansivos de Chiclayo, según microzonificación de Basauri. .....	27
Ilustración II-4. Mapa de suelos licuables de Chiclayo, según microzonificación de Basauri.	27
Ilustración II-5. Mapa de vulnerabilidad ante fenómenos de geodinámica interna de Chiclayo, según microzonificación de Basauri.....	28
Ilustración II-12. Modelo viscoelástico.....	41
Ilustración II-13. Modelo histerético.....	41
Ilustración II-14. Modelo Bilineal de una unidad de aislamiento.....	42
Ilustración II-15. Reducción del módulo de Compresión Ec. ....	46
Ilustración II-16. Cojinete de caucho entre capas rígidas restringidas en flexión pura.....	47
Ilustración II-17. Nomenclatura para área reducida.....	56
Ilustración II-18. Cambio de las resultantes de las líneas de acción de la carga vertical y límite de cambio .....	58
Ilustración III-1. Mapa de ubicación del condominio, según google maps. ....	62
Ilustración III-2. Distribución en planta de sistema de aislación HDR + LRB.....	64
Ilustración III-3. Factor de Seguridad en Estabilidad de Taludes.....	75
Ilustración III-4. Modelamiento de edificación – Opción balasto en área .....	93
Ilustración III-5. Modelamiento de edificación – Asignar balasto.....	93
Ilustración III-6. Modelamiento de edificación – Opción brazo rígido. ....	94
Ilustración III-7. Modelamiento de edificación – Asignación de brazo rígido. ....	94
Ilustración III-8. Modelamiento de edificación – Asignación de brazo rígido en placas .....	94
Ilustración III-9. Modelamiento de edificación – Asignación de brazo rígido en columnas ...	94
Ilustración III-10. Modelamiento de edificación – Opción de fuente de masa .....	95
Ilustración III-11. Modelamiento de edificación – Asignación de nueva fuente de masa .....	95
Ilustración III-12. Modelamiento de edificación – Factores de carga para fuente de masa.....	95
Ilustración III-13. Modelamiento de edificación – Opción de carga de patrones .....	96
Ilustración III-14. Modelamiento de edificación – Definición de patrones .....	96
Ilustración III-15. Modelamiento de edificación – Opción de carga de casos.....	96
Ilustración III-16. Modelamiento de edificación – Opción de carga de casos de sismo por análisis dinámico espectral.....	97
Ilustración III-17. Ilustración III-18. Modelamiento de edificación – Opción de carga de casos de sismo por análisis tiempo-historia .....	97
Ilustración III-19. Modelamiento de edificación – Opción de punto de inserción.....	98

Ilustración III-20. Modelamiento de edificación – Asignación de punto de inserción .....	98
Ilustración III-21. Modelamiento de edificación – Opción función espectro de respuesta.....	99
Ilustración III-22. Modelamiento de edificación – Asignación de espectro de respuesta desde archivo .....	99
Ilustración III-23. Modelamiento de edificación – Definición de espectro de respuesta.....	99
Ilustración III-24. Modelamiento de edificación – Definición de espectro de respuesta.....	99
Ilustración III-25. Modelamiento de edificación – Opción función tiempo-historia .....	100
Ilustración III-26. Modelamiento de edificación – Asignación de tiempo-historia desde archivo .....	100
Ilustración III-27. Modelamiento de edificación – Definición de tiempo-historia (acelerograma) .....	100
Ilustración III-28. Modelamiento de edificación – Definición de tiempo-historia (acelerograma) .....	100
Ilustración III-29. Modelamiento de aisladores – Propiedades de sección .....	102
Ilustración III-30. Modelamiento de aisladores – Añadir nueva propiedad.....	102
Ilustración III-31. Modelamiento de aisladores – Datos de Propiedades de Conexión .....	102
Ilustración III-32. Modelamiento de aisladores – Datos de Propiedades de Conexión .....	102
Ilustración III-33. Modelamiento de aisladores – Propiedades direccionales U1 de la conexión (HDR O LRB) .....	103
Ilustración III-34. Modelamiento de aisladores – Propiedades direccionales U2 de la conexión (HDR O LRB) .....	103
Ilustración III-35. Modelamiento de aisladores – Propiedades direccionales U1 de la conexión (FPS).....	104
Ilustración III-36. Modelamiento de aisladores – Propiedades direccionales U2 de la conexión (FPS).....	104
Ilustración III-37. Modelamiento de aisladores – Dibujo de entrepiso.....	105
Ilustración III-38. Modelamiento de aisladores – Elemento link de 2 puntos .....	105
Ilustración III-39. Modelamiento de aisladores – Asignar aislador .....	105
Ilustración III-40. Generación de registros sísmicos – Presentación de software SeismoArtif .....	106
Ilustración III-41. Generación de registros sísmicos – Configuración de unidades.....	106
Ilustración III-42. Generación de registros sísmicos – Métodos de cálculo .....	106
Ilustración III-43. Generación de registros sísmicos – Espectro objetivo.....	107
Ilustración III-44. Generación de registros sísmicos – Espectro objetivo.....	107
Ilustración III-45. Generación de registros sísmicos – Configuración de ingreso de espectro .....	108
Ilustración III-46. Generación de registros sísmicos – Acelerograma real .....	108
Ilustración III-47. Generación de registros sísmicos – Generación de acelerograma .....	109
Ilustración III-48. Generación de registros sísmicos – Generación de acelerograma .....	109
Ilustración III-49. Generación de registros sísmicos – Espectro de respuesta de aceleración, velocidad y desplazamiento del nuevo acelerograma .....	110
Ilustración III-50. Generación de registros sísmicos – Opción de guardar acelerograma .....	111
Ilustración III-51. Generación de registros sísmicos – Opción de guardar acelerograma .....	111

Ilustración IV-1. Resultado de estabilidad de taludes sin condiciones sísmicas para el caso de la estructura a emplear con 2 anclajes .....	176
Ilustración IV-2. Resultado de estabilidad de taludes con condiciones sísmicas para el caso de la estructura a emplear con 2 anclajes .....	176
Ilustración V-1. Primer modo de edificio con sistema de aislación HDR, modo traslacional en Y .....	270
Ilustración V-2. Segundo modo de edificio aislado con aisladores de alto amortiguamiento, modo traslacional en X.....	271
Ilustración V-3. Tercer modo de edificio aislado con aisladores de alto amortiguamiento, modo rotacional en Z.....	271
Ilustración V-4. Primer modo de edificio aislado con aisladores con núcleo de plomo, modo traslacional en Y.....	273
Ilustración V-5. Segundo modo de edificio aislado con aisladores con núcleo de plomo, modo traslacional en X.....	274
Ilustración V-6. Tercer modo de edificio aislado con aisladores con núcleo de plomo, modo traslacional en Z. ....	274
Ilustración V-7. Primer modo de edificio aislado con aisladores con péndulo de fricción simple, modo traslacional en Y.....	276
Ilustración V-8. Segundo modo de edificio aislado con aisladores con péndulo de fricción simple, modo traslacional en X. ....	277
Ilustración V-9. Tercer modo de edificio aislado con aisladores con péndulo de fricción simple, modo traslacional en Z. ....	277
Ilustración V-10. Representación de cantidad de aisladores HDR por diámetro.....	342

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla II-1. Edificaciones con aislación sísmica en Perú (2017) .....	8
Tabla II-2. Clasificación de peligros, elaborado por INDECI. ....	23
Tabla II-3. Sismicidad histórica del norte del Perú. ....	24
Tabla II-4. Factor de zona según norma E030 - RNE.....	35
Tabla II-5. Clasificación de los perfiles de suelo según norma E030 – RNE.....	35
Tabla II-6. Parámetros de suelo según norma E030 – RNE.....	35
Tabla II-7. Periodos $T_p$ y $T_l$ según norma E030 - RNE .....	35
Tabla II-8. Categoría de las edificaciones y factor U según norma E030-RNE. ....	36
Tabla II-9. Coeficiente de reducción básica ( $R_o$ ) según norma E030-RNE. ....	37
Tabla II-10. Factores por irregularidad en altura ( $I_a$ ) según norma E030-RNE. ....	37
Tabla II-11. Factores por irregularidad en planta ( $I_p$ ) según norma E030-RNE. ....	37
Tabla II-12. Restricciones de irregularidad según categoría y zona de las edificaciones según norma E030-RNE.....	38
Tabla II-13. Ecuaciones para el cálculo de estabilidad de aisladores elastoméricos .....	55
Tabla III-1. Operacionalización de variables .....	65
Tabla III-2. Valores de Factor de Forma ( $I_f$ ).....	70
Tabla III-3. Valores de Módulo de Elasticidad .....	70
Tabla III-4. Valores de Relación de Poisson.....	71
Tabla III-5. Coeficientes de Balasto referenciales ( $k_p/cm^3$ ).....	72

Tabla III-6. Guía Resumen para el diseño de Aisladores Elastoméricos HDR.....	83
Tabla III-7. Guía Resumen para el diseño de aisladores elastoméricos con núcleo de plomo LRB .....	86
Tabla III-8. Guía Resumen para el diseño de aisladores de fricción simple FPS .....	90
Tabla IV-1. Capacidad de carga admisible por factores de correlación con N de SPT / SPT-01 .....	114
Tabla IV-2. Propiedades Geotécnicas cada 30 cm de exploración. SPT-01 .....	115
Tabla IV-3. Propiedades Geotécnicas por estrato. SPT- 01 .....	116
Tabla IV-4. Cargas distribuidas por edificio colindante. ....	117
Tabla IV-5. Cargas sustraídas del suelo por estrato. ....	117
Tabla IV-6. Cálculo de Asentamientos Inmediatos parciales. ....	117
Tabla IV-7. Cálculo de Asentamiento Inmediato total.....	117
Tabla IV-8. Coeficiente de Balasto para estructuras horizontales en Arenas .....	118
Tabla IV-9. Coeficiente de Balasto para estructuras verticales en Arcillas .....	119
Tabla IV-10. Coeficiente de Balasto para estructuras verticales en Arenas .....	120
Tabla IV-11. Derivas de Sismo X – Sistema convencional .....	122
Tabla IV-12. Derivas de Sismo Y – Sistema convencional .....	122
Tabla IV-13. Verificación de irregularidades – Irregularidad de rigidez – Piso blando .....	123
Tabla IV-14. Verificación de irregularidades – Irregularidad de rigidez – Piso débil .....	125
Tabla IV-15. Verificación de irregularidades – Irregularidad extrema de rigidez.....	126
Tabla IV-16. Verificación de irregularidades – Irregularidad extrema de resistencia. ....	128
Tabla IV-17. Verificación de irregularidades – Irregularidad de masa o peso .....	129
Tabla IV-18. Verificación de irregularidades – Irregularidad torsional.....	130
Tabla IV-19. Verificación de irregularidades – Irregularidad torsional extrema.....	131
Tabla IV-20. Resumen de irregularidades en altura.....	133
Tabla IV-21. Resumen de irregularidades en planta .....	133
Tabla IV-22. Cuadro resumen de coeficientes de reducción R.....	134
Tabla IV-23. Cortante de absorción por placas y columnas.....	134
Tabla IV-24. Porcentajes de peso correspondiente según tipo de carga muerta o viva .....	135
Tabla IV-25. Distribución de fuerzas sísmica por nivel.....	136
Tabla IV-26. Resumen de esfuerzos – Fase de excavación -5.00 m. Básica .....	177
Tabla IV-27. Resumen de esfuerzos – Fase de excavación -5.00 m. Sismo .....	177
Tabla IV-28. Resumen de esfuerzos – Fase de excavación -6.00 m. Básica .....	181
Tabla IV-29. Resumen de esfuerzos – Fase de excavación -6.00 m. Sismo .....	181
Tabla IV-30. Propiedades dinámicas de aislador del alto amortiguamiento HDR .....	191
Tabla IV-31. Coordenadas de fuerza y distancia para diagrama de histéresis por sistema de aislación HDR por sismo DBE.....	200
Tabla IV-32. Carga vertical mínima por tipo de aislador HDR. ....	211
Tabla IV-33. Verificación resumen de carga máxima y mínima .....	213
Tabla IV-34. Verificación por aislador de carga máxima y mínima.....	212
Tabla IV-35. Pesos de materiales de aislador LRB.....	217
Tabla IV-36. Resumen de propiedades geométricas y dinámicas por sistema de aislación HDR .....	218

Tabla IV-37. Coordenadas de fuerza y distancia para diagrama de histéresis por sistema de aislación LRB por sismo DBE .....	232
Tabla IV-38. Coordenadas de fuerza y distancia para diagrama de histéresis por sistema de aislación LRB por sismo MCE.....	247
Tabla IV-39. Peso de los materiales de aislador LRB.....	253
Tabla IV-40. Resumen de propiedades dinámicas y geométricas de aislador LRB.....	254
Tabla IV-41. Coeficientes de amortiguamiento .....	256
Tabla IV-42. Coordenadas de fuerza y distancia para diagrama de histéresis por sistema de aislación FPS por sismo DBE .....	258
Tabla IV-43. Resumen de propiedades bilineales de aislador de péndulo de fricción simple (FPS).....	262
Tabla IV-44. Cargas y combinaciones en deslizadores sísmicos.....	264
Tabla V-1. Desplazamiento máximo por tipo de aislador, tipo y dirección de sismo.....	266
Tabla V-2. Desplazamiento máximo por tipo de aislador, tipo y dirección de sismo.....	267
Tabla V-3. Resultados de análisis modal con sistema de aislación HDR. ....	269
Tabla V-4. Resultados del análisis modal con el sistema de aislación LRB .....	272
Tabla V-5. Resultados del análisis modal con el sistema de aislación FPS .....	275
Tabla V-6. Desplazamientos y derivas por análisis espectral de sismo DBE en sistema de aislación LRB .....	281
Tabla V-7. Desplazamientos y derivas por análisis espectral de sismo DBE en sistema de aislación HDR .....	281
Tabla V-8. Desplazamientos y derivas por análisis espectral de sismo DBE en sistema de convencional.....	282
Tabla V-9. Desplazamientos y derivas por análisis espectral de sismo DBE en sistema de aislación FPS .....	282
Tabla V-10. Desplazamientos y derivas por análisis tiempo-historia con sismo VS2-Caso 1 en sistema de aislación HDR .....	285
Tabla V-11. Desplazamientos y derivas por análisis tiempo-historia con sismo VS2-Caso 2 en sistema de aislación HDR .....	285
Tabla V-12. Desplazamientos y derivas por análisis tiempo-historia con sismo VS3-Caso 1 en sistema de aislación HDR .....	286
Tabla V-13. Desplazamientos y derivas por análisis tiempo-historia con sismo VS3-Caso 2 en sistema de aislación HDR .....	286
Tabla V-14. Desplazamientos y derivas por análisis tiempo-historia con sismo VS4-Caso 1 en sistema de aislación HDR .....	287
Tabla V-15. Desplazamientos y derivas por análisis tiempo-historia con sismo VS4-Caso 2 en sistema de aislación HDR .....	287
Tabla V-16. Desplazamientos y derivas por MCE en sistema de aislación LRB por sismo X y sismo Y.....	289
Tabla V-17. Desplazamientos y derivas por MCE en sistema de aislación HDR por sismo X y sismo Y.....	289
Tabla V-18. Desplazamientos y derivas por MCE en sistema de aislación FPS por sismo X y sismo Y.....	290
Tabla -V-19. Corte basal por DBE en sistema de aislación HDR por sismo X y sismo Y ....	294

Tabla-V-20. Corte basal por DBE en sistema de aislación LRB por sismo X y sismo Y.....	294
Tabla -V-21. Corte basal por DBE en sistema de aislación FPS por sismo X y sismo Y.....	295
Tabla-V-22. Corte basal por DBE en sistema convencional.....	295
Tabla-V-23. Corte basal por MCE en sistema de aislación HDR por sismo X y sismo Y ....	297
Tabla-V-24. Corte basal por MCE en sistema de aislación LRB por sismo X y sismo Y.....	297
Tabla-V-25. Corte basal por MCE en sistema de aislación FPS por sismo X y sismo Y.....	298
Tabla V-26. Aceleración absoluta por DBE en sistema de aislación LRB por sismo X y sismo Y .....	300
Tabla V-27. Aceleración absoluta por DBE en sistema de aislación HDR por sismo X y sismo Y .....	300
Tabla V-28. Aceleración absoluta por DBE en sistema convencional por sismo X y sismo Y .....	301
Tabla V-29. Aceleración absoluta por DBE en sistema de aislación FPS por sismo X y sismo Y .....	301
Tabla -V-30. Metrado total de volúmenes de movimiento de tierras.....	304
Tabla-V-31. Resumen de metrados de concreto de elementos estructurales .....	307
Tabla-V-32. Resumen de metrado de encofrado y desencofrado. ....	310
Tabla-V-33. Resumen de metrado de acero .....	313
Tabla-V-34. Resumen de metrado de ladrillo de techo.....	315
Tabla-V-35. Resumen de Relación de Insumos – Horas hombre de Mano de obra .....	317
Tabla-V-36. Resumen de Relación de insumos - Horas Máquina de Maquinaria.....	319
Tabla-V-37. Resumen de Relación de insumos – Volumen de concreto por tipo de resistencia a la compresión .....	321
Tabla-V-38. Resumen de Relación de insumos – Material para encofrado y desencofrado .	323
Tabla-V-39. Resumen de Relación de insumos - Acero .....	325
Tabla V-40. Resumen de Costos – Mano de obra.....	327
Tabla V-41. Resumen de Costos - Equipos.....	329
Tabla V-42. Resumen de Costos – Tipo de concreto.....	331
Tabla V-43. Resumen de Costos – Materiales para encofrado y desencofrado .....	333
Tabla V-44. Resumen de Costos – Tipo de acero .....	335
Tabla V-45. Resumen de costos - Ladrillo.....	337
Tabla V-46. Resumen de Relación de insumos y Costo total – Equipos .....	339
Tabla V-47. Resumen de Relación de insumos y Costos totales – Mano de obra.....	339
Tabla V-48. Resumen de Relación de insumos y Costo total – Materiales .....	340
Tabla V-49. Resumen de Relación de Insumos y Costos total .....	341
Tabla V-50. Costos por metro cuadrado (con aisladores sísmicos) .....	342
Tabla V-51. Costo por metro cuadrado (sin aisladores sísmicos).....	342

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica II-1. Cantidad de edificaciones con aislación sísmica construidas o en proyecto, en Perú. (2017).....	10
Gráfica II-2. Cantidad de edificaciones con aislación sísmica en Perú por tipo de aislador (2017) .....	11
Gráfica II-3. Cantidad de edificaciones con aislación sísmica en Perú por intervalo de pisos (2017) .....	11
Gráfica II-4. Cantidad de edificaciones con aislación sísmica por departamento en Perú (2017) .....	12
Gráfica II-5. Cantidad de edificaciones con aislación sísmica en Perú por categoría de edificación (2017).....	12
Gráfica II-6. Grandes sismos ocurridos en el borde oeste de Perú en función de su ubicación en latitud, fecha de ocurrencia y longitud de ruptura.....	17
Gráfica III-1. Espectro promedio de los espectros normalizados de los sismos más fuertes en la historia del Perú.....	76
Gráfica IV-1. Análisis dinámico - espectro de pseudo aceleración (SX).....	138
Gráfica IV-2. Análisis dinámico - espectro de pseudo aceleración (SY).....	138
Gráfica IV-3. Desplazamiento - Fase de excavación a -5.00 m. Básica y Sismo .....	178
Gráfica IV-4. Ley de axiales - Fase de excavación a -5.00 m. Básica y Sismo .....	178
Gráfica IV-5. Ley de cortantes - Fase de excavación a -5.00 m. Básica y Sismo.....	179
Gráfica IV-6. Ley de momento flector - Fase de excavación a -5.00 m. Básica y Sismo... ..	179
Gráfica IV-7. Ley de empujes - Fase de excavación a -5.00 m. Básica y Sismo.....	180
Gráfica IV-8. Ley de presión hidrostática - Fase de excavación a -5.00 m. Básica y Sismo .....	180
Gráfica IV-9. Desplazamiento - Fase de excavación a -6.60 m. Básica y Sismo .....	182
Gráfica IV-10. Ley de axiales - Fase de excavación a -6.60 m. Básica y Sismo .....	182
Gráfica IV-11. Ley de cortantes - Fase de excavación a -6.60 m. Básica y Sismo.....	183
Gráfica IV-12. Ley de momento flector - Fase de excavación a -6.60 m. Básica y Sismo... ..	183
Gráfica IV-13. Ley de empujes - Fase de excavación a -6.60 m. Básica y Sismo.....	184
Gráfica IV-14. Ley de presión hidrostática - Fase de excavación a -6.60 m. Básica y Sismo .....	184
Gráfica IV-15. Desplazamientos – Todas las fases. Básica .....	185
Gráfica IV-16. Ley de axiales – Todas las fases. Básica .....	185
Gráfica IV-17. Ley de cortantes – Todas las fases. Básica .....	186
Gráfica IV-18. Ley de momento flector – Todas las fases. Básica .....	186
Gráfica IV-19. Ley de empujes – Todas las fases. Básica .....	187
Gráfica IV-20. Presión hidrostática – Todas las fases. Básica.....	187
Gráfica IV-21. Desplazamientos – Todas las fases. Sismo.....	188
Gráfica IV-22. Ley de axiales – Todas las fases. Sismo .....	188
Gráfica IV-23. Ley de cortantes – Todas las fases. Sismo.....	189
Gráfica IV-24. Ley de momento flector – Todas las fases. Sismo.....	189
Gráfica IV-25. Ley de empujes – Todas las fases. Sismo .....	190
Gráfica IV-26. Presión hidrostática – Todas las fases. Sismo .....	190
Gráfica IV-27. Diagrama de histéresis por sistema de aislación HDR por sismo DBE .....	200
Gráfica IV-28. Diagrama de histéresis por sistema de aislación LRB por sismo DBE .....	233

Gráfica IV-29. Diagrama de histéresis por sistema de aislación LRB por sismo MCE .....	247
Gráfica IV-30. Diagrama de histéresis por sistema de aislación FPS por sismo DBE .....	258
Gráfica V-1. Comparación de desplazamiento máximo por tipo de aislador – DBE .....	266
Gráfica V-2. Comparación de desplazamiento máximo por tipo de aislador – MCE.....	266
Gráfica V-3. Comparación de desplazamiento máximo en sistema de aislación por tipo de aislador – DBE .....	268
Gráfica V-4. Comparación de desplazamiento máximo en sistema de aislación por tipo de aislador – MCE.....	268
Gráfica V-5. Comparación de masa participativa para los tres primeros modos en las componentes $U_x$ , $U_y$ y $R_z$ , por sistema de aislación” .....	278
Gráfica V-6. Comparación de desplazamientos por DBE-Dirección Y por sistema de aislación y sistema convencional.....	283
Gráfica V-7. Comparación de desplazamientos por DBE-Dirección X por sistema de aislación y sistema convencional.....	283
Gráfica V-8. Comparación de derivas por DBE-Dirección X por sistema de aislación y sistema convencional.....	284
Gráfica V-9. Comparación de derivas por DBE-Dirección Y por sistema de aislación y sistema convencional.....	284
Gráfica V-10. Comparación de desplazamientos por MCE-Dirección X por sistema de aislación .....	291
Gráfica V-11. Comparación de desplazamientos por MCE-Dirección Y por sistema de aislación .....	291
Gráfica V-12. Comparación de derivas por MCE-Dirección X por sistema de aislación.....	292
Gráfica V-13. Comparación de derivas por MCE-Dirección Y por sistema de aislación.....	292
Gráfica V-14. Comparación de corte basal por DBE en sistema de aislación y sistema convencional.....	296
Gráfica V-15. Comparación de corte basal por MCE en sistema de aislación .....	298
Gráfica V-16. Comparación de aceleración absoluta por DBE-Dirección X en sistema de aislación y sistema convencional .....	302
Gráfica V-17. Comparación de aceleración absoluta por DBE-Dirección Y en sistema de aislación y sistema convencional .....	302
Gráfica V-18. Resumen de metrado de movimiento de tierras .....	304
Gráfica V-19. Porcentaje de variación de volumen de movimiento de tierra del Edificio Aislado respecto al Edificio Convencional.....	305
Gráfica V-20. Porcentaje de variación de metrado de concreto del Edificio Aislado respecto a Edificio convencional en $f(x)$ de elementos estructurales.....	308
Gráfica V-21. Resumen de metrados de concreto de elementos estructurales.....	308
Gráfica V-22. Resumen de metrado de encofrado y desencofrado.....	310
Gráfica V-23. Porcentaje de variación de metrado de encofrado y desencofrado del Edificio Aislado respecto al Edificio convencional .....	311
Gráfica V-24. Resumen de metrado de acero.....	313
Gráfica V-25. Porcentaje de variación de metrado de acero del Edificio Aislado respecto a Edificio Convencional en $f(x)$ de elementos estructurales .....	314
Gráfica V-26. Resumen de metrado de ladrillo de techo .....	315

Gráfica V-27. Porcentaje de variación de metrado de ladrillo de techo del Edificio Aislado respecto al Edificio Convencional.....	316
Gráfica V-28. Resumen de Relación de insumos – Horas hombre de Mano de obra.....	318
Gráfica V-29. Porcentaje de variación de horas hombre del Edificio aislado respecto a Edificio convencional.....	318
Gráfica V-30. Resumen de Relación de insumos – Horas máquina de Maquinaria .....	320
Gráfica V-31. Porcentaje de variación de horas hombre del Edificio aislado respecto al Edificio convencional.....	320
Gráfica V-32. Porcentaje de variación de volumen de concreto por tipo de resistencia a la compresión del Edificio aislado respecto al Edificio convencional.....	322
Gráfica V-33. Resumen de Relación de insumos de concreto .....	322
Gráfica V-34. Resumen de Relación de insumos – Materiales para encofrado y desencofrado .....	324
Gráfica V-35. Porcentaje de variación de Materiales para encofrado y desencofrado del Edificio aislado respecto al Edificio convencional .....	324
Gráfica V-36. Resumen de Relación de insumos - Acero.....	326
Gráfica V-37. Porcentaje de variación de peso de acero del Edificio Aislado respecto al Edificio convencional.....	326
Gráfica V-38. Resumen de Costos – Mano de obra .....	328
Gráfica V-39. Porcentaje de variación de costos totales de mano de obra del Edificio aislado respecto a Edificio convencional.....	328
Gráfica V-40. Porcentaje de variación de costos totales de equipos del Edificio aislado respecto a Edificio convencional .....	330
Gráfica V-41. Resumen de Costos - Equipos.....	330
Gráfica V-42. Porcentaje de variación de costos totales por tipo de resistencia a la compresión del concreto del Edificio aislado respecto a Edificio convencional.....	332
Gráfica V-43. Resumen de Costos – Tipo de concreto .....	332
Gráfica V-44. Porcentaje de variación de costos totales por materiales para encofrado y desencofrado del Edificio aislado respecto a Edificio convencional .....	334
Gráfica V-45. Resumen de Costos – Materiales para encofrado y desencofrado .....	334
Gráfica V-46. Porcentaje de variación de costos totales por tipo de acero del Edificio aislado respecto a Edificio convencional.....	336
Gráfica V-47. Resumen de Costos – Tipo de acero .....	336
Gráfica V-48. Porcentaje de variación de costos totales de ladrillos del Edificio aislado respecto a Edificio convencional .....	337
Gráfica V-49. Resumen de Costos totales.....	341

## I. INTRODUCCIÓN.

El sismo es un fenómeno natural muy destructivo, que constituye una amenaza perenne para la integridad física de sus ocupantes como para la integridad estructural de las edificaciones en general. Además, se sabe que Perú es considerado un país de gran actividad sísmica ya que forma parte del llamado “Cinturón del Fuego del Pacífico”, donde la actividad sísmica está asociado al proceso de subducción de la placa Nazca bajo la placa Sudamericana y tiene su origen en la fricción de ambas placas, produciendo sismos de mayor magnitud con relativa frecuencia [1]<sup>1</sup>.

Hasta febrero del 2019 [2, p. 8], la norma E.030 “Diseño Sismorresistente” en el artículo 5-Zonificación, mantiene especificando “un factor Z que se interpreta como la aceleración máxima del terreno con una probabilidad de 10% de ser excedida en 50 años, el cual considera una división del territorio nacional en función a la distribución espacial de la sismicidad observada, características generales de los movimiento sísmicos e información neotectónica, que es la siguiente: Zona 1, Zona 2, Zona 3 y Zona 4”. Además, al tener la zona 4, un factor de aceleración máxima y que la ciudad de Chiclayo se encuentra en dicha zona [2, p. 60], deja en evidencia el riesgo sísmico en dicho territorio, volviendo vulnerables a las infraestructuras y sus ocupantes, ante una actividad sísmica de magnitud severa.

En marzo del 2014, Diario El Comercio [3] publicó una nota periodística titulada “Riesgo de sismos fuertes es mayor en tres zonas de la costa” informando que: “El científico Julio Kuroiwa Horiuchi había interpretado el mapa sísmico nacional, elaborado por el Instituto Geofísico del Perú (IGP), y determinó que son tres las zonas del país con mayores probabilidades de sufrir los efectos de terremotos de gran intensidad, estas son: las costas de Piura, Lambayeque y La Libertad; la ciudad de Lima y las localidades entre Ilo y Tacna”.

Además en [3] Kuroiwa menciona que “aunque no se puede predecir cuándo sucederá un terremoto, los científicos manejan criterios para determinar las probabilidades de que estos eventos ocurran en lugares específicos. Uno de estos es el llamado silencio sísmico, que –según el sismólogo– no es más que la ausencia de terremotos en períodos superiores a treinta años. Afirma también que, en tanto, el silencio sísmico en las regiones costeras del

---

<sup>1</sup>[1] E. Norabuena, et.al, *Decelerating Nazca\_south America and*, 22 ed., vol. 26, GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS, 1999, pp. 3405-3408.

norte y del sur es más preocupante, ya que allí no se han producido terremotos devastadores desde hace más de 150 años”.

El director de Sismología del Instituto Geofísico del Perú (IGP), Hernando Tavera Huarache [3], “ratificó que la costa es la zona más vulnerable del país y que uno de los aspectos por mejorar es la calidad de las viviendas”. Además precisó que “El Perú está avanzando en prevención, con la organización de simulacros; pero el peligro siempre estará presente; mientras que, miles de personas vivan en casas con diseños y procesos constructivos deficientes, así como ubicadas en zonas vulnerables como cerros o riberas de ríos”.

Es así que, basado en la destacada experiencia y conocimiento técnico de los ingenieros, Kuroiwa<sup>2</sup> y Tavera<sup>3</sup>, sus argumentos fortalecen la teoría de que el riesgo y vulnerabilidad sísmica está presente en la ciudad de Chiclayo y otros departamentos del país. Ambas problemáticas sísmicas son una realidad que no deben ser ignoradas, es por ello que hoy en día se está dando apertura en nuestro país a la inclusión de nuevas tecnologías de protección sísmica tales como los aisladores sísmicos, que podrían mitigar los efectos sísmicos en las infraestructuras, protegiendo así la integridad física de los usuarios así como también de sus bienes materiales.

De la filosofía y principios de diseño sismorresistente [2, p. 4] y los coeficientes de reducción sísmica que reducen la fuerza sísmica hasta una octava parte ( $R=8$ ) [2, p. 16] del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), se infiere: que el diseño estructural de la normativa peruana no garantiza el no colapso de elementos tanto estructurales como no estructurales, así como tampoco la incertidumbre por parte de los ocupantes sobre la posibilidad de deceso de las estructuras sobre ellos, ante un eventual sismo severo.

La problemática se centra en el desconocimiento sobre el costo-beneficio que generaría a corto plazo la inclusión de aisladores sísmicos en el diseño estructural de edificaciones ante un evento sísmico de magnitud elevada. Así se formula el siguiente problema, ¿Cuál es el costo-beneficio por la inclusión de aisladores sísmicos en el diseño estructural de una edificación residencial de nueve niveles y dos sótanos, en la ciudad de Chiclayo, ante un evento sísmico de magnitud elevada?

---

<sup>2</sup> Julio Kuroiwa Horiuchi, fue ingeniero civil y profesor emérito de la UNI, con estudios de posgrado en el Instituto Internacional de Sismología e Ingeniería Sísmica Japón, reconocido por el departamento de USA como investigador más destacado en Ingeniería y Sismología en América Latina. Fuente: CONCYTEC.

<sup>3</sup> Hernando Tavera Huarache, ingeniero geofísico, sismólogo dedicado al estudio de grandes terremotos y sismicidad local y regional del Perú, con estudios de peligro sísmico e ingeniería sísmica orientado a la tipificación de suelos y comportamiento dinámico de estructuras. Fuente: CONCYTEC.

Teniendo en cuenta el alto peligro sísmico al que está expuesta el territorio peruano [1] y más aún la zona costera como la ciudad de Chiclayo [2, p. 60], se plantea la siguiente hipótesis: El costo-beneficio por la inclusión de aisladores sísmicos en el diseño estructural de una edificación residencial de nueve niveles y dos sótanos, en la ciudad de Chiclayo, ante un evento sísmico de magnitud elevada, será eficiente tanto estructural como económicamente.

A continuación se presentan las justificaciones de la tesis:

Como justificación social, basado en la filosofía y principios del diseño sismorresistente de Perú, busca prevenir el colapso de un edificio preservando la vida de sus habitantes [2, pp. 4-5]; sin embargo, ante sismos de magnitud elevada, los daños estructurales y no estructurales, podrían convertir a un edificio en inhabitable e inoperativo, obligando a que el mismo sea demolido o reconstruido.

Como justificación económica, si bien es cierto a corto plazo por la inclusión de estos sistemas de protección sísmica, el proyecto aumentaría su costo, a largo plazo ante un sismo de magnitudes considerables una edificación sería rentablemente económica por el costo que involucraría las reparaciones por daños tanto estructurales como no estructurales e incluso la posibilidad de reconstrucción total del edificio por la inoperatividad en la que haya quedado.

Se tiene conocimiento que el departamento de Lambayeque presenta un importante silencio sísmico, según se especifica en el Antecedente N°04: Distribución espacial de áreas de ruptura y lagunas sísmicas en el borde oeste del Perú. Por Hernando Tavera & Isabel Bernal, del Instituto Geofísico del Perú, que se traduce en que mientras más largo sea el periodo de duración del silencio sísmico, entonces mayor será la probabilidad de recibir actividad sísmica y de magnitudes elevadas. Por lo expuesto, este proyecto de tesis exhortará el diseño de estructuras con aisladores sísmicos en nuestro departamento y a nivel nacional.

Como justificación tecnológica, el diseño Sismorresistente de edificios con aisladores sísmicos tiene sus inicios a nivel mundial desde hace 50 años y su tendencia ha ido creciendo en países con importante frecuencia sísmica como Japón, según Antecedente N°01: Historia de la aislación sísmica en el mundo. Asimismo, países vecinos como Chile ya han incluido el diseño con aisladores sísmicos en sus normas de edificaciones [4] y en Perú, el uso de aisladores sísmicos se encuentra en un temprano inicio desde el 2012, según

Antecedente N°02: Historia de la aislación sísmica en Perú. Por lo expuesto, esta tesis exhorta a la investigación, sobre nuevas alternativas para proteger a edificaciones de nuestro país ante grandes sismos.

Hasta la actualidad, no se ha tenido registro alguno en el departamento de Lambayeque, sobre construcción de edificaciones con sótanos que hayan incluido sistemas de aislación sísmica en sus diseños estructurales, una razón más por la que sería pertinente la investigación de este tema de tesis para poder evaluar la factibilidad de la construcción de alguna edificación en nuestro departamento, teniendo en cuenta que por la zona en la que se encuentra ubicado el departamento de Lambayeque existirían algunos posibles inconvenientes como los suelos cohesivos, el nivel freático alto, inestabilidad en excavaciones de sótanos, u otros.

Como justificación científica, las estructuras actuales bien diseñadas y construidas de nuestro país, muestran buen desempeño sísmico frente a sismos moderados [2, p. 4]; pero se infiere que no garantizarían el mismo desempeño para sismos severos, lo cual pone en evidencia la necesidad de incorporar mejores técnicas de protección sísmica.

Desde Febrero del año 2016, la norma E-030 “Diseño Sismorresistente” del Reglamento Nacional de Edificaciones, ha comenzado a incluir algunos artículos referidos o relacionados al diseño con aisladores sísmicos específicamente en las edificaciones de tipo esencial como hospitales o colegios, motivo por el cual sería pertinente la realización de la presente investigación para servir como referencia de apoyo a nivel nacional para una posible inclusión de normativas de diseño con aisladores sísmicos.

## II. MARCO TEÓRICO.

### 2.1. Antecedentes

Los siguientes antecedentes demuestran que la tecnología de aislación sísmica ha tenido una importante implementación y crecimiento en edificaciones a nivel mundial y un importante inicio en Perú. También que importantes ingenieros e investigadores en la rama del diseño sismorresistente del país, apuestan a favor por sus beneficios estructurales. Además, se evidencia que importantes empresas nacionales en el diseño de estructuras así como reconocidas universidades, han comenzado a investigar, diseñar y construir estructuras con sistemas de aislación sísmica. A continuación se listan los antecedentes redactados, desde los más generales a nivel mundial hasta los más específicos a nivel nacional.

- Antecedente N°01: Historia de la aislación sísmica en el mundo.
- Antecedente N°02: Historia de la aislación sísmica en Perú.
- Antecedente N°03: Aisladores sísmicos: definición, tipos y características.
- Antecedente N°04: Distribución espacial de áreas de ruptura y lagunas sísmicas en el borde oeste del Perú. Por Hernando Tavera & Isabel Bernal, del Instituto Geofísico del Perú.
- Antecedente N°05: Chipana, Carlos Contreras. "Aislador sísmico. La tierra se mueve, el edificio no." Diario La República, 25 de Julio de 2012.
- Antecedente N°06: Diseño de un edificio residencial con sótanos con sistema de aislamiento sísmico en Perú, Edificio Madre diseñado por Prisma Ingenieros.
- Antecedente N°07: Construcción del primer edificio residencial con sistema de aislamiento sísmico en Perú", "Edificio Tower Atlantik Ocean".
- Antecedente N°08: Tesis de Licenciatura de Ingeniería Civil "Análisis y diseño de estructuras con aisladores sísmicos en el Perú" en Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP).
- Antecedente N°09: Microzonificación y evaluación de peligros por geodinámica interna, de la ciudad de Chiclayo.
- Antecedente N°10: Experiencia internacional en métodos para la construcción de sótanos en lugares con nivel freático alto y suelos blandos.

### **2.1.1. Antecedente N°01: Historia de la aislación sísmica en el mundo**

En Yugoslavia en 1969, se construyó el primer edificio aislado del mundo, llamado Escuela de Pestalozzi, el cual implementó unos bloques de caucho para lograr el aislamiento del edificio [5].

En Estados Unidos en 1976; se realizaron los primeros estudios sobre aisladores en la Universidad de California en Berkeley. Luego en 1995, se construyó el primer edificio con aislación sísmica en los Estados Unidos, llamado Foothill Communities Law and Justice Center (FCLJC), el cual fue un centro de servicios legales para el Condado de San Bernardino, localizado en la ciudad de Rancho Cucamonga, a 97 km al este del centro de Los Ángeles y 21 km de la falla de San Andrés. Además, contó con un área de 15,794 m<sup>2</sup> y cuatro niveles y un sótano. Es importante mencionar que fue el primer edificio con aislación sísmica en el mundo que utilizó cojinetes de aislamiento de caucho natural de alto amortiguamiento [6, pp. 6-7].

En Japón, “El uso del aislamiento para el diseño sismo-resistente también persigue muy activamente, con la finalización de la primera gran construcción de bases aisladas moderna en 1986 y aumentó a un nivel de alrededor de 10 edificios aislados por año en 1990 y 1991, la tasa de construcción de edificios aislados se había reducido a alrededor de 4 o 5 por año debido a la cobertura económica, y en el momento del terremoto de Kobe de enero de 1995 el número se situó en torno a 80” [6, pp. 18-19].

En Nueva Zelanda en 1981; se terminó la construcción el primer edificio con aislación sísmica, llamado “William Clayton” ubicado en Wellington [6, p. 20].

En Chile en 1992, se inicia la construcción de edificios aislados con la construcción del Edificio de vivienda social de la comunidad de Andalucía de cuatro pisos sobre 8 aisladores. Luego en el 2000, se continuó con la Clínica San Carlos de la Pontificia Universidad Católica de Chile, con 6 niveles y con 52 aisladores. Después, entre el 2001 y 2002 se construyó el tercer edificio aislado, Edificio San Agustín de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Católica que tiene 5 pisos y cuenta con 53 aisladores. Finalmente el proyecto aislado de mayor envergadura, fue el Edificio Placa Técnica del Hospital Militar con 164 aisladores [4] y [7].

La norma Nch2745 menciona que “Los antecedentes mundiales muestran que con posterioridad a los terremotos de Northridge y Kobe, el uso de la aislación sísmica en el mundo ha crecido considerablemente. Por ejemplo, las estadísticas en Japón muestran que el año 1998 se construyeron más de 700 edificios con aislación sísmica, entre los que se

incluyen 35 hospitales, 18 edificios gubernamentales y 304 edificios de viviendas” [4, p. 18].

En Perú, desde hace 7 años aproximadamente; comenzó el uso de aisladores sísmicos en edificaciones y desde hace 3 años se comenzó a fomentar su uso obligatorio en edificaciones de la categoría A1. El Antecedente N°02: Historia de la aislación sísmica en Perú, presenta un registro histórico de las edificaciones con aislación sísmica a nivel local, en Perú.

### **2.1.2. Antecedente N°02: Historia de la aislación sísmica en Perú**

El ing. Talavera Gómez<sup>4</sup> [8] menciona en su investigación, una recopilación aproximada de los proyectos construidos o en etapa de proyecto, en los cuales además se describen características al respecto tales como: ubicación departamental, tipo de aislador, número de edificios, número de dispositivos de aislación sísmica, número de pisos máximo, número de sótanos, estado del proyecto, año; asimismo se ha considerado incluir la categoría de la edificación según la norma E030 del RNE. En la Tabla II-1, se describe un resumen.

Para conseguir una mayor visualización de la información y lograr una óptima interpretación de los datos investigados, se elaboraron las siguientes gráficas: Gráfica II-1. Cantidad de edificaciones con aislación sísmica construidas o en proyecto, en Perú. (2017), Gráfica II-2. Cantidad de edificaciones con aislación sísmica en Perú por tipo de aislador (2017), Gráfica II-3. Cantidad de edificaciones con aislación sísmica en Perú por intervalo de pisos (2017), Gráfica II-4. Cantidad de edificaciones con aislación sísmica por departamento en Perú (2017) y Gráfica II-5. Cantidad de edificaciones con aislación sísmica en Perú por categoría de edificación (2017). A continuación, se describirá la inferencia obtenida de cada gráfica.

---

<sup>4</sup> Álvaro Talavera Gómez, ingeniero civil por la Universidad Ricardo Palma, miembro de la comisión de elaboración nueva norma de aislación y disipación de energía del Perú (2015-actualidad). Fuente: LinkedIn.

**Tabla II-1. Edificaciones con aislación sísmica en Perú (2017)**

Nombre del proyecto	Ubicación	Tipo de aislador	N° de edificios	N° de dispositivos	N° de pisos	N° de sótanos	Año	Estado	Categ. de Edificación
Universidad UPC - Biblioteca Campus Villa	Lima	HDR	1	41	3	-	Construido	2012	A
Sede Corporativa GyM	Lima	LRB	1	32	7	4	Construido	2013	C
Universidad PUCP - Aulario	Lima	HDR	1	28	7	3	Construido	2013	A
Universidad PUCP - Biblioteca	Lima	HDR + LRB	1	45	4	2	Construido	2013	A
Universidad UNI - Biblioteca	Lima	LRB	1	20	8	-	Construido	2013	A
Universidad UPC - Ciencias de Salud	Lima	HDR	1	18	3	-	Construido	2013	A
Universidad UTEC - Lima	Lima	LRB	1	149	11	-	Construido	2013	A
Edificio Multifamiliar Atlantik Ocean Tower	Lima	HDR	1	41	15	4	Construido	2014	C
Hospital de Yurimaguas - Santa Gema	Loreto	HDR	7	172	4	-	Construido	2014	A
Hospital Regional de Moquegua	Moquegua	LRB	6	216	4	-	Construido	2014	A
Edificio Multifamiliar Madre	Lima	LRB	1	54	17	6	Construido	2014	C
Edificio Paseo Colonial	Lima	LRB	1	72	15	2	Construido	2015	C
Gobierno Regional de Moquegua	Moquegua	LRB	1	80	5	-	Construido	2015	A
Hospital de Tocache	San Martín	LRB	1	109	4	-	Construido	2015	A
Hospital Regional Daniel Alcides Carrión	Cerro de Pasco	HDR	9	186	6	-	Construido	2015	A
Clínica de Medicina Deportiva	Callao	FPS	1	23	3	-	Construido	2016	C

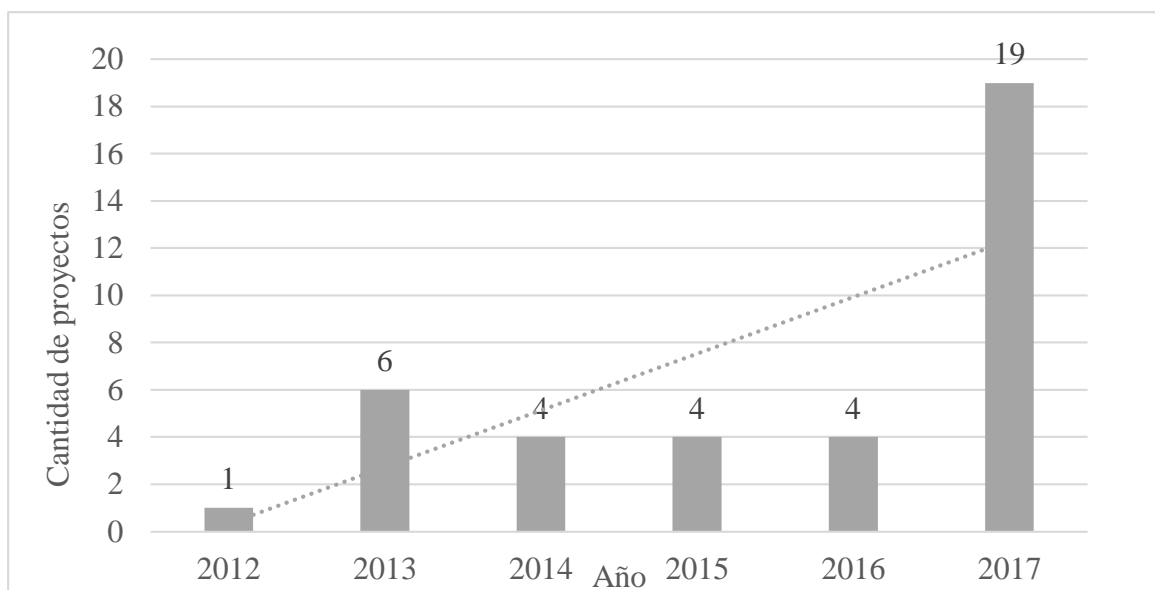
Complejo de Ciencias Sociales PUCP	Lima	LRB	1	40	9	3	Construido	2016	C
Hospital de Bella Vista	San Martín	LRB	1	64	4	-	Construido	2016	A
Hospital de Rioja	San Martín	LRB	1	100	3	-	Construido	2016	A
Centro Empresarial Cortijo	Lima	HDR	1	29	13	10	Proyecto	2017	A
Clínica Hamilton Naki	Junín	HDR	1	92	4	-	Proyecto	2017	A
Clínica de Especialidades Médicas	Lima	HDR	1	39	6	-	Proyecto	2017	A
Hospital Materno Infantil	Puno	HDR	3	139	3	-	Proyecto	2017	A
Hospital Coracora	Ayacucho	FPT	1	66	5	-	Proyecto	2017	A
Hospital San Francisco	Ayacucho	FPT	1	68	5	-	Proyecto	2017	A
Hospital San Miguel	Ayacucho	FPT	1	29	4	-	Proyecto	2017	A
Hospital Cangallo	Ayacucho	FPT	1	36	4	-	Proyecto	2017	A
Hospital María Auxiliadora	Amazonas	FPT	1	55	3	-	Proyecto	2017	A
Hospital de Cajamarca	Cajamarca	FPT	1	116	8	-	Proyecto	2017	A
Hospital Alto Inclán	Arequipa	FPT	1	91	3	-	Proyecto	2017	A
Hospital Goyeneche	Arequipa	FPT	1	192	6	-	Proyecto	2017	A
Hospital de Talara	Piura	FPT	1	181	6	-	Proyecto	2017	A
Hospital de Llata	Huánuco	HDR	3	95	4	-	Proyecto	2017	A
Hospital de Llave	Puno	HDR	5	110	3	-	Proyecto	2017	A
Edificio Alameda Las Gaviotas	Lima	HDR	3	171	9	3	Proyecto	2017	C
Universidad Privada de Tacna	Tacna	HDR	3	241	4	-	Proyecto	2017	A
Hospital de la Policía Nacional del Perú "Luis N.Saenz"	Lima	HDR	3	213	6	-	Proyecto	2017	A
Nuevo pabellón INEN	Lima	LRB	1	74	9	3	Proyecto	2017	Otros

De la Gráfica II-1, se aprecia que la primera edificación construida con aisladores sísmica en Perú fue la “Universidad UPC – Biblioteca Campus Villa” en el año 2012, construido en el departamento de Lima, contó con 41 aisladores sísmicos del tipo HDR y su infraestructura fue de 3 pisos.

Además, para el año 2013, se aprecia un importante crecimiento de proyectos construidos con aisladores sísmicos, este fue de 1 a 6 con respecto al año anterior, se podría inferir que ello se debió al boom constructivo por la primera edificación con aisladores sísmicos construida en Perú en el año anterior.

Luego, en los años siguientes hasta el 2016, hubo un ligero decrecimiento pero constante sobre los proyectos ejecutados, este fue de 6 a 4. Sin embargo, a partir del 2017 apareció un crecimiento considerable sobre edificaciones con este tipo de tecnología. Es importante mencionar que el registro de este último se refiere a proyectos que para esa fecha se encontraban en la etapa de elaboración de proyecto.

**Gráfica II-1. Cantidad de edificaciones con aislación sísmica construidas o en proyecto, en Perú. (2017)**



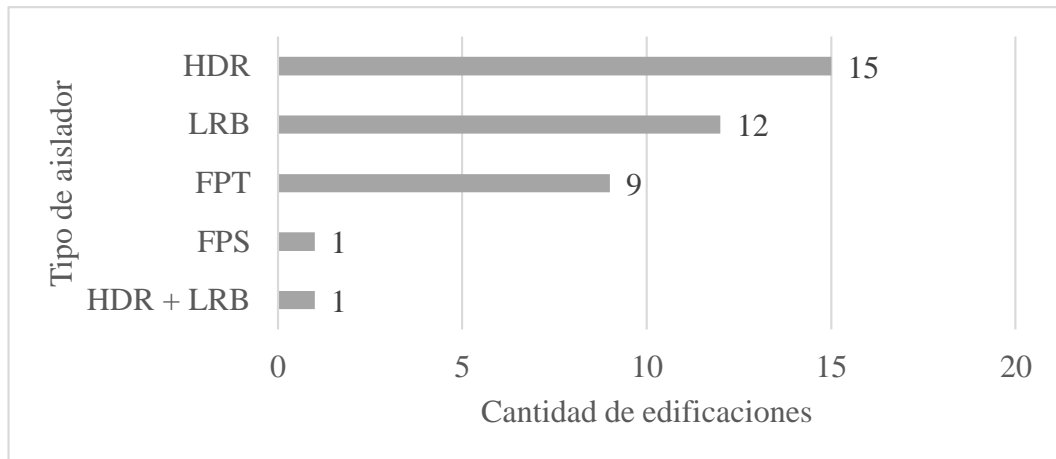
Basado en la Gráfica II-2, se infiere que la tipología de aisladores sísmicos más usada en el Perú ha sido: aisladores de alto amortiguamiento (HDR), aisladores con núcleo de plomo (LRB), aisladores de péndulo de fricción simple (FPS) y aisladores de péndulo de fricción triple (FPT).

Además, el tipo de aislador mayormente utilizado ha sido el HDR y LRB, seguido por los FPT. Es importante mencionar que los dos primeros ha sido utilizado para categorías de

edificación de tipo A y C; mientras que el tercero, para el tipo B; según la clasificación de la norma E030 [2].

Una importante inferencia obtenida fue que casi la totalidad de proyectos ha sido diseñada con una sola tipología de aislador. Se podría inferir, que podría deberse a la complejidad que implaría utilizar dos o más tipos de aisladores en un mismo proyecto.

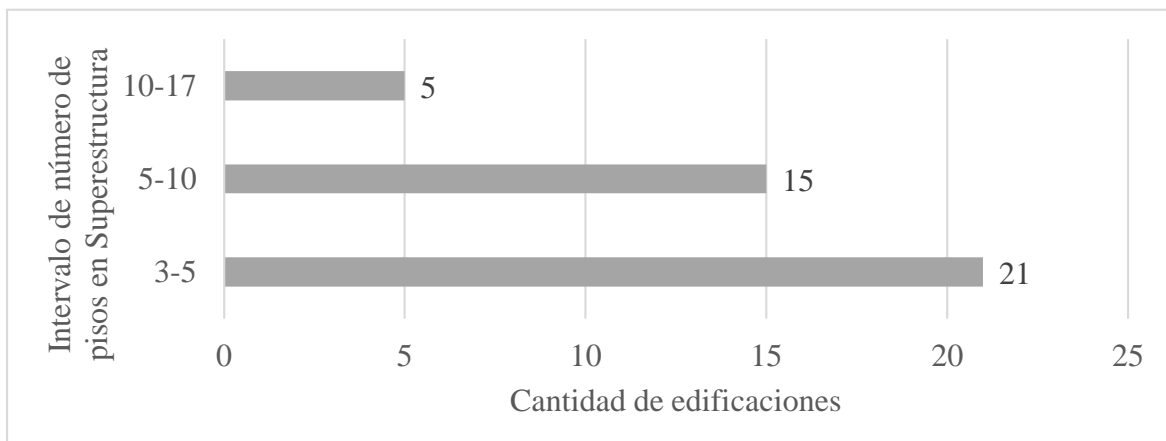
**Gráfica II-2. Cantidad de edificaciones con aislación sísmica en Perú por tipo de aislador (2017)**



Según la Gráfica II-3, se informa que aproximadamente el 50% de los proyectos ejecutados o aún en desarrollo para dicha fecha, estuvieron un intervalo entre 3 a 5 niveles en la superestructura; mientras que el otro 50%, en un intervalo de 6 a 17 niveles.

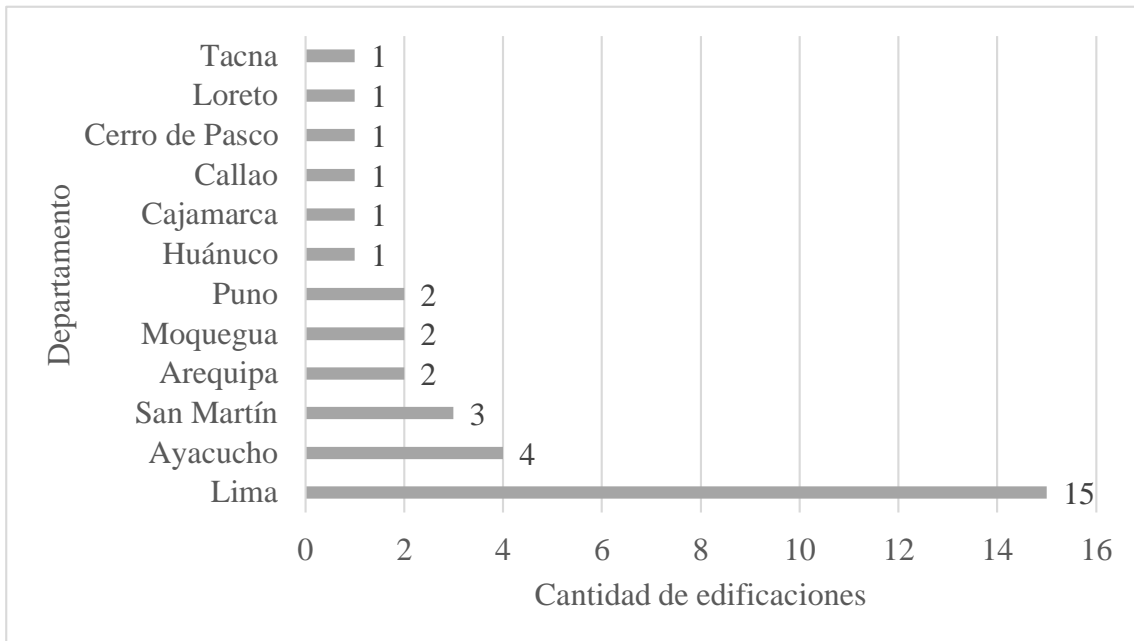
De la Tabla II-1 se deduce que la edificación más alta construida en Perú fue el “Edificio Multifamiliar Madre”, el cual cuenta con 17 niveles de piso y 6 sótanos; además en su diseño se utilizaron aisladores del tipo LRB haciendo un total de 41 dispositivos en los que incluyen deslizadores.

**Gráfica II-3. Cantidad de edificaciones con aislación sísmica en Perú por intervalo de pisos (2017)**



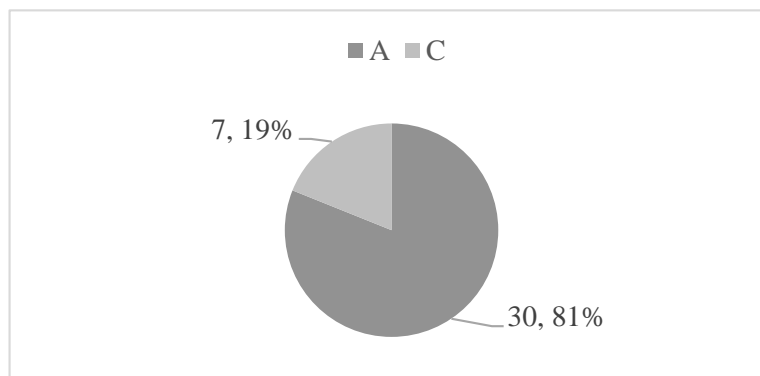
En la Gráfica II-4, se aprecia que hasta el año 2017, el departamento de Lima cuenta con la mayor cantidad de proyectos con aislación sísmica, logrando un total de 15. Asimismo, le siguen los departamentos de Ayacucho, San Martín y Arequipa con 4,3 y 2 proyectos; respectivamente.

**Gráfica II-4. Cantidad de edificaciones con aislación sísmica por departamento en Perú (2017)**



De la Gráfica II-5, se obtiene que aproximadamente el 20% y 80% de edificaciones construidos o aún en desarrollo con aislación sísmica, representan a las categorías de edificación C y A, respectivamente, según la clasificación de la norma E030 [2]. Es lógico que las edificaciones A, consideradas como esenciales tengan un mayor porcentaje de incidencia en este tipo de tecnología debido a factores como: la cantidad de personas que ocupan la edificación, así como la importancia económica o social que implican.

**Gráfica II-5. Cantidad de edificaciones con aislación sísmica en Perú por categoría de edificación (2017)**



### 2.1.3. Antecedente N°03: Aisladores sísmicos: definición, tipos y características

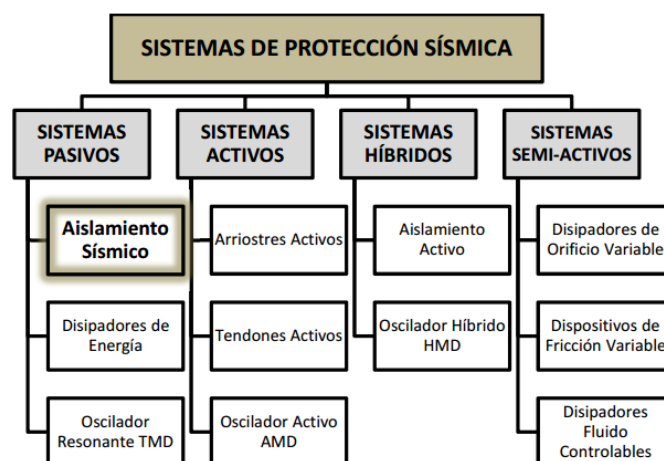
#### 2.1.3.1. Definición de aislamiento sísmico

Muñoz [9] señala que “El aislamiento sísmico es una colección de elementos estructurales para aislar la superestructura del edificio del terreno y así proteger la integridad del edificio. El diseño Sismorresistente de edificios con aisladores sísmicos consiste en la modificación de las características dinámicas de la edificación, cuya flexibilidad permita reducir su demanda sísmica.”



*Ilustración II-1. Estructura de un aislador sísmico*

Muñoz [9] menciona los siguientes beneficios “La aplicación de este tipo de aisladores consigue reducir las aceleraciones y deformaciones de la superestructura eliminando el daño estructural. Una estructura correctamente aislada sísmicamente recibe solo la cuarta o quinta parte de la aceleración del terreno; mientras que, una estructura convencional la amplifica de 3 a 4 veces”.



*Ilustración II-2. Tipos de Sistema de Protección Sísmica*

### **2.1.3.2. Caracterización principal de una estructura aislada en su base**

- ✓ Aumenta el periodo fundamental de la estructura.
- ✓ Incrementa el amortiguamiento estructural de la edificación.
- ✓ Se reducen las aceleraciones en la superestructura.
- ✓ Se reducen las deformaciones.
- ✓ Se permite mayor desplazamiento horizontal de las estructuras.

### **2.1.3.3. Tipología de aisladores sísmicos**

A continuación se describen las principales características y beneficios de los tres sistemas de aislación sísmica, más utilizados en Perú:

#### **2.1.3.3.1. Aislador elastomérico convencional**

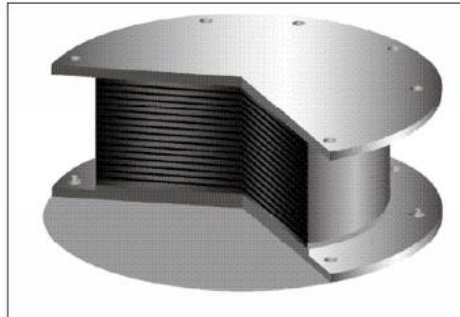
En su investigación, Muñoz [9], menciona que “Estos aisladores son apoyos elastoméricos laminados, intercalando un conjunto de láminas de goma con delgadas placas de acero unidas por un proceso de vulcanización a manera de un sándwich. La característica general de este sistema es el de entregar una alta rigidez vertical para soportar las cargas de la edificación y una rigidez lateral baja, para permitir el desplazamiento de la superestructura ante eventos sísmicos. Los aisladores elastoméricos laminados cuentan en sus extremos superior e inferior con dos placas de acero con las cuales se conecta a la superestructura en su parte superior y a la fundación en su parte inferior”.

#### **2.1.3.3.2. Aislador elastomérico de alto amortiguamiento (HDR)**

La base teórica obtenida en la tesis de Muñoz [9], menciona que este tipo de aislador: “Es denominado HDR por sus siglas en inglés “High Damping Rubber” tiene la misma disposición ya mencionada con láminas de goma y acero; pero en este caso a manera de un sándwich. Se utiliza una goma que además de entregar la flexibilidad y rigidez requerida, se diferencia de los elastómeros comunes por que posee un alto amortiguamiento, logrado a través de agregar sustancias químicas al compuesto. Estos dispositivos han sido usados e instalados en una gran variedad de edificios en Japón, los Estados Unidos, e Italia”. Además, FEMA [10, p. 1982] destaca las siguientes características para los aisladores elastoméricos de alto amortiguamiento:

- ✓ Máxima deformación de cortante, de 200 a 350%.
- ✓ La amortiguación aumenta al agregar carbón negro extrafino, aceites o resinas, y otros rellenos.

- ✓ Razón de amortiguamiento = 10 a 20% a deformaciones de corte del 100%.
- ✓ Módulo de corte = 50 a 200 psi.
- ✓ La rigidez y la amortiguación efectivas dependen de: elastómero y rellenos, presión de contacto, velocidad de carga, historial de carga (scragging) y temperatura.

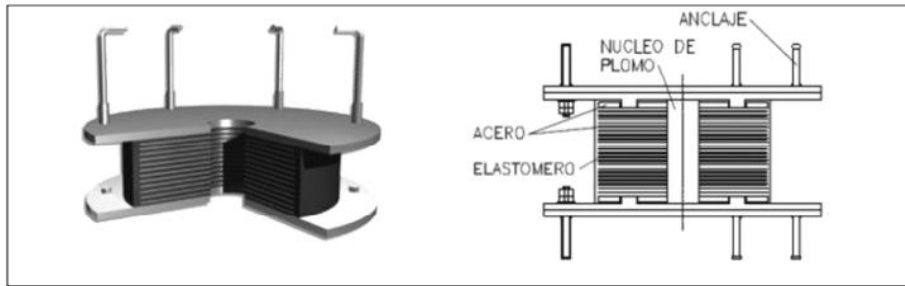


*Ilustración II-3. Corte Aislador Elastomérico Convencional*

#### **2.1.3.3.3. Aislador elastomérico con núcleo de plomo (LRB)**

Muñoz [9] describe que es: “Denominado LRB por sus siglas en inglés “Lead Rubber Bearing” los aisladores con núcleo de plomo son de naturaleza similar al LDR; pero estos tienen uno o más orificios circulares en donde se introducen barras de plomo con la finalidad de entregar mayor amortiguación al sistema de aislación. Por lo general el sistema cuenta con un solo núcleo de plomo inserto en el centro del aislador”. Además, FEMA [10, p. 1983] destaca las siguientes características para los aisladores de núcleo de plomo:

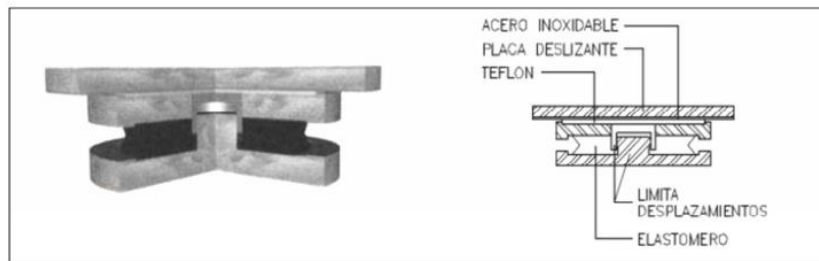
- ✓ El cilindro de plomo sólido se encaja a presión en el orificio central del cojinete elastomérico.
- ✓ Tensión de rendimiento de plomo = 1500 psi (resulta en una alta rigidez inicial).
- ✓ La tensión de rendimiento se reduce con ciclos repetidos debido al aumento de temperatura.
- ✓ Inventado en 1975 en Nueva Zelanda y utilizado ampliamente en Nueva Zelanda, Japón y los Estados Unidos.
- ✓ Caucho de baja amortiguación combinado con núcleo central de plomo.
- ✓ Módulo de corte = 85 a 100 psi al 100% de tensión de corte.
- ✓ Tensión máxima de cizallamiento = 125 a 200% (ya que la tensión máxima de cizallamiento suele ser inferior al 200%, las variaciones en las propiedades no son tan significativas como para los rodamientos de goma de alta amortiguación)



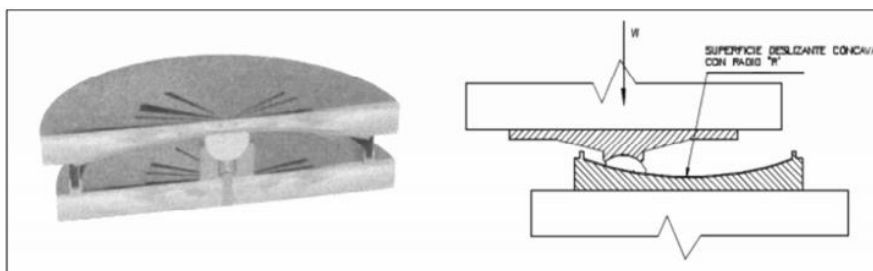
*Ilustración II-4. Corte Aislador Elastomérico con Núcleo de Plomo*

#### 2.1.3.3.4. Aislador de péndulo friccional (FPS)

Muñoz [9] describe que es: “Denominado FPS por sus siglas en inglés “Friction Pendular System” es un dispositivo que consigue el efecto de aislación a través de un mecanismo deslizante unido a un efecto pendular. El FPS consiste en un deslizador articulado (Slider) que se mueve sobre una superficie de acero inoxidable, que tiene la característica de ser esférica cóncava, ante un movimiento sísmico se producirá un desplazamiento del “slider” a lo largo de esta superficie disipando energía por fricción y a la vez como el desplazamiento se produce sobre una superficie curva hace que la misma carga vertical genere una componente tangencial que es la responsable de centrar el sistema”.



*Ilustración II-5. Corte Aislador Tipo Friccional*



*Ilustración II-6. Corte Aislador Tipo Péndulo Friccional*

**2.1.4. Antecedente N°04: Distribución espacial de áreas de ruptura y lagunas sísmicas en el borde oeste del Perú. Por Hernando Tavera & Isabel Bernal, del Instituto Geofísico del Perú**

Una laguna sísmica es una teoría observacional a largo plazo para la predicción de sismos, “puede ser definida como aquella área en la cual no se ha producido, durante un periodo determinado de tiempo, un sismo de magnitud elevada y que en la actualidad se encuentra rodeada por otras áreas que sí produjeron sismos. Las dimensiones de las lagunas sísmicas permiten aproximar el tamaño del sismo que se produciría en el futuro, así como las dimensiones del área a ser afectada” [9, p. 90].

Asimismo, menciona que: “Es notoria la presencia de una importante laguna sísmica en la región Norte de Perú; mientras que, en el presente siglo solamente se ha producido un sismo (de magnitudes elevadas) en el año 2001 y por sus características y longitud de ruptura se espera que ocurra un sismo de mayor tamaño en esta región. [...]” [11, p. 95]. (Ver Gráfica II-6)

Tavera concluye en su investigación que: “En general, los grandes sismos pueden tener periodos de recurrencia de muchos años y su tamaño suele ser proporcional al periodo de acumulación de energía y a las dimensiones del área comprometida en la futura ruptura” [11, p. 100].

**Gráfica II-6. Grandes sismos ocurridos en el borde oeste de Perú en función de su ubicación en latitud, fecha de ocurrencia y longitud de ruptura**

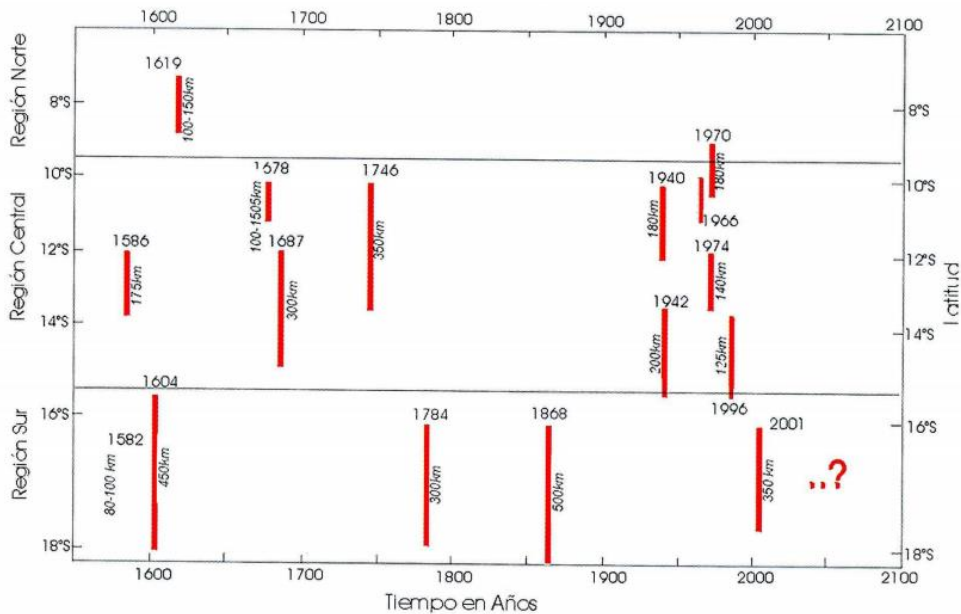


Fig. 5: Grandes sismos ocurridos en el borde Oeste de Perú en función de su ubicación en latitud, fecha de ocurrencia y longitud de ruptura (modificado de Dorbath et al, 1990)

**2.1.5. Antecedente N°05: Chipana, Carlos Contreras. «Aislador sísmico. La tierra se mueve, el edificio no.» Diario La República, 25 de Julio de 2012**

A continuación, se mencionan argumentos realizados por Javier Piqué del Pozo, ingeniero civil peruano, quien ha sido Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento del Perú entre 2018 y 2019, cuenta con un doctorado en Ingeniería Estructural. Además ha sido director e investigador del Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres, CISMID de la UNI.

El decano de la Facultad de Ingeniería Civil (FIC) de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) explicó que durante el mes de Julio de dicho año se realizó la licitación internacional para adquirir ese sistema, sobre el que se levantará el nuevo Centro de Información e Investigación de dicha facultad y que; además, la aislación sísmica de base separa la edificación del suelo mediante los aisladores, que son dispositivos cilíndricos de caucho que absorben, a través de deformaciones elevadas, la energía que un terremoto transmite a una estructura. De esta manera, la fuerza del movimiento telúrico se ejerce sobre el dispositivo y la edificación prácticamente no se mueve, por lo que ofrece una seguridad hasta ocho veces mayor que aquella lograda en un edificio convencional.

Asimismo, el ex director del CISMID UNI, dijo que inicialmente el edificio que se levantará en su facultad tendrá cuatro pisos y después se ampliará a 12. "Esa tecnología aísla el edificio; entonces se mueve la base y el edificio casi nada". "Queremos demostrar que es posible hacer este tipo de construcciones en Perú y que le sirva a otra gente, sobre todo en hospitales y colegios", dijo al anotar que esta tecnología se halla ampliamente difundida en Japón, donde hay intensa actividad sísmica. Añadió que una intención de su facultad es hacer labor de investigación académica y desarrollar la tecnología, a fin de que pueda aplicarse en las nuevas edificaciones Sismorresistente que se levanten en el país.

Por otro lado, el ingeniero Piqué refirió que, "si bien estas construcciones incrementan el costo de la edificación en 4 o 5 por ciento, a la larga el ahorro es mayor, porque si ocurriera un sismo fuerte la construcción resistirá y no habrá que gastar en remodelaciones. A modo de ejemplo, comentó que un hospital de Chile tenía un pabellón con esta tecnología y otro con la construcción tradicional, y durante el último terremoto en ese país los médicos

continuaron operando en el pabellón con el aislador sísmico, porque no hubo daños en la estructura”.

Finalmente, basado en la amplia experiencia y conocimiento de eminente ingeniero civil, sus argumentos fortalecen la teoría sobre los beneficios sociales, económicos y académicos, que conllevarían la incorporación de nuevas tecnologías de protección sísmica en territorio peruano, tales como los sistemas de aislación sísmica en edificaciones.

#### **2.1.6. Antecedente N°06: Diseño de un edificio residencial con sótanos con sistema de aislamiento sísmico en Perú, Edificio Madre diseñado por Prisma Ingenieros**

Briones *et al.* de Prisma Ingenieros, quienes diseñaron el proyecto Edificio Madre, implementaron los siguientes criterios de pre diseño [12, pp. 9-13]:

- Obtener el menor corte basal de diseño. “Obtener el menor corte basal de diseño que cumpla con lo exigido por la norma E.030. Esto permitió cumplir con la norma y lograr una estructura lo más económica posible, alcanzando siempre las ventajas de desempeño de una estructura aislada”.
- Realizar un proceso iterativo. “En primer lugar se determinó un período objetivo el cual condicionó la rigidez necesaria del sistema. Además el sistema de aislamiento posee un amortiguamiento (que es dependiente del desplazamiento). A partir de la rigidez y amortiguamiento se obtuvo la deformación o desplazamiento del sistema. Finalmente, el desplazamiento del sistema fue usado para re calcular su amortiguamiento e iterar. De la experiencia en diseños anteriores se observó que para efectos de pre diseño, entrega buenos resultados asumir un amortiguamiento para el sistema de aislamiento e incorporar este amortiguamiento como una reducción del espectro de diseño. Este amortiguamiento a asumir, depende del tipo de sistema de aislamiento, número de aisladores y estructuración del edificio a aislar. Para este proyecto se consideró un 10% de amortiguamiento en los modelos lineales del edificio”.
- Definir la geometría y material del aislado. “Definir las propiedades geométricas y tipo de compuesto de elastómero a usar en los aisladores para obtener la rigidez y

amortiguamiento requeridos y además poder soportar las cargas gravitacionales y sísmicas junto con las deformaciones producto del sismo”.

El diseño estructural de Prisma ingeniería sobre el Edificio Madre, tuvo como resultados las siguientes conclusiones [12, pp. 20-21]:

- Compatibilidad entre norma peruana y americana. “El diseño del sistema de aislamiento sísmico propuesto permitió reducir el corte de diseño de la estructura, a un valor cercano al mínimo exigido por la norma E.030, incorporando además las ventajas de una estructura aislada como son: seguridad estructural y protección de contenido”.
- Reducción de las aceleraciones máximas. “Las aceleraciones máximas sobre el nivel de aislamiento para el sismo de diseño y para el sismo máximo posible fueron 0.139 g y 0.146 g, respectivamente. Estos valores sugirieron que la probabilidad de daño del contenido de los edificios también sería muy reducida”.
- Optimización de deformaciones. “Las deformaciones de entrepiso elásticas máximas en la superestructura fueron 2.88 y 3.41 por mil para el sismo de diseño y máximo posible, respectivamente. Estos valores correspondieron a una estimación realista de las deformaciones que sufrirá esta estructura, dado que como hemos visto, su comportamiento será esencialmente elástico. Por otro lado, dichas deformaciones (aún para un sismo severo) estuvieron dentro del orden de las deformaciones que se le exige a una estructura convencional para condiciones de servicio. Todo lo anterior permitió inferir que aún ante un evento sísmico severo, no existirá daño en los elementos no estructurales o bien si existiera sería mínimo y muy acotado”.

El documento en mención, sirvió de base y sustento en parte del desarrollo de la siguiente tesis, debido a que explica de una manera técnica, sintética y entendible; las consideraciones preliminares, procedimientos y normativas, a seguir, así como los resultados obtenidos, del análisis y diseño de una estructura residencial con sótanos que incluyó sistemas de aislamiento.

### **2.1.7. Antecedente N°07: Construcción del primer edificio residencial con sistema de aislamiento sísmico en Perú”, “Edificio Tower Atlantik Ocean”**

De la página web investigada [13], se menciona que Atlantik Ocean Tower, es el primer edificio residencial en el Perú construido con aisladores sísmicos por el grupo inmobiliario Labok. El proyecto cuenta con departamentos con vista al mar de 1, 2 y 3 dormitorios, con áreas desde 47 m<sup>2</sup> a 88.20 m<sup>2</sup>, 16 pisos, 4 niveles de sótanos y un amplio Lobby de ingreso; además, de variedad de ambientes y comodidades que cualquier usuario desearía tener en su residencia.

Asimismo, se informa que “en Japón los edificios que cuentan con esta misma tecnología tienen costos de seguro más bajos que en los edificios convencionales. En el estado de California EEUU, los Municipios de Los Ángeles, San Francisco, Salt Lake City y otros han invertido millones de dólares en reconvertir sus instalaciones antiguas agregando esta tecnología. Lo mismo ha ocurrido con el acceso norte del famoso puente Golden Gate en la ciudad de San Francisco. La construcción antisísmica convencional busca prevenir el colapso de un edificio preservando la vida de sus habitantes; sin embargo, la caída de objetos puede causar lesiones severas y los daños estructurales pueden convertir a un edificio en inhabitable e inoperativo, obligando a que el mismo tenga que ser abandonado, para refaccionarse, o en el peor de los casos, para posteriormente tener que demolerlo y construirlo”.

### **2.1.8. Antecedente N°08: Tesis de Licenciatura de Ingeniería Civil “Análisis y diseño de estructuras con aisladores sísmicos en el Perú” en Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP)**

Según Eguren et al. [14] mencionan en su estudio que “los objetivos principales de esta tesis consistieron en elaborar una investigación bibliográfica comprensiva acerca de los tipos, comportamientos y consideraciones en el uso de aisladores sísmicos; comparar el comportamiento de varios modelos para determinar la influencia de los aisladores; rediseñar una estructura con el sistema de aisladores sísmicos y evaluar las diferencias en el diseño final y, desarrollar pautas simplificadoras para determinar la factibilidad estructural de inclusión de aisladores sísmicos en estructuras en el Perú”.

Además en dicha investigación se describe que “se seleccionó una de las estructuras analizadas y se diseñó con el fin de observar las ventajas en el comportamiento estructural y diferencias en los costos. Se observó que el uso de concreto y acero en la superestructura disminuyó, pero aumentó en la cimentación. En términos de costo, no se estimó una reducción importante, sino un incremento debido a los aisladores. No obstante, deben cuantificarse los costos indirectos como las pólizas de seguros y el costo de cese de operación de una estructura esencial durante una emergencia como ventajas económicas”.

Esta tesis sirve de modelo para la presente investigación debido a que la metodología y toma del acápite “Recomendaciones y conclusiones” de la tesis en mención, se extrajo lo siguiente: se concluye que el procedimiento de diseño de los aisladores y de la estructura no es un análisis complicado, pero puede resultar tedioso al ser iterativo. El diseño estructural es el mismo que para una edificación convencional, con la salvedad que se debe prestar más atención a los efectos  $P-\Delta$  para el diseño de las columnas o placas del primer piso, las vigas de la interface de aislación y la cimentación, debido a que el mayor desplazamiento incrementa la importancia de este efecto”.

Finalmente, es importante mencionar que los aportes mencionados coinciden con algunos aportes de la presente tesis; sin embargo, difieren en la adición e inconvenientes generados de diseño y construcción de sótanos en una estructura aislada y con suelo con nivel freático alto como es el caso de la ciudad de Chiclayo. Asimismo, la recomendación obtenida sobre la atención que se le debe prestar a los efectos  $P-\Delta$ , sirvió para ser considerada en el desarrollo de la presente tesis y obtener un diseño estructural más apropiado.

#### **2.1.9. Antecedente N°09: Microzonificación y evaluación de peligros por geodinámica interna, de la ciudad de Chiclayo**

INDECI, en su plan de prevención ante de desastres [15, p. 50], con el objetivo de determinar el nivel de peligro geodinámico en la ciudad de Chiclayo, realizó un análisis independiente: por geodinámica interna (licuación de arenas, suelos expansivos e intensidades sísmicas) y geodinámica externa (inundaciones por acción pluvial y por desbordes de acequias), obteniendo como resultado mapas que señalan los peligros

identificados por sectores y nivel, permitiendo visualizar los niveles de peligros en la ciudad de Chiclayo.

Asimismo, el instituto menciona que según el mapa de intensidades sísmica para el territorio peruano elaborado por el Centro Regional de Intensidades sísmicas para América Latina (CERESIS) , la ciudad de Chiclayo se encuentra afectada por sismos de grado VII basado en la Escala Modificada de Mercalli, siendo algunas de sus características:

- Daño leve en estructuras especialmente diseñadas.
- Daños considerables en edificios corrientes y sólidos con colapso parcial.
- Daños grandes en estructuras de construcción pobre. - Paredes separadas de su estructura.
- Caída de chimeneas, columnas, monumentos y paredes, etc.

*Tabla II-2. Clasificación de peligros, elaborado por INDECI.*

<b>NIVEL</b>	<b>PELIGROS: GEODINAMICA INTERNA</b>	<b>PELIGROS: GEODINAMICA EXTERNA E HIDROMETEOROLOGICOS</b>
<b>MUY ALTO</b>	<p>Terremotos de gran magnitud tectónica en la costa.</p> <p><math>M \geq 7.8</math></p> <p>Maremotos generados por terremotos submarinos cerca y lejos de las costas.</p>	<p>Inundaciones de grandes volúmenes.</p> <p>Alta colmatación de los ríos; asociada con intensas precipitaciones.</p> <p>Suelos susceptibles de licuación.</p> <p>Suelos altamente inestables.</p>
<b>ALTO</b>	<p>Terremotos tectónicos de mediana magnitud (7.0 - 7.8)</p> <p>Altas aceleraciones sísmicas por sus características geodinámicas.</p> <p>Ocurrencia parcial de licuación de suelos.</p>	<p>Inundaciones de magnitudes medianas.</p> <p>Colmatación moderada de los ríos. Precipitaciones moderadamente sobre lo normal.</p> <p>Inundaciones a baja velocidad y permanecen estacionarias por varios días.</p>
<b>MEDIO</b>	<p>Suelo, calidad intermedia, con aceleraciones sísmicas moderadas.</p> <p>Maremotos muy locales y cerca al epicentro</p> <p>Terremotos de magnitud: 5 - 7.5</p>	<p>Inundaciones menores.</p> <p>Colmatación de los ríos no significativa.</p> <p>Inundaciones esporádicas, bajos caudales de los ríos.</p>
<b>BAJO</b>	<p>Maremoto muy débil</p> <p>Terremotos de magnitud: <math>M \leq 4.5</math></p>	<p>Marejadas.</p>

La recopilación de historia sísmica en el norte de Perú, obtenida por [16], y procesada en la Tabla II-3, por [15].

*Tabla II-3. Sismicidad histórica del norte del Perú.*

<b>AÑO</b>	<b>MES</b>	<b>INTENSIDAD</b>	<b>EPICENTRO</b>
1606	MARZO 23	-----	ZAÑA, LAMBAYEQUE
1614	FEBRERO 14	VIII	TRUJILLO
1814	FEBRERO 10	VII	PIURA
1857	AGOSTO 20	-----	PIURA
1759	SETIEMBRE 02	VI	LAMBAYEQUE
1906	ENERO 01	-----	NORESTE DEL PERU
1906	SETIEMBRE 28	-----	NORTE DEL PERU
1907	JUNIO 20	IV	NORTE DEL PERU
1917	MAYO 20	VII	TRUJILLO
1938	JULIO 6	-----	NORESTE DEL PERU
1953	DICIEMBRE 12	VII - VIII	NORESTE DEL PERU - SUR ECUADOR
1957	AGOSTO 8	V - VI	NORESTE DEL PERU
1960	NOVIEMBRE 30	-----	NORESTE DEL PERU
1963	AGOSTO 30	VIII	NORESTE DEL PERU
1970	DICIEMBRE 09	VII	NORESTE DEL PERU
1971	JULIO 10	-----	SULLANA

La Tesis: “Microzonificación de la ciudad de Chiclayo y zonas de expansión para la reducción de desastres” [16], obtuvo las intensidades sísmicas probables por sectores en la ciudad de Chiclayo; a través de la aplicación de la ley de recurrencia y ley de atenuación, para sismos de magnitudes 7.0 y 7.5 en 50 años con una excedencia del 10%. Sustentado en dicho estudio, a continuación se describirán las principales inferencias obtenidas para el proyecto en estudio de la presente tesis:

- ✓ **Intensidades sísmicas.** De la Ilustración II-7, el proyecto se encuentra ubicado cerca al Paseo Yortuque en la zona VIII, siendo esta zona de intensidad sísmica destructora. Más aún, Chiclayo, presenta una probabilidad de intensidad sísmica de grado VII, VII+ y VIII.
- ✓ **Geotecnia local.** De la Ilustración II-8, el proyecto se encuentra ubicado en el sector IV, el cual presenta: un estrato de consistencia muy blanda a media en una profundidad de <3.5 a 4.5 m>, un estrato semiduro de <4.5 a 5.5 m> y un estrato duro a rígido de <5.5 a 10.0 m>.

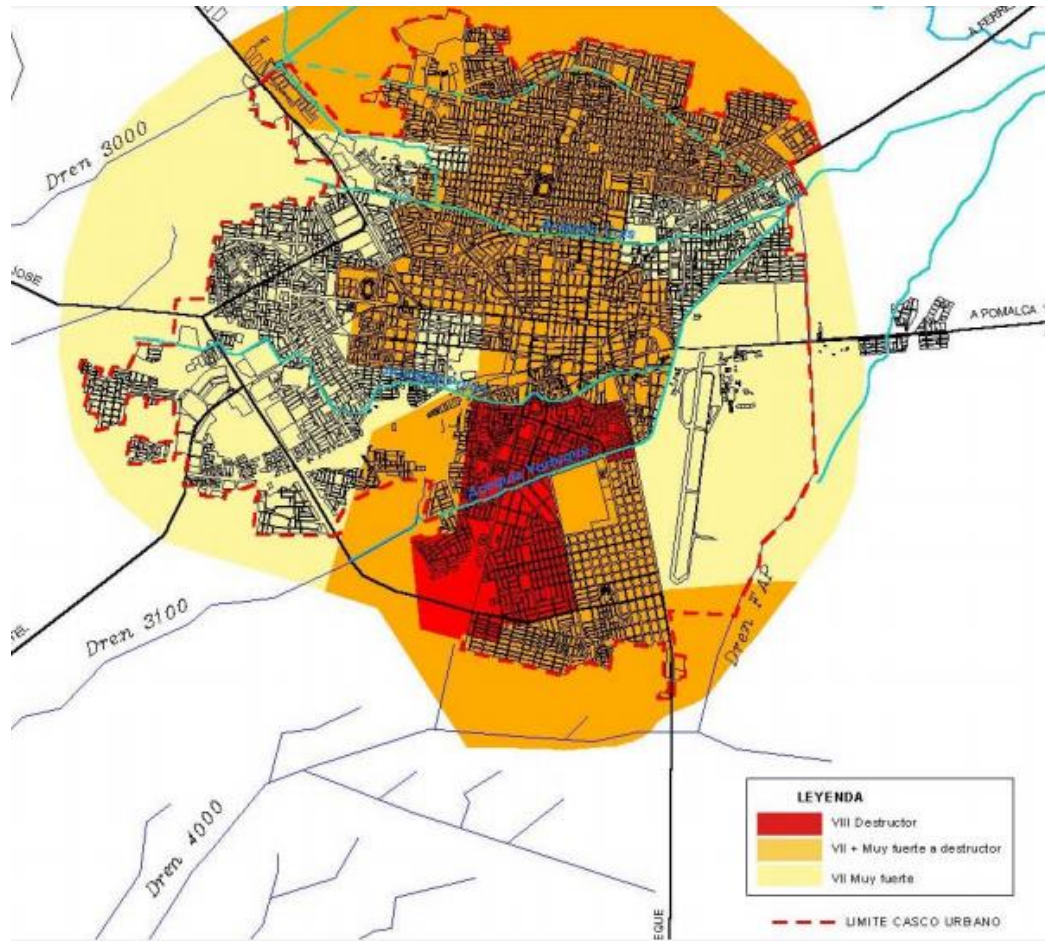
El tipo de suelo predominante en sus primeros estratos son las arcillas de media y alta plasticidad como CL, CH y CL-ML y en pequeñas proporciones, arenas del tipo SC, SM y SP; presentando un nivel freático a una profundidad entre 1.50 a 2.30 m.

La geotécnica local de la microzonificación referida, permitió corroborar los estudios de mecánica de suelos realizados en la presente tesis, debido a que la estratigrafía se asemeja con el EMS realizado en el sitio en estudio.

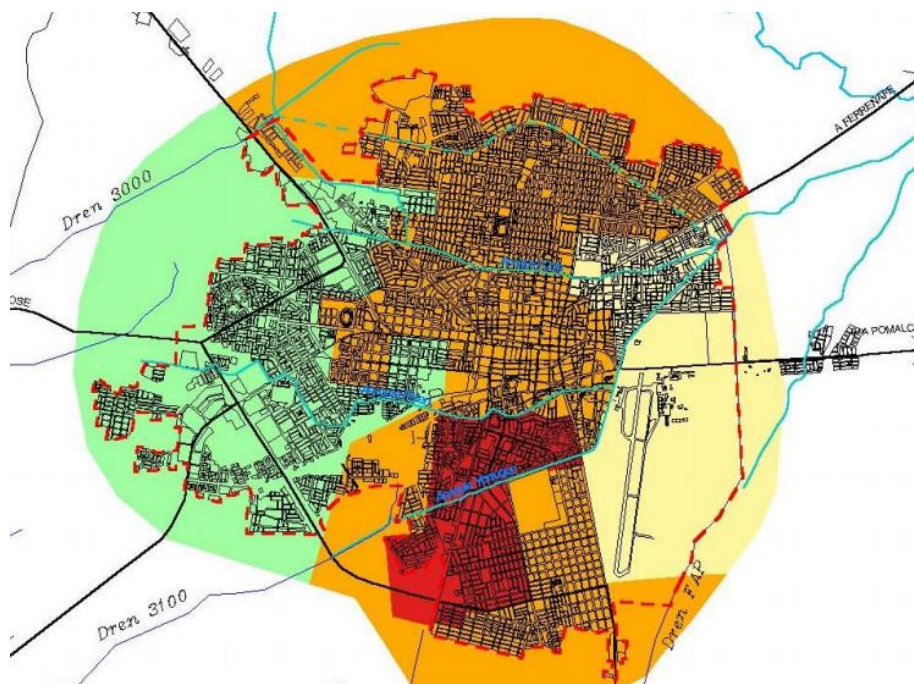
- ✓ **Licuación de suelos.** De la Ilustración II-10, el proyecto se encuentra ubicado en una zona sin probabilidad de licuación de suelos. Además, la incorporación de sótanos en la edificación en estudio, permite eliminar los estratos arenosos, logrando así que se elimine la probabilidad de incurrir en este peligro geodinámico.
  
- ✓ **Suelos expansivos.** De la Ilustración II-9, el proyecto se encuentra ubicado en una zona con media a alta expansividad, en los estratos superficiales como arcillas. Sin embargo, la incorporación de sótanos en la edificación en estudio, permite eliminar los estratos arcillosos, logrando así que se elimine la probabilidad de incurrir en este peligro geodinámico.

INDECI [15], concluye que “la ciudad de Chiclayo presenta una alta vulnerabilidad ante la ocurrencia de un evento sísmico y ante la presencia de problemas de licuación y expansibilidad de suelos. Sin embargo, es posible identificar sectores o áreas que presentan los mayores niveles de vulnerabilidad en el interior de la ciudad. La vulnerabilidad de estas áreas, está definida por la alta concentración de viviendas críticas (de adobe en mal estado), deficiente accesibilidad por ausencia de pavimentación, déficits en la dotación de servicios, estratos sociales bajos y las considerables concentraciones poblacionales”. Basado en Ilustración II-11, se infiere que el proyecto en estudio se ubica en una zona que presenta una vulnerabilidad ante fenómenos de geodinámica interna del grado vulnerabilidad alta+.

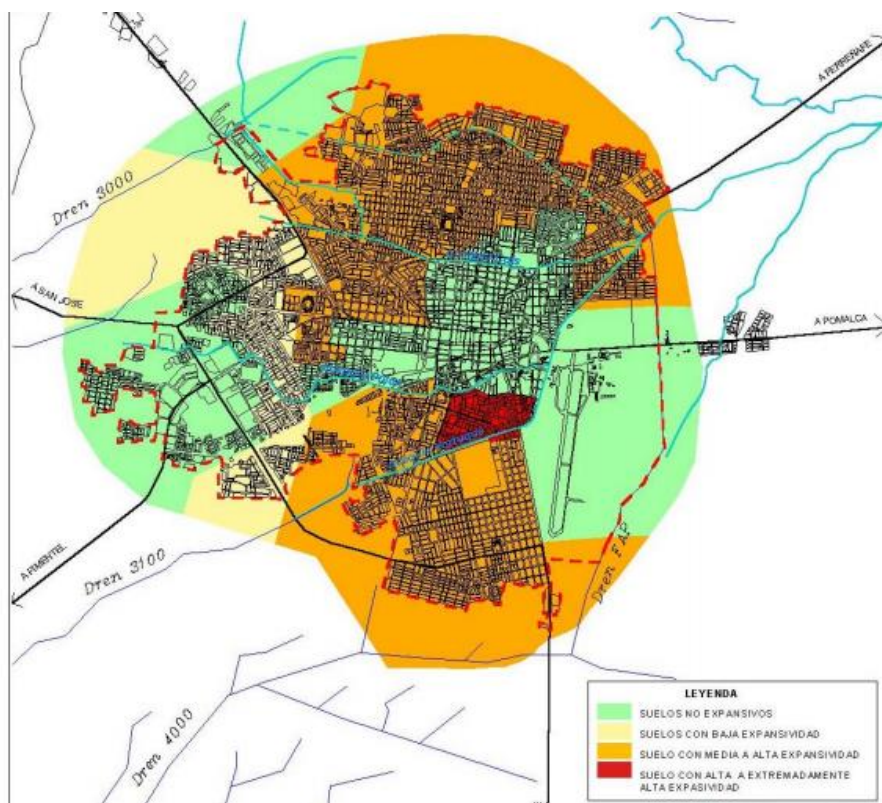
**Ilustración II-7. Mapa de intensidades sísmicas de Chiclayo, según microzonificación de Basauri.**



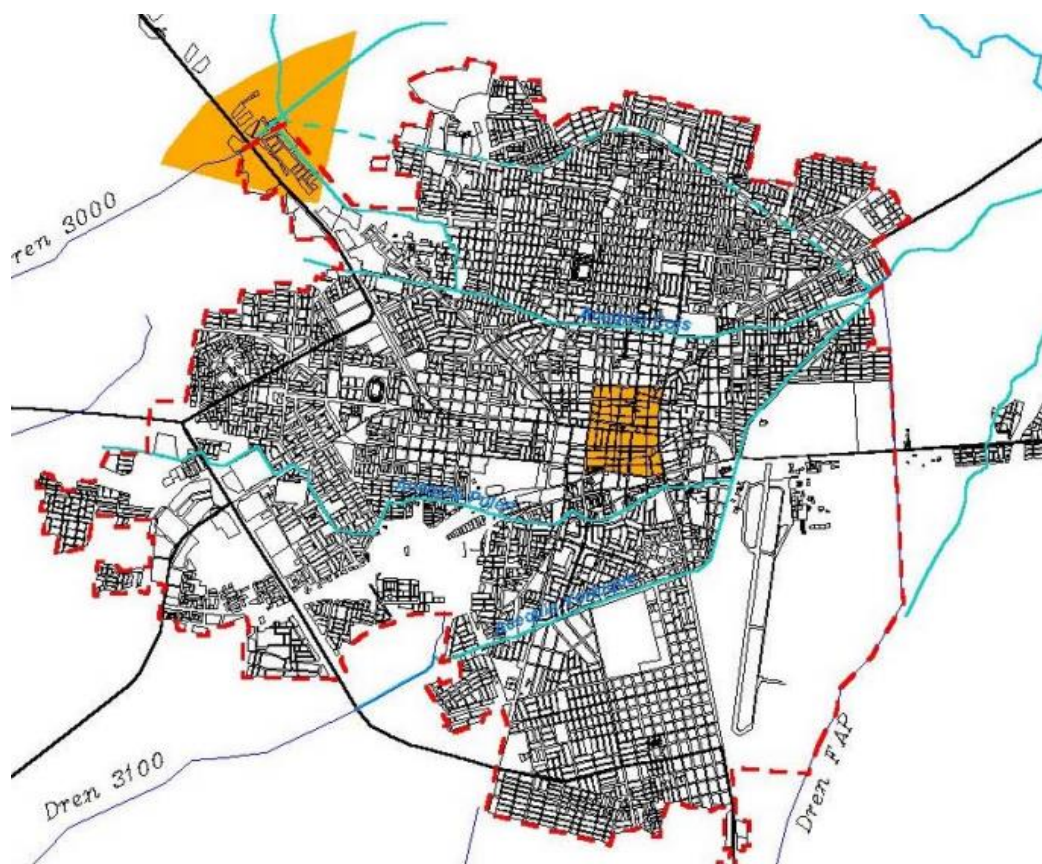
**Ilustración II-8. Mapa de geotecnia local de Chiclayo, según microzonificación de Basauri.**



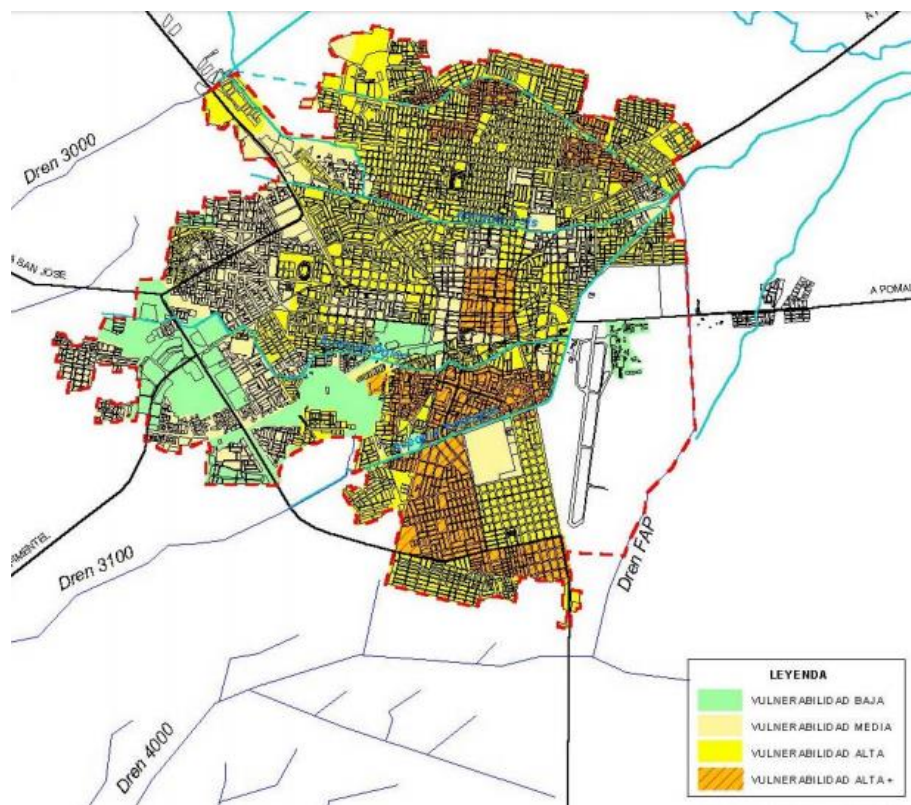
**Ilustración II-9. Mapa de suelos expansivos de Chiclayo, según microzonificación de Basauri.**



**Ilustración II-10. Mapa de suelos licuables de Chiclayo, según microzonificación de Basauri.**



**Ilustración II-11. Mapa de vulnerabilidad ante fenómenos de geodinámica interna de Chiclayo, según microzonificación de Basauri.**



### **2.1.10. Antecedente N°10: Experiencia internacional en métodos para la construcción de sótanos en lugares con nivel freático alto y suelos blandos**

De la nota periodística [17], por su relevancia y relación con la presente investigación, se sustrajeron los siguientes párrafos:

“En el marco del IV Congreso de Ingeniería Civil COREIC, celebrado en la ciudad de Iquitos, el ingeniero civil Rafael Angulo, docente de la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, presentó un método para cimentaciones en edificaciones y excavación de sótanos en suelos blandos con un nivel freático alto, como son los suelos estudiados de Lambayeque e Iquitos”.

El Ing. Angulo mencionó que “este método consiste en la construcción de muros pantalla en el terreno, que sirven para transmitir los esfuerzos de la estructura a la cimentación, permite la construcción de edificios más altos que los conseguidos con los métodos tradicionales y contiene las paredes de la excavación gracias a la utilización de los denominados lodos bentoníticos, especialmente necesario cuando se tienen terrenos de baja capacidad portante en presencia de agua”.

Es importante recalcar que el Ing. Ángulo indica que “la ciudad de Chiclayo, al igual que las provincias de Lambayeque y Ferreñafe, los distritos de Reque, Monsefú y Pimentel, y en general todo el valle del Chancay, están apoyados sobre un depósito de suelos finos sedimentarios en estado sumergido y/o saturado, este tipo de suelos presentan problemas cuando se quiere edificar en altura o cuando se excava para la realización de sótanos. Con los suelos de Iquitos pasa algo similar, los suelos son de origen fluvial, blandos y con el nivel freático alto debido a la zona donde está emplazada la ciudad. Asimismo, menciona que se necesita de un amplio conocimiento en mecánica de suelos y de medios constructivos. Para la realización de los sótanos de dos o más niveles en estos suelos es necesario controlar el nivel freático, normalmente mediante pozos de bombeo, y combinarlo con la construcción de muros pantalla para lograr la estanqueidad tanto en la fase de construcción como en su posterior uso”.

Del antecedente anterior, se infiere que la construcción de sótanos en suelos blandos o similares y con nivel freático, tal es el caso de la ciudad de Chiclayo, es posible gracias a métodos diferentes a los tradicionales de nuestro país, este es denominado “muros pantalla”.

## **2.2. Bases Teórico Científicas**

Las bases teóricas científicas utilizadas comprenden: conceptos básicos sobre aisladores sísmicos como definición, tipos y características. Luego describen las normativas técnicas en las que se sustenta el desarrollo de la presente investigación, tales como la norma chilena NCh2745 [4], la norma americana ASCE 7-10 [18], la norma peruana E030 [2], entre otros; las cuales se detallan a continuación.

### **2.2.1. Código de American Society of Civil Engineers, ASCE 7-10**

Según American Society of Civil Engineers [18], a continuación se detallan los criterios a considerar en el diseño de una estructura con sistema de aislación sísmica:

El capítulo 1 “Generalidades”, indica que mencionado capítulo, proporciona requisitos mínimos de carga para el diseño de edificios y otras estructuras que están sujetas a los requisitos del código de construcción. Las cargas y las combinaciones de carga apropiadas, que han sido desarrolladas para usarse juntas, se establecen progresivamente para el diseño de resistencia y el diseño de esfuerzos permisibles. Para las resistencias de diseño y los límites permisibles de esfuerzos, deberán seguirse las especificaciones de diseño de los materiales estructurales convencionales utilizados en los edificios y las modificaciones contenidas en esta norma [18, pp. 1-6].

El capítulo 11 “Criterio de diseño sísmico”, indica que mencionado capítulo, presenta criterios para el diseño y construcción de edificios y otras estructuras sujetas a movimientos de tierra por sismos. Las cargas de sismos especificadas se basan en la disipación de energía post-elástica en la estructura y, por este motivo, los requisitos de diseño, detalle y construcción deben ser satisfechos incluso para estructuras y elementos para los cuales las combinaciones de carga que no contienen cargas de terremoto indiquen demandas más grandes que las combinaciones que incluyen cargas de terremoto. Los requisitos mínimos para la garantía de la calidad de los sistemas resistentes a las fuerzas sísmicas se exponen en el Apéndice 11A [18, pp. 57-68].

El capítulo 12 “Requerimientos de diseño sísmico para estructuras edificables”, indica en sus acápite; el procedimiento y parámetros requeridos para realizar el análisis de fuerza

lateral equivalente y el análisis de respuesta modal, análisis similares al análisis estático y análisis dinámico espectral de nuestra normativa [18, pp. 71-80].

El capítulo 17 “Requerimientos de diseño sísmico para estructuras aisladas sísmicamente”, indica en sus acápite; los procedimientos de análisis sísmico pero para estructuras aisladas sísmicamente. Además describe los requisitos generales de diseño: factor de importancia, parámetros de aceleración, configuración, sistema estructural; movimientos terrestres para sistemas aislados: espectros de diseño e historias de movimiento terrestre; selección del procedimiento de análisis para análisis por fuerza lateral equivalente y análisis dinámicos; pruebas de aisladores sísmicos, entre otros [18, pp. 165-177].

Los capítulos y acápite de la norma en mención, se utilizaron de base teórica científica para sustentar el análisis y diseño sísmicos de sistemas de aislación sísmica para el desarrollo de la presente investigación.

### 2.2.2. Norma chilena NCH 2745 OF 2003 “Análisis y diseño de edificios con aislación sísmica”

Según Instituto Nacional de Normalización [4, pp. 29-30] en la norma NCH 2745 “Análisis y diseño de edificios con aislación sísmica”; menciona que: “Los aisladores con corazón de plomo (LRB) se construyen en general de goma de bajo amortiguamiento y se les deja un orificio central cilíndrico en el que se introduce el corazón de plomo bajo presión. Bajo deformación lateral, el plomo se deforma en un estado de corte puro y fluye a una tensión cercana a los 10 MPa a temperatura ambiente, produciendo numerosos ciclos histeréticos estables. Debido a que el plomo recrystaliza a temperatura ambiente (20°C aproximadamente), su fluencia repetida no produce falla por fatiga. Una de las grandes ventajas de los aisladores con corazón de plomo es que producen en forma natural un nivel de rigidez inicial importante para cargas de servicio. Un ciclo típico de fuerza-deformación de un aislador con corazón de plomo se muestra en Figura C.8”. A continuación, se describen las principales fórmulas utilizadas para el diseño de sistema de aislación con núcleo de plomo (LRB):

- ✓ La capacidad del aislador a cero deformaciones  $Q$ , se puede aproximar por:

$$A_p = \frac{Q}{\tau_y}$$

$A_p$ : área de plomo

$\tau_y$ : tensión de fluencia

- ✓ La rigidez post-fluencia del aislador  $k_p$

$$k_p = f_L \times \frac{G \times A_r}{Hr}$$

$G$ : módulo de corte de la goma

$A_r$ : área de la goma adherida al acero

$Hr$ : altura total de goma del aislador

$f_L$ : aproximadamente 1.15.

- ✓ Fuerza de fluencia

$$F_y = Q + k_p D_y$$

- ✓ Desplazamiento de fluencia

$$D_y = \frac{Q}{K}, K = (5.5 \text{ a } 9) k_p$$

Basado en el Instituto Nacional de Normalización [4, pp. 30-33] en la norma NCH 2745 “Análisis y diseño de edificios con aislación sísmica”, menciona que: “Los aisladores sísmicos de alto amortiguamiento están hechos de un compuesto especial de goma que permite alcanzar típicamente valores para la razón de amortiguamiento entre 0,10 y 0,20 para deformaciones angulares menores a 2 aproximadamente. Es importante recalcar que la inclusión de nuevos aditivos químicos en la fórmula de la goma de alto amortiguamiento afecta también a otras propiedades mecánicas de ella como la elongación de ruptura”. A continuación, se describen las principales fórmulas utilizadas para el diseño de sistema de aislación de alto amortiguamiento (HDR):

- ✓ La rigidez post-fluencia del aislador  $k_p$

$$k_p = \frac{G \times A}{H_r}$$

$G$ : módulo de corte de la goma

$A$ : área de la goma adherida al acero

$H_r$ : altura total de goma del aislador

- ✓ Fuerza característica para deformación cero  $Q$

$$Q = \frac{\pi \beta_{eff} K_p D^2}{2(D - D_y)}$$

$\beta_{eff}$ : razón de amortiguamiento efectivo

$D$ : diámetro de aislador

$D_y$ : desplazamiento de fluencia, varía entre  $0.05H_r$  y  $0.1H_r$

- ✓ Rigidez vertical de un aislador se escoge mayormente para obtener una vibración mayor a 10 Hz. Así, se puede definir como:

$$K_z = \frac{E_c A}{H_r}$$

$E_c$ : módulo de compresión para el conjunto goma – acero

$$E_c = \frac{6GS^2K}{8GS^2 + K}$$

$K$ : módulo de compresibilidad de la goma (normal 2000 Mpa)

$S$ : primer factor de forma del aislador

### 2.2.3. Norma peruana E.030 “Diseño Sismorresistente” del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE)

Según la norma E030 “Diseño Sismorresistente” del RNE [2], se especifica que:

En el capítulo 2 “Peligro sísmico”; se describen la definición, cálculo o determinación de diferentes parámetros sísmicos, tales como: zonificación, perfil de suelo, parámetros de sitio en función de los dos parámetros anteriores, factor de amplificación sísmica.

- ✓ Factor de zona (Z): “A cada zona se asigna un factor Z según se indica en la Tabla N° 1. Este factor se interpreta como la aceleración máxima horizontal en suelo rígido con una probabilidad de 10 % de ser excedida en 50 años. El factor Z se expresa como una fracción de la aceleración de la gravedad” [2, pp. 10-11].
- ✓ Factor de suelo (S): “los perfiles de suelo se clasifican tomando en cuenta la velocidad promedio de propagación de las ondas de corte ( $\bar{V}_s$ ), o alternativamente, para suelos granulares, el promedio ponderado de los  $N_{60}$  obtenidos mediante un ensayo de penetración estándar (SPT), o el promedio ponderado de la resistencia al corte en condición no drenada ( $\bar{S}_u$ ) para suelos cohesivos” [2, pp. 8-11].
- ✓ Factor de uso (U): “Cada estructura debe ser clasificada de acuerdo con las categorías indicadas en la Tabla N° 5 “Categoría de las edificaciones y factor U” El factor de uso o importancia (U), definido en la Tabla N° 5 se usará según la clasificación que se haga” [2, p. 13].
- ✓ Factor de amplificación sísmica (C): De acuerdo a las características de sitio, se define el factor de amplificación sísmica (C). A continuación se presentan según norma, las ecuaciones para el cálculo del factor C [2, p. 12].

$$\begin{array}{lll} T < T_P, & C = 2.5 & \\ T_P < T < T_L, & C = 2.5 \left( \frac{T_P}{T} \right) & T = \frac{h_n}{C_T} \\ T_L < T & C = 2.5 \left( \frac{T_P \cdot T_L}{T^2} \right) & \end{array}$$

**Tabla II-4. Factor de zona según norma E030 - RNE.**

<b>TABLA N° 1 / E 030-RNE</b>	
<b>FACTORES DE ZONA "Z"</b>	
ZONA	Z
Z4	0.45
Z3	0.35
Z2	0.25
Z1	0.1

**Tabla II-5. Clasificación de los perfiles de suelo según norma E030 – RNE.**

<b>TABLA N° 2 / E 030-RNE</b>			
<b>CLASIFICACIÓN DE LOS PERFILES DE SUELO</b>			
Perfil	Vs	N60	Su
S0	>1500 m/s	-	-
S1	500 m/s a 1500 m/s	>50	>100 kPa
S2	180 m/s a 500 m/s	15 a 50	50 kPa a 100 kPa
S3	< 180 m/s	<15	25 kPa a 50 kPa
S4	Clasificación basada en el EMS		

**Tabla II-6. Parámetros de suelo según norma E030 – RNE.**

<b>TABLA N° 3 / E 030-RNE</b>				
<b>PARAMETROS DEL SUELO "S"</b>				
Tipo	S0	S1	S2	S3
Z4	0.80	1.00	1.05	1.10
Z3	0.80	1.00	1.15	1.20
Z2	0.80	1.00	1.20	1.40
Z1	0.80	1.00	1.60	2.00

**Tabla II-7. Periodos Tp y Tl según norma E030 - RNE**

<b>TABLA N° 4 / E 030-RNE</b>			
<b>PERIODOS "TP" Y "TL"</b>			
Tipo	Descripción	Tp (s)	Tl (s)
S0	Roca Dura	0.3	3
S1	Roca o suelos muy rígidos	0.4	2.5
S2	Suelos intermedios	0.6	2
S3	Suelos Blandos	1	1.6

**Tabla II-8. Categoría de las edificaciones y factor U según norma E030-RNE.**

<b>TABLA N° 5 / E 030-RNE</b>		
<b>CATEGORIA DE LAS EDIFICACIONES</b>		
<b>CATEGORIA</b>	<b>Descripción</b>	<b>U</b>
A1	Edificaciones de salud	*
A2	Edificaciones esenciales	1.5
B	Edificaciones importantes	1.3
C	Edificaciones Comunes	1.0
D	Edificaciones Temporales	*

En el capítulo 3 “Categoría, sistema estructural y regularidad de las edificaciones”; se describen: las categorías de las edificaciones y factor de uso (U), tipos de sistemas estructurales de concreto armado, limitación del tipo de sistema estructural a utilizar en función de la categoría de la edificación y zona del proyecto, los coeficientes básicos de reducción  $R_o$ , determinación y clasificación de la regularidad o irregularidad de una estructura, restricciones a la irregularidad, cálculo del coeficiente de reducción de las fuerzas sísmicas ( $R$ ) y la norma sugerida para el diseño de un sistema de aislación sísmico. A continuación se describe la fórmula para calcular el factor  $R$ , así como los factores por irregularidad, y las restricciones de irregularidades [2, pp. 13-19].

- ✓ Coeficiente básico de reducción ( $R_o$ ): “Los sistemas estructurales se clasificarán según los materiales usados y el sistema de estructuración sismorresistente en cada dirección de análisis, tal como se indica en la Tabla N° 7 “Sistemas estructurales”. De acuerdo al sistema estructural, se le asignará un coeficiente básico de reducción  $R_o$ ” [2, pp. 15-16].
- ✓ Factor de reducción ( $R$ ): El coeficiente de reducción de las fuerzas sísmicas se determinará como el producto del coeficiente  $R_o$  determinado a partir de la Tabla N° 7 y de los factores  $I_a$  ,  $I_p$  obtenidos de las Tablas N° 8 “Irregularidades estructurales en altura” y N° 9 “Irregularidades estructurales en planta” [2, p. 19].

Ecuación de cálculo de factor  $R = R_o \times I_a \times I_p$  [2, p. 19].

*Tabla II-9. Coeficiente de reducción básica (Ro) según norma E030-RNE.*

<b>TABLA N° 7 / E O30-RNE</b>		
<b>SISTEMAS ESTRUCTURALES</b>		
<b>MATERIAL</b>	<b>SISTEMA ESTRUCTURAL</b>	<b>Ro</b>
<b>Acero</b>	Pórticos Especiales Resistentes a Momentos (SMF)	8
	Pórticos Intermedios Resistentes a Momentos (IMF)	7
	Pórticos Ordinarios Resistentes a Momentos (OMF)	6
	Pórticos Especiales Concéntricamente Arriostrados (SCBF)	8
	Pórticos Ordinarios Concéntricamente Arriostrados (OCBF)	6
	Pórticos Excéntricamente Arriostrados (EBF)	8
<b>Concreto armado</b>	Pórticos	8
	Dual	7
	De muros estructurales	6
	Muros de ductilidad limitada	4
<b>Albañilería</b>	Albañilería Armada o Confinada	3
<b>Madera</b>	Madera (por esfuerzos admisibles)	7

*Tabla II-10. Factores por irregularidad en altura (Ia) según norma E030-RNE.*

<b>FACTORES POR IRREGULARIDAD EN ALTURA (Ia)</b>		
<b>TIPO DE IRREGULARIDAD</b>	<b>IRREGULAR</b>	<b>REGULAR</b>
IRREGULARIDADES DE RIGIDEZ - Piso Blando	0.75	1
IRREGULARIDADES DE RESISTENCIA - Piso Débil	0.75	1
IRREGULARIDADES EXTREMA DE RIGIDEZ.	0.50	1
IRREGULARIDADE EXTREMA DE RESISTENCIA	0.50	1
IRREGULARIDAD DE MASA O PESO	0.90	1
IRREGULARIDAD GEOMETRICA VERTICAL	0.90	1
DISCONTINUIDAD EN LOS SISTEMAS RESISTENTES	0.80	1
DISCONTINUIDAD EXTREMA EN LOS SISTEMAS RESISTENTES	0.60	1

*Tabla II-11. Factores por irregularidad en planta (Ip) según norma E030-RNE.*

<b>FACTORES POR IRREGULARIDAD EN PLANTA (Ip)</b>		
<b>TIPO DE IRREGULARIDAD</b>	<b>IRREGULAR</b>	<b>REGULAR</b>
IRREGULARIDAD TORSIONAL	0.75	1
IRREGULARIDAD TORSIONAL EXTREMA	0.60	1
ESQUINAS ENTRANTES	0.90	1
DISCONTINUIDAD DEL DIAFRAGMA	0.85	1
SISTEMAS NO PARALELOS	0.90	1

**Tabla II-12. Restricciones de irregularidad según categoría y zona de las edificaciones según norma E030-RNE.**

TABLA N°10		
CATEGORÍA Y REGULARIDAD DE LAS EDIFICACIONES		
CATEGORÍA DE LA EDIFICACIÓN	ZONA	RESTRICCIONES
A1 y A2	4,3,2	No se permiten irregularidades
	1	No se permiten irregularidades extremas
B	4,3,2	No se permiten irregularidades extremas
	1	Sin restricciones
C	4 y 3	No se permiten irregularidades extremas
	2	No se permiten irregularidades extremas, excepto en edificios de hasta 2 pisos u 8 m de altura total
	1	Sin restricciones

Tal como indica el artículo 3.9. “Sistemas de Aislamiento Sísmico y Sistemas de Disipación de Energía” del RNE: Se permite la utilización de sistemas de aislamiento sísmico o de sistemas de disipación de energía en la edificación, siempre y cuando se cumplan las disposiciones de esta Norma (mínima fuerza cortante en la base, distorsión de entrepiso máxima permisible), y en la medida que sean aplicables los requisitos del documento siguiente:

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

En el capítulo 4 “Análisis Estructural” del RNE; se describen las consideraciones generales para el análisis, modelos para el análisis, estimación del peso, procedimiento de análisis sísmico, y las consideraciones mínimas y necesarias para realizar un análisis estático, análisis dinámico modal espectral, y análisis dinámico tiempo-historia. A continuación se describe la fórmula establecida por el RNE para calcular el cortante sísmico.

Fuerza sísmica en la base

$$Fuerza\ sísmica = \frac{ZUCS}{R} \times Peso\ del\ Edificio, \frac{C}{R} \geq 0.11$$

$$Aceleración\ espectral\ Sa = \frac{ZUCS}{R} \times g$$

En el capítulo 5 “Requisitos de rigidez, resistencia y ductilidad”; se describen: la determinación de desplazamientos laterales, desplazamientos laterales relativos admisibles, separación entre edificios, entre otros. A continuación, se describen los apartados más relevantes referidos al análisis sísmico.

- ✓ Para estructuras regulares, los desplazamientos laterales se calcularán multiplicando por 0.75 R los resultados del análisis lineal y elástico con las solicitudes sísmicas reducidas; mientras que para estructura irregulares, 0.85 R.
- ✓ El límite para la distorsión del entrepiso para concreto armado es de 0.007.

**2.2.4. Libro: Design of Seismic Isolator Structures, from theory to practice.  
Autor: Kelly.1999**

Según Kelly [6] en su libro “Design of Seismic Isolator Structures, from theory to practice”; a continuación se presentan las características mecánicas y modelamiento de aislamiento:

**2.2.4.1. Introducción**

Kelly indica que “las ecuaciones del movimiento que se han desarrollado en el capítulo anterior, están definidas bajo la suposición de una rigidez y amortiguamiento efectivo en el sistema de aislamiento. Así también se supone la rigidez lineal de la estructura soportada por los aisladores”.

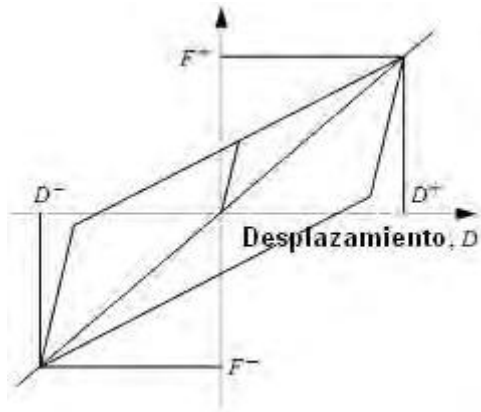
Además menciona que; “si las condiciones anteriores se cumplen podemos encontrar una relación lineal ante una fuerza sísmica que afecte el sistema. Sin embargo, en la mayoría de los casos encontramos condiciones tales como; configuraciones estructurales complejas, suelo muy suave, cercanía a fallas activas todos estos factores impiden que un análisis lineal represente con precisión el desempeño de la estructura. Para superar estas limitaciones del análisis lineal se ha incorporado las propiedades mecánicas de los aisladores en el procedimiento analítico lo cual nos lleva a un análisis no lineal”.

La no linealidad en la estructura proviene de dos fuentes:

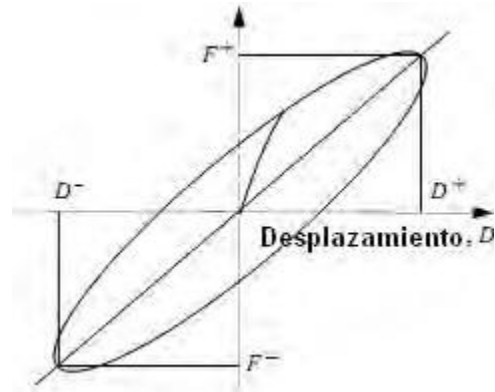
- ✓ Deformación inelástica de la superestructura.
- ✓ Altas deformaciones en el sistema de aislamiento.

Sin embargo, “debido a que la superestructura es mucho más rígida que el sistema de aislamiento, las deformaciones se dan principalmente en el sistema de aislamiento, y podemos decir que la superestructura tendrá una respuesta lineal. Con esta suposición, en la práctica de diseño solo se consideran las propiedades no lineales de los aisladores las cuales representan de manera bastante precisa el comportamiento de la estructura aislada”.

“Para hacer un uso seguro de los aisladores las propiedades mecánicas de diferentes tipos de aisladores han sido investigadas intensamente. Para poder representar el comportamiento histerético y viscoelástico de estos mismos, se han elaborado varios tipos de modelos matemáticos como los mostrados en la Ilustración II-13 e Ilustración II-12”.



**Ilustración II-13. Modelo histerético.**



**Ilustración II-12. Modelo viscoelástico.**

“Para el modelo histerético se encontró que las propiedades de los aisladores eran independientes de la velocidad. En este modelo los desplazamientos máximos y mínimos ocurren al cortante máximo y mínimo respectivamente. Por otro lado, para el modelo viscoelástico se encontró que las propiedades de los aisladores eran dependientes de la velocidad, aquí los cortantes máximos y mínimos ocurren antes de los desplazamientos máximos y mínimos respectivamente”.

“Sin embargo, el modelo que ha sido más aceptado para la investigación y el diseño es el modelo bilineal, esto se debe a que caracteriza las propiedades mecánicas de los aisladores adecuadamente; pero también a que es válido tanto para aisladores elastoméricos como para aisladores de fricción”.

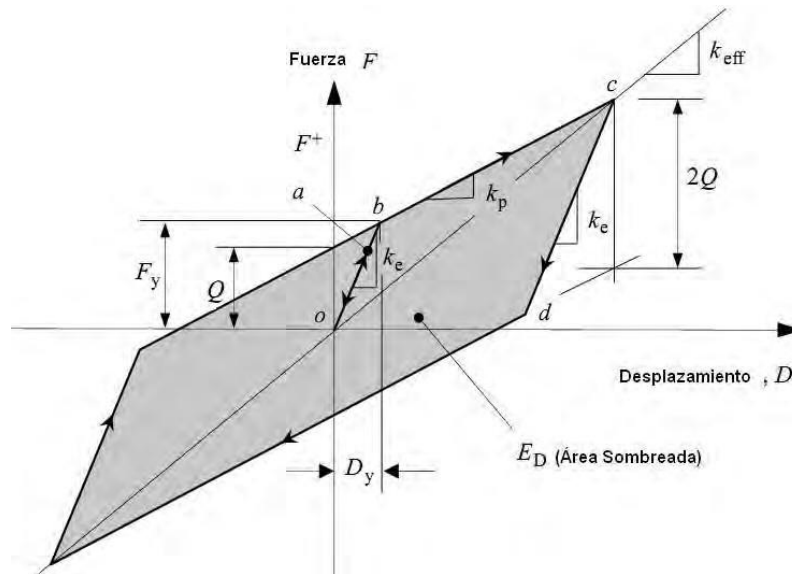
“La determinación de un modelo bilineal se inicia definiendo tres parámetros básicos, según las propiedades de cada tipo de aislador cabe resaltar que se ocupan ecuaciones específicas para calcular cada uno de los parámetros básicos”.

#### **2.2.4.2. Parámetros del modelo bilineal**

El modelo bilineal, usado para expresar la relación entre la fuerza cortante y el desplazamiento lateral, puede definirse por tres parámetros los cuales podemos identificar también en la Ilustración II-14.

1. Rigidez Elástica  $k_e$
2. Rigidez Postfluencia  $k_p$
3. Fuerza Característica  $Q$

Estos tres parámetros reflejan adecuadamente las características mecánicas de los aisladores y suministran una estimación satisfactoria del comportamiento no lineal de un aislador.



*Ilustración II-14. Modelo Bilineal de una unidad de aislamiento.*

Cuando una fuerza cortante se comienza a aplicar al aislador, se da una relación lineal entre el cortante y el desplazamiento lateral, expresada por **oa**, una vez que el cortante llega al punto **b** comienza la fluencia en el aislador, más allá del punto **b** se dan grandes desplazamientos con pequeños incrementos en el cortante, su rigidez está definida como Rigidez post fluencia **k<sub>p</sub>**. Si la descarga inicia en el punto **c**, la trayectoria de descarga no es la previa sino sigue la trayectoria **cd** que tiene la misma rigidez inicial de **oa**. El valor de cortante de **cd** es igual a  $2F_y$ ,  $F_y$  es la fuerza de fluencia. Más allá del punto **d**, la trayectoria de descarga es paralela a **bc** con la misma magnitud de **k<sub>p</sub>**.

La rigidez efectiva **k<sub>eff</sub>**, en la región de post fluencia puede ser expresada en términos de la rigidez post fluencia **k<sub>p</sub>** y la fuerza característica **Q** con el correspondiente desplazamiento lateral **D** de esta manera tenemos:

$$K_{eff} = k_p + \frac{Q}{D}$$

El desplazamiento de fluencia **D<sub>y</sub>**, el cual es convenientemente usado en algunos programas de computadoras para definir el modelo bilineal, también se deriva de **k<sub>p</sub>**, **k<sub>e</sub>** y **Q**

$$D_y = \frac{Q}{k_e - k_p}$$

La fuerza de fluencia  $F_y$ , en el desplazamiento de fluencia  $D_y$  se determina a través de la siguiente ecuación.

$$F_y = Q + k_p D_y$$

El amortiguamiento efectivo  $\beta_{eff}$  se define como:

$$\beta_{eff} = \frac{E_D}{2\pi k_{eff} D^2}$$

Definimos  $ED$  como la energía disipada por ciclo,  $ED$  es considerada como el área del ciclo de histéresis, limitada por el desplazamiento lateral  $-D$  y  $+D$  en cada ciclo. Así,  $ED = 4Q(D - D_y)$

$$\beta_{eff} = \frac{4Q(D - D_y)}{2\pi k_{eff} D^2} = \frac{2Q(D - D_y)}{\pi k_{eff} D^2}$$

En la práctica de diseño, la rigidez efectiva y el amortiguamiento efectivo son determinados en el desplazamiento de diseño,  $DD$ , y en el desplazamiento máximo,  $DM$ . La definición de estos términos se dio en el capítulo anterior.

A continuación se presentarán las propiedades mecánicas de los aisladores elastoméricos, elastoméricos con núcleo de plomo, elastoméricos con alto amortiguamiento y los de fricción. Para todos estos aisladores exceptuando el aislador elastomérico se usará el modelo bilineal para definir las propiedades mecánicas de cada uno de los aisladores antes mencionados.

### 2.2.4.3. Propiedades mecánicas de los aisladores elastoméricos

La característica mecánica más importante de estos aisladores es la rigidez horizontal representada por  $k_H$  y está dada por la siguiente ecuación:

$$k_H = \frac{GA}{t_r}$$

Donde

- ✓  $G$  = Modulo de cortante del elastómero
- ✓  $A$  = Área de la sección transversal completa
- ✓  $t_r$  = Espesor total del caucho.

El máximo desplazamiento horizontal  $D$  está relacionado a la máxima deformación por cortante  $\gamma$  a través de:

$$\gamma = \frac{D}{t_r}$$

La rigidez vertical  $kV$  y la rigidez de flexión, que se expresa como  $EI$  por analogía con la teoría de vigas, también se encuentran a través de la teoría elástica y es un parámetro que se necesita para el diseño del aislador.

La frecuencia vertical de una estructura aislada, frecuentemente es un importante criterio de diseño, está controlado por la rigidez vertical del aislador que comprime el sistema.

Para poder predecir la frecuencia vertical, el diseñador necesita solamente calcular la rigidez vertical del aislador bajo una carga muerta especificada, un análisis lineal es lo suficientemente preciso para este tipo de cálculo.

Otra propiedad importante del aislador que debe ser analizada para el diseño, es el comportamiento de pandeo del aislador. Para poder realizar este análisis, es necesario conocer la respuesta del aislador comprimido por el momento de flexión. Llamado como “rigidez de flexión” puede determinarse a través de una extensión del mismo análisis que se hace para determinar la rigidez vertical.

La rigidez vertical de un aislador de caucho está dada por la fórmula:

$$K_v = \frac{E_c A}{H_r}$$

Donde:

- ✓  $A$  = Área de la sección transversal del aislador (debe tomarse el área de las placas metálicas)
- ✓  $H_r$  = Espesor total de caucho en el aislador
- ✓  $E_c$  = Modulo de compresión instantánea del compuesto de caucho – acero bajo el nivel específico de carga vertical.

El valor de  $E_c$  para una simple capa de caucho es controlada por el factor de forma  $S$ , definido como:

$$S = \frac{\text{área cargada}}{\text{área de fuerza libre}}$$

El cual es un indicador adimensional de la razón de aspecto de una capa simple del elastómero. Por ejemplo, en una infinita franja de ancho  $2b$  con una capa simple de espesor  $t$ ,

$$S = \frac{b}{t}$$

Para un cojinete circular de diámetro  $\emptyset$  o radio  $R$  y espesor  $t$ ,

$$S = \frac{\emptyset}{4t}$$

$$S = \frac{R}{2t}$$

Y para un cojinete cuadrado de dimensión de lado  $a$  y espesor  $t$ ,

$$S = \frac{a}{4t}$$

Por un simple cojinete en la forma de un completo círculo, el módulo de compresión  $E_c$ , está dado por:

$$E_c = 6GS^2$$

Y para cojinete cuadrado, el resultado es:

$$E_c = 6.73 GS^2$$

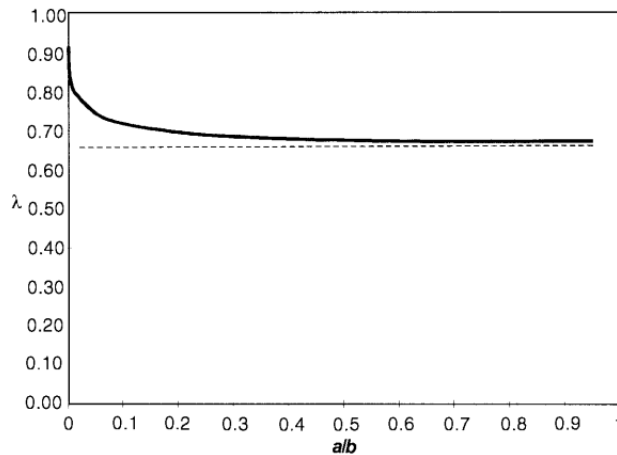
En algunos casos, los cojinetes son diseñados con agujeros centrales vacíos. El resultado para un cojinete con un radio interior  $a$  y un radio exterior  $b$  es:

$$E_c = 6 \lambda GS^2$$

Donde

$$\lambda = \frac{b^2 + a^2 - [(b^2 - a^2)/(\ln b/a)]}{(b - a)^2}$$

Si  $a/b = 0$ , entonces  $\lambda = 1$ ; por lo tanto,  $E_c = 6GS^2$ , el cual es el resultado para el cojinete circular completo. Si  $a/b = 1$ , escribiendo  $a/b = 1-e$  y suponiendo que  $e=0$ , encontramos que  $\lambda = 2/3$  y  $E_c = 4 GS^2$ , el cual es el resultado para la franja infinita. Es interesante evaluar cuan rápidamente el resultado para  $\lambda$  se aproxima a  $2/3$ . Para ilustrar este punto, la solución para  $\lambda$  es graficada versus la relación  $a/b$  y para  $0 \leq a/b \leq 1$  en la Ilustración II-15. Claramente para el caso cuando  $a/b > 0.10$ , el valor de  $\lambda$  es casi dos tercios, indicando que la presencia de incluso un pequeño hoyo tiene un gran efecto en  $E_c$ ; por lo tanto, en la mayoría de casos para cojinetes con hoyos centrales, el valor de  $E_c$  debería ser tomado como  $4 GS^2$  en lugar de  $6 GS^2$ .



**Ilustración II-15. Reducción del módulo de Compresión Ec.**

Debajo de compresión directa, la restricción proporcionada por las cuñas de acero adherido produce un esfuerzo de corte en el caucho, el cual es denotado por  $\gamma_c$ . Si el esfuerzo de compresión nominal  $\epsilon_c$  está dado por:

$$\epsilon_c = \frac{\Delta}{t_r}$$

Donde  $\Delta$  es el desplazamiento vertical, luego:

$$\gamma_c = 6 S \epsilon_c$$

Este es el esfuerzo de cortante máximo desarrollado en los bordes del cojinete y a menudo usado en el diseño.

El esfuerzo cortante máximo debido a compresión no es el único esfuerzo cortante de interés para el diseñador. Es además usado para estimar el esfuerzo promedio de la siguiente manera: debido a que el caucho es algún tanto esfuerzo sensible, G es a menudo modificado de acuerdo al nivel de esfuerzo, particularmente en cauchos altamente llenados. De este cálculo el esfuerzo cortante promedio  $\gamma_{ave}$  está dado por

$$\gamma_{ave} = \sqrt{6} S \epsilon_c$$

Aunque a un cierto grado de prueba y el error es necesario, los cálculos de esta clase permiten al diseñador estimar la rigidez vertical. Primero, debemos asumir un valor de G para calcular  $\epsilon_c$  y a partir de ello que calcule  $\gamma_{ave}$ ; luego modificamos G e iteramos tantas veces como sea necesario. Debido a que el módulo no es muy sensible a esforzar por encima de 20%, unas cuantas iteraciones son necesarias.

La rigidez de flexión de un cojinete es calculada usando un enfoque similar con el mismo tipo de supuestos desplazamientos. El cojinete es asumido cargado por un

momento puro  $M$ , y la deformación es asumida para ser una rotación de la parte superior e inferior de las placas unidas, como se muestra en la Ilustración II-16, entonces se obtiene la ecuación

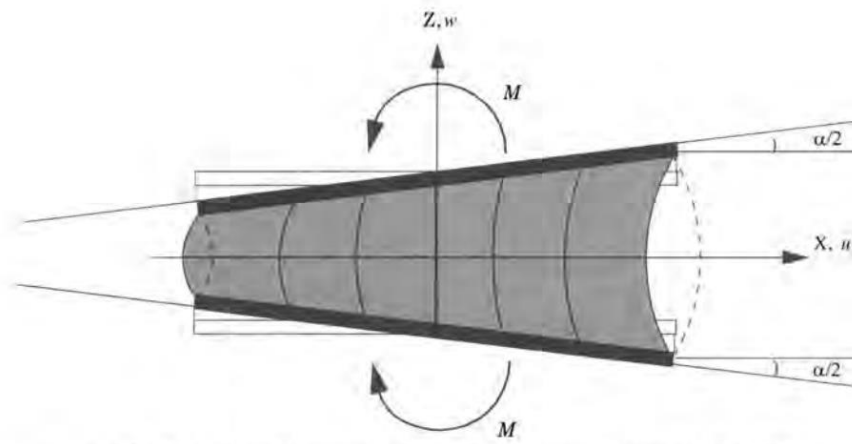
$$\frac{1}{\rho} = \frac{\alpha}{r}$$

Por analogía con la teoría de vigas, donde

$$M = \frac{EI}{\rho}$$

Escribimos

$$M = (EI)_{eff} \frac{\alpha}{t}$$



**Ilustración II-16. Cojinete de caucho entre capas rígidas restringidas en flexión pura**

Para un cojinete circular de radio  $R$ , el resultado es

$$M = \frac{3\alpha G \pi R^6}{2t^3} \frac{1}{12}$$

Y para una viga de sección circular

$$I = \frac{\pi R^4}{4}$$

Pero en este caso, tomando  $E$  en  $EI$  como  $E_c = 6GS^2$ , tenemos el resultado  $\pi R^4/12$  para  $I$ , el cual es la tercera parte del momento de inercia de una viga. Para el cojinete circular con un hoyo central, tenemos:

$$(EI)_{eff} = 2GS^2I \frac{(b+a)^2}{b^2 - a^2}$$

Los esfuerzos cortantes por la flexión son dados por:

$$\gamma_b = 6S\epsilon_b$$

Donde  $\epsilon_b = R(\alpha/t)$  es el esfuerzo de compresión de borde producido por la flexión. El esfuerzo cortante promedio (en el sentido generalmente de energía de esfuerzo cortante) es dado por:

$$\gamma_b^{ave} = \sqrt{2} S^2 \alpha$$

$$\gamma_b^{ave} = \sqrt{2} \frac{R \alpha}{4 t}$$

$$\gamma_b^{ave} = \frac{\sqrt{2}}{4} S \epsilon_b$$

Donde el factor de forma del cojinete llega a ser grande, el efecto de compresibilidad del caucho empieza a ser importante. Compresibilidad puede ser aproximadamente incorporado en las fórmulas previas a través de la modificación ad hoc.

$$\frac{1}{E_c} = \frac{1}{E'_c} + \frac{1}{K}$$

Donde  $1/E'_c$  es el módulo de compresión asumiendo comportamiento de incompresibilidad y K es el módulo volumétrico del material. El valor de K varía extensamente en un material de referencia, variando de 1000 MPa (145 000 psi) a 2500 MPa (363 000 psi). El valor comúnmente más usado, y el cual parece ajustarse a los resultados de prueba de laboratorio en cojinetes, es 2000 MPa (290 000 psi).

Cuando reescribimos para  $E_c$ , la ecuación ad hoc llega a ser:

$$E_c = \frac{E'_c K}{E'_c + K}$$

Y para el cojinete circular, tenemos que  $E'_c = 6GS^2$ ; así

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

$$E_c = 6GS^2 \left[ \frac{1}{1 + 6GS^2/K} \right]$$

Donde S es pequeño, tenemos

$$E_c = 6GS^2 \left( 1 - \frac{6GS^2}{K} \right)$$

Así que, decimos, para una mejor precisión del 10%, S es tal que

$$6S^2 < \frac{K}{60G}$$

Con K=2000 MPa (290 000 psi) y G=0.7 MPa (101.5 psi), S<7. Cuando S es largo y  $6GS^2/K$  es mucho mayor que la unidad,

$$E_c = K \left[ 1 - \frac{K}{6GS^2} \right]$$

Mostrando que K es un límite superior a  $E_c$  y aproximará  $E_c$  a menos que 10% de precisión si

$$\frac{K}{6GS^2} < \frac{1}{10}$$

o

$$S > \left( \frac{K}{0.6G} \right)^{1/2} \approx 70$$

Factores de forma de esta magnitud son improbables; pero las fórmulas muestran que una estimación para comprensibilidad es necesaria para factores de forma por encima de 10.

#### 2.2.4.4. Características mecánicas de aisladores con núcleo de plomo.

La fuerza característica “Q” de los aisladores con núcleo de plomo es controlada principalmente por la fuerza cortante del núcleo de plomo. El cortante de fluencia ocurre en el núcleo de plomo a bajos niveles de esfuerzo cortante. La fuerza característica “Q”, se calcula como,:

$$Q = A_1 f_{y1}$$

La rigidez post fluencia “ $k_p$ ” puede describirse a través de la siguiente ecuación:

$$k_p = \frac{A_b G f_L}{t}$$

Donde:

- ✓  $A_b$  = es el área de caucho
- ✓  $t$  = el grosor total del caucho
- ✓  $f_L = 1.5$
- ✓  $G$  = módulo de cortante tangente del caucho (se determina a través de pruebas dinámicas de cortante)

La rigidez elástica “ $k_e$ ” a través de la siguiente ecuación empírica se puede obtener un valor que es aceptable.

$$6.5k_p < k_e < 10k_p$$

Entonces, la ecuación para el desplazamiento de fluencia  $D_y$ :

$$D_y = \frac{Q}{(x-1)k_p}$$

El amortiguamiento efectivo para un aislador con núcleo de plomo es:

$$\beta_{eff} = \frac{2Q(D - D_y)}{\pi k_{eff} D^2} = \frac{2Q[(x-1)k_p D - Q]}{\pi(x-1)k_p(k_p D + Q)D}$$

Con estas características se puede establecer un modelo bilineal y puede ser usado para realizar un análisis no lineal de la estructura que utiliza aisladores con núcleos de plomo. Definimos:

$$\mu = \frac{Q}{W} \text{ y } \omega_0^2 = \sqrt{\frac{k_p g}{W}}$$

Otro dato que puede ser interesante es la *frecuencia natural*  $\omega$ , la cual está dada por:

$$\omega = \sqrt{\frac{k_{eff} g}{W}} = \sqrt{\omega_0^2 + \mu \frac{g}{D}}$$

Conociendo este dato, el *periodo efectivo*  $T$  lo podemos encontrar a través de la siguiente ecuación:

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{\sqrt{\omega_0^2 + \mu \frac{g}{D}}}$$

#### 2.2.4.5. Modelo Bilineal de un aislador elastomérico de alto amortiguamiento

Los 3 parámetros usados para generar un modelo bilineal para un aislador elastomérico de alto amortiguamiento son normalmente derivados del módulo de cortante  $G$  y el amortiguamiento efectivo  $\beta_{eff}$ . El módulo de cortante tangente  $G$ , es determinado con precisión de una prueba dinámica de cortante. El amortiguamiento efectivo, determinado de las pruebas a los prototipos de aisladores varía entre 10% y 20% del amortiguamiento crítico.

La ecuación para calcular la rigidez post fluencia  $k_p$  para este tipo de aisladores es

$$k_p = \frac{GA_b}{t}$$

Donde:

- ✓  $A_b$  = El área de caucho
- ✓  $t$  = Espesor total del caucho.

La fuerza característica está definida por:

$$Q = \frac{\pi\beta_{eff}k_p D_D^2}{(2 - \pi\beta_{eff})D_D - 2D_y}$$

Donde

$D_D$  = Desplazamiento de Diseño.

Los parámetros correspondientes al desplazamiento de fluencia  $D_y$ , son desconocidos hasta que los parámetros  $k_p$ ,  $k_e$  y  $Q$  sean determinados. Entonces, una estimación aproximada de  $D_y$ , apoyada de resultados de las pruebas, puede ser expresado en términos del espesor total del caucho,  $t$ .

$$D_y = \lambda t$$

Donde:

$$0.05 \leq \lambda \leq 0.1$$

Una vez que se conocen los parámetros,  $D_y$  y  $Q$ , la fuerza de fluencia  $F_y$  del aislador se determina fácilmente a través de la ecuación 4- 3

$$F_y = Q + k_p D_y$$

Siguiendo con la búsqueda de las variables que conforman el modelo bilineal buscamos la rigidez elástica del aislador de alto amortiguamiento

$$k_e = \frac{F_y}{D_y} = k_p + \frac{Q}{D_y} = k_p \left\{ 1 + \frac{\pi \beta_{eff} D_D^2}{\lambda t [(2 - \pi \beta_{eff}) D_D - 2 \lambda t]} \right\}$$

Si sustituimos en la ecuación 4- 5,  $D_y = \lambda t$ , la rigidez efectiva en el desplazamiento de diseño puede ser calculado a través de la siguiente ecuación

$$k_{eff} = \frac{2Q(D_D - \lambda t)}{\pi \beta_{eff} D_D^2}$$

La ecuación para el amortiguamiento puede definirse como:

$$B_{eff} = \frac{K_{pA} \beta_A + K_{pB} \beta_B}{K_{DMIN}}$$

#### 2.2.4.6. Características mecánicas de un aislador utilizando un sistema de péndulo de fricción

La fuerza característica  $Q$ , de un aislador que utiliza péndulo de fricción como sistema de aislamiento, esta expresado a través de la siguiente ecuación.

$$Q = \mu_s P_c$$

Dónde:

- ✓  $P_c$  = Fuerza axial aplicada sobre el aislador, la cual está compuesta por la carga gravitacional  $P g$  y el efecto de la aceleración vertical del terreno. Si se desprecian los efectos de la aceleración vertical la fuerza axial  $P_c = P g$

- ✓  $\mu_s$  = Coeficiente de fricción que está relacionado a la velocidad de deslizamiento. Se calcula a través de la siguiente ecuación:

$$\mu_s = f_{max} - (f_{max} - f_{min})e^{-\xi|\dot{D}|}$$

- ✓  $f_{max}$  y  $f_{min}$  = Son coeficientes de fricción calculados a alta y baja velocidad respectivamente.
- ✓  $D$  = Representa la velocidad de movimiento del aislador.
- ✓  $\xi$  = Inversa de la velocidad de deslizamiento característica, este parámetro controla la transición de  $f_{max}$  a  $f_{min}$  y es calculada en base a experimentos; sin embargo, algunos autores sugieren un valor aproximado de 2.54 s/in.

La rigidez post fluencia  $k_p$  para los aisladores que utilizan péndulo de fricción se calcula a través de la siguiente ecuación:

$$k_p = \frac{P_c}{R}$$

Donde

- ✓  $R$  = Representa el radio de curvatura de la superficie deslizante

La rigidez elástica  $k_e$  con base a muchos experimentos que se han realizado alrededor de este sistema se ha determinado es normalmente al menos 100 veces la rigidez post fluencia  $k_p$ . Tomando en cuenta lo dicho podemos calcular el desplazamiento de fluencia  $D_y$  a través de la siguiente ecuación:

$$D_y = \frac{Q}{k_e - k_p} \approx \frac{Q}{100k_p} = \frac{\mu_s P_c}{100(P_c/R)} = \frac{\mu_s R}{100}$$

Sustituyendo los valores, la rigidez efectiva se calcula como:

$$k_{eff} = P_c \left( \frac{1}{R} + \frac{\mu_s}{D_D} \right)$$

Debido a que el desplazamiento de fluencia  $D_y$  es mucho menor que el desplazamiento de diseño  $D_D$ , el área del ciclo de histéresis  $E_D$  puede calcularse, aproximadamente, haciendo uso de la siguiente ecuación:

$$E_D = 4Q(D_D - D_y) \approx 4QD_D = 4D_D\mu_s P_c$$

Si sustituimos las ecuaciones anteriores, el amortiguamiento efectivo se define como:

$$\beta_{eff} = \frac{4D_D\mu_s P_c}{2\pi \left[ P_c \left( \frac{1}{R} + \frac{\mu_s}{D_D} \right) \right] D_D^2} = \frac{2\mu_s}{\pi \left( \frac{D_D}{R} + \mu_s \right)}$$

Algunos datos interesantes que también se pueden conseguir de este tipo de estructura son:

✓ Periodo para un péndulo	$T = 2\pi \sqrt{\frac{R}{g}}$
✓ Radio para un péndulo	$R = \frac{gT^2}{(2\pi)^2}$

Un dato interesante de conocer es que, si el desplazamiento vertical de un péndulo desplazamiento entre el radio es menor que la fuera de fricción, la fuerza restauradora será menor que la fuerza de fricción y el sistema no quedará centrado,

$$\delta_v = \frac{D^2}{2R}$$

- ✓ Desplazamiento horizontal (mm o in).
- ✓ Si  $D/R \leq \mu$ , esto representa un problema para los sistemas con grandes periodos.

#### 2.2.4.7. Pandeo critico de Aisladores Elastoméricos.

Los aisladores elastomérico son susceptibles a inestabilidad por pandeo parecida a la que se da en una columna; pero dominado por la baja rigidez de cortante del aislador.

Para modelar el aislador es necesario introducir ciertas modificaciones a las cantidades definidas en la sección previa. Cabe mencionar que según algunos autores la única manera de conocer la carga de pandeo es a través de pruebas de laboratorio y que las hipótesis que abajo se presentan no representan el comportamiento real.

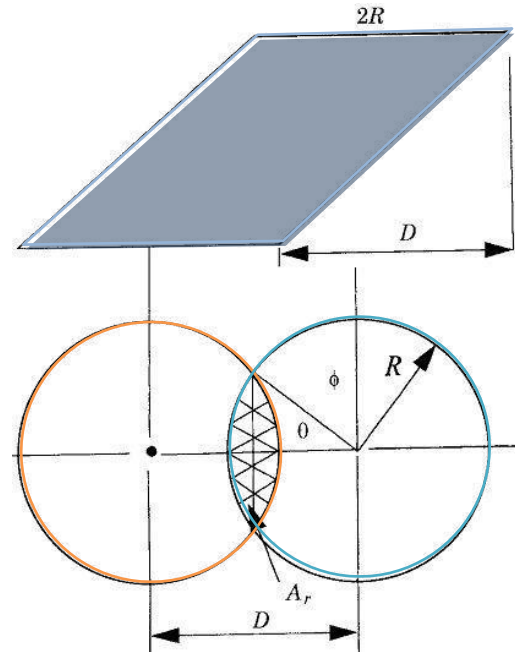
**Tabla II-13. Ecuaciones para el cálculo de estabilidad de aisladores elastoméricos**

<b>Cortante por unidad de longitud</b>	<b>Área de cortante efectivo</b>
$P_s = GA_s$	$A_s = A \frac{h}{t_r}$
<b>G</b> = Modulo de elasticidad del elastómero. <b>A<sub>s</sub></b> = Área de cortante efectivo	<b>A</b> = Área de sección transversal del aislador. <b>h</b> = Altura total del aislador incluyendo acero. <b>t<sub>r</sub></b> = Altura total del caucho
<b>Rigidez Horizontal</b>	<b>Carga de Pandeo</b>
$K_H = \frac{GA}{t_r}$	$P_E = \frac{\pi^2 1}{h^2 3} E_C I \frac{h}{t_r}$
Para la mayoría de los tipos de aisladores donde $S \geq 5, P_E \gg P_S$ la carga critica puede ser calculad con la ecuación	
<b>Carga crítica</b>	<b>Factor de Seguridad</b>
$P_{crit} = \sqrt{P_E P_S}$	$F_{seg} = \frac{P_{crit}}{W}$
<b>Influencia de carga vertical en rigidez horizontal</b>	
$K_H = K_H \left[ 1 - \left( \frac{W}{P_{crit}} \right)^2 \right]$	

#### 2.2.4.8. Estabilidad ante grandes desplazamientos laterales

El análisis de pandeo para un aislador elastomérico se basa en la teoría análoga a el análisis del pandeo de una columna, en estos casos se presenta la carga o los esfuerzos de pandeo en la posición original, sin desplazamientos; pero normalmente no hay información acerca de la estabilidad del aislador en su posición desplazada, en estos casos la inestabilidad se presentará en la pérdida de un incremento positivo en la rigidez horizontal  $K_H$ . Conocer este tipo de inestabilidad es de crucial importancia en el diseño de los aisladores.

Para predecir este comportamiento es necesario hacer uso de un análisis no lineal. Sin embargo, hay dos hipótesis las cuales pueden usarse para una aproximación con bastante grado de exactitud. La siguiente figura nos muestra la simbología utilizada en esta sección, la cual será explicada más adelante.



*Ilustración II-17. Nomenclatura para área reducida*

#### 2.2.4.9. Área reducida

Antes de hablar de las hipótesis que se tienen acerca del pandeo crítico ante desplazamientos laterales, se escriben las ecuaciones para el área reducida

- ✓ Área reducida para un aislador rectangular

$$A_r = B(B - D_{crit})$$

- ✓ Área reducida para un aislador circular

En el caso de un aislador con sección circular es más difícil de realizar dicho cálculo, en la Ilustración II-17 tenemos definido las siguientes variables como

$\theta$  = Ángulo medio subtendido al centro de la intersección del círculo superior e inferior.

$$\phi = \frac{\pi}{2} - \theta$$

✓ El desplazamiento D, y el área reducida  $A_r$  están dados por las siguientes ecuaciones

$$D = 2R\cos\theta = 2R\sin\theta$$

$$A_r = 2R^2(\theta - \sin\theta\cos\theta)$$

#### 2.2.4.10. Hipótesis pandeo crítico

Esta hipótesis supone que la concentración de esfuerzos no afecta la resistencia a flexión del aislador sino la resistencia a cortante. La ecuación que se ve modificada es la reescrita aquí

$$P_s = GA_s$$

De esta ecuación se sustituye el término  $AS$  por un  $A_r$  que ha sido definido en la ecuación 4- 47, para un aislador de sección cuadrada.

Si la segunda hipótesis es correcta tenemos:

$$P = \sqrt{GA_r \frac{\pi^2}{t_r^2} (EI)_{eff}}$$

Lo podemos reescribir como:

$$P = P_{crit} \left( \frac{A_r}{A} \right)^{1/2}$$

Donde:

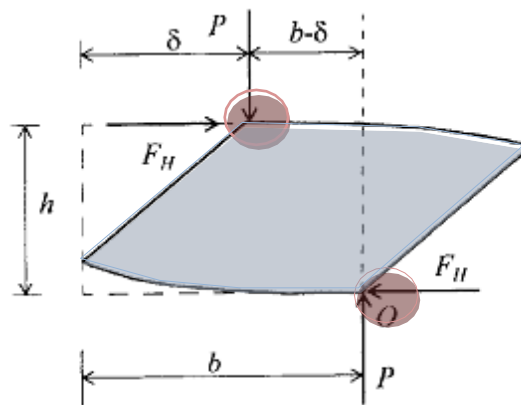
$A =$  Para un aislador cuadrado sería igual a  $B^2$  Entonces tenemos  $D_{crit}$

$$\frac{P}{P_{crit}} = \left( \frac{A_r}{A} \right)^{1/2} \rightarrow \left( \frac{P}{P_{crit}} \right)^2 = \frac{A_r}{A} \rightarrow D_{crit} = B - B^2 \left( \frac{P}{P_{crit}} \right)^2$$

### 2.2.4.11. Estabilidad ante “Estiramiento”

La estabilidad ante “estiramiento” está se da en los aisladores que se encuentran anclados, esta inestabilidad se debe a desplazamientos laterales que se encuentran en los límites del desplazamiento máximo que el aislador puede soportar. Al igual que en los casos anteriores hay una disminución en las propiedades de fuerza – desplazamiento. Además, debido a que el aislador no soporta tensión, el movimiento en la parte superior e inferior se produce por un cambio en las líneas de acción de las resultantes de la carga vertical como se puede mostrar en la Ilustración II-18.

$$\frac{\delta_{\max}}{b} = \frac{P}{P + K_H h}$$



*Ilustración II-18. Cambio de las resultantes de las líneas de acción de la carga vertical y límite de cambio*

El límite puede ser encontrado a través de la siguiente ecuación:

$$P(b - \delta_{\max}) = hF_H$$

Donde

- ✓  $P$ = Carga Axial.
- ✓  $b$ = Ancho del aislador en caso de ser cuadrado si fuera circular puede ser el diámetro  $\theta$ .
- ✓  $h$ = Altura del aislador.
- ✓  $F_H$  = Fuerza Lateral
- ✓  $\delta_{\max}$  = Desplazamiento máximo DM.

Al final el desplazamiento máximo se define por.

$$\delta_{\max} = \frac{\Phi}{1 + Kph/P}$$

## **2.1. Definición de términos básicos**

### **2.1.1. Aislamiento sísmico**

Según la norma Nch 2745 [4, p. 6] se define como “Conjunto de elementos estructurales que incluye a todos los aisladores individuales, todos los elementos estructurales que transfieren fuerza entre los elementos del sistema de aislación y la superestructura y subestructura, y todas las conexiones a otros elementos estructurales. [...]”. Además menciona que “El objetivo fundamental de la aislación sísmica es desacoplar horizontalmente la estructura del suelo de fundación con el objeto de que el movimiento horizontal del suelo durante un sismo no se transmita a la estructura y que ella permanezca idealmente inmóvil en un marco de referencia inercial. [...]”.

### **2.1.2. Aisladores sísmicos**

Un aislador sísmico representa un “Elemento estructural del sistema de aislación que es horizontalmente flexible y verticalmente rígido y que permite grandes deformaciones laterales bajo sollicitación sísmica. Es un elemento que se puede utilizar como parte del, o adicionalmente al, sistema de carga gravitacional de la estructura” [4, p. 3].

### **2.1.3. Rigidez efectiva o secante**

Se define como “el valor de la fuerza lateral del sistema de aislación, o un elemento del mismo, dividido por el correspondiente desplazamiento lateral” [18, p. 165].

### **2.1.4. Vulnerabilidad sísmica**

De INDECI [15, p. 62], se infiere que vulnerabilidad sísmica “está definida como el grado de pérdida o daño que éste pueda sufrir debido a la ocurrencia de un fenómeno sísmico o amenaza de severidad dada. La naturaleza de la vulnerabilidad y su evaluación varían según el elemento expuesto: estructuras sociales, personas, estructuras físicas, bienes, actividades económicas, etc., y según las amenazas o peligros existentes”.

### **2.1.5. Riesgo sísmico**

De INDECI [15, p. 5], se infiere que riesgo sísmico “corresponde a la evaluación conjunta de los peligros y vulnerabilidad que amenaza a una ciudad. El análisis de riesgo es un estimado de las probabilidades de pérdidas esperadas para un determinado evento sísmico”.

### **2.1.6. Amortiguamiento efectivo**

Se define como “El valor de amortiguamiento viscoso equivalente correspondiente a la energía disipada durante la respuesta cíclica del sistema de aislamiento” [18, p. 165].

### **2.1.7. Sismo de diseño**

La norma Nch 2745 [4, p. 4] lo define como el “nivel del movimiento sísmico del suelo que tiene como mínimo el 10% de probabilidad de excedencia en 50 años”. Mientras que la norma ASCE 7-10 [18, p. 59], “Los efectos de los terremotos que son dos tercios de los correspondientes efectos del sismo máximo posible (MCEr)”.

### **2.1.8. Aisladores elastoméricos**

“Los aisladores elastoméricos son uno de los dispositivos más utilizados actualmente en el diseño de estructuras aisladas. El aislador elastomérico consiste en un conjunto de capas delgadas de goma natural adheridas a planchas delgadas de acero formando un sándwich de goma y acero. Durante su construcción, las láminas de acero y goma se intercalan horizontalmente dentro de un molde de acero que da la forma geométrica al aislador. Una vez colocadas estas láminas en el molde, se coloca el aislador bajo una prensa y se le aplica presión y temperatura de 140°C por un tiempo cercano a las 6 h en el caso de aisladores circulares de diámetro igual a 60 cm. [...]” [4, p. 28].

### **2.1.9. Aisladores con corazón de plomo**

“Los aisladores con corazón de plomo (LRB) se construyen en general de goma de bajo amortiguamiento y se les deja un orificio central cilíndrico en el que se introduce el corazón de plomo bajo presión. Bajo deformación lateral, el plomo se deforma en un estado de corte puro y fluye a una tensión cercana a los 10 MPa a temperatura ambiente, produciendo numerosos ciclos histeréticos estables. Debido a que el plomo recristaliza a temperatura ambiente (20°C aproximadamente), su fluencia repetida no produce falla por fatiga” [4, p. 29].

### **III. METODOLOGÍA.**

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

- ✓ Por el tipo de la investigación, la presente tesis se clasifica en:
  - Aplicada, porque se aplicaron sistemas de protección sísmica innovadores y normativas extranjeras, en el diseño estructural de una edificación residencial.
- ✓ Por el nivel de investigación, la presente tesis se clasifica en:
  - Aprehensivo, porque analiza y compara dos tipos de diseño estructural.
  - Integrativo, porque determina el costo-beneficio por la implementación de una tecnología de protección sísmica.

#### **3.2. Diseño de investigación**

- ✓ Por el diseño de investigación, la presente tesis se clasifica en:
  - Cuantitativo, porque las variables presentan indicadores de naturaleza cuantitativa. Los resultados, análisis e interpretación de los números, determinarán la validación de la hipótesis de la tesis.
  - Experimental, porque la variable dependiente, diseño estructural, fue manipulada para monitorear el cambio que tuvo la variable dependiente, evaluación comparativa.

#### **3.3. Población, muestra, muestreo**

La población está conformada por edificaciones residenciales en la ciudad de Chiclayo

La muestra está conformada por una edificación residencial de nueve niveles y dos sótanos en la ciudad de Chiclayo.

La muestra fue del tipo no probabilística debido a que su elección dependió a criterio personal, la limitación económica y de tiempo, del investigador.

En este apartado se describe la muestra a nivel de arquitectura y estructura del edificio residencial a analizar.

### 3.3.1. Descripción de la arquitectura del edificio

El condominio presenta las siguientes características:

- ✓ Niveles 9: 1° planta, 2-9° planta típica, sin incluir dos sótanos.
- ✓ Área del terreno: 948.69 metros cuadrados.
- ✓ Sótano destinado para uso de estacionamiento con abastecimiento de 24 vehículos, con un NPT -3.85 m.
- ✓ Sótano destinado para uso de estacionamiento con abastecimiento de 20 vehículos, con un NPT -1.25 m.
- ✓ Altura desde el nivel de terreno natural: 26.58 metros.
- ✓ Altura de profundidad desde el NTN -3.85 m
- ✓ Altura total de la edificación: 30.40 metros.
- ✓ Altura de entrepiso: 2.80 metros.
- ✓ N° departamentos planta 1°: 3 departamentos.
- ✓ N° departamentos planta 2°-9°: 6 departamentos/ planta.

El condominio presenta la siguiente ubicación:

- ✓ Ubicación: En la intersección de la Av. Grau y Jr. Abtao, Urb. Santa Victoria, Chiclayo.
- ✓ Referencias: Al frente del Colegio Santa Ángela.
- ✓ Antecedentes: Restaurante Casa Blanca.



*Ilustración III-1. Mapa de ubicación del condominio, según google maps.*

### **3.3.2. Descripción de la estructura del edificio convencional**

La tipología estructural del edificio convencional se define como un sistema aporricado de muros estructurales de concreto armado, en ambas direcciones. Está conformado por columnas que varían desde 30 x 80 cm hasta 30 x 110 cm; por otro lado, también por placas aproximadamente de dimensiones entre 200 cm hasta 550 cm de longitud. Asimismo, el edificio no cuenta con irregularidades en planta ni altura.

La resistencia de compresión del concreto armado es de 280 kg/cm<sup>2</sup>; mientras que, el acero con una tensión de fluencia de 4200 kg/cm<sup>2</sup>. Asimismo, tanto la escalera como el ascensor forman parte de la estructura del edificio.

La cimentación está conformada por una platea de cimentación acompañada con vigas de cimentación. Se eligió este sistema debido a la baja capacidad portante del terreno y el alto nivel freático que presenta la zona.

### **3.3.3. Descripción de la estructura del edificio aislado**

La estructura del edificio aislado presenta la misma distribución de espacios según la arquitectura del edificio convencional. Se diferencia porque cuenta con una subestructura, superestructura y un sistema de interfaz de aislación, ubicado entre ellas.

La tipología estructural del edificio aislado se define como un sistema aporricado de columnas de concreto armado, en ambas direcciones. Está conformado por columnas que varían desde 30 x 60 cm hasta 30 x 120 cm; por otro lado, también cuenta con muros de corte ubicados solo en la escalera y ascensor.

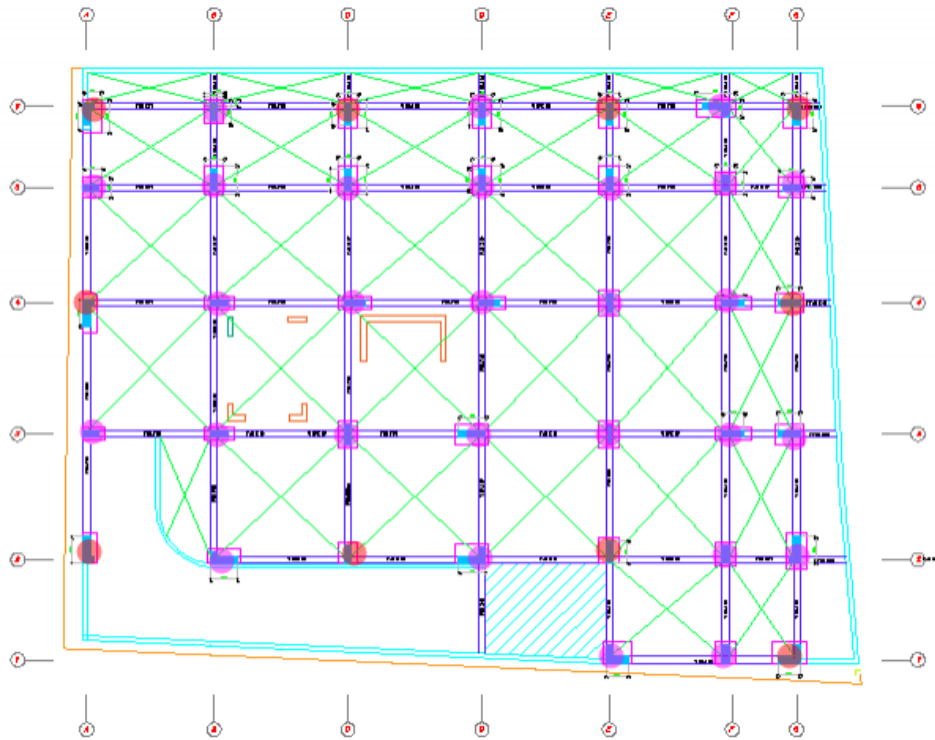
La resistencia de compresión del concreto armado es de 280 kg/cm<sup>2</sup>; mientras que, el acero con una tensión de fluencia de 4200 kg/cm<sup>2</sup>. Asimismo, tanto la escalera como el ascensor se encuentran suspendidos de la

La cimentación está conformada por una platea de cimentación acompañada con vigas de cimentación. Se eligió este sistema debido a la baja capacidad portante del terreno y el alto nivel freático que presenta la zona.

El sistema de aislación está situado en el cielo del subterráneo, evitando así la construcción de una losa de piso adicional en el edificio y además con esto se provee de un sistema de acceso a los aisladores, para su inspección y posible recambio según sea el caso. Además, consta de 38 aisladores de base; los cuales se disponen de tal manera que se sitúen en los elementos que transmiten la carga de la superestructura a la subestructura, ya sea en

columnas o en muros, conectados por vigas de amarre, con los correspondientes pedestales de tope y de apoyo.

Se consideraron tres distintas configuraciones, estas son: aislador elastomérico de alto amortiguamiento (HDR), aisladores elastoméricos con núcleo de plomo (LRB) y el sistema de péndulo friccional (FPS).



*Ilustración III-2. Distribución en planta de sistema de aislación HDR + LRB*

### 3.4. Criterios de selección

Los criterios de selección del investigador fueron:

- Realizar una investigación inicial piloto, para que en consecuentes investigaciones, sea posible realizar un mejor muestreo como el probabilístico aleatorio.
- Aplicar una tecnología innovadora sobre protección sísmica en una edificación de tipo residencial en la ciudad de Chiclayo.
- Considerar condiciones en la zona de estudio que le den originalidad y valor agregado a la tesis, tales como: dificultad de excavación por suelos arenosos y nivel freático

### 3.5. Operacionalización de variables

Para la operacionalización se tomó como variable independiente al diseño estructural, debido a que esta es la causa de la variación de la variable dependiente, evaluación comparativa, en sus dimensiones de: condiciones de servicio, métodos de análisis, análisis estructural, metrados, relación de insumos y costos. La Tabla III-1, presenta el desarrollo de la operacionalización de variables.

*Tabla III-1. Operacionalización de variables*

VARIABLE		DIMENSIÓN	INDICADOR	UNIDADES	NATURALEZA	INSTRUMENTOS	ESCALA
INDEPENDIENTE	DISEÑO ESTRUCTURAL	SISTEMA ESTRUCTURAL	CONVENCIONAL	adimensional	CUALITATIVA	NORMATIVAS DE ESTRUCTURAS <sup>5</sup> Y SOFTWARE SAP 200	ORDINAL
			AISLACIÓN SÍSMICA	adimensional	CUALITATIVA		ORDINAL
DEPENDIENTE	EVALUACIÓN COMPARATIVA	CONDICIONES DE SERVICIO	DEFLEXIONES	mm	CUANTITATIVA	NORMATIVAS DE ESTRUCTURAS Y SOFTWARE SAP 200	DE RAZÓN
			DESPLAZAMIENTOS	cm	CUANTITATIVA		DE RAZÓN
		MÉTODOS DE ANÁLISIS	A. ESTÁTICO	adimensional	CUALITATIVA	NORMATIVAS DE ESTRUCTURAS Y SOFTWARE SAP 200	ORDINAL
			A. DINÁMICO MODAL ESPECTRAL	adimensional	CUALITATIVA		ORDINAL
			A. DINÁMICO TIEMPO-HISTORIA	adimensional	CUALITATIVA		ORDINAL
		ANÁLISIS ESTRUCTURAL	FRECUENCIA	1/seg	CUANTITATIVA	SOFTWARE SAP 2000, ETHABS O SAFE	DE RAZÓN
			PERIODO	seg	CUANTITATIVA		DE RAZÓN
			DESPLAZAMIENTO RELATIVO	cm	CUANTITATIVA		DE RAZÓN

<sup>5</sup> Normativas de estructuras, refiere a las normas: ASCE 7-10, RNE y Nch. Para mayor información, ir a referencias bibliográficas.

		DESPLAZAMIENTO ABSOLUTO	cm	CUANTITATIVA		DE RAZÓN
		DERIVA	adimensional	CUALITATIVA		DE INTERVALO
		CORTE BASAL	ton	CUANTITATIVA		DE RAZÓN
		ACELERACIÓN ABSOLUTA	g	CUANTITATIVA		DE RAZÓN
	METRADO	TIERRAS	m3	CUANTITATIVA	PLANTILLA DE METRADOS EXCEL 2013, CUANTIFICACIÓN	DE RAZÓN
		CONCRETO	m3	CUANTITATIVA		DE RAZÓN
		ENCOFRADO	m2	CUANTITATIVA		DE RAZÓN
		ACERO	ton	CUANTITATIVA		DE RAZÓN
		LADRILLO	millar	CUANTITATIVA		DE RAZÓN
	RELACIÓN DE INSUMOS	MANO DE OBRA	hh	CUANTITATIVA	EXCEL 2013, S10	DE RAZÓN
		EQUIPOS	hm	CUANTITATIVA		DE RAZÓN
		CONCRETO	f'c y m3	CUANTITATIVA		DE RAZÓN
		MATERIAL PARA ENCOFRADO	variable	CUANTITATIVA		DE RAZÓN
		TIPO DE ACERO	ton	CUANTITATIVA		DE RAZÓN
		LADRILLO	millar	CUANTITATIVA		DE RAZÓN
	COSTOS	MANO DE OBRA	S/.	CUANTITATIVA	EXCEL 2013, S10	DE RAZÓN
		EQUIPOS	S/.	CUANTITATIVA		DE RAZÓN
		CONCRETO	S/.	CUANTITATIVA		DE RAZÓN
		MATERIAL PARA ENCOFRADO	S/.	CUANTITATIVA		DE RAZÓN
		ACERO	S/.	CUANTITATIVA		DE RAZÓN
		LADRILLO	S/.	CUANTITATIVA		DE RAZÓN

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

Se utilizó un prototipo de edificio solo para explicar el sistema de aislamiento, sin considerar sótanos. Los problemas identificados por los sótanos, serán explicados directamente en el proyecto.

### **3.7. Procedimientos**

Se utilizaron los siguientes programas digitales:

- ✓ SAP2000 19 [19], para el modelamiento del edificio convencional y aislado.
- ✓ SEISMO MATCH [20], SEISMO ARTIF [21] y SEISMO SIGNAL [22]; para escalar y ajustar registros sísmicos usados en el análisis tiempo-historia.
- ✓ ETABS 2016 [23], para la creación de los diagramas de iteración de columnas y placas.
- ✓ AUTOCAD 2015, para el dibujo y diseño de la Arquitectura; así como también de la Estructura, referida al presente proyecto.
- ✓ SAFE 2016 [24], para el modelamiento y diseño de la platea y vigas de cimentación.
- ✓ CYPE 2018 [25], para el modelamiento y diseño de los muros pantallas del sótano.
- ✓ S10 Presupuestos 2005, para el análisis de costos unitarios del presupuesto de cada edificio.
- ✓ Excel 2013, para el cálculo de parámetros sísmicos con el RNE y ASCE7-10, diseño de aislamiento, metrados, estudio de Mecánica de Suelos, etc.

### **3.8. Plan de procesamiento y análisis de datos**

#### **ETAPA N°01: IDENTIFICACIÓN**

- ✓ Se determinó las propiedades geotécnicas del lugar del proyecto a través de un estudio de mecánica de suelos.
- ✓ Se elaboró e interpretó una base teórica sobre diseño de sistema de aislación de los tipos: HDR, LRB y FPS.

#### **ETAPA N°02: PROCESAMIENTO DE DATOS**

- ✓ Se modeló en software, la edificación con sistema convencional y con sistema de aislación.

- ✓ Se identificó, analizó e interpretó la comparación de: propiedades estructurales, metrados, relación de insumos y costos.
- ✓ Se obtuvieron conclusiones y recomendaciones, sustentadas en el análisis del capítulo “discusión”.

### **3.8.1. Método de Estudio de Mecánica de Suelos**

El proyecto donde se está realizando la presente tesis consta de 9 niveles más 2 sótanos y además abarca cerca de 1000 m<sup>2</sup> de área, es evidente que debido a la magnitud del proyecto este implicará un análisis minucioso y exhaustivo desde el Estudio de Mecánica de Suelos, razón por la cual se ha considerado calcular y analizar los siguientes parámetros, los cuales nos permitirán tomar decisiones respecto al tipo de cimentación a implementar, estabilización de taludes, niveles freáticos altos, entre otros tipos de inconvenientes.

#### **3.8.1.1. Cargas**

##### **A) Cargas por Edificios Colindantes**

Se calculó una carga distribuida lineal aproximada, requerida para el cálculo de:

- ✓ Estabilización de taludes.
- ✓ Diseño de Muros de sótano.

##### **B) Cargas por Suelo**

El peso específico natural del suelo, es un parámetro geotécnico calculado previamente que, junto con el espesor de cada estrato y el área del terreno de excavación, nos permite obtener el peso total que “ganamos” por la excavación del terreno.

Cuando el edificio vaya a disponer de sótanos y se vaya a cimentar por medio de una losa, es posible que el peso de las tierras excavadas sea semejante al peso total del edificio. En ese caso, la presión unitaria neta que transmitirá la losa al terreno será del mismo orden de magnitud que la presión efectiva preexistente, y los asientos serán probablemente en pequeña entidad. Esta situación particular se denomina cimentación compensada.

### **Características generales**

- ✓ Dispone de un número variable de sótanos proporcional al número de plantas a construir por encima de la superficie del terreno.
- ✓ Se usan juntas estructurales entre las diferentes zonas del edificio, haciendo que el centro de gravedad de la estructura en cada zona coincida con el centro de gravedad de las losas, de forma que se reduzca cualquier tendencia al giro.
- ✓ También se analizan los asientos inducidos sobre las construcciones colindantes.
- ✓ Su importancia radica en disminuir los asentamientos generales a valores de tolerancia en suelos blandos.
- ✓ La presencia de aguas freáticas complica y limita la construcción de este tipo de cimentaciones, también los vecinos en colindancia con las excavaciones pueden ser limitante.

### **Consideraciones para el diseño**

- ✓ Requiere una caja de concreto monolítico.
- ✓ Cuando el nivel de aguas freáticas se localiza cerca de la superficie del suelo, es necesario contar con una cimentación impermeable y tener en cuenta el fenómeno de flotación.
- ✓ El suelo debe considerarse como una fase líquida y sólida.
- ✓ Aspectos a tener en cuenta: sustitución de peso sumergido del sólido y efecto de flotación debido al líquido desalojado. Ambos efectos son utilizados para igualar el peso total del edificio.
- ✓ Se diseña como una losa de cimentación por lo que los asentamientos son controlados.

### **Tipos de compensación**

- ✓ Cimentación compensada parcial
- ✓ Cimentación compensada total
- ✓ Cimentación sobre compensada.

### **Tipo de Suelo**

- ✓ Comprensibilidad mediana y alta.
- ✓ Capacidad de carga baja.

### 3.8.1.2. Asentamientos

Para el cálculo de asentamientos inmediatos se aplicó el método elástico.

$$S_i = \frac{q \times B \times (1 - \mu^2)}{E_s} \times I_f$$

Donde:

- ✓ Si: asentamiento inmediato probable (cm)
- ✓  $\mu$ : relación de Poisson. (adm)
- ✓ Es: Módulo de Elasticidad (ton/m<sup>2</sup>)
- ✓ If: Factor de Forma (cm/m)
- ✓ q: Presión de Trabajo (ton/m<sup>2</sup>)
- ✓ B: ancho de la cimentación (m)

**Tabla I-2. Valores de Factor de Forma (If)**

Forma de la Zapata	Ubicación	Valores de If (cm/m)			
		centro	esquina	medio	C.rígida
Rectangular	L/B = 2	153	77	130	120
	L/B = 5	210	105	183	170
	L/B = 10	254	127	225	210
Cuadrada		112	56	95	82
Circular		100	64	85	82

**Tabla I-3. Valores de Módulo de Elasticidad**

Tipo de Suelo	Es (ton/m <sup>2</sup> )
Arcilla muy blanda	30-300
Arcilla blanda	200-400
Arcilla media	450-900
Arcilla dura	700-2000
Arcilla Arenosa	3000-4250
Suelos graciareos	1000-16000
Loess	1500-6000
Arena Limosa	500-2000
Arena suelta	1000-2500
Arena densa	5000-10000
Grava arenosa densa	8000-20000
Grava arenosa suelta	5000-14000
Arcilla esquistosa	14000-140000
Limos	200-2000

**Tabla I-4. Valores de Relación de Poisson**

Tipo de Suelo	$\mu$
Arcilla saturada	0.4-0.5
Arcilla bno saturada	0.1-0.3
Arcilla arenosa	0.2-0.3
Limo	0.3-0.35
Arena densa	0.2-0.4
Arena de grano grueso	0.15
Arena de grano fino	0.25
Roca	0.1-0.4
Loess	0.1-0.3
Hielo	0.36
Concreto	0.15

### 3.8.1.3. Coeficiente de Balasto

Se utilizó el Método simplificado para el cálculo del módulo de balasto de una losa de cimentación rectangular a partir del ensayo de placa de carga de 30x30cm. El módulo de balasto de la zapata rectangular (l y b en m) en función del de la losa cuadrada se define por (Terzaghi 1955):

donde  $k_s$ , cuadrada se determina en función del tipo de suelo y del ensayo de placa de carga de 30x30:

$$k_{s \text{ rectangular}} (tn/m^3) = \left(\frac{2}{3}\right) \times k_{s \text{ cuadrado}} \times \left(1 + \frac{b}{2 \times l}\right)$$

-Suelos cohesivos (arcillas):

$$k_{s \text{ cuadrado cohesivo}} (tn/m^3) = k_{30} \times \left(\frac{0.30}{b}\right)$$

-Suelos arenosos o granulares:

$$k_{s \text{ cuadrado granular}} (tn/m^3) = k_{30} \times \left(\frac{b(m) + 0.30}{2 \times b(m)}\right)^2$$

A título orientativo, damos aquí los valores estimados del módulo de balasto para Placa de Carga de 30x30 ( $k_{30}$ ) tomados del libro "Geotécnia y Cimientos III, Primera Parte" de Jiménez y Salas y otros, recordamos que lo correcto sería obtener estos datos a partir del terreno en cuestión:

**Tabla I-5. Coeficientes de Balasto referenciales (kp/cm<sup>3</sup>)**

Tipo de suelo	Coeficiente de balasto $k_{30}(\text{kp/cm}^3)$
** Suelo fangoso	0.50 - 1.50
* Arena seca o	1.20 - 3.60
* Arena seca o	3.60 - 12.00
* Arena seca o	12.00 - 24.00
* Grava fina con arena	8.00 - 10.00
* Grava media con	10.00 - 12.00
* Grava media con	12.00 - 15.00
* Grava gruesa con	15.00 - 20.00
* Grava gruesa	20.00 - 40.00
** Arcilla blanda	0.65 - 1.30
** Arcilla media	1.30 - 4.00
** Arcilla compacta	4.00 - 8.00
Arcilla margosa dura	8.00 - 21.00
Marga arenosa rígida	21.00 - 44.00
Arena de miga y tosco	22.00 - 110.00
Marga	22.00 - 2200.00

### 3.8.1.4. Evaluación de Estabilidad de Taludes

#### A) Método de Bishop

La cantidad de métodos que se utilizan, dan resultados diferentes y en ocasiones, contradictorios los cuales son una muestra de la incertidumbre que caracteriza los análisis de estabilidad. Los métodos más utilizados por los ingenieros geotécnicos de todo el mundo, son el simplificado de Bishop y los métodos precisos de Morgenstern y Price y Spencer. Cada método da valores diferentes en el factor de seguridad.

#### B) El factor de Seguridad

El Factor de Seguridad es empleado por los Ingenieros para conocer cuál es el factor de amenaza de que el talud falle en las peores condiciones de comportamiento para el cual se diseña. Fellenius (1927) presentó el factor de seguridad como la relación entre la resistencia al corte real, calculada del material en el talud y los esfuerzos de corte críticos que tratan de producir la falla, a lo largo de una superficie supuesta de posible falla:

$$F.S. = \frac{\text{Resistencia al corte}}{\text{Esfuerzo al cortante}}$$

En superficies circulares donde existe un centro de giro y momentos resistentes y actuantes:

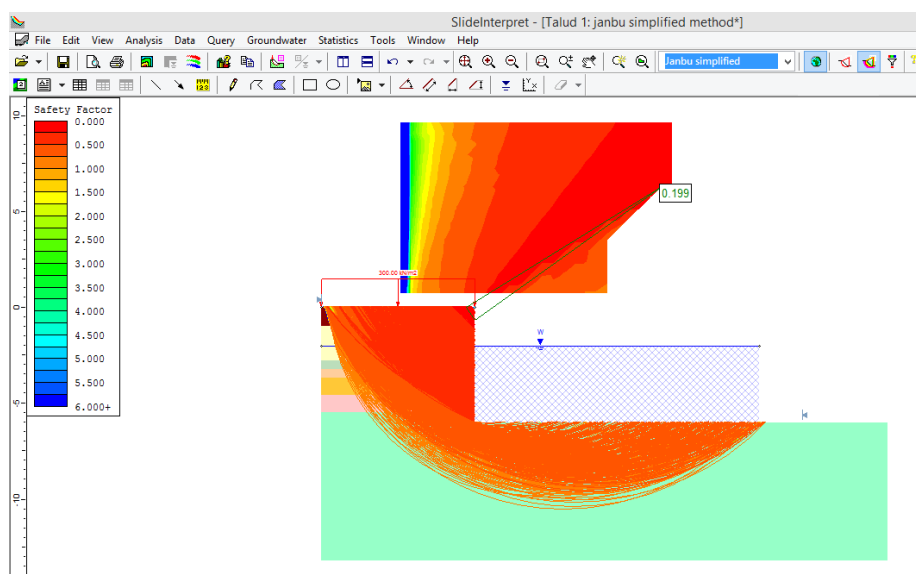
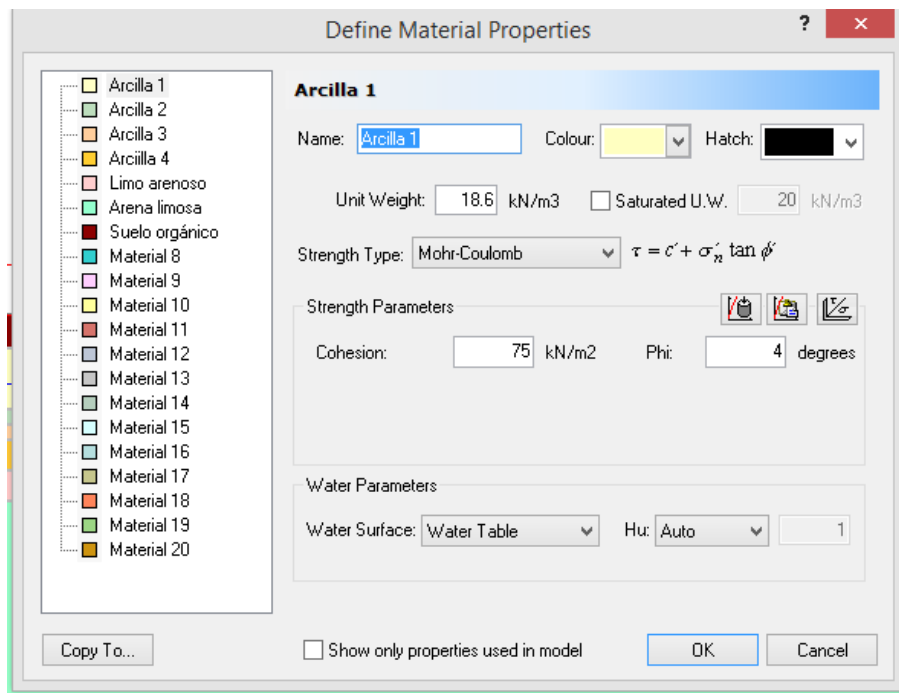
$$F.S. = \frac{\text{Momento resistente}}{\text{Momento actuante}}$$

#### C) Modelamiento en software Slide 6.0

Slide, programa de Canadá para estabilizar talúdes.

- ✓ Definir los límites de las coordenadas máximas y mínimas.
- ✓ Dibujar talud. Ingresar las coordenadas de cada punto. Anticlick >> coordinate Table
- ✓ Para ingresar más capas del suelo, nos ubicamos en Boundaries >> Add Material Boundary.
- ✓ Ingresar en la esquina inferior derecha, cada una de las coordenadas del estrato.
- ✓ Asignar Materiales a cada estrato del suelo. Anticlick en el estrato >> Assign Material

- ✓ Ingresar nivel freático. Boundaries >> Add Water Table >> Ingresar cada una de las coordenadas.
- ✓ Definir Materiales de cada estrato. Properties >> Define Materials >> Nombrar, ingresar cohesión, ángulo de fricción, peso específico.
- ✓ Calculo del centro, es necesario el trazado de la malla. Surfaces >> Auto Grid >> Ingresar número de centros (dudas).
- ✓ Correr el programa, click en el botón compute
- ✓ Visualización el FS. Click en el botón al costo del botón compute.



## D) Análisis

Según la tabla presentada a continuación, el FS de seguridad obtenido por el método de Bishop a través del programa Slide 6.0, nos daría la indicación de que el talud es muy inestable al haber obtenido el valor 0.2, que es bastante lejano al valor mínimo para considerarse estable 2.0. Sobre el método a aplicar aún se encuentra en evaluación; pero probablemente se implementaría el sistema de muros pantallas anclados a los grandes estratos arcillosos encontrados según el Estudio de Mecánica de Suelos realizado en el área de estudio.

<b>Factor de Seguridad</b>		<b>Nivel o grado De Estabilidad</b>
<b>Estático</b>	<b>Seudoestático</b>	
1.0 a 1.2	menor a 1.0	Inestable
1.2 a 2.0	1.0 a 1.2	Estable
mayor a 2.0	Mayor a 1.2	Muy estable

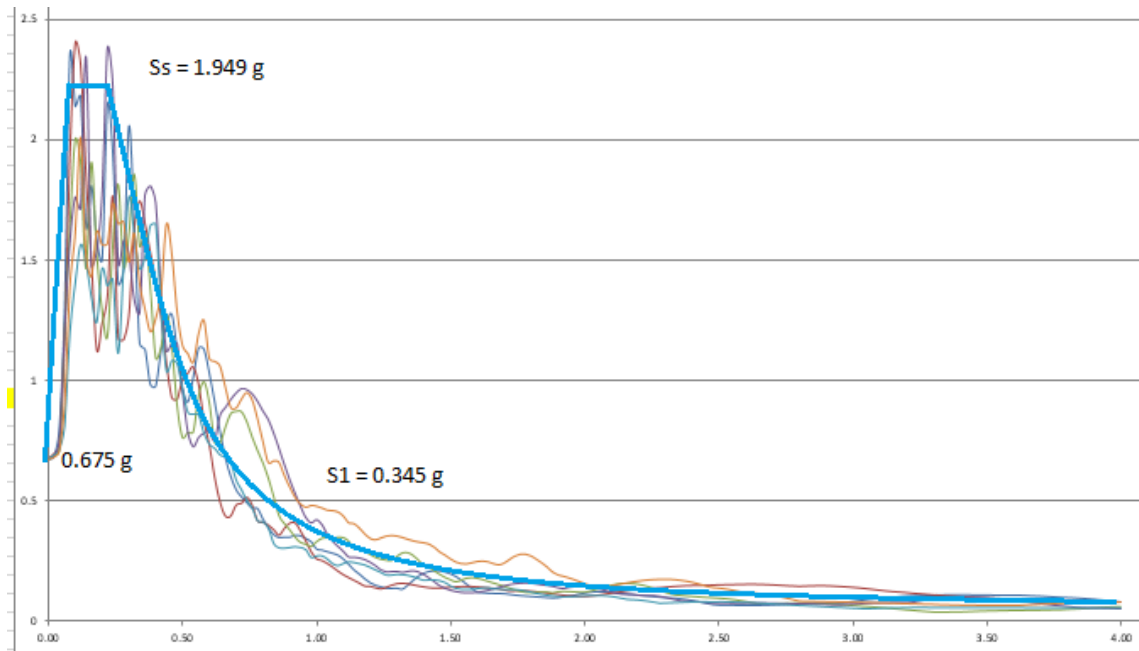
*Ilustración I-1. Factor de Seguridad en Estabilidad de Taludes.*

### 3.8.2. Método para el cálculo de parámetros de pseudo aceleración

#### 3.8.2.1. Cálculo de parámetros de pseudo aceleración $S_s$ y $S_1$

**Método 1.** DISEPRO: Ingenieros Estructurales [26] utiliza la siguiente metodología: usar promedio de los espectros normalizados de pseudo aceleración de los registros sísmicos más fuertes en la historia de Perú, los mismos que se utilizaron para la elaboración de la norma E030. Los espectros son normalizados a la aceleración pico base  $PGA_{MCE}$  en la ciudad de Chiclayo; sin embargo, al no contar con un estudio de microzonificación, se consideró utilizar el factor  $PGA_{DBE}$  especificado en el RNE; es decir, 0.45g; multiplicarlo por 1.5 según especifica la norma ASCE 7-10, para obtener el  $PGA_{MCE}$ , obteniendo 0.65g.

*Gráfica I-1. Espectro promedio de los espectros normalizados de los sismos más fuertes en la historia del Perú*



$S_s$	<b>1.949</b>	(g)
$S_1$	<b>0.345</b>	(g)

Si  $S_1$  es mayor a 0.6, se requerirá un análisis de peligro de movimiento terrestre. (11.4.7)

Análisis de peligro	No requiere
---------------------	-------------

<b>Coefficiente de Sitio, <math>F_a</math></b>	<b>0.90</b>
--	-------------

**Tabla 11.4-1 Coeficiente de Sitio, Fa**

Clase de Suelo	Parámetro de aceleración de respuesta espectral mapeada de riesgo específico del MCER, para periodo corto				
	Ss<=0.25	Ss=0.5	Ss=0.5	Ss=1.1	Ss>=1.25
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1	1	1	1	1
C	1.2	1.2	1.1	1	1
D	1.6	1.4	1.2	1.1	1
E	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9
F	Ver Sección 11.4.7				

Nota: Usa interpolación de línea recta para valores intermedios de Ss

**Coeficiente de Sitio, Fv**

**2.61**

**Tabla 11.4-2 Coeficiente de Sitio, Fv**

Clase de Suelo	Parámetro de aceleración de respuesta espectral mapeada de riesgo específico del MCER, para periodos 1 seg				
	S1<=0.1	S1=0.2	S1=0.3	S1=0.4	S1>=0.5
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1	1	1	1	1
C	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
D	2.4	2	1.8	1.6	1.5
E	3.5	3.2	2.8	2.4	2.4
F	Ver Sección 11.4.7				

Nota: Usa interpolación de línea recta para valores intermedios de S1

**Parámetros - periodos cortos**

**Parámetros - periodo 1 segundo**

Fa 0.90

adim

Fv 2.61

adim

$$S_{MS} = Fa \times S_S$$

$$S_{M1} = Fv \times S_1$$

SMS 1.75

(g)

SM1 0.90

(g)

$$S_{DS} = \frac{2}{3} \times S_{MS}$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} \times S_{M1}$$

SDS 1.17

(g)

SD1 0.60

(g)

**Método 2.** Korswagen *et al* [14] indican que los parámetros de pseudo aceleración SD1 y SM1, se pueden calcular a partir de los factores ZUCS; es decir:

“Se calculan a partir de los factores de zona sísmica (Z), tipo de suelo (S), importancia (U) y el de amplificación sísmica (C)” [14, p. 43]:

$$SD1_{(DBE)} = Z_{DBE} UCS \qquad SM1_{(MCE)} = Z_{MCE} UCS$$

Además, mencionan que “en el caso de las estructuras aisladas, el factor de uso será 1.0, dado que al dimensionar los aisladores no se utiliza un factor de reducción R. Para el análisis de la superestructura sí se deberá utilizar las combinaciones de R y U adecuadas. Si se desea considerar la importancia de la estructura deberá modificarse la aceleración espectral de acuerdo con el tiempo de exposición y con el periodo de retorno del evento considerado. El coeficiente de amplificación sísmica deberá ser también igual a 1.0, debido que para los periodos propios de la aislación no existe amplificación de la aceleración máxima” [14, p. 43].

Basado en la metodología de cálculo utilizada en la anterior investigación citada, se calcularon los mencionados parámetros para la presente tesis:

FI	<b>1.00</b>	SD1	0.50
Z	<b>0.45</b>	SM1	0.74
U	<b>1.00</b>		
C	<b>1.00</b>		
S	<b>1.10</b>		
R	<b>1.00</b>		

**Método 3.** Los parámetros de pseudo aceleración SD1, SDS, se pueden calcular a partir de los registros sísmicos en suelo y zona similar a la del proyecto, amplificadas por el PGA correspondiente, en este caso 1.5 x 0.45 g. Asimismo, por ser estos registros con un suelo y zona similar al proyecto, ya no se deben afectar por los coeficientes de sitio; es decir, los factores Fa y Fv deben ser iguales a 1. De todos los registros sísmicos se genera su respectivo espectro de pseudo aceleración y se toma los valores mayores.

Ss	1.95	m/s <sup>2</sup>
S1	0.68	m/s <sup>2</sup>

*De la envolvente de registros sísmicos*  
*De la envolvente de registros sísmicos*

Coficiente de Sitio, Fa

1 ( Ingresar )

Coficiente de Sitio, Fv

1 ( Ingresar )

Parámetros - periodos cortos

Parámetros - periodo 1 segundo

Fa 1.000 adim

Fv 1.000 adim

$$S_{MS} = Fa \times S_s$$

$$S_{M1} = Fv \times S_1$$

SMS 1.950 m/s<sup>2</sup>

SM1 0.675 m/s<sup>2</sup>

$$S_{DS} = \frac{2}{3} \times S_{MS}$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} \times S_{M1}$$

SDS 1.300 m/s<sup>2</sup>

SD1 0.450 m/s<sup>2</sup>

Resumen de los tres métodos

Método	SDs	SMs	SD1	SM1
	(g)	(g)	(g)	(g)
1	1.50	2.25	0.64	0.96
2			0.50	0.74
3	1.30	1.95	0.45	0.68
Promedio	1.40	2.10	0.53	0.79

Cálculo de parámetros sísmicos

Categoría de riesgo

III

Factor de Importancia

1

Clase de sitio

SE

Aceleración máxima del terreno

PGA (DBE)

0.45 ( Ingresar )

PGA (MCE)

0.68 ( Ingresar )

**Categoría de Diseño Sísmico** D  
(más severa)

**Categoría de Diseño Sísmico** D  
(periodo corto)

Categoría de Riesgo	III
SDS	1.17 m/s <sup>2</sup>

**Tabla 11.6-1 Categoría de diseño sísmico basado en parámetro de aceleración de respuesta para periodo corto**

Valores de SDS	Categoría de Riesgo	
	I, II o III	IV
$SDS < 0.167$	A	A
$0.167 \leq SDS < 0.33$	B	C
$0.33 \leq SDS < 0.5$	C	D
$0.50 \leq SDS$	D	D

**Categoría de Diseño Sísmico** D  
(periodo 1 seg)

Categoría de Riesgo	III
SD1	0.60 g

**Tabla 11.6-2 Categoría de diseño sísmico basado en parámetro de aceleración de respuesta para periodo de 1 seg.**

Valores de SDS	Categoría de Riesgo	
	I, II o III	IV
$SD1 < 0.067$	A	A
$0.067 \leq SD1 < 0.133$	B	C
$0.133 \leq SD1 < 0.20$	C	D
$0.20 \leq SD1$	D	D

**Categoría de Diseño Sísmico** Ver arriba

S1	0.35 g
----	--------

Valores de SDS	Categoría de Riesgo	
	I, II o III	IV
$S1 > 0.75$	E	
$S1 > 0.75$		F

### 3.8.2.2. Tipo de Análisis Sísmico

#### Procedimiento por fuerza lateral equivalente

**No cumple**

1. La estructura se encuentra en un sitio con S1, menor o igual a 0.60 g.	No cumple
2. La estructura se encuentra en una clase de sitio A, B, C, o D.	Cumple
3. La estructura por encima de la interfaz de aislamiento es menor o igual a 4 pisos o 65 pies (19,8 m) en altura.	No cumple
4. El periodo efectivo de la estructura aislada en desplazamiento máximo, $T_M$ , es inferior o igual a 3.0 seg.	Cumple
5. El periodo efectivo de la estructura aislada en el desplazamiento de diseño, $T_D$ , es mayor que tres veces la elástica, período de base fija de la estructura por encima del sistema de aislamiento determinado por la ecuación. 12.8-7 y 12.8-8.	Cumple
6. La estructura por encima del sistema de aislamiento es de configuración regular.	Cumple
7. El sistema de aislamiento cumple con todos los criterios siguientes:	Cumple
a. La rigidez efectiva del sistema de aislamiento en el desplazamiento de diseño es mayor que un tercio de la rigidez efectiva en 20% del desplazamiento de diseño.	Cumple
b. El sistema de aislamiento es capaz de producir una fuerza de recuperación como se especifica en Sección 17.2.4.4 del ASCE 7-10.	Cumple
c. El sistema de aislamiento no limita el desplazamiento por sismo máximo considerado a menos que el desplazamiento total máximo.	Cumple

#### Procedimientos dinámicos

#### Procedimiento por respuesta espectral

**No cumple**

1. La estructura se encuentra en una clase de sitio A, B, C, o D.	No Cumple
2. El sistema de aislamiento cumple con los criterios del Punto 7 de la Sección 9.13.2.5.2.	Cumple

#### Procedimiento por tiempo-historia

**Cumple**

El Reglamento Nacional de Edificaciones [2, p. 25] en el artículo “Registros de aceleración” menciona que “para cada par de componentes horizontales de movimiento del suelo, se construirá un espectro de pseudo aceleraciones tomando la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados (SRSS) de los valores espectrales calculados para cada componente por separado, con 5% de amortiguamiento. Ambas componentes se escalarán por un mismo factor, de modo que en el rango de periodos altos entre 0.2 T y 1.5 T (siendo T el periodo fundamental), el promedio de los valores espectrales SRSS obtenidos para

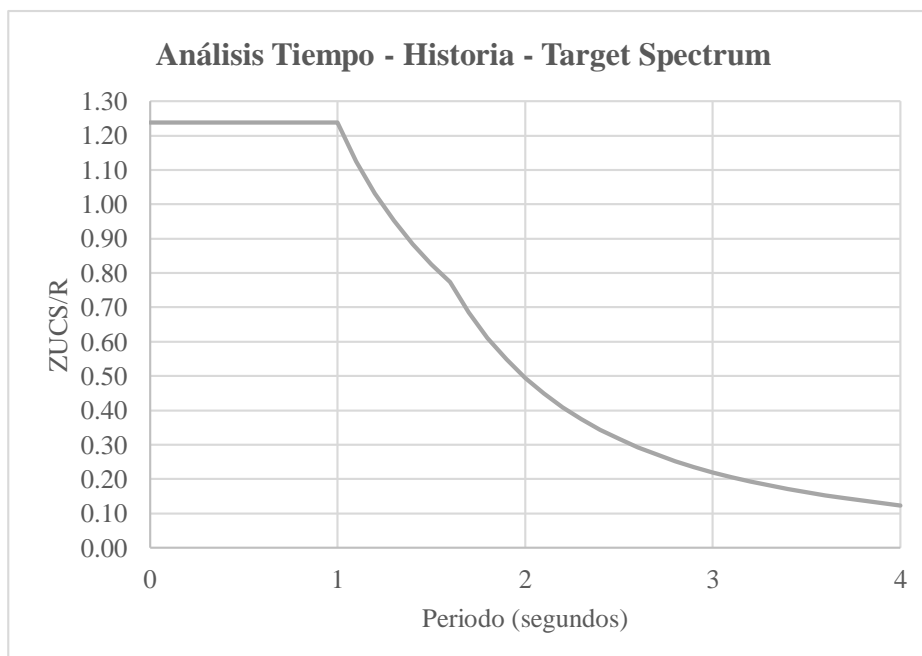
los distintos juegos de registros no sea menor que la ordenada correspondiente del espectro de diseño calculada según el numeral 4.6.2 con R=1. Para la generación de registros simulados deberán considerarse los valores de C, definidos en el numeral 2.5, excepto para la zona de periodos muy cortos ( $T < 0.2 T_P$ )”

$$\begin{array}{lll}
 T < T_P, & C = 2.5 & T < 0.2 T_P, \\
 T_P < T < T_L, & C = 2.5 \left( \frac{T_P}{T} \right) & C = 1 + 7.5 \left( \frac{T}{T_P} \right) \\
 T_L < T & C = 2.5 \left( \frac{T_P \cdot T_L}{T^2} \right) & 
 \end{array}$$

Por otro lado, la norma ASCE 7-10 [18, p. 169] en su artículo 17.3.2.2 “Movimientos terrestres de historias” indica que “cuando se utilicen procedimientos de respuesta de historia, los movimientos de tierra estarán constituidos por pares de componentes de aceleración horizontal de movimiento de tierra, descritos en la Sección 16.1.3.2, excepto que  $0.2T$  y  $1.5T$  se sustituirán por  $0.5TD$  y  $1.25TM$ , respectivamente, donde TD y TM se definen en la Sección 17.5.3”.

<b>TD</b>	2.4
<b>TM</b>	2.6

<b>0.5 TD</b>	1.2
<b>1.25 TM</b>	3.25



### 3.8.3. Métodos para el diseño de aisladores sísmicos

Basado en Kelly [6], ASCE 7-10 [18] y NCh 2745 [4], a continuación se presenta una guía para el diseño de los sistemas de aislación sísmica. Este documento comprende las consideraciones preliminares para diseñar un sistema de aislación en general y los pasos detallados según tres tipos de aislado, estos son: alto amortiguamiento (HDR), núcleo de plomo (LRB) y péndulo simple (FPS).

#### Pasos preliminares

1. Determinar ubicación y número de aisladores requeridos.
2. Calcular el peso total de la superestructura de acuerdo al RNE.
3. Calcular la carga axial máxima y mínima en cada aislador.
4. Pre dimensionar el área del aislador.
5. Determinar las propiedades geométricas y dinámicas según catálogo del fabricante.
6. Iniciar el proceso de diseño según el tipo de aislador.

#### 3.8.3.1. Guía de diseño de aislador elastomérico de alto amortiguamiento (HDR)

*Tabla I-6. Guía Resumen para el diseño de Aisladores Elastoméricos HDR.*

Guía para el Diseño de Aislador de Alto Amortiguamiento HDR		
Paso	Descripción	Ecuación
1	Fijar periodo objetivo	$T_D$
2	Rigidez efectiva preliminar	$K_H = M\omega^2$
3	Amortiguamiento efectivo y coeficiente preliminar	$\beta d, B_D$
4	Desplazamiento de diseño preliminar	$D_D = \frac{gS_{D1}T_D}{4\pi^2 B_D}$
5	Espesor total del caucho	$T_r$
6	Desplazamiento de fluencia*	$D_y = < 0.05T_r, 0.1T_r >$
7	Área total preliminar	$A_{total\ pre} = \frac{Kh.T_r}{G}$
8	Área total final	$A_{unidad} = \pi \left[ \frac{D_e^2}{4} - \frac{D_i^2}{4} \right]$ $A_{total\ final} = N \times A_{unidad}$

9	Rigidez efectiva total	$K_{eff\ total} = \frac{A_{total\ final}\ G}{Tr}$
10	Rigidez efectiva unidad	$K_{eff\ total} = N \times K_{eff\ unidad}$
11	Fuerza característica total para deformación cero	$Q = \frac{\pi \beta_{eff} K_{eff\ total} D^2}{2(D - Dy)}$
12	Rigidez postfluencia total	$Q = \frac{\pi \beta_{eff} K_p D^2}{(2 - \pi \beta_{eff})D - 2Dy}$
13	Desplazamiento de fluencia total	$F_y = Q + K_p Dy$
14	Rigidez elástica total	$K_e = \frac{F_y}{D_y}$
15	Ratio de rigidez post fluencia y elástica kp/ke	$r = \frac{K_p}{K_e}$
16	Periodo real del sistema	$T_D = 2\pi \sqrt{\frac{W}{K_{eff} g}}$
17	Energía disipada	$ED = 2\pi K_{eff} D^2 \beta_{eff}$
18	Amortiguamiento efectivo	$\beta_{eff} = \frac{E_D}{2\pi K_{eff} D^2}$
19	Desplazamiento de diseño corregido	$D_D = \frac{g S_{D1} T_D}{4\pi^2 B_D}$
20	Energía disipada final	$ED = 2\pi K_{eff} D^2 \beta_{eff}$
21	Espesor y número de capas de caucho. Verificación de la suma de cada capa sea igual a Tr.	$\sum_{i=1}^n tr_i = Tr \quad n = \frac{Tr}{tr}$
22	Valor del factor de forma , S	$S = \frac{De - Di}{4 tr}$
23	Espesor unidad de capas de acero*	$\sigma_s = \frac{1.5 tr \sigma_{ac}}{t_s}$ $\sigma_{adm} = 0.75 \sigma_y$ $\sigma_s < \sigma_{adm}$
24	Número de capas de acero	$n_{acero} = n_{caucho} - 1$
25	Espesor total de capas de acero	$T_s = n_{acero} \times t_s$
26	Altura total de aislador	$H = T_r + T_s + 2 \times t_{sp}$
27	Módulo de compresión	$E_c = \frac{6GS^2K}{8GS^2 + K}$
28	Rigidez vertical	$K_v = \frac{E_c A}{Tr}$

29	Frecuencia vertical, $f_d^*$	$f_v = \sqrt{6} S$
30	Amortiguamiento efectivo total*	$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad C = \frac{ED^T}{\pi Dd^2 \omega}$
31	Diagrama de histéresis del sistema de aislación	
	<b>Factor de seguridad a la deformación angular máxima</b>	
32	Deformación angular a la compresión	$e_c = \frac{P_{max}/A}{E_o (1 + 2ks^2)}$ $\gamma_c = 6S\varepsilon_c$
33	Deformación angular al corte	$\gamma_s = \frac{D}{T_r} \quad \gamma_s < 250\%$
34	Deformación angular máxima	$\gamma_{total} = \gamma_c + \gamma_s$
35	Factor de seguridad	$FS = 0.85 \varepsilon_b / \gamma_{total}$ $FS > 1.5$
	<b>Factor de Seguridad a la estabilidad o pandeo</b>	
36	Área de corte efectiva	$A_s = A \frac{T_r + T_s}{T_r}$
37	Rigidez de corte efectiva	$P_s = (GA)_{eff} = GA_s$
38	Momento de inercia	$I = \frac{\pi}{4} \left[ \left( \frac{D_e}{2} \right)^4 - \left( \frac{D_i}{2} \right)^4 \right]$
39	Producto de módulo de elasticidad por inercia, efectivo.	$(EI)_{eff} = \frac{1}{3} E_c I$
40	Carga de alabeo	$P_E = \frac{\pi^2 (EI)_{eff}}{h^2}$
41	Carga crítica	$P_{crit} = \frac{P_s}{2} \left( \sqrt{1 + 4 \frac{P_E}{P_s}} - 1 \right)$
42	Factor de seguridad	$FS = \frac{P_{crit}}{P_{máx}} \quad FS > 2$
	<b>Factor de seguridad al volcamiento</b>	
43	Diámetro máximo	$D_{Max} = \frac{P_{Min} \emptyset}{P_{Min} + K_H H}$
44	Factor de seguridad	$FS = \frac{D_{máx}}{D_D} \quad FS > 1$

### 3.8.3.2. Guía de diseño de aislador elastomérico con núcleo de plomo (LRB)

Tabla I-7. Guía Resumen para el diseño de aisladores elastoméricos con núcleo de plomo LRB

Guía para el diseño de aislador elastomérico con núcleo de plomo LRB		
Paso	Descripción	Ecuación
1	Fijar periodo objetivo	$T_D$
2	Rigidez efectiva preliminar	$K_H = M\omega^2$
3	Amortiguamiento efectivo preliminar	$B_D$
4	Desplazamiento de diseño preliminar	$D_D = \frac{gS_{D1}T_D}{4\pi^2B_D}$
5	Energía disipada preliminar	$ED = 2\pi K_{eff}D^2\beta_{eff}$
6	Fuerza característica preliminar	$ED = 4Q(D - Dy) \quad Dy = 0$
7	Cálculo de la rigidez postfluencia	$K_p = K_{eff} - \frac{Q}{D}$
8	Desplazamiento de fluencia preliminar	$J = (5.5 \text{ a } 9)K_p \quad Dy = \frac{Q}{J}$
9	Fuerza característica preliminar corregida	$Q = \frac{E_D}{4(D - Dy)}$
10	Área de plomo total	$A_P = \frac{Q}{\tau_y}$
11	Área de plomo unidad y verificado	$d_p = \% D_e$ $A_{P \text{ unidad}} = \pi x \frac{d_p^2}{4}$
12	Cantidad de aisladores LRB requeridos	$N_{calculado} = \frac{A_{P \text{ total}}}{A_{P \text{ unidad}}}$
13	Fuerza característica Q	$Q = \tau_y x A_{P \text{ total}}$
14	Nueva rigidez postfluencia total	$K_{p \text{ total}} = K_{eff} - \frac{Q}{D}$
15	Nueva rigidez postfluencia por aislador	$K_{p \text{ x unidad}} = \frac{K_{p \text{ total}}}{N}$
16	Espesor total del caucho	$T_r$
17	Espesor de capas de caucho	$t_r = \frac{D^2 - dp^2}{S(4D)}$

18	Número de capas de caucho	$n = \frac{Tr}{tr}$
19	Factor de forma	$S = \frac{D^2 - dp^2}{t_r(4D)}$ $S > 10, OK, Aumentar tr$
20	Espesor de capas de acero	$\sigma_s = \frac{1.5 t_r \sigma_{ac}}{t_s}$ $\sigma_{adm} = 0.75 \sigma_y$ $\sigma_s < \sigma_{adm} \gg OK$
21	Número de capas de acero	$n_{acero} = n_{caucho} - 1$
22	Espesor total de capas de acero	$T_s = n_{acero} \times t_s$
23	Altura total de aislador	$H = T_r + T_s + t_{sp}$
24	Área total	$A_{total} = \frac{kp \cdot Tr}{G}$
25	Área unidad	$A_{unidad} = \frac{A_{total}}{N}$
26	Geometría final de aislador	$A = \pi \left[ \frac{D_e^2}{4} - \frac{D_p^2}{4} \right]$
27	Rigidez postfluencia unidad	$kp = 1.15 \times \frac{A \cdot G}{Tr}$
28	Rigidez postfluencia total	$kp_{total} = N \times kp_{unidad}$
29	Fuerza característica Q	$Q = \tau_y \times A_{p\ total}$
30	Módulo de compresión	$E_c = \frac{6GS^2K}{8GS^2 + K}$
31	Rigidez vertical	$K_v = \frac{E_c A}{Tr} + \frac{E_t A_p}{Tr + T_s}$
32	Frecuencia vertical	$fv = \sqrt{6} S f d$
33	Periodo efectivo	$T_D = 2\pi \sqrt{\frac{W}{K_{Dmin}.g}}$
34	Rigidez efectiva	$K_{eff} = K_p + \frac{Q}{D}$
35	Desplazamiento de fluencia preliminar	$J = (5.5 \text{ a } 9)K_p \quad D_y = \frac{Q}{J}$
36	Energía del sistema	$E_D = 4Q(D - D_y)$

37	Amortiguamiento efectivo	$\beta_{eff} = \frac{E_D}{2\pi K_{eff} D^2}$
	<b>Iterar desde el paso 33 al 37</b>	
38	Desplazamiento de diseño corregido	$D_D = \frac{g S_{D1} T_D}{4\pi^2 B_D}$
39	Desplazamiento total de diseño	$D_{TD} = D_D \left( 1 + y \frac{12e}{b^2 + d^2} \right)$
40	Fuerza de fluencia	$F_y = Q + K_p D_y$
41	Rigidez elástica	$K_e = F_y / D_y$
42	Ratio de ke/kp	$ratio = \frac{K_p}{K_e}$
43	Energía disipada por el caucho	$ED = 2\pi K_{eff} D^2 \beta_{eff}$
44	Energía disipada total	$ED^T = ED^{goma} + 4 Q_L D$
45	Amortiguamiento efectivo total	$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad C = \frac{ED^T}{\pi D d^2 \omega}$
46	Diagrama de histéresis del sistema de aislación	
	<b>Factor de seguridad a la deformación angular máxima</b>	
47	Deformación	$e_c = \frac{P_{max}/A}{E_o (1 + 2ks^2)}$
48	Deformación angular a la compresión	$\gamma_c = 6S\varepsilon_c$
49	Deformación angular al corte	$\gamma_s = \frac{D}{T_r}$
50	Deformación angular máxima	$\gamma_{total} = \gamma_c + \gamma_s$
51	Factor de seguridad	$FS = 0.85 \varepsilon_b / \gamma_{total}$
	<b>Factor de Seguridad a la estabilidad o pandeo</b>	
52	Área de corte efectiva	$A_s = A \frac{T_r + T_s}{T_r}$
53	Rigidez de corte efectiva	$P_s = (GA)_{eff} = GA_s$
54	Momento de inercia	$I = \frac{\pi}{4} \left[ \left( \frac{D_e}{2} \right)^4 - \left( \frac{D_i}{2} \right)^4 \right]$

55	Producto de módulo de elasticidad por inercia, efectivo.	$(EI)_{eff} = \frac{1}{3} E_c I$
56	Carga de alabeo	$P_E = \frac{\pi^2 (EI)_{eff}}{h^2}$
57	Carga crítica	$P_{crít} = \frac{P_s}{2} \left( \sqrt{1 + 4 \frac{P_E}{P_s}} - 1 \right)$
58	Factor de seguridad	$FS = \frac{P_{crít}}{P_{máx}} \gg FS \approx 2$
	<b>Factor de seguridad al volcamiento</b>	
59	Diámetro máximo	$D_{Max} = \frac{P_{Min} \phi}{P_{Min} + K_H H}$
60	Factor de seguridad	$FS = \frac{D_{máx}}{D_D}$

### 3.8.3.3. Guía de diseño de aislador de péndulo friccional (FPS)

Adicionalmente a los pasos preliminares generales mencionados anteriormente, se deberán realizar los siguientes pasos:

1. Determinar carga máxima y mínima del aislador a utilizar, dato del fabricante
2. Calcular el rango de intervalo de aisladores a usar y utilizar un número en ese rango.
3. Fijar periodo fundamental sin aislación.
4. Fijar periodo objetivo
5. Determinar factor de seguridad.
6. Coeficiente de fricción, dato del fabricante. Ensayo a baja frecuencia, el cf es bajo.
7. Determinar la resistencia a teflón a tensión, dato del fabricante.
8. Determinar el coeficiente de amortiguación, dato inicial; pero se debe recalcular. Por dato teórico, un amortiguamiento de 20% para aisladores FPS, está ok.
9. Determinar la densidad del material, dato del fabricante.
10. Cálculo de la rigidez lateral de cada aislador, rigidez inicial.
11. Cálculo del factor de amortiguamiento.
12. Determinar parámetros de aceleración espectral SM1 y Sd1.

**Tabla I-8. Guía Resumen para el diseño de aisladores de fricción simple FPS**

<b>Guía para el diseño de aislador de péndulo simple FPS</b>		
<b>Propiedades Bilineales</b>		
Paso	Descripción	Ecuación
1	Rigidez lateral de cada aislador	$K_i = \frac{P_{\text{máx adm}}}{g} \left( \frac{2\pi}{T_D} \right)^2$
2	Amortiguamiento preliminar y coeficiente.	$\beta_d, \beta_m \quad B_D, B_M$
3	Desplazamiento de diseño preliminar (Dd)	$D_D = \frac{g S_{D1} T_D}{4\pi^2 B_D}$
4	Radio de curvatura	$R = \frac{g T^2}{4\pi^2}$

5	Amortiguamiento efectivo	$\beta_{eff} = \frac{2}{\pi} \times \frac{\mu}{\frac{D_D}{R} + \mu}$
6	Coeficiente de amortiguamiento	$B_D, B_M$
7	Desplazamiento de diseño	$D_D = \frac{gS_{D1}T_D}{4\pi^2 B_D}$
8	Rigidez efectiva del sistema	$K_{eff\ total} = \frac{\mu \times W}{D_D} + \frac{W}{R}$
9	Rigidez vertical del sistema	$K_{v\ total} =$
10	Rigidez post fluencia	$K_2 = \frac{W}{R} = K_{eff} - \frac{\mu \times W}{D_D}$
11	Rigidez inicial-elástica	$K_1 = \frac{\mu \times W}{D_y}$
12	Fuerza de activación del sistema	$F_y = \mu W$
<b>Detalles FPS</b>		
1	Área de contacto	$A_s = \frac{P_{Max}}{\rho}$
2	Diámetro de contacto	$D_s = 2 \sqrt{\frac{A_s}{\pi}}$
3	Desplazamiento máximo	$D_M = \frac{gS_{M1}T_M}{4\pi^2 B_M}$
4	Desplazamiento máximo total	$D_{MT} = 1.1D_M$
5	Dimensión máxima	$D_2 = D_{MT} + D_s$
6	Carga transmitida a la placa	$F_t = \rho A_s$
7	Espesor de capa inferior	$h = \frac{\sqrt{\frac{\rho \times A_s}{\rho_b}} - D_s}{2}$
8	Área proyectada de contacto	$A_c = \frac{\pi}{4} (D_s + 2h)^2$
9	Fuerza resistida por la placa	$F_p = \rho_b A_c$
10	Altura de la placa de contacto con el deslizador articulado	$H_1 = h + (R - \sqrt{R^2 - (0.5 \times D_2)^2})$

11	Altura de placa que contiene el deslizador	$H_2 = 0.70 \times H_1$
12	Altura libre entre placas	$H_3 = R - \sqrt{R^2 - (0.5 \times D_2)^2}$
13	Altura de anclaje	$H_4$
14	Altura Total	$H_T = H_1 + H_2 + H_3 + H_4$
15	Cálculo de la dimensión total	$D_T = D_2 + 2_{ext}$

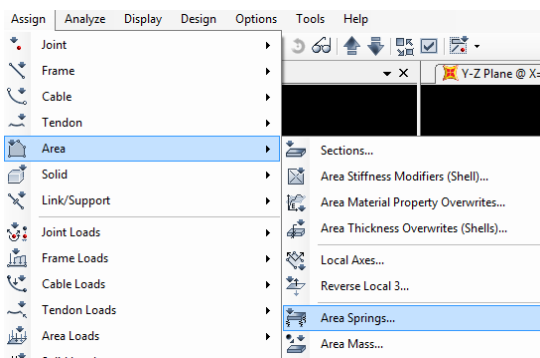
### 3.8.4. Método de modelamiento en software

#### 3.8.4.1. Método de modelamiento de edificación

A continuación se presentan los pasos para modelar la estructura en estudio, en el software SAP2000 [19].

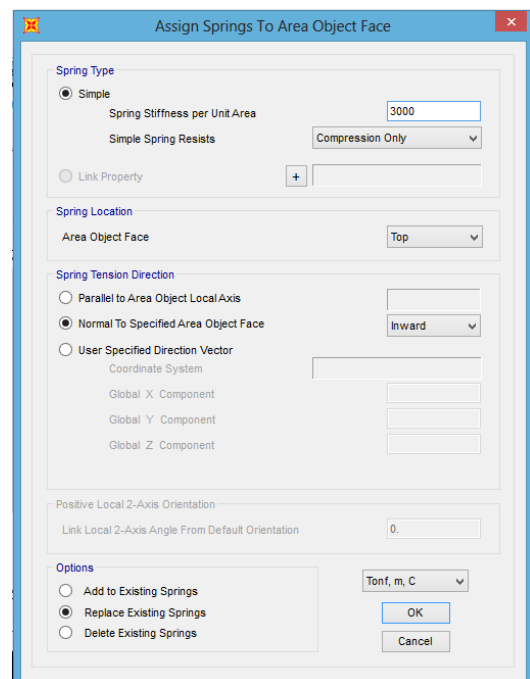
1. Definir unidades del proyecto.
2. Definir ubicación de los ejes de muros sótano, columnas, vigas principales y secundarias.
3. Definir las propiedades del concreto como: la resistencia a la compresión de diseño, módulo de elasticidad, módulo de Poisson; para cada uno de los elementos estructurales del proyecto.
4. Definir las secciones de los elementos estructurales, asignándole el material correspondiente.
5. Dibujar las secciones según el pórtico o eje correspondiente.
6. Modelar la cimentación utilizando un método de interacción suelo estructura.

*Ilustración I-2. Modelamiento de edificación – Opción balasto en área*



Seleccionar la platea de cimentación e ir a opción “asignar área de resortes”.

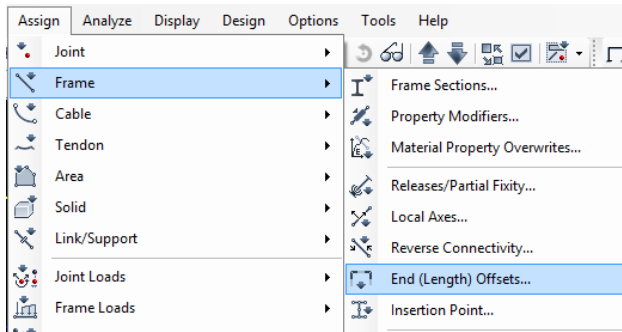
*Ilustración I-3. Modelamiento de edificación – Asignar balasto*



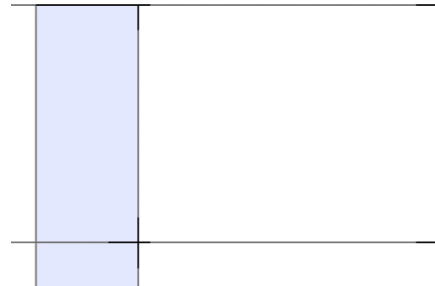
Asignar balasto K30.

7. Asignar brazo rígido a la unión viga-columna y luego a la unión viga-placa. Usar opción “automático por conectividad” y “usuario define longitudes”. Para las placas una opción de modelamiento es atravesar la viga a lo largo de placa y asignarle a esta, la opción de “end offsets”. Otros optan por dibujar la viga hasta el extremo inicial de la placa.

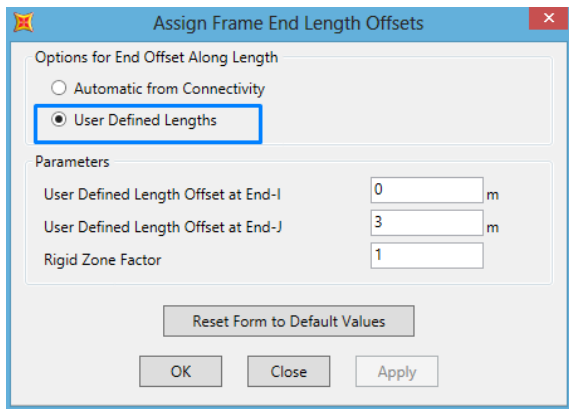
**Ilustración I-4. Modelamiento de edificación – Opción brazo rígido.**



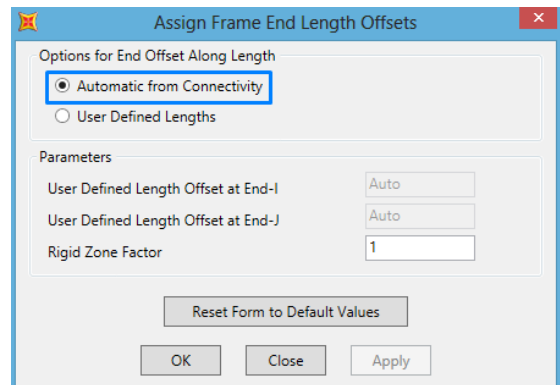
**Ilustración I-5. Modelamiento de edificación – Asignación de brazo rígido.**



**Ilustración I-6. Modelamiento de edificación – Asignación de brazo rígido en placas**

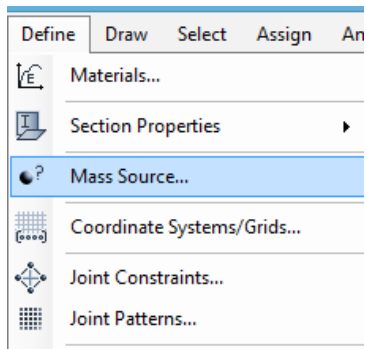


**Ilustración I-7. Modelamiento de edificación – Asignación de brazo rígido en**

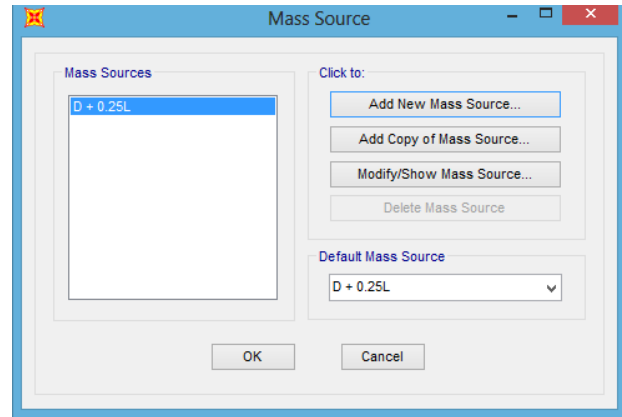


8. Definir fuente de masa.

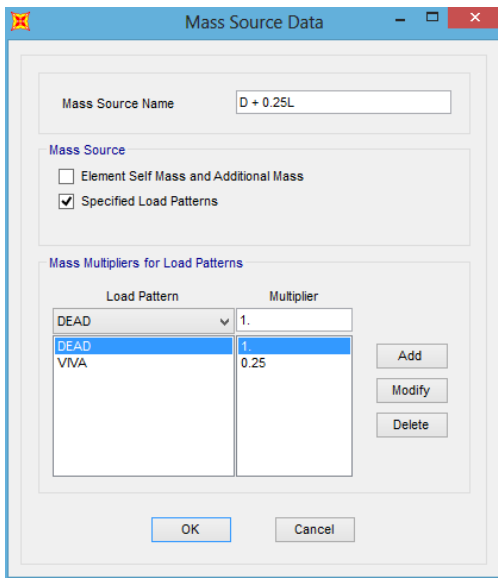
*Ilustración I-8. Modelamiento de edificación – Opción de fuente de masa*



*Ilustración I-9. Modelamiento de edificación – Asignación de nueva fuente de masa*

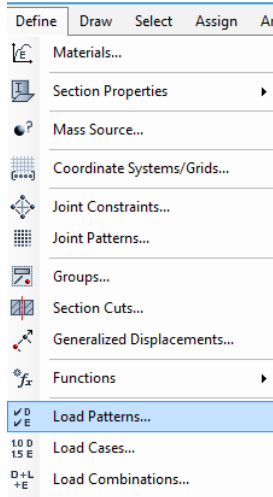


*Ilustración I-10. Modelamiento de edificación – Factores de carga para fuente de masa*

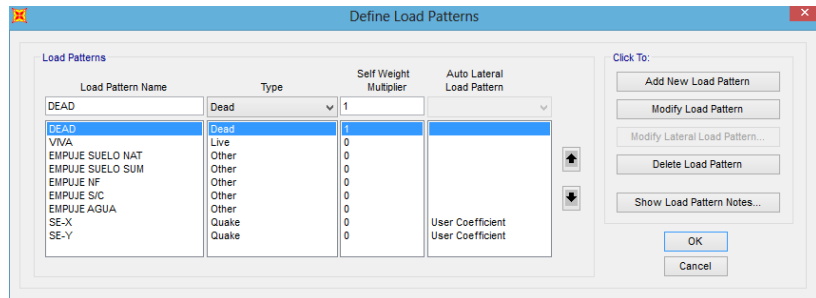


9. Crear patrones de carga

**Ilustración I-11.**  
**Modelamiento de edificación – Opción de carga de patrones**

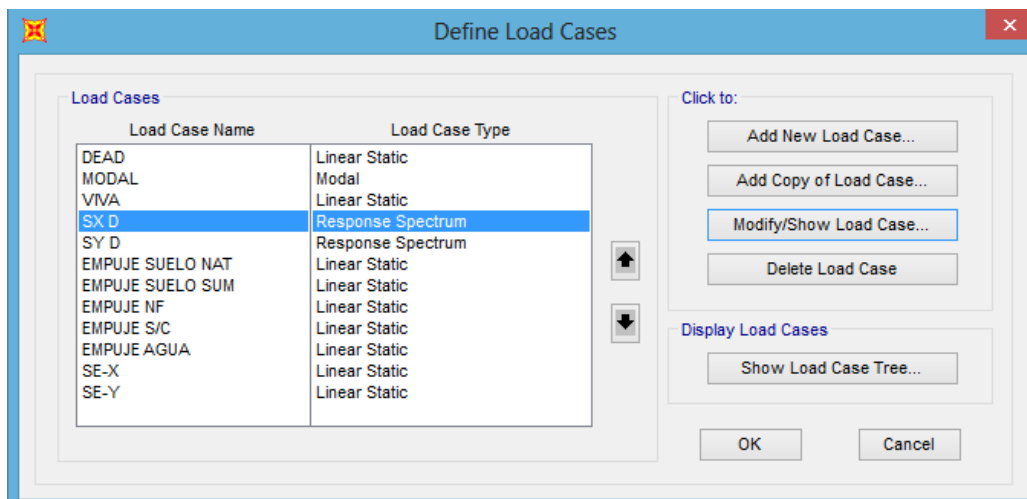


**Ilustración I-12. Modelamiento de edificación – Definición de patrones**



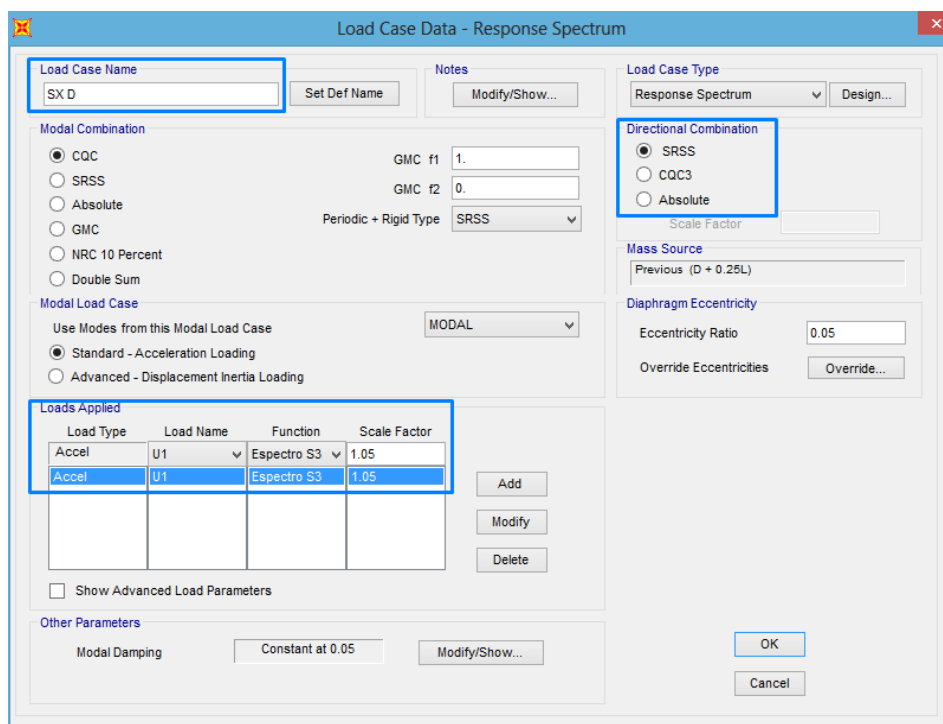
10. Crear casos. La mayoría de los casos son creados automáticamente luego de crear los patrones de carga, a excepción de los casos de sismos dinámicos.

**Ilustración I-13. Modelamiento de edificación – Opción de carga de casos**

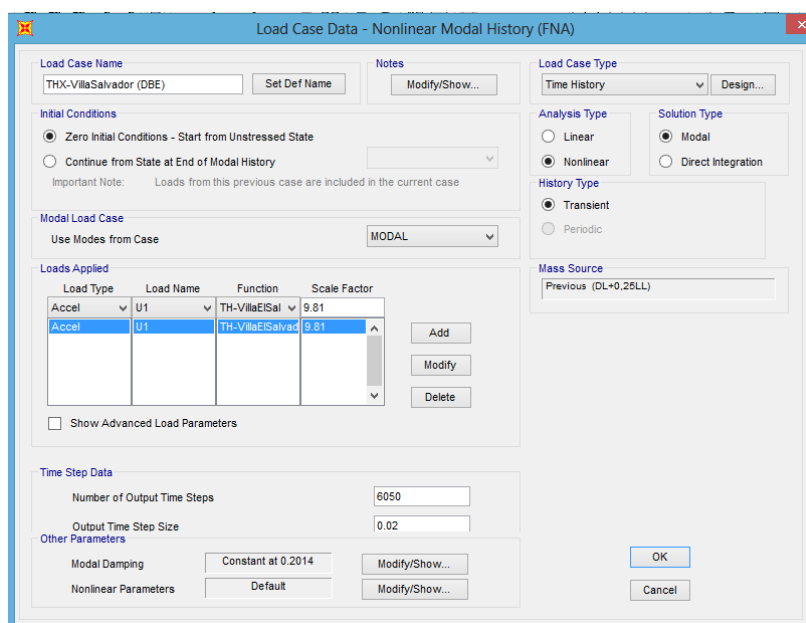


11. Crear sismo dinámico para X e Y. Si en el espectro no se ingresó la aceleración de gravedad; por lo tanto, el factor de escala solo se obtendrá del ratio obtenido entre sismo estático y sismo dinámico.

**Ilustración I-14. Modelamiento de edificación – Opción de carga de casos de sismo por análisis dinámico espectral**



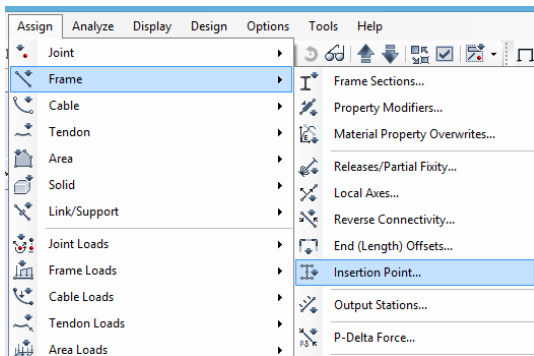
**Ilustración I-15. Ilustración I-16. Modelamiento de edificación – Opción de carga de casos de sismo por análisis tiempo-historia**



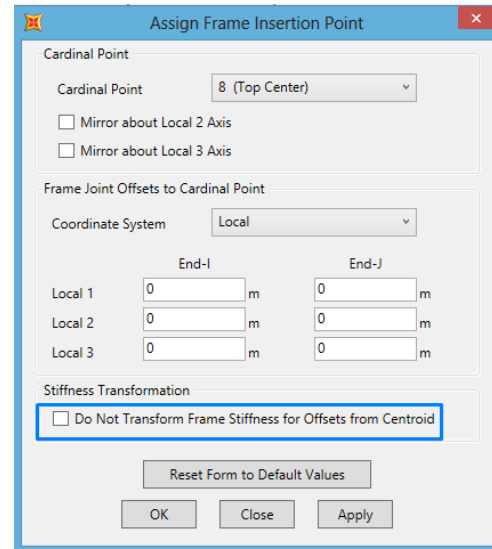
12. Asignar las cargas de diseño de acuerdo a la norma “E020-Cargas” del RNE.
13. Asignar los empujes correspondientes en los muros de sótano, muros de cisterna, muros de rampa y otros.
14. Crear combinaciones de carga según RNE.

15. Asignar diafragmas rígidos a cada uno de los niveles del edificio, incluyendo el piso técnico para sistema de aislamiento.
16. Asignar la cantidad de los modos de vibración correspondiente, se considera apropiado 3 modos por nivel.
17. Asignar punto de inserción, para que todas las vigas y viguetas se alineen.

**Ilustración I-17. Modelamiento de edificación – Opción de punto de inserción**



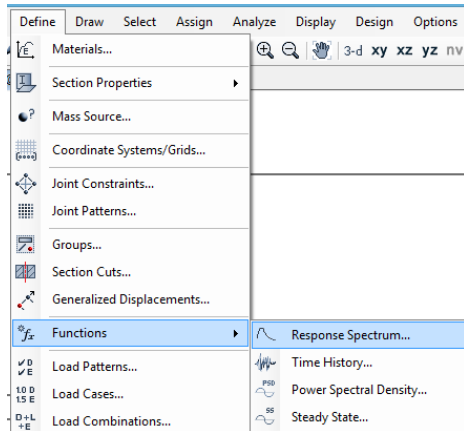
**Ilustración I-18. Modelamiento de edificación – Asignación de punto de inserción**



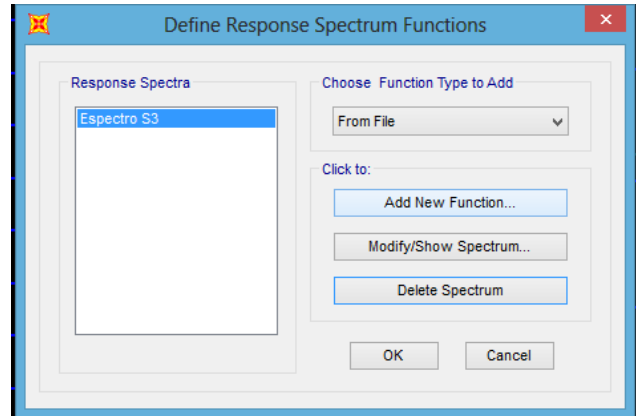
18. Ingresar espectro según el tipo de análisis sísmico requerido.

### Análisis Dinámico Espectral

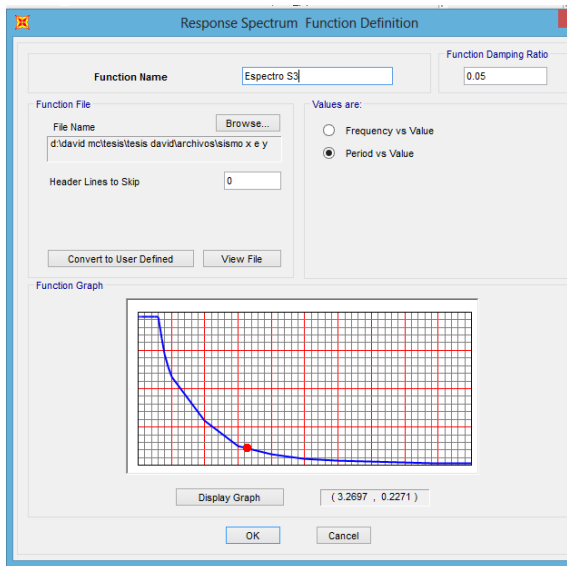
**Ilustración I-19. Modelamiento de edificación – Opción función espectro de respuesta**



**Ilustración I-20. Modelamiento de edificación – Asignación de espectro de respuesta desde archivo**



**Ilustración I-21. Modelamiento de edificación – Definición de espectro de respuesta**

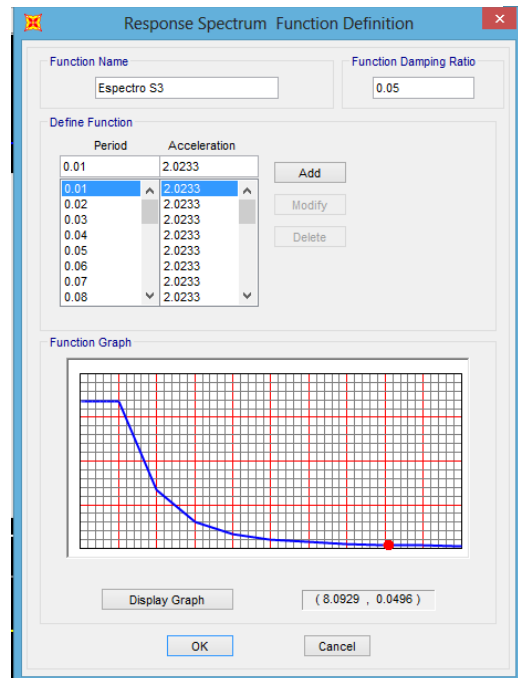


Ingresar espectro desde un archivo txt.

Los valores deben estar en el orden de periodo, seguido de aceleración.

Tener cuidado si la aceleración de gravedad se incluyó en el espectro.

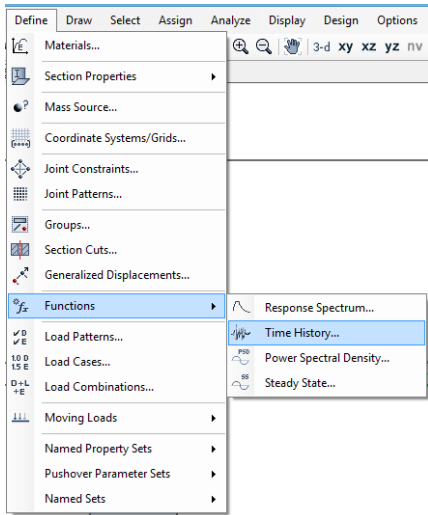
**Ilustración I-22. Modelamiento de edificación – Definición de espectro de respuesta**



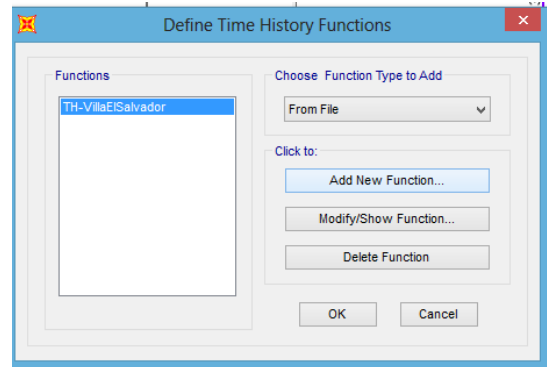
Convertir a “Usuario definido”, para evitar la eliminación del espectro cuando el archivo es cambiado de ubicación.

## Análisis Tiempo-Historia

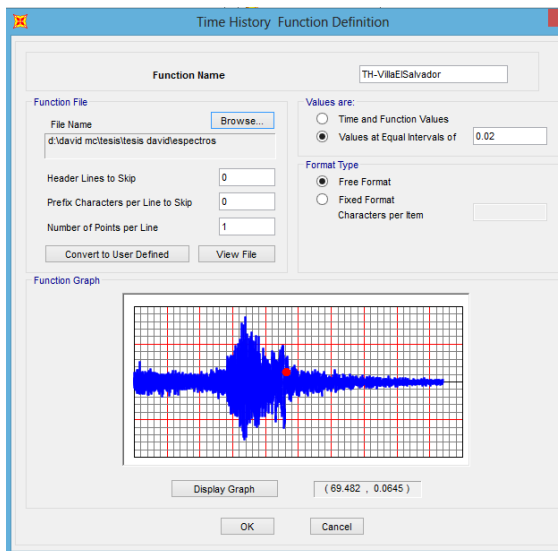
**Ilustración I-23.**  
**Modelamiento de edificación –**  
**Opción función tiempo-**



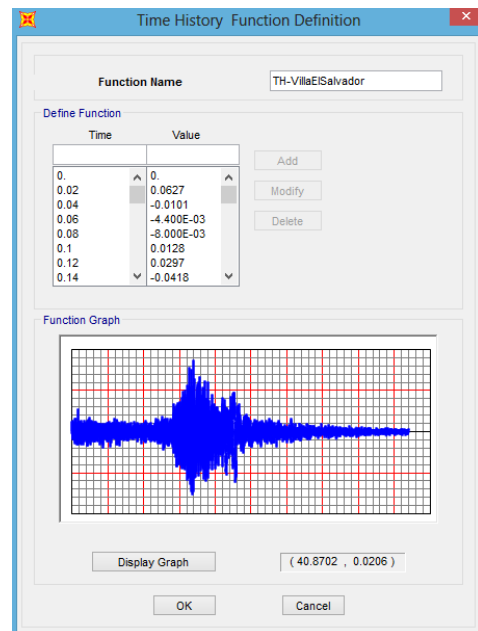
**Ilustración I-24. Modelamiento de**  
**edificación – Asignación de tiempo-historia**  
**desde archivo**



**Ilustración I-25. Modelamiento de**  
**edificación – Definición de tiempo-**  
**historia (acelerograma)**



**Ilustración I-26. Modelamiento**  
**de edificación – Definición de**  
**tiempo-historia (acelerograma)**



Convertir a “Usuario definido”, para evitar la eliminación del acelerograma cuando el archivo es cambiado de ubicación.

- ✓ Opción "Número de puntos por línea": ingresar el número de columnas de aceleraciones que tiene el archivo.
- ✓ Los valores se pueden ingresar con una columna tiempo y otra, aceleraciones. También se puede ingresar intervalos iguales de tiempo, entonces no sería necesario columna de tiempo.
- ✓ Opción "Línea de encabezado para omitir": ingresar el número de filas que contienen texto en el archivo.

#### **3.8.4.2. Método de modelamiento de aisladores sísmicos**

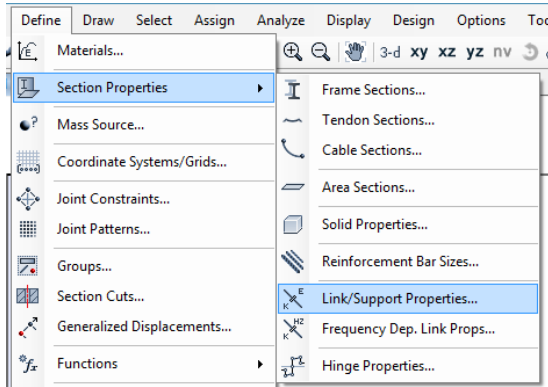
##### **Consideraciones generales**

1. El modelamiento del inicio de ascensores y escaleras, debe realizarse con apoyos simples, simulando un deslizador o aislador (duda cuál es el correcto)
2. Evaluar si es conveniente mantener la misma resistencia del concreto en todos los niveles, o si se puede ir disminuyendo cada cierta cantidad de pisos, esto con la intención de disminuir costos y aprovechar el beneficio de los aisladores sísmicos. Ejemplo: 1° al 3° (280 kg/cm<sup>2</sup>), 5° al 7° (210 kg/cm<sup>2</sup>).
3. Verificar que el porcentaje de corte basal obtenido por análisis dinámico o análisis tiempo-historia, cumple con el mínimo requerido por la normativa en uso. Caso contrario, deberá escalarse según la normativa.
4. La subestructura debe diseñarse para soportar prácticamente el total de fuerza cortante que podría absorber el sistema de aisladores para sismo de diseño, por ello es que la cantidad de concreto y/o acero aumenta relativamente alto. Por otro lado la superestructura, se divide el cortante obtenido entre un R que varía entre <1 a 2>.
5. Estudiar minuciosamente, las columnas o placas ubicadas alrededor de la estructura colgante (escalera y ascensor) debido a que los esfuerzos tienden a aumentar considerablemente.
6. Asignar diafragma rígido a todos los niveles con excepción de la "estructura colgante en la subestructura", estos no deberán asignarse diafragma. Caso contrario, el programa fallará.
7. Los deslizadores son usados para conectar otros aisladores y prácticamente no soportan carga.

A continuación, se describe de manera didáctica, los pasos a realizar para modelar un sistema de aislación en SAP2000 [19]:

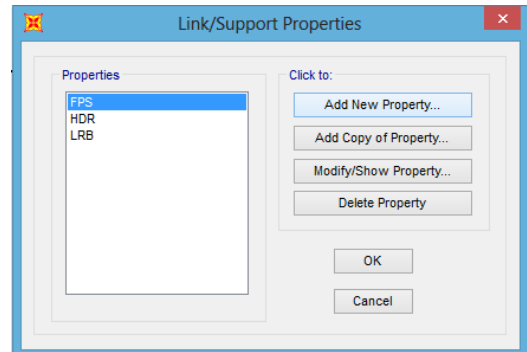
1. Definir los aisladores sísmicos como elementos “Link”.

**Ilustración I-27. Modelamiento de aisladores – Propiedades de sección**



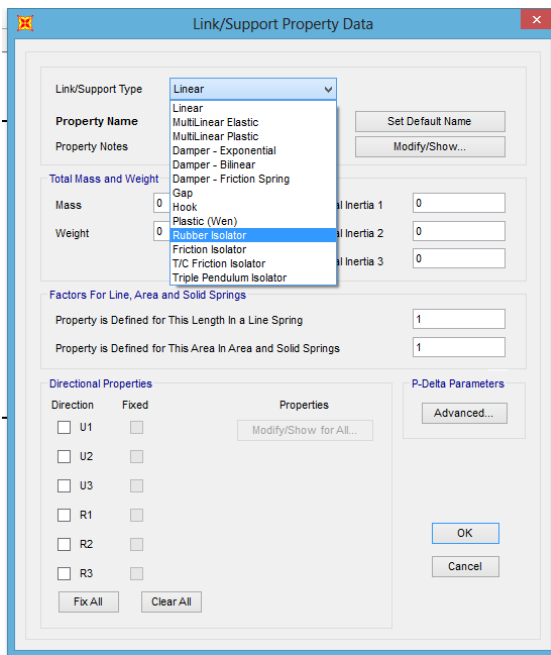
Definir propiedades de sección, propiedades de elemento de enlace.

**Ilustración I-28. Modelamiento de aisladores – Añadir nueva propiedad**



Añadir nueva propiedad.

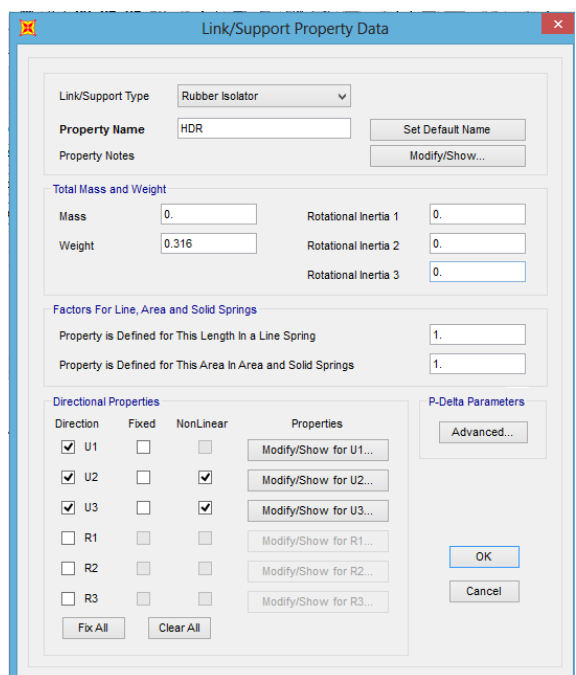
**Ilustración I-29. Modelamiento de aisladores – Datos de Propiedades de Conexión**



Elegir elemento de enlace según tipo de aislador.

- ✓ Aislador LRB y HDR: Opción “Rubber Isolator”

**Ilustración I-30. Modelamiento de aisladores – Datos de Propiedades de Conexión**



Dirección vectorial: U1 (Z), U2(X), U3 (Y)

Ingresar peso del aislador.

- ✓ Aislador FPS: Opción “Friction Isolator”

2. Dependiendo del tipo de análisis sísmico, se asignarán las propiedades lineales o no lineales según cada tipo de aislador.

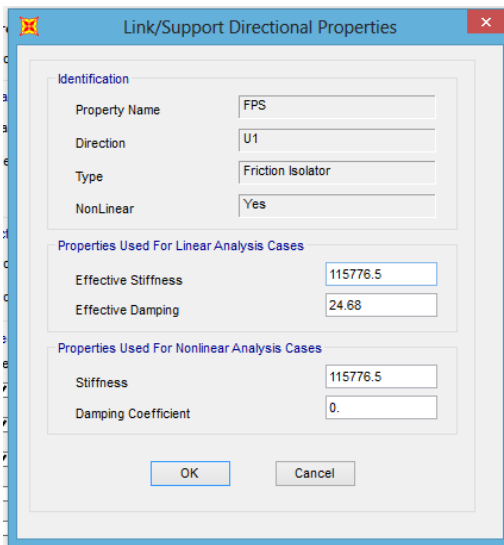
**Ilustración I-31. Modelamiento de aisladores – Propiedades direccionales U1 de la conexión (HDR O LRB)**

The screenshot shows the 'Link/Support Directional Properties' dialog box. The 'Identification' section contains: Property Name: HDR, Direction: U1, Type: Rubber Isolator, NonLinear: No. The 'Properties Used For All Analysis Cases' section contains: Effective Stiffness: 227162.62, Effective Damping: 20.14. There are 'OK' and 'Cancel' buttons at the bottom.

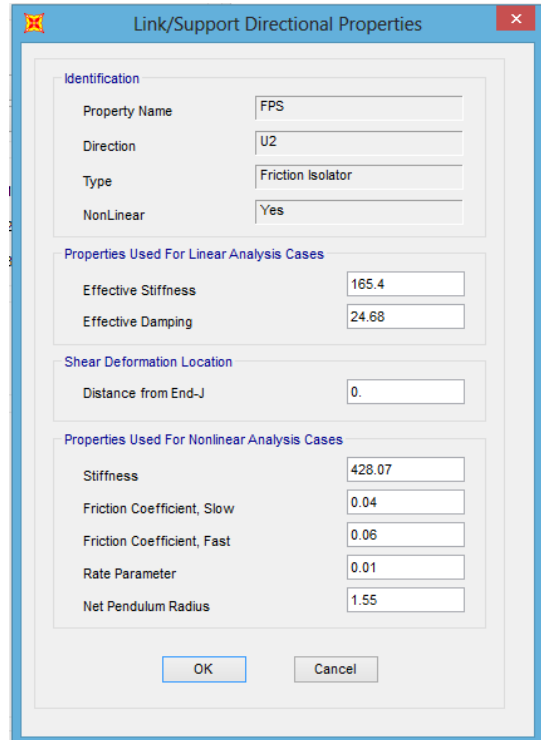
**Ilustración I-32. Modelamiento de aisladores – Propiedades direccionales U2 de la conexión (HDR O LRB)**

The screenshot shows the 'Link/Support Directional Properties' dialog box. The 'Identification' section contains: Property Name: HDR, Direction: U2, Type: Rubber Isolator, NonLinear: Yes. The 'Properties Used For Linear Analysis Cases' section contains: Effective Stiffness: 142.94, Effective Damping: 20.14. The 'Shear Deformation Location' section contains: Distance from End-J: 0. The 'Properties Used For Nonlinear Analysis Cases' section contains: Stiffness: 641.97, Yield Strength: 11.23, Post Yield Stiffness Ratio: 0.16. There are 'OK' and 'Cancel' buttons at the bottom.

**Ilustración I-33. Modelamiento de aisladores – Propiedades direccionales U1 de la conexión (FPS)**



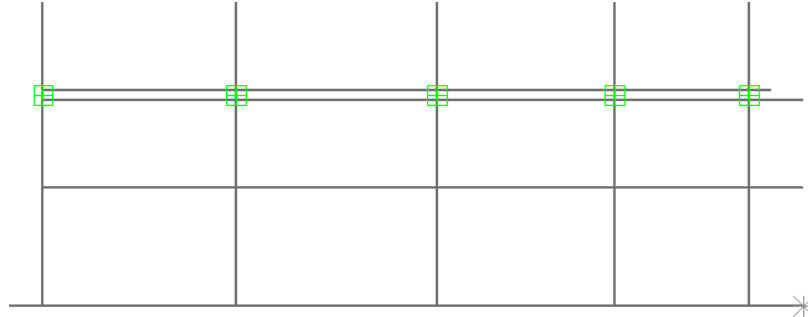
**Ilustración I-34. Modelamiento de aisladores – Propiedades direccionales U2 de la conexión (FPS)**



Aislador HDR Y LRB	Aislador FPS y FPT
Effective stiffness: rigidez efectiva.	Friction coefficient, slow: coeficiente de fricción bajo
Effective damping: amortiguamiento efectivo	Friction coefficient, fast: coeficiente de fricción alto.
Stiffness: rigidez elástica	Rate parameter: parámetro ratio
Yield strength: fuerza de fluencia	Net Pendulum radius: radio de péndulo.
Post yield stiffness ratio: ratio entre rigidez elástica y post fluencia.	

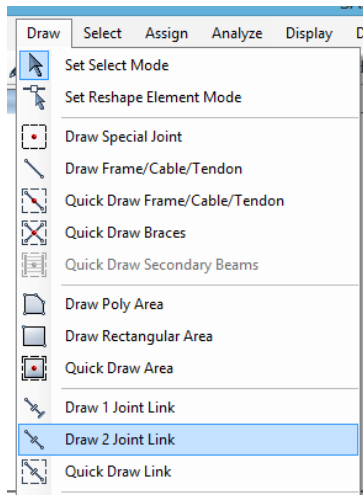
- Definir un entrepiso adicional para la ubicación de los aisladores, el cual actuará como plano de aislamiento de la estructura.

**Ilustración I-35. Modelamiento de aisladores – Dibujo de entrepiso**



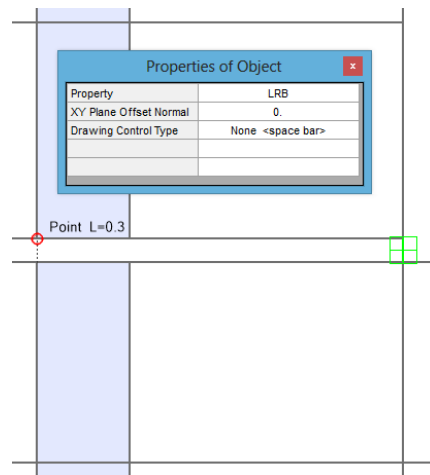
- Asignar los elementos link debajo de cada columna.

**Ilustración I-36. Modelamiento de aisladores – Elemento link de 2 puntos**



Dibujar 2 puntos de enlace.

**Ilustración I-37. Modelamiento de aisladores – Asignar aislador**



Dibujar 2 puntos de enlace.

### 3.8.4.3. Método de generación de registros sísmicos artificiales

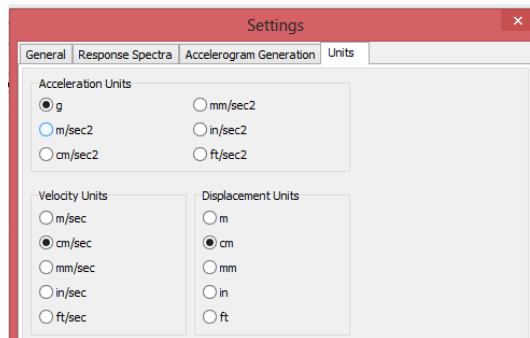
A continuación, de detalle el proceso para generar registros sísmicos artificiales en el software SeismoArtif [21]:

1. Abrir el programa SeismoArtif [21]. Antes de iniciar, uniformizar las unidades del programa con las de los archivos de los registros sísmicos reales; es decir, si los archivos se encuentra con aceleraciones en función de la gravedad (g), entonces el programa deberá trabajarse de igual manera.

**Ilustración I-38.**  
**Generación de registros sísmicos – Presentación de software SeismoArtif**

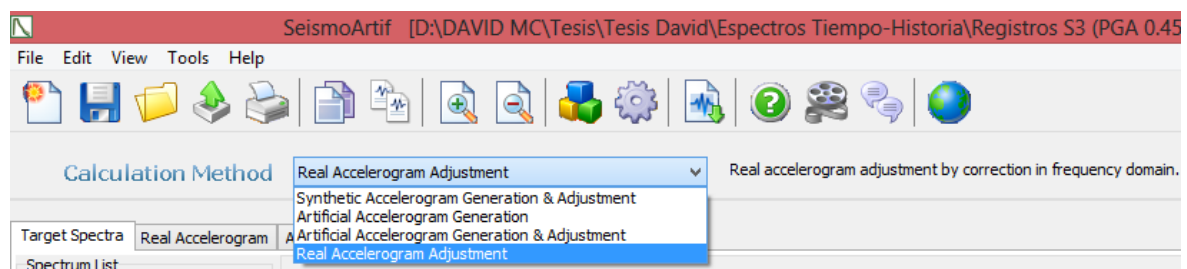


**Ilustración I-39. Generación de registros sísmicos – Configuración de unidades**



2. Existen diferentes métodos para la creación de registros artificiales. El método utilizado en el presente proyecto es: Ajuste de acelerogramas reales.

**Ilustración I-40. Generación de registros sísmicos – Métodos de cálculo**



A continuación, se justifica la elección de método de cálculo:

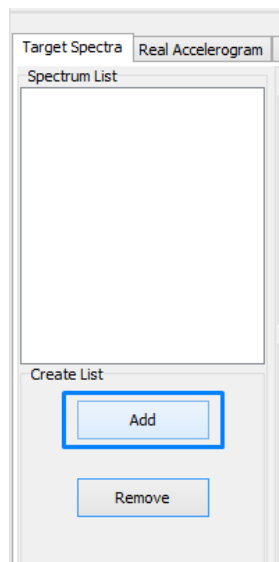
- ✓ Los registros sísmicos encontrados en Villa El Salvador pertenecen a suelo tipo S3, similar a la del proyecto.

- ✓ Además, las profundidades de dichos registros son apropiados, encontrándose en un promedio de 50 km.
- ✓ Por otro lado, las aceleraciones pico son muy bajas y habiéndose utilizado previamente el programa Seismo Match [20], los cálculos no convergieron. Por las mencionadas razones, se optó por crear registros artificiales a partir de los mencionados registros y con un PGA de 0.45g.

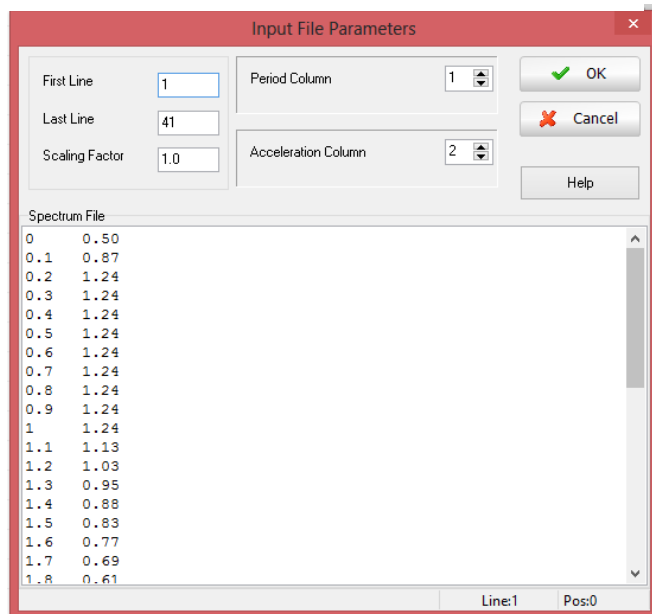
### 3. Ingresar el espectro objetivo

El espectro objetivo equivale al espectro del reglamento con el que se está diseñando la edificación, para el caso del presente proyecto equivale al de la norma E030 del RNE.

**Ilustración I-41. Generación de registros sísmicos – Espectro objetivo**

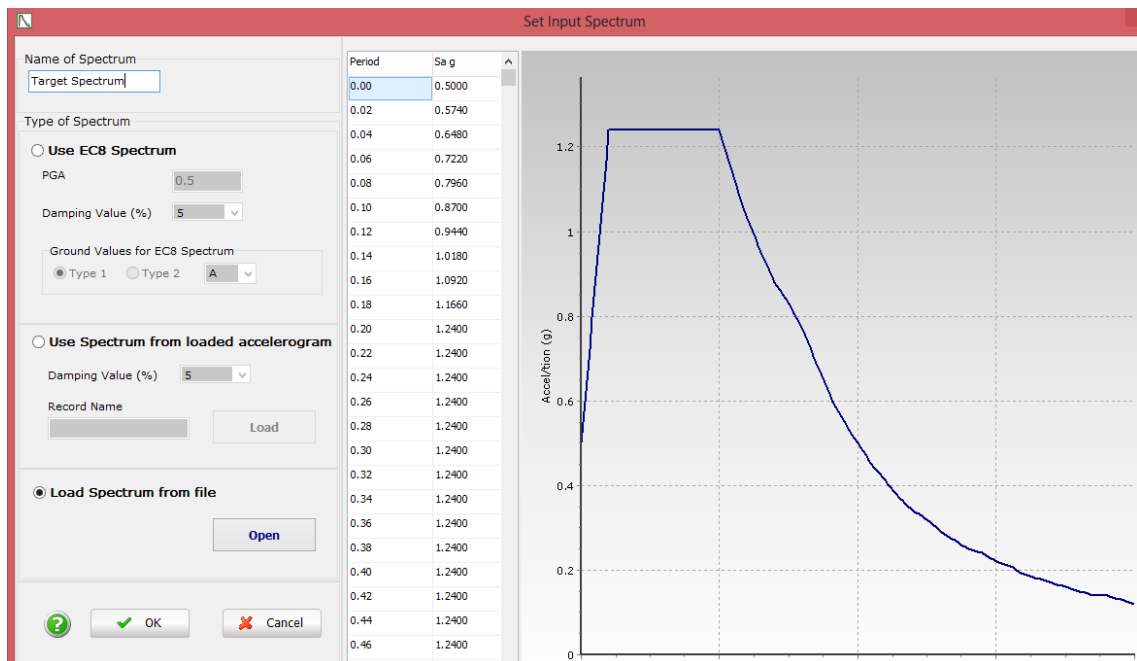


**Ilustración I-42. Generación de registros sísmicos – Espectro objetivo**



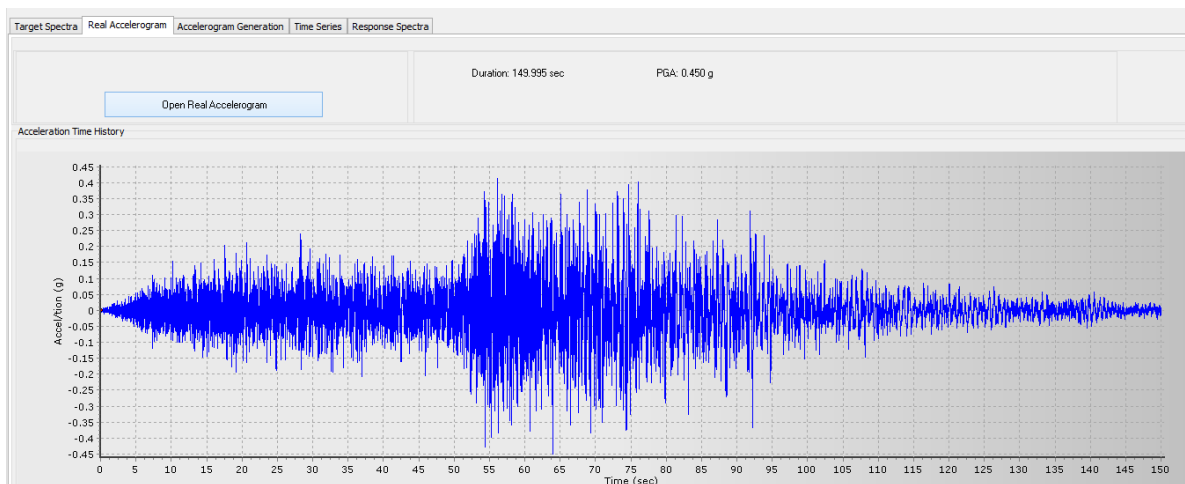
Recordar que para espectros para registros artificiales. El RNE, ordena realizar una pequeña variación para el cálculo de los valores de coeficiente de amplificación  $C$  para periodos menores que  $0.2 T_p$ .

**Ilustración I-43. Generación de registros sísmicos – Configuración de ingreso de espectro**



4. Buscar historias de aceleración de eventos con condiciones similares a las del proyecto. Se encontraron y escogieron tres sismos de Villa El Salvador.
5. Ingresar por separado cada una de las componentes EW y NS del acelerograma real.

**Ilustración I-44. Generación de registros sísmicos – Acelerograma real**



6. Ingresar configuración del espectro y del acelerograma. Luego, generar acelerogramas artificiales. Asimismo, verificar que la convergencia de hallado logrado, al igual que el PGA buscado de 0.45g. La imagen visualiza el registro sísmico artificial.

**Ilustración I-45. Generación de registros sísmicos – Generación de acelerograma**

Target Spectra | Real Accelerogram | **Accelerogram Generation** | Time Series | Response Spectra

Choose a Spectrum from the list: Target Spectrum | Spectrum Factor: 1.0

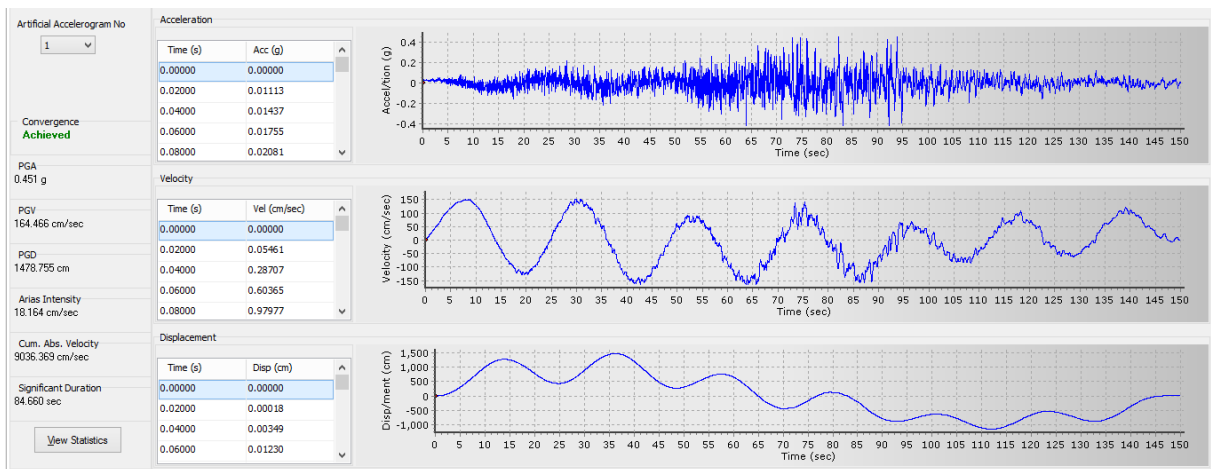
**Spectrum Settings**  
 Smallest Period of desired response spectrum (sec): 0.02  
 Largest Period of desired response spectrum (sec): 4

**Accelerogram Settings**  
 Damping (%): 5 |  Specify PGA: 0.45  
 Time-Step (sec): 0.02 | Duration (sec): 149.995

Number of Artificial Accelerograms to be created: 1

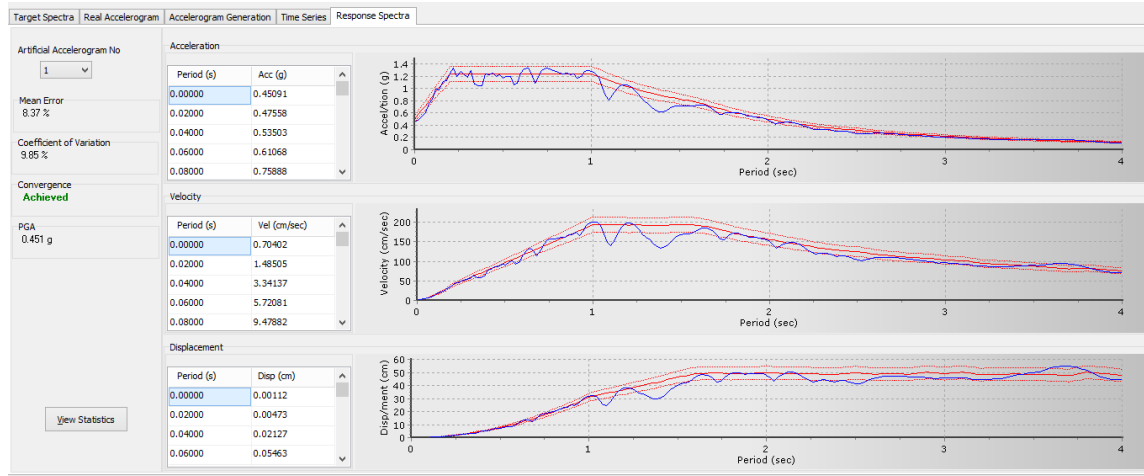
Convergence achieved.

**Ilustración I-46. Generación de registros sísmicos – Generación de acelerograma**



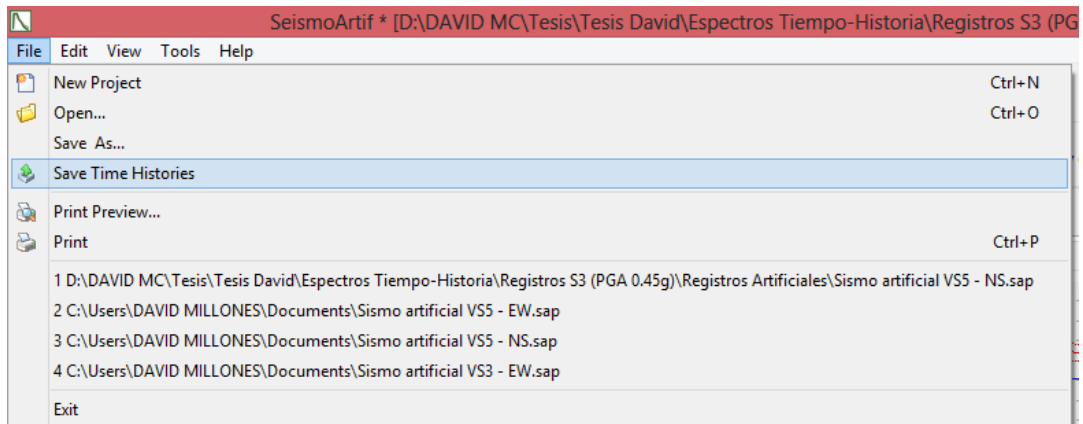
7. Visualizar el espectro de pseudo aceleración generado por el registro sísmico artificial.

**Ilustración I-47. Generación de registros sísmicos – Espectro de respuesta de aceleración, velocidad y desplazamiento del nuevo acelerograma**

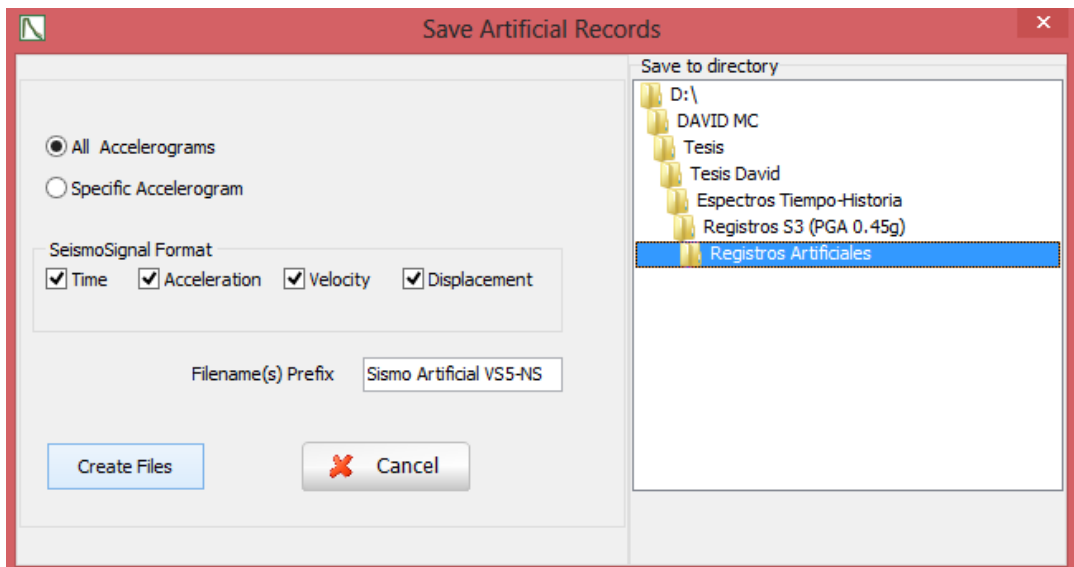


8. Guardar el nuevo registro sísmico artificial.

*Ilustración I-48. Generación de registros sísmicos – Opción de guardar acelerograma*



*Ilustración I-49. Generación de registros sísmicos – Opción de guardar acelerograma*



9. Repetir el proceso para el registro sísmico de la otra componente horizontal.

### **3.9. Consideraciones éticas**

Para la elaboración del presente trabajo de investigación se han seguido las consideraciones éticas establecidas por el Código Deontológico del Colegio de Ingenieros del Perú [27], el cual según el Artículo 4, lo define como “el reglamento ético de conducta, que contiene los deberes, valores y las normas morales y éticas, que rigen a los profesionales de la ingeniería en sus distintas especialidades [27, p. 1].”

Artículo 5.- “Los ingenieros están al servicio de la sociedad. Por consiguiente tienen la obligación de contribuir al bienestar humano, dando importancia primordial a la seguridad y adecuada utilización de los recursos en el desempeño de sus tareas profesionales. [...] [27, p. 1].” Se cumple esta consideración, al estudiar en esta tesis, nuevas tecnologías de protección sísmica que aumenten la probabilidad de protección de la integridad física de los usuarios así como de la infraestructura y sus servicios, ante un sismo de magnitud severa.

Artículo 6.- “[...], Los ingenieros deben esforzarse por incrementar el prestigio, la calidad y la idoneidad de la ingeniería y deben apoyar a sus instituciones profesionales y académicas [27, p. 2].” Se cumple esta consideración, al estudiar y aplicar nuevas filosofías de diseño sismorresistente en la ciudad de Chiclayo, que pretendan mejorar la filosofía del Reglamento Nacional de Edificaciones de Perú.

Artículo 103.- “Los ingenieros están obligados a cuidar el territorio de trabajo de la ingeniería peruana y fomentar el desarrollo tecnológico del Perú [27, p. 13].” Se cumple esta consideración, al fomentar la implementación de un nuevo sistema de protección sísmica en la ciudad de Chiclayo, que brinde mayor protección a los usuarios e infraestructura.

### 3.10. Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA
<p>¿Cuál es el costo-beneficio por la inclusión de aisladores sísmicos en el diseño estructural de una edificación residencial de nueve niveles y dos sótanos, en la ciudad de Chiclayo, ante un evento sísmico de magnitud elevada?</p>	<p><b>Objetivo general</b> Determinar el costo-beneficio por la inclusión de aisladores sísmicos en el diseño estructural de una edificación residencial de nueve niveles y dos sótanos, en la ciudad de Chiclayo, ante un evento sísmico de magnitud elevada.</p> <p><b>Objetivos específicos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Diseño y rediseño de un edificio de concreto armado no pre esforzado con y sin aisladores sísmicos.</li> <li>✓ Realizar un estudio comparativo a nivel de estructuras, metrados, relación de insumos y costos, de un edificio de concreto armado no pre esforzado, con un diseño convencional y uno con aisladores sísmicos.</li> <li>✓ Elaborar una investigación bibliográfica sobre las clases, modo de funcionamiento, ventajas y desventajas de diferentes aisladores sísmicos al alcance de nuestro país y localidad de estudio (Chiclayo).</li> </ul>	<p>El costo-beneficio por la inclusión de aisladores sísmicos en el diseño estructural de una edificación residencial de nueve niveles y dos sótanos, en la ciudad de Chiclayo, ante un evento sísmico de magnitud elevada, será eficiente tanto estructural como económicamente.</p>	<p><b>Variables independientes</b> Diseño estructural.</p> <p><b>Variables dependientes</b> Evaluación comparativa.</p>	<p><b>Por el tipo de la investigación</b>, se clasifica como: <b>Aplicada</b>, porque que se aplicaron sistemas de protección sísmica innovadores y normativas extranjeras, en el diseño estructural de una edificación residencial.</p> <p><b>Por el nivel de investigación</b>, se clasifica como: <b>Aprehensivo</b>, porque analiza y compara dos tipos de diseño estructural. <b>Integrativo</b>, porque determina el costo-beneficio por la implementación de una tecnología de protección sísmica.</p> <p><b>Por el diseño de investigación</b>, se clasifica como: Cuantitativo, porque los resultados, análisis e interpretación de los indicadores cuantitativos, determinarán la validación de la hipótesis de la tesis. Experimental, porque la variable dependiente, diseño estructural, fue manipulada para monitorear el cambio que tuvo la variable dependiente, evaluación comparativa.</p>

## IV. RESULTADOS

### 4.1. Estudio de Mecánica de Suelos

#### 4.1.1. Capacidad de Carga

*Tabla IV-1. Capacidad de carga admisible por factores de correlación con N de SPT / SPT-01*

CAPACIDAD ADMISIBLE										
SUELO	CAPACIDAD POR CORTE					CAPACIDAD POR ASENTAMIENTO			q adm*	
	TERZAGHI	CRESPO	BOWLES S	TEXEIRA	P-H-T	MEYERHOF	BOWLES	BURLAND		
TIPO	(kg/cm <sup>2</sup> )	(kg/cm <sup>2</sup> )	(kg/cm <sup>2</sup> )	(kg/cm <sup>2</sup> )	(kg/cm <sup>2</sup> )	(kg/cm <sup>2</sup> )	(kg/cm <sup>2</sup> )	(kg/cm <sup>2</sup> )	(kg/cm <sup>2</sup> )	
SPT-2	SP	1.50	0.89	1.79	2.05	1.61	0.93	1.01	2.58	0.97
	SP	1.50	1.03	1.95	2.19	1.75	1.02	1.10	2.23	1.06
	SC	1.66	1.07	2.01	2.24	1.80	1.05	1.14	1.88	1.09
	SC	1.91	0.58	1.41	1.72	1.26	0.74	0.80	1.02	0.77
	SC	0.41	-0.25	0.42	0.87	0.38	0.22	0.24	0.17	0.23
	SC	0.44	-0.26	0.41	0.86	0.37	0.22	0.24	0.14	0.23
	SC	2.23	0.93	1.83	2.09	1.64	0.96	1.06	1.06	1.01
	SC	2.34	1.08	2.02	2.25	1.81	1.05	1.18	1.07	1.11
	SP-SC	2.45	1.23	2.20	2.41	1.97	1.15	1.29	1.06	1.22
	SP-SC	2.89	2.00	3.12	3.20	2.79	1.62	1.83	1.32	1.73
	SP	3.29	2.56	3.79	3.79	3.40	1.98	2.24	1.50	2.11
	SP	3.12	1.90	3.00	3.10	2.69	1.56	1.78	1.16	1.67
	SP-SM	3.24	1.42	2.43	2.61	2.18	1.27	1.45	0.93	1.36
	SP-SM	5.08	4.07	5.60	5.35	5.02	2.92	3.36	1.93	3.14
	SM	10.77	9.64	12.29	11.16	11.01	6.40	7.42	4.57	6.91
SM	11.06	9.74	12.41	11.26	11.12	6.47	7.53	4.49	7.00	

#### 4.1.2. Propiedades Geotécnicas

Tabla IV-2. Propiedades Geotécnicas cada 30 cm de exploración. SPT-01

PROFUNDIDAD D	CLASIFICACION		N CAMPO	N REAL	PARÁMETROS RESISTENTES				PARÁMETRO DE DEFORMACIÓN	DESCRIPCION Y CLASIFICACION DEL MATERIAL		
	SIMBOLO	GRAFICO			COHESIÓN	CONSISTENCIA	A. FRICCIÓN (ø)	COMPACIDAD	MÓDULO DE DEFORMACIÓN ELÁSTICO (E)			
(m)			adm	adm	(kg/cm <sup>2</sup> )		°		(kg/cm <sup>2</sup> )			
0.15										M-0: Material agrícola compacto		
0.30												
0.45												
0.60												
0.75												
1.00												
1.15	SP		15.00	7.47	0.47	Blanda	30.30	Media	85.10	M-1: Arena pobremente graduada		
1.30												
1.45												
1.60												
1.75			17.00	8.15	0.51	Media	28.80	Floja	91.23			
1.90												
2.05	SC		18.00	8.56	0.52	Media	28.90	Floja	93.56	M-2: Arena arcillosa		
2.20												
2.35												
2.50												
2.65			15.00	5.88	0.37	Blanda	28.10	Floja	70.39			
2.80												
2.95	SC		4.00	1.76	0.11	Muy blanda	14.00	Muy floja	32.32	M-3: Arena arcillosa		
3.10												
3.25												
3.40												
3.55					4.00	1.72	0.11	Muy blanda	14.00		Muy floja	31.94
3.70												
3.85												
4.00			16.00	7.64	0.48	Blanda	28.80	Floja	86.68			
4.15												
4.30												
4.45			18.00	8.42	0.53	Media	29.10	Floja	93.86			
4.60												
4.75	SP-SC		20.00	9.17	0.57	Media	29.40	Floja	100.80	M-4: Arena pobremente graduada con arcilla		
4.90												
5.05												
5.20												
5.35			29.00	12.98	0.81	Media	30.40	Media	136.09			
5.50												
5.65	SP		33.00	15.80	-	-	31.30	Media	292.56	M-5: Arena pobremente graduada		
5.80												
5.95												
6.10			24.00	12.51	-	-	30.30	Media	264.81			
6.25												
6.40												
6.55	SP-SM		18.00	10.12	-	-	29.60	Floja	243.31	M-6: Arena pobremente graduada con limo		
6.70												
6.85												
7.00												
7.15			43.00	23.33	-	-	33.80	Media	350.99			
7.30												
7.45	SM		97.00	51.22	-	-	40.00	Densa	537.83	M-7: Arena limosa con grava.		
7.60												
7.75												
7.90												
8.05			100.00	51.72	-	-	40.00	Densa	540.98			
8.20												

**Tabla IV-3. Propiedades Geotécnicas por estrato. SPT- 01**

PARÁMETROS RESISTENTES					
COHESIÓN	COHESIÓN	CONSISTENCIA	A. FRICCIÓN (°)	A. FRICCIÓN (°)	COMPACTADA
KN/m <sup>2</sup>	KN/m <sup>2</sup>		°	°	
45.79	46	Compacta	23.71	-	-
49.85			24.71	-	-
51.26			25.71	-	-
36.04			26.71	-	-
10.81			29.71		
10.56			29.71		
46.83	49	Compacta	29.71	-	-
51.59			30.71	-	-
56.19	68	Compacta	31.71	-	-
79.58			32.71	-	-
-	-	-	33.71	35	Media
-	-	-	37.05		
-	-	-	32.46		
-	-	-	34.38		
-	-	-	34.85		
-	-	-	37.59		

### 4.1.3. Cargas

*Tabla IV-4. Cargas distribuidas por edificio colidante.*

EDIFICIO COLIDANTE	UBICACIÓN	DIMENSIONES		PISOS	PESO (ton)	SOBRE CARGA
		LARGO (m)	ANCHO (m)			
1	AV.GRAU	1	1	1	1	1
2	CALLE ABTAO	20	9.39	2	375.6	40

*Tabla IV-5. Cargas sustraídas del suelo por estrato.*

MUESTRA	Peso específico natural	Espesor	Área del terreno	Peso
#	ton/m3	m	m2	ton
M-0	1.5	1	923.81	1385.72
M-1	1.86	1.8	923.81	3092.92
M-2	1.81	0.45	923.81	752.44
M-3	1.93	0.45	923.81	802.33
M-4	1.94	0.9	923.81	1612.97
M-5	1.92	0.9	923.81	1596.34
M-6	1.93	0.5	923.81	891.48
<b>TOTAL</b>		<b>6.00</b>		<b>10134.20</b>

Al tratarse de una cimentación compensada, la presión transmitida al suelo se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Presión transmitida} = \frac{\text{Peso del edificio} - \text{Peso sustraído del suelo}}{\text{Área del terreno}}$$

ÁREA DEL TERRENO	924	m2
PESO DEL EDIFICIO	10162	ton
Δ PRESIÓN	0.03	ton/m2

Si del numerador se obtuviese un valor negativo, estaríamos tratando de una cimentación sobre compensada; es decir, el peso ingresado por el edificio es menor al peso del suelo sustraído; por lo tanto, no habría asentamientos.

### Asentamientos

*Tabla IV-6. Cálculo de Asentamientos Inmediatos parciales.*

Ancho (B)	Estrato	SUELO	Espesor	q	u	E	If	ΔH
(m)	#	SUCS	(m)	(ton/m2)		(ton/m2)	(cm/m)	(cm)
25	1	SM	1	0.03	0.25	1500	120	0.06
25	2	SM	1	0.03	0.25	1500	120	0.06

*Tabla IV-7. Cálculo de Asentamiento Inmediato total*

Estrato	SUELO	Asentamiento parcial
#	SUCS	(cm)
1	SM	0.06
2	SM	0.06
<b>TOTAL</b>		<b>0.11</b>

#### 4.1.4. Coeficiente de Balasto

*Tabla IV-8. Coeficiente de Balasto para estructuras horizontales en Arenas*

SUELO SUMERGID	N CORREGID	b	l	K 30	Ks cuadrado	Ks rectangular
adm	adm	m	m	tn/m <sup>3</sup>	tn/m <sup>3</sup>	tn/m <sup>3</sup>
SÍ	14.05	0.30	0.30	1779.35	1067.61	1067.61
SÍ	15.31	0.30	0.30	1937.93	1162.76	1162.76
SÍ	15.76	0.30	0.30	1997.74	1198.64	1198.64
SÍ	11.09	0.30	0.30	1455.99	873.59	873.59
SÍ	3.33	0.30	0.30	860.87	516.52	516.52
SÍ	3.26	0.30	0.30	856.52	513.91	513.91
SÍ	14.45	0.30	0.30	1827.72	1096.63	1096.63
SÍ	15.93	0.30	0.30	2020.44	1212.27	1212.27
SÍ	17.36	0.30	0.30	2226.26	1335.76	1335.76
SÍ	24.60	0.30	0.30	3636.09	2181.65	2181.65
SÍ	29.95	0.30	0.30	5223.99	3134.39	3134.39
SÍ	23.74	0.30	0.30	3428.38	2057.03	2057.03
SÍ	19.21	0.30	0.30	2523.71	1514.22	1514.22
SÍ	44.33	0.30	0.30	13833.43	8300.06	8300.06

**Balastro a usar**

2976.05

**tn/m<sup>3</sup>**

*Dividir platea en losas de 1m x 1m, e ingresar balastro en el programa.*

*Tabla IV-9. Coeficiente de Balasto para estructuras verticales en Arcillas*

<b>N CORREGID</b>	<b>Q adm (tn/m<sup>2</sup>)</b>	<b>D</b>	<b>K30 arcilla</b>	<b>K arcilla</b>
<b>adm</b>		<b>(m)</b>	<b>tn/m<sup>3</sup></b>	<b>tn/m<sup>3</sup></b>
14.05	0.97	1.50	2311.52	21.56
15.31	1.06	1.50	2518.88	23.54
15.76	1.09	1.50	2592.71	24.27
11.09	0.77	1.50	1824.34	17.11
3.33	0.23	1.50	547.89	5.15
3.26	0.23	1.50	535.60	5.04
14.45	1.01	1.50	2376.66	22.42
15.93	1.11	1.50	2620.16	24.77
17.36	1.22	1.50	2855.79	27.05
24.60	1.73	1.50	4047.43	38.42
29.95	2.11	1.50		
23.74	1.67	1.50		
19.21	1.36	1.50		
44.33	3.14	1.50		

*Tabla IV-10. Coeficiente de Balasto para estructuras verticales en Arenas*

D	2.2
---	-----

N CORREGID	Z	D	K30	K arena húmeda	K arena sumergida	K promedio	K SAP	K promedio	K SAFE
adm	(m)	(m)	tn/m <sup>3</sup>	tn/m <sup>3</sup>	tn/m <sup>3</sup>	tn/m <sup>3</sup>	tn/m <sup>3</sup>	tn/m <sup>3</sup>	tn/m <sup>3</sup>
14.05	1.45	2.20	176.03	116.02	69.61	<b>83.45</b>	<b>85.00</b>	<b>83.45</b>	<b>85.00</b>
15.31	1.90	2.20	187.76	162.16	97.29				
15.76	2.35	2.20	192.12	205.22	123.13	<b>119.33</b>	<b>120.00</b>	<b>119.33</b>	<b>120.00</b>
11.09	2.80	2.20	151.28	192.54	115.52				
3.33	3.25	2.20	101.71	150.25	90.15				
3.26	3.70	2.20	101.32	170.40	102.24	<b>203.32</b>	<b>205.00</b>	<b>203.32</b>	<b>200.00</b>
14.45	4.15	2.20	179.64	338.86	203.32			<b>223.21</b>	<b>220.00</b>
15.93	4.60	2.20	193.77	405.16	243.10				
17.36	5.05	2.20	208.51	478.62	287.17	<b>327.79</b>	<b>330.00</b>	<b>370.13</b>	<b>370.00</b>
24.60	5.50	2.20	302.06	755.16	453.10				
29.95	5.95	2.20	397.19	1074.22	644.53				
23.74	6.40	2.20	288.93	840.53	504.32	<b>525.70</b>	<b>525.00</b>	<b>574.43</b>	<b>570.00</b>
19.21	6.85	2.20	229.23	713.74	428.24				
44.33	7.30	2.20	828.98	2750.71	1650.42			<b>1039.33</b>	<b>1040.00</b>

## 4.2. Diseño de Estructura Convencional

Se detalla el cálculo de los parámetros sísmicos y verificaciones según la norma E030 “Diseño Sismo resistente” del RNE [2].

### 4.2.1. Parámetros sísmicos

#### FACTOR DE ZONA

<b>ZONA</b>	Z4
<b>Z</b>	0.45

#### FACTOR DE SUELO

<b>SUELO</b>	S3
<b>S</b>	1.1

#### FACTOR DE PERIODOS TP y TL

##### SISMO X

<b>Tp =</b>	1
<b>TL =</b>	1.6

##### SISMO Y

<b>Tp =</b>	1
<b>TL =</b>	1.6

#### FACTOR DE USO

<b>CATEGORIA</b>	C
<b>U</b>	1

#### FACTOR DE AMPLIFICACION SÍSMICA

hn	25.2
$C_T$	Ctc
$C_T$	60
T =	0.42

hn	25.2
$C_T$	Ctc
$C_T$	60
T =	0.42

<b>C</b>	2.5
----------	-----

<b>C</b>	2.5
----------	-----

#### FACTOR DE REDUCCIÓN

##### SISMO X

<b>SIST. ESTR.</b>	De muros estructurales
<b>R</b>	6

##### SISMO Y

<b>SIST. ESTR.</b>	De muros estructurales
<b>R</b>	6

<b>C/R</b>	0.42
<b>¿C/R ≥ 0.125?</b>	SÍ
<b>C/R</b>	0.42

<b>C/R</b>	0.42
<b>¿C/R ≥ 0.125?</b>	SÍ
<b>C/R</b>	0.42

## CORTANTE EN LA BASE

### SISMO X

<b>Z</b>	0.45
<b>U</b>	1.00
<b>C</b>	2.50
<b>S</b>	1.10
<b>R</b>	6.00
<b>ZUCS/R =</b>	0.21

### SISMO Y

<b>Z</b>	0.45
<b>U</b>	1.00
<b>C</b>	2.50
<b>S</b>	1.10
<b>R</b>	6.00
<b>ZUCS/R =</b>	0.21

#### 4.2.2. Verificación de derivas

*Tabla IV-11. Derivas de Sismo X – Sistema convencional*

DESPLAZAMIENTO POR SÍSMICO DINÁMICO						
X-X						
Nivel	h (cm)	$\Delta$ Abs. (cm)	$\Delta$ Rel. (cm)	$\Delta r/h$	$\Delta$ Máximo	Verificación
1	260	0.45	0.45	0.0017	0.007	OK
2	260	0.72	0.27	0.0010	0.007	OK
3	280	1.80	1.08	0.0039	0.007	OK
4	280	3.29	1.49	0.0053	0.007	OK
5	280	4.86	1.58	0.0056	0.007	OK
6	280	6.48	1.62	0.0058	0.007	OK
7	280	7.97	1.49	0.0053	0.007	OK
8	280	9.32	1.35	0.0048	0.007	OK
9	280	10.53	1.22	0.0043	0.007	OK
10	280	11.57	1.04	0.0037	0.007	OK
11	280	12.42	0.85	0.0031	0.007	OK

*Tabla IV-12. Derivas de Sismo Y – Sistema convencional*

DESPLAZAMIENTO POR SÍSMICO DINÁMICO						
Y-Y						
Nivel	h (m)	$\Delta$ Abs. (cm)	$\Delta$ Rel. (cm)	$\Delta r/h$	MAX	Verificación
1	260	0.59	0.59	0.0023	0.007	OK
2	260	1.04	0.45	0.0017	0.007	OK
3	280	2.34	1.31	0.0047	0.007	OK
4	280	4.05	1.71	0.0061	0.007	OK
5	280	5.94	1.89	0.0068	0.007	OK
6	280	7.88	1.94	0.0069	0.007	OK
7	280	9.81	1.94	0.0069	0.007	OK
8	280	11.66	1.85	0.0066	0.007	OK
9	280	13.37	1.71	0.0061	0.007	OK
10	280	14.94	1.58	0.0056	0.007	OK
11	280	16.38	1.44	0.0051	0.007	OK

### 4.2.3. Verificación de irregularidades

#### 4.2.3.1. Verificación de irregularidades en altura

##### A) Irregularidades de rigidez - Piso Blando

SX	REGULAR
SY	REGULAR

$$KN_i < 0.7 \times KN_{i+1}$$

$$KN_i < 0.80 \times \text{promedio} (KN_{i+1}, KN_{i+2}, KN_{i+2})$$

Tabla IV-13. Verificación de irregularidades – Irregularidad de rigidez – Piso blando

SISMO EN X											
PISO	H	EXTREMOS EDIFICACIÓN				VARIABLES			COND. N°01	COND. N°02	CONDICION FINAL
		IZQ POS	DER POS	IZQ ANT	DER ANT	DEZPL PROM	FUERZA	RIGIDEZ			
	m	cm	cm	cm	cm	cm	ton	ton/cm			
0°	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0						
1.0	3.5	0.1	0.1	0.1	0.1	0.5	1,966	4,369	NO CUMPLE	NO CUMPLE	REGULAR
2.0	6.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.7	1,930	2,680	NO CUMPLE	NO CUMPLE	REGULAR
3.0	8.9	0.4	0.4	0.4	0.4	1.8	1,863	1,048	NO CUMPLE	NO CUMPLE	REGULAR
4.0	11.7	0.7	0.7	0.7	0.7	3.2	1,773	551	NO CUMPLE	NO CUMPLE	REGULAR
5.0	14.5	1.0	1.0	1.1	1.1	4.8	1,651	346	NO CUMPLE	NO CUMPLE	REGULAR
6.0	17.3	1.4	1.4	1.4	1.4	6.3	1,498	237	NO CUMPLE	NO CUMPLE	REGULAR
7.0	20.1	1.7	1.7	1.8	1.8	7.8	1,314	169	NO CUMPLE	NO CUMPLE	REGULAR
8.0	22.9	2.0	2.0	2.1	2.1	9.1	1,099	121	NO CUMPLE	NO CUMPLE	REGULAR
9.0	25.7	2.2	2.2	2.3	2.3	10.3	851	83	NO CUMPLE		REGULAR
10.0	28.5	2.5	2.5	2.6	2.6	11.3	572	51	NO CUMPLE		REGULAR
11.0	31.3	2.7	2.7	2.8	2.8	12.2	262	22			REGULAR

<b>SISMO EN Y</b>											
<b>PISO</b>	<b>H</b>	<b>EXTREMOS EDIFICACIÓN</b>				<b>VARIABLES</b>			<b>COND. N°01</b>	<b>COND. N°02</b>	<b>CONDICION FINAL</b>
		<b>IZQ POS</b>	<b>DER POS</b>	<b>IZQ ANT</b>	<b>DER ANT</b>	<b>DEZPL PROM</b>	<b>FUERZA</b>	<b>RIGIDEZ</b>			
	m	cm	cm	cm	cm	cm	ton	ton/cm			
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0						
1.0	3.5	0.1	0.1	0.1	0.1	0.5	1,966	3,641	NO CUMPLE	NO CUMPLE	REGULAR
2.0	6.1	0.2	0.2	0.2	0.2	1.0	1,930	1,995	NO CUMPLE	NO CUMPLE	REGULAR
3.0	8.9	0.5	0.5	0.5	0.5	2.2	1,863	853	NO CUMPLE	NO CUMPLE	REGULAR
4.0	11.7	0.8	0.9	0.8	0.9	3.8	1,773	461	NO CUMPLE	NO CUMPLE	REGULAR
5.0	14.5	1.2	1.3	1.2	1.3	5.7	1,651	289	NO CUMPLE	NO CUMPLE	REGULAR
6.0	17.3	1.6	1.8	1.6	1.8	7.6	1,498	196	NO CUMPLE	NO CUMPLE	REGULAR
7.0	20.1	2.1	2.2	2.1	2.2	9.5	1,314	138	NO CUMPLE	NO CUMPLE	REGULAR
8.0	22.9	2.4	2.6	2.4	2.6	11.3	1,099	97	NO CUMPLE	NO CUMPLE	REGULAR
9.0	25.7	2.8	3.0	2.8	3.0	12.9	851	66	NO CUMPLE		REGULAR
10.0	28.5	3.1	3.3	3.1	3.3	14.4	572	40	NO CUMPLE		REGULAR
11.0	31.3	3.3	3.6	3.3	3.6	15.7	262	17			REGULAR

**B) Irregularidades de resistencia - Piso Débil**

$$RE_i < 0.80 \times RE_{i+1}$$

SX	REGULAR
SY	REGULAR

*Tabla IV-14. Verificación de irregularidades – Irregularidad de rigidez – Piso débil*

SISMO EN X			
NIVEL	RESISTENCIA ENTREPISO	CONDICIÓN	CONDICIÓN FINAL
	ton/cm		
1.0	4,369	NO CUMPLE	REGULAR
2.0	2,680	NO CUMPLE	REGULAR
3.0	1,048	NO CUMPLE	REGULAR
4.0	551	NO CUMPLE	REGULAR
5.0	346	NO CUMPLE	REGULAR
6.0	237	NO CUMPLE	REGULAR
7.0	169	NO CUMPLE	REGULAR
8.0	121	NO CUMPLE	REGULAR
9.0	83	NO CUMPLE	REGULAR
10.0	51	NO CUMPLE	REGULAR
11.0	22	NO CUMPLE	REGULAR

SISMO EN Y			
NIVEL	RESISTENCIA ENTREPISO	CONDICIÓN	CONDICIÓN FINAL
	ton/cm		
1.0	3,641	NO CUMPLE	REGULAR
2.0	1,995	NO CUMPLE	REGULAR
3.0	853	NO CUMPLE	REGULAR
4.0	461	NO CUMPLE	REGULAR
5.0	289	NO CUMPLE	REGULAR
6.0	196	NO CUMPLE	REGULAR
7.0	138	NO CUMPLE	REGULAR
8.0	97	NO CUMPLE	REGULAR
9.0	66	NO CUMPLE	REGULAR
10.0	40	NO CUMPLE	REGULAR
11.0	17	NO CUMPLE	REGULAR

**C) Irregularidades extrema de rigidez**

SX	<b>REGULAR</b>
SY	<b>REGULAR</b>

$$KN_i < 0.6 \times KN_{i+1}$$

$$KN_i < 0.70 \times \text{promedio} (KN_{i+1}, KN_{i+2}, KN_{i+2})$$

**Tabla IV-15. Verificación de irregularidades – Irregularidad extrema de rigidez**

<b>SISMO EN X</b>											
<b>PISO</b>	<b>H</b>	<b>EXTREMOS EDIFICACIÓN</b>				<b>VARIABLES</b>			<b>COND. N°01</b>	<b>COND. N°02</b>	<b>CONDICION FINAL</b>
		<b>IZQ POS</b>	<b>DER POS</b>	<b>IZQ ANT</b>	<b>DER ANT</b>	<b>DEZPL PROM</b>	<b>FUERZA</b>	<b>RIGIDEZ</b>			
	m	cm	cm	cm	cm	cm	ton	ton/cm			
0°	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0						
1.0	3.5	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	1,966	19,662	NO CUMPLE	NO CUMPLE	REGULAR
2.0	6.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	1,930	12,062	NO CUMPLE	NO CUMPLE	REGULAR
3.0	8.9	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	1,863	4,716	NO CUMPLE	NO CUMPLE	REGULAR
4.0	11.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	1,773	2,479	NO CUMPLE	NO CUMPLE	REGULAR
5.0	14.5	1.0	1.0	1.1	1.1	1.1	1,651	1,558	NO CUMPLE	NO CUMPLE	REGULAR
6.0	17.3	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1,498	1,067	NO CUMPLE	NO CUMPLE	REGULAR
7.0	20.1	1.7	1.7	1.8	1.8	1.7	1,314	762	NO CUMPLE	NO CUMPLE	REGULAR
8.0	22.9	2.0	2.0	2.1	2.1	2.0	1,099	542	NO CUMPLE	NO CUMPLE	REGULAR
9.0	25.7	2.2	2.2	2.3	2.3	2.3	851	372	NO CUMPLE		REGULAR
10.0	28.5	2.5	2.5	2.6	2.6	2.5	572	228	NO CUMPLE		REGULAR
11.0	31.3	2.7	2.7	2.8	2.8	2.7	262	97			REGULAR

<b>SISMO EN Y</b>											
<b>PISO</b>	<b>H</b>	<b>EXTREMOS EDIFICACIÓN</b>				<b>VARIABLES</b>			<b>COND. N°01</b>	<b>COND. N°02</b>	<b>CONDICION FINAL</b>
		<b>IZQ POS</b>	<b>DER POS</b>	<b>IZQ ANT</b>	<b>DER ANT</b>	<b>DEZPL PROM</b>	<b>FUERZA</b>	<b>RIGIDEZ</b>			
	m	cm	cm	cm	cm	cm	ton	ton/cm			
0°	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0						
1.0	3.5	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	1,966	16,385	NO CUMPLE	NO CUMPLE	REGULAR
2.0	6.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	1,930	8,977	NO CUMPLE	NO CUMPLE	REGULAR
3.0	8.9	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1,863	3,841	NO CUMPLE	NO CUMPLE	REGULAR
4.0	11.7	0.8	0.9	0.8	0.9	0.9	1,773	2,073	NO CUMPLE	NO CUMPLE	REGULAR
5.0	14.5	1.2	1.3	1.2	1.3	1.3	1,651	1,300	NO CUMPLE	NO CUMPLE	REGULAR
6.0	17.3	1.6	1.8	1.6	1.8	1.7	1,498	884	NO CUMPLE	NO CUMPLE	REGULAR
7.0	20.1	2.1	2.2	2.1	2.2	2.1	1,314	621	NO CUMPLE	NO CUMPLE	REGULAR
8.0	22.9	2.4	2.6	2.4	2.6	2.5	1,099	439	NO CUMPLE	NO CUMPLE	REGULAR
9.0	25.7	2.8	3.0	2.8	3.0	2.9	851	297	NO CUMPLE		REGULAR
10.0	28.5	3.1	3.3	3.1	3.3	3.2	572	179	NO CUMPLE		REGULAR
11.0	31.3	3.3	3.6	3.3	3.6	3.5	262	75			REGULAR

D) Irregularidad extrema de resistencia

SX	REGULAR
SY	REGULAR

$$RE_i < 0.65 \times RE_{i+1}$$

Tabla IV-16. Verificación de irregularidades – Irregularidad extrema de resistencia.

SISMO EN X			
PISO	RESISTENCIA DE ENTREPISO	CONDICIÓN	CONDICIÓN FINAL
	ton/cm		
1.0	19,661.8	NO CUMPLE	REGULAR
2.0	12,062.2	NO CUMPLE	REGULAR
3.0	4,715.6	NO CUMPLE	REGULAR
4.0	2,479.4	NO CUMPLE	REGULAR
5.0	1,558.0	NO CUMPLE	REGULAR
6.0	1,066.5	NO CUMPLE	REGULAR
7.0	761.9	NO CUMPLE	REGULAR
8.0	542.5	NO CUMPLE	REGULAR
9.0	371.6	NO CUMPLE	REGULAR
10.0	227.6	NO CUMPLE	REGULAR
11.0	96.8		REGULAR

SISMO EN Y			
PISO	RESISTENCIA DE ENTREPISO	CONDICIÓN	CONDICIÓN FINAL
	ton/cm		
1.0	16,384.8	NO CUMPLE	REGULAR
2.0	8,976.6	NO CUMPLE	REGULAR
3.0	3,840.5	NO CUMPLE	REGULAR
4.0	2,073.4	NO CUMPLE	REGULAR
5.0	1,300.3	NO CUMPLE	REGULAR
6.0	884.0	NO CUMPLE	REGULAR
7.0	621.4	NO CUMPLE	REGULAR
8.0	438.5	NO CUMPLE	REGULAR
9.0	296.5	NO CUMPLE	REGULAR
10.0	179.2	NO CUMPLE	REGULAR
11.0	75.2		REGULAR

**E) Irregularidad de masa o peso**

$$M_i > 1.5(M_{i+1} \text{ o } M_{i-1})$$

SX	REGULAR
SY	REGULAR

*Tabla IV-17. Verificación de irregularidades – Irregularidad de masa o peso*

PISO	PESO	RAZÓN	CONDICIÓN	CONDICIÓN FINAL
text	kg	adim		
11.0	656.0			
10.0	854.0	1.0	NO CUMPLE	REGULAR
9.0	854.0	1.0	NO CUMPLE	REGULAR
8.0	855.0	1.0	NO CUMPLE	REGULAR
7.0	854.0	1.0	NO CUMPLE	REGULAR
6.0	854.0	1.0	NO CUMPLE	REGULAR
5.0	855.0	1.0	NO CUMPLE	REGULAR
4.0	854.0	1.0	NO CUMPLE	REGULAR
3.0	854.0	1.2	NO CUMPLE	REGULAR
2.0	984.0	1.1	NO CUMPLE	REGULAR
1.0	1,059.0		NO CUMPLE	REGULAR

**F) Irregularidad geométrica vertical**

$$\sum Areas Ni > 130\% \sum Areas Ni+1 \text{ o } Ni-1$$

SX	REGULAR
SY	REGULAR

Las dimensiones en planta de la estructura resistente a cargas laterales, es igual en todos los pisos. Esto quiere decir que en ningún piso cumplirá esta irregularidad.

**G) Discontinuidad en los sistemas resistentes**

No existe desalineamiento vertical en algún elemento estructural

SX	REGULAR
SY	REGULAR

**H) Discontinuidad extrema en los sistemas resistentes**

No existe desalineamiento vertical en algún elemento estructural

SX	REGULAR
SY	REGULAR

#### 4.2.3.2. Verificación de irregularidades en planta

##### A) Irregularidad torsional

$$DN_{i\text{ máx}} > 1.3 \times DN_{perm}$$

SX	REGULAR
SY	REGULAR

Tabla IV-18. Verificación de irregularidades – Irregularidad torsional

SISMO EN X									
PISO	H	EXTREMOS EDIFICACIÓN				DESPLAZ. ABS		COND. N°01	CONDICIÓN FINAL
		IZQ POS	DER POS	IZQ ANT	DER ANT	DEZPL.	DEZPL. MÁX		
	m	cm	cm	cm	cm	cm	cm		
0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0				
1.0	3.5	0.1	0.1	0.1	0.1	0.5	0.1	NO CUMPLE	REGULAR
2.0	6.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.2	NO CUMPLE	REGULAR
3.0	8.9	0.4	0.4	0.4	0.4	1.1	0.4	NO CUMPLE	REGULAR
4.0	11.7	0.7	0.7	0.7	0.7	1.5	0.7	NO CUMPLE	REGULAR
5.0	14.5	1.0	1.0	1.1	1.1	1.6	1.1	NO CUMPLE	REGULAR
6.0	17.3	1.4	1.4	1.4	1.4	1.6	1.4	NO CUMPLE	REGULAR
7.0	20.1	1.7	1.7	1.8	1.8	1.5	1.8	NO CUMPLE	REGULAR
8.0	22.9	2.0	2.0	2.1	2.1	1.4	2.1	NO CUMPLE	REGULAR
9.0	25.7	2.2	2.2	2.3	2.3	1.2	2.3	NO CUMPLE	REGULAR
10.0	28.5	2.5	2.5	2.6	2.6	1.0	2.6	NO CUMPLE	REGULAR
11.0	31.3	2.7	2.7	2.8	2.8	0.9	2.8	NO CUMPLE	REGULAR

SISMO EN Y									
PISO	H	EXTREMOS EDIFICACIÓN				DESPLAZ. ABS		COND. N°01	CONDICIÓN FINAL
		IZQ POS	DER POS	IZQ ANT	DER ANT	DEZPL.	DEZPL. MÁX		
	m	cm	cm	cm	cm	cm	cm		
0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0				
1.0	3.5	0.1	0.1	0.1	0.1	0.6	0.1	NO CUMPLE	REGULAR
2.0	6.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.5	0.2	NO CUMPLE	REGULAR
3.0	8.9	0.5	0.5	0.5	0.5	1.3	0.5	NO CUMPLE	REGULAR
4.0	11.7	0.8	0.9	0.8	0.9	1.7	0.9	NO CUMPLE	REGULAR
5.0	14.5	1.2	1.3	1.2	1.3	1.9	1.3	NO CUMPLE	REGULAR
6.0	17.3	1.6	1.8	1.6	1.8	1.9	1.8	NO CUMPLE	REGULAR
7.0	20.1	2.1	2.2	2.1	2.2	1.9	2.2	NO CUMPLE	REGULAR
8.0	22.9	2.4	2.6	2.4	2.6	1.8	2.6	NO CUMPLE	REGULAR
9.0	25.7	2.8	3.0	2.8	3.0	1.7	3.0	NO CUMPLE	REGULAR
10.0	28.5	3.1	3.3	3.1	3.3	1.6	3.3	NO CUMPLE	REGULAR
11.0	31.3	3.3	3.6	3.3	3.6	1.4	3.6	NO CUMPLE	REGULAR

**B) Irregularidad torsional extrema**

SX	REGULAR
SY	REGULAR

$$DN_{i\text{máx}} > 1.5 \times DN_{perm}$$

*Tabla IV-19. Verificación de irregularidades – Irregularidad torsional extrema*

SISMO EN X									
PISO	H	EXTREMOS EDIFICACIÓN				DESPLAZ. ABS		COND. N°01	CONDICIÓN FINAL
		IZQ POS	DER POS	IZQ ANT	DER ANT	DEZPL.	DEZPL. MÁX		
	m	cm	cm	cm	cm	cm	cm		
0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0				
1.0	3.5	0.1	0.1	0.1	0.1	0.5	0.1	NO CUMPLE	REGULAR
2.0	6.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.2	NO CUMPLE	REGULAR
3.0	8.9	0.4	0.4	0.4	0.4	1.1	0.4	NO CUMPLE	REGULAR
4.0	11.7	0.7	0.7	0.7	0.7	1.5	0.7	NO CUMPLE	REGULAR
5.0	14.5	1.0	1.0	1.1	1.1	1.6	1.1	NO CUMPLE	REGULAR
6.0	17.3	1.4	1.4	1.4	1.4	1.6	1.4	NO CUMPLE	REGULAR
7.0	20.1	1.7	1.7	1.8	1.8	1.5	1.8	NO CUMPLE	REGULAR
8.0	22.9	2.0	2.0	2.1	2.1	1.4	2.1	NO CUMPLE	REGULAR
9.0	25.7	2.2	2.2	2.3	2.3	1.2	2.3	NO CUMPLE	REGULAR
10.0	28.5	2.5	2.5	2.6	2.6	1.0	2.6	NO CUMPLE	REGULAR
11.0	31.3	2.7	2.7	2.8	2.8	0.9	2.8	NO CUMPLE	REGULAR

SISMO EN Y									
PISO	H	EXTREMOS EDIFICACIÓN				DESPLAZ. ABS		COND. N°01	CONDICIÓN FINAL
		IZQ POS	DER POS	IZQ ANT	DER ANT	DEZPL.	DEZPL. MÁX		
	m	cm	cm	cm	cm	cm	cm		
0°	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0				
1.0	3.5	0.1	0.1	0.1	0.1	0.6	0.1	NO CUMPLE	REGULAR
2.0	6.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.5	0.2	NO CUMPLE	REGULAR
3.0	8.9	0.5	0.5	0.5	0.5	1.3	0.5	NO CUMPLE	REGULAR
4.0	11.7	0.8	0.9	0.8	0.9	1.7	0.9	NO CUMPLE	REGULAR
5.0	14.5	1.2	1.3	1.2	1.3	1.9	1.3	NO CUMPLE	REGULAR
6.0	17.3	1.6	1.8	1.6	1.8	1.9	1.8	NO CUMPLE	REGULAR
7.0	20.1	2.1	2.2	2.1	2.2	1.9	2.2	NO CUMPLE	REGULAR
8.0	22.9	2.4	2.6	2.4	2.6	1.8	2.6	NO CUMPLE	REGULAR
9.0	25.7	2.8	3.0	2.8	3.0	1.7	3.0	NO CUMPLE	REGULAR
10.0	28.5	3.1	3.3	3.1	3.3	1.6	3.3	NO CUMPLE	REGULAR
11.0	31.3	3.3	3.6	3.3	3.6	1.4	3.6	NO CUMPLE	REGULAR

**C) Esquinas entrantes**

SX	<b>REGULAR</b>
SY	<b>REGULAR</b>

“La estructura se califica como irregular cuando tiene esquinas entrantes cuyas dimensiones en ambas direcciones son mayores que el 20% de la correspondiente dimensión total en planta” [2, p. 18].

Dirección	Longitud		%	Condición
	Edificio	Esquina		
X	32.5	23.7	72.92	CUMPLE

Dirección	Longitud		%	Condición
	Edificio	Esquina		
Y	25.42	4.34	17.07	NO CUMPLE

**D) Discontinuidad del diafragma**

SX	<b>R</b>	<b>REGULAR</b>
SY	<b>R</b>	<b>REGULAR</b>

“Diafragmas con discontinuidades abruptas o variaciones en rigidez, incluyendo áreas abiertas mayores a 50% del área bruta del diafragma” [2, p. 18].

**E) Sistemas no paralelos**

SX	<b>R</b>	<b>REGULAR</b>
SY	<b>R</b>	<b>REGULAR</b>

“Se considera que existe irregularidad cuando en cualquiera de las direcciones de análisis los elementos resistentes a fuerzas laterales no son paralelos. No se aplica si los ejes de los pórticos o muros forman ángulos menores que 30° ni cuando los elementos no paralelos resisten menos que 10% de la fuerza cortante del piso” [2, p. 18].

*Tabla IV-20. Resumen de irregularidades en altura*

<b>FACTORES POR IRREGULARIDAD EN ALTURA (Ia)</b>				
<b>TIPO DE IRREGULARIDAD</b>	<b>IRREGULAR</b>	<b>REGULAR</b>	<b>FACT SX</b>	<b>FACT SY</b>
IRREGULARIDADES DE RIGIDEZ - Piso Blando	0.8	1.0	1.0	1.0
IRREGULARIDADES DE RESISTENCIA - Piso Débil	0.8	1.0	1.0	1.0
IRREGULARIDADES EXTREMA DE RIGIDEZ.	0.5	1.0	1.0	1.0
IRREGULARIDAD EXTREMA DE RESISTENCIA	0.5	1.0	1.0	1.0
IRREGULARIDAD DE MASA O PESO	0.9	1.0	1.0	1.0
IRREGULARIDAD GEOMETRICA VERTICAL	0.9	1.0	1.0	1.0
DISCONTINUIDAD EN LOS SISTEMAS RESISTENTES	0.8	1.0	1.0	1.0
DISCONTINUIDAD EXTREMA EN LOS SISTEMAS RESISTENTES	0.6	1.0	1.0	1.0

*Tabla IV-21. Resumen de irregularidades en planta*

<b>FACTORES POR IRREGULARIDAD EN PLANTA (Ip)</b>				
<b>TIPO DE IRREGULARIDAD</b>	<b>IRREGULAR</b>	<b>REGULAR</b>	<b>FACT SX</b>	<b>FACT SY</b>
IRREGULARIDAD TORSIONAL	0.8	1.0	1.0	1.0
IRREGULARIDAD TORSIONAL EXTREMA	0.6	1.0	1.0	1.0
ESQUINAS ENTRANTES	0.9	1.0	1.0	1.0
DISCONTINUIDAD DEL DIAFRAGMA	0.9	1.0	1.0	1.0
SISTEMAS NO PARALELOS	0.9	1.0	1.0	1.0

#### 4.2.4. Coeficiente de Reducción

$$R = R_o \times I_a \times I_p$$

*Tabla IV-22. Cuadro resumen de coeficientes de reducción R*

CUADRO RESUMEN - COEFICIENTE DE REDUCCIÓN		
Dirección	X	Y
Sistema Estructural	De muros estructurales	De muros estructurales
<b>Ia =</b>	1.00	1.00
<b>Ip =</b>	1.00	1.00
<b>Ro =</b>	6.00	6.00
<b>R=</b>	6.00	6.00

#### REGULARIDAD ESTRUCTURAL

<b>TIPO DE REGULARIDAD EN X</b>	<b>REGULAR</b>
<b>TIPO DE REGULARIDAD EN Y</b>	<b>REGULAR</b>

#### FACTOR DE ZONA

<b>ZONA</b>	Z4
-------------	----

<b>RESTRICCIÓN</b>
--------------------

No se permiten irregularidades extremas

¿IRREGUL. EXTREMA? NO

#### FACTOR DE USO

<b>CATEGORIA</b>	C
------------------	---

¿ACEPTABLE? SÍ

TABLA N°3 RNE

#### 4.2.5. Sistema estructural

El cortante que absorbe las placas es mayor a 80%, entonces, según RNE, el sistema estructural será Muros estructurales.

*Tabla IV-23. Cortante de absorción por placas y columnas*

ELEMENTO	∑ F1	% TOTAL	∑ F2	% TOTAL
	ton	%	ton	%
PLACAS	1,065.0	84.2	1,068.0	85.4
COLUMNAS	200.0	15.8	183.0	14.6

#### 4.2.6. Estimación del peso

El peso se estimó según el artículo 26 de la norma E.030 [2, p. 20]. A continuación se presenta los porcentajes de peso correspondiente según tipo de carga muerta o viva, para una edificación del tipo C.

*Tabla IV-24. Porcentajes de peso correspondiente según tipo de carga muerta o viva*

TIPO ESTRUCTURA	Pisos		Azoteas	
	CM	CV	CM	CV
Edificación C	100%	25%	100%	25%

#### 4.2.7. Tipo de análisis sísmico

##### ANÁLISIS ESTÁTICO

NO

**CASO 01** Estructuras regulares o irregulares ubicadas en la zona sísmica 1

NO  
CUMPLE

<b>Tipo de Regularidad</b>	REGULAR
<b>Zona sísmica</b>	Z4

**CASO 02** Estructuras regulares, altura máxima 30 m

CUMPLE

<b>Tipo de Regularidad</b>	REGULAR
<b>Altura del edificio</b>	25.2

**CASO 03** Estructuras regulares o irregulares, de muros portantes de concreto armado y albañilería armada o confinada, altura máxima 15 m

NO  
CUMPLE

<b>Sistema estructural X</b>	De muros estructurales
<b>Altura del edificio</b>	25.2

NO  
CUMPLE

<b>Sistema estructural Y</b>	De muros estructurales
<b>Altura del edificio</b>	25.2

NO  
CUMPLE

##### ANÁLISIS DINÁMICO MODAL ESPECTRAL

SÍ

#### 4.2.7.1. Análisis sísmico estático

El análisis estático no es requerido para este proyecto; sin embargo, es necesario su cálculo para posteriormente escalar el cortante dinámico a un porcentaje del cortante estático.

$$Fuerza\ sísmica = \frac{ZUCS}{R} \times \text{Peso del Edificio}$$

<b>ZUCS/R</b>	0.21	
<b>Peso del edificio</b>	9533.00	ton
<b>Fuerza sísmica</b>	1966.18	ton

*Tabla IV-25. Distribución de fuerzas sísmica por nivel*

Nivel	Peso total	Peso x nivel	Altura	Alt. Acum	PiHi	Porcentaje	Fi	Vi
	ton	ton	m	m	ton.m	%	ton	ton
9	656	656	2.80	30	19,942	0.13	262	262
8	1,510	854	2.80	28	23,570	0.16	310	572
7	2,364	854	2.80	25	21,179	0.14	279	851
6	3,219	855	2.80	22	18,810	0.13	247	1,099
5	4,073	854	2.80	19	16,397	0.11	216	1,314
4	4,927	854	2.80	16	14,006	0.09	184	1,498
3	5,782	855	2.80	14	11,628	0.08	153	1,651
2	6,636	854	2.80	11	9,223	0.06	121	1,773
1	7,490	854	2.80	8	6,832	0.05	90	1,863
S1	8,474	984	2.60	5	5,117	0.03	67	1,930
S2	9,533	1,059	2.60	3	2,753	0.02	36	1,966

#### 4.2.7.2. Análisis sísmico dinámico

El análisis dinámico es el tipo de análisis requerido para este proyecto. A continuación de detalla el cálculo del espectro para cada dirección de sismo. Es importante mencionar, que la gravedad fue ingresada en este espectro, por lo que en el modelo ya no deberá ser ingresada.

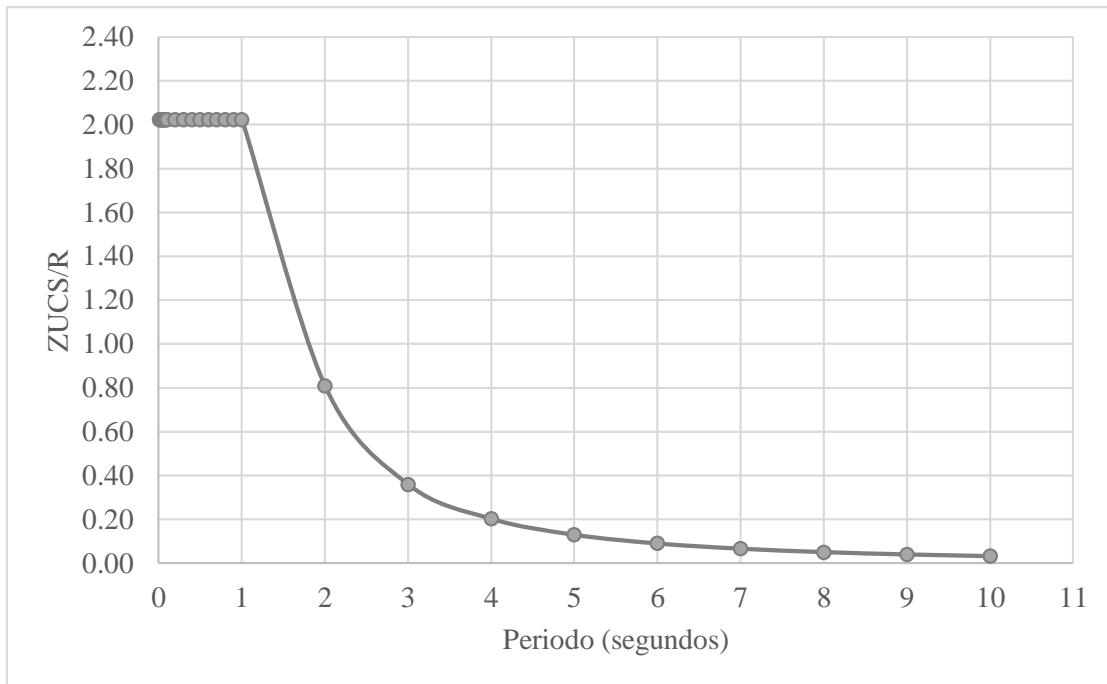
#### SISMO X, SISMO Y

<b>Z</b>	0.45
<b>U</b>	1.00
<b>S</b>	1.10
<b>T<sub>p</sub> =</b>	1.00
<b>TL =</b>	1.60
<b>R</b>	6.00

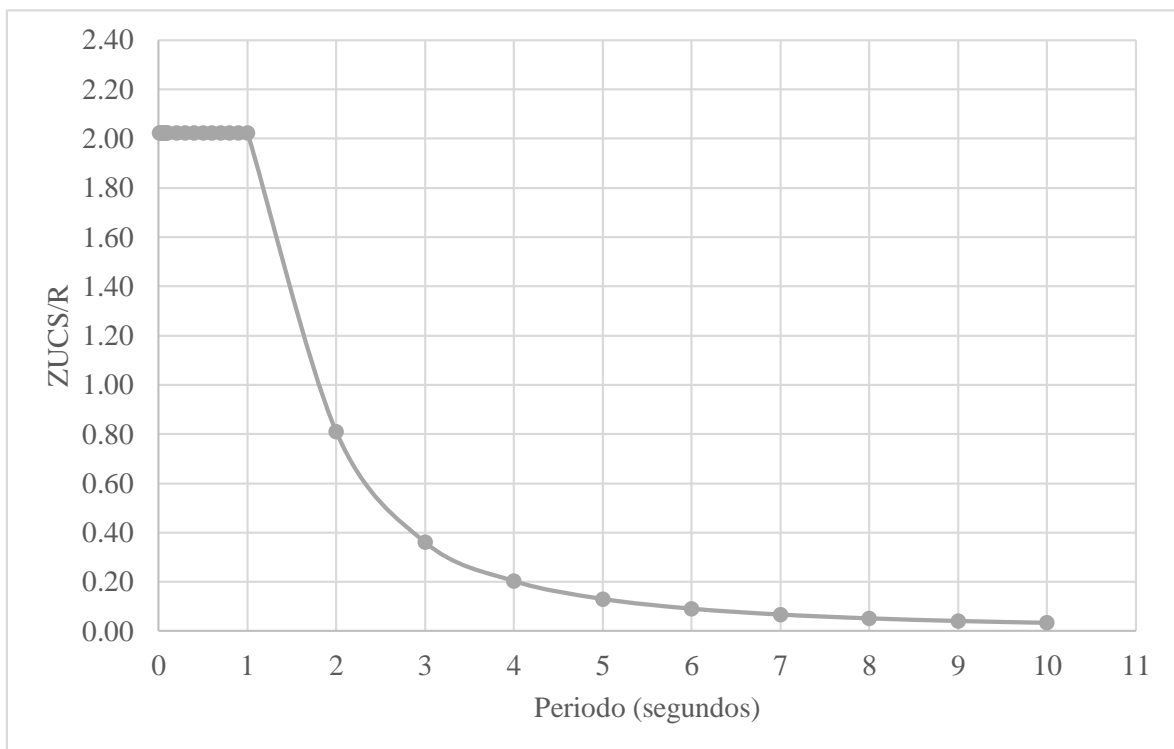
<b>ZUS/R=</b>	0.08
---------------	------

<b>T</b>	<b>S<sub>a</sub></b>	<b>C</b>
0.01	2.02	2.50
0.02	2.02	2.50
0.03	2.02	2.50
0.04	2.02	2.50
0.05	2.02	2.50
0.06	2.02	2.50
0.07	2.02	2.50
0.08	2.02	2.50
0.09	2.02	2.50
0.1	2.02	2.50
0.2	2.02	2.50
0.3	2.02	2.50
0.4	2.02	2.50
0.5	2.02	2.50
0.6	2.02	2.50
0.7	2.02	2.50
0.8	2.02	2.50
0.9	2.02	2.50
1	2.02	2.50
2	0.81	1.00
3	0.36	0.44
4	0.20	0.25

**Gráfica IV-1. Análisis dinámico - espectro de pseudo aceleración (SX)**



**Gráfica IV-2. Análisis dinámico - espectro de pseudo aceleración (SY)**



#### 4.2.8. Diseño de elementos estructurales

El diseño de los elementos estructurales tales como: columnas, vigas, losas, cimentación, escalera, entre otros; está fundamentado en la teoría estipulada por la norma E060 “Concreto Armado” del Reglamento Nacional de Edificaciones [28].

##### 4.2.8.1. Diseño de Vigas

Se detalla el diseño, cuyo procedimiento será seguido para todas las vigas del edificio, del tramo 01 de la viga del eje 1, nivel 03,

**Dado Mu > Calcular As**

TRAMO	NUDO/CLARO	b	h	d'
		cm	cm	cm
01	2	30	60	6.34
		30	60	6.34
	CLARO	30	60	6.34
		30	60	6.34
	3	30	60	6.34
		30	60	6.34

<b>f<sub>c</sub> =</b>	280	Kg/cm <sup>2</sup>	<b>TIPO DE REFUERZO</b>		
<b>f<sub>y</sub> =</b>	4200	Kg/cm <sup>2</sup>	SR	SIMPLEMENTE	
<b>φ =</b>	0.9		DR	DOBLEMENTE	
<b>Recub.</b>	4	cm			
<b>As long</b>	3/4	pulg			
<b>As trans</b>	3/8	pulg			
<b>Sismicidad</b>	A				
<b>Ecu</b>	0				
<b>ME acero</b>	2100000				
<b>β<sub>1</sub> =</b>	0.85				
<b>Sismicidad</b>	0.50				
<b>E<sub>y</sub></b>	0.0021				

Acero	d''	d'
1 capa	6.34	6.34
2 capas	8.06	8.06

M. ELASTICIDAD	
ME	2100000
ME	2000000

SÍMBOLO	SISMICIDAD	FACTOR
M	MODERADA	0.75
A	ALTA	0.5

Barra N°	ø pulg	ø cm	Peso (kg/m)	Área (cm <sup>2</sup> )	Perim. (cm)
# 3	3/8	0.95	0.559	0.71	2.99
# 4	1/2	1.27	0.993	1.27	3.99
# 5	5/8	1.59	1.552	1.98	4.99
# 6	3/4	1.91	2.235	2.85	5.98
# 8	1	2.54	3.973	5.07	7.98

SIMPLEMENTE REFORZADA							
CAPAS	d''	M	Mu	$\rho b$	d	a	Asmin
#	cm		ton.m		cm	cm	cm2
1 capa	6.34	M(+)	1868679.89	0.029	53.66	5.73	5.37
1 capa	6.34	M(+)	1268347.84	0.029	53.66	3.81	5.37
1 capa	6.34	M(+)	1119956.33	0.029	53.66	3.35	5.37
1 capa	6.34	M(+)	1119956.33	0.029	53.66	3.35	5.37
1 capa	6.34	M(+)	1430130.49	0.029	53.66	4.32	5.37
1 capa	6.34	M(+)	1698726.44	0.029	53.66	5.18	5.37

SIMPLEMENTE REFORZADA							TIPO
a min	Mumin	Asmax	a max	Mumax	$\rho$ máx	As	
cm	ton.m	cm2	cm	ton.m		cm2	
3.16	1056251.8	23.26	13.68	4116110.0	0.014	9.73	SR
3.16	1056251.8	23.26	13.68	4116110.0	0.014	6.48	SR
3.16	1056251.8	23.26	13.68	4116110.0	0.014	5.70	SR
3.16	1056251.8	23.26	13.68	4116110.0	0.014	5.70	SR
3.16	1056251.8	23.26	13.68	4116110.0	0.014	7.35	SR
3.16	1056251.8	23.26	13.68	4116110.0	0.014	8.80	SR

Dado  $A_s$  >> Calcular  $M_u$

DATOS DE ENTRADA							
TRAMO	NUDO/CLARO	b	h	d'	CAPAS	d''	d
		cm	cm	cm		cm	cm
01	2	30	60	6.03	1 capa	6.34	53.66
		30	60	6.03	1 capa	6.34	53.66
	CLARO	30	60	6.03	1 capa	6.34	53.66
		30	60	6.03	1 capa	6.34	53.66
	3	30	60	6.03	1 capa	6.34	53.66
		30	60	6.03	1 capa	6.34	53.66

SIMPLEMENTE REFORZADA					
REFUERZO	$A_s$	a	c	M	$M_u$
		cm	cm		(Kgf.cm)
SR	11.401	6.706	7.890	M(+)	2167833
SR	7.680	4.518	5.315	M(+)	1492048
SR	5.700	3.353	3.945	M(+)	1120044
SR	5.700	3.353	3.945	M(+)	1120044
SR	7.680	4.518	5.315	M(+)	1492048
SR	9.659	5.682	6.685	M(+)	1855341

Cálculo de longitud de bastones y longitud de desarrollo

LONGITUD DE BASTONES Y LONGITUD DE DESARROLLO					
TIPO DE ESFUERZO	$f_c$ (Mpa)	$f_y$ (Mpa)	$\omega_t$	$\omega_e$	$\lambda$
	T	28.00	420.00	1.30	1.00
C	28.00	420.00	1.30	1.00	1.00
C	28.00	420.00	1.30	1.00	1.00
T	28.00	420.00	1.30	1.00	1.00
T	28.00	420.00	1.30	1.00	1.00
C	28.00	420.00	1.30	1.00	1.00

LONGITUD DE BASTONES Y LONGITUD DE DESARROLLO					
BASTÓN	db	Ld (m)	La'(m)	La(m)	LB(m)
NO	3/4		1.3		
NO	5/8		0.8		
NO	-				
NO	-				
NO	5/8		0.55		
NO	5/8		0.8		

### Datos entrantes para diseño de cortante

$f_c$	$b$	$h$	$d$	$L$	$V$
kg/cm <sup>2</sup>	m	m	m	m	tn
280	0.30	0.60	0.54	3.78	11.67

### Cálculo de cortantes de diseño

Superior (-)	Superior (+)	Inferior (-)	Inferior (+)
tn.m	tn.m	tn.m	tn.m
21.68	14.92	14.92	18.55

PRIMER ESTADO				
$V_{ab} =$	$V_{ba} =$	Máx V	Mín V	$d'$
tn	tn	tn	tn	m
22.32	-1.03	22.32	1.03	3.59

SEGUNDO ESTADO				
$V_{ab} =$	$V_{ba} =$	Máx V	Mín V	$d''$
tn	tn	tn	tn	m
3.78	-19.57	19.57	3.78	3.23
-12.73	-25.28	25.28	12.73	1.08

$V_u$	$V_{u1}$	$V_{u2}$	$V_{u3}$
Tn	Tn	Tn	Tn
22.32	18.59	14.03	12.21
25.28	14.63	1.62	12.21

### Diseño por cortante

Datos de estribaje a usar				
db (in)	db (cm)	Nº ramas	As Ø (cm <sup>2</sup> )	Av (cm <sup>2</sup> )
3/8	0.95	2	0.71	1.43

ZONA EN CONFINAMIENTO				
Vu (a "d" de la cara)		Resistencia al corte		
Tn	Kg	Vn (Kg)	Vc (Kg)	Vs (Kg)
18.59	18589	21869	<b>14367.13</b>	7502

ZONA EN CONFINAMIENTO					
$\emptyset.Vc$	$\emptyset.Vc/2$	$Vn > \emptyset.Vc$	CASO 1	CASO 2	CASO 3
Kg	Kg	Kg			
12212.06	6106.03	Cumple	No cumple	No Cumple	Cumple

ZONA EN CONFINAMIENTO							
CASO	CASO A	CASO B	CASO C	CASO	S calc (cm)	S máx cm	S usar cm
CASO 3	Cumple	No Cumple	No Cumple	CASO A	27.00	13.50	<b>12.50</b>

DESPUES DE ZONA EN CONFINAMIENTO				
Vu (a "d" de la cara)		Resistencia al corte		
Tn	Kg	Vn (Kg)	Vc (Kg)	Vs (Kg)
14.03	14032.41	16508.72	14367.13	2141.59

DESPUES DE ZONA EN CONFINAMIENTO					
$\emptyset.Vc$	$\emptyset.Vc/2$	$Vn > \emptyset.Vc$	CASO 1	CASO 2	CASO 3
Kg	Kg	Kg			
12212.06	6106.03	Cumple	No cumple	No Cumple	Cumple

DESPUES DE ZONA EN CONFINAMIENTO							
CASO	CASO A	CASO B	CASO C	CASO	S calc (cm)	S máx cm	S usar cm
CASO 3	Cumple	No Cumple	No Cumple	CASO A	27.00	27.00	<b>25.00</b>

## Distribución de estribos

Eje		Tra mo	Zona de confin. 2h (cm)	Long. de la viga (cm)	Espacio para R/ estribos (cm)
-	-	-	(cm)	(cm)	(cm)
X	A	2-3	120	<b>378</b>	68

DISTRIBUCIÓN DE ESTRIBOS												
db	1° Estribo Max			S en zona de confinam.			Resto Fuera del confinam.					
in	N°	@	S (cm)	N°	@	S (cm)	N°	@	S (cm)	N°	@	S (cm)
3/8	1	@	5	12	@	10.0	2	@	15	2.0	@	25

#### 4.2.8.2. Diseño de viguetas

Se detalla el diseño, cuyo procedimiento será seguido para todas las losas aligeradas del edificio, del paño 01, nIvel 01,

INGRESAR DATOS			PROPIEDADES GEOMÉTRICAS DE BARRAS DE ACERO				
$f'c =$	210	Kg/cm <sup>2</sup>	Barra N°	$\phi$	$\phi$	Peso	Área
$f_y =$	4200	Kg/cm <sup>2</sup>		pulg	cm	(kg/m)	(cm <sup>2</sup> )
$\phi =$	0.9		2	1/4	0.6	0.37	0.3
Recub.	2	cm	3	3/8	1.0	0.56	0.7
As long	3/8	pulg	4	1/2	1.3	0.99	1.3
As trans	0	pulg	5	5/8	1.6	1.55	2.0
Sismicidad	M		6	3/4	1.9	2.24	2.9
Sismicidad	0.7500						
ME acero	2100000						
Ecu	0.003						
$E_y$	0.002						
$\beta_1 =$	0.85						
Si	30	cm					
Si+1	350	cm					
Ln	350	cm					
Capas	1 capa						

SÍMBOLO	SISMICIDAD	FACTOR
M	MODERADA	0.75
A	ALTA	0.5

MOMENTO	UBICACIÓN	USAR
M(+)	CLARO	b
M(-)	NUDO	bw

Acero	d"	
1 capa	2.48	cm
2 capas	4.22	cm

M. ELASTICIDAD	
ME	2100000
ME	2000000

TIPO DE VIGA	
VIGA T INTERIOR	
VIGA T AISLADA	
VIGA EN L	

DATOS DE LA SECCIÓN						ESFUERZO	
PAÑO	NUDO/CLARO	b	h	bw	hf	M	Mu
		cm	cm	cm	cm		(Kgf.cm)
1	2	40	25	40	5	M(-)	320000
1	2	40	25	10	5	M(+)	78000
1	2	40	25	10	5	M(-)	81000

DATOS ENTRANTES		
$\rho_b$	d	a
adim	cm	cm
0.022	22.52	2.332
0.022	22.52	0.546
0.022	22.52	2.362

CONDICIONES GEOMÉTRICAS	
TIPO DE VIGA	
VIGA T INTERIOR	
CONDICIÓN 1	OK
CONDICIÓN 2	OK
CONDICIÓN 3	OK

DISEÑO FLEXIÓN								
Diseño	Asmin	a min	Mumin	Asmax	a max	Mumax	$\rho$ máx	As
	cm <sup>2</sup>	cm	(Kgf.cm)	cm <sup>2</sup>	cm	(Kgf.cm)	adim	cm <sup>2</sup>
VIGA REC	4.35	2.56	349471.73	14.65	8.62	1008481.30	0.016	4.35
VIGA REC	0.54	0.32	45987.05	14.65	8.62	1008481.30	0.016	0.93
VIGA REC	1.09	0.64	91316.07	14.65	8.62	1008481.30	0.016	1.09

CANTIDAD Y NÚMERO DE BARRAS					
N de Barras					As
3/8	1/2	5/8	3/4	1	(cm <sup>2</sup> )
	2	1			4.51
2					1.43
2					1.43

OK

OK

OK

VERIFICACIÓN CORTANTE					
Vu	f <sub>c</sub>	b	d	φ Vn	Verif
ton	kg/cm <sup>2</sup>	cm	cm	ton	ton
1.24	210	40	22.52	5.88	OK
0.08	210	40	22.52	5.88	OK
0.96	210	40	22.52	5.88	OK

ACERO TEMPERATURA (Ast)								
ρ <sub>t</sub>	b	h	As t	Diámetro	Área	Barras	S calc	S real
adim	cm	cm	cm <sup>2</sup>	cm	cm <sup>2</sup>	#	cm	cm
0.0018	100	5	0.90	1/4	0.32	2.84	35.19	25.00
0.0018	100	5	0.90	1/4	0.32	2.84	35.19	25.00
0.0018	100	5	0.90	1/4	0.32	2.84	35.19	25.00

LONGITUD DE DESARROLLO									
ESFUERZO	ω <sub>t</sub>	ω <sub>e</sub>	λ	BASTÓN	db	Ld	La'	La	LB
					pulg	m	m	m	m
T	1.00	1.00	1.00	SÍ	3/8	0.30	1.25	1.48	1.48
C	1.00	1.00	1.00	NO					
T	1.00	1.00	1.00	SÍ	3/8	0.30	1.25	1.48	1.48

### 4.2.8.3. Diseño de columnas

#### Predimensionamiento de columnas

C	AT	Pisos	Pu	f <sub>c</sub>	Tipo	Ag min	b	h	h
-	m <sup>2</sup>	#	kg	kg/cm <sup>2</sup>	-	cm <sup>2</sup>	cm	cm	cm
1	5.91	11	65010	280	E	663.37	30.00	22.11	50.00
2	11.99	11	131890	280	E	1345.82	30.00	44.86	50.00
3	8.55	11	94050	280	E	959.69	30.00	31.99	50.00
4	13.28	11	146080	280	E	1490.61	30.00	49.69	50.00
5	26.93	11	296230	280	E	3022.76	30.00	100.76	100.00
6	19.18	11	210980	280	E	2152.86	30.00	71.76	70.00
7	7.19	11	79090	280	E	807.04	30.00	26.90	50.00
8	11.44	11	125840	280	E	1284.08	30.00	42.80	50.00
9	18.52	11	203720	280	E	2078.78	30.00	69.29	70.00
10	16.40	11	180400	280	E	1840.82	30.00	61.36	60.00
11	23.76	11	261360	280	E	2666.94	30.00	88.90	90.00
12	9.47	11	104170	280	E	1062.96	30.00	35.43	40.00
13	8.93	11	98230	280	E	1002.35	30.00	33.41	40.00
14	8.57	11	94270	280	E	961.94	30.00	32.06	50.00
15	10.91	11	120010	280	E	1224.59	30.00	40.82	40.00
16	25.36	11	278960	280	E	2846.53	30.00	94.88	90.00
17	25.04	11	275440	280	E	2810.61	30.00	93.69	90.00
18	9.00	11	99000	280	E	1010.20	30.00	33.67	50.00
19	9.72	11	106920	280	E	1091.02	30.00	36.37	50.00
20	18.09	11	198990	280	E	2030.51	30.00	67.68	70.00
21	17.79	11	195690	280	E	1996.84	30.00	66.56	70.00
22	22.03	11	242330	280	E	2472.76	30.00	82.43	80.00
23	8.26	11	90860	280	E	927.14	30.00	30.90	50.00
24	7.00	11	77000	280	E	785.71	30.00	26.19	50.00
25	10.41	11	114510	280	E	1168.47	30.00	38.95	50.00
26	3.90	11	42900	280	E	437.76	30.00	14.59	50.00

#### Diseño de columnas

Se detalla el diseño, cuyo procedimiento será seguido para todas las columnas del edificio, de la columna 01, nivel 03,

#### PROPIEDADES GEOMÉTRICAS Y RESISTENCIA DE CONCRETO

f <sub>c</sub>	b	h
kg/cm <sup>2</sup>	cm	cm
280	30	80

FRAME	CARGA	LOC	LOC	P	V2	V3	M2	M3
#		m	m	ton	ton	ton	ton.m	ton.m
285	DEAD	a	0.30	82.75	-6.48	0.30	0.31	-11.27
		b	1.40	82.12	-6.48	0.30	-0.01	-4.15
		c	2.50	81.49	-6.48	0.30	-0.34	2.98
	VIVA	a	0.30	12.89	-1.72	0.13	0.14	-2.58
		b	1.40	12.89	-1.72	0.13	-0.01	-0.69
		c	2.50	12.89	-1.72	0.13	-0.15	1.20
	SXD	a	0.30	71.53	19.26	1.62	1.94	32.45
		b	1.40	71.53	19.26	1.62	0.16	11.28
		c	2.50	71.53	19.26	1.62	1.62	9.97
	SYD	a	0.30	17.48	3.15	8.38	9.94	4.45
		b	1.40	17.48	3.15	8.38	0.72	1.01
		c	2.50	17.48	3.15	8.38	8.49	2.50

### Combinaciones de Pu y Mu

COMBINACION	P	V2	V3	M2	M3
	ton	ton	ton	ton.m	ton.m
1.4 CM +1.7 CV	137.77	-11.99	0.64	0.67	-20.16
	136.88	-11.99	0.64	-0.03	-6.97
	136.00	-11.99	0.64	-0.73	6.22
1.25 (CM+CV)+SX	191.09	9.02	2.15	2.51	15.14
	190.30	9.02	2.15	0.14	5.24
	189.51	9.02	2.15	1.01	15.20
1.25 (CM+CV)-SX	48.02	-29.51	-1.08	-1.38	-49.76
	47.23	-29.51	-1.08	-0.19	-17.32
	46.44	-29.51	-1.08	-2.23	-4.74
0.9CM +SX	146.01	13.43	1.89	2.23	22.31
	145.44	13.43	1.89	0.15	7.55
	144.87	13.43	1.89	1.31	12.65
0.9CM -SX	2.95	-25.09	-1.35	-1.66	-42.60
	2.37	-25.09	-1.35	-0.18	-15.01
	1.80	-25.09	-1.35	-1.93	-7.29

COMBINACION	P	V2	V3	M2	M3
	ton	ton	ton	ton.m	ton.m
1.25 (CM+CV)+SY	137.04	-7.09	8.91	10.50	-12.86
	136.25	-7.09	8.91	0.70	-5.03
	135.46	-7.09	8.91	7.88	7.73
1.25 (CM+CV)-SY	102.07	-13.40	-7.84	-9.38	-21.75
	101.28	-13.40	-7.84	-0.75	-7.05
	100.49	-13.40	-7.84	-9.11	2.73
0.9CM +SY	91.96	-2.68	8.65	10.22	-5.70
	91.39	-2.68	8.65	0.71	-2.72
	90.82	-2.68	8.65	8.19	5.19
0.9CM -SY	57.00	-8.98	-8.11	-9.66	-14.59
	56.42	-8.98	-8.11	-0.74	-4.74
	55.85	-8.98	-8.11	-8.80	0.18

<b>Máx</b>	ton/ton.m	191.09	29.51	8.91	10.50	22.31
<b>Min</b>	ton/ton.m	1.80	13.43	8.11	-9.66	-49.76

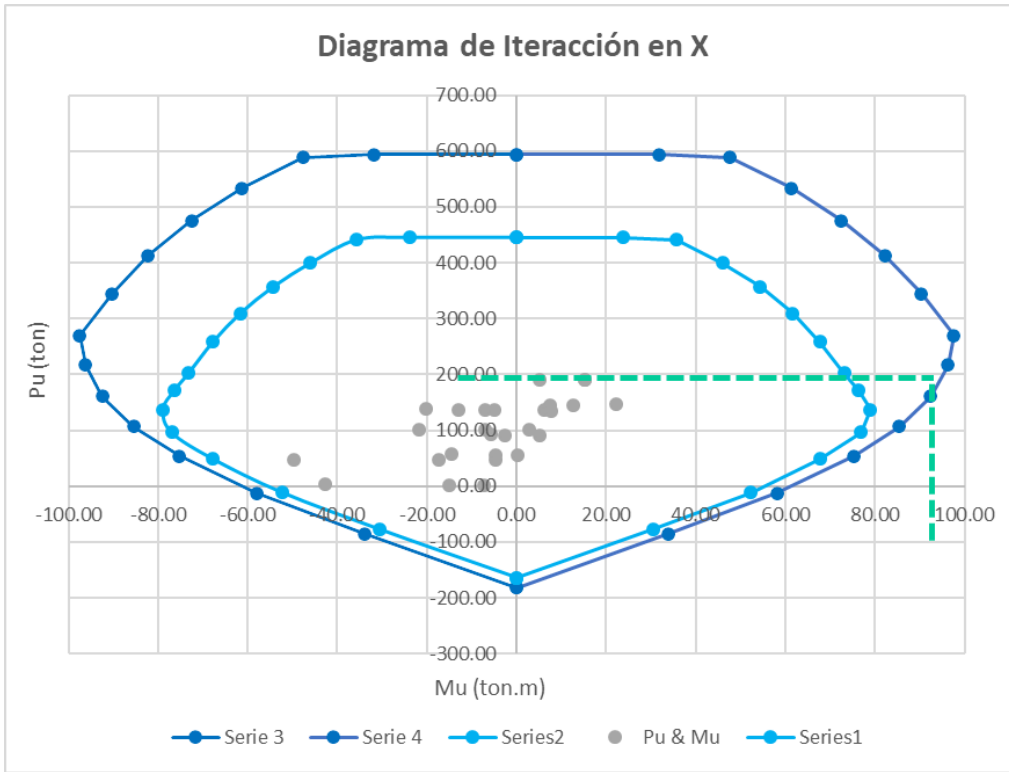
## Puntos de Diagrama de Interacción de Diseño

Puntos	curva 1		curva 13		curva 7		curva 19	
	0 °		180 °		90 °		270 °	
	PU	MU3	PU	MU3	PU	MU2	PU	MU2
	tn	tn.m	tn	tn.m	tn	tn.m	tn	tn.m
1	445.65	0.00	445.65	0.00	445.65	0.00	445.65	0.00
2	445.65	23.82	445.65	-23.82	445.65	8.36	445.65	-8.36
3	441.50	35.73	441.50	-35.73	434.91	13.03	434.91	-13.03
4	399.96	45.98	399.96	-45.98	392.07	16.61	392.07	-16.61
5	356.81	54.40	356.81	-54.40	343.40	19.73	343.40	-19.73
6	309.81	61.62	309.81	-61.62	291.13	22.19	291.13	-22.19
7	258.79	67.73	258.79	-67.73	231.10	23.83	231.10	-23.83
8	202.78	73.15	202.78	-73.15	157.99	24.94	157.99	-24.94
9	171.77	76.33	171.77	-76.33	129.81	24.82	129.81	-24.82
10	137.43	78.92	137.43	-78.92	94.74	24.30	94.74	-24.30
11	96.18	76.93	96.18	-76.93	48.49	22.10	48.49	-22.10
12	48.91	67.77	48.91	-67.77	-2.44	17.53	-2.44	-17.53
13	-11.24	52.27	-11.24	-52.27	-82.75	9.81	-82.75	-9.81
14	-77.03	30.58	-77.03	-30.58	-134.06	4.18	-134.06	-4.18
15	-163.62	0.00	-163.62	0.00	-163.62	0.00	-163.62	0.00

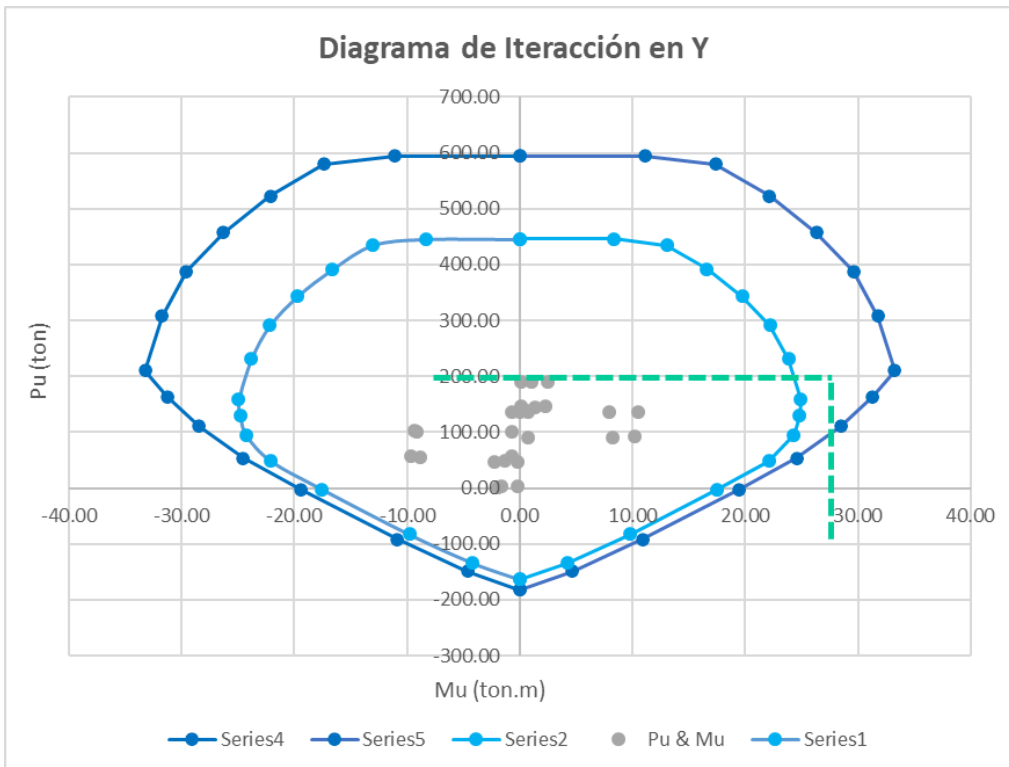
## Puntos de Diagrama de Interacción Nominal

Puntos	curva 1		curva 13		curva 7		curva 19	
	0 °		180 °		90 °		270 °	
	PU	MU3	PU	MU3	PU	MU2	PU	MU2
	tn	tn.m	tn	tn.m	tn	tn.m	tn	tn.m
594.19	0.00	0.00	594.19	0.00	594.19	0.00	594.19	0.00
594.19	31.76	31.76	594.19	-31.76	594.19	11.15	594.19	-11.15
588.66	47.65	47.65	588.66	-47.65	579.88	17.38	579.88	-17.38
533.28	61.30	61.30	533.28	-61.30	522.76	22.14	522.76	-22.14
475.75	72.54	72.54	475.75	-72.54	457.87	26.30	457.87	-26.30
413.09	82.16	82.16	413.09	-82.16	388.17	29.58	388.17	-29.58
345.06	90.30	90.30	345.06	-90.30	308.13	31.77	308.13	-31.77
270.37	97.53	97.53	270.37	-97.53	210.65	33.26	210.65	-33.26
216.54	96.23	96.23	216.54	-96.23	163.65	31.29	163.65	-31.29
160.97	92.43	92.43	160.97	-92.43	110.97	28.46	110.97	-28.46
106.87	85.48	85.48	106.87	-85.48	53.88	24.56	53.88	-24.56
54.34	75.30	75.30	54.34	-75.30	-2.71	19.48	-2.71	-19.48
-12.49	58.08	58.08	-12.49	-58.08	-91.95	10.89	-91.95	-10.89
-85.58	33.98	33.98	-85.58	-33.98	-148.96	4.64	-148.96	-4.64
-181.80	0.00	0.00	-181.80	0.00	-181.80	0.00	-181.80	0.00

### Diagrama de Iteración – Análisis en X



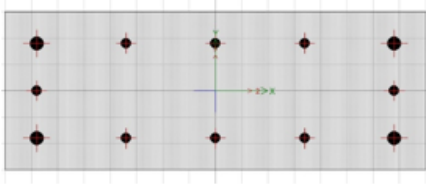
### Diagrama de Iteración – Análisis en Y



## Distribución de acero

Usar 

CE	C 80x30 - 4φ1" + 8φ3/4"
----	-------------------------



Barra	Ø	Ø	Peso	Área	Perím.
#	pulg	cm	(kg/m)	(cm <sup>2</sup> )	(cm)
3	3/8	0.95	0.56	0.71	2.99
4	1/2	1.27	0.99	1.27	3.99
5	5/8	1.59	1.55	1.98	4.99
6	3/4	1.91	2.24	2.85	5.98
8	1	2.54	3.97	5.07	7.98

### PROPIEDADES GEOMÉTRICAS Y RESISTENCIA DE CONCRETO

f <sub>c</sub>	b	h
kg/cm <sup>2</sup>	cm	cm
280	30	80

### VERIFICACIÓN DE RESISTENCIA DE DISEÑO (Art. 10.3.6)

Pu	Ag	Ast	OPn máx	Verif
ton	cm <sup>2</sup>	cm <sup>2</sup>	ton	ton
191.09	2400.00	43	415.43	Cumple

### VERIFICACIÓN DE CUANTÍA (Art.10.9.1)

Cuantía	Verif
0.018	Cumple

## Diseño Cortante

### DATOS DE LA SECCIÓN

Ø	0.85	
f <sub>c</sub> =	280	Kg/cm <sup>2</sup>
f <sub>y</sub> =	4200	Kg/cm <sup>2</sup>
Recub.	4.00	cm
As long	3/4	pulg
As trans	3/8	pulg
b	30	cm
h	80	cm

Capas	d'
#	cm
1 capa	6.34
2 capas	8.06

Diámetro	Estribo 135°
pulg	cm
3/8	7.5
1/2	10
5/8	12.5

Barra N°	Ø	Ø	Peso	Área	Perím.
	pulg	cm	(kg/m)	(cm <sup>2</sup> )	(cm)
3	3/8	0.95	0.56	0.71	2.99
4	1/2	1.27	0.99	1.27	3.99
5	5/8	1.59	1.55	1.98	4.99
6	3/4	1.91	2.24	2.85	5.98
8	1	2.54	3.97	5.07	7.98

DATOS DE SECCIÓN							
Piso	b	h	d	d'	As l	d1	d2
	cm	cm	cm	cm	pulg	cm	cm
3	30	80	73.66	6.34	3/4	23.66	73.66

ZONA EN CONFINAMIENTO							
Resistencia al corte					Verificación		
Mn	Hn	Vn	Vc	Vs	$\phi.Vc$	$\phi.Vc/2$	$Vn > \phi.Vc$
tn.m	m	kg	kg	kg	kg	kg	kg
93.00	2.50	74400.00	19596.83	54803.17	19596.83	9798.41	Cumple

ZONA EN CONFINAMIENTO							
CASO 1	CASO 2	CASO 3	CASO	CASO A	CASO B	CASO C	CASO
No cumple	No Cumple	Cumple	CASO 3	No Cumple	Cumple	No Cumple	CASO B

ZONA EN CONFINAMIENTO				DESPUÉS		
Smax	S máx	S usar	Lo	S máx	S máx	S usar
cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm
10.00	16.09	10	80	30.00	16.09	15

DATOS DE ENTRADA				
Columna	Piso	Zona de confin.	Long. de la columna	Espacio para R/ estribos
-	-	(cm)	(cm)	(cm)
1	3	80	220	50

DISTRIBUCIÓN DE ESTRIBOS									
diam	1° Estribo M ax			S en zona de confinam.			Fuera de zona de confinam.		
pulg	N°	@	S (cm)	N°	@	S (cm)	N°	@	S (cm)
3/8	1	@	5	8	@	10	3.0	@	15

#### 4.2.8.4. Diseño de placas

##### 1. Predimensionamiento de longitud de placas

###### a) Por deformación

$$L = 1.42 \sqrt[3]{\frac{Vb \cdot h^2}{E \cdot t \cdot \Delta}} \quad >> \quad \text{Kg y cm}$$

$$Vb = (ZUCS)P$$

h: altura total de la placa

Δ: deriva permisible

(para concreto es 0.007)

Vb	11260.86	ton
Vb	11260856.25	kg
f'c	280.00	kg/cm <sup>2</sup>
E	250998.01	kg/cm <sup>2</sup>
t	30.00	cm
h	3040.00	cm
Δ	0.007	adim
L=	1781.41	cm
L=	17.82	m

###### b) Por corte

$$L = \frac{\% V}{0.8109 \cdot \sqrt{f'c} \cdot t}$$

% V	Porcentaje de cortante que absorberán las placas	
V	1876809.38	
%	0.80	
f'c	280.00	kg/cm <sup>2</sup>
t	30.00	cm
L=	3688.44	cm
L=	36.89	m

Se detalla el diseño, cuyo procedimiento será seguido para todas las placas del edificio, de la placa 01, nivel 01,

### 2. Verificación de diseño por flexión o flexocompresión

PLACA	NIVEL	TIPO	LARGO	ESPESOR
#	#		m	m
1.00	1.00	SCUT1	2.00	0.30

ÁREA	CARGA	COMBO	P MÁX	DISEÑO
m2	ton	ton	ton	
0.60	296.79	1.25 (CM+CV)+SX	168.00	FLEXCOMP

### 3. Verificación si tiene compresiones y/o tracciones

Barra	ø	ø	Peso	Área	Perím.
#	pulg	cm	(kg/m)	(cm2)	(cm)
3	3/8	0.95	0.56	0.71	2.99
4	1/2	1.27	0.99	1.27	3.99
5	5/8	1.59	1.55	1.98	4.99
6	3/4	1.91	2.24	2.85	5.98
8	1	2.54	3.97	5.07	7.98

N de Barras					As
3/8	1/2	5/8	3/4	1	(cm2)
		14			27.71

f'c =	280 kg/cm2
fy	4200 kg/cm2
Ag =	6000 cm
Lw	200 cm
d =	160 cm
As	27.71 cm <sup>2</sup>
φ =	0.7
hw	280 cm

#### COMPRESION

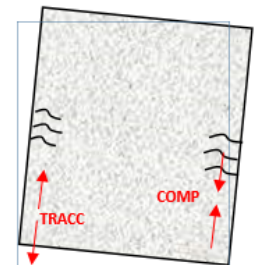
$$C = \frac{P}{2} + \frac{M}{d}$$

$$\phi P_n = \phi \{0.80 [0.85 f'c (A_g - A_s) + f_y A_s]\}$$

#### TRACCIÓN

$$T = \frac{P}{2} - \frac{M}{d}$$

$$T \leq \frac{A_s f_y}{2}$$



PLACAS	COMBO	Pu	Mu	Cu	φPn	VERIF	Tu	Tn	VERIF
SCUT		ton	ton.m	ton	ton		ton	ton	
SCUT1	1.4 CM +1.7 CV	210.08	203.51	106.31	861.16	COMPRESIÓN	22.15	116.38	TRACCIÓN
SCUT1	1.25 (CM+CV)+SX	296.79	284.53	150.17	861.16	COMPRESIÓN	29.44	116.38	TRACCIÓN
SCUT1	1.25 (CM+CV)-SX	67.95	68.91	34.40	861.16	COMPRESIÓN	9.10	116.38	TRACCIÓN
SCUT1	0.9CM +SX	228.23	218.29	115.48	861.16	COMPRESIÓN	22.31	116.38	TRACCIÓN
SCUT1	0.9CM -SX	-0.61	2.67	-0.29	861.16	COMPRESIÓN	1.97	116.38	TRACCIÓN
SCUT1	1.25 (CM+CV)+SY	275.94	257.45	139.58	861.16	COMPRESIÓN	22.94	116.38	TRACCIÓN
SCUT1	1.25 (CM+CV)-SY	88.79	95.98	45.00	861.16	COMPRESIÓN	15.59	116.38	TRACCIÓN
SCUT1	0.9CM +SY	207.39	191.21	104.89	861.16	COMPRESIÓN	15.81	116.38	TRACCIÓN
SCUT1	0.9CM -SY	20.24	29.74	10.30	861.16	COMPRESIÓN	8.47	116.38	TRACCIÓN

#### 4. Verificación de necesidad de confinamiento en extremos

$$\sigma = \frac{Pu}{A} \pm \frac{M.L/2}{I}$$

PLACAS	COMBO	L	t	L/2	A	I	P	M	q1	q2	
SCUT		m	m	m	m2	m4	ton	ton.m	ton/m2	ton/m2	
SCUT1	1.4 CM +1.7 CV	2.00	0.30	1.00	0.60	0.20	210.08	203.51	1367.70	-667.42	CONFINAR
SCUT1	1.25 (CM+CV)+SX	2.00	0.30	1.00	0.60	0.20	296.79	284.53	1917.29	-928.00	CONFINAR
SCUT1	1.25 (CM+CV)-SX	2.00	0.30	1.00	0.60	0.20	67.95	68.91	457.80	-231.30	NO CONFINAR
SCUT1	0.9CM +SX	2.00	0.30	1.00	0.60	0.20	228.23	218.29	1471.82	-711.05	CONFINAR
SCUT1	0.9CM -SX	2.00	0.30	1.00	0.60	0.20	-0.61	2.67	12.33	-14.36	NO CONFINAR
SCUT1	1.25 (CM+CV)+SY	2.00	0.30	1.00	0.60	0.20	275.94	257.45	1747.17	-827.36	CONFINAR
SCUT1	1.25 (CM+CV)-SY	2.00	0.30	1.00	0.60	0.20	88.79	95.98	627.91	-331.94	CONFINAR
SCUT1	0.9CM +SY	2.00	0.30	1.00	0.60	0.20	207.39	191.21	1301.71	-610.42	CONFINAR
SCUT1	0.9CM -SY	2.00	0.30	1.00	0.60	0.20	20.24	29.74	182.45	-114.99	NO CONFINAR

CONDICIONES DE CONFINAMIENTO

CONDICIÓN 1  $c \geq \frac{L}{600(\delta u/hw)}$

CONDICIÓN 2  $\sigma \text{ compresión máx} \geq 0.20 f'c$

deriva	$0.20 f'c$	L	c	CONDICIONES		CONCLUSIÓN
adim	ton/m2	cm	cm	CONDICIÓN 1	CONDICIÓN 2	-
0.0053	560.00	200.00	80	CUMPLE	CUMPLE	CONFINAR

5. Confinamiento

5.1. Longitud de confinamiento

c	b	lw	db long
cm	cm	cm	pulg
80.00	30.00	200.00	3/4

LONGITUD DE CONFINAMIENTO				
CONDICION	CONDICION 2	CONDICION 3	LONG.F	LONG usar
cm	cm	cm	cm	cm
60	40	30	60	60

5.2. Diámetros de estribos de confinamiento

db long	db trans
pulg	pulg
3/4	3/8

5.2. Espaciamiento de estribos de confinamiento

ESPACIAMIENTO EN ZONA DE CONFINAMIENTO				
CONDICION	CONDICION 2	CONDICION 3	S max	S usar
cm	cm	cm	cm	cm
19.05	30.00	25	19.05	20

6. Diseño del refuerzo horizontal y vertical en el cuerpo de la placa

6.1. Cálculo de alfa

COND 1  $\frac{Vu}{\phi} \leq 0.27 \sqrt{f'c} . bw . d$

COND 2  $\frac{Vu}{\phi} > 0.27 \sqrt{f'c} . bw . d$

COND 3  $\frac{Vu}{\phi} > 0.53 \sqrt{f'c} . bw . d$

$$\frac{Vu}{\phi} \leq 0.53 \sqrt{f'c} . bw . d$$

hw	lw	bw	d	alfa concreto
cm	cm	cm	cm	adim
280.00	200.00	30.00	160	0.53

hw/lw	alfa	f c	Vc	Vu/phi - Vc
adim	adim	kg	ton	ton
1.40	0.80	280.00	42.57	49.89

PLACAS	bw	d	f <sub>c</sub>	f <sub>y</sub>	V <sub>u</sub>	∅
TIPO	cm	cm	kg	kg/cm <sup>2</sup>	ton	adim
SCUT 1	30.00	160.00	280.00	4200.00	78.59	0.85

COND 1	COND 2	COND 3	TIPO DE CONDICIÓN
VERIF	VERIF	VERIF	
NO CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE	COND 3

PLACAS	S máx	A <sub>v</sub> h preliminar	S h preliminar	ρ preliminar	ρ mínima	ρ mínima a usar
NÚMERO	cm	cm <sup>2</sup>	cm	-	-	-
1.00	40.00	1.43	19.26	0.0025	0.0025	0.0025

N de Barras					As	S h final
3/8	1/2	5/8	3/4	1	(cm <sup>2</sup> )	cm
		2			3.96	30.00

S <sub>v</sub> máx	h total	ρ <sub>v</sub> preliminar	A <sub>v</sub> v req
cm	cm	-	cm <sup>2</sup> /m
40.00	280	0.0025	7.60

ρ h	ρ h
-	-
0.0044	OK

N de Barras					As
3/8	1/2	5/8	3/4	1	(cm <sup>2</sup> )
		2			3.96

S <sub>v</sub> req	S <sub>v</sub> usar
cm	cm
52.09	40.00

OK

ρ v	ρ v
-	-
0.0033	OK

PLACAS		COMBO	V
	TIPO		ton
1	SCUT 1	1.4 CM +1.7 CV	58.43
1	SCUT 1	1.25 (CM +CV) +SX	78.59
1	SCUT 1	1.25 (CM +CV) -SX	22.80
1	SCUT 1	0.9CM +SX	59.45
1	SCUT 1	0.9CM -SX	3.65
1	SCUT 1	1.25 (CM +CV) +SY	74.11
1	SCUT 1	1.25 (CM +CV) -SY	27.28
1	SCUT 1	0.9CM +SY	54.96
1	SCUT 1	0.9CM -SY	8.13

## 7.Verificación por deslizamiento

$$V_n = A_{vf} \cdot f_y \cdot u$$

### Valores de u

-Concreto colocado monolíticamente:	1.4 λ
-Concreto colocado contra concreto endurecido con sup. rugosa y tratada con aditivos epóxicos:	1.0 λ
-Idéntico al anterior, pero sin tratamiento:	<b>0.6 λ</b>
-Concreto anclado a acero laminado en caliente con conectores con cabeza:	0.7 λ

### Valores de λ

-Concreto normal:	<b>λ=1.00</b>
-Concreto liviano:	λ=0.85 (con arena de peso normal) λ=0.75 (con todo el agregado liviano)

$$u/\lambda = 0.6$$

$$\lambda = 1$$

PLACAS	b <sub>w</sub>	L <sub>w</sub>	f <sub>y</sub>
NÚMERO	cm	m	kg/cm <sup>2</sup>
SCUT1	30.00	2.00	4200.00

V <sub>u</sub>	∅	A <sub>vf</sub>	A <sub>vf</sub>
Kg	adim	cm <sup>2</sup> /L <sub>p</sub>	cm <sup>2</sup> /m
78593.03	0.85	36.69	18.35

N de Barras					As
3/8	1/2	5/8	3/4	1	(cm <sup>2</sup> )
		2			3.96

A <sub>vf</sub> - Usar	S	S usar
cm <sup>2</sup>	cm	cm
3.96	21.58	<b>20.00</b>

### COMPARACIÓN DE ESPACIAMIENTO: Estado normal versus Deslizamiento

PLACAS	Barras	Estado	Estado	Espaciamiento
TIPO	Diámetro	Normal	Deslizamiento	Final
N°	∅	S usar (cm)	S usar (cm)	S final (cm)
1	<b>5/8</b>	40.00	20	<b>20</b>

## 8.Verificación por Tracción y Compresión pura del acero en el borde

PLACAS	L	t	A <sub>g</sub>	f <sub>c</sub>	COMBO
NÚMERO	m	m	m <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	ton
SCUT1	2.00	0.30	0.60	280.00	1.25 (CM +CV) +SX

PU	MU	Esfuerzos en extremos de la placa		Verificación	
ton	M máx (ton.m)	Por Compresión T <sub>n</sub>	Por Tracción T <sub>r</sub>	Compresión t <sub>n</sub>	Comprobación
297	284.53	326.22	-29.44	610.62	OK

**C1CA7030-todos**

Factores de Corrección

**SISMOX 1.000**  
**SISMOY 1.000**

PLACA	NIVEL	SCUT	CARGA	P	V2	V3	M2	M3
#	#	#		ton	ton	ton	ton.m	ton.m
1	1	SCUT 1	DEAD	126.46	35.05	10.89	122.75	-14.84
		SCUT 1	VIVA	19.44	5.50	1.32	18.62	-1.74
		SCUT 1	SX D	114.42	27.90	4.87	107.81	4.51
		SCUT 1	SY D	93.57	23.42	9.25	80.73	10.93

COMBINACION	P	V2	V3	M2	M3
	ton	ton	ton	ton.m	ton.m
1.4 CM +1.7 CV	210.08	58.43	17.48	203.51	-23.74
1.25 (CM +CV)+SX	296.79	78.59	20.12	284.53	-16.22
1.25 (CM +CV)-SX	67.95	22.80	10.38	68.91	-25.24
0.9CM +SX	228.23	59.45	14.67	218.29	-8.85
0.9CM -SX	-0.61	3.65	4.93	2.67	-17.87
1.25 (CM +CV)+SY	275.94	74.11	24.50	257.45	-9.80
1.25 (CM +CV)-SY	88.79	27.28	6.00	95.98	-31.66
0.9CM +SY	207.39	54.96	19.05	191.21	-2.43
0.9CM -SY	20.24	8.13	0.55	29.74	-24.29

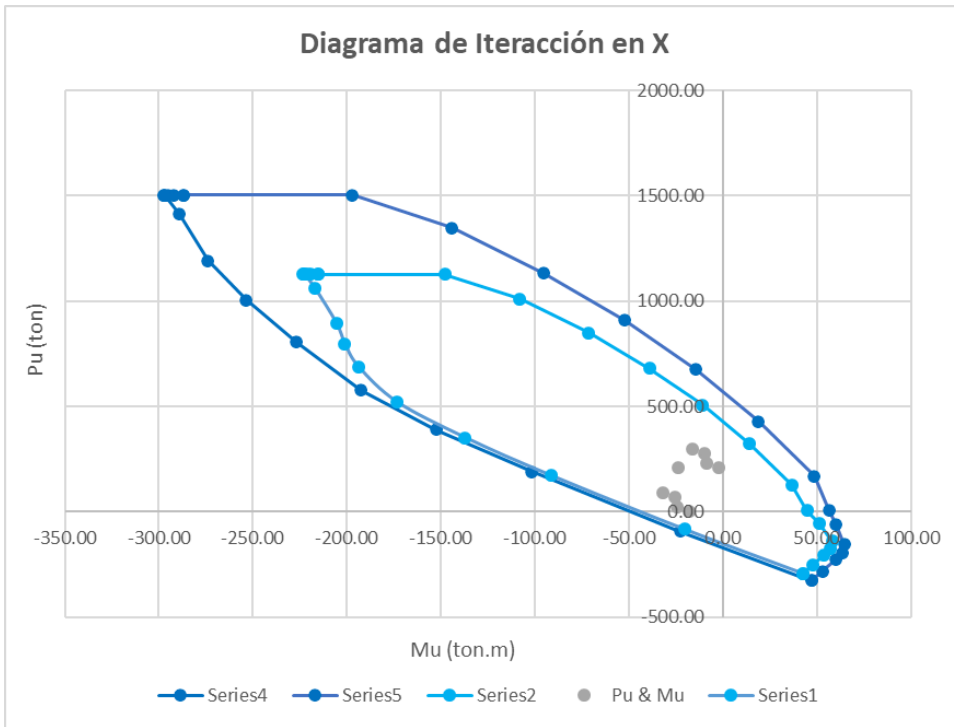
PU max.	296.79
V2 max=	78.59
V3 max=	24.50

## Puntos de Diagrama de Interacción de Diseño

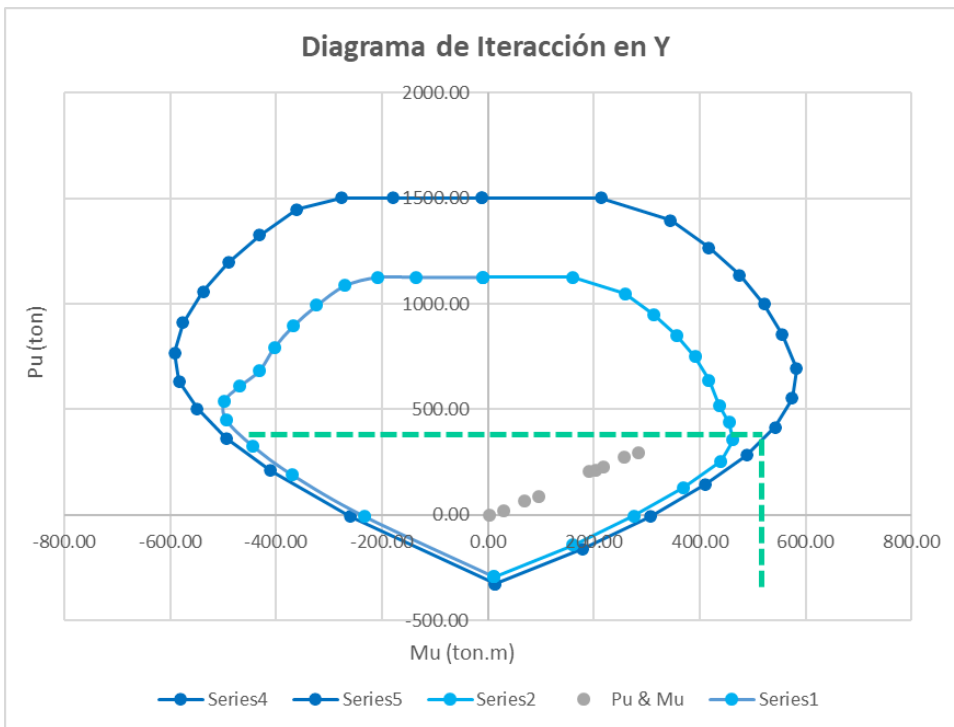
	curva 1		curva 13		curva 7		curva 19	
	0 °		180 °		90 °		270 °	
	PU	M U3	PU	M U3	PU	M U2	PU	M U2
	tn	tn.m	tn	tn.m	tn	tn.m	tn	tn.m
1	1127.07	-215.35	1127.07	-215.35	1127.07	-9.29	1127.07	-9.29
2	1127.07	-147.84	1127.07	-219.21	1127.07	159.85	1127.07	-134.92
3	1011.28	-108.17	1127.07	-221.26	1047.12	258.53	1127.07	-207.80
4	849.00	-71.46	1127.07	-222.64	950.21	313.08	1086.56	-270.61
5	681.56	-39.14	1127.07	-223.17	851.63	356.59	993.49	-323.72
6	506.96	-10.80	1127.07	-222.82	749.33	391.02	896.73	-367.79
7	322.03	14.21	1058.48	-216.90	639.17	417.30	794.45	-403.75
8	127.57	36.52	893.55	-205.53	519.20	437.36	683.65	-432.30
9	5.85	44.75	796.85	-201.07	438.00	455.90	609.71	-469.82
10	-52.76	51.31	686.90	-193.74	355.04	463.17	540.71	-498.03
11	-139.44	58.22	519.91	-173.29	255.11	439.52	451.91	-494.89
12	-174.24	57.04	351.75	-137.20	129.48	369.87	327.42	-444.91
13	-205.29	53.87	171.75	-91.56	-6.64	275.79	189.16	-369.23
14	-255.05	47.73	-83.82	-20.49	-144.23	160.91	-6.39	-233.58
15	-293.44	42.32	-293.44	42.32	-293.44	11.81	-293.44	11.81

	curva 1		curva 13		curva 7		curva 19	
	0 °		180 °		90 °		270 °	
	PU	M U3	PU	M U3	PU	M U2	PU	M U2
	tn	tn.m	tn	tn.m	tn	tn.m	tn	tn.m
1	1502.76	-287.13	1502.76	-287.13	1502.76	-12.38	1502.76	-12.38
2	1502.76	-197.12	1502.76	-292.28	1502.76	213.14	1502.76	-179.90
3	1348.37	-144.23	1502.76	-295.01	1396.16	344.70	1502.76	-277.07
4	1132.01	-95.28	1502.76	-296.86	1266.95	417.44	1448.74	-360.81
5	908.75	-52.19	1502.76	-297.56	1135.50	475.46	1324.65	-431.63
6	675.94	-14.40	1502.76	-297.09	999.10	521.36	1195.64	-490.39
7	429.37	18.95	1411.31	-289.20	852.23	556.41	1059.27	-538.34
8	170.09	48.69	1191.40	-274.04	692.27	583.15	911.54	-576.40
9	7.37	56.42	1004.56	-253.48	552.16	574.74	768.64	-592.29
10	-61.79	60.10	804.55	-226.92	415.85	542.50	633.32	-583.34
11	-154.93	64.69	577.68	-192.54	283.45	488.35	502.12	-549.88
12	-193.60	63.38	390.84	-152.44	143.87	410.97	363.80	-494.34
13	-228.10	59.86	190.83	-101.73	-7.38	306.44	210.18	-410.25
14	-283.39	53.04	-93.13	-22.77	-160.25	178.79	-7.10	-259.53
15	-326.04	47.02	-326.04	47.02	-326.04	13.13	-326.04	13.13

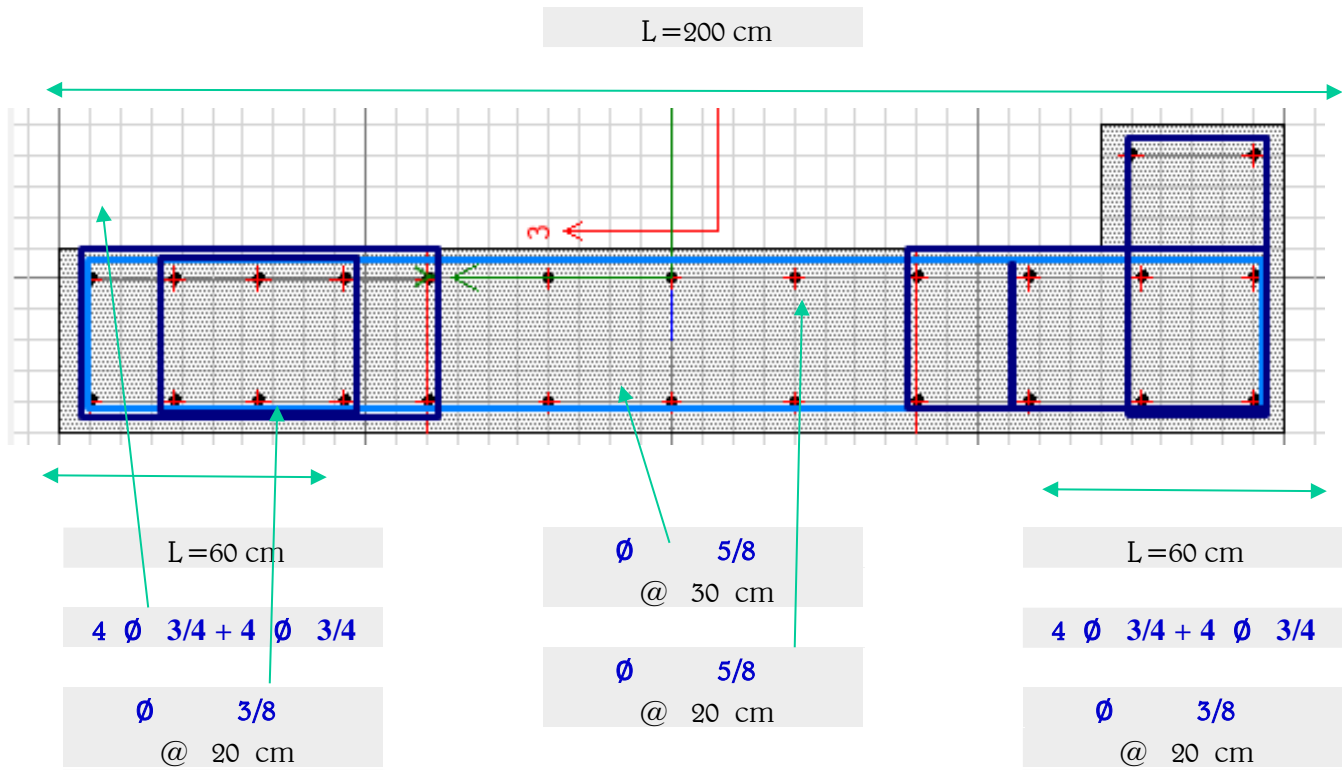
### Diagrama de Iteración – Análisis en X



### Diagrama de Iteración – Análisis en Y



# DETALLE DE MURO DE CORTE



#### 4.2.8.5. Diseño de losa maciza

##### Calculo de acero por flexión

Se detalla el diseño, cuyo procedimiento será seguido para todas las franjas de losas macizas existentes en el edificio, de la franja 5-6, Eje X con momentos negativos (-), de la losa maciza del sótano 01.

$f'c =$	210	Kg/cm <sup>2</sup>
$f_y =$	4200	Kg/cm <sup>2</sup>
$\phi =$	0.9	
Recub.	2	cm
As long	3/8	pulg
As trans	3/8	pulg
Sismicidad	A	
Ecu	0.003	
ME acero	2100000	
$\beta_1 =$	0.85	
Sismicidad	0.5	
$E_y$	0.0021	

Barra N°	$\phi$	$\phi$	Peso	Área	Perím.
	pulg	cm	(kg/m)	(cm <sup>2</sup> )	(cm)
8 mm	1/3	0.80		0.50	2.51
#3	3/8	0.95	0.559	0.71	2.99
#4	1/2	1.27	0.993	1.27	3.99
#5	5/8	1.59	1.552	1.979	4.99
#6	3/4	1.91	2.235	2.85	5.98

##### Dado $\mu >>>>>>>$ Calcular As

DATOS DE ENTRADA									SIMPLEMENTE REFORZADA		
Eje	Franja	b	h	d'	CAPAS	d'	M	M u	$\rho b$	d	a
		cm	cm	cm	#	cm		ton.m		cm	cm
5-6	Franja 5-6	100	15	2.47	1 capa	2.47	M(-)	0.03	0.022	12.53	0.01
		100	15	2.47	1 capa	2.47	M(-)	0.86	0.022	12.53	0.43
		100	15	2.47	1 capa	2.47	M(-)	0.00	0.022	12.53	0.00
		100	15	2.47	1 capa	2.47	M(-)	0.00	0.022	12.53	0.00
		100	15	2.47	1 capa	2.47	M(-)	0.00	0.022	12.53	0.00
		100	15	2.47	1 capa	2.47	M(-)	0.75	0.022	12.53	0.58
		100	15	2.47	1 capa	2.47	M(-)	0.00	0.022	12.53	0.00

SIMPLEMENTE REFORZADA								TIPO
As min	a min	M u min	As max	a max	M u max	$\rho$ máx	As	
cm <sup>2</sup>	cm	ton.m	cm <sup>2</sup>	cm	ton.m		cm <sup>2</sup>	
2.26	0.53	1.0	13.58	3.20	5.6	0.011	2.26	SR
2.26	0.53	1.0	13.58	3.20	5.6	0.011	2.26	SR
2.26	0.53	1.0	13.58	3.20	5.6	0.011	2.26	SR
2.26	0.53	1.0	13.58	3.20	5.6	0.011	2.26	SR
2.26	0.53	1.0	13.58	3.20	5.6	0.011	2.26	SR
2.26	0.53	1.0	13.58	3.20	5.6	0.011	2.26	SR
2.26	0.53	1.0	13.58	3.20	5.6	0.011	2.26	SR

## Distribución de acero

### EJE X

Ancho	100	cm
h	15	cm
d	13	cm
f'c	210	kg/cm <sup>2</sup>
fy	4200	kg/cm <sup>2</sup>

### Acero Corrido

1/3	@	25
-----	---	----

Barra N°	Id (tracción)	Id*(tracción)	Id(compresión)	Idg(cm)	Ide(tracción, Id)	Ide(tracción, Id*)	Ide(compresión)	Gancho 180°
	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm
8 mm	30.00	36.76	20.00	17.39	39.00	47.79	30.00	6.50
#3	33.67	43.77	20.70	20.70	43.77	56.90	30.00	6.50
#4	44.89	58.35	27.61	27.61	58.35	75.86	37.87	6.50
#5	56.11	72.94	34.51	34.51	72.94	94.83	47.34	6.50
#6	67.33	87.53	41.41	41.41	87.53	113.79	56.81	7.62

### Diseño por flexión

De izquierda a derecha

Acero por flexión - Eje XX - Top (cm <sup>2</sup> /cm)				
Franja 5-6	Franja 4-5	Franja 3-4	Franja 2-3	Franja 1-2
0.021	0.005	0.005	0.005	-
0.021	0.035	0.018	0.029	-
0.021	0.035	0.023	0.035	-
0.021	0.025	0.030	0.031	0.042
0.021	0.025	0.029	0.045	0.025
0.021	0.021	0.021	0.022	0.038
0.021	0.011	0.011	0.020	0.015

Acero por flexión - Eje XX - Top (cm/m)				
Franja 5-6	Franja 4-5	Franja 3-4	Franja 2-3	Franja 1-2
2.100	0.500	0.500	0.500	-
2.100	3.500	1.800	2.900	-
2.100	3.500	2.300	3.500	-
2.100	2.500	3.000	3.100	4.200
2.100	2.500	2.900	4.500	2.500
2.100	2.100	2.100	2.200	3.800
2.100	1.050	1.050	2.000	1.500

NUDO/CLARO	b	h	As min	As calc	M	As
	cm	cm	cm <sup>2</sup>	cm <sup>2</sup>		cm <sup>2</sup>
Franja 5-6	100	15	2.25	2.26	M(-)	2.26
	100	15	2.25	2.26	M(-)	2.26
	100	15	2.25	2.26	M(-)	2.26
	100	15	2.25	2.26	M(-)	2.26
	100	15	2.25	2.26	M(-)	2.26
	100	15	2.25	2.26	M(-)	2.26
	100	15	2.25	2.26	M(-)	2.26

Acero corrido			As	Verif
pulg		cm	cm <sup>2</sup>	
1/3	@	25.00	2.51	OK
1/3	@	25.00	2.51	OK
1/3	@	25.00	2.51	OK
1/3	@	25.00	2.51	OK
1/3	@	25.00	2.51	OK
1/3	@	25.00	2.51	OK
1/3	@	25.00	2.51	OK

#### 4.2.8.6. Diseño de platea de cimentación

##### Verificaciones

K30 =	3000	Tn/m <sup>3</sup>
qa =	13.00	Tn/m <sup>2</sup>
qn =	11.70	Tn/m <sup>2</sup>
qu =	17.55	Tn/m <sup>2</sup>
f'c =	280	Kg/cm <sup>2</sup>
Ec =	2509980	Tn/m <sup>3</sup>
rec =	0.075	m
d =	0.52	m
#CP =	16	
#Fx =	6	
#Fy =	7	

##### Dimensionamiento

espesor =  m

(empezar con 1/10 de la luz mayor)

Granular

Arcilloso

Tipo Suelo =

$$S = \frac{(b + 30)^2}{(2 * b)^2}$$

$$S = \frac{(n + 0.5)^2}{1.5 * n} * \frac{30}{b}$$

Si  $1.75/\lambda \geq$  Espacio entre ejes de columnas, es platea rígida

Si  $1.75/\lambda <$  Espacio entre ejes de columnas, es platea flexible

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{Ko * b}{4 * Ec * I}} = \sqrt[4]{\frac{3 * Ko}{Ec * t^3}}$$

Actuante } Resistente  
 Pu - qu(Ao) < 0 = 2° Condición

*Con 0.6 m de espesor, la losa se diseña como rígida en ambos sentidos y soporta punzonamiento.*

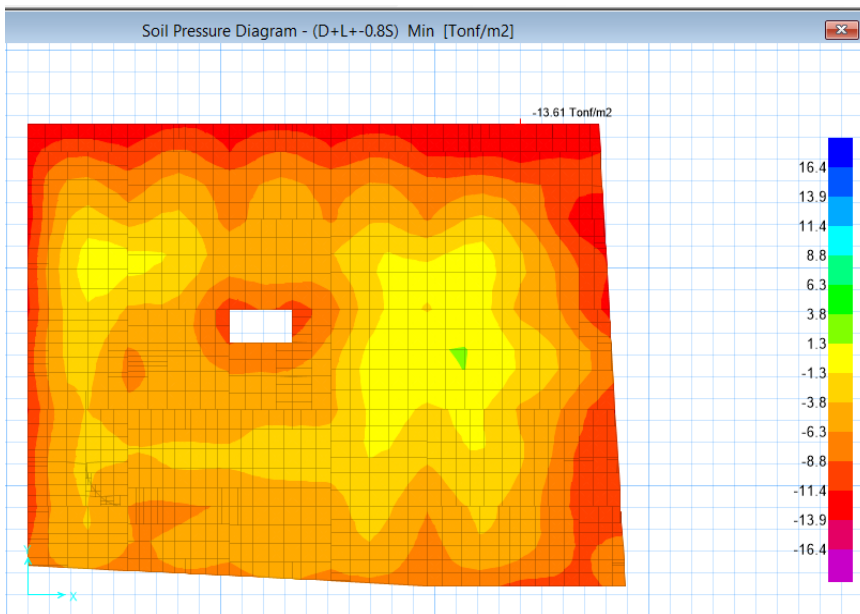
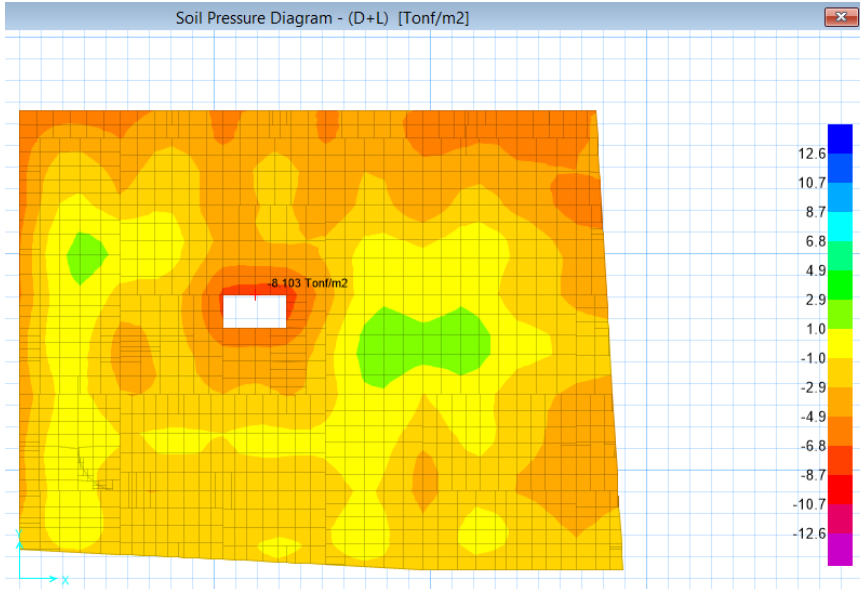
##### Verificación por Flexibilidad

Franjas X	b	L	Entre Ejes	n	S	Ko	$\lambda$	1.75/ $\lambda$	1=Ríg 0=Flex
(text)	(m)	(m)	(m)	(adim)	(adim)	(Tn/m <sup>3</sup> )	(adim)	(adim)	(text)
1.00	3.59	33.50	6.07	9.33	0.29	880.59	0.26	6.62	1.00
2.00	4.46	33.68	6.07	7.55	0.28	854.29	0.26	6.67	1.00
3.00	5.60	33.91	6.07	6.06	0.28	832.51	0.26	6.72	1.00
4.00	5.83	34.19	6.07	5.86	0.28	829.17	0.26	6.72	1.00
5.00	5.13	34.52	6.07	6.73	0.28	840.28	0.26	6.70	1.00
6.00	2.42	34.98	6.07	14.45	0.32	947.48	0.27	6.50	1.00

<b>Franjas Y</b>	<b>b</b>	<b>L</b>	<b>Entre Ejes</b>	<b>n</b>	<b>S</b>	<b>Ko</b>	<b><math>\lambda</math></b>	<b>1.75/<math>\lambda</math></b>	<b>1=Ríg 0=Flex</b>
<b>(text)</b>	<b>(m)</b>	<b>(m)</b>	<b>(m)</b>	<b>(adim)</b>	<b>(adim)</b>	<b>(Tn/m3)</b>	<b>(adim)</b>	<b>(adim)</b>	<b>(text)</b>
1.00	3.04	18.63	5.95	6.13	0.30	905.33	0.27	6.58	1.00
2.00	5.93	26.12	5.95	4.40	0.28	827.80	0.26	6.73	1.00
3.00	6.07	26.38	5.95	4.35	0.28	825.97	0.26	6.73	1.00
4.00	5.92	26.65	5.95	4.50	0.28	827.94	0.26	6.73	1.00
5.00	5.53	26.90	5.95	4.86	0.28	833.58	0.26	6.72	1.00
6.00	4.25	27.02	5.95	6.36	0.29	859.62	0.26	6.66	1.00
7.00	3.65	27.02	5.95	7.41	0.29	878.54	0.26	6.63	1.00

## Verificación por presiones del suelo

<b>q neto</b>	12.63	ton/m <sup>2</sup>	D +L	8.10	ton/m <sup>2</sup>	OK
<b>q neto</b>	16.42	ton/m <sup>2</sup>	D +L +/-0.8S	13.61	ton/m <sup>2</sup>	OK



Verificación por punzonamiento - Columnas

Columna	bcol	hcol	$\alpha$	Po	Ao	$\phi^*V(n)$	Pu máx	V(u) 1	COMB 1	VERIF
text	(m)	(m)	(adim)	(m)	(m2)	(ton)	(ton)	(ton)		text
1.00	0.30	0.80	30.00	2.93	0.87	237.44	191.09	175.91	1.00	ok
2.00	0.30	0.80	30.00	2.93	0.87	237.44	214.35	199.17	1.00	ok
3.00	0.30	0.80	40.00	4.27	1.08	345.41	300.38	281.49	1.00	ok
4.00	0.30	0.80	40.00	4.27	1.08	345.41	346.27	327.38	1.00	ok
5.00	0.30	1.00	40.00	4.67	1.24	377.78	435.30	413.54	1.00	ok
6.00	0.30	0.80	40.00	4.27	1.08	345.41	291.82	272.93	1.00	ok
7.00	0.30	0.50	40.00	3.67	0.83	296.86	183.44	168.85	1.00	ok
8.00	0.30	0.50	40.00	3.67	0.83	296.86	40.00	25.41	1.00	ok
9.00	0.30	0.80	40.00	4.27	1.08	345.41	219.38	200.49	1.00	ok
10.00	0.30	0.90	40.00	4.47	1.16	361.60	272.00	251.68	1.00	ok
11.00	0.30	0.80	40.00	4.27	1.08	345.41	311.93	293.04	1.00	ok
12.00	0.30	0.90	40.00	4.47	1.16	361.60	345.89	325.57	1.00	ok
13.00	0.30	0.90	40.00	4.47	1.16	361.60	374.81	354.49	1.00	ok
14.00	0.90	0.30	30.00	2.53	0.79	205.07	211.64	197.75	1.00	ok
15.00	0.30	0.80	40.00	4.27	1.08	345.41	329.28	310.39	1.00	ok
16.00	0.30	0.80	40.00	4.27	1.08	345.41	282.60	263.71	1.00	ok

Verificación por punzonamiento - Placas

Columna	bcol	hcol	$\alpha$	Po	Ao	$\phi^*V(n)$	Pu máx	V(u) 1	COMB 1	VERIF
text	(m)	(m)	(adim)	(m)	(m2)	(ton)	(ton)	(ton)		text
1.00	2.00	0.30	30.00	3.63	1.41	294.08	296.79	272.11	1.00	ok
2.00	2.00	0.30	30.00	3.63	1.41	294.08	119.56	94.88	1.00	ok
3.00	2.50	0.30	30.00	4.13	1.69	334.54	139.08	109.50	1.00	ok
4.00	0.30	1.50	40.00	5.67	1.65	458.70	392.58	363.65	1.00	ok
5.00	0.30	7.25	40.00	17.17	6.35	1389.24	1442.52	1331.13	1.00	ok
6.00	0.30	3.98	40.00	10.63	3.68	860.04	865.95	801.45	1.00	ok
7.00	0.30	3.98	40.00	10.63	3.68	860.04	815.51	751.01	1.00	ok
8.00	0.30	2.00	40.00	6.67	2.06	539.61	363.09	326.99	1.00	ok
9.00	0.30	3.98	40.00	10.63	3.68	860.04	779.43	714.93	1.00	ok
10.00	0.30	2.70	40.00	8.07	2.63	652.90	518.88	472.74	1.00	ok
11.00	0.30	3.98	40.00	10.63	3.68	860.04	708.61	644.11	1.00	ok
12.00	0.30	4.00	40.00	10.67	3.69	863.28	471.47	406.69	1.00	ok
13.00	0.30	4.00	40.00	10.67	3.69	863.28	455.83	391.05	1.00	ok
14.00	0.30	2.82	40.00	8.31	2.73	672.32	496.62	448.76	1.00	ok
15.00	0.30	3.53	40.00	9.73	3.31	787.22	657.04	599.00	1.00	ok
16.00	0.30	3.23	40.00	9.13	3.06	738.67	653.73	599.99	1.00	ok
17.00	0.30	5.86	40.00	14.39	5.21	1164.29	553.26	461.80	1.00	ok

## Calculo de acero por flexión

Se detalla el diseño, cuyo procedimiento será seguido para todas las franjas de la platea de cimentación del edificio, de la franja A-B, Eje 1-2.

Ancho	<b>400.00</b>	cm	Barra N°	∅	∅	Peso	Área	Perím.
h	<b>60.00</b>	cm		pulg	cm	(kg/m)	(cm <sup>2</sup> )	(cm)
d	<b>50.00</b>	cm	#3	3/8	0.95	0.559	0.71	2.99
f'c	<b>280.00</b>	kg/cm <sup>2</sup>	#4	1/2	1.27	0.993	1.27	3.99
f <sub>y</sub>	<b>4200.00</b>	kg/cm <sup>2</sup>	#5	5/8	1.59	1.552	1.979	4.99
Acero Corrido			#6	3/4	1.91	2.235	2.85	5.98
<b>5/8</b>	@	<b>30.00</b>	#8	1	2.54	3.975	5.07	7.98
<b>5/8</b>	@	<b>30.00</b>						

Barra N°	ld (tracción)	ld*(tracción)	ld(compresión)	ldg(cm)	lde(tracción,ld)	lde(tracción,ld*)	lde(compresión)	Gancho 180°
	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm
#3	30.00	37.90	20.00	17.95	39.00	49.27	30.00	6.50
#4	38.87	50.54	23.91	23.91	50.54	65.70	37.87	6.50
#5	48.59	63.17	29.88	29.88	63.17	82.12	47.34	6.50
#6	58.31	75.80	35.86	35.86	75.80	98.55	56.81	7.62
#8	77.75	101.07	47.82	47.82	101.07	131.39	75.74	10.16

### Verificación por cortante

Vu	ton	15.53	18.25	68.66	15.37	62.47	12.68	45.12	10.79	30.99	10.13	72.97	74.57	74.57
o Vc	ton	150.77	150.77	150.77	150.77	150.77	150.77	150.77	150.77	150.77	150.77	150.77	150.77	150.77
Verif		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

### Diseño por flexión

1.00	claro	2.00	claro	3.00	claro	4.00	claro	5.00	claro	6.00	claro	7.00
cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm
160.11	331.00	519.00	774.50	1090.00	1389.50	1685.00	1948.00	2211.00	2410.00	2609.00	2689.00	2769.00
1.60	3.31	5.19	7.75	10.90	13.90	16.85	19.48	22.11	24.10	26.09	26.89	27.69

Top/ Superior	cm <sup>2</sup>	6.71	22.01	6.79	19.63	8.34	17.96	11.14	35.37	3.96	18.91	12.93	13.70	6.27
Bottom/ Inferior	cm <sup>2</sup>	10.20	14.20	26.06	7.09	32.79	8.00	15.03	3.05	31.92	13.73	24.56	23.99	44.08

NUDO/CLARO	b	h	As min	As calc	M	As	Acero corrido			As	Verif
	cm	cm	cm <sup>2</sup>	cm <sup>2</sup>		cm <sup>2</sup>	pulg	@	cm	cm <sup>2</sup>	
1	400	60	21.60	6.71	M(+)	<b>21.60</b>	5/8	@	30.00	28.37	OK
	400	60	21.60	10.20	M(-)	<b>21.60</b>	5/8	@	30.00	28.37	OK
CLARO	400	60	21.60	22.01	M(-)	<b>22.01</b>	5/8	@	30.00	28.37	OK
	400	60	21.60	14.20	M(+)	<b>21.60</b>	5/8	@	30.00	28.37	OK
2	400	60	21.60	6.79	M(+)	<b>21.60</b>	5/8	@	30.00	28.37	OK
	400	60	21.60	26.06	M(-)	<b>26.06</b>	5/8	@	30.00	28.37	OK

#### 4.2.8.7. Diseño de vigas de cimentación

##### Diseño por cortante

Se detalla el diseño por cortante, cuyo procedimiento será seguido para todas las vigas de cimentación del edificio.

$f'c =$	<b>280</b>	Kg/cm <sup>2</sup>
$f_y =$	<b>4200</b>	Kg/cm <sup>2</sup>
$\phi =$	<b>0.85</b>	
estribos	según viga	pulg
long	<b>1</b>	pulg

Barra N°	$\phi$	$\phi$	Peso	Área	Perím.
-	pulg	cm	(kg/m)	(cm <sup>2</sup> )	(cm)
3	3/8	0.95	0.56	0.71	2.99
4	1/2	1.27	0.99	1.29	3.99
5	5/8	1.59	1.55	1.98	4.99
6	3/4	1.91	2.24	2.85	5.98
8	1	2.54	3.97	5.10	7.98

CASOS	SUBCASOS 3
CASO 1	CASO A
CASO 2	CASO B
CASO 3	CASO C
	-

DATOS DE ENTRADA					ZONA EN CONFINAMIENTO				
EJE	UBICACIÓN	b	h	d'	Vu (a " d" de la cara)		Resistencia al corte		
-	-	cm	cm	cm	Tn	Kg	Vn (Kg)	Vc (Kg)	Vs (Kg)
1	AB	40.00	100.00	89.88	40.81	40810	48012	<b>31884.38</b>	16127
2	AB	40.00	100.00	89.88	38.66	38659	45481	<b>31884.38</b>	13597
1	AB	40.00	100.00	89.88	38.66	38662	45485	<b>31884.38</b>	13601
2	AB	40.00	100.00	89.88	42.09	42089	49516	<b>31884.38</b>	17632
1	AB	40.00	100.00	89.88	42.35	42349	49823	<b>31884.38</b>	17938
2	AB	40.00	100.00	89.88	28.34	28344	33346	<b>31884.38</b>	1461
2	AB	40.00	100.00	89.88	37.11	37112	43661	<b>31884.38</b>	11777

ZONA EN CONFINAMIENTO							
Datos de estribaje a usar					Smax	S calc	S usar
db (in)	db (cm)	N° ramas	As $\phi$ (cm <sup>2</sup> )	Av (cm <sup>2</sup> )	(cm)	cm	cm
1/2	1.27	2	1.29	2.58	20.32	20.29	<b>20.00</b>
1/2	1.27	2	1.29	2.58	20.32	21.41	<b>20.00</b>
1/2	1.27	2	1.29	2.58	20.32	21.41	<b>20.00</b>
1/2	1.27	2	1.29	2.58	20.32	19.67	<b>20.00</b>
1/2	1.27	2	1.29	2.58	20.32	19.55	<b>20.00</b>
1/2	1.27	2	1.29	2.58	20.32	29.21	<b>20.00</b>
1/2	1.27	2	1.29	2.58	20.32	22.31	<b>20.00</b>

DESPUES DE ZONA EN CONFINAMIENTO										
Vu (a " d" de la cara)		Resistencia al corte			$\emptyset.Vc$	$\emptyset.Vc/2$	$Vn > \emptyset.Vc$	CASO 1	CASO 2	CASO 3
Tn	Kg	Vn (Kg)	Vc (Kg)	Vs (Kg)	Kg	Kg	Kg			
23.66	23661.59	27837.17	31884.38	-4047.21	27101.72	13550.86	Cumple	No cumple	No Cumple	Cumple
17.01	17013.68	20016.09	31884.38	-11868.28	27101.72	13550.86	No Cumple	No cumple	Cumple	No Cumple
17.07	17070.02	20082.37	31884.38	-11802.00	27101.72	13550.86	No Cumple	No cumple	Cumple	No Cumple
25.28	25279.01	29740.01	31884.38	-2144.36	27101.72	13550.86	Cumple	No cumple	No Cumple	Cumple
23.73	23729.72	27917.32	31884.38	-3967.05	27101.72	13550.86	Cumple	No cumple	No Cumple	Cumple
-43.82	-43817.41	-51549.89	31884.38	-83434.27	27101.72	13550.86	No Cumple	Cumple	No Cumple	No Cumple
-9.50	-9499.64	-11176.05	31884.38	-43060.43	27101.72	13550.86	No Cumple	Cumple	No Cumple	No Cumple

DESPUES DE ZONA EN CONFINAMIENTO							
CASO	CASO A	CASO B	CASO C	CASO	S máx cm	S calc cm	S usar cm
CASO 3	Cumple	No Cumple	No Cumple	CASO A	44.94	77.40	25.00
CASO 2				-	44.94	77.40	25.00
CASO 2				-	44.94	77.40	25.00
CASO 3	Cumple	No Cumple	No Cumple	CASO A	44.94	77.40	25.00
CASO 3	Cumple	No Cumple	No Cumple	CASO A	44.94	77.40	25.00
CASO 1				-	No refuerzo	77.40	25.00
CASO 1				-	No refuerzo	77.40	25.00

Eje	Tramo	Zona de confin. 2h	Long. de la viga	Espacio para R/estribos
-	-	-	(cm)	(cm)
X	A	2-3	200	528
X	A	2-4	200	407
X	A	2-3	200	408
X	A	2-4	200	547
X	A	2-3	200	498
X	A	2-4	200	143

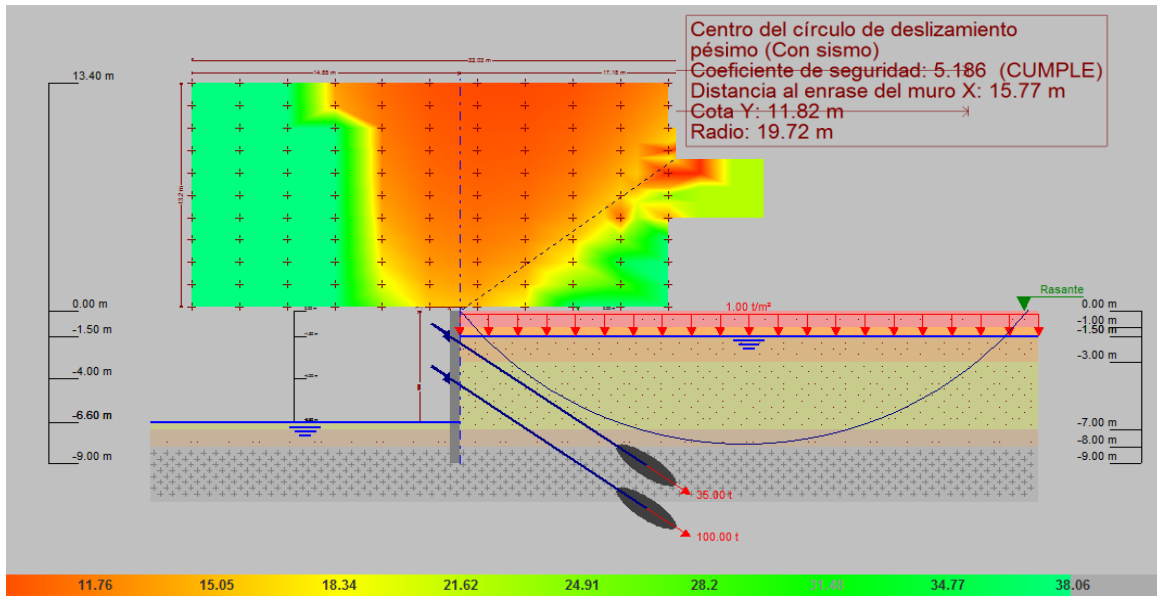
DISTRIBUCIÓN DE ESTRIBOS											
1° Estribo Max			S en zona de confinam.			Resto Fuera del confinam.					
N°	@	S (cm)	N°	@	S (cm)	N°	@	S (cm)	N°	@	S (cm)
1	@	5	17	@	11.50	2	@	20	R	@	25.0
1	@	5	15	@	13.50	2	@	20	R	@	25.0
1	@	5	15	@	13.50	2	@	20	R	@	25.0
1	@	5	15	@	13.50	2	@	20	R	@	25.0
1	@	5	15	@	13.00	2	@	20	R	@	25.0
1	@	5	16	@	12.50		@		R	@	25.0
1	@	5	16	@	12.50		@		R	@	25.0

#### **4.2.8.8. Diseño de muros pantalla**

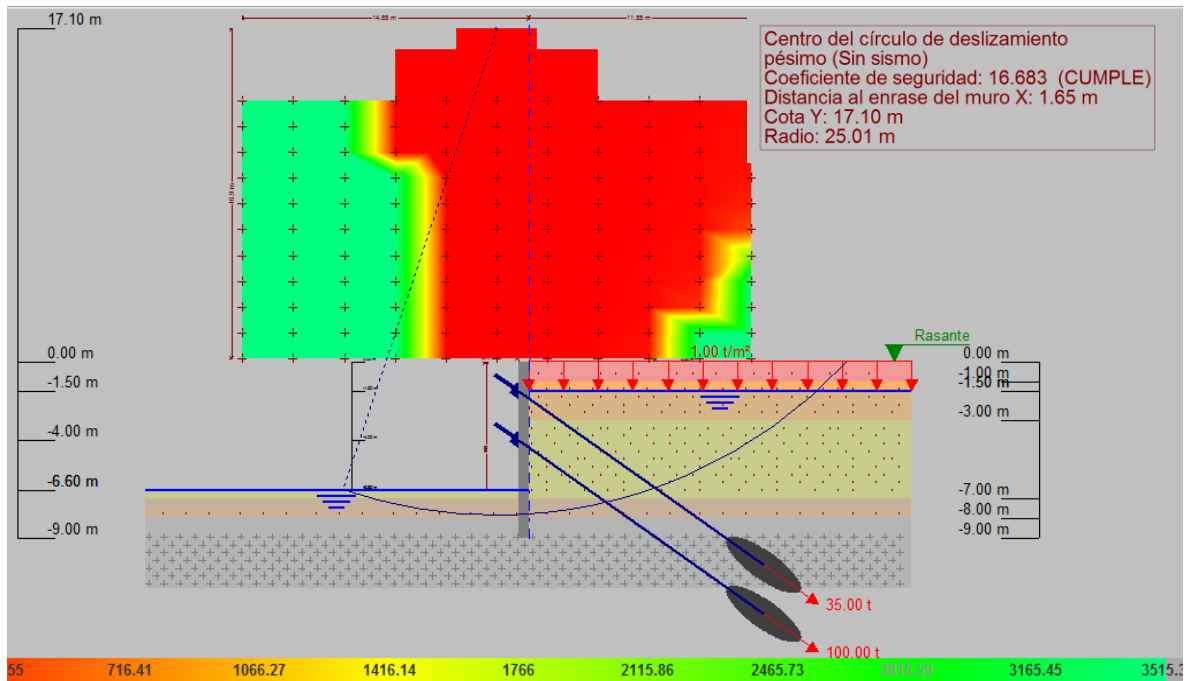
Según la tesis de pregrado de Castillo González [29], se detalla a continuación el proceso correspondiente para diseñar muros pantalla en el programa computacional, CYPE CAD [25]:

- ✓ Para ello tenemos los datos previamente calculados, los cuales fueron introducidos en el programa Muros Pantalla del CYPE CAD, para su respectivo análisis.
- ✓ Teniendo en cuenta que el muro tiene una altura 9 metros.
- ✓ Se considerarán los esfuerzos más críticos de la envolvente de todas las fases constructivas.
- ✓ El programa Muros Pantalla del CYPE CAD realiza el cálculo de estabilidad, en taludes, la cual consiste que el factor de seguridad ante deslizamiento sin sismo  $\geq 1.8$  y con sismo  $\geq 1.2$ .
- ✓ En el caso de los anclajes; el primero fue ubicado a una profundidad de 1.50 metros, con una fuerza de anclaje de 35 Tn/m; mientras que, el segundo anclaje, a una profundidad de 4.00 metros con respecto al nivel de terreno natural, con una fuerza de tensión de 100 Tn/m.
- ✓ Resultados del cálculo de estabilidad para comprobar falla por deslizamiento, a la profundidad de 6.60 m. tenemos:

**Ilustración IV-1. Resultado de estabilidad de taludes sin condiciones sísmicas para el caso de la estructura a emplear con 2 anclajes**



**Ilustración IV-2. Resultado de estabilidad de taludes con condiciones sísmicas para el caso de la estructura a emplear con 2 anclajes**



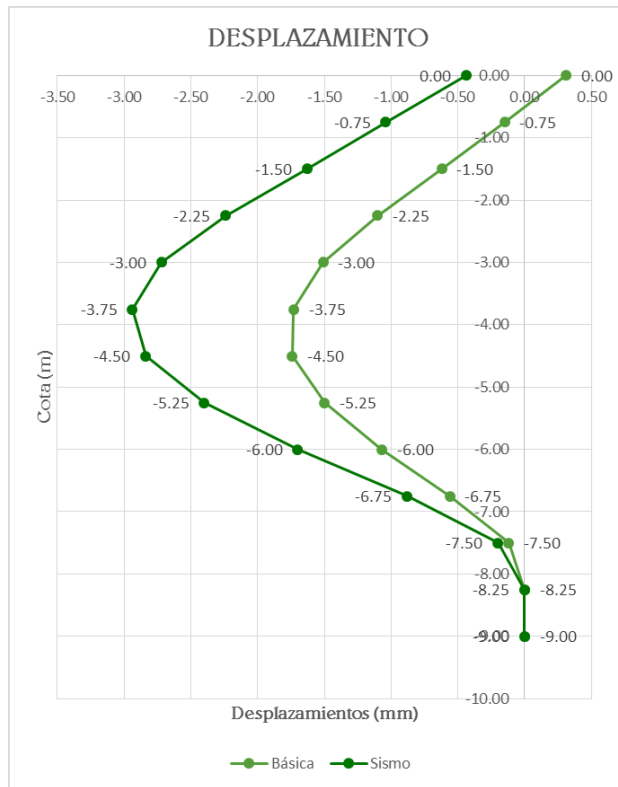
**Tabla IV-26. Resumen de esfuerzos – Fase de excavación -5.00 m. Básica**

Cota (m)	Desplazamientos (mm)	Ley de axiles (t/m)	Ley de cortantes (t/m)	Ley de momento flector (t.m/m)	Ley de empujes (t/m <sup>2</sup> )	Presión hidrostática (t/m <sup>2</sup> )
0.00	0.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
-0.75	-0.15	0.94	0.51	0.17	2.14	0.00
-1.50	-0.62	2.69	2.57	1.54	2.56	0.00
-2.25	-1.10	10.32	-6.29	-3.64	1.58	0.75
-3.00	-1.51	11.26	-4.47	-7.47	0.92	1.50
-3.75	-1.73	12.19	-2.44	-9.84	1.09	2.25
-4.50	-1.74	13.13	0.34	-10.33	1.49	3.00
-5.25	-1.50	14.07	4.04	-8.28	0.49	3.50
-6.00	-1.07	15.01	7.23	-3.68	1.35	3.50
-6.75	-0.56	15.94	11.12	3.64	2.38	3.50
-7.50	-0.12	16.88	15.56	14.19	2.82	3.50
-8.25	0.00	17.00	0.00	22.19	0.00	0.00
-9.00	0.00	17.94	0.00	0.00	0.00	0.00
Máximos	0.31	17.94	18.76	23.17	3.19	3.50
Cota:	0.00	-9.00	-8.00	-8.00	-1.00	-5.00
Mínimos	-1.76	0.00	-7.51	-10.41	0.00	0.00
Cota:	4.25	0.00	-1.75	-4.25	0.00	0.00

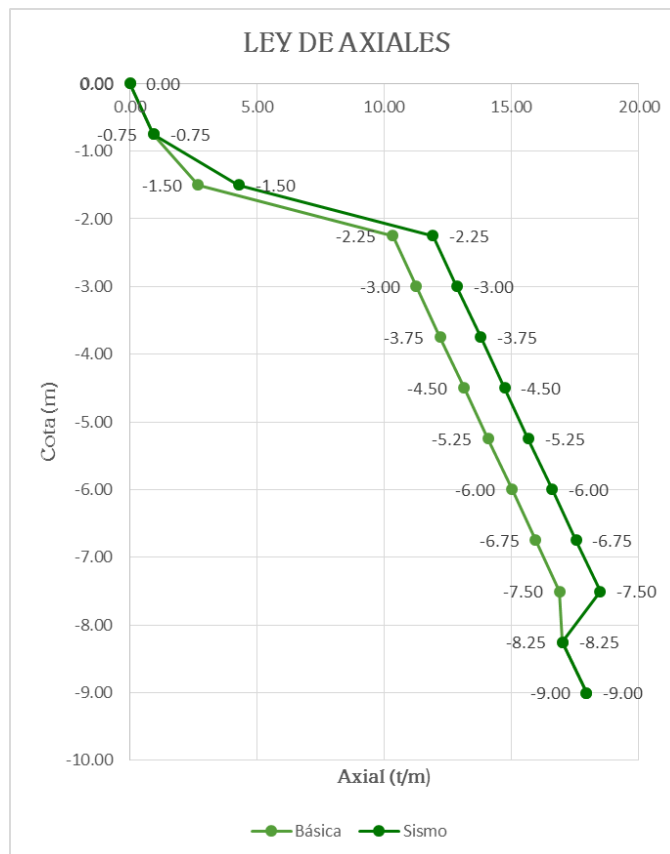
**Tabla IV-27. Resumen de esfuerzos – Fase de excavación -5.00 m. Sismo**

Cota (m)	Desplazamientos (mm)	Ley de axiles (t/m)	Ley de cortantes (t/m)	Ley de momento flector (t.m/m)	Ley de empujes (t/m <sup>2</sup> )	Presión hidrostática (t/m <sup>2</sup> )
0.00	-0.44	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
-0.75	-1.04	0.94	0.32	0.10	1.87	0.00
-1.50	-1.63	4.28	2.17	1.22	2.85	0.00
-2.25	-2.24	11.91	-8.55	-5.78	2.04	1.19
-3.00	-2.72	12.85	-5.96	-10.93	1.20	2.12
-3.75	-2.94	13.78	-3.16	-14.05	1.63	3.00
-4.50	-2.84	14.72	0.70	-14.56	2.38	3.87
-5.25	-2.40	15.66	5.85	-11.54	0.95	4.66
-6.00	-1.70	16.60	10.55	-4.88	2.69	4.93
-6.75	-0.88	17.53	16.81	6.07	4.65	5.14
-7.50	-0.20	18.47	24.29	22.38	5.60	5.31
-8.25	0.00	17.00	0.00	35.08	0.00	0.00
-9.00	0.00	17.94	0.00	0.00	0.00	0.00
Máximos	0.00	19.10	29.85	36.60	6.19	5.42
Cota:	-8.00	-8.00	-8.00	-8.00	-8.00	-8.00
Mínimos	-2.95	0.00	-10.10	-14.73	0.00	0.00
Cota:	-4.00	0.00	1.75	-4.25	0.00	0.00

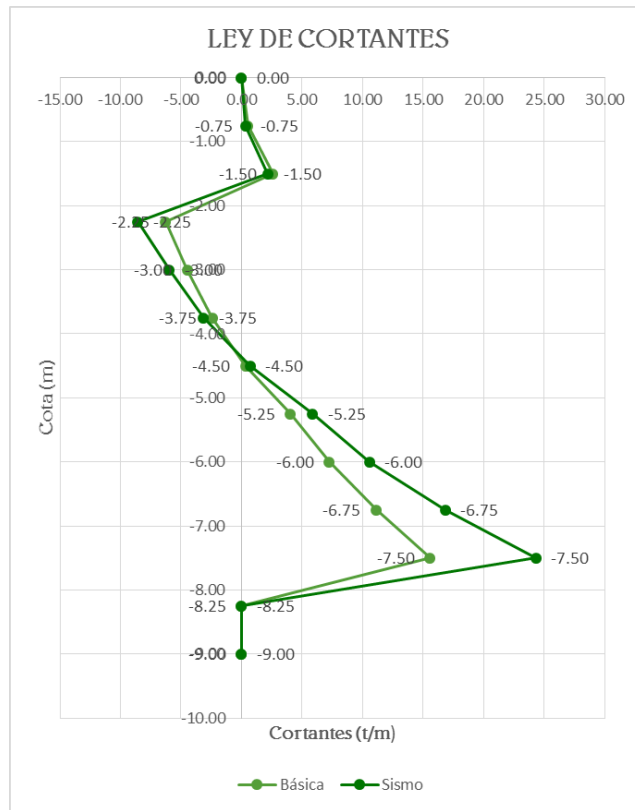
**Gráfica IV-3. Desplazamiento - Fase de excavación a -5.00 m. Básica y Sismo**



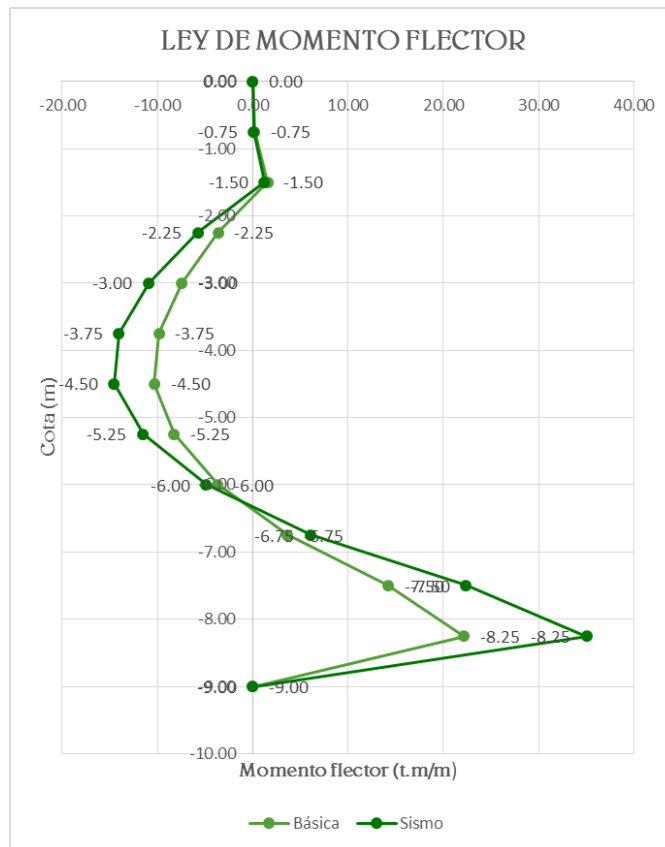
**Gráfica IV-4. Ley de axiales - Fase de excavación a -5.00 m. Básica y Sismo**



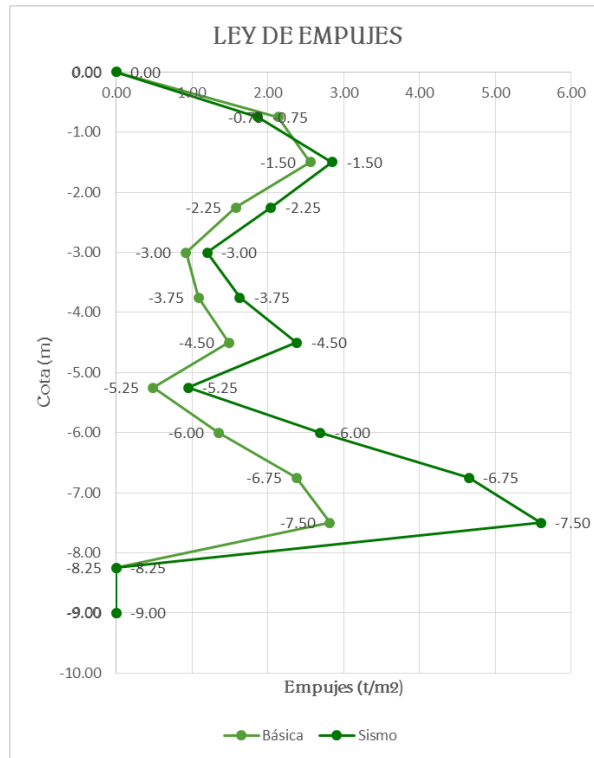
**Gráfica IV-5. Ley de cortantes - Fase de excavación a -5.00 m. Básica y Sismo**



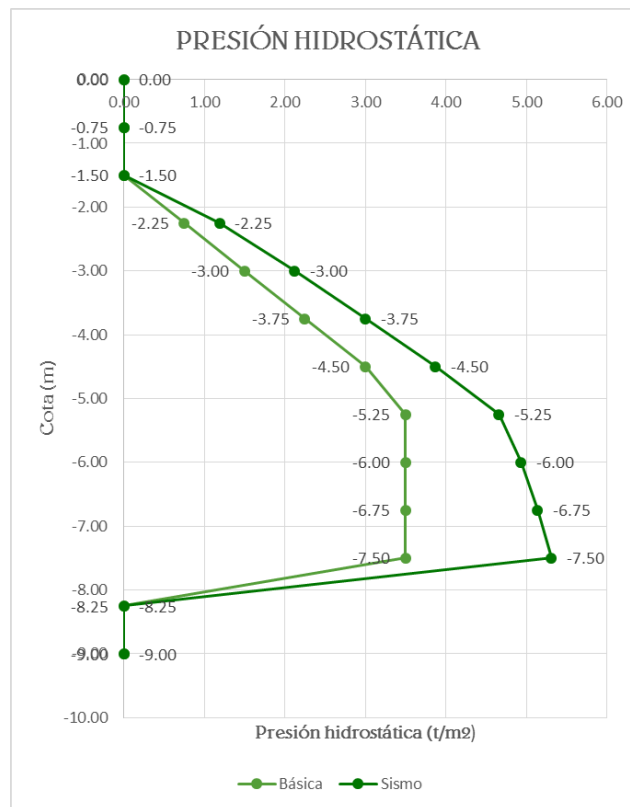
**Gráfica IV-6. Ley de momento flector - Fase de excavación a -5.00 m. Básica y Sismo**



**Gráfica IV-7. Ley de empujes - Fase de excavación a -5.00 m. Básica y Sismo**



**Gráfica IV-8. Ley de presión hidrostática - Fase de excavación a -5.00 m. Básica y Sismo**



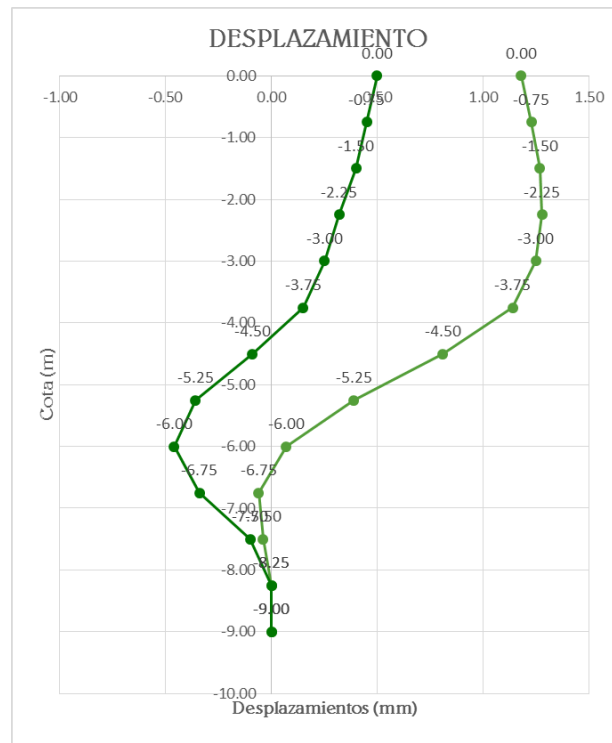
**Tabla IV-28. Resumen de esfuerzos – Fase de excavación -6.00 m. Básica**

Cota (m)	Desplazamientos	Ley de axiles	Ley de cortantes	Ley de momento flector	Ley de empujes	Presión hidrostática
	(mm)	(t/m)	(t/m)	(t.m/m)	(t/m <sup>2</sup> )	(t/m <sup>2</sup> )
0.00	1.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
-0.75	1.23	0.94	0.61	0.20	2.45	0.00
-1.50	1.27	-0.27	3.56	2.00	4.44	0.00
-2.25	1.28	7.36	0.46	1.48	3.96	0.75
-3.00	1.25	8.30	4.17	3.65	3.67	1.50
-3.75	1.14	9.24	8.31	8.80	3.96	2.25
-4.50	0.81	29.43	-14.31	3.69	4.04	3.00
-5.25	0.39	30.37	-8.85	-4.34	4.02	3.75
-6.00	0.07	31.31	-2.82	-7.99	4.10	4.50
-6.75	-0.06	32.24	3.87	-6.81	4.22	5.10
-7.50	-0.04	33.18	10.60	-0.51	3.75	5.10
-8.25	0.00	36.12	0.00	7.55	0.00	0.00
-9.00	0.00	37.06	0.00	0.00	0.00	0.00
Máximos	1.28	37.06	15.03	11.27	4.74	5.10
Cota:	-2.00	-9.00	-8.00	-4.00	-1.00	-6.75
Mínimos	-0.07	-0.27	-16.00	-8.16	0.00	0.00
Cota:	-7.00	-1.50	-4.25	-6.25	0.00	0.00

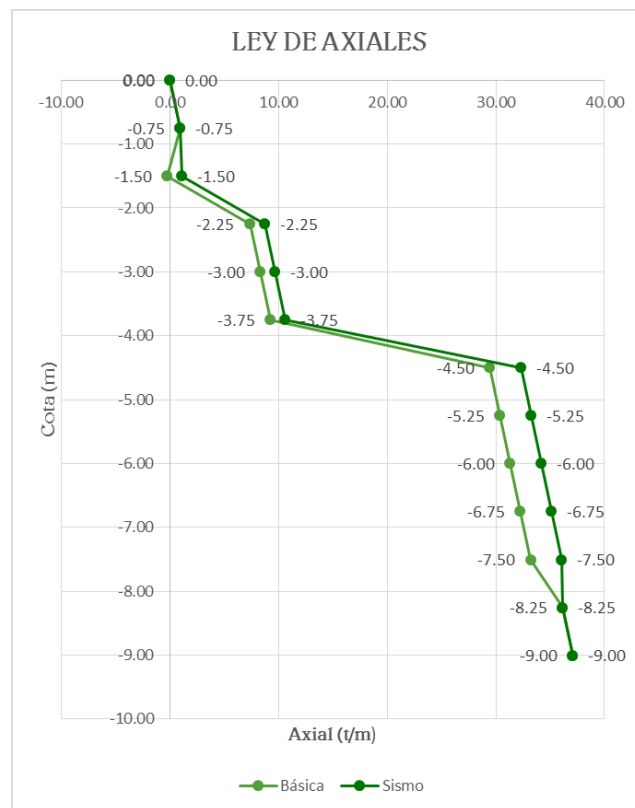
**Tabla IV-29. Resumen de esfuerzos – Fase de excavación -6.00 m. Sismo**

Cota (m)	Desplazamientos (mm)	Ley de axiles (t/m)	Ley de cortantes (t/m)	Ley de momento flector (t.m/m)	Ley de empujes (t/m <sup>2</sup> )	Presión hidrostática (t/m <sup>2</sup> )
0.00	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
-0.75	0.45	0.94	0.40	0.12	2.28	0.00
-1.50	0.40	1.09	3.24	1.70	4.88	0.00
-2.25	0.32	8.72	-1.27	-0.28	4.60	1.19
-3.00	0.25	9.66	3.34	1.03	4.17	2.12
-3.75	0.15	10.60	8.42	6.01	4.72	3.00
-4.50	-0.09	32.30	-15.11	0.51	5.12	3.87
-5.25	-0.36	33.24	-8.06	-7.35	5.50	4.72
-6.00	-0.46	34.18	-0.06	-9.45	6.05	5.57
-6.75	-0.34	35.12	9.04	-5.01	6.41	6.36
-7.50	-0.10	36.05	18.48	6.50	6.37	6.60
-8.25	0.00	36.12	0.00	18.87	0.00	0.00
-9.00	0.00	37.06	0.00	0.00	0.00	0.00
Máximos	0.50	37.06	25.04	18.87	6.78	6.72
Cota:	0.00	-9.00	-8.00	-8.25	-8.00	-8.00
Mínimos	-0.46	-0.27	-17.26	-9.45	0.00	0.00
Cota:	-6.00	-1.50	4.25	-6.00	0.00	0.00

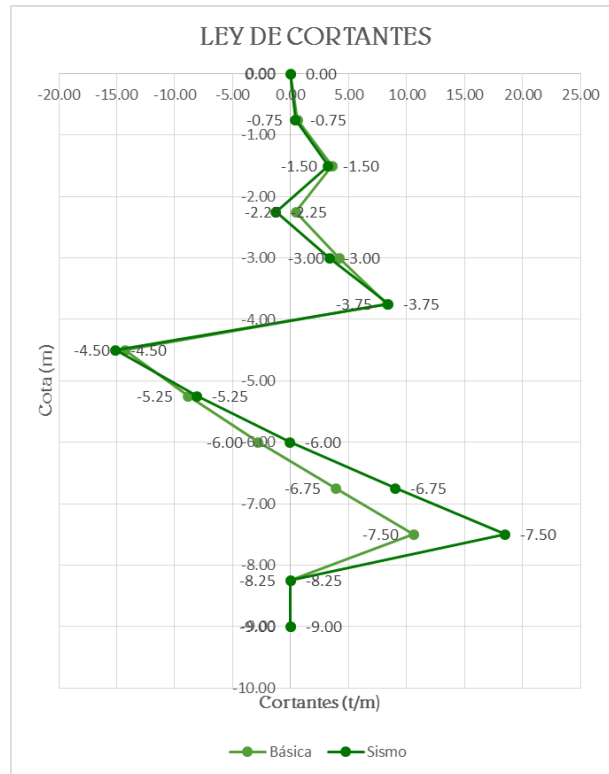
**Gráfica IV-9. Desplazamiento - Fase de excavación a -6.60 m. Básica y Sismo**



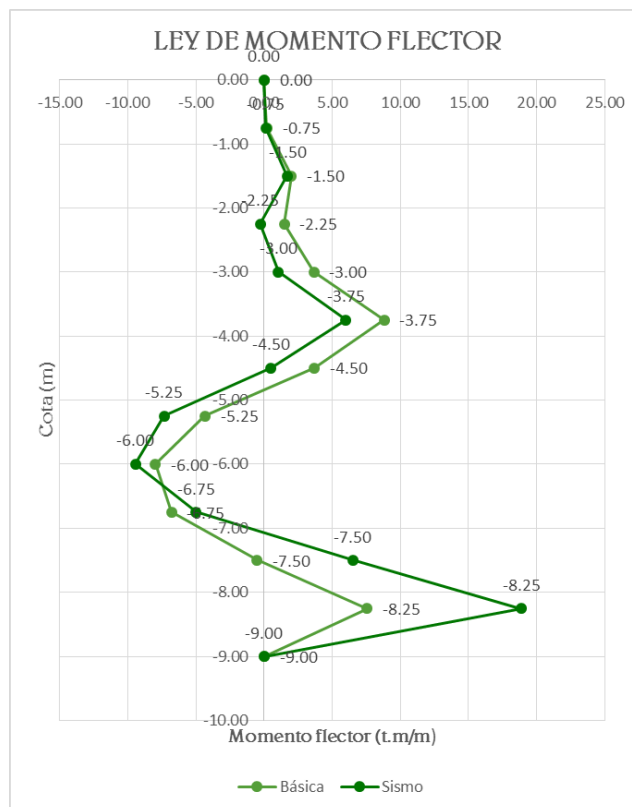
**Gráfica IV-10. Ley de axiales - Fase de excavación a -6.60 m. Básica y Sismo**



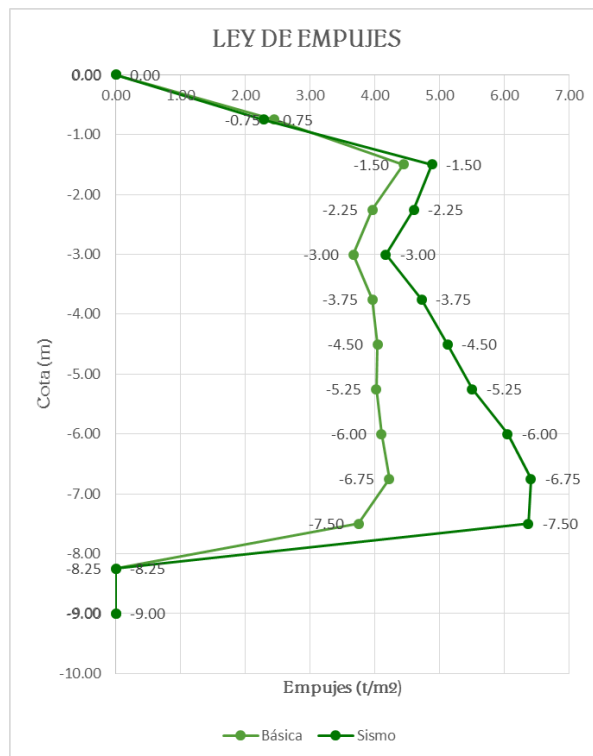
**Gráfica IV-11. Ley de cortantes - Fase de excavación a -6.60 m. Básica y Sismo**



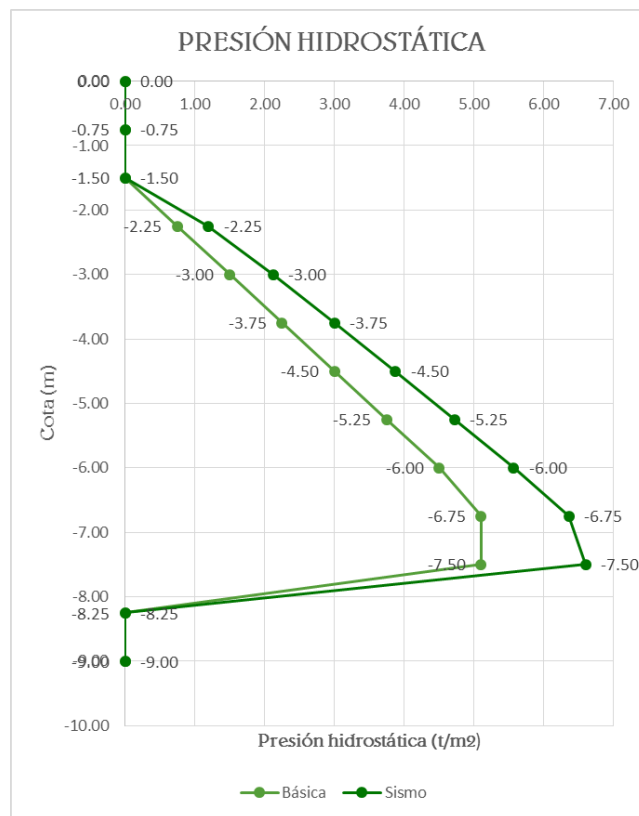
**Gráfica IV-12. Ley de momento flector - Fase de excavación a -6.60 m. Básica y Sismo**



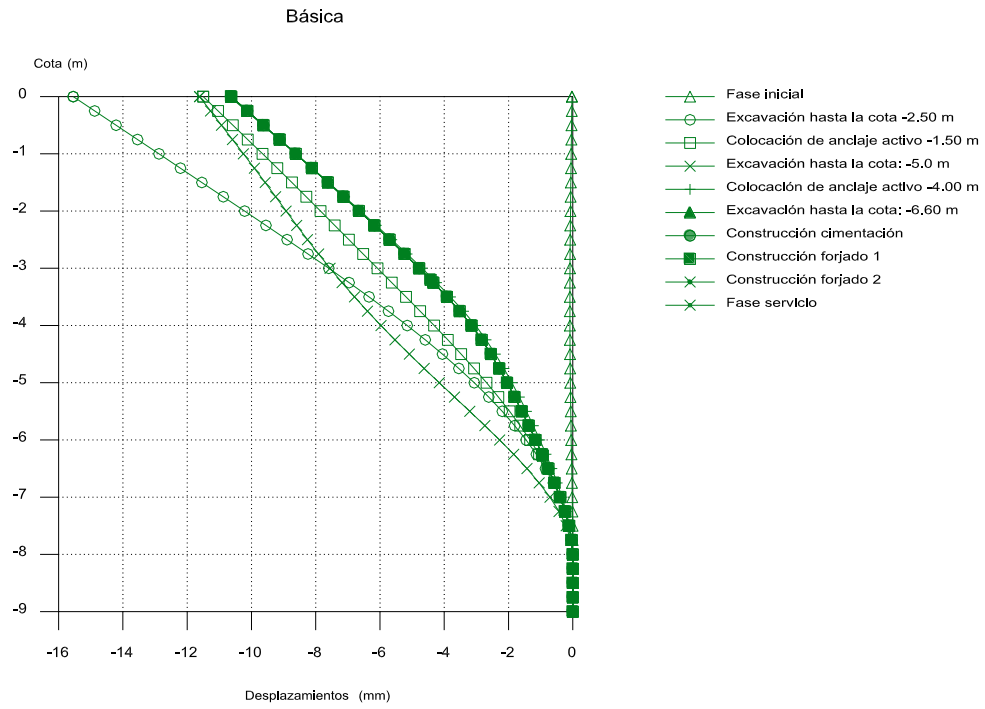
**Gráfica IV-13. Ley de empujes - Fase de excavación a -6.60 m. Básica y Sismo**



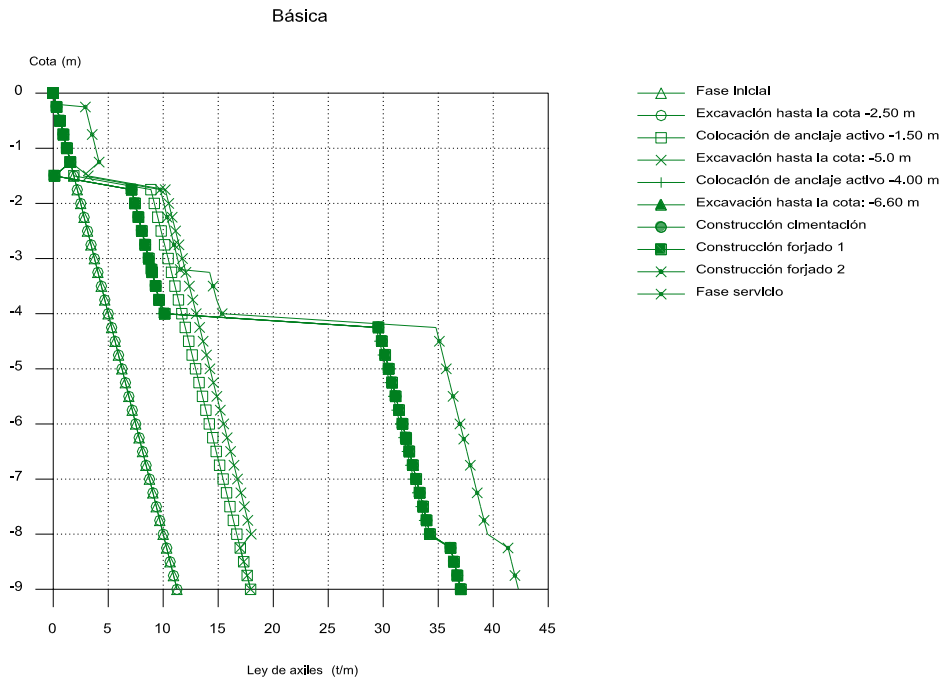
**Gráfica IV-14. Ley de presión hidrostática - Fase de excavación a -6.60 m. Básica y Sismo**



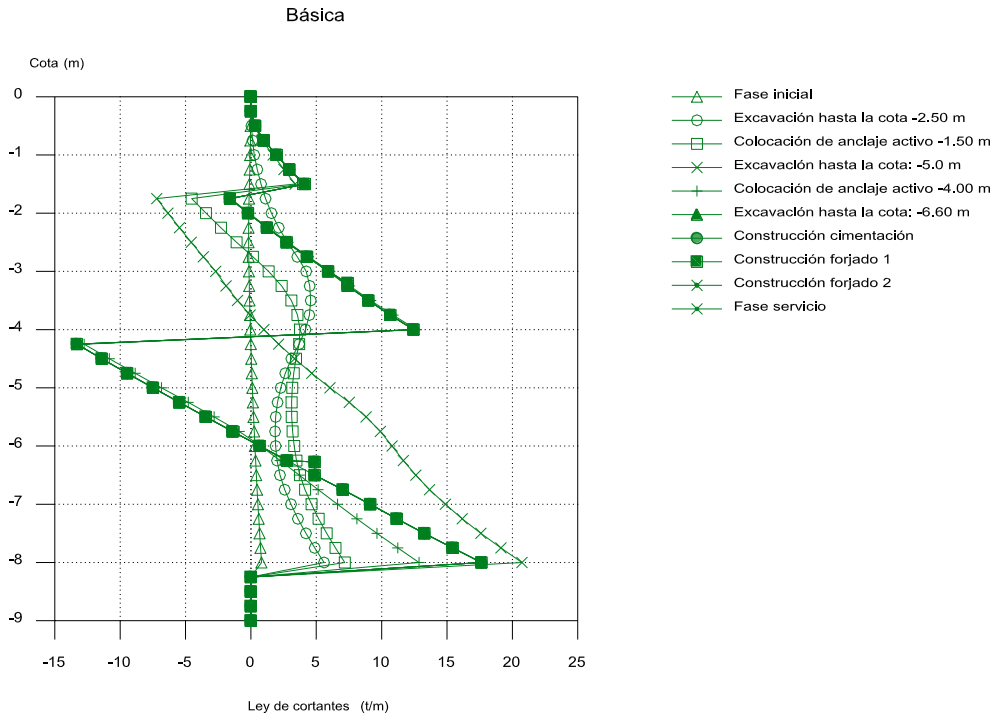
**Gráfica IV-15. Desplazamientos – Todas las fases. Básica**



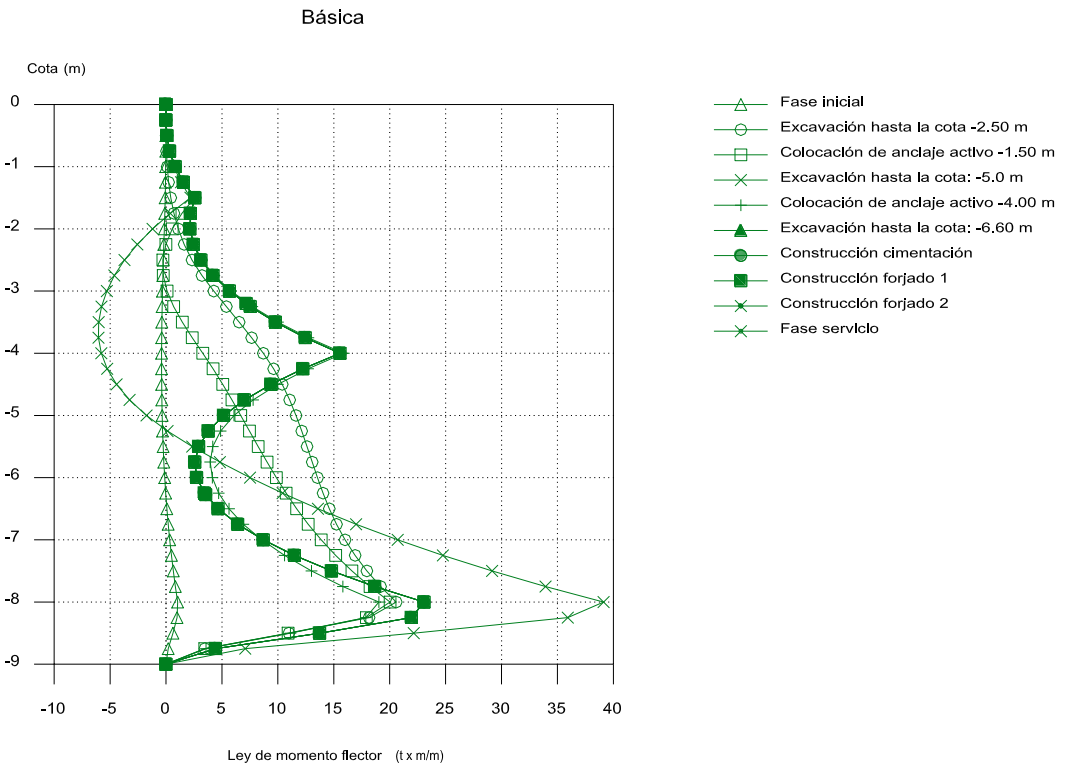
**Gráfica IV-16. Ley de axiales – Todas las fases. Básica**



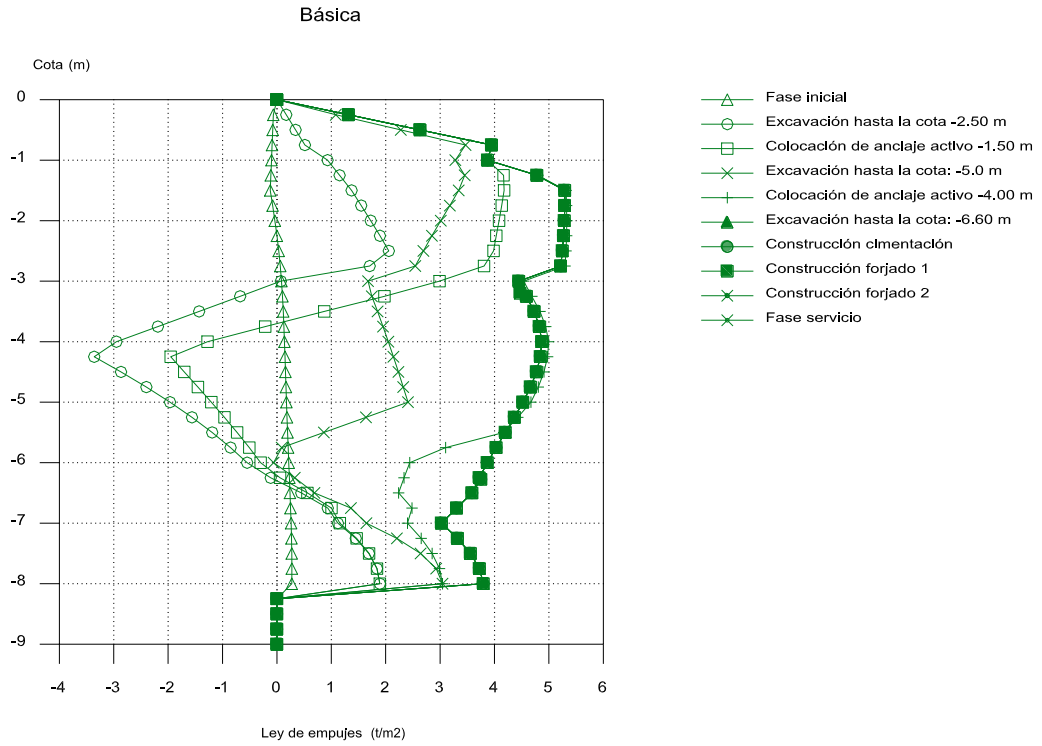
**Gráfica IV-17. Ley de cortantes – Todas las fases. Básica**



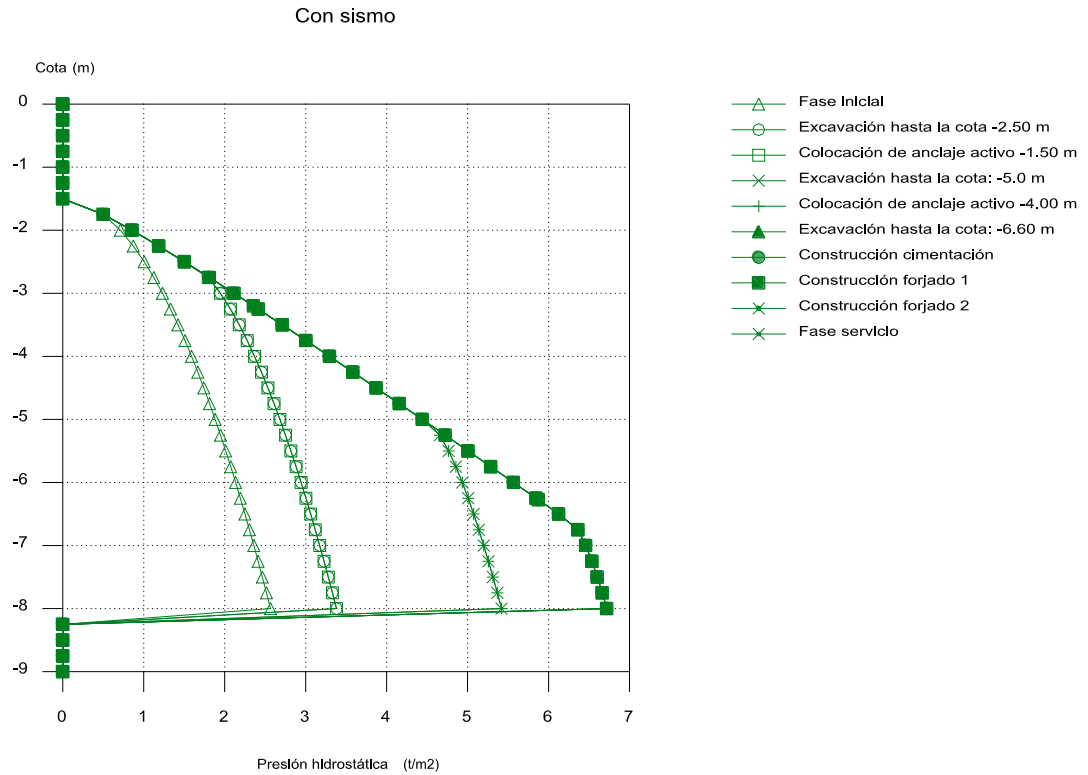
**Gráfica IV-18. Ley de momento flector – Todas las fases. Básica**



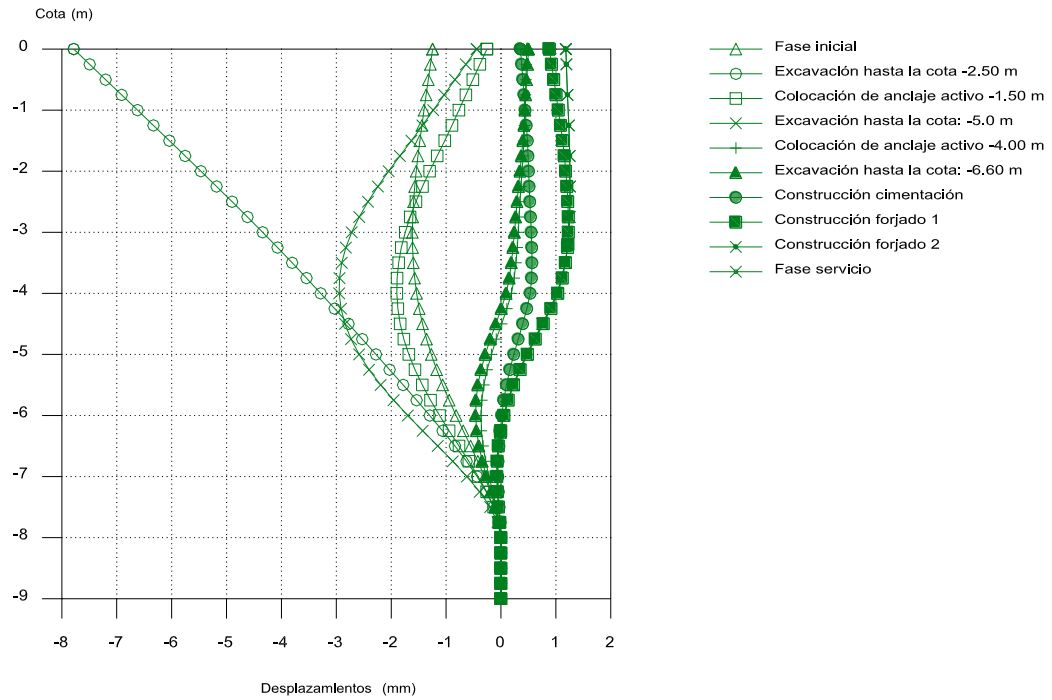
**Gráfica IV-19. Ley de empujes – Todas las fases. Básica**



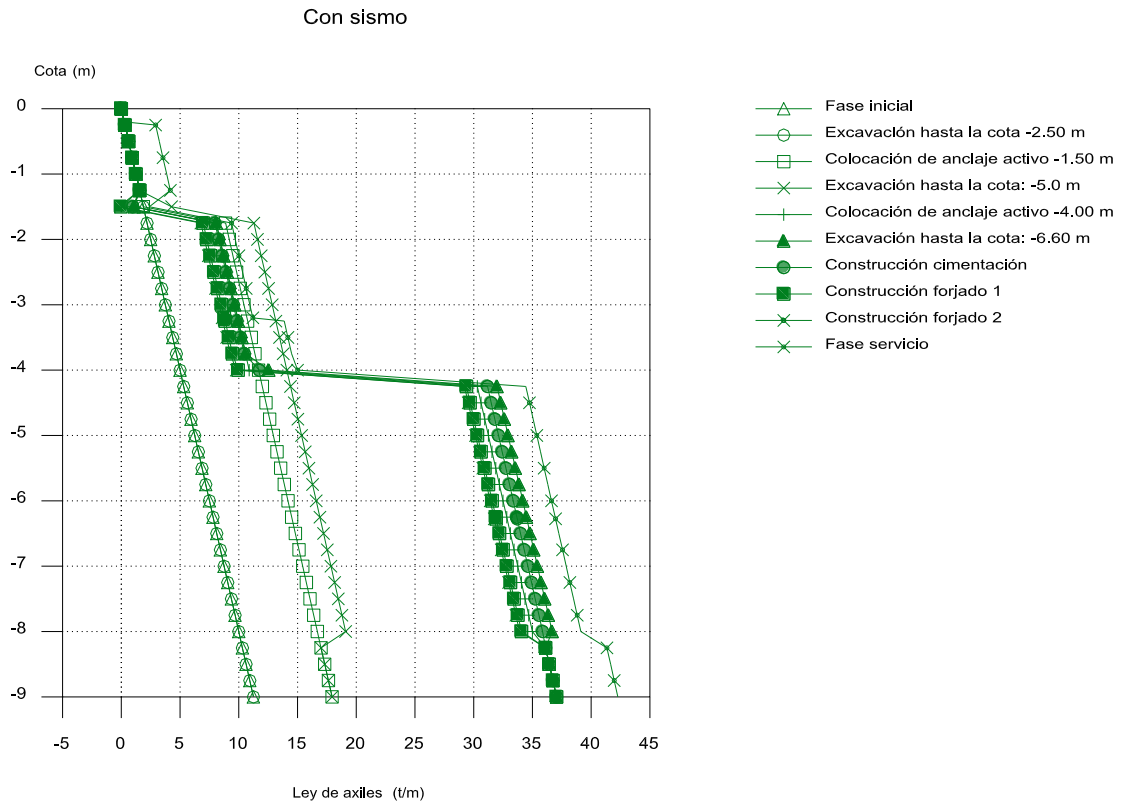
**Gráfica IV-20. Presión hidrostática – Todas las fases. Básica**



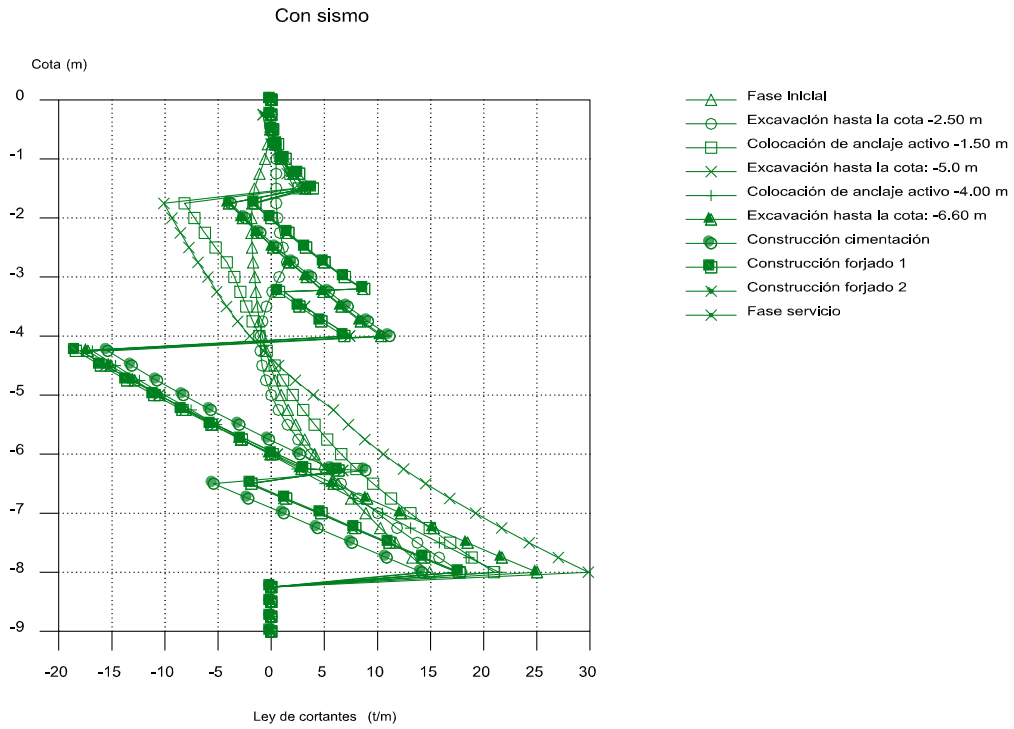
**Gráfica IV-21. Desplazamientos – Todas las fases. Sismo**



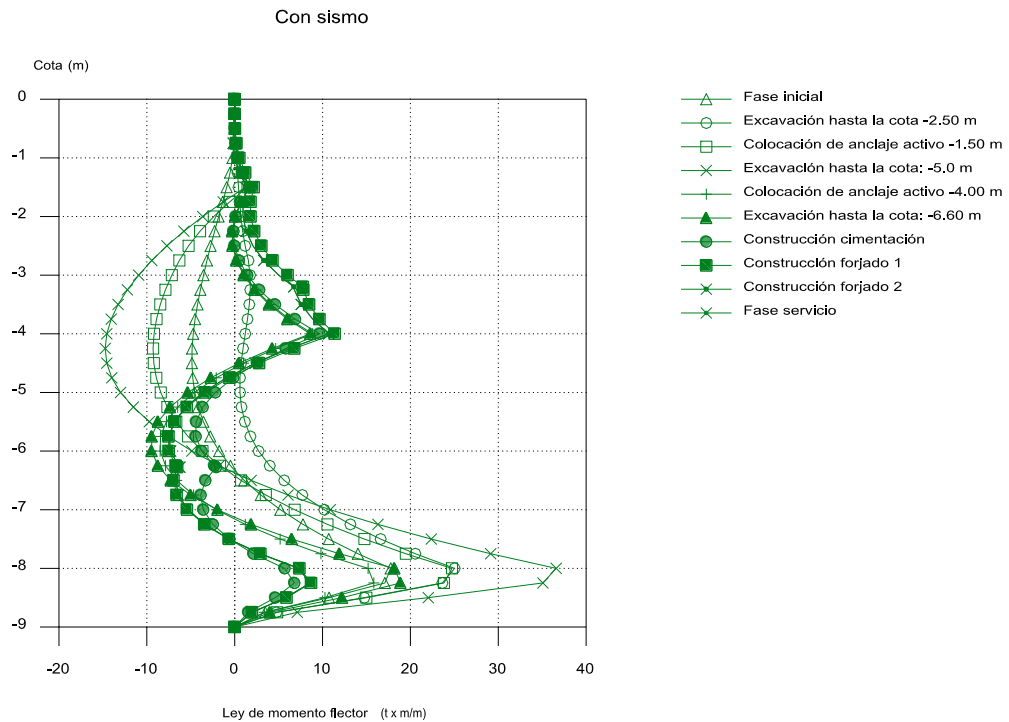
**Gráfica IV-22. Ley de axiales – Todas las fases. Sismo**



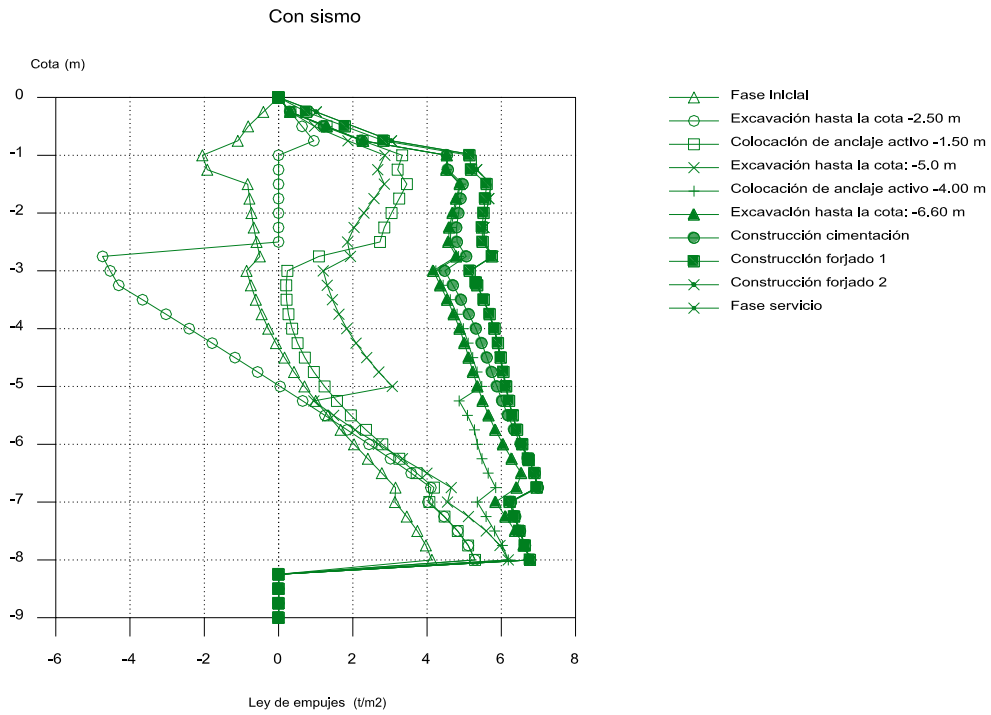
**Gráfica IV-23. Ley de cortantes – Todas las fases. Sismo**



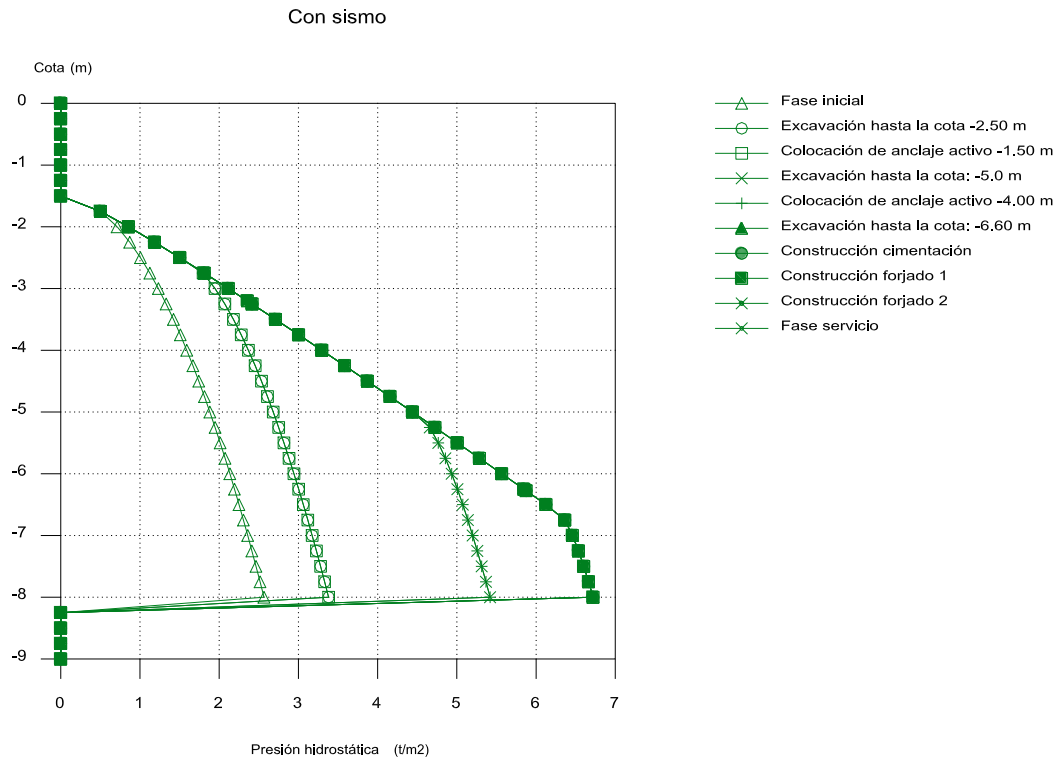
**Gráfica IV-24. Ley de momento flector – Todas las fases. Sismo**



**Gráfica IV-25. Ley de empujes – Todas las fases. Sismo**



**Gráfica IV-26. Presión hidrostática – Todas las fases. Sismo**



### 4.3. Diseño de aisladores sísmicos

#### 4.3.1. Diseño de aislador de caucho de alto amortiguamiento

##### 4.3.1.1. Propiedades dinámicas de aislador de alto amortiguamiento

*Tabla IV-30. Propiedades dinámicas de aislador del alto amortiguamiento HDR*

Di	15.00	15.00	15.00	cm
De	60.00	65.00	70.00	cm
A	2651	3142	3672	cm <sup>2</sup>
A efec	2826	3317	3847	cm <sup>2</sup>
Tr	20.00	19.80	20.20	cm

		60 cm			65 cm			70 cm		
		1.00	1.41	1.86	1.00	1.43	1.84	1.00	1.40	1.86
Geq (N/mm <sup>2</sup> )	0.3S	0.30	0.24	0.22	0.30	0.24	0.22	0.30	0.24	0.22
	0.4S	0.39	0.33	0.29	0.39	0.33	0.30	0.39	0.33	0.29
	0.6S	0.62	0.53	0.48	0.62	0.52	0.48	0.62	0.53	0.48
Heq (1/100)	0.3S	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17
	0.4S	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24
	0.6S	0.24	0.23	0.22	0.24	0.23	0.22	0.24	0.23	0.22
u (adim)	0.3S	0.28	0.28	0.29	0.28	0.29	0.29	0.28	0.28	0.29
	0.4S	0.41	0.42	0.42	0.41	0.42	0.42	0.41	0.42	0.42
	0.6S	0.41	0.39	0.37	0.41	0.39	0.37	0.41	0.39	0.37
Keq (ton/m)	0.3S	43.23	35.06	31.68	51.25	41.37	37.67	58.26	47.48	42.71
	0.4S	56.48	47.49	42.34	66.96	56.07	50.44	76.13	64.27	57.09
	0.6S	89.37	75.79	69.67	105.95	89.53	82.82	120.45	102.53	93.92
K2 (ton/m)	0.3S	31.17	25.07	22.59	36.95	29.57	26.85	42.00	33.96	30.45
	0.4S	33.44	27.73	24.62	39.64	32.73	29.33	45.07	37.54	33.20
	0.6S	52.91	45.91	43.90	62.73	54.29	52.10	71.32	62.04	59.17
K1 (ton/m)	0.3S	311.65	250.68	225.86	369.50	295.73	268.53	420.05	339.56	304.48
	0.4S	334.37	277.29	246.21	396.42	327.28	293.25	450.66	375.43	331.97
	0.6S	529.13	459.12	439.00	627.33	542.94	520.96	713.16	620.43	591.73
Qd (ton)	0.3S	2.41	2.83	3.38	2.86	3.37	3.98	3.25	3.79	4.56
	0.4S	4.61	5.59	6.59	5.46	6.67	7.78	6.21	7.49	8.88
	0.6S	7.29	8.46	9.59	8.64	10.07	11.32	9.83	11.34	12.91

### 4.3.1.2. Diseño por Sismo de Diseño Base (DBE)

#### PREDISEÑO DE UN AISLADOR

Peso edificio	7542.58			
Aisladores parcial	9.00	23.00	6.00	#
Aisladores total	38.00			

		AS1	AS2	AS3	
Def de corte máxima admisible	$\gamma_{m\acute{a}x}$	250.00	250.00	250.00	%
Diámetro exterior	$D_e$	60.00	65.00	70.00	cm
Diámetro inicial	$D_i$	15.00	15.00	15.00	cm
Número de capas de goma	$n$	50.00	45.00	43.00	und
Espesor capa de goma	$t_r$	0.40	0.44	0.47	cm
Espesor capa de acero	$t_s$	0.31	0.31	0.31	cm
Diámetro de placa 1	$L$	90.00	95.00	100.00	cm
Diámetro de placa 2	$L$	90.00	95.00	100.00	cm
Espesor placa 1	$t_{sp}$	0.22	0.22	0.22	cm
Espesor placa 2	$t_{sp}$	0.06	0.06	0.06	cm
Número de pernos	$N$				und
Diámetro de perno	$D_p$				cm
Tensión admisible de compresión	$\sigma_{ac}$	141.97	169.87	196.31	kg/cm2
Tensión de fluencia del acero	$\sigma_y$	2400.00	2400.00	2400.00	kg/cm2

#### PASO 1 Fijar periodo objetivo

$T_D$	2.987	seg	
$T_D$	2.987	seg	(Iterar)
$\beta d$	23.650	%	(Iterar)

#### PASO 2 Rigidez efectiva preliminar

$$K_H = M\omega^2$$

$W$	7542.58	ton
$g$	9.81	m/s <sup>2</sup>
$M$	769.18	ton.s <sup>2</sup> /m
$K_H$	3403.44	ton/m

#### PASO 3 Amortiguamiento efectivo preliminar

$\beta d$	23.660	23.640	23.690	%
$B_D$	1.573	1.573	1.574	

$N$	9.00	23.00	6.00	adim
$\beta d$	23.653			
$B_D$	1.573			

**TABLA A-16-C - Coeficientes de amortiguamiento, B1**

Effective damping, $\beta D$ o $\beta M$ (percentage of critical) (1,2)	BD o BM factor
2	0.8
5	1
10	1.2
20	1.5
30	1.7
40	1.9
$\geq 50$	2

**PASO 4** Desplazamiento de diseño preliminar

$$D_D = \frac{g S_{D1} T_D}{4\pi^2 B_D}$$

$T_D$	2.99	seg
$g$	9.81	m/s <sup>2</sup>
$S_{D1}$	0.60	
$B_D$	1.57	

( Ingresar )

$D_D$	28.30	cm
-------	-------	----

**PASO 5** Espesor total preliminar del caucho

$T_r$	0.200	0.198	0.202	m
-------	-------	-------	-------	---

( Ingresar )

\*

Deformación angular al corte

$$\gamma_s = \frac{D_D}{T_r} \quad \gamma_s < 250\%$$

$T_r$	20.00	19.80	20.20	cm
$D_D$	28.30	28.30	28.30	cm
$\gamma_s$	141.50	142.93	140.10	%

OK

**PASO 6** Desplazamiento de fluencia

$$Dy = < 0.05 T_r, 0.1 T_r > \quad Dy = \frac{Q}{K_e - K_p} = \frac{Q}{9 K_p}$$

$T_r$	20.00	19.80	20.20	cm
$Dy$	2.08	2.08	2.08	cm

**PASO 7** Cálculo del área preliminar

$$A = \frac{Kh \cdot T_r}{G}$$

$G_{eff}$	5.44	kg/cm <sup>2</sup>
$Kh$	34034.36	kg/cm
$T_r$	20.00	cm

$A_{total\ pre}$	125140.39	cm <sup>2</sup>
------------------	-----------	-----------------

**PASO 8** Cálculo del área total final

$$A = \pi \left[ \frac{D_e^2}{4} - \frac{D_i^2}{4} \right]$$

$D_i$	15.00	15.00	15.00	cm
$D_e$	60.00	65.00	70.00	cm

$A_{unidad}$	2650.72	3141.59	3671.74	cm <sup>2</sup>
$A_{efectiva}$	2826.00	3317.00	3847.00	cm <sup>2</sup>
$N$	9.00	23.00	6.00	adim
$A_{parcial}$	25434.00	76291.00	23082.00	cm <sup>2</sup>

( Ingresar )

**PASO 9** Cálculo de la nueva rigidez efectiva

$$K_{eff\ total} = \frac{A \cdot G}{T_r}$$

$A_{total}$	25434.00	76291.00	23082.00
$G_{eff}$	5.44	5.41	5.46
$T_r$	20.00	19.80	20.20

$K_{eff\ parcial}$	6917.27	20863.94	6243.46	kg/cm
--------------------	---------	----------	---------	-------

$K_{eff\ total}$	34024.67			kg/cm
------------------	----------	--	--	-------

OK

**PASO 10** Cálculo de la nueva rigidez efectiva compuesta del sistema de aislamiento

$$K_{eff\ total} = N \times K_{eff\ unidad}$$

$K_{eff\ parcial}$	6917.27	20863.94	6243.46	kg/cm
--------------------	---------	----------	---------	-------

$N$	9.00	23.00	6.00	adim
$K_{eff\ unidad}$	768.59	907.13	1040.58	kg/cm

$K_{eff\ total}$	34024.67			kg/cm
------------------	----------	--	--	-------

**PASO 11** Cálculo de la fuerza característica total para deformación cero

$$Q = \frac{\pi \beta_{eff} K_{eff\ total} D^2}{2(D - D_y)}$$

$\beta_{eff}$	23.66	23.64	23.69	%
$K_{eff\ total}$	6917.27	20863.94	6243.46	kg/cm
$D$	28.30	28.30	28.30	cm
$D_y$	2.08	2.08	2.08	cm

$Q_{parcial}$	78523.44	236643.05	70964.31	kg
---------------	----------	-----------	----------	----

**PASO 12** Cálculo de la rigidez postfluencia total

$$Q = \frac{\pi \beta_{eff} K_p D^2}{(2 - \pi \beta_{eff}) D - 2 D_y}$$

$\beta_{eff}$	23.66	23.64	23.69	%
$D$	28.30	28.30	28.30	cm
$D_y$	2.08	2.08	2.08	cm
$Q$	78523.44	236643.05	70964.31	kg

$K_{p\text{ parcial}}$	4142.52	12501.79	3735.82	kg/cm
------------------------	---------	----------	---------	-------

**PASO 13** Cálculo de desplazamiento de fluencia total

$$F_y = Q + K_p D_y$$

$Q$	78523.44	236643.05	70964.31	kg
$K_p$	4142.52	12501.79	3735.82	kg/cm
$D_y$	2.08	2.08	2.08	cm

$F_y$	87139.88	262646.76	78734.82	kg
-------	----------	-----------	----------	----

**PASO 14** Cálculo de la rigidez elástica total

$$K_e = \frac{F_y}{D_y}$$

$F_y$	87139.88	262646.76	78734.82	kg
$D_y$	2.08	2.08	2.08	cm

$K_{e\text{ total}}$	41894.18	126272.48	37853.28	kg/cm
$K_{e\text{ unidad}}$	4654.91	5490.11	6308.88	kg/cm

**PASO 15** Cálculo del ratio de rigidez elástica y post fluencia

$$r = \frac{K_p}{K_e}$$

$K_{p\text{ total}}$	4142.52	12501.79	3735.82	kg/cm
$K_{e\text{ total}}$	41894.18	126272.48	37853.28	kg/cm

$r$	0.10	0.10	0.10
-----	------	------	------

**PASO 16** Cálculo del periodo real del sistema

$$T_D = 2\pi \sqrt{\frac{W}{K_{eff} g}}$$

$W$	7542.58	ton
$g$	9.81	m/s <sup>2</sup>
$K_{eff}$	34024.67	kg/cm

$T_D$	2.99	seg
-------	------	-----

**PASO 17** Desplazamiento de diseño corregido

$$D_D = \frac{gS_{D1}T_D}{4\pi^2 B_D}$$

$T_D$	2.99	seg
$g$	9.81	m/s <sup>2</sup>
$S_{D1}$	0.60	
$B_D$	1.57	

$D_D$	28.30	cm
-------	-------	----

**PASO 18** Energía disipada

$$ED = 2\pi K_{eff} D^2 \beta_{eff} \quad E_D = 4Q(D - Dy)$$

$K_{eff}$	691.73	2086.39	624.35	ton/m
$D$	28.30	28.30	28.30	cm
$\beta_{eff}$	23.66	23.64	23.69	%

$ED$	82.37	248.22	74.44	ton.m
------	-------	--------	-------	-------

**PASO 19** Cálculo del amortiguamiento efectivo

$$\beta_{eff} = \frac{E_D}{2\pi K_{eff} D^2}$$

$E_D$	82.37	248.22	74.44	ton.m
$K_{eff}$	691.73	2086.39	624.35	ton/m
$D$	28.30	28.30	28.30	cm

$\beta d$	23.66	23.64	23.69	%
$B_D$	1.57	1.57	1.57	

(Iterar )

$N$	9.00	23.00	6.00	adim
$\beta d$	23.650			
$B_D$	1.57			

**PASO 20** Desplazamiento de diseño corregido

$$D_D = \frac{gS_{D1}T_D}{4\pi^2 B_D}$$

$T_D$	2.99	seg
$g$	9.81	m/s <sup>2</sup>
$S_{D1}$	0.60	m/s <sup>2</sup>
$B_D$	1.57	

$D_D$	28.30	cm
-------	-------	----

**PASO 21** Energía disipada final

$$ED = 2\pi K_{eff} D^2 \beta_{eff}$$

$K_{eff}$	691.73	2086.39	624.35	ton/m
$D$	0.28	0.28	0.28	m
$\beta_{eff}$	0.24	0.24	0.24	
$ED$	82.37	248.22	74.44	ton.m
$N$	9.00	23.00	6.00	ton.m
$ED$	9.15	10.79	12.41	ton.m

**PASO 22** Cálculo del espesor y número de capas de caucho

$tr$	0.40	0.44	0.47	cm	( Ingresar )
------	------	------	------	----	--------------

$$n = \frac{Tr}{tr}$$

$n$	50.00	45.00	43.00	adim	( Ingresar )
-----	-------	-------	-------	------	--------------

Capas

	2	2	2	( Ingresar )
	48.00	43.00	41.00	

Espesor

	0.40	0.44	0.47	cm
	0.40	0.44	0.47	cm

$Tr$	20.00	19.80	20.20	cm
	OK	OK	OK	

**PASO 23** Cálculo del valor del factor de forma , S

$$S_{circular} = \frac{De - Di}{4 tr}$$

$De$	60.00	65.00	70.00	cm
$Di$	15.00	15.00	15.00	cm
$tr$	0.40	0.44	0.47	cm

$S$	28.13	28.41	29.26	adim
-----	-------	-------	-------	------

**PASO 24** Cálculo del espesor y número de capas de acero

$$\sigma_s = \frac{1.5 t_r \sigma_{ac}}{t_s} \quad \sigma_{adm} = 0.75 \sigma_y \quad \sigma_s < \sigma_{adm} \gg OK$$

$tr$	0.40	0.44	0.47	cm
$ts$	0.31	0.31	0.31	cm
$\sigma_{ac}$	141.97	141.97	141.97	kg/cm2
$\sigma_y$	2400.00	2400.00	2400.00	kg/cm2

( Ingresar )

$\sigma_s$	274.78	302.26	322.87	kg/cm <sup>2</sup>
$\sigma_{adm}$	1800.00	1800.00	1800.00	kg/cm <sup>2</sup>

OK

**PASO 25** Número de capas de acero

$$n_{acero} = n_{caucho} - 1$$

Capas			
2	2	2	adim
47.00	42.00	40.00	adim

Espesor			
0.310	0.310	0.310	cm
0.31	0.31	0.31	cm

( Ingresar )

**PASO 26** Espesor total de capas de acero

$$T_s = n_{acero} \times t_s$$

$T_s$	15.19	13.64	13.02	cm
-------	-------	-------	-------	----

**PASO 27** Altura total de aislador

$$H = T_r + T_s + 2 \times t_{sp}$$

$T_r$	20.00	19.80	20.20	cm
$T_s$	15.19	13.64	13.02	cm
$t_{sp}$	2.20	2.20	2.20	cm
$t_{sp}$	0.60	0.60	0.60	cm
$H$	40.79	39.04	38.82	cm

( Ingresar )

( Ingresar )

**PASO 28** Módulo de compresión

$$E_c = \frac{6GS^2K}{8GS^2 + K}$$

$G$	5.44	5.41	5.46	kg/cm <sup>2</sup>
$K$	20000.00	20000.00	20000.00	kg/cm <sup>2</sup>
$S$	28.13	28.41	29.26	adim

$E_c$	9487.44	9541.66	9774.55	kg/cm <sup>2</sup>
-------	---------	---------	---------	--------------------

**PASO 29** Rigidez vertical

$$K_v = \frac{E_c A}{T_r}$$

$E_c$	9487.44	9541.66	9774.55	kg/cm <sup>2</sup>
$A_{unidad}$	2826.00	3317.00	3847.00	cm <sup>2</sup>
$T_r$	20.00	19.80	20.20	cm
$K_v$	1340574.59	1598468.47	1861518.89	kg/cm

**PASO 30** Frecuencia vertical

$$fv = \sqrt{6} S fd$$

<i>S</i>	28.13	28.41	29.26	adim
<i>fd</i>	0.40	0.40	0.40	Hz

<i>fv</i>	27.56	27.84	28.66	Hz
-----------	-------	-------	-------	----

OK

**PASO 31** Amortiguamiento efectivo total

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad C = \frac{ED^T}{\pi Dd^2 \omega}$$

<i>T</i>	2.99	2.99	2.99	seg
$\omega$	2.10	2.10	2.10	rad/seg
<i>ED<sup>T</sup></i>	82.37	248.22	74.44	ton.m
<i>Dd</i>	0.28	0.28	0.28	m

<i>C</i>	155.60	468.92	140.62	ton.s/m
<i>N</i>	9.00	23.00	6.00	adim
<i>C</i>	17.29	20.39	23.44	ton.s/m

**PASO 32** Diagrama de histéresis del sistema de aislación

<i>N</i>	9.00	23.00	6.00
----------	------	-------	------

<i>Dy</i>	2.08	2.08	2.08	cm
<i>Dd</i>	28.30	28.30	28.30	cm
<i>F<sub>y total</sub></i>	87.14	262.65	78.73	ton
<i>K<sub>eff total</sub></i>	6.92	20.86	6.24	ton/cm

<i>F<sub>y total</sub></i>	428.52	ton
<i>K<sub>eff total</sub></i>	34.02	ton/cm

<i>Dy</i>	2.08	2.08	2.08	cm
<i>Dd</i>	28.30	28.30	28.30	cm
<i>F<sub>y unidad</sub></i>	9.68	11.42	13.12	ton
<i>K<sub>eff unidac</sub></i>	0.77	0.91	1.04	ton/cm

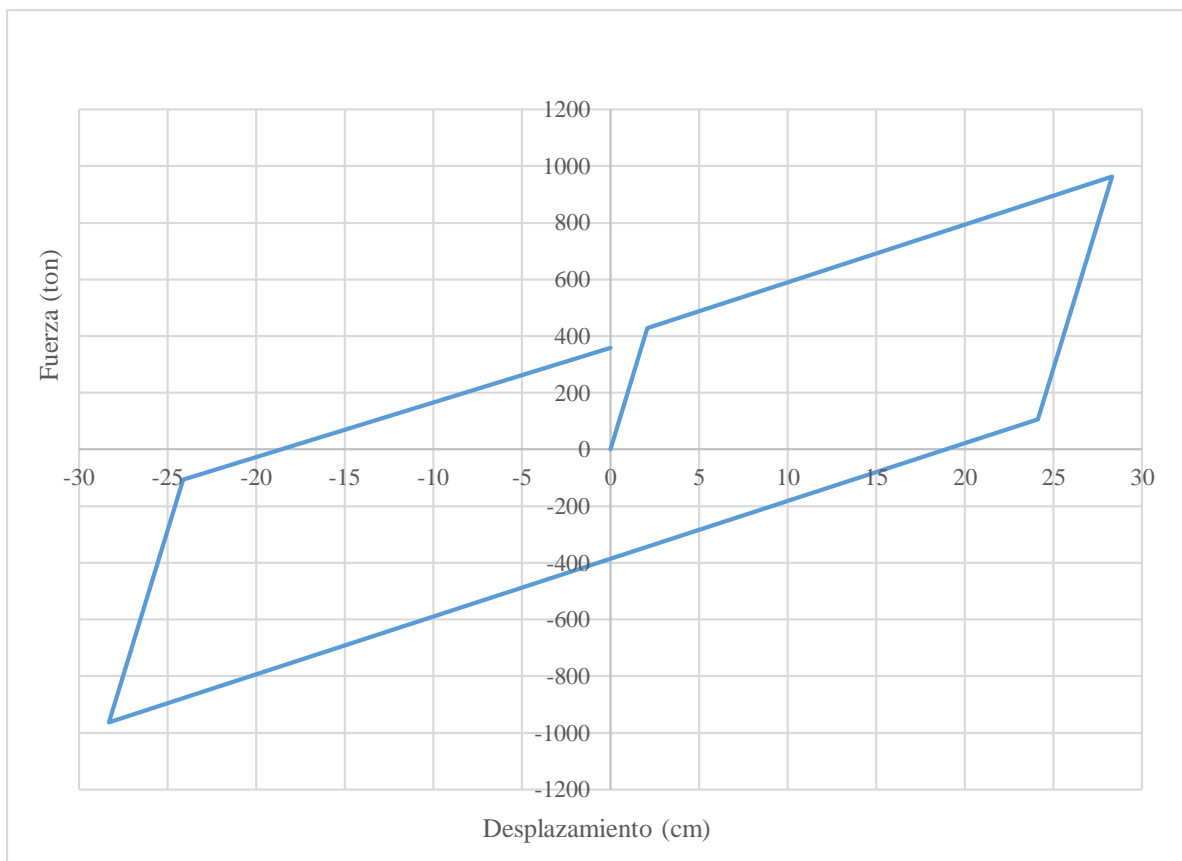
**Tabla IV-31. Coordenadas de fuerza y distancia para diagrama de histéresis por sistema de aislación HDR por sismo DBE**

PUNTOS	cm		ton		LEYENDA	
	X	Y	X	Y	letra	fórmula
0	0.00	0.00	0.00	0.00	A	Dy
1	A	B	2.08	428.52	B	Fy.N
2	C	D	28.30	962.87	C	Dd
3	E	F	24.14	105.83	D	Keff.Dy.N
4	-C	-D	-28.30	-962.87	E	Dd-2Dy
5	-E	-F	-24.14	-105.83	F	Keff.Dy.N-2Fy.N
6	-A	-B	0.00	357.75		

%D	X	Y
	cm	ton
0.25D	7.07	530.32
0.50D	14.15	674.50
1.00D	28.30	962.87

m	c
%	ton/cm
206.02	0.00
20.38	386.13

**Gráfica IV-27. Diagrama de histéresis por sistema de aislación HDR por sismo DBE**



### 4.3.1.3. Diseño por Sismo Máximo Esperado (MCE)

#### PREDISEÑO DE UN AISLADOR

Peso edificio	7542.58		
Aisladores parcial	9.00	23.00	6.00 #
Aisladores total	38.00		

		AS1	AS2	AS3	
Def de corte máxima admisible	$\gamma_{m\acute{a}x}$	250.00	250.00	250.00	%
Diámetro exterior	$D_e$	60.00	65.00	70.00	cm
Diámetro inicial	$D_i$	15.00	15.00	15.00	cm
Número de capas de goma	$n$	50.00	45.00	43.00	und
Espesor capa de goma	$t_r$	0.40	0.44	0.47	cm
Espesor capa de acero	$t_s$	0.31	0.31	0.31	cm
Longitud de placa 1	$L$	90.00	95.00	100.00	cm
Longitud de placa 2	$L$	90.00	95.00	100.00	cm
Espesor placa 1	$t_{sp}$	0.22	0.22	0.22	cm
Espesor placa 2	$t_{sp}$	0.06	0.06	0.06	cm
Número de pernos	$N$				und
Diámetro de perno	$D_p$				cm
Tensión admisible de compresión	$\sigma_{ac}$	141.97	169.87	196.31	kg/cm2
Tensión de fluencia del acero	$\sigma_y$	2400.00	2400.00	2400.00	kg/cm2

Tabla.- Propiedades de los materiales

Descripción	Límite inferior	Límite superior	Unidades
	LB	UB	und
Módulo de corte efectivo de goma G	5.95	8.05	kg/cm2
Módulo volumétrico de goma K	2000	2000	Mpa

Módulo volumétrico de goma K	2000.00	2000.00	2000.00	Mpa
Módulo de corte efectivo de goma Geff	4.74	4.75	4.74	kg/cm2

( Ingresar )

#### PASO 1 Fijar periodo objetivo

$T_D$	3.194	seg
$T_D$	3.194	seg
$\beta d$	22.056	%

( Iterar )

( Iterar )

#### PASO 2 Rigidez efectiva preliminar

$$K_H = M\omega^2$$

$W$	7542.58	ton
$g$	9.81	m/s2
$M$	769.18	ton.s2/m
$K_H$	2976.58	ton/m

#### PASO 3 Amortiguamiento efectivo preliminar

$\beta d$	22.020	22.080	22.020	%
$B_D$	1.540	1.542	1.540	

$N$	9.00	23.00	6.00	adim
$\beta d$	22.056			
$B_D$	1.541			

**TABLA A-16-C - Coeficientes de amortiguamiento, B1**

Effective damping, $\beta D$ o $\beta M$ (percentage of critical) (1,2)	BD o BM factor
2	0.8
5	1
10	1.2
20	1.5
30	1.7
40	1.9
$\geq 50$	2

**PASO 4** Desplazamiento de diseño preliminar

$$D_D = \frac{g S_{D1} T_D}{4\pi^2 B_D}$$

$T_D$	3.19	seg
$g$	9.81	m/s <sup>2</sup>
$S_{D1}$	0.90	
$B_D$	1.54	

( Ingresar )

$D_D$	46.33	cm
-------	-------	----

**PASO 5** Espesor total preliminar del caucho

$T_r$	0.200	0.198	0.202	m
-------	-------	-------	-------	---

( Ingresar )

\* Deformación angular al corte

$$\gamma_s = \frac{D_D}{T_r} \quad \gamma_s < 250\%$$

$T_r$	20.00	19.80	20.20	cm
$D_D$	46.33	46.33	46.33	cm
$\gamma_s$	231.65	233.99	229.36	%

OK

**PASO 6** Desplazamiento de fluencia

$$Dy = < 0.05T_r, 0.1T_r > \quad Dy = \frac{Q}{K_e - K_p} = \frac{Q}{9 K_p}$$

$T_r$	20.00	19.80	20.20	cm
$Dy$	1.86	1.84	1.86	cm

**PASO 7** Cálculo del área preliminar

$$A = \frac{Kh \cdot T_r}{G}$$

$G_{eff}$	4.74	kg/cm <sup>2</sup>
$Kh$	29765.84	kg/cm
$T_r$	20.00	cm

$A_{total\ pre}$	125562.45	cm <sup>2</sup>
------------------	-----------	-----------------

**PASO 8** Cálculo del área total final

$$A = \pi \left[ \frac{D_e^2}{4} - \frac{D_i^2}{4} \right]$$

$D_i$	15.00	15.00	15.00	cm
$D_e$	60.00	65.00	70.00	cm

$A_{unidad}$	2650.72	3141.59	3671.74	cm <sup>2</sup>
$A_{efectiva}$	2826.00	3317.00	3847.00	cm <sup>2</sup>
$N$	9.00	23.00	6.00	adim
$A_{parcial}$	25434.00	76291.00	23082.00	cm <sup>2</sup>

**PASO 9** Cálculo de la nueva rigidez efectiva

$$K_{eff\ total} = \frac{A \cdot G}{T_r}$$

$A_{total}$	25434.00	76291.00	23082.00
$G_{eff}$	4.74	4.75	4.74
$T_r$	20.00	19.80	20.20

$K_{eff\ parcial}$	6029.39	18317.35	5418.76	kg/cm
--------------------	---------	----------	---------	-------

$K_{eff\ total}$	29765.50			kg/cm
------------------	----------	--	--	-------

**PASO 10** Cálculo de la nueva rigidez efectiva compuesta del sistema de aislamiento

$$K_{eff\ total} = N \times K_{eff\ unidad}$$

$K_{eff\ parcial}$	6029.39	18317.35	5418.76	kg/cm
--------------------	---------	----------	---------	-------

$N$	9.00	23.00	6.00	adim
$K_{eff\ unidad}$	669.93	796.41	903.13	kg/cm

$K_{eff\ total}$	29765.50			kg/cm
------------------	----------	--	--	-------

**PASO 11** Cálculo de la fuerza característica total para deformación cero

$$Q = \frac{\pi \beta_{eff} K_{eff\ total} D^2}{2(D - D_y)}$$

$\beta_{eff}$	22.02	22.08	22.02	%
$K_{eff\ total}$	6029.39	18317.35	5418.76	kg/cm
$D$	46.33	46.33	46.33	cm
$D_y$	1.86	1.84	1.86	cm

$Q_{parcial}$	100664.50	306525.13	90466.53	kg
---------------	-----------	-----------	----------	----

**PASO 12** Cálculo de la rigidez postfluencia total

$$Q = \frac{\pi \beta_{eff} K_p D^2}{(2 - \pi \beta_{eff})D - 2D_y}$$

$\beta_{eff}$	22.02	22.08	22.02	%
$D$	46.33	46.33	46.33	cm
$D_y$	1.86	1.84	1.86	cm
$Q$	100664.50	306525.13	90466.53	kg

$K_{p\text{ parcial}}$	3856.66	11701.36	3466.15	kg/cm
------------------------	---------	----------	---------	-------

**PASO 13** Cálculo de desplazamiento de fluencia total

$$F_y = Q + K_p D_y$$

$Q$	100664.50	306525.13	90466.53	kg
$K_p$	3856.66	11701.36	3466.15	kg/cm
$D_y$	1.86	1.84	1.86	cm

$F_y$	107837.89	328072.02	96908.02	kg
-------	-----------	-----------	----------	----

**PASO 14** Cálculo de la rigidez elástica total

$$K_e = \frac{F_y}{D_y}$$

$F_y$	107837.89	328072.02	96908.02	kg
$D_y$	1.86	1.84	1.86	cm

$K_{e\text{ total}}$	57977.36	178164.45	52145.95	kg/cm
$K_{e\text{ unidad}}$	6441.93	7746.28	8690.99	kg/cm

**PASO 15** Cálculo del ratio de rigidez elástica y post fluencia

$$r = \frac{K_p}{K_e}$$

$K_{p\text{ total}}$	3856.66	11701.36	3466.15	kg/cm
$K_{e\text{ total}}$	57977.36	178164.45	52145.95	kg/cm

$r$	0.07	0.07	0.07
-----	------	------	------

**PASO 16** Cálculo del periodo real del sistema

$$T_D = 2\pi \sqrt{\frac{W}{K_{eff} g}}$$

$W$	7542.58	ton
$g$	9.81	m/s <sup>2</sup>
$K_{eff}$	29765.50	kg/cm

$T_D$	3.19	seg
-------	------	-----

**PASO 17** Desplazamiento de diseño corregido

$$D_D = \frac{gS_{D1}T_D}{4\pi^2 B_D}$$

$T_D$	3.19	seg
$g$	9.81	m/s <sup>2</sup>
$S_{D1}$	0.90	
$B_D$	1.54	

$D_D$	46.33	cm
-------	-------	----

**PASO 18** Energía disipada

$$ED = 2\pi K_{eff} D^2 \beta_{eff} \quad E_D = 4Q(D - Dy)$$

$K_{eff}$	602.94	1831.73	541.88	ton/m
$D$	46.33	46.33	46.33	cm
$\beta_{eff}$	22.02	22.08	22.02	%

$ED$	179.07	545.49	160.93	ton.m
------	--------	--------	--------	-------

**PASO 19** Cálculo del amortiguamiento efectivo

$$\beta_{eff} = \frac{E_D}{2\pi K_{eff} D^2}$$

$E_D$	179.07	545.49	160.93	ton.m
$K_{eff}$	602.94	1831.73	541.88	ton/m
$D$	46.33	46.33	46.33	cm

$\beta d$	22.02	22.08	22.02	%
$B_D$	1.54	1.54	1.54	

(Iterar )

$N$	9.00	23.00	6.00	adim
$\beta d$	22.056			
$B_D$	1.54			

**PASO 20** Desplazamiento de diseño corregido

$$D_D = \frac{gS_{D1}T_D}{4\pi^2 B_D}$$

$T_D$	3.19	seg
$g$	9.81	m/s <sup>2</sup>
$S_{D1}$	0.90	m/s <sup>2</sup>
$B_D$	1.54	

$D_D$	46.33	cm
-------	-------	----

**PASO 21** Energía disipada final

$$ED = 2\pi K_{eff} D^2 \beta_{eff}$$

$K_{eff}$	602.94	1831.73	541.88	ton/m
$D$	0.46	0.46	0.46	m
$\beta_{eff}$	0.22	0.22	0.22	
$ED$	179.07	545.49	160.93	ton.m
$N$	9.00	23.00	6.00	ton.m
$ED$	19.90	23.72	26.82	ton.m

**PASO 22** Cálculo del espesor y número de capas de caucho

$tr$	0.40	0.44	0.47	cm	( Ingresar )
------	------	------	------	----	--------------

$$n = \frac{Tr}{tr}$$

$n$	50.00	45.00	43.00	adim	( Ingresar )
-----	-------	-------	-------	------	--------------

Capas

2	2	2	( Ingresar )
48.00	43.00	41.00	

Espesor

0.40	0.44	0.47	cm
0.40	0.44	0.47	cm

$Tr$	20.00	19.80	20.20	cm
	OK	OK	OK	

**PASO 23** Cálculo del valor del factor de forma , S

$$S_{circular} = \frac{De - Di}{4 tr}$$

$De$	60.00	65.00	70.00	cm
$Di$	15.00	15.00	15.00	cm
$tr$	0.40	0.44	0.47	cm

$S$	28.13	28.41	29.26	adim
-----	-------	-------	-------	------

**PASO 24** Cálculo del espesor y número de capas de acero

$$\sigma_s = \frac{1.5 t_r \sigma_{ac}}{t_s} \quad \sigma_{adm} = 0.75 \sigma_y \quad \sigma_s < \sigma_{adm} \gg OK$$

$tr$	0.40	0.44	0.47	cm
$ts$	0.31	0.31	0.31	cm
$\sigma_{ac}$	141.97	141.97	141.97	kg/cm2
$\sigma_y$	2400.00	2400.00	2400.00	kg/cm2

( Ingresar )

$\sigma_s$	274.78	302.26	322.87	kg/cm <sup>2</sup>
$\sigma_{adm}$	1800.00	1800.00	1800.00	kg/cm <sup>2</sup>

OK

**PASO 25** Número de capas de acero

$$n_{acero} = n_{caucho} - 1$$

Capas

2	2	2	adim
47.00	42.00	40.00	adim

Espesor

0.310	0.310	0.310	cm
0.31	0.31	0.31	cm

( Ingresar )

**PASO 26** Espesor total de capas de acero

$$T_s = n_{acero} \times t_s$$

$T_s$	15.19	13.64	13.02	cm
-------	-------	-------	-------	----

**PASO 27** Altura total de aislador

$$H = T_r + T_s + 2 \times t_{sp}$$

$T_r$	20.00	19.80	20.20	cm
$T_s$	15.19	13.64	13.02	cm
$t_{sp}$	2.20	2.20	2.20	cm
$t_{sp}$	0.60	0.60	0.60	cm
$H$	40.79	39.04	38.82	cm

( Ingresar )

( Ingresar )

**PASO 28** Módulo de compresión

$$E_c = \frac{6GS^2K}{8GS^2 + K}$$

$G$	4.74	4.75	4.74	kg/cm <sup>2</sup>
$K$	20000.00	20000.00	20000.00	kg/cm <sup>2</sup>
$S$	28.13	28.41	29.26	adim

$E_c$	9000.35	9082.19	9282.41	kg/cm <sup>2</sup>
-------	---------	---------	---------	--------------------

**PASO 29** Rigidez vertical

$$K_v = \frac{E_c A}{T_r}$$

$E_c$	9000.35	9082.19	9282.41	kg/cm <sup>2</sup>
$A_{unidad}$	2826.00	3317.00	3847.00	cm <sup>2</sup>
$T_r$	20.00	19.80	20.20	cm
$K_v$	1271749.38	1521495.62	1767793.81	kg/cm

**PASO 30** Frecuencia vertical

$$fv = \sqrt{6} S fd$$

<i>S</i>	28.13	28.41	29.26	adim
<i>fd</i>	0.40	0.40	0.40	Hz

<i>fv</i>	27.56	27.84	28.66	Hz
-----------	-------	-------	-------	----

OK

**PASO 31** Amortiguamiento efectivo total

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad C = \frac{ED^T}{\pi Dd^2 \omega}$$

<i>T</i>	3.19	3.19	3.19	seg
$\omega$	1.97	1.97	1.97	rad/seg
<i>ED<sup>T</sup></i>	179.07	545.49	160.93	ton.m
<i>Dd</i>	0.46	0.46	0.46	m

<i>C</i>	134.98	411.19	121.31	ton.s/m
<i>N</i>	9.00	23.00	6.00	adim
<i>C</i>	15.00	17.88	20.22	ton.s/m

**PASO 32** Diagrama de histéresis del sistema de aislación

<i>N</i>	9.00	23.00	6.00
----------	------	-------	------

<i>Dy</i>	1.86	1.84	1.86	cm
<i>Dd</i>	46.33	46.33	46.33	cm
<i>F<sub>y total</sub></i>	107.84	328.07	96.91	ton
<i>K<sub>eff total</sub></i>	6.03	18.32	5.42	ton/cm

<i>F<sub>y total</sub></i>	532.82			ton
<i>K<sub>eff total</sub></i>	29.77			ton/cm

<i>Dy</i>	1.86	1.84	1.86	cm
<i>Dd</i>	46.33	46.33	46.33	cm
<i>F<sub>y unidad</sub></i>	11.98	14.26	16.15	ton
<i>K<sub>eff unidac</sub></i>	0.67	0.80	0.90	ton/cm

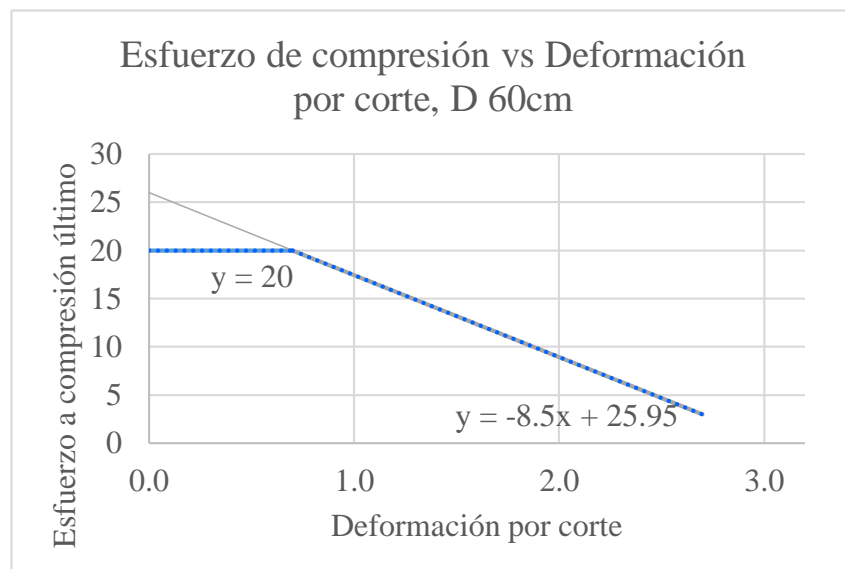
#### 4.3.1.4. Carga axial máxima

	Diámetro 60	Diámetro 65	Diámetro 70	
	cm	cm	cm	
$\gamma_{s(DBE)}$	1.41	1.43	1.40	adim
$\gamma_{s(MCE)}$	1.93	2.03	2.01	adim

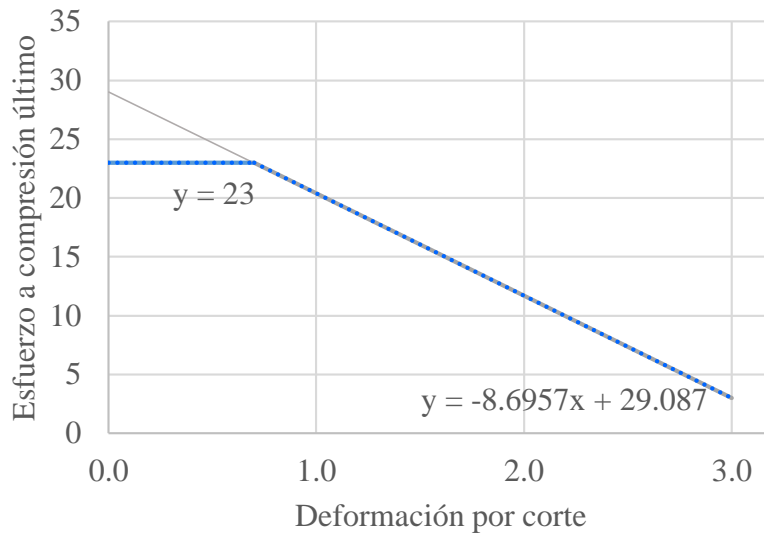
	$\gamma$	$\sigma$	$\gamma$	$\sigma$	$\gamma$	$\sigma$
	%	N/mm <sup>2</sup>	%	N/mm <sup>3</sup>	%	N/mm <sup>4</sup>
$\gamma$	0.0	26	0.0	29	0.0	31
$\gamma_0$	0.0	20	0.0	23	0.0	25
$\gamma_1$	0.7	20	0.7	23	0.8	25
$\gamma_2$	2.7	3	3.0	3	3.1	3

Fuente: Catálogo Bridgestone

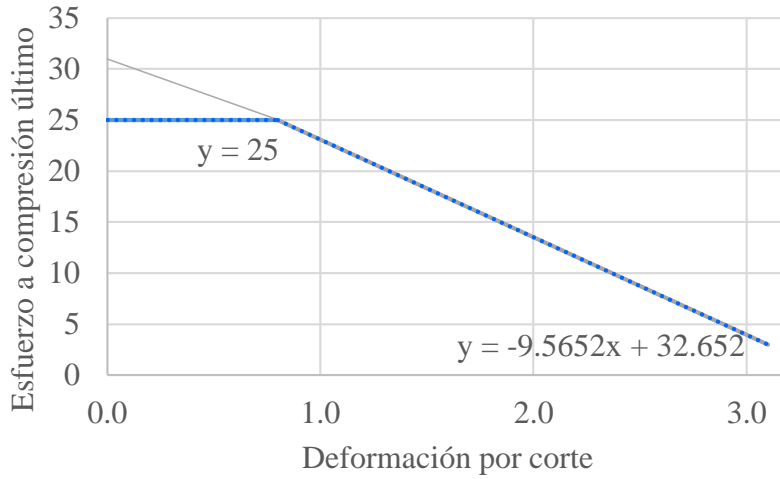
	Diámetro 60	Diámetro 65	Diámetro 70	
	cm	cm	cm	
$A$	2,826	3,317	3,847	cm <sup>2</sup>
$\sigma_{ac(DBE)}$	14	17	19	N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{ac(MCE)}$	10	11	13	N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{ac(DBE)}$	142	170	196	kg/cm <sup>2</sup>
$\sigma_{ac(MCE)}$	97	117	137	kg/cm <sup>2</sup>
$P_{m\acute{a}x(C)(DBE)}$	401	563	755	ton
$P_{m\acute{a}x(C)(MCE)}$	275	388	527	ton



Esfuerzo de compresión vs Deformación por corte, D 65 cm



Esfuerzo de compresión vs Deformación por corte, D 70 cm



#### 4.3.1.5. Carga axial mínima

Según Bridgestone [30] indica que el esfuerzo máximo de carga en tracción para un aislador elastomérico es de 1 N/mm<sup>2</sup>. De esta manera al multiplicar por el área del aislador, se obtuvo la carga vertical mínima.

*Tabla IV-32. Carga vertical mínima por tipo de aislador HDR.*

	<b>Diámetro 60</b>	<b>Diámetro 65</b>	<b>Diámetro 70</b>	
	cm	cm	cm	
$A$	2826	3317	3847	cm <sup>2</sup>
$\sigma_{ac}$	1.0	1.0	1.0	N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{ac}$	10.20	10.20	10.20	kg/cm <sup>2</sup>
$P_{\min(T)}$	29	34	39	ton

#### 4.3.1.6. Verificación de carga máxima y mínima

Con la carga vertical máxima y mínima calculada en los acápites anteriores, permitió verificar que los aisladores no superen su carga máxima admisible y la carga mínima (verificación de tracciones). Se realizó la verificación para cada uno de los aisladores sísmicos, con sus respectivas combinaciones según indica el código ASCE 7-10.

*Tabla IV-33. Verificación por aislador de carga máxima y mínima*

Elemento	Link	PESO PROPIO	ACABADOS	VIVA	ETM	ECM	1.5D+0.5L+ECM	0.65D+ETM	D+0.5L	P mín	P máx	TIPO
Text	Text	ton	ton	ton	ton	ton	ton	ton	ton	ton	ton	text
1	76	-71.7	-50.4	-18.5	43.9	-45.6	-237.9	-35.4	-131.3		237.9	AS1
2	79	-101.5	-77.9	-32.2	2.1	-2.9	-288.1	-114.5	-195.5		288.1	AS2
3	80	-108.7	-67.0	-36.2	1.8	-2.9	-284.6	-112.4	-193.9		284.6	AS1
4	81	-106.5	-78.6	-35.2	5.4	-6.5	-301.8	-115.0	-202.8		301.8	AS2
5	82	-96.3	-76.5	-33.0	8.6	-9.8	-285.6	-103.8	-189.4		285.6	AS1
6	83	-72.7	-50.1	-21.3	36.8	-38.5	-233.4	-43.1	-133.5		233.4	AS1
7	84	-60.6	-40.6	-14.9	69.9	-69.0	-228.3	4.1	-108.7	-4.1	228.3	AS1
8	68	-82.0	-66.3	-25.1	51.8	-53.0	-288.0	-44.6	-160.8		288.0	AS2
9	69	-137.9	-100.3	-41.7	21.1	-22.3	-400.4	-133.7	-259.0		400.4	AS2
10	70	-145.1	-84.4	-46.0	4.6	-6.3	-373.6	-144.6	-252.5		373.6	AS2
11	72	-138.8	-98.6	-43.4	20.6	-21.0	-398.7	-133.7	-259.1		398.7	AS2
12	73	-124.1	-100.1	-41.7	1.9	-1.9	-359.1	-143.8	-245.1		359.1	AS2
13	74	-97.9	-70.1	-28.7	14.4	-14.6	-280.9	-94.8	-182.3		280.9	AS1
14	75	-68.0	-50.8	-18.2	79.4	-77.0	-264.3	2.2	-127.9	-2.2	264.3	AS1
15	55	-92.8	-69.3	-19.0	62.9	-64.2	-316.8	-42.5	-171.6		316.8	AS2
16	62	-190.9	-94.6	-42.7	126.0	-129.0	-578.5	-59.6	-306.8		578.5	AS3
17	63	-226.1	-100.1	-46.8	38.4	-43.6	-556.1	-173.5	-349.5		556.1	AS3
18	64	-187.4	-97.1	-41.0	178.8	-175.9	-623.2	-6.1	-305.0		623.2	AS3

19	65	-131.0	-112.5	-44.1	0.8	-1.0	-388.3	-157.5	-265.5		388.3	AS2
20	66	-115.9	-86.9	-38.2	25.1	-25.7	-349.0	-106.7	-221.9		349.0	AS2
21	67	-82.5	-65.9	-25.2	97.6	-95.0	-330.3	1.1	-161.0	-1.1	330.3	AS2
22	39	-82.3	-62.3	-18.8	64.0	-65.6	-291.9	-30.0	-154.0		291.9	AS2
23	40	-185.7	-84.9	-42.7	112.4	-113.5	-540.6	-63.5	-291.9		540.6	AS3
24	41	-176.8	-77.7	-45.2	42.1	-41.9	-446.2	-123.3	-277.1		446.2	AS3
25	42	-153.3	-82.0	-44.4	48.2	-47.7	-422.7	-104.7	-257.4		422.7	AS2
26	43	-130.1	-107.2	-44.1	2.3	-2.5	-380.4	-152.0	-259.3		380.4	AS2
27	44	-116.9	-89.1	-39.8	26.9	-27.7	-356.5	-107.0	-225.9		356.5	AS2
28	45	-83.2	-65.2	-25.6	95.3	-92.5	-327.9	-1.2	-161.2		327.9	AS2
29	31	-89.0	-63.8	-23.6	64.7	-65.6	-306.6	-34.6	-164.6		306.6	AS2
30	33	-141.3	-84.1	-41.5	27.1	-26.4	-385.1	-119.4	-246.1		385.1	AS2
31	34	-126.3	-71.0	-39.0	3.6	-3.1	-318.5	-124.6	-216.8		318.5	AS2
32	35	-133.8	-84.4	-43.7	10.2	-10.3	-359.5	-131.6	-240.1		359.5	AS2
33	36	-121.3	-103.3	-40.4	0.5	-0.3	-357.3	-145.5	-244.7		357.3	AS2
34	37	-95.5	-75.6	-30.1	20.3	-20.9	-292.6	-90.9	-186.2		292.6	AS2
35	38	-88.7	-63.3	-24.1	88.3	-85.6	-325.6	-10.5	-164.1		325.6	AS2
36	28	-73.7	-57.0	-21.7	42.0	-43.1	-250.0	-42.9	-141.5		250.0	AS1
37	29	-68.7	-53.6	-20.1	33.6	-35.5	-228.9	-45.9	-132.3		228.9	AS1
38	30	-58.7	-37.8	-13.0	88.7	-85.9	-237.1	26.0	-103.0	-26.0	237.1	AS1

*Tabla IV-34. Verificación resumen de carga máxima y mínima*

TIPO	Diámetro	P max resist	P máx	Verif	P mín resist	P mín	Verif	Giro
text	cm	ton	ton	#	ton	ton	#	rad x 1000
AS1	60	286.90	285.6	OK	28.8	-26.0	OK	1.11
AS2	65	434.12	422.7	OK	33.8	-1.1	OK	1.11
AS3	70	612.22	578.5	OK	39.2	0.0	OK	1.11

### 4.3.1.7. Verificación de factores de seguridad

#### Solicitaciones

		HDR -AS1	HDR -AS2	HDR -AS3	
Carga máxima	$P_{m\acute{a}x}$	200.70	295.10	374.20	tn
Carga mínima	$P_{m\acute{i}n}$	31.90	35.10	33.10	tn
Desplazamiento máximo para MCE	$D_M$	31.89	31.89	31.89	cm

#### Diseño del aislador

Deformación de rotura del elastómero	$\epsilon_b$	5.50	5.50	5.50	
Compuesto de elastómero considerado					
Rigidez objetivo del aislador					ton/cm
Diámetro exterior	$D_e$	60.00	65.00	70.00	cm
Diámetro interior	$D_i$	15.00	15.00	15.00	cm
Área efectiva	$A$	2826.00	3317.00	3847.00	cm <sup>2</sup>
Número de capas de goma internas	$n_{caucho}$	50.00	45.00	43.00	adim
Espesor de las capas de goma interna	$t_r$	0.40	0.44	0.47	cm
Espesor de las placas de acero intermedias	$t_s$	0.31	0.31	0.31	cm
Espesor de las placas de carga €	$t_{sp}$	0.22	0.22	0.22	cm
Altura de goma total (Hr)	$T_r$	20.00	19.80	20.20	cm
Altura total del aislador (H)	$H$	40.79	39.04	38.82	cm

#### PASO 1 Factor de seguridad a la deformación angular, sin considerar $\gamma_b$

$$FS = 0.85 \epsilon_b / \gamma_{total}$$

Deformación angular a la compresión

$$e_c = \frac{P_{max}/A}{Eo(1+2ks^2)} \quad \gamma_c = 6S\epsilon_c$$

$P_{max}$	200.70	295.10	374.20	tn
$A$	2826.00	3317.00	3847.00	cm <sup>2</sup>
$Eo$	35.00	35.00	35.00	
$k$	0.70	0.70	0.70	adim
$s$	28.13	28.41	29.26	adim
$e_c$	0.00	0.00	0.00	
$\gamma_c$	30.89	38.31	40.68	%

Deformación angular al corte

$$\gamma_s = \frac{D_M}{T_r} \quad \gamma_s < 250\%$$

$T_r$	20.00	19.80	20.20	cm
$D_M$	31.89	31.89	31.89	cm
$\gamma_s$	159.45	161.06	157.87	%

OK

Deformación angular máxima

$$\gamma_{total} = \gamma_c + \gamma_s$$

$\gamma_{total}$	190.34	199.37	198.55	%
------------------	--------	--------	--------	---

Factor de seguridad

$$FS = 0.85 \varepsilon_b / \gamma_{total}$$

$\varepsilon_b$	5.50	5.50	5.50
FS	2.46	2.34	2.35

$FS > 1.5$

CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
--------	--------	--------

**PASO 2** Factor de seguridad a la deformación angular, considerando  $\gamma_b$

$$\gamma_b = \frac{3SD_e\theta}{T_r}$$

$$\gamma_{total} = \gamma_c + \gamma_s + \gamma_b$$

S	28.13	28.41	29.26	adim
$\theta$	0.00011	0.00011	0.00011	rad
$T_r$	20.00	19.80	20.20	cm
$\gamma_b$	2.78	3.08	3.35	
$\gamma_{total}$	193.13	202.45	201.90	%
	1.931	2.025	2.019	

Factor de seguridad

$$FS = 0.85 \varepsilon_b / \gamma_{total}$$

$\varepsilon_b$	5.50	5.50	5.50
FS	2.42	2.31	2.32

$FS > 1.3$

CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
--------	--------	--------

**PASO 3** Factor de Seguridad a la estabilidad o pandeo

Area de corte efectiva

A	2650.72	3141.59	3671.74	cm <sup>2</sup>
$T_r + T_s$	35.19	33.44	33.22	cm
$T_r$	20.00	19.80	20.20	cm
$A_s = A \frac{T_r + T_s}{T_r}$	4,664	5,306	6,038	cm <sup>2</sup>

Rigidez de corte efectiva

$P_s = (GA)_{eff} = GA_s$	25,369	28,730	32,993	Kg
---------------------------	--------	--------	--------	----

Momento de inercia

$I = \frac{\pi}{4} \left[ \left( \frac{D_e}{2} \right)^4 - \left( \frac{D_i}{2} \right)^4 \right]$	633,687	873,755	1,176,103	cm <sup>4</sup>
--	---------	---------	-----------	-----------------

Producto de modulo de elasticidad y momento de inercia, efectivos

$(EI)_{eff} = \frac{1}{3} E_c I$	2,004,022,904	2,779,024,906	3,831,958,169	kg.cm <sup>2</sup>
----------------------------------	---------------	---------------	---------------	--------------------

Carga de alabeo

$P_E = \frac{\pi^2 (EI)_{eff}}{h^2}$	15,972,169	24,527,859	34,270,564	kg
--------------------------------------	------------	------------	------------	----

Carga crítica

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

624	825	1,047	ton
-----	-----	-------	-----

Factor de seguridad

$$P_{máx}$$

201	295	374	ton
-----	-----	-----	-----

$$FS = \frac{P_{crít}}{P_{máx}}$$

3.11	2.80	2.80	adim
------	------	------	------

$$FS > 2$$

CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
GOMA OK	GOMA OK	GOMA OK

**PASO 4** Factor de seguridad al volcamiento

$$P_{mín}$$

31.90	35.10	33.10	ton
-------	-------	-------	-----

$$K_H$$

769	907	1,041	kg/cm
-----	-----	-------	-------

$$\emptyset$$

60.00	65.00	70.00	cm
-------	-------	-------	----

$$T_r + T_s$$

35.19	33.44	33.22	cm
-------	-------	-------	----

$$D_{Máx} = \frac{P_{Mín} \emptyset}{P_{Mín} + K_H H}$$

32.47	34.87	34.24	cm
-------	-------	-------	----

$$D_M$$

31.89	31.89	31.89	cm
-------	-------	-------	----

$$FS = \frac{D_{máx}}{D_M}$$

1.02	1.09	1.07	adim
------	------	------	------

$$FS > 1$$

CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
--------	--------	--------

### 4.3.1.8. Peso del aislador

#### 1. Cálculo del volumen

$$V = \frac{\pi}{4} H (De^2 - Di^2)$$

Goma

Tr	20.00	19.80	20.20	cm
De	60.00	65.00	70.00	cm
Di	15.00	15.00	15.00	cm

V	53014.38	62203.53	74169.08	cm <sup>3</sup>
---	----------	----------	----------	-----------------

Acero

Ts	15.19	13.64	13.02	cm
De	60.00	65.00	70.00	cm
Di	15.00	15.00	15.00	cm

V	40264.42	42851.32	47806.01	cm <sup>3</sup>
---	----------	----------	----------	-----------------

Placa 1 de acero

d	90.00	95.00	100.00	cm
$t_{sp}$	2.20	2.20	2.20	cm
#	2.00	2.00	2.00	adim

( Ingresar )

V	27991.59	31188.16	34557.52	cm <sup>3</sup>
---	----------	----------	----------	-----------------

Placa 2 de acero

d	90.00	95.00	100.00	cm
$t_{sp}$	0.60	0.60	0.60	cm
#	2.00	2.00	2.00	adim

( Ingresar )

V	7634.07	8505.86	9424.78	cm <sup>3</sup>
---	---------	---------	---------	-----------------

**Tabla IV-35. Pesos de materiales de aislador LRB**

Elemento	Valores				Parcial		
	kg/m <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup>	kg	kg	kg
Goma	980.00	53014.38	62203.53	74169.08	51.95	60.96	72.69
Láminas	7850.00	40264.42	42851.32	47806.01	316.08	336.38	375.28
Placa	7850.00	27991.59	31188.16	34557.52	219.73	244.83	271.28
Placa	7850.00	7634.07	8505.86	9424.78	59.93	66.77	73.98
Total					<b>647.69</b>	<b>708.94</b>	<b>793.22</b>

#### 4.3.1.9. Resumen de propiedades geométricas y dinámicas

Tabla IV-36. Resumen de propiedades geométricas y dinámicas por sistema de aislación HDR

Características/ Propiedades	Símbolo	Unidades	TIPO		
			HDR -AS1	HDR -AS2	HDR -AS3
<b>CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS GENERALES</b>					
Número de Aisladores	N	und	9.00	23.00	6.00
Altura Total	H	cm	40.79	39.04	38.82
Diámetro interior	Di	cm	15.00	15.00	15.00
Diámetro exterior	De	cm	60.00	65.00	70.00
<b>PROPIEDADES DINÁMICAS GENERALES</b>					
Módulo de rigidez a corte	G	kg/cm <sup>2</sup>	5.44	5.41	5.46
<b>CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS<sup>Tr</sup> CAUCHO</b>					
Altura del caucho	Tr	cm	20.00	19.80	20.20
Número de capas de caucho	nr	und	50.00	45.00	43.00
Espesor de los discos de caucho	er	cm	0.40	0.44	0.47
<b>CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS - DISCOS DE ACERO</b>					
Altura de discos de acero	Ts	cm	15.19	13.64	13.02
Número de discos de acero	ns	und	49.00	44.00	42.00
Espesor de los discos de acero	es	cm	0.31	0.31	0.31
<b>CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS - ANCLAJE</b>					
Longitud de la placa de anclaje	L	cm	90.00	95.00	100.00
Espesor de la placa de anclaje	t	cm	0.22	0.22	0.22
<b>PROPIEDADES - ANÁLISIS LINEAL</b>					
Rigidez vertical	Kv	ton/m	134057.46	159846.85	186151.89
Rigidez efectiva	Keff	ton/m	76.86	90.71	104.06
Amortiguamiento efectivo	C	ton.s/m	17.29	20.39	23.44
<b>PROPIEDADES - ANÁLISIS NO LINEAL</b>					
Rigidez vertical	Kv	ton/m	134057.46	159846.85	186151.89
Rigidez elástica	Ke	ton/m	465.49	549.01	630.89
Fuerza de fluencia	Fy	ton	9.68	11.42	13.12
Ratio (Kp/Ke)	Ratio	-	0.099	0.099	0.099

#### 4.3.2. Diseño de aislador de caucho con núcleo de plomo (LRB)

##### 4.3.2.1. Propiedades dinámicas de aislador con núcleo de plomo (LRB)

Di	90.00	100.00	110.00	mm
De	650.00	650.00	650.00	mm
A plomo	6361.73	7853.98	9503.32	mm <sup>2</sup>
A caucho	325469.00	323976.74	322327.41	mm <sup>2</sup>
A caucho efe	325500.00	324000.00	322300.00	mm <sup>2</sup>
B	13.13	13.13	13.13	adim
Gr	0.385	0.385	0.385	N/mm <sup>2</sup>
alfa p	0.583	0.583	0.583	N/mm <sup>2</sup>
Tr	200.00	200.00	200.00	mm
esfuerzo de c	7.97	7.97	7.97	N/mm <sup>2</sup>

		1.34	1.34	1.34
Kr (N/mm)	G4	626.59	623.70	620.43
Kp (N/mm)	G4	18.54	22.89	27.70
Ckd	G4	0.97	0.97	0.97
K2 (N/mm)	G4	622.87	624.28	625.76
Cqd	G4	1.00	1.00	1.00
Qd (N)	G4	50683.86	62572.67	75712.93
K1 (N/mm)	G4	8178.26	8196.79	8216.26
Keq (N/mm)	G4	811.99	857.76	908.27
Heq (adim)	G4	0.145	0.168	0.191

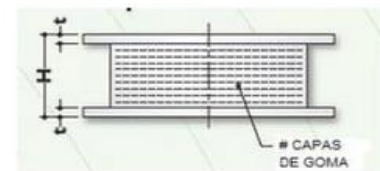
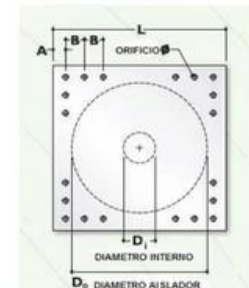
#### 4.3.2.2. Diseño de aislador con Sismo de Diseño Base (DBE)

Def. de corte máxima admisible	$\gamma_{m\acute{a}x}$	250.00	%	( Ingresar )
Diámetro exterior	$D_o$	70.00	cm	( Ingresar )
Diámetro inicial	$D_i$	10.00	cm	( Ingresar )
Número de capas de goma	$n$	25.00	und	( Ingresar )
Espesor capa de goma	$t_r$	0.70	cm	( Ingresar )
Espesor capa de acero	$t_s$	0.30	cm	( Ingresar )
Diámetro de placa 1	$L$	100.00	cm	( Ingresar )
Diámetro de placa 2	$L$	100.00	cm	( Ingresar )
Espesor placa 1	$t_{sp}$	2.20	cm	( Ingresar )
Espesor placa 2	$t_{sp}$	0.60	cm	( Ingresar )
Número de pernos	$N$	8.00	und	( Ingresar )
Diámetro de perno	$D_p$	2.70	cm	( Ingresar )
Tensión admisible de compresión	$\sigma_{ac}$	70.54	kg/cm <sup>2</sup>	( Ingresar )
Tensión de fluencia del acero	$\sigma_y$	2400.00	kg/cm <sup>2</sup>	( Ingresar )

Tabla.- Dimensiones del aislador y placas de montaje

TAMAÑO DEL AISLADOR			
Do (mm)	H (mm)	#CAPAS DE GOMA	Di (mm)
305	125-280	4-14	0-100
355	150-305	5-16	0-100
405	175-330	6-20	0-125
455	175-355	6-20	0-125
520	205-380	8-24	0-180
570	205-380	8-24	0-180
650	205-380	8-24	0-205
700	205-430	8-30	0-205
750	205-455	8-30	0-230
800	230-510	8-33	0-230

PREDISEÑO DEL AISLADOR



DIMENSIONES DE LA PLACA DE SOPORTE					
L (mm)	t (mm)	#orificios	Ø orificio (mm)	A (mm)	B (mm)
355	25	4	27	50	-
405	25	4	27	50	-
455	25	4	27	50	-
510	25	4	27	50	-
570	25	8	27	50	50
620	25	8	27	50	50
<b>700</b>	<b>32</b>	<b>8</b>	<b>27</b>	<b>50</b>	<b>50</b>
750	32	8	33	65	75
800	32	8	33	65	75
850	32	8	33	65	75

#### PREDISEÑO DE UN AISLADOR

Peso edificio	7519.83	tn
Aisladores	47.00	#
Peso máximo	308.16	tn
Peso mínimo	32.68	tn

**Tabla.- Propiedades, desplazamiento y carga axial en función del diámetro del aislador (PRE - DISEÑO)**

Diám (D)	Resistencia Producida (Kd)	Resistencia Característica (Qd)	Rigidez a la compresión (Kv)	Desplazamiento máximo (D máx)	Carga axial máx (P máx)	Esfuerzo máx $\sigma_{AC}$
mm	(Tn/m)	(Kg)	(Tn/m)	(mm)	(Kg)	kg/cm2
305	20-90	0-6.5	>5000	150	45000	61.59
355	20-120	0-6.5	>10000	150	70000	70.72
405	30-160	0-11	>10000	200	90000	69.86
455	30-200	0-11	>10000	250	115000	70.73
520	40-230	0-18	>20000	300	135000	63.57
570	50-280	0-18	>50000	360	180000	70.54
650	50-350	0-22	>70000	410	270000	81.37
<b>700</b>	<b>50-428</b>	<b>0-22</b>	<b>&gt;80000</b>	<b>460</b>	<b>310000</b>	<b>80.55</b>
750				460	360000	81.49
800				510	400000	79.58

**Tabla.- Propiedades de los materiales**

Descripción	Límite Inferior	Límite Superior	Und
	LB	UB	
Módulo de corte efectivo de goma G	3.80	7.00	kg/cm2
Módulo volumétrico de goma K	2000	2000	Mpa
Módulo de corte del plomo Gp	128	128	Mpa
Esfuerzo de corte del plomo Tpy	85	115	kg/cm2

Módulo volumétrico de goma K	2000.00	Mpa	
Módulo de corte efectivo de goma G	3.80	kg/cm2	( Ingresar )
Esfuerzo de corte del plomo Tpy	91.00	kg/cm2	( Ingresar )

**TABLA A-16-C - Coeficientes de amortiguamiento, B1**

Effective damping, $\beta D$ o $\beta M$ (percentage of critical) (1,2)	BD o BM factor
2	1
5	1
10	1
20	2
30	2
40	2
$\geq 50$	2

**PASO 1** Fijar periodo objetivo

$T_D$	2.431	seg
$T_D$	2.431	seg

(Iterar )  
(Periodo final)

**PASO 2** Rigidez efectiva preliminar

$$K_H = M\omega^2$$

$W$	7519.83	ton
$g$	9.81	m/s <sup>2</sup>
$m$	766.55	
$K_H$	5120.69	ton/m

**PASO 3** Amortiguamiento efectivo preliminar

$\beta d$	14.988	%
$\beta d$	14.988	%
$B_D$	1.35	

(Iterar )  
(Amortiguamiento final)

**PASO 4** Desplazamiento de diseño preliminar

$$D_D = \frac{gS_{D1}T_D}{4\pi^2 B_D}$$

$T_D$	2.43	seg
$g$	9.81	m/s <sup>2</sup>
$S_{D1}$	0.60	m/s <sup>2</sup>
$B_D$	1.35	

( Ingresar )

$D_D$	26.86	cm
$D_D$	26.85	cm

(Desplazamiento final)

**PASO 5** Energía disipada preliminar

$$ED = 2\pi K_H D^2 \beta_{eff}$$

$K_H$	5120.69	ton/m
$D_D$	0.27	m
$\beta_{eff}$	0.15	

$ED$	347.78	ton.m
------	--------	-------

**PASO 6** Fuerza característica preliminar

$$ED = 4Q(D - Dy) \quad Dy = 0$$

Despreciando Dy, entonces:

$$Q = \frac{ED}{4D}$$

$ED$	347.78	ton.m
$D_D$	0.27	m

$Q$	323.76	ton
-----	--------	-----

**PASO 7** Cálculo de la rigidez postfluencia

$$K_p = K_{eff} - \frac{Q}{D}$$

$K_{eff}$	5120.69	ton/m
$Q$	323.76	ton
$D_D$	0.27	m

$K_p$	3915.12	ton/m
-------	---------	-------

**PASO 8** Desplazamiento de fluencia preliminar

$$J = (5.5 \text{ a } 9)K_p \quad D_y = \frac{Q}{J}$$

$Q$	323.76	ton
$J$	28384.64	ton/m

$D_y$	0.85	cm
-------	------	----

**PASO 9** Fuerza característica corregida preliminarNo se desprecia  $D_y$ , entonces:

$$Q = \frac{E_D}{4(D - D_y)}$$

$ED$	347.78	ton.m
$D$	0.27	m
$D_y$	0.01	m

$Q$	334.34	ton
-----	--------	-----

**PASO 10** Área de plomo total

$$A_p = \frac{Q}{\tau_y}$$

$\tau_y$	91.00	kg/cm <sup>2</sup>
$Q$	334.34	ton

$A_{p \text{ total}}$	3674.06	cm <sup>2</sup>
-----------------------	---------	-----------------

**PASO 11** Área de plomo unidad y verificado

$$d_p = \% D_e \quad A_{p \text{ unidad}} = \pi \times \frac{d_p^2}{4}$$

$D_e$	70.00	cm
$\%$	10.00	
$d_p$	7.00	cm
$d_p$	10.00	cm

$A_{p \text{ unidad}}$	78.54	cm <sup>2</sup>
------------------------	-------	-----------------

**( Ingresar )**

OK

**PASO 12** Cantidad de aisladores LRB requeridos

$$N_{calculado} = \frac{A_{P\ total}}{A_{P\ unidad}}$$

$A_{P\ total}$	3674.06	cm <sup>2</sup>
$A_{P\ unidad}$	78.54	cm <sup>2</sup>
$N_{calculado}$	46.78	
$N_{final}$	47.00	

**PASO 13** Fuerza característica Q

$$Q = \tau_y \times A_{P\ total}$$

$\tau_y$	91.00	kg/cm <sup>2</sup>
$A_{P\ x\ unidad}$	78.54	cm <sup>2</sup>
$A_{P\ total}$	3691.37	cm <sup>2</sup>

$Q$	335.91	ton
-----	--------	-----

**PASO 14** Nueva rigidez postfluencia total

$$K_{p\ total} = K_{eff} - \frac{Q}{D}$$

$K_{eff}$	5120.69	ton/m
$Q$	335.91	ton
$D$	0.27	m

$K_{p\ total}$	3869.85	ton/m
----------------	---------	-------

**PASO 15** Nueva rigidez postfluencia por aislador

$$K_{p\ x\ unidad} = \frac{K_{p\ total}}{N}$$

$N$	47.00	
$K_{p\ x\ unidad}$	82.34	ton/m

**PASO 16** Espesor total del caucho

$T_r$	0.20	m
-------	------	---

**( Ingresar )****PASO 17** Espesor de capas de caucho

$$t_r = \frac{D^2 - dp^2}{S(4D)}$$

$D$	70.00	cm
$d_p$	10.00	cm
$S$	34.29	adim
$t_r$	0.50	cm
$t_r$	0.50	cm

**( Ingresar )****( Ingresar )**

**PASO 18** Número de capas de caucho

$$n = \frac{Tr}{tr}$$

$n$	40.00	adim
-----	-------	------

( Ingresar )

Capas	Espesor	
2	0.50	cm
38	0.50	cm

( Ingresar )

$T_r$	20.00	cm
-------	-------	----

OK

**PASO 19** Factor de forma

**FACTOR DE FORMA - COJINETE CIRCULAR**

$$S = \frac{D^2 - dp^2}{t_r(4D)} \quad S > 10, OK, Aumentar tr$$

$D_e$	70.00	cm
$d_p$	10.00	cm
$t_r$	0.50	cm

$$S = \frac{1}{\sqrt{6}} \frac{fv}{fd}$$

$S$	34.29	adim
-----	-------	------

OK

**PASO 20** Espesor de capas de acero

$$\sigma_s = \frac{1.5 t_r \sigma_{ac}}{t_s} \quad \sigma_{adm} = 0.75 \sigma_y \quad \sigma_s < \sigma_{adm} \gg OK$$

$t_r$	0.50	cm
$t_s$	0.25	cm
$\sigma_{ac}$	70.54	kg/cm <sup>2</sup>
$\sigma_y$	2400.00	kg/cm <sup>2</sup>

( Ingresar )

$\sigma_s$	211.62	kg/cm <sup>2</sup>
$\sigma_{adm}$	1800.00	kg/cm <sup>2</sup>

OK

**PASO 21** Número de capas de acero

$$n_{acero} = n_{caucho} - 1$$

Capas	Espesor	
2	0.25	cm
37.00	0.25	cm

( Ingresar )

**PASO 22** Espesor total de capas de acero

$$T_s = n_{acero} \times t_s$$

$T_s$	9.75	cm
-------	------	----

**PASO 23** Altura total de aislador

$$H = T_r + T_s + t_{sp}$$

$T_r$	20.00	cm
$T_s$	9.75	cm
$t_{sp}$	2.20	cm
$H$	34.15	cm

**PASO 24** Área total

$$A_{total} = \frac{k_p \cdot T_r}{G}$$

$G$	3.80	kg/cm <sup>2</sup>
$K_p$	38698.53	kg/cm <sup>2</sup>
$T_r$	20.00	cm
$A_{total}$	177109.97	cm <sup>2</sup>

**PASO 25** Área unidad

$$A_{unidad} = \frac{A_{total}}{N}$$

$N$	47.00	
$A_{x\ unidad}$	3768.30	cm <sup>2</sup>

**PASO 26** Geometría final de aislador

$$A = \pi \left[ \frac{D_e^2}{4} - \frac{D_p^2}{4} \right]$$

$D_p$	10.00	cm
$D_e$	70.00	cm

$A$	3769.91	cm <sup>2</sup>
-----	---------	-----------------

**PASO 27** Rigidez postfluencia unidad

$$k_p = 1.15 \times \frac{A \cdot G}{T_r}$$

$G$	3.80	kg/cm <sup>2</sup>
$T_r$	20.00	cm
$A$	3769.91	cm <sup>2</sup>
$K_p \times unidad$	823.73	kg/cm

**PASO 28** Rigidez postfluencia total

$$k_{p\ total} = N \times k_{p\ unidad}$$

$N$	47.00	
$K_{p\ total}$	38715.10	kg/cm
$K_{p\ total}$	3871.51	ton/m

**PASO 29** Rigidez elástica

$$K_e = 10 K_p$$

$K_{e\ total}$	38715.10	ton/m
$N$	47.00	ton/m
$K_{e\ x\ unidad}$	823.73	ton/m

**PASO 30** Ratio de ke/kp

$K_{e\ total}$	38715.10	ton/m
$K_{p\ total}$	3871.51	ton/m

$$ratio = \frac{K_p}{K_e} \quad 0.10$$

**PASO 31** Fuerza característica Q

$$Q = \tau_y \times A_{P\ total}$$

$\tau_y$	91.00	kg/cm <sup>2</sup>
$A_{P\ x\ unidad}$	78.54	cm <sup>2</sup>
$A_{P\ total}$	3691.37	cm <sup>2</sup>

$Q$	335.91	ton
-----	--------	-----

**PASO 32** Desplazamiento de fluencia

$Q$	335.91	ton
$K_{e\ total}$	38715.10	ton/m
$K_{p\ total}$	3871.51	ton/m

$D_y$	0.96	cm
-------	------	----

**PASO 33** Fuerza de fluencia

$$F_y = Q + K_p D_y \quad K_e = F_y / D_y$$

$Q$	335.91	ton
$K_p$	3871.51	ton/m
$D_y$	0.96	cm

$F_y\ total$	373.24	ton
$N$	47.00	
$F_y\ x\ unidad$	7.94	ton

**PASO 34** Módulo de compresión

$$E_c = \frac{6GS^2K}{8GS^2 + K}$$

$S$	34.29	adim
$G$	3.80	kg/cm <sup>2</sup>
$K$	20380.00	kg/cm <sup>2</sup>

$E_c$	9733.80	kg/cm <sup>2</sup>
-------	---------	--------------------

**PASO 35** Rigidez vertical

$$K_v = \frac{E_c A}{T_r} + \frac{E_l A_p}{T_r + T_s}$$

$E_c$	9733.80	kg/cm <sup>2</sup>
$A_{total}$	177185.83	cm <sup>2</sup>
$T_r$	20.00	cm
$EI$	140000.00	kg/cm <sup>2</sup>
$A_p$	3691.37	cm <sup>2</sup>
$T_r + T_s$	29.75	cm

$K_v total$	103605747.85	kg/cm
$N$	47.00	
$K_v x unidad$	2204377.61	kg/cm

**PASO 36** Frecuencia vertical

$$fv = \sqrt{6} S fd$$

$S$	34.29	adim
$fd$	0.40	Hz

$fv$	33.59	Hz
------	-------	----

OK

**ITR1** Rigidez efectiva

$$K_{eff} = K_p + \frac{Q}{D}$$

$K_p$	3871.51	ton/m
$Q$	335.91	ton
$D$	0.27	m

$K_{eff}$	5122.35	ton/m
-----------	---------	-------

**ITR1** Energía del sistema

$$E_D = 4Q(D - D_y)$$

$Q$	335.91	ton
$D$	0.27	m
$D_y$	0.96	cm

$ED$	347.89	ton
------	--------	-----

**ITR1** Amortiguamiento efectivo

$$\beta_{eff} = \frac{E_D}{2\pi K_{eff} D^2}$$

$ED$	347.89	ton
$K_{eff}$	5122.35	ton/m
$D$	0.27	m

$\beta_{eff}$	14.99	
$\beta_d, \beta_m$	1.35	

**ITR2** Cálculo del periodo efectivo

$$T_D = 2\pi \sqrt{\frac{W}{K_{eff}.g}}$$

$W$	7519.83	Tn
$K_{eff}$	5122.35	ton/m
$T_D$	2.43	seg

**ITR2** Desplazamiento de diseño corregido

$$D_D = \frac{g S_{D1} T_D}{4\pi^2 B_D}$$

$T_D$	2.43	seg
$g$	9.81	m/s <sup>2</sup>
$S_{D1}$	0.60	m/s <sup>2</sup>
$B_D$	1.35	

$D_D$	26.85	cm
-------	-------	----

**ITR2** Cálculo de la rigidez efectiva

$$K_{eff} = K_p + \frac{Q}{D}$$

$K_{p\ total}$	3871.51	ton/m
$Q$	335.91	ton
$D_D$	26.85	cm

$K_{eff}$	3871.64	ton/m
-----------	---------	-------

**ITR2** Energía disipada preliminar

$$ED = 2\pi K_{eff} D^2 \beta_{eff}$$

$K_{eff}$	3871.64	ton/m
$D$	0.27	m
$\beta_{eff}$	0.15	

$ED$	262.86	ton.m
------	--------	-------

**ITR2** Cálculo del amortiguamiento efectivo

$$\beta_{eff} = \frac{E_D}{2\pi K_{eff} D^2}$$

$E_D$	262.86	ton
$K_{eff}$	3871.64	ton/m
$D$	0.27	m

$\beta_{eff}$	14.99	
$\beta_d, \beta_m$	1.35	

**ITR3** Desplazamiento de diseño corregido

$$D_D = \frac{g S_{D1} T_D}{4\pi^2 B_D}$$

$T_D$	2.43	seg
$g$	9.81	m/s <sup>2</sup>
$S_{D1}$	0.60	m/s <sup>2</sup>
$B_D$	1.35	

$D_D$	26.85	cm
-------	-------	----

**ITR3** Cálculo de la rigidez efectiva

$$K_{eff} = K_p + \frac{Q}{D}$$

$K_{p\ total}$	3871.51	ton/m
$Q$	335.91	ton
$D_D$	0.27	m

$K_{eff\ total}$	5122.54	ton/m
$K_{eff\ x\ unidad}$	108.99	ton/m

**ITR3** Energía disipada

$$ED = 2\pi K_{eff} D^2 \beta_{eff}$$

$K_{eff}$	5122.54	ton/m
$D$	0.27	m
$\beta_{eff}$	0.15	

$ED$	347.79	ton.m
------	--------	-------

**ITR3** Cálculo del amortiguamiento efectivo

$$\beta_{eff} = \frac{E_D}{2\pi K_{eff} D^2}$$

$ED$	347.79	ton.m
$K_{eff}$	5122.54	ton/m
$D$	0.27	m

$\beta_{eff}$	14.99	
$\beta_d, \beta_m$	1.35	

**PASO 37** Desplazamiento de diseño corregido

$$D_D = \frac{gS_{D1}T_D}{4\pi^2 B_D}$$

$T_D$	2.43	seg
$g$	9.81	m/s <sup>2</sup>
$S_{D1}$	0.60	m/s <sup>2</sup>
$B_D$	1.35	
$D_D$	26.85	cm

**PASO 38** Desplazamientos totales de diseño: DTD y DTM

$$D_{TD} = D_D \left( 1 + y \frac{12e}{b^2 + d^2} \right) \quad D_{TM} = D_M \left( 1 + y \frac{12e}{b^2 + d^2} \right)$$

C.S	Centro de Rigidez
C.M	Centro de Masa
y	Distancia a la esquina perpendicular de la dirección de la carga sísmica
e	Excentricidad inherente + excentricidad accidental
ei	distancia perpendicular entre el CM y CR
ea	5% de excentricidad accidental

e	1.00	m	( Ingresar )
b	32.20	m	( Ingresar )
d	25.30	m	( Ingresar )
y	16.10	m	

$D_D$	0.27	m
Factor	1.12	

$D_{TD}$	0.30	m	Ec (17.5-5)
----------	------	---	-------------

**PASO 39** Energía disipada por el caucho

$$ED = 2\pi K_{eff} D^2 \beta_{eff} \quad ED = 2\pi K_p D^2 \beta_{eff}$$

$K_{eff}$	5122.54	ton/m	
$D$	0.27	m	
$\beta_{eff}$	0.05		( Ingresar )

$ED$	116.02	ton.m
------	--------	-------

**PASO 40** Energía disipada total

$$ED^T = ED^{goma} + 4 Q_L D$$

$ED^{goma}$	116.02	ton.m
$Q_L$	335.91	ton
$D$	0.27	m

$ED_{T\ total}$	360.78	ton.m
$N$	47.00	
$ED_{T\ x\ unidad}$	7.68	ton.s/m

**PASO 41** Amortiguamiento efectivo total

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad C = \frac{ED^T}{\pi Dd^2 \omega}$$

$T$	2.43	seg
$\omega$	2.59	rad/seg
$ED^T$	7.68	ton.m
$Dd$	0.27	m

$C$	13.11	ton.s/m
-----	-------	---------

**PASO 42** Diagrama de histéresis del sistema de aislación

$N$	47.00
-----	-------

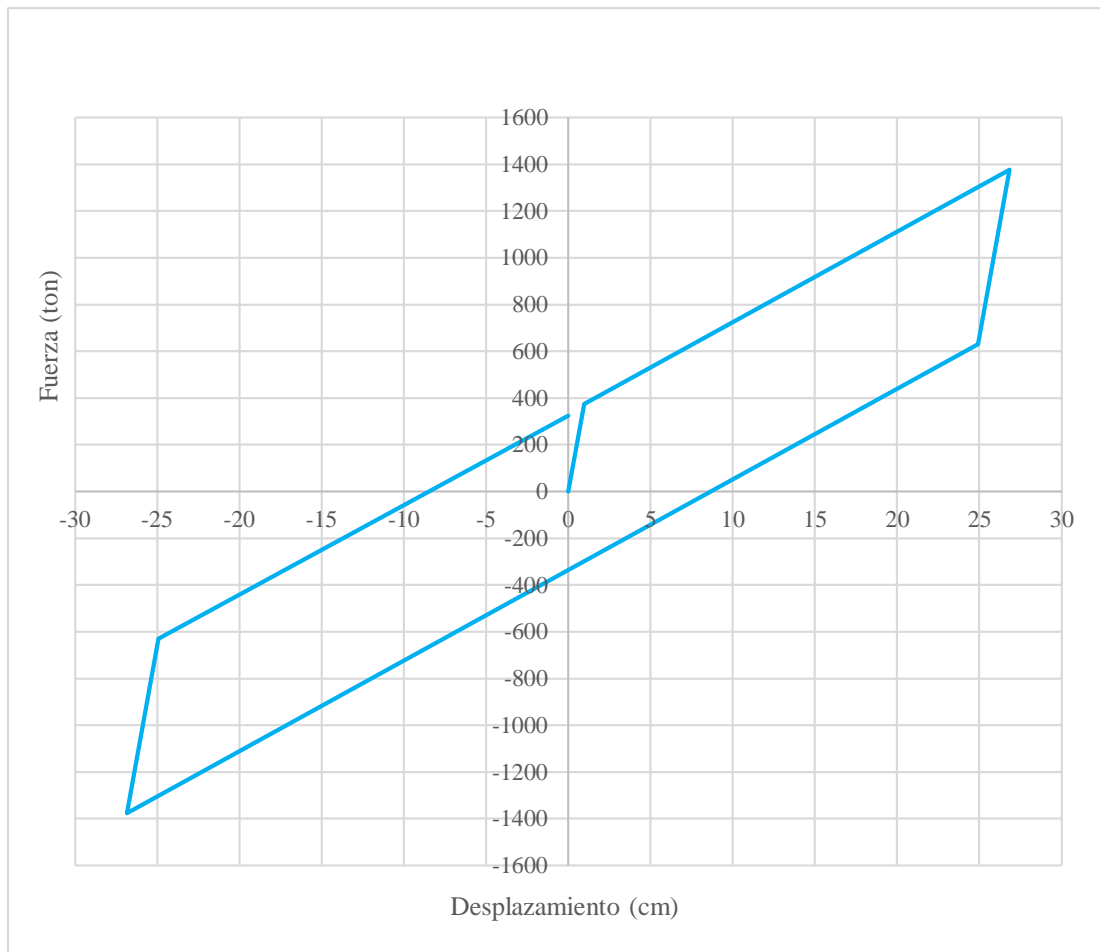
*Tabla IV-37. Coordenadas de fuerza y distancia para diagrama de histéresis por sistema de aislación LRB por sismo DBE*

PUNTOS	cm	kg	cm	ton	LEYENDA	
	X	Y	X	Y	letra	fórmula
0	0	0	0	0	A	Dy
1	A	B	1	373	B	Fy.N
2	C	D	27	1375	C	Dd
3	E	F	25	629	D	Keff.Dy.N
4	-C	-D	-27	-1375	E	Dd-2Dy
5	-E	-F	-25	-629	F	Keff.Dy.N-2Fy.N
6	-A	-B	0	324		

m	c
%	ton/cm
387	0
38.72	335.91

%D	X	Y
	cm	ton
0.25D	7	596
0.50D	13.43	855.68
1.00D	26.85	1375.45

**Gráfica IV-28. Diagrama de histéresis por sistema de aislación LRB por sismo DBE**



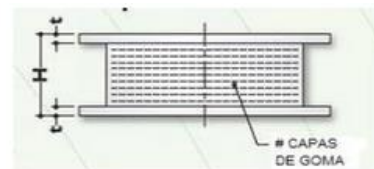
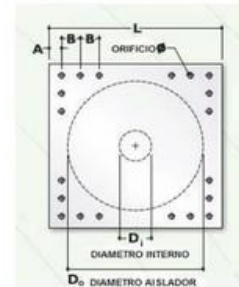
### 4.3.2.3. Diseño de aislador con Sismo Máximo Esperado (MCE)

Def. de corte máxima admisible	$\gamma_{m\acute{a}x}$	250.00	%	( Ingresar )
Diámetro exterior	$D_o$	70.00	cm	( Ingresar )
Diámetro inicial	$D_i$	10.00	cm	( Ingresar )
Número de capas de goma	n	25.00	und	( Ingresar )
Espesor capa de goma	$t_r$	0.70	cm	( Ingresar )
Espesor capa de acero	$t_s$	0.30	cm	( Ingresar )
Diámetro de placa 1	$L$	100.00	cm	( Ingresar )
Diámetro de placa 2	$L$	100.00	cm	( Ingresar )
Espesor placa 1	$t_{sp}$	2.20	cm	( Ingresar )
Espesor placa 2	$t_{sp}$	0.60	cm	( Ingresar )
Número de pernos	$N$	8.00	und	( Ingresar )
Diámetro de perno	$D_p$	2.70	cm	( Ingresar )
Tensión admisible de compresión	$\sigma_{ac}$	70.54	kg/cm <sup>2</sup>	( Ingresar )
Tensión de fluencia del acero	$\sigma_y$	2400.00	kg/cm <sup>2</sup>	( Ingresar )

Tabla.- Dimensiones del aislador y placas de montaje

TAMAÑO DEL AISLADOR			
$D_o$ (mm)	H (mm)	#CAPAS DE GOMA	$D_i$ (mm)
305	125-280	4-14	0-100
355	150-305	5-16	0-100
405	175-330	6-20	0-125
455	175-355	6-20	0-125
520	205-380	8-24	0-180
570	205-380	8-24	0-180
650	205-380	8-24	0-205
700	205-430	8-30	0-205
750	205-455	8-30	0-230
800	230-510	8-33	0-230

PREDISEÑO DEL AISLADOR



DIMENSIONES DE LA PLACA DE SOPORTE					
L (mm)	t (mm)	#orificios	$\phi$ orificio (mm)	A (mm)	B (mm)
355	25	4	27	50	-
405	25	4	27	50	-
455	25	4	27	50	-
510	25	4	27	50	-
570	25	8	27	50	50
620	25	8	27	50	50
700	32	8	27	50	50
750	32	8	33	65	75
800	32	8	33	65	75
850	32	8	33	65	75

### PREDISEÑO DE UN AISLADOR

Peso edificio	7519.83	tn
Aisladores	47.00	#
Peso máximo	308.16	tn
Peso mínimo	32.68	tn

**Tabla.- Propiedades, desplazamiento y carga axial en función del diámetro del aislador (PRE - DISEÑO)**

Diám (D)	Resistencia Producida (Kd)	Resistencia Característica (Qd)	Rigidez a la compresión (Kv)	Desplazamiento máximo (D máx)	Carga axial máx (P máx)	Esfuerzo máx $\sigma_{AC}$
mm	(Tn/m)	(Kg)	(Tn/m)	(mm)	(Kg)	kg/cm2
305	20-90	0-6.5	>5000	150	45000	61.59
355	20-120	0-6.5	>10000	150	70000	70.72
405	30-160	0-11	>10000	200	90000	69.86
455	30-200	0-11	>10000	250	115000	70.73
520	40-230	0-18	>20000	300	135000	63.57
570	50-280	0-18	>50000	360	180000	70.54
650	50-350	0-22	>70000	410	270000	81.37
<b>700</b>	<b>50-428</b>	<b>0-22</b>	<b>&gt;80000</b>	<b>460</b>	<b>310000</b>	<b>80.55</b>
750				460	360000	81.49
800				510	400000	79.58

**Tabla.- Propiedades de los materiales**

Descripción	Límite Inferior	Límite Superior	Und
	LB	UB	
Módulo de corte efectivo de goma G	3.80	7.00	kg/cm2
Módulo volumétrico de goma K	2000	2000	Mpa
Módulo de corte del plomo Gp	128	128	Mpa
Esfuerzo de corte del plomo Tpy	85	115	kg/cm2

Módulo volumétrico de goma K	2000.00	Mpa	
Módulo de corte efectivo de goma G	3.80	kg/cm2	( Ingresar )
Esfuerzo de corte del plomo Tpy	91.00	kg/cm2	( Ingresar )

**TABLA A-16-C - Coeficientes de amortiguamiento, B1**

Effective damping, $\beta D$ o $\beta M$ (percentage of critical) (1,2)	BD o BM factor
2	1
5	1
10	1
20	2
30	2
40	2
$\geq 50$	2

**PASO 1** Fijar periodo objetivo

$T_D$	2.5771	seg
$T_D$	2.5771	seg

(Iterar )  
(Periodo final)

**PASO 2** Rigidez efectiva preliminar

$$K_H = M\omega^2$$

$W$	7519.83	ton
$g$	9.81	m/s <sup>2</sup>
$m$	766.55	
$K_H$	4556.55	ton/m

**PASO 3** Amortiguamiento efectivo preliminar

$\beta d$	9.3825	%
$\beta d$	9.3825	%
$B_D$	1.18	

(Iterar )  
(Amortiguamiento final)

**PASO 4** Desplazamiento de diseño preliminar

$$D_D = \frac{gS_{D1}T_D}{4\pi^2 B_D}$$

$T_D$	2.58	seg
$g$	9.81	m/s <sup>2</sup>
$S_{D1}$	0.90	m/s <sup>2</sup>
$B_D$	1.18	

( Ingresar )

$D_D$	49.04	cm
$D_D$	49.04	cm

(Desplazamiento final)

**PASO 5** Energía disipada preliminar

$$ED = 2\pi K_H D^2 \beta_{eff}$$

$K_H$	4556.55	ton/m
$D_D$	0.49	m
$\beta_{eff}$	0.09	

$ED$	645.96	ton.m
------	--------	-------

**PASO 6** Fuerza característica preliminar

$$ED = 4Q(D - Dy) \quad Dy = 0$$

Despreciando Dy, entonces:

$$Q = \frac{ED}{4D}$$

$ED$	645.96	ton.m
$D_D$	0.49	m

$Q$	329.31	ton
-----	--------	-----

**PASO 7** Cálculo de la rigidez postfluencia

$$K_p = K_{eff} - \frac{Q}{D}$$

$K_{eff}$	4556.55	ton/m
$Q$	329.31	ton
$D_D$	0.49	m

$K_p$	3885.01	ton/m
-------	---------	-------

**PASO 8** Desplazamiento de fluencia preliminar

$$J = (5.5 \text{ a } 9)K_p \quad D_y = \frac{Q}{J}$$

$Q$	329.31	ton
$J$	28166.29	ton/m

$D_y$	0.85	cm
-------	------	----

**PASO 9** Fuerza característica corregida preliminar

No se desprecia  $D_y$ , entonces:

$$Q = \frac{E_D}{4(D - D_y)}$$

$ED$	645.96	ton.m
$D$	0.49	m
$D_y$	0.01	m

$Q$	335.12	ton
-----	--------	-----

**PASO 10** Área de plomo total

$$A_p = \frac{Q}{\tau_y}$$

$\tau_y$	91.00	kg/cm <sup>2</sup>
$Q$	335.12	ton

$A_{p \text{ total}}$	3682.66	cm <sup>2</sup>
-----------------------	---------	-----------------

**PASO 11** Área de plomo unidad y verificado

$$d_p = \% D_e \quad A_{p \text{ unidad}} = \pi \times \frac{d_p^2}{4}$$

$D_e$	70.00	cm
$\%$	10.00	
$d_p$	7.00	cm
$d_p$	10.00	cm

$A_{p \text{ unidad}}$	78.54	cm <sup>2</sup>
------------------------	-------	-----------------

( Ingresar )

OK

**PASO 12** Cantidad de aisladores LRB requeridos

$$N_{\text{calculado}} = \frac{A_{P\text{ total}}}{A_{P\text{ unidad}}}$$

$A_{P\text{ total}}$	3682.66	cm <sup>2</sup>
$A_{P\text{ unidad}}$	78.54	cm <sup>2</sup>
$N_{\text{calculado}}$	46.89	
$N_{\text{final}}$	47.00	

**PASO 13** Fuerza característica Q

$$Q = \tau_y \times A_{P\text{ total}}$$

$\tau_y$	91.00	kg/cm <sup>2</sup>
$A_{P\text{ x unidad}}$	78.54	cm <sup>2</sup>
$A_{P\text{ total}}$	3691.37	cm <sup>2</sup>

$Q$	335.91	ton
-----	--------	-----

**PASO 14** Nueva rigidez postfluencia total

$$K_{p\text{ total}} = K_{\text{eff}} - \frac{Q}{D}$$

$K_{\text{eff}}$	4556.55	ton/m
$Q$	335.91	ton
$D$	0.49	m

$K_{p\text{ total}}$	3871.54	ton/m
----------------------	---------	-------

**PASO 15** Nueva rigidez postfluencia por aislador

$$K_{p\text{ x unidad}} = \frac{K_{p\text{ total}}}{N}$$

$N$	47.00	
$K_{p\text{ x unidad}}$	82.37	ton/m

**PASO 16** Espesor total del caucho

$T_r$	0.20	m
-------	------	---

[\( Ingresar \)](#)**PASO 17** Espesor de capas de caucho

$$t_r = \frac{D^2 - dp^2}{S(4D)}$$

$D$	70.00	cm
$d_p$	10.00	cm
$S$	34.29	adim
$t_r$	0.50	cm
$t_r$	0.50	cm

[\( Ingresar \)](#)[\( Ingresar \)](#)

**PASO 18** Número de capas de caucho

$$n = \frac{Tr}{tr}$$

$n$	40.00	adim
-----	-------	------

( Ingresar )

Capas	Espesor	
2	0.50	cm
38	0.50	cm

( Ingresar )

$T_r$	20.00	cm
-------	-------	----

OK

**PASO 19** Factor de forma

**FACTOR DE FORMA - COJINETE CIRCULAR**

$$S = \frac{D^2 - dp^2}{t_r(4D)} \quad S > 10, OK, Aumentar tr$$

$D_e$	70.00	cm
$d_p$	10.00	cm
$t_r$	0.50	cm

$$S = \frac{1}{\sqrt{6}} \frac{fv}{fd}$$

$S$	34.29	adim
-----	-------	------

OK

**PASO 20** Espesor de capas de acero

$$\sigma_s = \frac{1.5 t_r \sigma_{ac}}{t_s} \quad \sigma_{adm} = 0.75 \sigma_y \quad \sigma_s < \sigma_{adm} \gg OK$$

$t_r$	0.50	cm
$t_s$	0.25	cm
$\sigma_{ac}$	70.54	kg/cm2
$\sigma_y$	2400.00	kg/cm2

( Ingresar )

$\sigma_s$	211.62	kg/cm2
$\sigma_{adm}$	1800.00	kg/cm2

OK

**PASO 21** Número de capas de acero

$$n_{acero} = n_{caucho} - 1$$

Capas	Espesor	
2	0.20	cm
37.00	0.25	cm

( Ingresar )

**PASO 22** Espesor total de capas de acero

$$T_s = n_{acero} \times t_s$$

$T_s$	9.65	cm
-------	------	----

**PASO 23** Altura total de aislador

$$H = T_r + T_s + t_{sp}$$

$T_r$	20.00	cm
$T_s$	9.65	cm
$t_{sp}$	2.20	cm
$H$	34.05	cm

**PASO 24** Área total

$$A_{total} = \frac{k_p \cdot T_r}{G}$$

$G$	3.80	kg/cm <sup>2</sup>
$K_p$	38715.43	kg/cm <sup>2</sup>
$T_r$	20.00	cm
$A_{total}$	177187.30	cm <sup>2</sup>

**PASO 25** Área unidad

$$A_{unidad} = \frac{A_{total}}{N}$$

$N$	47.00	
$A_{x\ unidad}$	3769.94	cm <sup>2</sup>

**PASO 26** Geometría final de aislador

$$A = \pi \left[ \frac{D_e^2}{4} - \frac{D_p^2}{4} \right]$$

$D_p$	10.00	cm
$D_e$	70.00	cm

$A$	3769.91	cm <sup>2</sup>
-----	---------	-----------------

**PASO 27** Rigidez postfluencia unidad

$$k_p = 1.15 \times \frac{A \cdot G}{T_r}$$

$G$	3.80	kg/cm <sup>2</sup>
$T_r$	20.00	cm
$A$	3769.91	cm <sup>2</sup>
$K_{p\ x\ unidad}$	823.73	kg/cm

**PASO 28** Rigidez postfluencia total

$$k_{p\ total} = N \times k_{p\ unidad}$$

$N$	47.00	
$K_{p\ total}$	38715.10	kg/cm
$K_{p\ total}$	3871.51	ton/m

**PASO 29** Rigidez elástica

$$K_e = 10 K_p$$

$K_{e\ total}$	38715.10	ton/m
$N$	47.00	ton/m
$K_{e\ x\ unidad}$	823.73	ton/m

**PASO 30** Ratio de ke/kp

$K_{e\ total}$	38715.10	ton/m
$K_{p\ total}$	3871.51	ton/m

$$ratio = \frac{K_p}{K_e} \quad 0.10$$

**PASO 31** Fuerza característica Q

$$Q = \tau_y \times A_{P\ total}$$

$\tau_y$	91.00	kg/cm <sup>2</sup>
$A_{P\ x\ unidad}$	78.54	cm <sup>2</sup>
$A_{P\ total}$	3691.37	cm <sup>2</sup>

$Q$	335.91	ton
-----	--------	-----

**PASO 32** Desplazamiento de fluencia

$Q$	335.91	ton
$K_{e\ total}$	38715.10	ton/m
$K_{p\ total}$	3871.51	ton/m

$D_y$	0.96	cm
-------	------	----

**PASO 33** Fuerza de fluencia

$$F_y = Q + K_p D_y \quad K_e = F_y / D_y$$

$Q$	335.91	ton
$K_p$	3871.51	ton/m
$D_y$	0.96	cm

$F_{y\ total}$	373.24	ton
$N$	47.00	
$F_{y\ x\ unidad}$	7.94	ton

**PASO 34** Módulo de compresión

$$E_c = \frac{6GS^2K}{8GS^2 + K}$$

<i>S</i>	34.29	adim
<i>G</i>	3.80	kg/cm2
<i>K</i>	20380.00	kg/cm2

<i>E<sub>c</sub></i>	9733.80	kg/cm2
----------------------	---------	--------

**PASO 35** Rigidez vertical

$$K_v = \frac{E_c A}{T_r} + \frac{E_l A_p}{T_r + T_s}$$

<i>E<sub>c</sub></i>	9733.80	kg/cm2
<i>A<sub>total</sub></i>	177185.83	cm2
<i>T<sub>r</sub></i>	20.00	cm
<i>E<sub>l</sub></i>	140000.00	kg/cm2
<i>A<sub>p</sub></i>	3691.37	cm2
<i>T<sub>r</sub> + T<sub>s</sub></i>	29.65	cm

<i>K<sub>v total</sub></i>	103664335.24	kg/cm
<i>N</i>	47.00	
<i>K<sub>v x unidad</sub></i>	2205624.15	kg/cm

**PASO 36** Frecuencia vertical

$$fv = \sqrt{6} S fd$$

<i>S</i>	34.29	adim
<i>fd</i>	0.40	Hz

<i>fv</i>	33.59	Hz
-----------	-------	----

OK
----

**ITR1** Rigidez efectiva

$$K_{eff} = K_p + \frac{Q}{D}$$

<i>K<sub>p</sub></i>	3871.51	ton/m
<i>Q</i>	335.91	ton
<i>D</i>	0.49	m

<i>K<sub>eff</sub></i>	4556.52	ton/m
------------------------	---------	-------

**ITR1** Energía del sistema

$$E_D = 4Q(D - Dy)$$

$Q$	335.91	ton
$D$	0.49	m
$D_y$	0.96	cm

$ED$	645.95	ton
------	--------	-----

**ITR1** Amortiguamiento efectivo

$$\beta_{eff} = \frac{E_D}{2\pi K_{eff} D^2}$$

$ED$	645.95	ton
$K_{eff}$	4556.52	ton/m
$D$	0.49	m

$\beta_{eff}$	9.38	
$\beta_d, \beta_m$	1.18	

**ITR2** Cálculo del periodo efectivo

$$T_D = 2\pi \sqrt{\frac{W}{K_{eff} \cdot g}}$$

$W$	7519.83	Tn
$K_{eff}$	4556.52	ton/m
$T_D$	2.58	seg

**ITR2** Desplazamiento de diseño corregido

$$D_D = \frac{g S_{D1} T_D}{4\pi^2 B_D}$$

$T_D$	2.58	seg
$g$	9.81	m/s <sup>2</sup>
$S_{D1}$	0.90	m/s <sup>2</sup>
$B_D$	1.18	

$D_D$	49.04	cm
-------	-------	----

**ITR2** Cálculo de la rigidez efectiva

$$K_{eff} = K_p + \frac{Q}{D}$$

$K_{p\ total}$	3871.51	ton/m
$Q$	335.91	ton
$D_D$	49.04	cm

$K_{eff}$	3871.58	ton/m
-----------	---------	-------

**ITR2** Energía disipada preliminar

$$ED = 2\pi K_{eff} D^2 \beta_{eff}$$

$K_{eff}$	3871.58	ton/m
$D$	0.49	m
$\beta_{eff}$	0.09	

$ED$	548.86	ton.m
------	--------	-------

**ITR2** Cálculo del amortiguamiento efectivo

$$\beta_{eff} = \frac{E_D}{2\pi K_{eff} D^2}$$

$ED$	548.86	ton
$K_{eff}$	3871.58	ton/m
$D$	0.49	m

$\beta_{eff}$	9.38	
$\beta_d, \beta_m$	1.18	

**ITR3** Desplazamiento de diseño corregido

$$D_D = \frac{g S_{D1} T_D}{4\pi^2 B_D}$$

$T_D$	2.58	seg
$g$	9.81	m/s <sup>2</sup>
$S_{D1}$	0.90	m/s <sup>2</sup>
$B_D$	1.18	

$D_D$	49.04	cm
-------	-------	----

**ITR3** Cálculo de la rigidez efectiva

$$K_{eff} = K_p + \frac{Q}{D}$$

$K_{p\ total}$	3871.51	ton/m
$Q$	335.91	ton
$D_D$	0.49	m

$K_{eff\ total}$	4556.51	ton/m
$K_{eff\ x\ unidad}$	96.95	ton/m

**ITR3** Energía disipada

$$ED = 2\pi K_{eff} D^2 \beta_{eff}$$

$K_{eff}$	4556.51	ton/m
$D$	0.49	m
$\beta_{eff}$	0.09	

$ED$	645.96	ton.m
------	--------	-------

**ITR3** Cálculo del amortiguamiento efectivo

$$\beta_{eff} = \frac{E_D}{2\pi K_{eff} D^2}$$

$E_D$	645.96	ton.m
$K_{eff}$	4556.51	ton/m
$D$	0.49	m

$\beta_{eff}$	9.38
$\beta_d, \beta_m$	1.18

Cálculo del periodo efectivo

$$T_D = 2\pi \sqrt{\frac{W}{K_{eff}.g}}$$

$W$	7519.83	Tn
$K_{eff}$	4556.51	ton/m
$T_D$	2.58	seg

**PASO 37** Desplazamiento de diseño corregido

$$D_D = \frac{g S_{D1} T_D}{4\pi^2 B_D}$$

$T_D$	2.58	seg
$g$	9.81	m/s <sup>2</sup>
$S_{D1}$	0.90	m/s <sup>2</sup>
$B_D$	1.18	

$D_D$	49.04	cm
-------	-------	----

**PASO 38** Desplazamientos totales de diseño: DTD y DTM

$$D_{TD} = D_D \left( 1 + y \frac{12e}{b^2 + d^2} \right) \quad D_{TM} = D_M \left( 1 + y \frac{12e}{b^2 + d^2} \right)$$

C.S	Centro de Rigidez
C.M	Centro de Masa
y	Distancia a la esquina perpendicular de la dirección de la carga sísmica
e	Excentricidad inherente + excentricidad accidental
ei	distancia perpendicular entre el CM y CR
ea	5% de excentricidad accidental

e	1.00	m	( Ingresar )
b	32.20	m	( Ingresar )
d	25.30	m	( Ingresar )
y	16.10	m	

$D_D$	0.49	m
Factor	1.12	

$D_{TD}$	0.55	m
----------	------	---

Ec (17.5-5)

**PASO 39** Energía disipada por el caucho

$$ED = 2\pi K_{eff} D^2 \beta_{eff} \quad ED = 2\pi K_p D^2 \beta_{eff}$$

$K_{eff}$	4556.51	ton/m
$D$	0.49	m
$\beta_{eff}$	0.05	

( Ingresar )

$ED$	344.23	ton.m
------	--------	-------

**PASO 40** Energía disipada total

$$ED^T = ED^{goma} + 4 Q_L D$$

$ED^{goma}$	344.23	ton.m
$Q_L$	335.91	ton
$D$	0.49	m

$ED_{T total}$	658.91	ton.m
$N$	47.00	
$ED_{T x unidad}$	14.02	ton.s/m

**PASO 41** Amortiguamiento efectivo total

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad C = \frac{ED^T}{\pi D d^2 \omega}$$

$T$	2.58	seg
$\omega$	2.44	rad/seg
$ED^T$	14.02	ton.m
$Dd$	0.49	m

$C$	7.61	ton.s/m
-----	------	---------

**PASO 42** Diagrama de histéresis del sistema de aislación

$N$	47.00
-----	-------

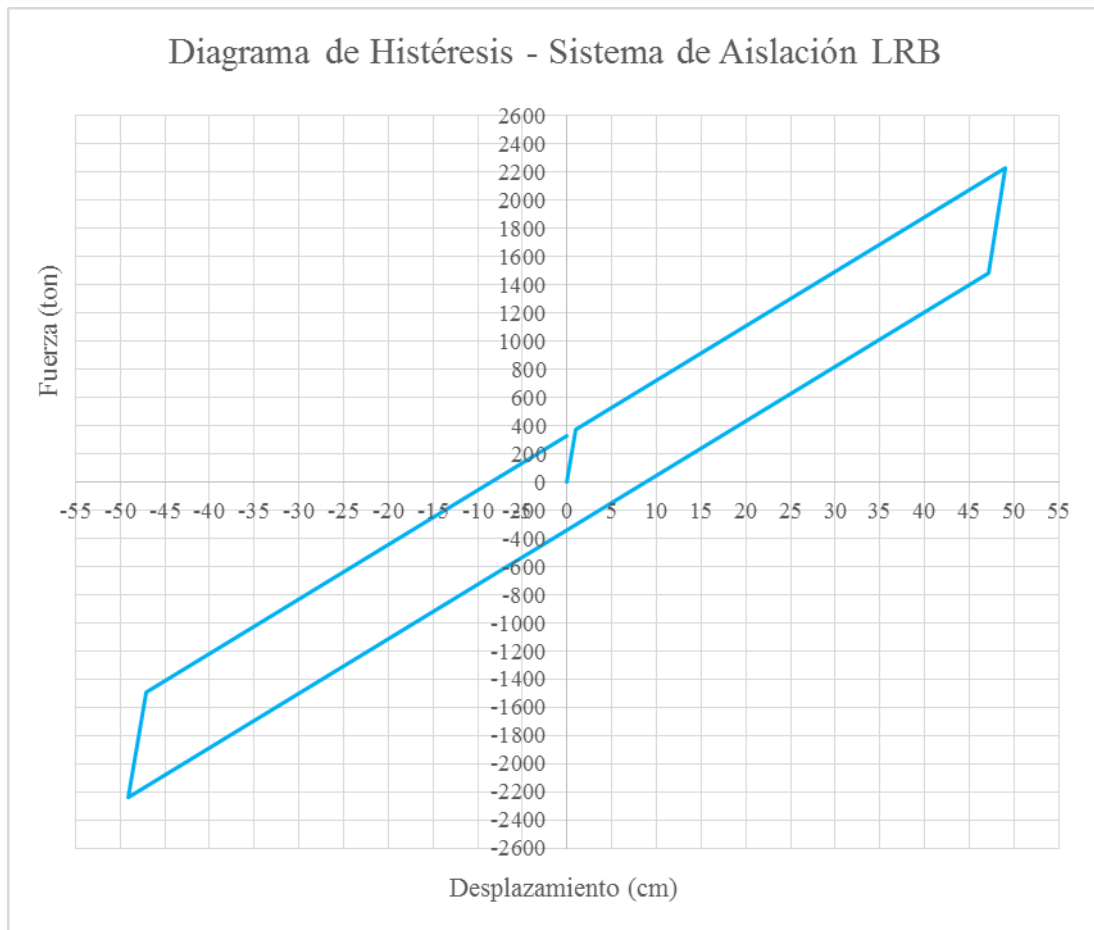
**Tabla IV-38. Coordenadas de fuerza y distancia para diagrama de histéresis por sistema de aislación LRB por sismo MCE**

PUNTOS	cm		kg		cm		ton		LEYENDA	
	X	Y	X	Y	X	Y	letra	fórmula		
0	0	0	0	0	0	0	A	Dy		
1	A	B	1	373	B	Fy.N				
2	C	D	49	2234	C	Dd				
3	E	F	47	1488	D	Keff.Dy.N				
4	-C	-D	-49	-2234	E	Dd-2Dy				
5	-E	-F	-47	-1488	F	Keff.Dy.N-2Fy.N				
6	-A	-B	0	329						

m	c
%	ton/cm
387	0
38.72	335.91

%D	X	Y
	cm	ton
0.25D	12.26	811
0.50D	24.52	1285.18
1.00D	49.04	2234.44

**Gráfica IV-29. Diagrama de histéresis por sistema de aislación LRB por sismo MCE**



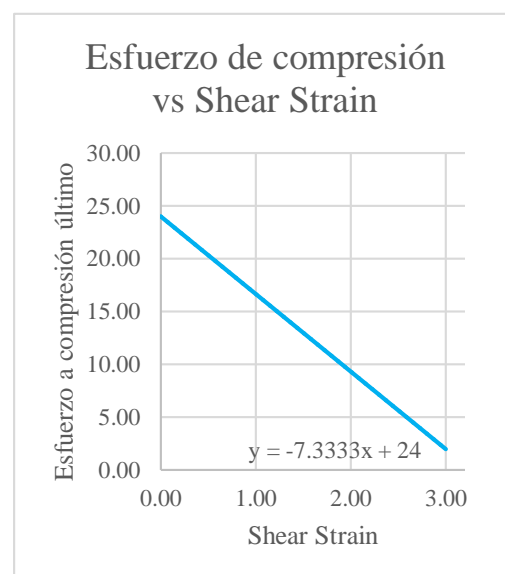
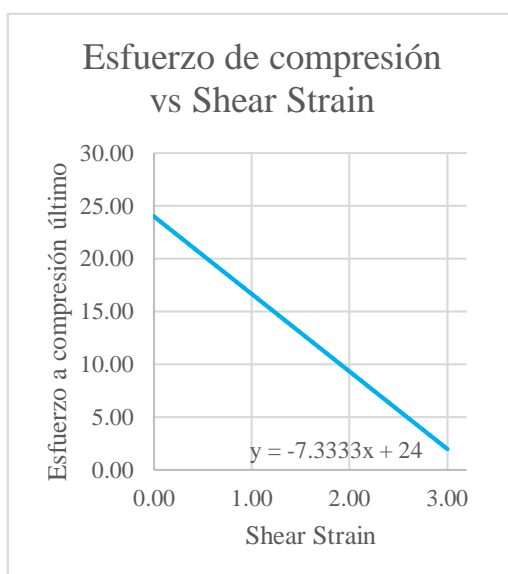
#### 4.3.2.4. Carga Máxima

	Diámetro 60	Diámetro 65	Diámetro 70	
	cm	cm	cm	
$\gamma_s (DBE)$	1.24	1.25	1.23	adim
$\gamma_s (MCE)$	2.50	2.50	2.50	adim

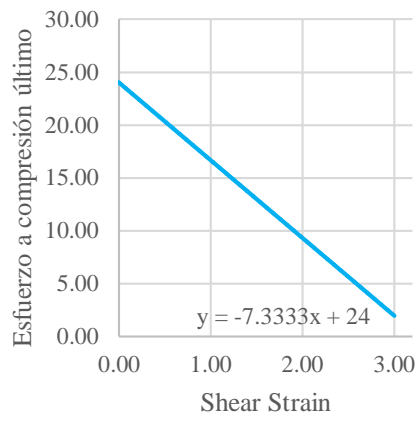
	$\gamma$	$\sigma$	$\gamma$	$\sigma$	$\gamma$	$\sigma$
	%	N/mm <sup>2</sup>	%	N/mm <sup>3</sup>	%	N/mm <sup>4</sup>
$\gamma$	0.00	24.00	0.00	24.00	0.00	24.00
$\gamma_0$	0.00	24.00	0.00	24.00	0.00	24.00
$\gamma_1$	0.00	24.00	0.00	24.00	0.00	24.00
$\gamma_2$	3.00	2.00	3.00	2.00	3.00	2.00

Fuente: Catálogo Bridgestone

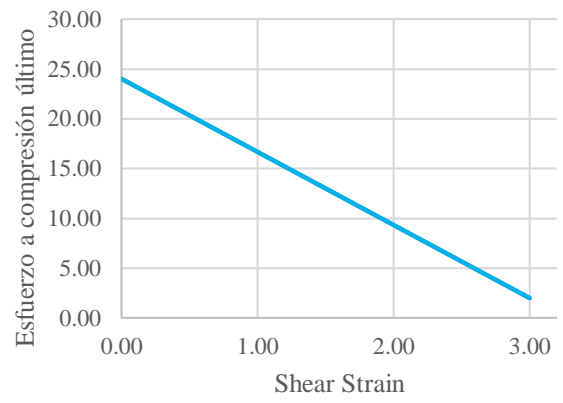
	Diámetro 60	Diámetro 65	Diámetro 70	
	cm	cm	cm	
$A$	2826.00	3317.00	3847.00	cm <sup>2</sup>
$\sigma_{ac}$	14.89	14.80	14.98	N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{ac}$	5.67	5.67	5.67	N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{ac}$	151.87	150.93	152.79	kg/cm <sup>2</sup>
$\sigma_{ac}$	57.78	57.78	57.78	kg/cm <sup>2</sup>
$P_{m\acute{a}x}$	429.18	500.64	587.78	ton
$P_{m\acute{a}x}$	163.30	191.67	222.29	ton



Esfuerzo de compresión vs Shear Strain



Esfuerzo de compresión vs Shear Strain



### 4.3.2.5. Verificación de factores de seguridad

#### PASO 1 Factor de seguridad a la deformación angular máxima

Deformación angular a la compresión

$$e_c = \frac{P_{max}/A}{Eo (1 + 2ks^2)} \quad \gamma_c = 6S \varepsilon_c$$

$P_{max}$	308.16	tn
$A$	3,770	cm <sup>2</sup>
$Eo$	35.00	
$k$	0.70	adim
$s$	34.29	adim
$e_c$	0.00	
$\gamma_c$	29.18	%

**Dato del fabricante**  
**Considerar entre 0.7 y 1**

Deformación angular al corte

$$\gamma_s = \frac{D_M}{T_r} \quad \gamma_s < 250\%$$

$T_r$	0.20	m
$D_D$	0.27	m
$\gamma_s$	134.25	%

$E_c$  (17.5-5)

OK

Deformación angular máxima

$$\gamma_{total} = \gamma_c + \gamma_s$$

$\gamma_{total}$	163.43	%
------------------	--------	---

Factor de seguridad

$$FS = 0.85 \varepsilon_b / \gamma_{total}$$

$\varepsilon_b$	5.50
$FS$	2.86

**Dato del fabricante**

$$FS > 1.5 \quad \text{CUMPLE}$$

#### PASO 2 Factor de Seguridad a la estabilidad o pandeo

Area de corte efectiva

$A$	3,770	cm <sup>2</sup>
$T_r + T_s$	29.75	cm
$T_r$	20.00	cm

$$A_s = A \frac{T_r + T_s}{T_r} \quad 5607.74 \text{ cm}^2$$

Rigidez de corte efectiva

$$P_s = (GA)_{eff} = GA_s \quad 21,309 \text{ Kg}$$

Momento de inercia

$$I = \frac{\pi}{4} \left[ \left( \frac{D_e}{2} \right)^4 - \left( \frac{D_i}{2} \right)^4 \right] \quad 1,178,097 \text{ cm}^4$$

Producto de modulo de elasticidad y momento de inercia, efectivos

$$(EI)_{eff} = \frac{1}{3} E_c I \quad 3,822,455,163 \text{ kg.cm}^2$$

Carga de alabeo

$$P_E = \frac{\pi^2 (EI)_{eff}}{h^2} \quad 42,625,374 \text{ kg}$$

Carga crítica

$$P_{crít} = \frac{P_s}{2} \left( \sqrt{1 + 4 \frac{P_E}{P_s}} - 1 \right) \quad 942.46 \text{ ton}$$

Factor de seguridad

$$P_{máx} \quad 308.16 \text{ ton}$$

$$FS = \frac{P_{crít}}{P_{máx}} \quad 3.06 \text{ adim}$$

$$FS > 2$$

CUMPLE

GOMA OK

### PASO 3 Factor de seguridad al volcamiento

$$N \quad 47.00 \text{ ton}$$

$$P_{mín} \quad 32.68 \text{ ton}$$

$$K_H \quad 1,090 \text{ kg/cm}$$

$$\emptyset \quad 70.00 \text{ cm}$$

$$T_r + T_s \quad 29.75 \text{ cm}$$

$$D_{Max} = \frac{P_{Min} \emptyset}{P_{Min} + K_H H} \quad 35.14 \text{ cm}$$

$$D_M \quad 26.85 \text{ cm}$$

$$FS = \frac{D_{máx}}{D_M} \quad 1.31 \text{ adim}$$

$$FS > 1$$

CUMPLE

#### 4.3.2.6. Peso del aislador

##### 1. Cálculo del volumen

$$V = \frac{\pi}{4} H (De^2 - Di^2)$$

Goma

Tr	20.00	cm
De	70.00	cm
Di	10.00	cm

V 75,398 cm<sup>3</sup>

Láminas de acero

Ts	9.75	cm
De	70.00	cm
Di	10.00	cm

V 36,757 cm<sup>3</sup>

Placa de acero 1

D	100.00	cm
$t_{sp}$	2.20	cm
#	2.00	adim

V 15,708 cm<sup>3</sup>

Placa de acero 2

D	100.00	cm
$t_{sp}$	0.60	cm
#	2.00	adim

V 15,708 cm<sup>3</sup>

Plomo

Ts	29.75	cm
Dp	10.00	cm

V 2,337 cm<sup>3</sup>

##### 2. Cálculo de peso

*Tabla IV-39. Peso de los materiales de aislador LRB*

Elemento	Material	Valores		
		kg/m <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup>	kg
Láminas	Goma	980	75,398	74
Láminas	Acero	7,850	36,757	289
Placa	Acero	7,850	15,708	123
Placa	Acero	7,850	15,708	123
Núcleo	Plomo	11,340	2,337	26
Total	Total			<b>636</b>

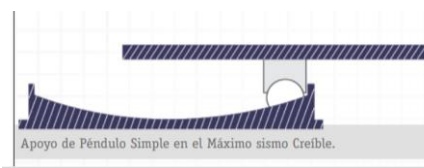
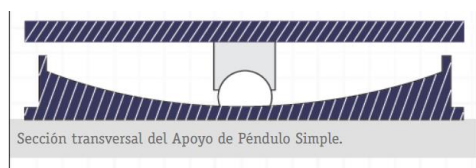
#### 4.3.2.7. Resumen de propiedades dinámicas y geométricas

Tabla IV-40. Resumen de propiedades dinámicas y geométricas de aislador LRB

Características/ Propiedades	Símbolo	Unidades	TIPO LRB
<b>CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS GENERALES</b>			
Número de Aisladores	N	und	47.00
Altura Total	H	cm	34.15
Diámetro interior	Di	cm	10.00
Diámetro exterior	De	cm	70.00
<b>PROPIEDADES DINÁMICAS GENERALES</b>			
Módulo de rigidez a corte	K	kg/cm <sup>2</sup>	20,380
Módulo de rigidez a corte	G	kg/cm <sup>2</sup>	3.80
Esfuerzo de corte del plomo	$\tau_y$	kg/cm <sup>2</sup>	91.00
<b>CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS - CAUCHO</b>			
Altura del caucho	Tr	cm	20.00
Número de capas de caucho	nr	und	40.00
Espesor de los discos de caucho	er	cm	0.50
<b>CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS - DISCOS DE ACERO</b>			
Altura de discos de acero	Ts	cm	9.75
Número de discos de acero	ns	und	39.00
Espesor de los discos de acero	es	cm	0.25
Diámetro de núcleo de plomo	Dp	cm	10.00
Altura del nucleo de plomo	Tr	cm	29.75
<b>CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS - ANCLAJE</b>			
Longitud de la placa de anclaje	L	cm	100.00
Espesor de la placa de anclaje	t	cm	2.20
<b>PROPIEDADES - ANÁLISIS LINEAL</b>			
Rigidez vertical	Kv	ton/m	220,438
Rigidez efectiva	Keff	ton/m	108.99
Amortiguamiento efectivo	C	ton.s/m	13.11
<b>PROPIEDADES - ANÁLISIS NO LINEAL</b>			
Rigidez vertical	Kv	ton/m	220,438
Rigidez elástica	Ke	ton/m	823.73
Fuerza de fluencia	Fy	ton	7.94
Ratio (Kp/Ke)	Ratio	-	0.10

### 4.3.3. Diseño de aislador de péndulo de fricción simple (FPS)

#### 4.3.3.1. Diseño de aislador de péndulo fricción simple (FPS)



Datos de ingreso requeridos	Valores	und	
#aisladores	38.00	und	( Ingresar )
Peso de la estructura	6886.23	tn	( Ingresar )
Periodo fundamental sin aislación	0.65	seg	( Ingresar )
Periodo objetivo (Td)	2.50	seg	( Ingresar )
Periodo objetivo (Tm )	2.70	seg	( Ingresar )
Factor de resguardo	2.00	adim	( Ingresar )
Carga máxima en aislador	308.16	tn	Dato del fabricante
Carga mínima en el aislador	32.68	tn	Dato del fabricante
Coefficiente de fricción bajo	0.04	-	Dato del fabricante
Coefficiente de fricción alto	0.06	-	Dato del fabricante
Resistencia teflón a tensión	4500.00	tn/m2	Dato del fabricante
Coefficiente de amortiguación	0.20	adim	( Ingresar )
Densidad	4500.00	tn/m2	Dato del fabricante
Sml	0.79	m/s2	( Ingresar )
Sd1	0.53	m/s2	( Ingresar )
g	9.81	m/s2	( Ingresar )

#### PASO 1 Cálculo de Rigidez lateral de cada aislador $K_i$

$$K_i = \frac{P_{m\acute{a}x adm}}{g} \left( \frac{2\pi}{T_D} \right)^2$$

$P_{m\acute{a}x adm}$	308.16	tn
$g$	9.81	m/s2
$T_D$	2.50	seg

$K_i$	198.42	tn/m
-------	--------	------

#### PASO 2 Cálculo de amortiguamiento preliminar

**Tabla IV-41. Coeficientes de amortiguamiento**

Effective damping, $\beta_D$ o $\beta_M$ (percentage of critical) (1,2)	BD o BM factor
2.00	0.80
5.00	1.00
10.00	1.20
20.00	1.50
30.00	1.70
40.00	1.90
$\geq 50$	2.00

$\beta_d, \beta_m$	20.00	%
$B_D, B_M$	1.50	adim

**PASO 3** Cálculo del Desplazamiento de diseño preliminar (Dd)

$$D_D = \frac{g S_{D1} T_D}{4\pi^2 B_D}$$

$g$	9.81	m/s <sup>2</sup>
$S_{D1}$	0.53	m/s <sup>2</sup>
$T_D$	2.50	seg
$B_D$	1.50	adim

$D_D$	0.22	m
-------	------	---

**PASO 4** Radio de curvatura

$$R = \frac{g T^2}{4\pi^2}$$

$g$	9.81	m/s <sup>2</sup>
$T_D$	2.50	seg

$R$	1.55	m
-----	------	---

**PASO 5** Amortiguamiento Beff

$$\beta_{eff} = \frac{2}{\pi} \times \frac{\mu}{\frac{D_D}{R} + \mu}$$

$\mu$	0.06	-
$D_D$	0.22	m
$R$	1.55	m

$\beta_{eff}$	19.01	%
---------------	-------	---

**PASO 6** Coeficiente de amortiguamiento  $B_D$  o  $B_M$ 

$B_D, B_M$	1.47
------------	------

**PASO 7** Desplazamiento de diseño ( $D_D$ ) final

$$D_D = \frac{g S_{D1} T_D}{4\pi^2 B_D}$$

$g$	9.81	m/s <sup>2</sup>
$S_{D1}$	0.53	m/s <sup>2</sup>
$T_D$	2.50	seg
$B_D$	1.47	adim

$D_D$	0.22	m
-------	------	---

**PASO 8** Rigidez efectiva del sistema

$$K_{eff\ total} = \frac{\mu \times W}{D_D} + \frac{W}{R}$$

$\mu$	0.06	-
$W$	6886.23	ton
$D_D$	0.22	m
$R$	1.55	m
$K_{eff\ total}$	6285.01	tn/m

## Rigidez horizontal de cada aislador

$N$	38.00	und
$K_{eff\ x\ unidad}$	165.40	tn/m

**PASO 9** Rigidez vertical

$$K_v\ total = K_{eff\ total} \times 700$$

$K_v\ total$	4399507.13	tn/m
$K_v\ x\ unidad$	115776.50	tn/m

**PASO 10** Rigidez post fluencia

$$K_2 = \frac{W}{R} = K_{eff} - \frac{\mu \times W}{D_D}$$

$K_{eff\ total}$	6285.01	ton/m
$\mu$	0.06	-
$W$	6886.23	ton
$D_D$	0.22	m

$K_2$	4433.96	tn/m
-------	---------	------

**PASO 11** Rigidez inicial-elástica

$$K_1 = \frac{\mu \times W}{D_y}$$

$\mu$	0.06	m
$D_y$	0.025	m
$W$	6886.23	m

( Ingresar )

$K_1$	16266.68	tn/m
-------	----------	------

**PASO 12** Fuerza de activación del sistema

$$F_y = \mu W$$

$\mu$	0.06	-
$W$	6886.23	ton

$F_y$	413.17	tn
-------	--------	----

**PASO 13** Diagrama de histéresis del sistema de aislación

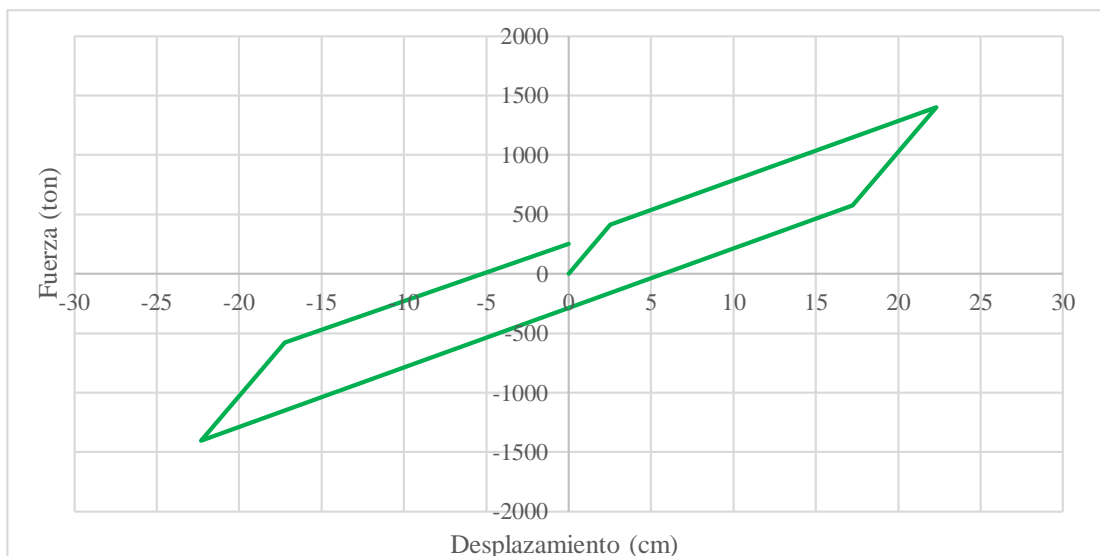
N

38.00

**Tabla IV-42. Coordenadas de fuerza y distancia para diagrama de histéresis por sistema de aislación FPS por sismo DBE**

PUNTOS	cm		kg		LEYENDA	
	X	Y	X	Y	letra	fórmula
0	0.00	0.00	0.00	0.00	A	Dy
1	A	B	2.54	413.17	B	Fy.N
2	C	D	22.32	1402.88	C	Dd
3	E	F	17.24	576.53	D	Keff.Dy.N
4	-C	-D	-22.32	-1402.88	E	Dd-2Dy
5	-E	-F	-17.24	-576.53	F	Keff.Dy.N-2Fy.N
6	-A	-B	0.00	253.53		

**Gráfica IV-30. Diagrama de histéresis por sistema de aislación FPS por sismo DBE**



#### 4.3.3.2. Cálculo de detalles de aislador de péndulo de fricción simple (FPS)

##### PASO 1 Área de contacto

$$A_s = \frac{P_{Max}}{\rho}$$

$P_{Max}$	308.16	ton
$\rho$	4500.00	ton/m <sup>2</sup>

$A_s$	0.07	m <sup>2</sup>
-------	------	----------------

##### PASO 2 Diámetro de contacto

$$D_s = 2 \sqrt{\frac{A_s}{\pi}}$$

$D_s$	0.30	m
-------	------	---

##### PASO 3 Desplazamiento máximo

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

$g$	9.81	m/s <sup>2</sup>
$S_{M1}$	0.79	m/s <sup>2</sup>
$T_M$	2.70	seg
$B_M$	1.47	adim

$D_M$	0.36	
-------	------	--

##### PASO 4 Desplazamiento máximo total

$$D_{MT} = 1.1 D_M$$

$D_{MT}$	0.40	m
----------	------	---

##### PASO 5 Dimensión máxima

$$D_2 = D_{MT} + D_s$$

$D_2$	0.69	m
-------	------	---

##### PASO 6 Carga transmitida a la placa

$$F_t = \rho A_s$$

$\rho$	4500.00	ton/m <sup>2</sup>
$A_s$	0.07	m <sup>2</sup>

$F_t$	308.16	tn
-------	--------	----

**PASO 7 Espesor de capa inferior**

$$h = \sqrt{\frac{\rho \times A_s - D_s}{\rho_b}} \times \frac{1}{2}$$

$\rho$	4500.00	ton/m <sup>2</sup>
$A_s$	0.07	
$D_s$	0.30	m
$\rho_b$	1500.00	tn/m <sup>2</sup>

$h$	0.15	m
-----	------	---

( Ingresar )  
dato del fabricante

**PASO 8 Área proyectada de contacto**

$$A_c = \frac{\pi}{4} (D_s + 2h)^2$$

$D_s$	0.30	m
$h$	0.15	m

$A_c$	0.28	m <sup>2</sup>
-------	------	----------------

**PASO 9 Fuerza resistida por la placa**

$$F_p = \rho_b A_c$$

$\rho_b$	1500.00	tn/m <sup>2</sup>
$A_c$	0.28	m <sup>2</sup>

$F_p$	417.10	tn
-------	--------	----

**PASO 10 Altura de la placa de contacto con el deslizador articulado**

$$H_1 = h + (R - \sqrt{R^2 - (0.5 \times D_2)^2})$$

$h$	0.15	m
$R$	1.55	m
$D_2$	0.69	m

$H_1$	0.19	m
-------	------	---

**PASO 11 Altura de placa que contiene el deslizador**

$$H_2 = 0.70 \times H_1$$

$H_2$	0.13	m
-------	------	---

**PASO 12 Altura libre entre placas**

$$H_3 = R - \sqrt{R^2 - (0.5 \times D_2)^2}$$

$R$	1.55	m
$D_2$	0.69	m

$H_3$	0.04	m
-------	------	---

**PASO 13 Altura de anclaje**

$H_4$	0.04	m
-------	------	---

*Dato del fabricante***PASO 14 Altura Total**

$$H_T = H_1 + H_2 + H_3 + H_4$$

$H_T$	0.40	m
-------	------	---

**PASO 15 Cálculo de la dimensión total**

$$D_T = D_2 + 2D_{ext}$$

$D_{ext}$	0.04	m
$D_T$	0.77	m

*Dato del fabricante*

Detalles FPS	Valores	und
Número de aisladores	<b>38.00</b>	m
Altura total	<b>0.40</b>	m
Radio de curvatura	<b>1.55</b>	m
Diámetro total	<b>0.77</b>	m
Diámetro recorrido inferior	<b>0.69</b>	m
Área de contacto	<b>0.07</b>	m <sup>2</sup>
Diámetro de contacto	<b>0.30</b>	m
Espesor de capa inferior	<b>0.15</b>	m
Rigidez horizontal cada aislador	<b>165.40</b>	tn/m
Rigidez vertical sistema	<b>4399507.13</b>	tn/m

### 4.3.3.3. Resumen de propiedades bilineales de aislador de péndulo de fricción simple (FPS)

*Tabla IV-43. Resumen de propiedades bilineales de aislador de péndulo de fricción simple (FPS)*

Parámetros por sistema total	Valores	und
Coefficiente de fricción	<b>0.06</b>	
Desplazamiento sistema	<b>0.22</b>	m
Peso del edificio	<b>6886.23</b>	tn
Periodo del sistema	<b>2.50</b>	seg
Número de aisladores	<b>38.00</b>	und
Rigidez post fluencia k2	<b>4433.96</b>	tn/m
Fuerza de fluencia fy	<b>413.17</b>	tn
Desplazamiento de fluencia d	<b>0.0254</b>	m
Rigidez inicial	<b>16266.68</b>	tn/m
Energía disipada	<b>368.90</b>	tn.m

Parámetros por aislador	Valores	und
$W_D = 4 \mu W D_D \quad \omega = \frac{2\pi}{T} \quad C = \frac{W_D}{\pi D_D^2 \omega}$		
Energía disipada	<b>9.71</b>	tn.m
Rigidez post fluencia k2/#	<b>116.68</b>	tn/m
Fuerza de fluencia	<b>10.87</b>	tn
Fuerza nula elástica	<b>466.23</b>	tn
Rigidez inicial k1/#	<b>428.07</b>	tn/m
w angular	<b>2.51</b>	rad/seg
Amortiguamiento efectivo (c)	<b>24.68</b>	tn.seg/m

Parámetros para Software	Valores	und
Rigidez vertical	<b>115776.50</b>	tn/m
Rigidez efectiva lineal	<b>165.40</b>	tn/m
Rigidez inicial	<b>428.07</b>	tn/m
Fuerza de fluencia	<b>10.87</b>	tn
Relación k2/k1	<b>0.273</b>	adim
Amortiguamiento	<b>24.68</b>	tn.seg/m
Energía disipada	<b>9.71</b>	tn.m
Coefficiente de fricción	<b>0.06</b>	adim
Radio curvatura	<b>1.55</b>	m

#### 4.3.4. Diseño de deslizadores sísmicos

- ✓ La carga vertical máxima de contacto para cada tipo de deslizador en la superficie de PTFE no deberá exceder de 31.6 ton para cargas permanentes, obtenidas del deslizador más cargado para la combinación  $P_{LT} = D + 0.5 L$ , donde D y L representan la carga axial de peso propio y sobrecarga, respectivamente. Adicionalmente, la presión de contacto promedio para cada tipo de deslizador en la superficie de PTFE no deberá exceder también para una carga de 31.6 ton para cargas sísmicas, obtenidas del deslizador más cargado para la combinación  $P_{ST}^M = 1.5D + 0.5L + E_M^C$ , donde  $E_M^C$  corresponde a la carga de compresión producto del sismo máximo posible. Las cargas en los deslizadores obtenidas para ambas combinaciones se muestran en la Tabla IV-44.
- ✓ Los dispositivos deberán permitir un desplazamiento de 400 mm en cualquier dirección y deberán ser capaces de soportar las cargas correspondientes al sismo máximo indicadas en la Tabla IV-44. Cargas y combinaciones en deslizadores sísmicos.
- ✓ No habrá más de 1 tipo de deslizador en la estructura: DLZ de 73 cm.
- ✓ El número de deslizadores son 6 y serán ubicados debajo de la escalera y ascensor, según indican los planos de estructuras.
- ✓ El tipo de deslizador sísmico es: FIP-D M 510/800 (3700), de la marca FIP Industriale.
- ✓ El diseño del tipo de los deslizadores sísmicos está basado en las especificaciones técnicas de desplazamiento máximo y carga vertical máxima, según FIP Industriale.

Tabla IV-44. Cargas y combinaciones en deslizadores sísmicos

Ubicación	Tipo	Denominación	Combo de servicio			Sismo de diseño		Sismo máximo	
			$D$	$L$	$P_{LT}$	$E_D^C$	$P_{ST}^D$	$E_M^C$	$P_{ST}^M$
			ton	ton	ton	ton	ton	ton	ton
DLZ-01	DLZ-73CM	(TIPO FIP-D M 510/800 (3700))	6.5	0.4	6.7	20.5	28.6	25.1	35.1
DLZ-02	DLZ-73CM	(TIPO FIP-D M 510/800 (3700))	7.9	-0.2	7.8	4.9	14.3	6.2	17.9
DLZ-03	DLZ-73CM	(TIPO FIP-D M 510/800 (3700))	7.3	0.0	7.3	17.8	26.5	19.7	30.6
DLZ-04	DLZ-73CM	(TIPO FIP-D M 510/800 (3700))	8.4	0.4	8.6	7.3	17.5	8.9	21.6
DLZ-05	DLZ-73CM	(TIPO FIP-D M 510/800 (3700))	18.4	0.0	18.4	5.9	28.0	7.4	35.0
DLZ-06	DLZ-73CM	(TIPO FIP-D M 510/800 (3700))	18.4	0.0	18.4	6.2	28.2	7.6	35.2
<b>Promedio</b>					<b>11.2</b>		<b>23.8</b>		<b>29.2</b>

## V. DISCUSIÓN.

En este capítulo se analizaron los resultados obtenidos en el capítulo anterior, realizando propiamente dicho el estudio comparativo entre una edificación con sistema de aislación sísmica y una con sistema convencional.

El estudio comparativo está directamente relacionado con los objetivos propuestos en el desarrollo de esta tesis. Estos sub capítulos son: análisis comparativo estructural, por metrado estructural, por relación de insumos y económico, de la estructura aislada y convencional.

En el análisis comparativo estructural, se analizaron las variables: desplazamientos máximos, desplazamientos en sistemas de aislación, derivas, corte basal y aceleraciones. De este análisis, se determinó que los tres tipos de aisladores, evidencian comportamientos favorables y similares. Finalmente por optimización de costos, se consideró el sistema de aislación HDR como el más favorable para el presente proyecto, por tener menor costo que los demás. Los siguientes análisis se realizaron con este tipo de aislador.

En el análisis comparativo por metrado estructural, se analizaron las variables: metrado de movimiento de tierras, metrado de acero, metrado de encofrado y desencofrado, metrado de concreto y metrado de ladrillo de techo.

En el análisis comparativo por relación de insumos, se analizaron las variables: horas hombre de mano de obra, horas máquina de equipamiento, volúmenes de concreto, pesos de aceros, unidad variables para materiales de encofrado y desencofrado y unidades de ladrillos de techo.

En el análisis comparativo económico relación de insumos, se analizaron las variables: costo total de mano de obra, costo total de equipamiento, costo total de concreto, costo total de aceros, costo total para materiales de encofrado y desencofrado, y costo total por unidades de ladrillos de techo.

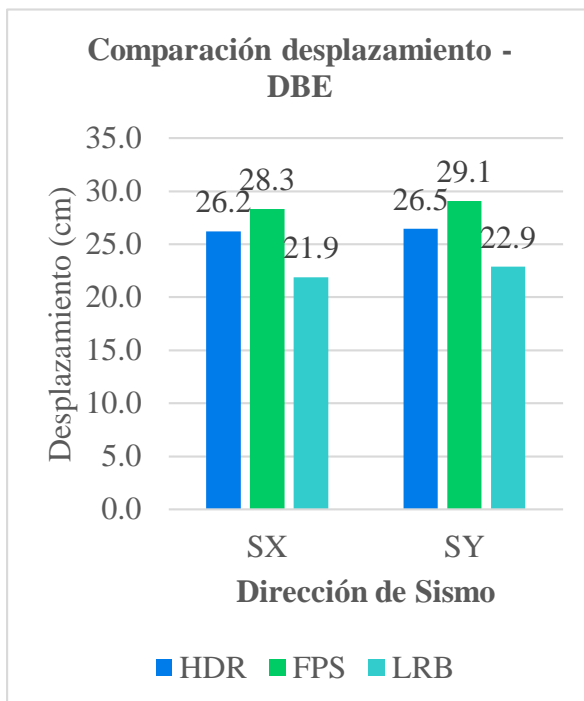
## 5.1. Análisis comparativo estructural

### 5.1.1. Desplazamientos máximos

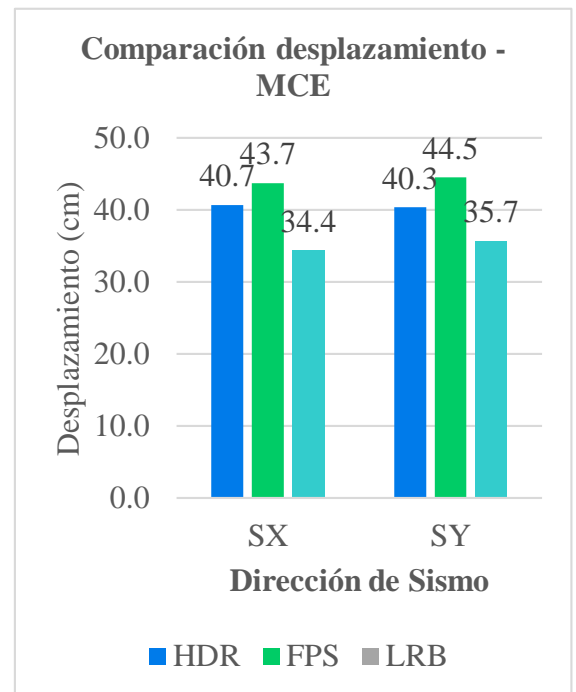
*Tabla V-1. Desplazamiento máximo por tipo de aislador, tipo y dirección de sismo*

Aislador	DBE				MCE			
	SX	% Δ	SY	% Δ	SX	% Δ	SY	% Δ
HDR	26.2	20%	26.5	16%	40.7	18%	40.3	13%
FPS	28.3	29%	29.1	27%	43.7	27%	44.5	25%
LRB	21.9	0%	22.9	0%	34.4	0%	35.7	0%

*Gráfica V-2. Comparación de desplazamiento máximo por tipo de aislador – DBE*



*Gráfica V-1. Comparación de desplazamiento máximo por tipo de aislador – MCE*



### 5.1.2. Desplazamientos en Sistema de Aislación

Este parámetro es importante conocerlo principalmente porque permite:

- ✓ Verificar si este tipo de desplazamiento se encuentra dentro del rango dado por el sismo DBE, requisito que debe cumplirse para que el sistema sea efectivo, ya que el sistema de aislación es el que absorbe la mayor cantidad de deformación.
- ✓ Definir los valores de la junta sísmica de separación entre el edificio y el terreno u otros elementos circundantes.

**Conclusión n°02.01:** los desplazamientos máximos en el sistema de aislación para cada uno de los tipos de aisladores, se encuentran dentro de los rangos máximos posibles según catálogos de fabricantes de aisladores como Dynamic Isolation Systems (DIS).

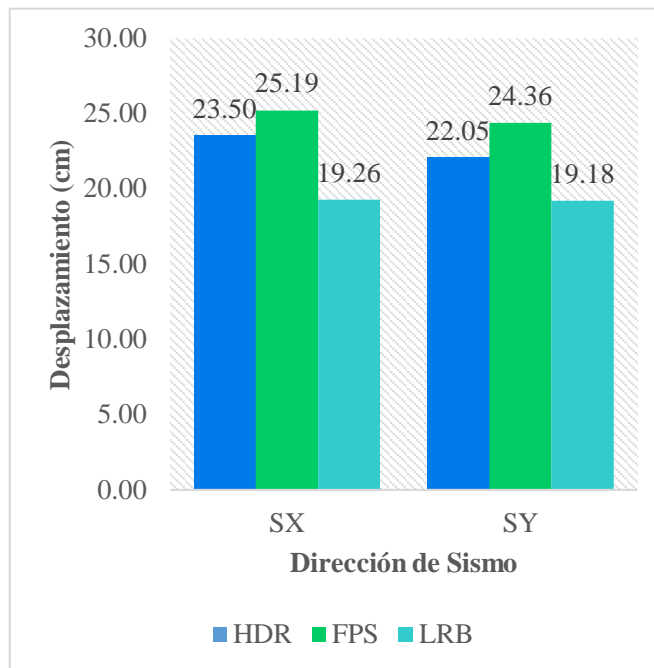
**Conclusión n°02.02:** los desplazamientos máximos en el sistema de aislación para cada uno de los tipos de aisladores, son menores que la separación entre las estructuras suspendidas (ascensor y escalera) y la estructura propiamente dicha; por lo tanto, el sistema de aislación por desplazamiento máximo en sistema de aislación es correcto.

A continuación, en la Tabla V-2 y Gráfica V-3 se presentan los valores respectivos de deformación para cada sistema de aislación.

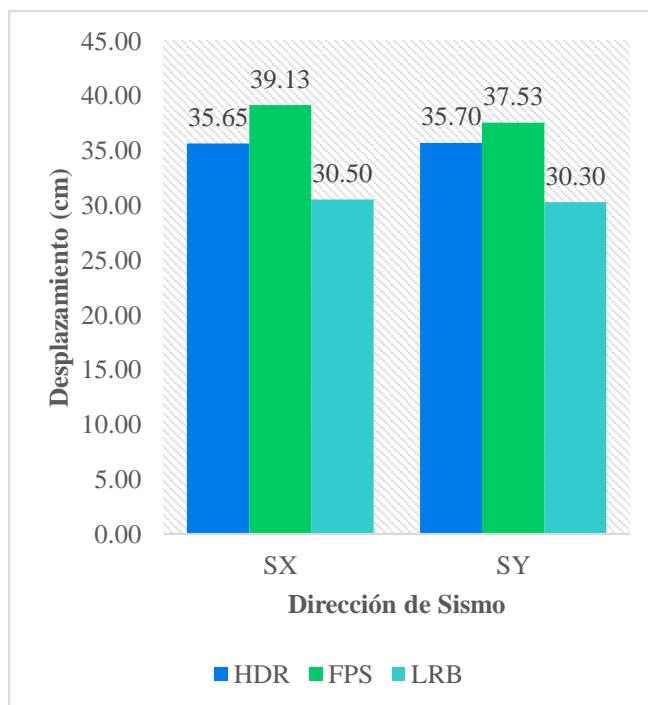
*Tabla V-2. Desplazamiento máximo por tipo de aislador, tipo y dirección de sismo*

DBE			MCE		
Aislador	SX	SY	Aislador	SX	SY
HDR	23.50	22.05	HDR	35.65	35.70
FPS	25.19	24.36	FPS	39.13	37.53
LRB	19.26	19.18	LRB	30.50	30.30

**Gráfica V-3. Comparación de desplazamiento máximo en sistema de aislación por tipo de aislador – DBE**



**Gráfica V-4. Comparación de desplazamiento máximo en sistema de aislación por tipo de aislador – MCE**



### 5.1.3. Modos de vibración

Como primer paso se verificará que los sistemas de aislación produzcan el periodo deseado. Asimismo, se mostraran sus modos de vibrar.

### 5.1.3.1. Modos de vibración de sistema de aislación HDR

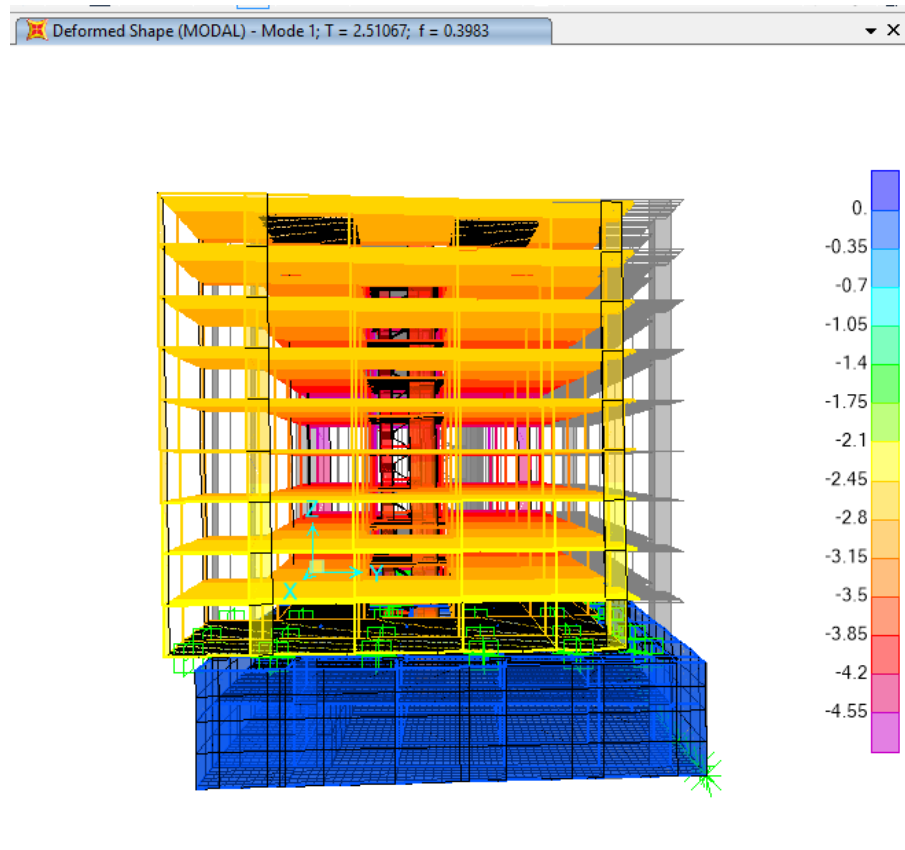
*Tabla V-3. Resultados de análisis modal con sistema de aislación HDR.*

OutputCase	StepType	StepNum	Period	UX	UY	UZ	RX	RY	RZ	SumRX	SumRY	SumRZ
Text	Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
MODAL	Mode	1	2.5	0.00	0.91	0.00	0.01	0.00	0.04	0.01	0.00	0.04
MODAL	Mode	2	2.5	0.95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.04
MODAL	Mode	3	2.2	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.91	0.01	0.00	0.95
MODAL	Mode	4	0.4	0.00	0.00	0.00	0.62	0.00	0.00	0.63	0.01	0.95
MODAL	Mode	5	0.3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.16	0.00	0.63	0.17	0.95
MODAL	Mode	6	0.3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.34	0.00	0.63	0.50	0.95

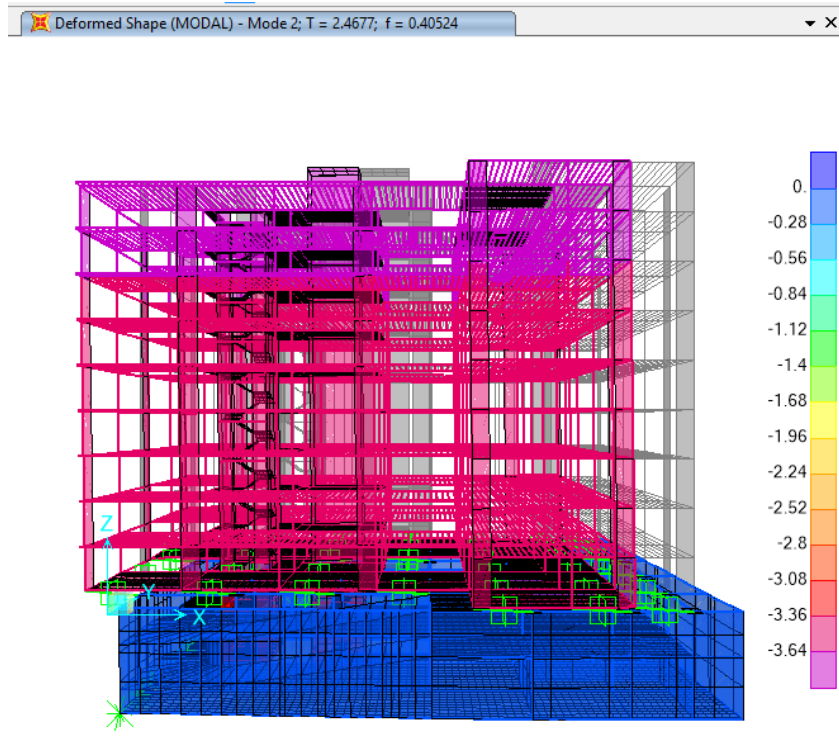
En la Tabla V-3 se observa que el período fundamental de la estructura aislada con el sistema HDR corresponde a 2.51 segundos ( $\approx 2.5$ ), lo que corresponde al período objetivo, flexibilizando notablemente la estructura, de la participación modal observamos que el modo primero ocurre en Y, debido a que Uy es mayor que Ux y Rz. El segundo período más importante es de 2.47 seg ocurre en X; finalmente el tercer período es de 2.18 seg y tiene una mayor participación modal en Z, lo que indica que es un modo torsional. Asimismo, se puede observar que los períodos aislados corresponden a los tres primeros en que éstos corresponden a la casi totalidad de la respuesta, ya que los modos superiores no tienen mucha relevancia en el movimiento de la estructura. Además, es importante destacar que los dos periodos traslacionales son muy idénticos, lo cual es muy característico de las estructuras que cuentan con un sistema de aislación siendo su relación de prácticamente 1 y que el período torsional solo difiere levemente de los períodos traslacionales siendo su relación 1.15 que es cercana a 1, que es lo ideal, esto refleja en general una buena distribución en planta de los aisladores. Es importante mencionar que en los primeros modos, apenas se muestra una pequeña contribución rotacional del 4.3% en el modo 1; mientras que, en el modo 3 se observa una importante contribución torsional de 91%.

También se observa en las formas modales, que la flexibilización ocurre prácticamente en totalidad, en el sistema de aislación. Así, en esta interfaz ocurre casi la totalidad del desplazamiento; mientras que, la superestructura permanece como si fuera un cuerpo rígido. En la Ilustración V-1, Ilustración V-2 e Ilustración V-3, se muestran el primer, segundo y tercer modo, respectivamente.

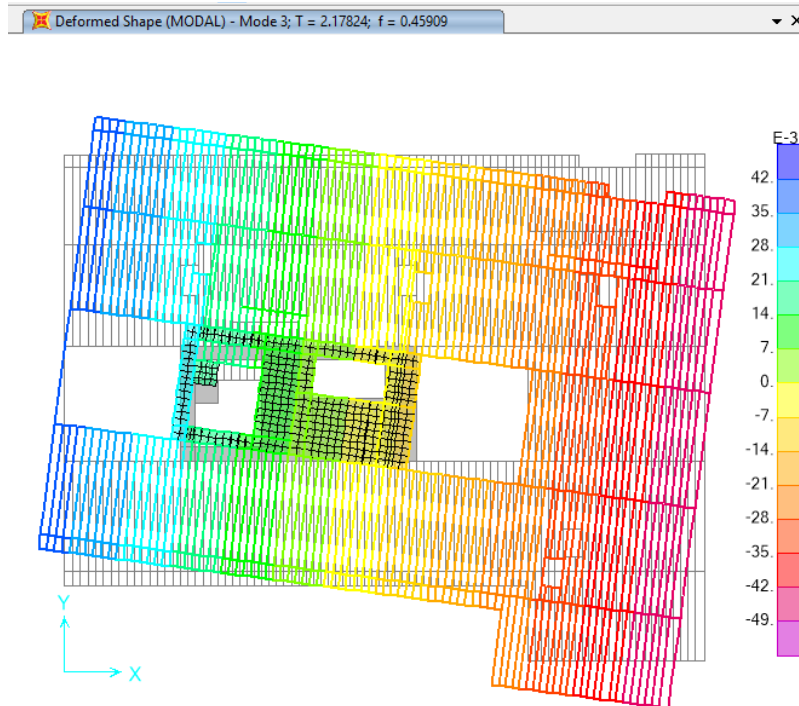
*Ilustración V-1. Primer modo de edificio con sistema de aislación HDR, modo traslacional en Y*



**Ilustración V-2. Segundo modo de edificio aislado con aisladores de alto amortiguamiento, modo traslacional en X.**



**Ilustración V-3. Tercer modo de edificio aislado con aisladores de alto amortiguamiento, modo rotacional en Z.**



### 5.1.3.2. Modos de vibración de sistema de aislación LRB

*Tabla V-4. Resultados del análisis modal con el sistema de aislación LRB*

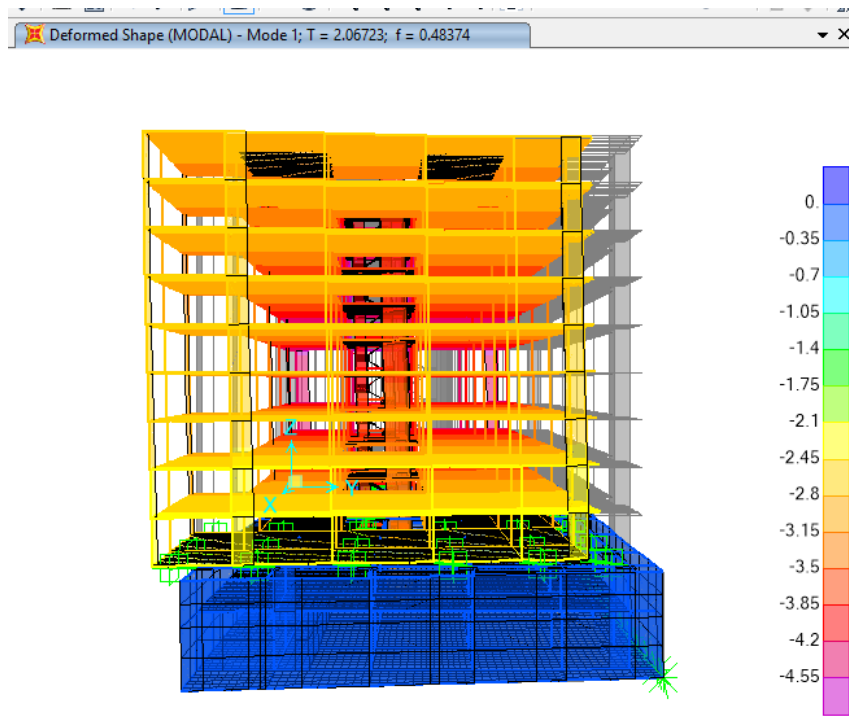
OutputCase	StepType	StepNum	Period	UX	UY	UZ	RX	RY	RZ	SumRX	SumRY	SumRZ
Text	Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
MODAL	Mode	1	2.1	0.00	0.91	0.00	0.01	0.00	0.04	0.01	0.00	0.04
MODAL	Mode	2	2.0	0.95	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.04
MODAL	Mode	3	1.8	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.91	0.01	0.01	0.95
MODAL	Mode	4	0.4	0.00	0.00	0.00	0.61	0.00	0.00	0.63	0.01	0.95
MODAL	Mode	5	0.3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.16	0.00	0.63	0.17	0.95
MODAL	Mode	6	0.3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.33	0.00	0.63	0.50	0.95

En la Tabla V-4 se observa que el período fundamental de la estructura con sistema de aislación LRB corresponde a 2.07 segundos ( $\approx 2.5$ ), lo que corresponde regularmente al período objetivo, de la participación modal observamos que el modo primero ocurre en Y. El segundo período más importante es de 2.03 seg y tiene mayor participación en X; finalmente el tercer período es de 1.8 seg y tiene una mayor participación modal en Z, lo que indica que es un modo torsional. Asimismo, nuevamente los períodos aislados corresponden a los tres primeros en que éstos corresponden a la casi totalidad de la respuesta, ya que los modos superiores no tienen mucha relevancia en el movimiento de la estructura, los dos periodos traslacionales son muy idénticos, siendo su relación prácticamente 1 y que el período torsional solo difiere levemente de los períodos traslacionales siendo su relación 1.15 que es cercana a 1, que es lo ideal, esto refleja una buena distribución en planta de los aisladores. Es importante mencionar que en los primeros modos, apenas se muestra una pequeña contribución rotacional del 3.7% en el modo 1; mientras que, en el modo 3 se observa una importante contribución torsional de 91.4%.

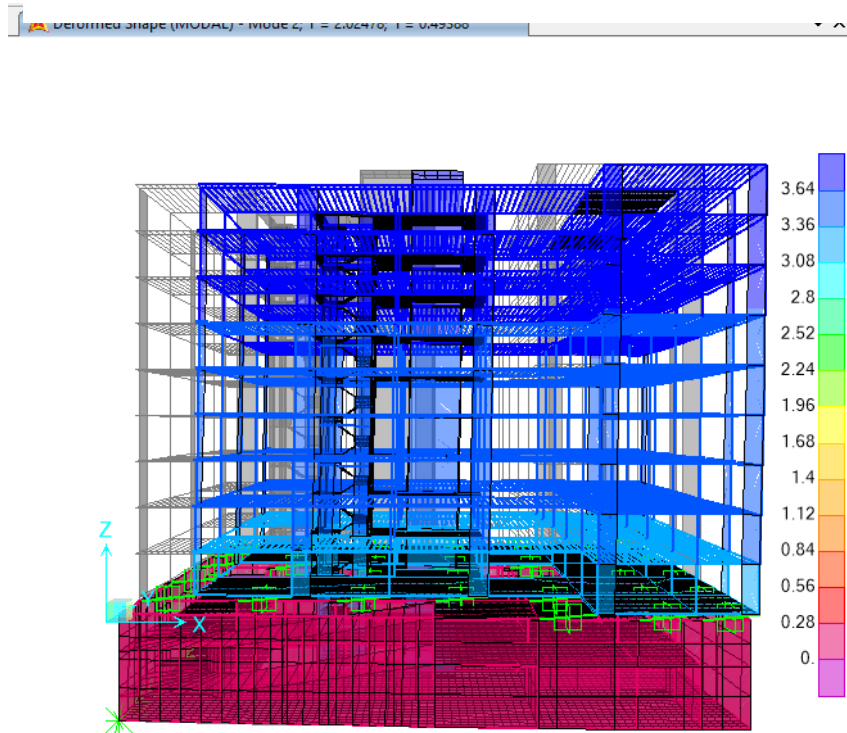
También se observa en las formas modales, que la flexibilización ocurre prácticamente en totalidad, en el sistema de aislación. Así, en esta interfaz ocurre casi la totalidad del desplazamiento; mientras que, la superestructura permanece como si fuera un cuerpo rígido.

En las figuras Ilustración V-4, Ilustración V-5 e Ilustración V-6 se muestran el primer, segundo y tercer modo respectivamente.

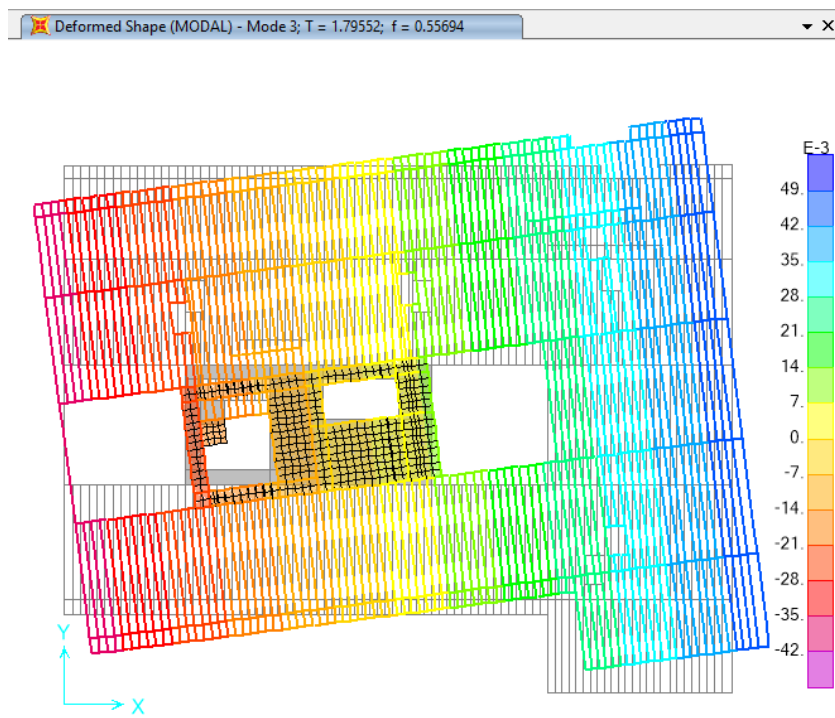
***Ilustración V-4. Primer modo de edificio aislado con aisladores con núcleo de plomo, modo traslacional en Y***



*Ilustración V-5. Segundo modo de edificio aislado con aisladores con núcleo de plomo, modo traslacional en X.*



*Ilustración V-6. Tercer modo de edificio aislado con aisladores con núcleo de plomo, modo traslacional en Z.*



### 5.1.3.3. Modos de vibración de sistema de aislación FPS

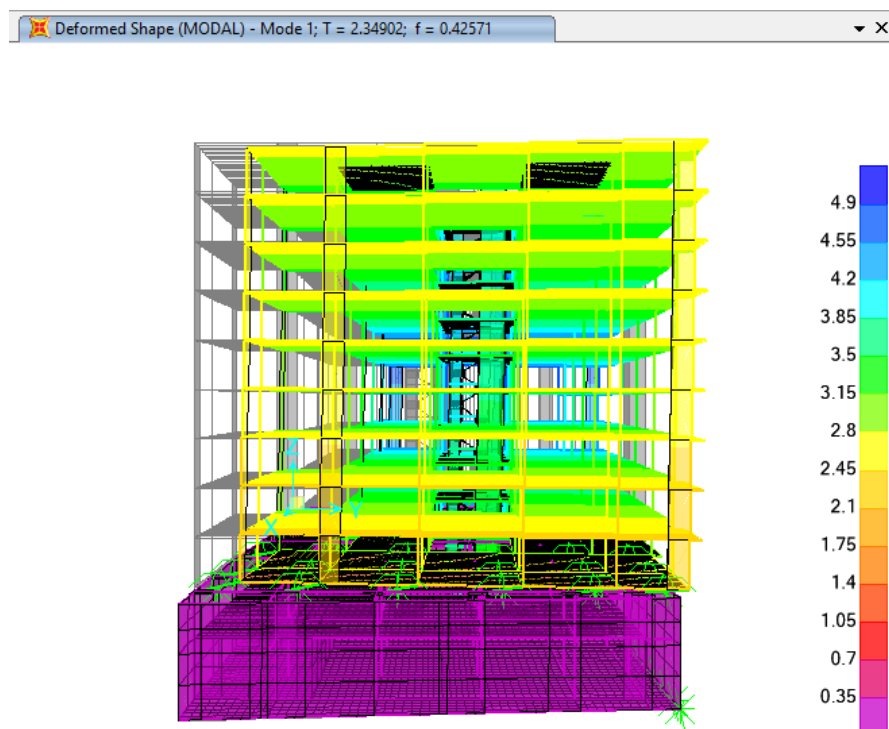
*Tabla V-5. Resultados del análisis modal con el sistema de aislación FPS*

OutputCase	StepType	StepNum	Periodo	UX	UY	UZ	RX	RY	RZ	SumRX	SumRY	SumRZ
Text	Text	Unitless	Seg	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
MODAL	Mode	1	2.4	0.00	0.77	0.00	0.06	0.00	0.03	0.06	0.00	0.03
MODAL	Mode	2	2.3	0.80	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.06	0.04	0.03
MODAL	Mode	3	2.0	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.70	0.06	0.04	0.73
MODAL	Mode	4	0.4	0.00	0.00	0.00	0.45	0.00	0.00	0.52	0.05	0.73
MODAL	Mode	5	0.3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.19	0.00	0.52	0.24	0.73
MODAL	Mode	6	0.3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.19	0.00	0.52	0.43	0.73

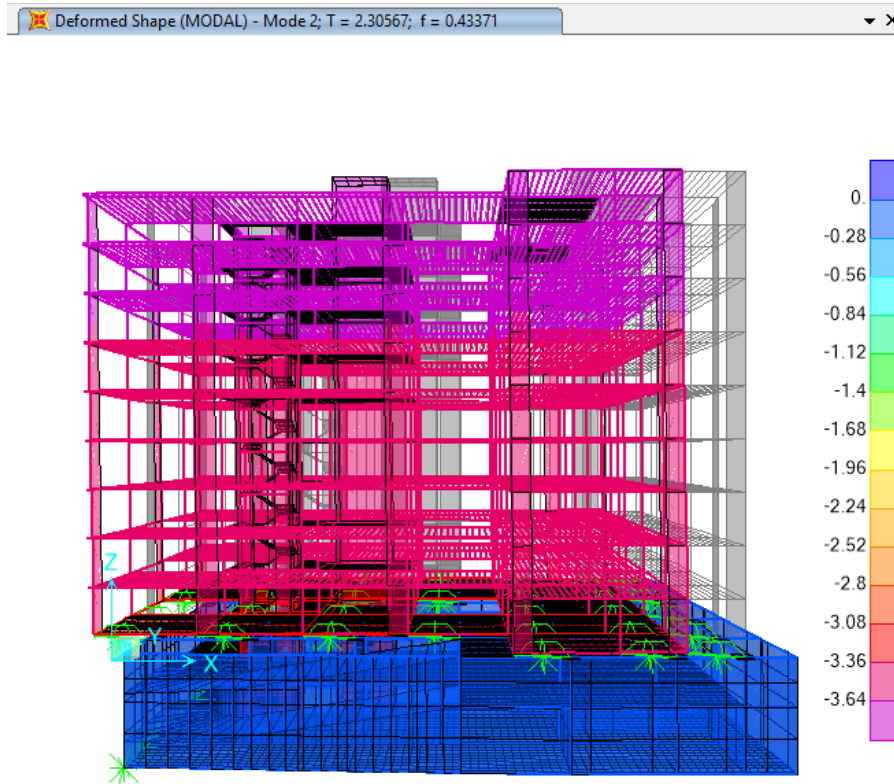
En la Tabla V-5 observamos que el período fundamental de la estructura aislada con el sistema FPS corresponde a 2.35 segundos ( $\approx 2.5$ ), lo que corresponde al período objetivo, flexibilizando notablemente la estructura, de la participación modal observamos que el modo primero ocurre en Y, debido a que Uy es mayor que Ux y Rz. El segundo período más importante es de 2.31 seg ocurre en X; finalmente el tercer período es de 2.04 seg y tiene una mayor participación modal en Z, lo que indica que es un modo torsional. Asimismo, se puede observar que los períodos aislados corresponden a los tres primeros en que éstos corresponden a la casi totalidad de la respuesta, ya que los modos superiores no tienen mucha relevancia en el movimiento de la estructura. Además, es importante destacar que los dos periodos traslacionales son muy idénticos, lo cual es muy característico de las estructuras que cuentan con un sistema de aislación siendo su relación de prácticamente 1 y que el período torsional solo difiere levemente de los períodos traslacionales siendo su relación 1.15 que es cercana a 1, que es lo ideal, esto refleja en general una buena distribución en planta de los aisladores. Es importante mencionar que en los primeros modos, apenas se muestra una pequeña contribución rotacional del 3% en el modo 1; mientras que, en el modo 3 se observa una importante contribución torsional de 70%.

También se observa en las formas modales, que la flexibilización ocurre prácticamente en totalidad, en el sistema de aislación. Así, en esta interfaz ocurre casi la totalidad del desplazamiento; mientras que, la superestructura permanece como si fuera un cuerpo rígido. En las ilustraciones Ilustración V-7, Ilustración V-8 e Ilustración V-9, se muestran el primer, segundo y tercer modo respectivamente.

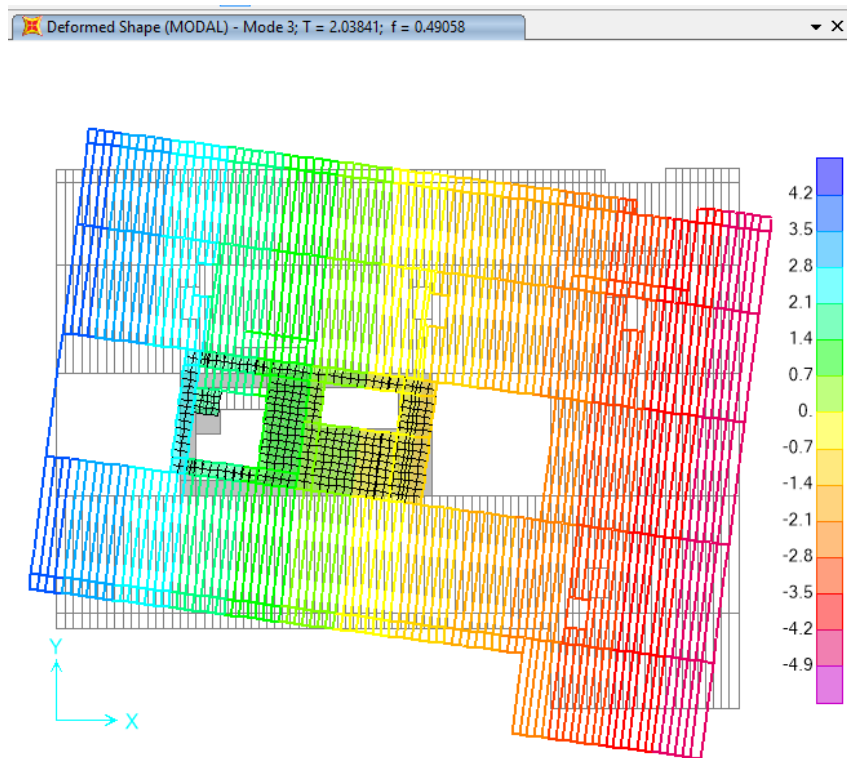
***Ilustración V-7. Primer modo de edificio aislado con aisladores con péndulo de fricción simple, modo traslacional en Y.***



*Ilustración V-8. Segundo modo de edificio aislado con aisladores con péndulo de fricción simple, modo traslacional en X.*



*Ilustración V-9. Tercer modo de edificio aislado con aisladores con péndulo de fricción simple, modo traslacional en Z.*

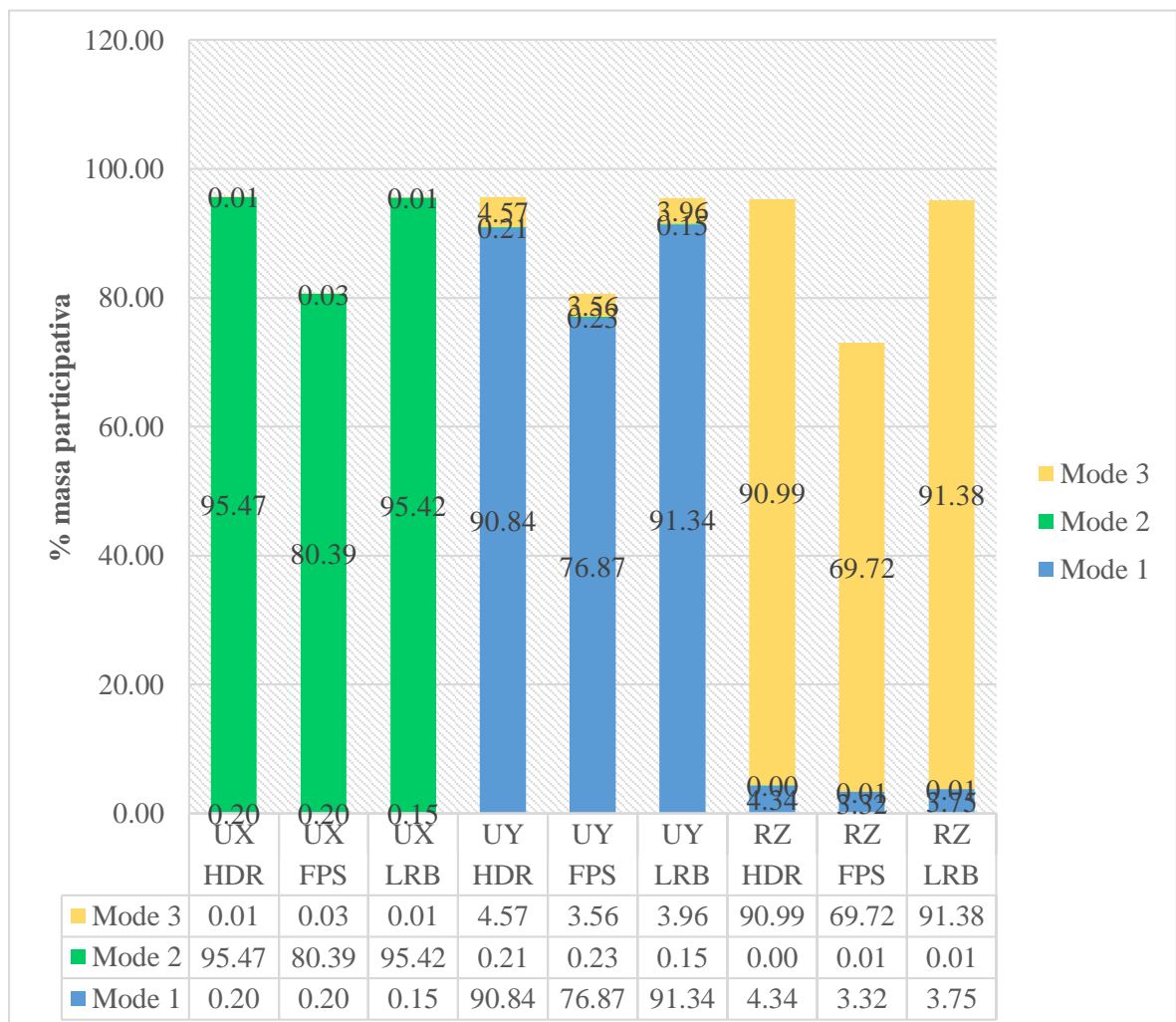


La Gráfica V-5 muestra que en tanto en el caso del sistema de aislación HDR y FPS, las participaciones modales son muy marcadas, esto quiere decir que la dirección predominante en el modo tiene poca interferencia de las otras direcciones, por lo que las que son traslacionales tienen poca influencia torsional. Si tal vez, en algunos de los modos traslacionales con un sistema de HDR o FPS se hubiera obtenido una importante contribución rotacional, hubiera sido apropiado escoger el sistema de aislación LRB ya que mejora positivamente el comportamiento torsional. Del análisis anterior, se obtuvo la siguiente conclusión:

**Conclusión N°03:** la participación modal para los tres sistemas mencionados fue óptima, obteniéndose el periodo objetivo esperado y sin contribuciones importantes de la componente Rz para los modos traslacionales, debido a:

- ✓ La distribución en planta de los aisladores fue apropiada.
- ✓ La poca o nula existencia de irregularidades en planta o altura.

**Gráfica V-5. Comparación de masa participativa para los tres primeros modos en las componentes Ux, Uy y Rz, por sistema de aislación”**



#### 5.1.4. Desplazamientos y derivas

El desplazamiento relativo es un parámetro importante de diseño, debido a que está relacionado de manera muy directa con el daño a elementos estructurales y no estructurales, asimismo, un sistema de aislación no debería presentar grandes desplazamientos relativos y estar dentro del rango admisible por la norma de diseño. Por lo expuesto anteriormente, la eficiencia de un sistema de aislación se traduce en una mayor protección sobre la estructura.

La máxima deriva de la historia, correspondiente a la fuerza lateral, incluyendo el desplazamiento debido a la deformación del sistema de aislamiento, no deberá superar los siguientes límites:

1. La deriva máxima de la estructura por encima del sistema de aislamiento calculada mediante el análisis de respuesta espectral no excederá de 0.015 hsx.
2. La deriva máxima de la estructura por encima del sistema de aislamiento calculada mediante el análisis de la respuesta por historia basado en las características de fuerza-deformación de los elementos no lineales del sistema de fortificación sísmica no deberá exceder de 0,020 hsx.

La deriva deberá ser calculada usando la ecuación 12.8-15 con el  $C_d$  de la estructura aislada igual a RI como se define en la Sección 17.5.4.2.

Se investigarán los efectos secundarios del desplazamiento lateral máximo, considerado por el sismo de la estructura por encima del sistema de aislamiento, combinado con fuerzas de gravedad si la deriva de la historia excede de 0,010 / RI.

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e} \gg \delta_x = \frac{R \delta_{xe}}{I_e}$$

$C_d$ : el factor de amplificación de deflexión, tabla 12.2 – 1, norma ASCE 7

– 10.

$\delta_{xe}$ : la deflexión en la ubicación requerida por esta sección.

$I_e$ : el factor de importancia, sección 11.5.1, norma ASCE 7 – 10. ”

#### 5.1.4.1. Desplazamiento y derivas por DBE

De la Gráfica V-6 y Gráfica V-7, se observa que:

- ✓ Los desplazamientos relativos de la infraestructura ascienden para los sistemas LRB, HDR y FPS, en ese orden consecutivo.
- ✓ Para todos los sistemas, la mayor deformación ocurre en la interfaz de aislación; además, la deformación en los diferentes niveles no experimenta cambios importantes. Por lo anterior, la estructura se comporta prácticamente como un cuerpo rígido sobre el sistema de aislación.
- ✓ Los desplazamientos máximos obtenidos por sismo DBE, para dirección X, para los sistemas de aislación HDR, LRB y FPS, son 21.9, 26.2 y 28.3 cm, respectivamente.
- ✓ Los desplazamientos máximos obtenidos por sismo DBE, para dirección Y, para los sistemas de aislación HDR, LRB y FPS, son 22.9, 26.5 y 29.1 cm, respectivamente.

De la Gráfica V-8 y Gráfica V-9, se observa que:

- ✓ La deriva máxima para la dirección en X es 1.39; mientras que, para la dirección en Y, es 2.29.
- ✓ Las derivas a partir del primer nivel de la superestructura, comienzan a reducirse conforme a cada siguiente nivel de piso.
- ✓ Las derivas máximas obtenidas por sismo DBE, para dirección X, para los sistemas de aislación HDR, LRB y FPS, son 1.4, 1.4 y 1.6 ratio x 1000, respectivamente.
- ✓ Las derivas máximas obtenidas por sismo DBE, para dirección Y, para los sistemas de aislación HDR, LRB y FPS, son 2.3, 1.9 y 2.4 ratio x 1000, respectivamente.

**Conclusión n°04.01:** los desplazamientos obtenidos por todos los sistemas de aislación no superan los valores máximos posibles de junta exterior de 45 cm. Sin embargo, por norma ASCE 7-10, este parámetro debe ser verificado por el sismo MCE.

**Conclusión n°04.02:** las derivas obtenidas para todos los sistema de aislación por el sismo DBE, se encuentran dentro del valor máximo permisible, 5 en promedio, según el artículo 17.6.4. Límites de deriva de la norma ASCE 7-10.

**Tabla V-7. Desplazamientos y derivas por análisis espectral de sismo DBE en sistema de aislación HDR**

SISTEMA DE AISLACIÓN HDR											
SISMO X						SISMO Y					
Piso	Altura	Deflex	Ratio	Ratio adm	Verif	Piso	Altura	Deflex	Ratio	Ratio adm	Verif
#	cm	cm	x1000	x1000		#	cm	cm	-	x1000	
0.00		0.00	0.00			0.00			0.00		
1	350	0.10	0.29	5.25	✓	1.00	350.00	0.13	0.37	5.25	✓
2	260	0.14	0.15	3.90	✓	2.00	260.00	0.20	0.27	3.90	✓
2		23.50	0.15			2.00		22.05	0.27		
3	280	23.86	1.29	4.20	✓	3.00	280.00	22.56	1.82	4.20	✓
4	280	24.25	1.39	4.20	✓	4.00	280.00	23.20	2.29	4.20	✓
5	280	24.64	1.39	4.20	✓	5.00	280.00	23.84	2.29	4.20	✓
6	280	24.99	1.25	4.20	✓	6.00	280.00	24.45	2.18	4.20	✓
7	280	25.31	1.14	4.20	✓	7.00	280.00	25.00	1.96	4.20	✓
8	280	25.60	1.04	4.20	✓	8.00	280.00	25.48	1.71	4.20	✓
9	280	25.85	0.89	4.20	✓	9.00	280.00	25.88	1.43	4.20	✓
10	280	26.06	0.75	4.20	✓	10.00	280.00	26.21	1.18	4.20	✓
11	280	26.24	0.64	4.20	✓	11.00	280.00	26.48	0.96	4.20	✓
<b>MÁX</b>		<b>26.24</b>	<b>1.39</b>					<b>26.48</b>	<b>2.29</b>		

**Tabla V-6. Desplazamientos y derivas por análisis espectral de sismo DBE en sistema de aislación LRB**

SISTEMA DE AISLACIÓN LRB											
SISMO X						SISMO Y					
Piso	Altura	Deflex	Ratio	Ratio adm	Verif	Piso	Altura	Deflex	Ratio	Ratio adm	Verif
#	cm	cm	-	x1000		#	cm	cm	-	x1000	
0		0.0	0.0			0.0		0.0	0.0		
1	350	0.1	0.3	5.3	✓	1.0	350.0	0.2	0.5	5.3	✓
2	260	0.1	0.2	3.9	✓	2.0	260.0	0.3	0.3	3.9	✓
2		19.3	0.2			2.0		19.2	0.3		
3	280	19.6	1.2	4.2	✓	3.0	280.0	19.6	1.6	4.2	✓
4	280	20.0	1.4	4.2	✓	4.0	280.0	20.2	1.9	4.2	✓
5	280	20.4	1.3	4.2	✓	5.0	280.0	20.7	1.9	4.2	✓
6	280	20.7	1.2	4.2	✓	6.0	280.0	21.2	1.7	4.2	✓
7	280	21.0	1.1	4.2	✓	7.0	280.0	21.6	1.6	4.2	✓
8	280	21.3	1.0	4.2	✓	8.0	280.0	22.0	1.4	4.2	✓
9	280	21.5	0.9	4.2	✓	9.0	280.0	22.4	1.2	4.2	✓
10	280	21.7	0.7	4.2	✓	10.0	280.0	22.7	1.1	4.2	✓
11	280	21.9	0.6	4.2	✓	11.0	280.0	22.9	0.9	4.2	✓
<b>MÁX</b>		<b>21.91</b>	<b>1.39</b>					<b>22.90</b>	<b>1.89</b>		

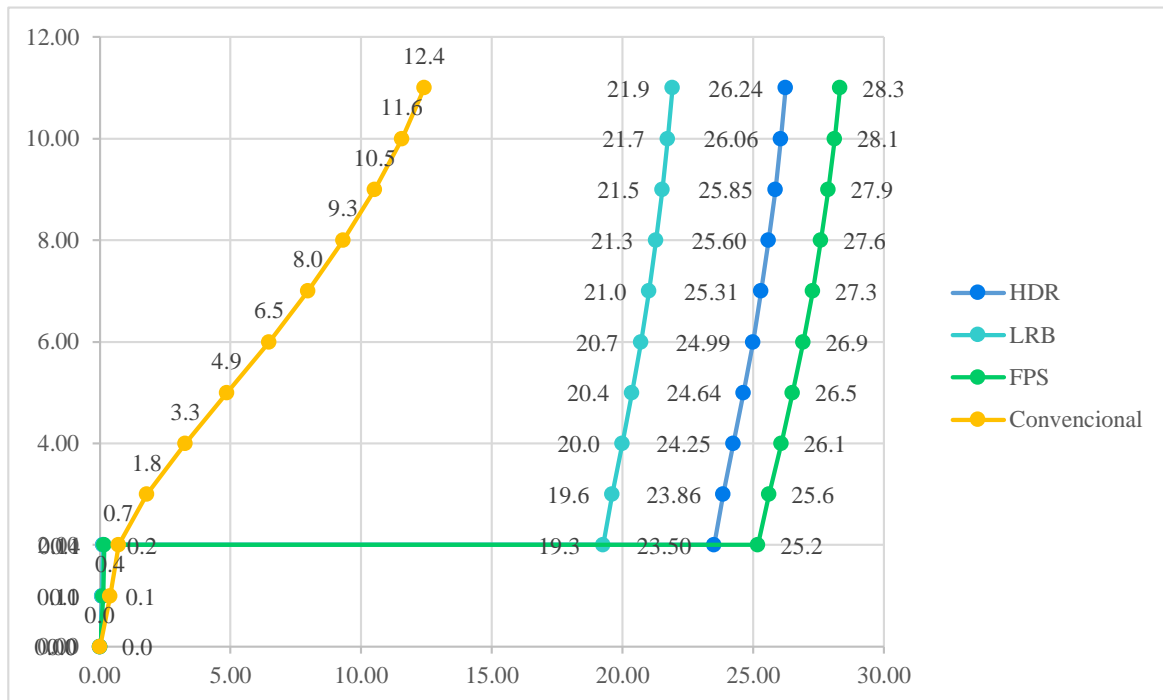
*Tabla V-9. Desplazamientos y derivas por análisis espectral de sismo DBE en sistema de aislación FPS*

SISTEMA DE AISLACIÓN FPS											
SISMO X						SISMO Y					
Piso	Alt.	Deflex	Ratio	Ratio adm	Verif	Piso	Alt.	Deflex	Ratio	Ratio adm	Verif
#	cm	cm	-	x1000		#	cm	cm	-	x1000	
0		0.0	0.0			0.0		0.0	0.0		
1	350	0.1	0.4	5.3	✓	1.0	350	0.2	0.5	5.3	✓
2	260	0.2	0.2	3.9	✓	2.0	260	0.3	0.4	3.9	✓
2		25.2	0.2			2.0		24.4	0.4		
3	280	25.6	1.5	4.2	✓	3.0	280	24.9	2.0	4.2	✓
4	280	26.1	1.6	4.2	✓	4.0	280	25.6	2.4	4.2	✓
5	280	26.5	1.6	4.2	✓	5.0	280	26.3	2.4	4.2	✓
6	280	26.9	1.4	4.2	✓	6.0	280	26.9	2.3	4.2	✓
7	280	27.3	1.3	4.2	✓	7.0	280	27.5	2.1	4.2	✓
8	280	27.6	1.1	4.2	✓	8.0	280	28.0	1.8	4.2	✓
9	280	27.9	1.0	4.2	✓	9.0	280	28.4	1.6	4.2	✓
10	280	28.1	0.9	4.2	✓	10.0	280	28.8	1.3	4.2	✓
11	280	28.3	0.7	4.2	✓	11.0	280	29.1	1.1	4.2	✓
<b>MÁX</b>		<b>28.33</b>	<b>1.64</b>					<b>29.10</b>	<b>2.39</b>		

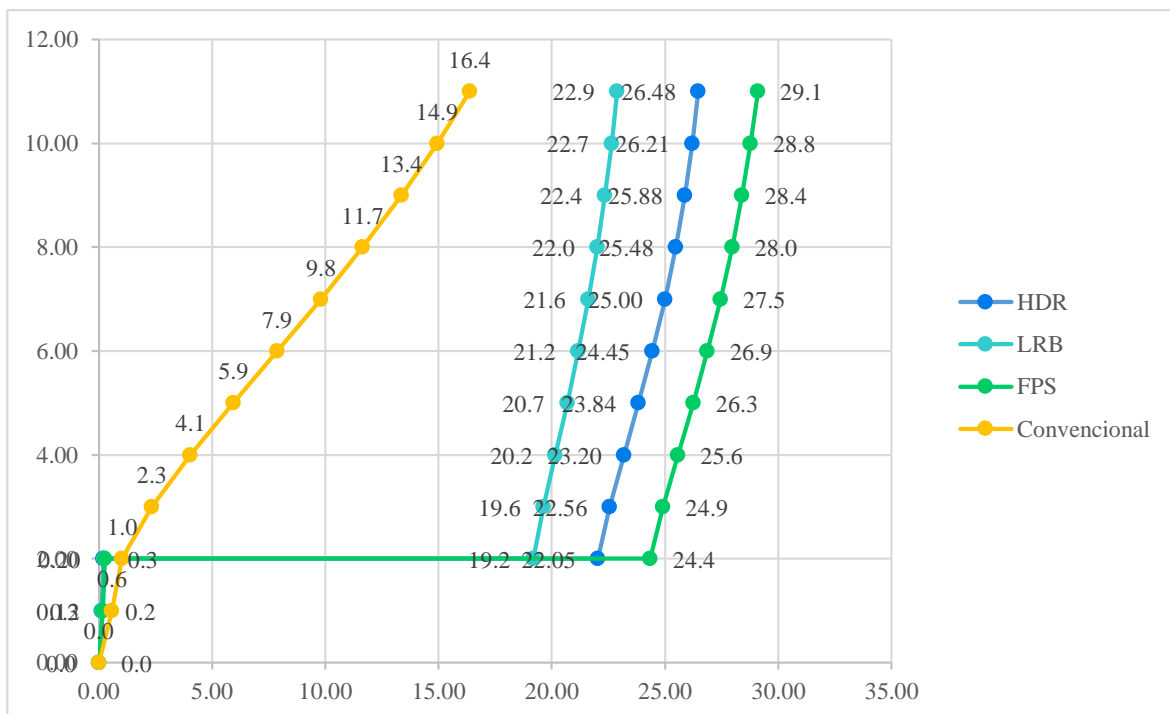
*Tabla V-8. Desplazamientos y derivas por análisis espectral de sismo DBE en sistema de convencional*

SISTEMA CONVENCIONAL											
SISMO X						SISMO Y					
Piso	Alt.	Deflex	Ratio	Ratio adm	Verif	Piso	Alt.	Deflex	Ratio	Ratio adm	Verif
#	cm	cm	-	x1000		#	cm	cm	-	x1000	
0		0.0	0.0			0.0		0.0	0.0		
1	260	0.4	1.5	7.0	✓	1.0	260	0.6	1.7	7.0	✓
2	260	0.7	1.2	7.0	✓	2.0	260	1.0	1.7	7.0	✓
3	280	1.8	3.9			3.0	280	2.3	4.7		
4	280	3.3	5.3	7.0	✓	4.0	280	4.1	6.1	7.0	✓
5	280	4.9	5.6	7.0	✓	5.0	280	5.9	6.8	7.0	✓
6	280	6.5	5.8	7.0	✓	6.0	280	7.9	6.9	7.0	✓
7	280	8.0	5.3	7.0	✓	7.0	280	9.8	6.9	7.0	✓
8	280	9.3	4.8	7.0	✓	8.0	280	11.7	6.6	7.0	✓
9	280	10.5	4.3	7.0	✓	9.0	280	13.4	6.1	7.0	✓
10	280	11.6	3.7	7.0	✓	10.0	280	14.9	5.6	7.0	✓
11	280	12.4	3.1	7.0	✓	11.0	280	16.4	5.1	7.0	✓
<b>MÁX</b>		<b>12.42</b>	<b>5.79</b>					<b>16.38</b>	<b>6.91</b>		

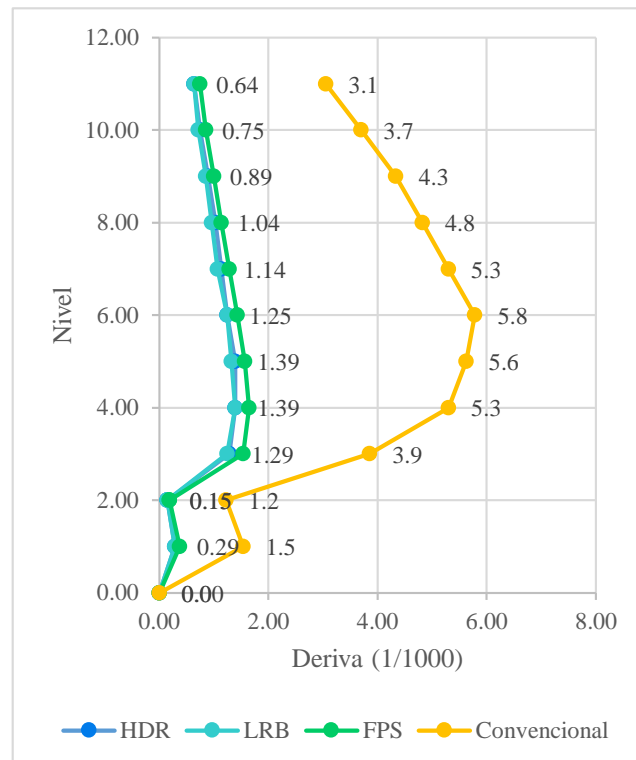
**Gráfica V-6. Comparación de desplazamientos por DBE-Dirección X por sistema de aislación y sistema convencional**



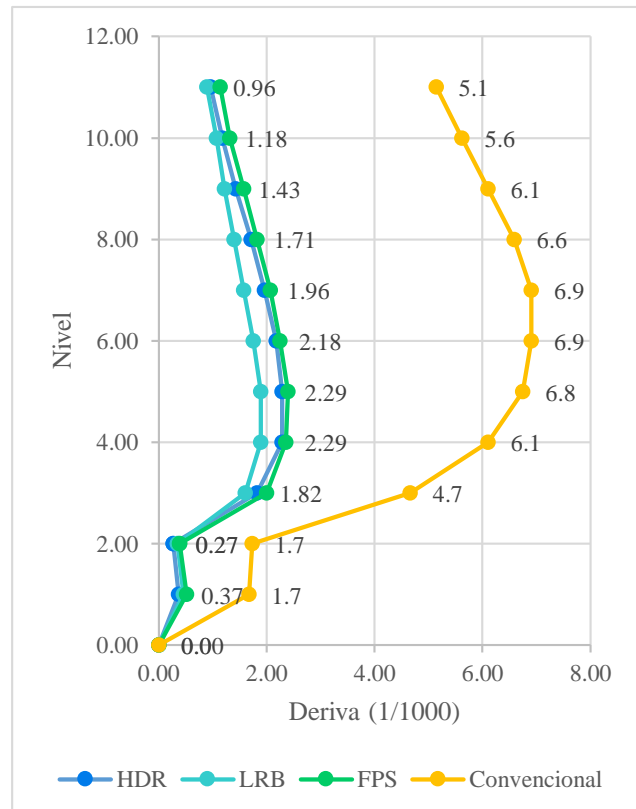
**Gráfica V-7. Comparación de desplazamientos por DBE-Dirección Y por sistema de aislación y sistema convencional**



**Gráfica V-8. Comparación de derivas por DBE-Dirección X por sistema de aislación y sistema convencional**



**Gráfica V-9. Comparación de derivas por DBE-Dirección Y por sistema de aislación y sistema convencional**



**Tabla V-10. Desplazamientos y derivas por análisis tiempo-historia con sismo VS2-Caso 1 en sistema de aislación HDR**

ANÁLISIS TIEMPO-HISTORIA											
VS2 - CASO 1 (DBE)											
SISMO X						SISMO Y					
Piso #	Altura cm	$\delta_x$ cm	Ratio x1000	Ratio adm x1000	Verif	Piso #	Altura cm	$\delta_x$ cm	Ratio -	Ratio adm x1000	Verif
0.00		0.00	0.00			0.00			0.00		
1	350	0.07	0.19	7.00	✓	1.00	350.00	0.06	0.17	7.00	✓
2	260	0.10	0.12	5.20	✓	2.00	260.00	0.09	0.12	5.20	✓
2		21.16	0.12			2.00		16.29	0.12		
3	280	21.50	1.22	5.60	✓	3.00	280.00	16.60	1.08	5.60	✓
4	280	21.86	1.29	5.60	✓	4.00	280.00	16.94	1.23	5.60	✓
5	280	22.20	1.20	5.60	✓	5.00	280.00	17.27	1.17	5.60	✓
6	280	22.50	1.09	5.60	✓	6.00	280.00	17.57	1.06	5.60	✓
7	280	22.77	0.97	5.60	✓	7.00	280.00	17.83	0.93	5.60	✓
8	280	23.01	0.85	5.60	✓	8.00	280.00	18.05	0.80	5.60	✓
9	280	23.23	0.77	5.60	✓	9.00	280.00	18.24	0.66	5.60	✓
10	280	23.43	0.71	5.60	✓	10.00	280.00	18.39	0.55	5.60	✓
11	280	23.59	0.60	5.60	✓	11.00	280.00	18.52	0.45	5.60	✓

**Tabla V-11. Desplazamientos y derivas por análisis tiempo-historia con sismo VS2-Caso 2 en sistema de aislación HDR**

ANÁLISIS TIEMPO-HISTORIA											
VS2 - CASO 2 (DBE)											
SISMO X						SISMO Y					
Piso #	Altura cm	$\delta_x$ cm	Ratio x1000	Ratio adm x1000	Verif	Piso #	Altura cm	$\delta_x$ cm	Ratio -	Ratio adm x1000	Verif
0.00		0.00	0.00			0.00			0.00		
1	350	0.05	0.14	7.00	✓	1.00	350.00	0.08	0.24	7.00	✓
2	260	0.07	0.08	5.20	✓	2.00	260.00	0.13	0.17	5.20	✓
2		16.11	0.08			2.00		20.64	0.17		
3	280	16.37	0.92	5.60	✓	3.00	280.00	21.06	1.48	5.60	✓
4	280	16.64	0.97	5.60	✓	4.00	280.00	21.54	1.74	5.60	✓
5	280	16.89	0.90	5.60	✓	5.00	280.00	22.02	1.71	5.60	✓
6	280	17.12	0.81	5.60	✓	6.00	280.00	22.47	1.61	5.60	✓
7	280	17.32	0.72	5.60	✓	7.00	280.00	22.88	1.45	5.60	✓
8	280	17.50	0.63	5.60	✓	8.00	280.00	23.24	1.27	5.60	✓
9	280	17.65	0.54	5.60	✓	9.00	280.00	23.54	1.08	5.60	✓
10	280	17.77	0.46	5.60	✓	10.00	280.00	23.79	0.89	5.60	✓
11	280	17.88	0.39	5.60	✓	11.00	280.00	23.99	0.73	5.60	✓

**Tabla V-12. Desplazamientos y derivas por análisis tiempo-historia con sismo VS3-Caso 1 en sistema de aislación HDR**

ANÁLISIS TIEMPO-HISTORIA											
VS3 - CASO 1 (DBE)											
SISMO X						SISMO Y					
Piso #	Altura cm	$\delta_x$ cm	Ratio x1000	Ratio adm x1000	Verif	Piso #	Altura cm	$\delta_x$ cm	Ratio -	Ratio adm x1000	Verif
0.00		0.00	0.00			0.00			0.00		
1	350	0.05	0.15	7.00	✓	1.00	350.00	0.07	0.21	7.00	✓
2	260	0.07	0.09	5.20	✓	2.00	260.00	0.11	0.15	5.20	✓
2		15.31	0.09			2.00		17.27	0.15		
3	280	15.58	0.96	5.60	✓	3.00	280.00	17.63	1.31	5.60	✓
4	280	15.87	1.03	5.60	✓	4.00	280.00	18.07	1.56	5.60	✓
5	280	16.15	0.98	5.60	✓	5.00	280.00	18.51	1.57	5.60	✓
6	280	16.40	0.92	5.60	✓	6.00	280.00	18.93	1.49	5.60	✓
7	280	16.64	0.84	5.60	✓	7.00	280.00	19.31	1.37	5.60	✓
8	280	16.86	0.79	5.60	✓	8.00	280.00	19.65	1.22	5.60	✓
9	280	17.06	0.72	5.60	✓	9.00	280.00	19.94	1.04	5.60	✓
10	280	17.23	0.62	5.60	✓	10.00	280.00	20.18	0.86	5.60	✓
11	280	17.38	0.52	5.60	✓	11.00	280.00	20.38	0.69	5.60	✓

**Tabla V-13. Desplazamientos y derivas por análisis tiempo-historia con sismo VS3-Caso 2 en sistema de aislación HDR**

ANÁLISIS TIEMPO-HISTORIA											
VS3 - CASO 2 (DBE)											
SISMO X						SISMO Y					
Piso #	Altura cm	$\delta_x$ cm	Ratio x1000	Ratio adm x1000	Verif	Piso #	Altura cm	$\delta_x$ cm	Ratio -	Ratio adm x1000	Verif
0.00		0.00	0.00			0.00			0.00		
1	350	0.06	0.17	7.00	✓	1.00	350.00	0.06	0.18	7.00	✓
2	260	0.09	0.11	5.20	✓	2.00	260.00	0.10	0.13	5.20	✓
2		17.59	0.11			2.00		15.24	0.13		
3	280	17.93	1.19	5.60	✓	3.00	280.00	15.53	1.07	5.60	✓
4	280	18.30	1.31	5.60	✓	4.00	280.00	15.88	1.25	5.60	✓
5	280	18.65	1.27	5.60	✓	5.00	280.00	16.23	1.23	5.60	✓
6	280	18.99	1.21	5.60	✓	6.00	280.00	16.55	1.15	5.60	✓
7	280	19.31	1.12	5.60	✓	7.00	280.00	16.86	1.10	5.60	✓
8	280	19.59	1.02	5.60	✓	8.00	280.00	17.15	1.03	5.60	✓
9	280	19.84	0.89	5.60	✓	9.00	280.00	17.39	0.87	5.60	✓
10	280	20.06	0.77	5.60	✓	10.00	280.00	17.59	0.72	5.60	✓
11	280	20.24	0.65	5.60	✓	11.00	280.00	17.75	0.58	5.60	✓

**Tabla V-14. Desplazamientos y derivas por análisis tiempo-historia con sismo VS4-Caso 1 en sistema de aislación HDR**

ANÁLISIS TIEMPO-HISTORIA											
VS4 - CASO 1 (DBE)											
SISMO X						SISMO Y					
Piso	Altura	$\delta_x$	Ratio	Ratio adm	Verif	Piso	Altura	$\delta_x$	Ratio	Ratio adm	Verif
#	cm	cm	x1000	x1000		#	cm	cm	-	x1000	
0.00		0.00	0.00			0.00			0.00		
1	350	0.05	0.13	7.00	✓	1.00	350.00	0.08	0.23	7.00	✓
2	260	0.07	0.08	5.20	✓	2.00	260.00	0.12	0.16	5.20	✓
2		13.81	0.08			2.00		18.97	0.16		
3	280	14.08	0.95	5.60	✓	3.00	280.00	19.37	1.43	5.60	✓
4	280	14.38	1.05	5.60	✓	4.00	280.00	19.85	1.71	5.60	✓
5	280	14.66	1.02	5.60	✓	5.00	280.00	20.33	1.72	5.60	✓
6	280	14.94	0.98	5.60	✓	6.00	280.00	20.79	1.64	5.60	✓
7	280	15.19	0.91	5.60	✓	7.00	280.00	21.21	1.50	5.60	✓
8	280	15.42	0.82	5.60	✓	8.00	280.00	21.59	1.33	5.60	✓
9	280	15.62	0.72	5.60	✓	9.00	280.00	21.91	1.14	5.60	✓
10	280	15.80	0.62	5.60	✓	10.00	280.00	22.17	0.94	5.60	✓
11	280	15.94	0.53	5.60	✓	11.00	280.00	22.38	0.76	5.60	✓

**Tabla V-15. Desplazamientos y derivas por análisis tiempo-historia con sismo VS4-Caso 2 en sistema de aislación HDR**

ANÁLISIS TIEMPO-HISTORIA											
VS4 - CASO 2 (DBE)											
SISMO X						SISMO Y					
Piso	Altura	$\delta_x$	Ratio	Ratio adm	Verif	Piso	Altura	$\delta_x$	Ratio	Ratio adm	Verif
#	cm	cm	x1000	x1000		#	cm	cm	-	x1000	
0.00		0.00	0.00			0.00			0.00		
1	350	0.06	0.18	7.00	✓	1.00	350.00	0.06	0.17	7.00	✓
2	260	0.09	0.11	5.20	✓	2.00	260.00	0.09	0.12	5.20	✓
2		19.06	0.11			2.00		13.55	0.12		
3	280	19.41	1.25	5.60	✓	3.00	280.00	13.86	1.11	5.60	✓
4	280	19.80	1.36	5.60	✓	4.00	280.00	14.24	1.36	5.60	✓
5	280	20.17	1.32	5.60	✓	5.00	280.00	14.63	1.39	5.60	✓
6	280	20.52	1.25	5.60	✓	6.00	280.00	15.01	1.36	5.60	✓
7	280	20.84	1.15	5.60	✓	7.00	280.00	15.37	1.27	5.60	✓
8	280	21.13	1.03	5.60	✓	8.00	280.00	15.69	1.14	5.60	✓
9	280	21.38	0.91	5.60	✓	9.00	280.00	15.96	0.99	5.60	✓
10	280	21.60	0.78	5.60	✓	10.00	280.00	16.19	0.82	5.60	✓
11	280	21.78	0.66	5.60	✓	11.00	280.00	16.38	0.66	5.60	✓

#### 5.1.4.2. Desplazamiento y derivas por MCE

De la Gráfica V-6 y Gráfica V-7, se observa que:

- ✓ Los desplazamientos relativos de la infraestructura ascienden para los sistemas LRB, HDR y FPS, en ese orden consecutivo.
- ✓ Para todos los sistemas, la mayor deformación ocurre en la interfaz de aislación y que la deformación en los diferentes niveles no experimenta cambios importantes, comportándose la estructura prácticamente como un cuerpo rígido sobre el sistema de aislación.
- ✓ Los desplazamientos máximos obtenidos por sismo MCE, por dirección X, para los sistemas de aislación LRB, HDR y FPS, son 34.4, 40.7 y 43.7 cm, respectivamente.
- ✓ Los desplazamientos máximos obtenidos por sismo MCE, por dirección Y, para los sistemas de aislación LRB, HDR y FPS, son 35.7, 40.3 y 44.5 cm, respectivamente.

De la Gráfica V-8 y Gráfica V-9, se observa que:

- ✓ La deriva máxima para la dirección en X es 1.39; mientras que, para la dirección en Y, es 2.29.
- ✓ Las derivas a partir del primer nivel de la superestructura, comienzan a reducirse conforme a cada siguiente nivel de piso.
- ✓ Las derivas máximas obtenidas por sismo DBE, para dirección X, para los sistemas de aislación HDR, LRB y FPS, son 2.5, 2.0 y 2.6 ratio x 1000, respectivamente.
- ✓ Las derivas máximas obtenidas por sismo DBE, para dirección Y, para los sistemas de aislación HDR, LRB y FPS, son 2.5, 2.8 y 3.5 ratio x 1000, respectivamente.

**Conclusión n°04.01:** Los desplazamientos máximos obtenidos por sismo MCE por ambas direcciones para los sistemas de aislación HDR, LRB y FPS; son 35.7, 40.7 y 44.5 cm; es decir, no superan el valor máximo de junta exterior de 45 cm. Sin embargo, debido a que el sistema FPS se encuentra cerca del límite, se optó por descartarlo.

**Conclusión n°04.02:** las derivas obtenidas para todos los sistema de aislación por el sismo DBE, se encuentran dentro del valor máximo permisible, 5, que indica la norma ASCE 7-10.

*Tabla V-17. Desplazamientos y derivas por MCE en sistema de aislación HDR por sismo X y sismo Y*

SISTEMA DE AISLACIÓN HDR							
SISMO X				SISMO Y			
Piso	Altura		Ratio	Piso	Altura		Ratio
#	cm	cm	-	#	cm	cm	-
0		0.00	0.00	0			0.00
1	350	0.16	0.46	1	350.00	0.22	0.63
2	260	0.23	0.27	2	260.00	0.32	0.38
2		35.65	0.27	2		35.70	0.38
3	280	36.26	2.18	3	280.00	36.29	2.11
4	280	36.97	2.54	4	280.00	36.98	2.46
5	280	37.65	2.43	5	280.00	37.64	2.36
6	280	38.29	2.29	6	280.00	38.25	2.18
7	280	38.89	2.14	7	280.00	38.80	1.96
8	280	39.43	1.93	8	280.00	39.28	1.71
9	280	39.91	1.71	9	280.00	39.70	1.50
10	280	40.32	1.46	10	280.00	40.05	1.25
11	280	40.69	1.32	11	280.00	40.34	1.04
<b>MÁX</b>		<b>40.69</b>	<b>2.54</b>			<b>40.34</b>	<b>2.46</b>

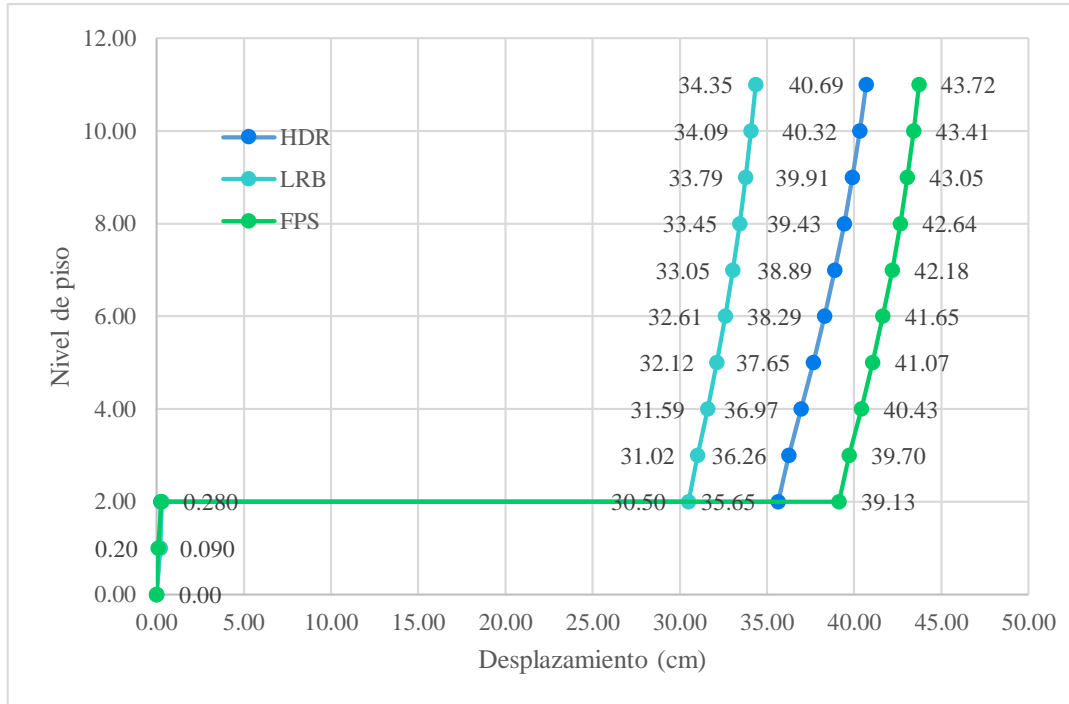
*Tabla V-16. Desplazamientos y derivas por MCE en sistema de aislación LRB por sismo X y sismo Y*

SISTEMA DE AISLACIÓN LRB							
SISMO X				SISMO Y			
Piso	Altura	Deflex	Ratio	Piso	Altura	Deflex	Ratio
#	cm	cm	-	#	cm	cm	-
0		0.00	0.00	0			0.00
1	350	0.20	0.57	1	350.00	0.25	0.71
2	260	0.29	0.35	2	260.00	0.38	0.50
2		30.50	0.35	2		30.30	0.50
3	280	31.02	1.86	3	280.00	30.95	2.32
4	280	31.59	2.04	4	280.00	31.73	2.79
5	280	32.12	1.89	5	280.00	32.49	2.71
6	280	32.61	1.75	6	280.00	33.18	2.46
7	280	33.05	1.57	7	280.00	33.82	2.29
8	280	33.45	1.43	8	280.00	34.38	2.00
9	280	33.79	1.21	9	280.00	34.87	1.75
10	280	34.09	1.07	10	280.00	35.29	1.50
11	280	34.35	0.93	11	280.00	35.65	1.29
<b>MÁX</b>		<b>34.35</b>	<b>2.04</b>			<b>35.65</b>	<b>2.79</b>

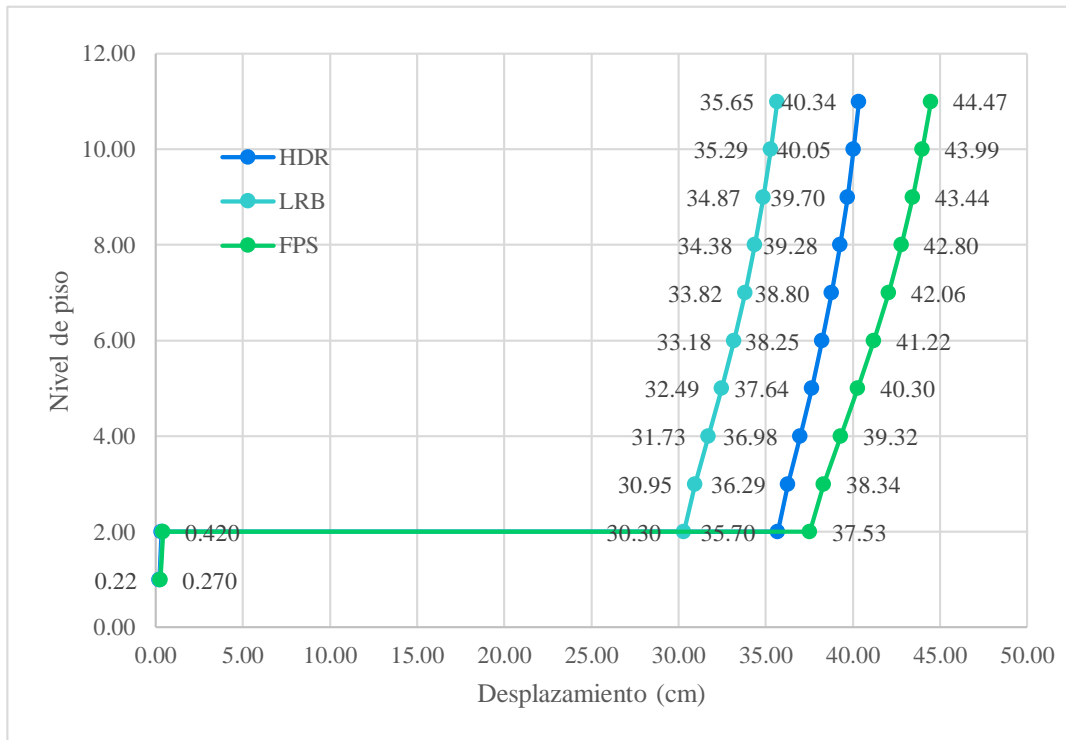
**Tabla V-18. Desplazamientos y derivas por MCE en sistema de aislación FPS por sismo X y sismo Y**

SISTEMA DE AISLACIÓN FPS							
SISMO X				SISMO Y			
Piso	Altura	Deflex	Ratio	Piso	Altura	Deflex	Ratio
#	cm	cm	-	#	cm	cm	-
0		0.00	0.00	0			0.00
1	350	0.090	0.26	1	350.00	0.270	0.77
2	260	0.280	0.73	2	260.0	0.420	0.58
2		39.13	0.73	2		37.53	0.58
3	280	39.70	2.04	3	280.0	38.34	2.89
4	280	40.43	2.61	4	280.0	39.32	3.50
5	280	41.07	2.29	5	280.0	40.30	3.50
6	280	41.65	2.07	6	280.0	41.22	3.29
7	280	42.18	1.89	7	280.0	42.06	3.00
8	280	42.64	1.64	8	280.0	42.80	2.64
9	280	43.05	1.46	9	280.0	43.44	2.29
10	280	43.41	1.29	10	280.0	43.99	1.96
11	280	43.72	1.11	11	280.0	44.47	1.71
<b>MÁX</b>		<b>43.72</b>	<b>2.61</b>			<b>44.47</b>	<b>3.50</b>

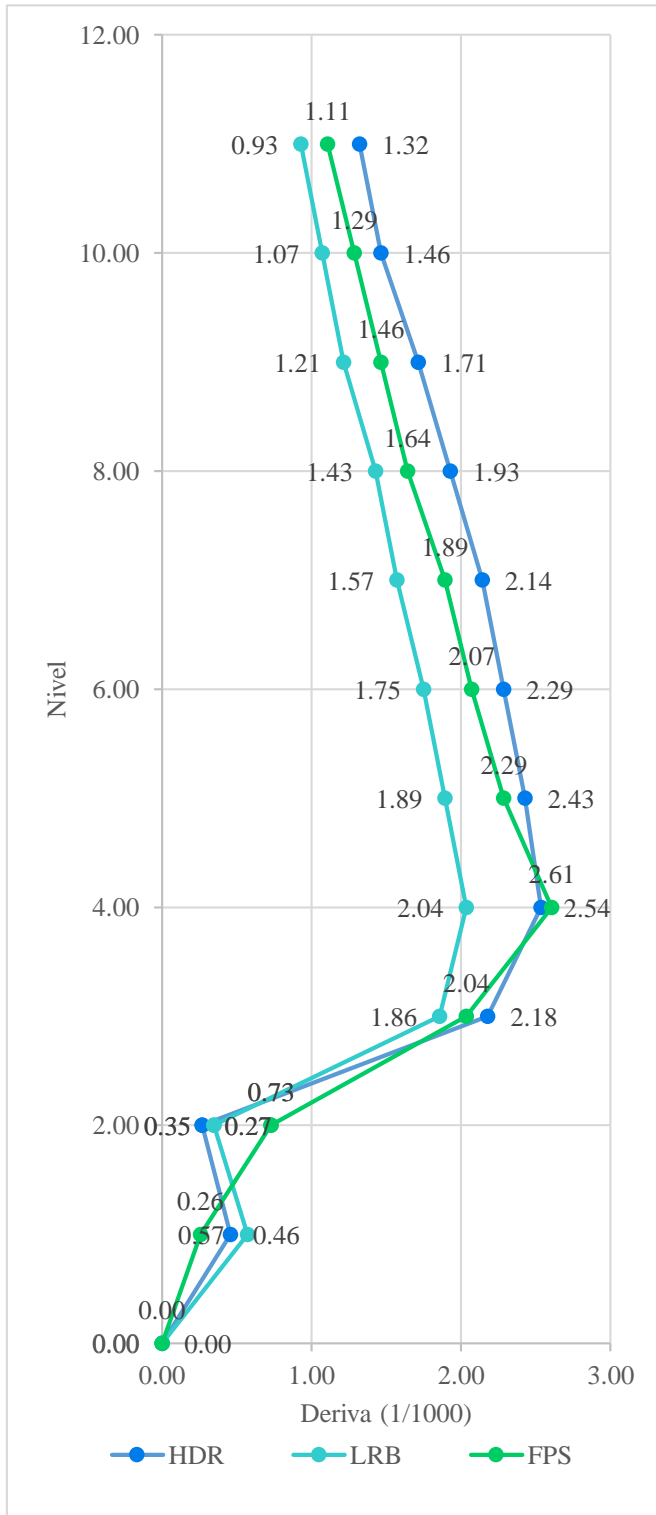
**Gráfica V-10. Comparación de desplazamientos por MCE-Dirección X por sistema de aislación**



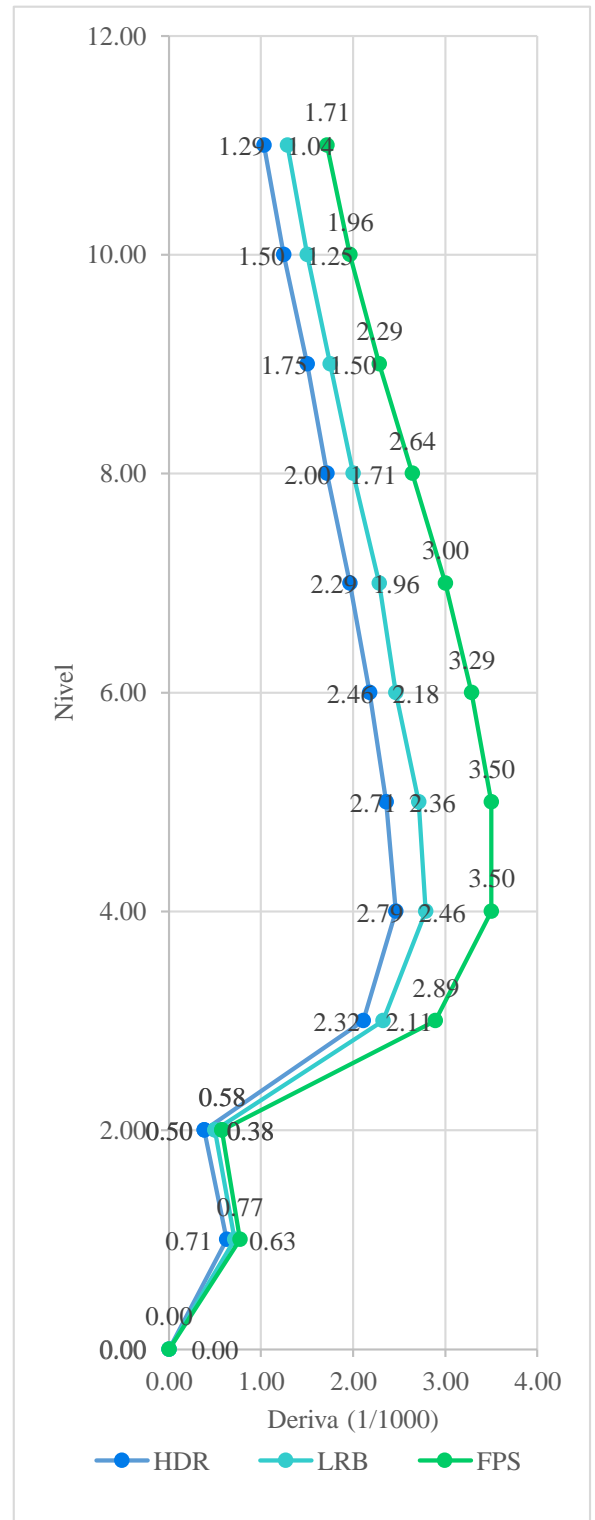
**Gráfica V-11. Comparación de desplazamientos por MCE-Dirección Y por sistema de aislación**



**Gráfica V-12. Comparación de derivas por MCE-Dirección X por sistema de aislación**



**Gráfica V-13. Comparación de derivas por MCE-Dirección Y por sistema de aislación**



### 5.1.5. Corte Basal

El corte basal es un parámetro de diseño muy importante, ya que refleja de manera directa el nivel de esfuerzos de los elementos estructurales por nivel, que a la vez influye sobre los daños de elementos estructurales.

#### 5.1.5.1. Corte Basal por DBE

En la Tabla -V-19, Tabla-V-20 y Tabla -V-21, se observa que:

- ✓ Los cortes basales máximos obtenidos por sismo DBE para los sistemas de aislación HDR, LRB y FPS, son, 1240, 1150 y 1526 ton, respectivamente.
- ✓ Los cortes basales obtenidos por sismo DBE, para los sistemas de aislación HDR, LRB y FPS, en porcentaje respecto a los cortes basales por sistema convencional, disminuyen en los rangos de, (0.89-0.92), (0.90-0.93) y (0.86-0.89), respectivamente.

En la Gráfica V-14 se muestra el perfil de respuesta de corte basal en altura del proyecto en análisis, para tener una visión general del comportamiento y se observa que:

- ✓ El comportamiento del cortante basal por piso; y por los sistemas de aislación y sistema convencional, tiene una tendencia uniforme y constante.

**Conclusión n°05:** Los cortes basales máximos obtenidos por sismo DBE para los sistemas de aislación HDR, LRB y FPS, son, 1240, 1150 y 1526 ton, respectivamente; es decir, el sistema de aislación menos beneficioso es el de FPS. Por otro lado, los sistemas de HDR y LRB, al tener una pequeña diferencia de 90 ton, son considerados efectivos.

**Tabla -V-19. Corte basal por DBE en sistema de aislación HDR por sismo X y sismo Y**

<b>Sistema de Aislación HDR</b>					
<b>Nivel</b>	<b>Vb</b>	<b>R</b>	<b>Vb/R</b>	<b>Rd</b>	<b>Factor Rd</b>
<b>#</b>	<b>ton</b>	<b>adim</b>	<b>ton</b>	<b>%</b>	
1	1240	1	1240	0.89	9.51
2	1263	1	1263	0.89	9.17
3	1183	1	1183	0.89	9.45
4	1061	1	1061	0.90	10.03
5	928	1	928	0.91	10.68
6	790	1	790	0.91	11.38
7	654	1	654	0.92	12.06
8	529	1	529	0.92	12.46
9	414	1	414	0.92	12.33
10	298	1	298	0.91	11.53
11	154	1	154	0.90	10.22

**Tabla-V-20. Corte basal por DBE en sistema de aislación LRB por sismo X y sismo Y**

<b>Sistema de Aislación LRB</b>					
<b>Nivel</b>	<b>Vb</b>	<b>R</b>	<b>Vb/R</b>	<b>Rd</b>	<b>Factor Rd</b>
<b>#</b>	<b>ton</b>	<b>adim</b>	<b>ton</b>	<b>%</b>	
1	1150	1	1150	0.90	10.26
2	1150	1	1150	0.90	10.07
3	1063	1	1063	0.90	10.51
4	967	1	967	0.91	11.00
5	857	1	857	0.91	11.56
6	734	1	734	0.92	12.25
7	607	1	607	0.92	12.99
8	480	1	480	0.93	13.73
9	367	1	367	0.93	13.91
10	262	1	262	0.92	13.11
11	136	1	136	0.91	11.57

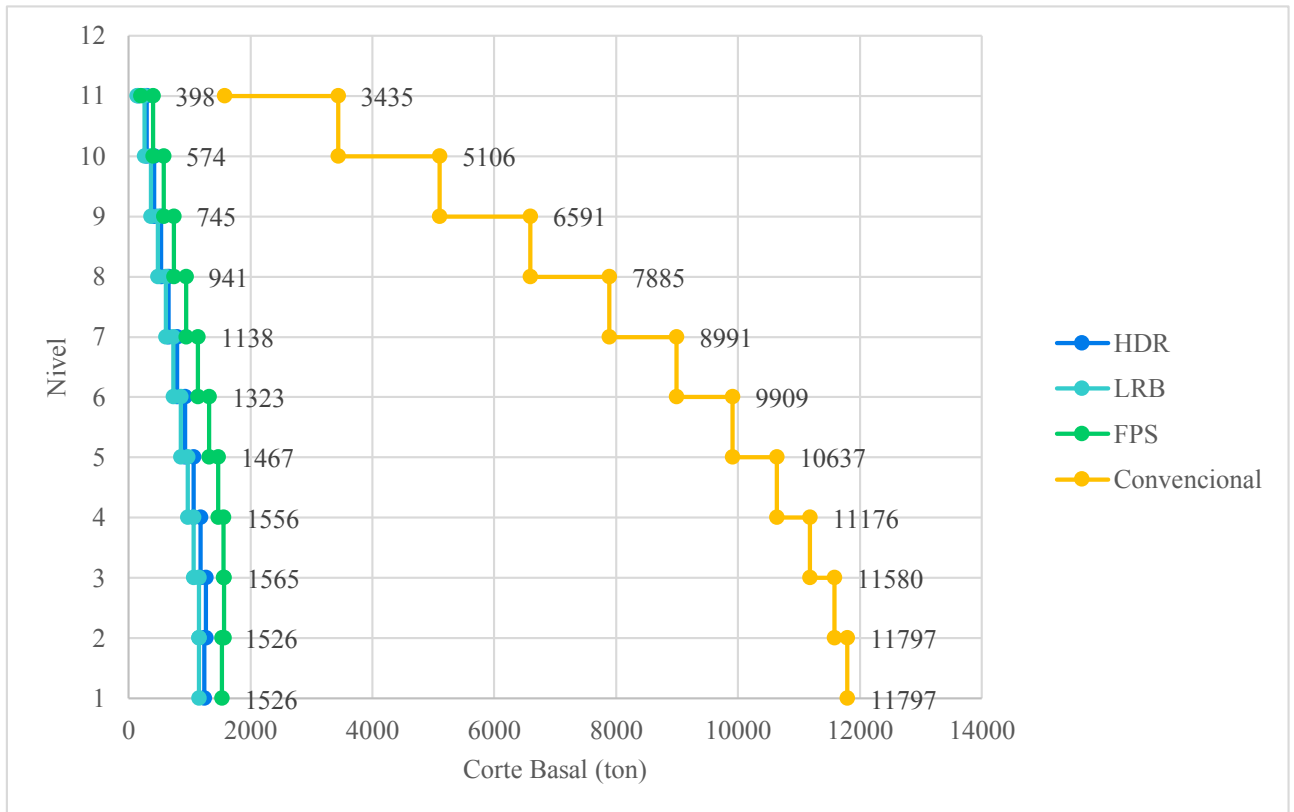
**Tabla -V-21. Corte basal por DBE en sistema de aislación FPS por sismo X y sismo Y**

Sistema de Aislación FPS					
Nivel	Vb	R	Vb/R	Rd	Factor Rd
#	ton	adim	ton	%	
1	1526	1	1526	0.87	7.73
2	1565	1	1565	0.86	7.40
3	1556	1	1556	0.86	7.18
4	1467	1	1467	0.86	7.25
5	1323	1	1323	0.87	7.49
6	1138	1	1138	0.87	7.90
7	941	1	941	0.88	8.38
8	745	1	745	0.89	8.85
9	574	1	574	0.89	8.90
10	398	1	398	0.88	8.63
11	200	1	200	0.87	7.87

**Tabla-V-22. Corte basal por DBE en sistema convencional**

Sistema Convencional		
Nivel	Vb/R	R
#	ton	adim
1	11797	1
2	11580	1
3	11176	1
4	10637	1
5	9909	1
6	8991	1
7	7885	1
8	6591	1
9	5106	1
10	3435	1
11	1574	1

**Gráfica V-14. Comparación de corte basal por DBE en sistema de aislación y sistema convencional**



### 5.1.5.2. Corte Basal por MCE

En la Tabla-V-23, Tabla-V-24 y Tabla-V-25, se observa que:

- ✓ Los cortes basales máximos obtenidos por sismo DBE para los sistemas de aislación HDR, LRB y FPS, son, 1954, 1777 y 2422 ton, respectivamente.
- ✓ En la Gráfica V-15, se muestra el perfil de respuesta de corte basal en altura del proyecto en análisis, para tener una visión general del comportamiento y se observa que: el comportamiento del cortante basal por piso y por los sistemas de aislación, tiene una tendencia uniforme y constante.

**Conclusión n°05:** Los cortes basales máximos obtenidos por sismo DBE para los sistemas de aislación HDR, LRB y FPS, son, 1954, 1777 y 2422 ton, respectivamente; es decir, el sistema de aislación menos beneficioso es el de FPS. Por otro lado, los sistemas de HDR y LRB, al tener una pequeña diferencia de 177 ton, son considerados efectivos.

**Tabla-V-23. Corte basal por MCE en sistema de aislación HDR por sismo X y sismo Y**

<b>Sistema de Aislación HDR</b>				
<b>Nivel</b>	<b>Vb/R</b>	<b>R</b>	<b>Vb/R</b>	<b>Vb/R</b>
<b>#</b>	<b>ton</b>	<b>adim</b>	<b>ton</b>	<b>ton/R</b>
1	1926	1	1926	1926
2	1954	1	1954	1954
3	1763	1	1763	1763
4	1522	1	1522	1522
5	1227	1	1227	1227
6	1090	1	1090	1090
7	908	1	908	908
8	745	1	745	745
9	593	1	593	593
10	429	1	429	429
11	226	1	226	226

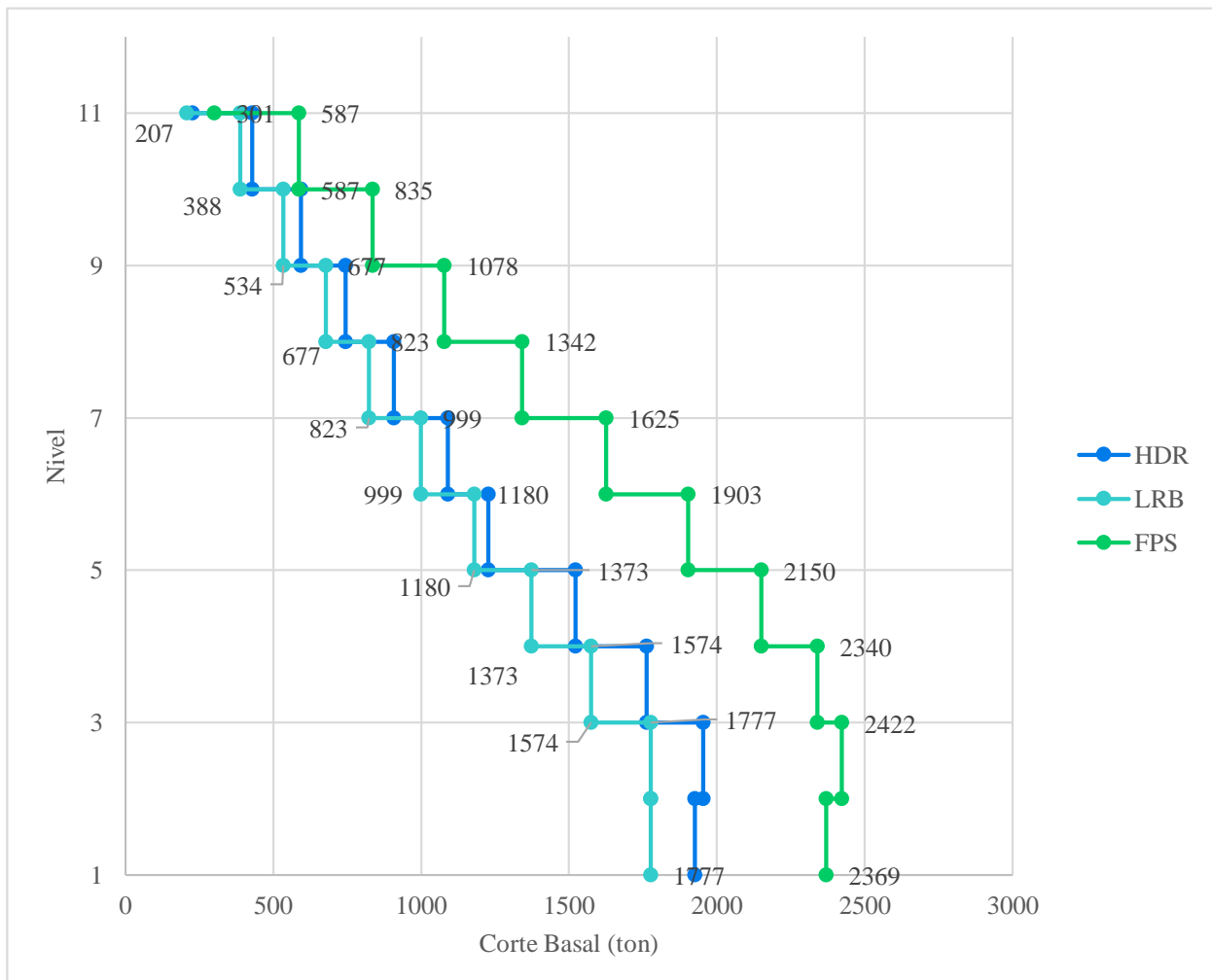
**Tabla-V-24. Corte basal por MCE en sistema de aislación LRB por sismo X y sismo Y**

<b>Sistema de Aislación LRB</b>				
<b>Nivel</b>	<b>Vb/R</b>	<b>R</b>	<b>Vb/R</b>	<b>Vb/R</b>
<b>#</b>	<b>ton</b>	<b>adim</b>	<b>ton</b>	<b>ton/R</b>
1	1777	1	1777	1777
2	1777	1	1777	1777
3	1574	1	1574	1574
4	1373	1	1373	1373
5	1180	1	1180	1180
6	999	1	999	999
7	823	1	823	823
8	677	1	677	677
9	534	1	534	534
10	388	1	388	388
11	207	1	207	207

**Tabla-V-25. Corte basal por MCE en sistema de aislación FPS por sismo X y sismo Y**

Sistema de Aislación FPS				
Nivel	Vb/R	R	Vb/R	Vb/R
#	ton	adim	ton	ton/R
1	2369	1	2369	2369
2	2422	1	2422	2422
3	2340	1	2340	2340
4	2150	1	2150	2150
5	1903	1	1903	1903
6	1625	1	1625	1625
7	1342	1	1342	1342
8	1078	1	1078	1078
9	835	1	835	835
10	587	1	587	587
11	301	1	301	301

**Gráfica V-15. Comparación de corte basal por MCE en sistema de aislación**



### **5.1.6. Aceleración absoluta**

La aceleración es un parámetro importante dentro del diseño porque tiene relación con los daños que pueda presentar la estructura al ser sometida a un sismo severo, y principalmente con el nivel de fuerzas y daños que puedan sufrir los equipos y contenidos que se encuentran al interior de la estructura.

#### **5.1.6.1. Aceleración absoluta por DBE**

De la Tabla V-26, Tabla V-27, Tabla V-29 y Tabla V-28, se observa que:

- ✓ La máxima aceleración para la dirección X del edificio con sistema convencional, es de 1.72 (g) y para los sistemas de aislación HDR, LRB y FPS, son, 0.43 (g) para todos los casos.
- ✓ La máxima aceleración para la dirección Y del edificio con sistema convencional, es de 1.72 (g) y para los sistemas de aislación HDR, LRB y FPS, son, 0.43 (g) para todos los casos.
- ✓ La aceleración máxima en el piso superior del edificio con sistema convencional se reduce para los sistemas de aislación HDR, LRB y FPS, en, 89%, 84% y 83%, respectivamente.

De la Gráfica V-16 y Gráfica V-17, se observa que:

- ✓ Las aceleraciones absolutas de piso para los tres sistemas de aislación tienen un aumento y disminución ligero por piso de 0.005 (g) aproximadamente; mientras que, para el sistema convencional, es de 0.10 (g); es decir, 20 veces más.
- ✓ La aceleración absoluta entre ambas direcciones de cada sistema de aislación es mínima, siendo prácticamente la relación de 1.

Tabla V-26. Aceleración absoluta por DBE en sistema de aislación HDR por sismo X y sismo Y

SISTEMA DE AISLACIÓN HDR							
SISMO X				SISMO Y			
Piso	Acel	Rd	Factor Rd	Piso	Acel	Rd	Factor Rd
#	(g)	%		#	(g)	%	
0	0.43			0	0.43		
1	0.43	29%	1.41	1	0.43	28%	1.39
2	0.43	30%	1.44	2	0.43	28%	1.39
2	0.17	72%	3.56	2	0.20	67%	3.06
3	0.17	75%	3.97	3	0.19	69%	3.26
4	0.17	79%	4.78	4	0.19	76%	4.11
5	0.16	81%	5.39	5	0.18	79%	4.82
6	0.16	84%	6.27	6	0.17	82%	5.65
7	0.17	85%	6.65	7	0.17	84%	6.44
8	0.17	86%	7.06	8	0.18	85%	6.80
9	0.18	87%	7.51	9	0.18	86%	7.26
10	0.18	88%	8.18	10	0.19	88%	8.03
11	0.19	89%	9.18	11	0.19	89%	9.12
<b>MÁX</b>	<b>0.43</b>	<b>89%</b>	<b>9.18</b>			<b>89%</b>	<b>9.12</b>

Tabla V-27. Aceleración absoluta por DBE en sistema de aislación LRB por sismo X y sismo Y

SISTEMA DE AISLACIÓN LRB							
SISMO X				SISMO Y			
Piso	Acel	Rd	Factor Rd	Piso	Acel	Rd	Factor Rd
#	(g)	%		#	(g)	%	
0	0.43			0	0.43		
1	0.43	29%	1.42	1	0.43	28%	1.39
2	0.43	31%	1.44	2	0.43	29%	1.40
2	0.24	61%	2.55	2	0.26	57%	2.31
3	0.24	65%	2.82	3	0.26	59%	2.43
4	0.24	70%	3.29	4	0.26	66%	2.98
5	0.24	72%	3.62	5	0.26	71%	3.41
6	0.25	75%	4.07	6	0.25	74%	3.86
7	0.25	77%	4.37	7	0.26	77%	4.30
8	0.26	79%	4.71	8	0.26	78%	4.58
9	0.27	80%	5.06	9	0.27	80%	4.96
10	0.27	82%	5.58	10	0.27	82%	5.57
11	0.27	84%	6.30	11	0.28	84%	6.37
<b>MÁX</b>	<b>0.43</b>	<b>84%</b>	<b>6.30</b>		<b>0.43</b>	<b>84%</b>	<b>6.37</b>

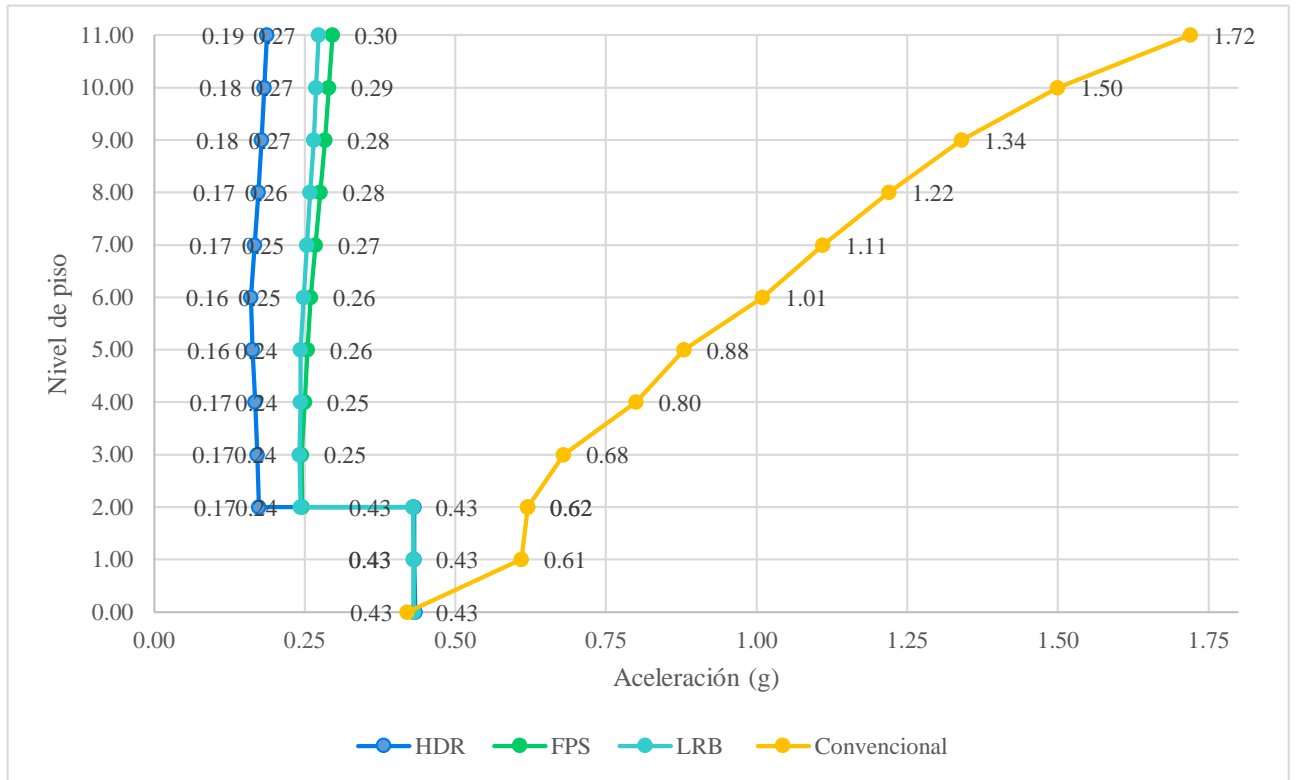
Tabla V-28. Aceleración absoluta por DBE en sistema convencional por sismo X y sismo Y

SISTEMA DE AISLACIÓN FPS							
SISMO X				SISMO Y			
Piso	Acel	Rd	Factor Rd	Piso	Acel	Rd	Factor Rd
#	(g)	%		#	(g)	%	
0	0.43			0	0.43		
1	0.43	29%	1.42	1	0.43	28%	1.39
2	0.43	31%	1.44	2	0.43	29%	1.40
2	0.25	60%	2.52	2	0.26	57%	2.34
3	0.25	64%	2.78	3	0.25	60%	2.50
4	0.25	69%	3.20	4	0.25	67%	3.03
5	0.26	71%	3.45	5	0.26	71%	3.40
6	0.26	74%	3.88	6	0.27	73%	3.68
7	0.27	76%	4.14	7	0.28	75%	3.97
8	0.28	77%	4.42	8	0.29	76%	4.18
9	0.28	79%	4.72	9	0.30	78%	4.49
10	0.29	81%	5.17	10	0.30	80%	5.02
11	0.30	83%	5.81	11	0.31	82%	5.71
<b>MÁX</b>	<b>0.43</b>	<b>83%</b>	<b>5.81</b>		<b>0.43</b>	<b>82%</b>	<b>5.71</b>

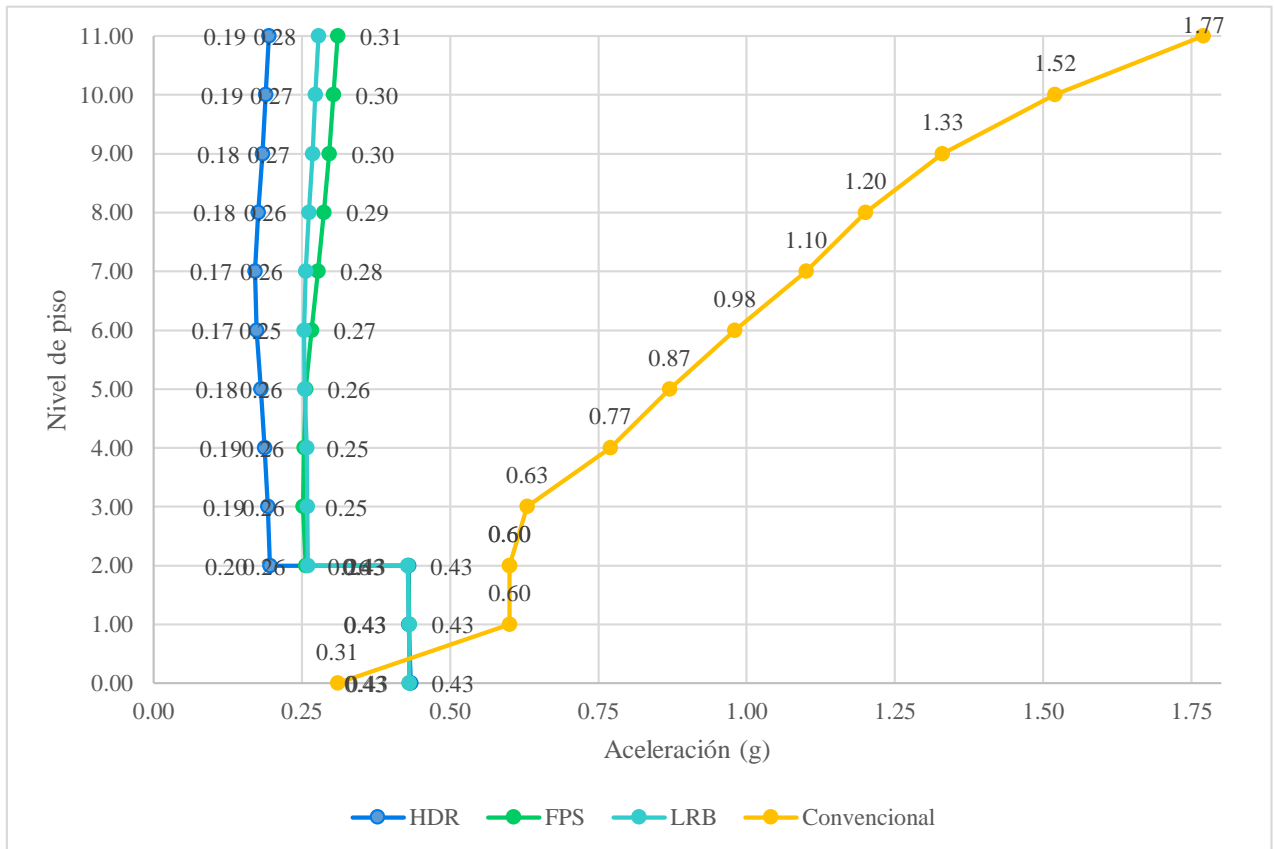
Tabla V-29. Aceleración absoluta por DBE en sistema de aislación FPS por sismo X y sismo Y

SISTEMA CONVENCIONAL			
SISMO X		SISMO Y	
Piso	Acel	Piso	Acel
#	(g)	#	(g)
0.00	0.42	0.00	0.31
1.00	0.61	1.00	0.60
2.00	0.62	2.00	0.60
2.00	0.62	2.00	0.60
3.00	0.68	3.00	0.63
4.00	0.80	4.00	0.77
5.00	0.88	5.00	0.87
6.00	1.01	6.00	0.98
7.00	1.11	7.00	1.10
8.00	1.22	8.00	1.20
9.00	1.34	9.00	1.33
10.00	1.50	10.00	1.52
11.00	1.72	11.00	1.77
<b>MÁX</b>	<b>1.72</b>		<b>1.77</b>

**Gráfica V-16. Comparación de aceleración absoluta por DBE-Dirección X en sistema de aislación y sistema convencional**



**Gráfica V-17. Comparación de aceleración absoluta por DBE-Dirección Y en sistema de aislación y sistema convencional**



## 5.2. Análisis comparativo por metrado estructural

Se ha realizado un análisis comparativo por metrado estructural, para determinar qué elementos estructurales aumentan o disminuyen, su cuantificación de material. Este dato es importante porque influye directamente en el cálculo de la mano de obra, cronograma de obra, y presupuesto de obra. Asimismo, se ha considerado un análisis comparativo de metrado estructural, para las partidas de movimiento de tierras, concreto, encofrado, acero, y ladrillo.

### 5.2.1. Metrado de Movimiento de tierras

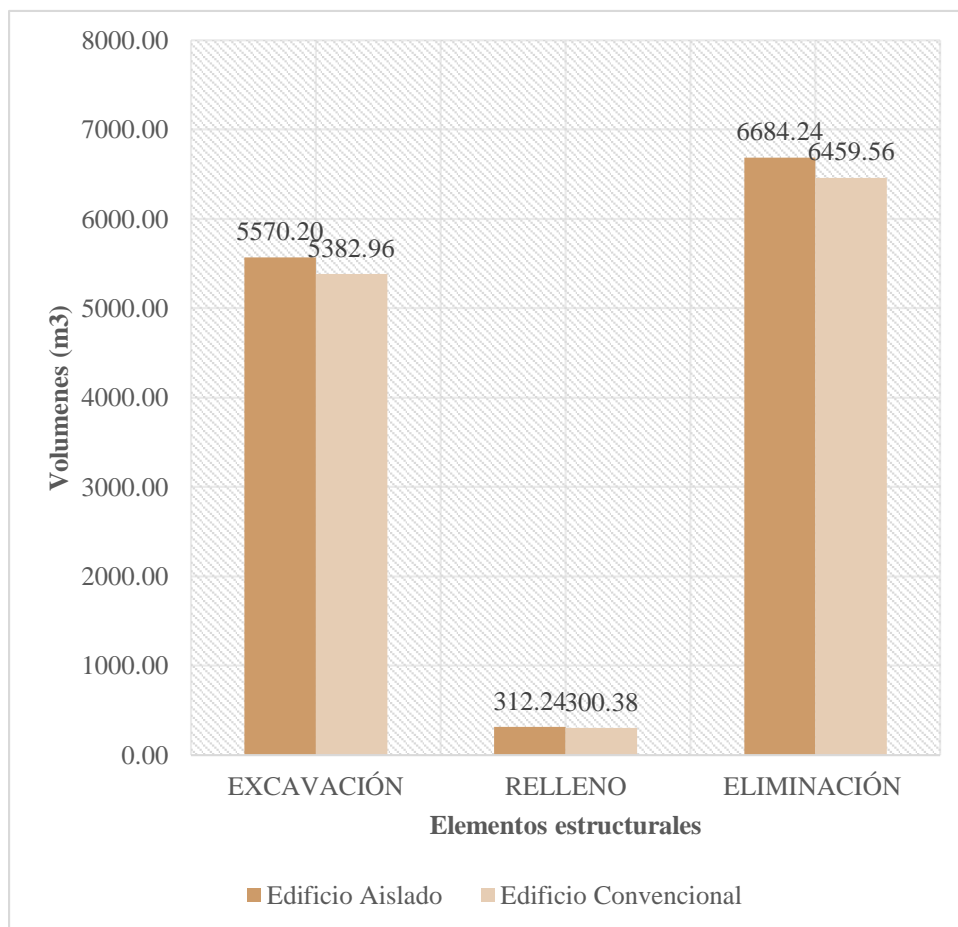
En Metrado de Movimiento de tierras, las partidas analizadas fueron: excavación, relleno y eliminación de material excedente. De la Tabla -V-30, Gráfica V-18 y Gráfica V-19, se observa y se infiere que:

- ✓ El metrado de excavación para el edificio aislado fue de 5570 m<sup>3</sup>; mientras que, del edificio convencional, fue de 5383 m<sup>3</sup>; obteniendo un aumento de 3% respecto al edificio convencional, esto debido a la incorporación del sistema de aislación: aislador, viga superior y viga inferior; el edificio creció medio piso (1.40m).
- ✓ El metrado de relleno para el edificio aislado fue de 312 m<sup>3</sup>; mientras que, del edificio convencional, fue de 300 m<sup>3</sup>; obteniendo un aumento de 4% respecto al edificio convencional, esto debe a que en el edificio aislado, existe una excavación adicional en la zona del ascensor y escalera, para ubicar los deslizadores; además, porque la longitud total de vigas de cimentación es mayor que en el edificio convencional.
- ✓ El metrado de eliminación de material excedente para el edificio aislado fue de 6684 m<sup>3</sup>; mientras que, del edificio convencional, fue de 6459 m<sup>3</sup>; obteniendo un aumento de 3% respecto al edificio convencional, esto se debe a que esta partida es directamente proporcional a la partida de excavación.
- ✓ El movimiento de tierras total para el edificio aislado fue de 12567 m<sup>3</sup>, mientras que, del edificio convencional, fue de 12143 m<sup>3</sup>; obteniendo un aumento de 3% respecto al edificio convencional, esto debido a lo explicado anteriormente.

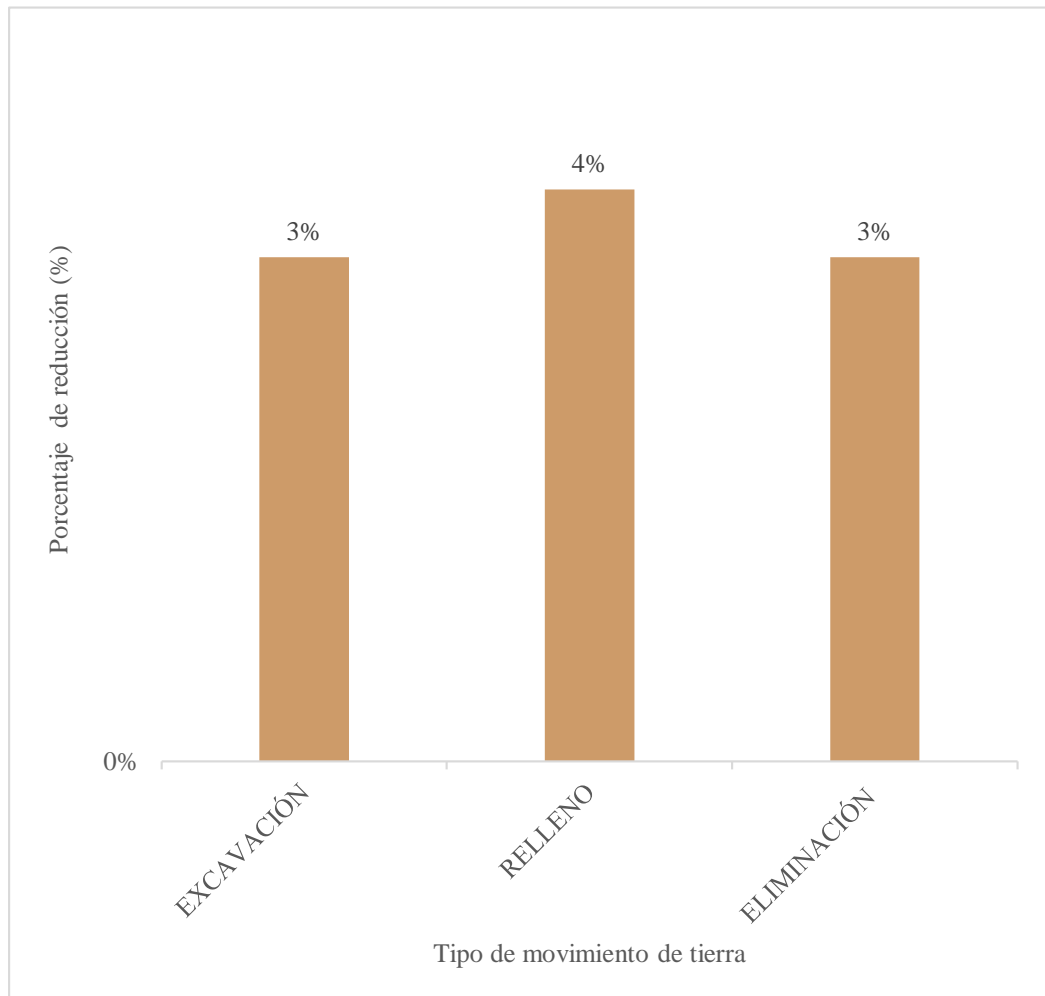
**Tabla -V-30. Medrado total de volúmenes de movimiento de tierras**

MOVIMIENTO DE TIERRAS						
ELEMENTO	E.AISLADO		E.CONVENCIONAL		Δ	
	m3	%	m3	%	m3	%
EXCAVACIÓN	5570.20	103%	5382.96	100%	187.24	3%
RELLENO	312.24	104%	300.38	100%	11.86	4%
ELIMINACIÓN	6684.24	103%	6459.56	100%	224.68	3%
<b>VOLUMEN TOTAL</b>	<b>12566.68</b>	<b>103%</b>	<b>12142.90</b>	<b>100%</b>	<b>423.78</b>	<b>3%</b>

**Gráfica V-18. Resumen de medrado de movimiento de tierras**



**Gráfica V-19. Porcentaje de variación de volumen de movimiento de tierra del Edificio Aislado respecto al Edificio Convencional**



## 5.2.2. Metrado de Concreto

En Metrado de Concreto, las partidas analizadas fueron: solado, sobrecimiento, platea, vigas de cimentación, columnas, placas, vigas, muros de sótano, losa maciza, losa aligerada, escalera y capiteles, con las resistencias a compresión de 175, 210 y 280 kg/cm<sup>2</sup>. De la Tabla-V-31, Gráfica V-21 y Gráfica V-20, se observa y se infiere que:

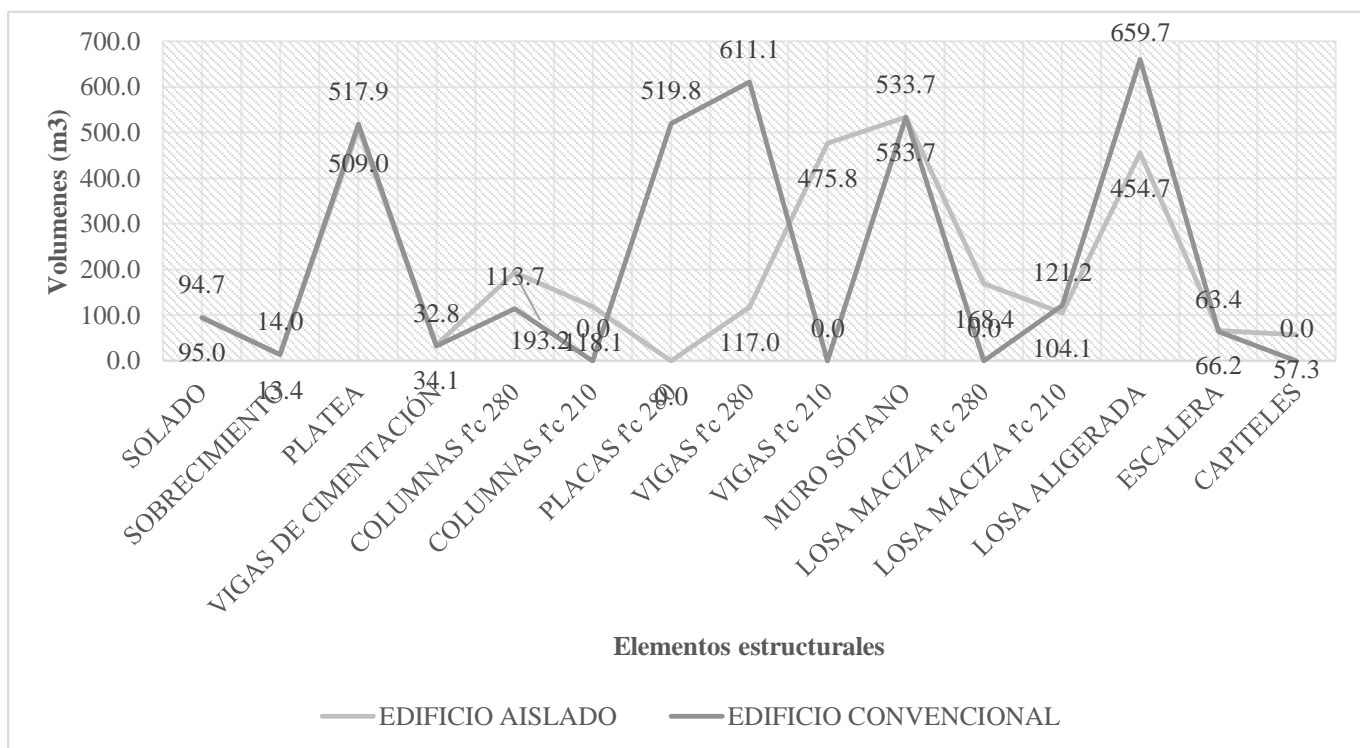
- ✓ El edificio aislado tuvo la eliminación de la partida placas debido a que la reducción de la fuerza sísmica permitió el uso de un sistema aporticado.
- ✓ Las partidas de solado sobrecimiento, platea, vigas de cimentación y escalera, tuvieron una variación de entre -8.9 a 2.9 m<sup>3</sup>, siendo este valor de poca transcendencia en el volumen de concreto total.
- ✓ El edificio convencional comprendió vigas y columnas de f'c 280 kg/cm<sup>2</sup>; mientras que, el edificio aislado, de f'c 280 y 210 kg/cm<sup>2</sup>. Sin embargo, el edificio aislado a diferencia del edificio convencional tuvo la incorporación de losa maciza de f'c 280 kg/cm<sup>2</sup>.
- ✓ El edificio aislado tuvo una reducción total de placas de f'c 280 representado por 519 m<sup>3</sup>; sin embargo, tuvo un aumento de columnas de f'c 280 y 210 kg/cm<sup>2</sup>, representando por 79 y 118 m<sup>3</sup>, respectivamente.
- ✓ El edificio aislado tuvo una reducción de 81% representado por 494 m<sup>3</sup> en vigas de f'c 280 kg/cm<sup>2</sup>; sin embargo, tuvo un aumento de 100% representado por 475 m<sup>3</sup> de vigas de f'c 210 kg/cm<sup>2</sup>. Entonces, se infiere que a través de la incorporación del sistema de aislación, se logró que en promedio, 475 m<sup>3</sup> de concreto de vigas de f'c 280 kg/cm<sup>2</sup> reduzcan su resistencia a 210 kg/cm<sup>2</sup>.
- ✓ El edificio aislado tuvo una reducción del 14% y 31%, representado por 17 y 205 m<sup>3</sup>, en losa maciza de f'c 210 y losa aligerada de f'c 210; sin embargo, tuvo un amplio aumento del 100% representado por 168 m<sup>3</sup> en losa maciza de f'c 210.
- ✓ El metrado de concreto de la escalera para el edificio aislado es de 66 m<sup>3</sup>; mientras que, del edificio convencional, es de 63 m<sup>3</sup>. A pesar de que ambos edificios son de 11 de niveles, su diferencia se debe a la incorporación del sistema de aislación: aislador, viga superior y viga inferior; el edificio creció medio piso (1.40m).

- ✓ El edificio aislado tuvo la incorporación de la partida capiteles, columnas f'c 210 y losa maciza f'c 280, debido a la incorporación de aisladores, la disminución de fuerzas sísmicas permitió reducir la resistencia a compresión del mencionado elemento estructural y debido a que este tipo de elemento estructural en la que se apoya el sistema de aislación favorece a la el edificio se comporte mejor como un bloque, respectivamente.
- ✓ El metrado de concreto de muro de sótano se mantuvo igual para ambos modelos.

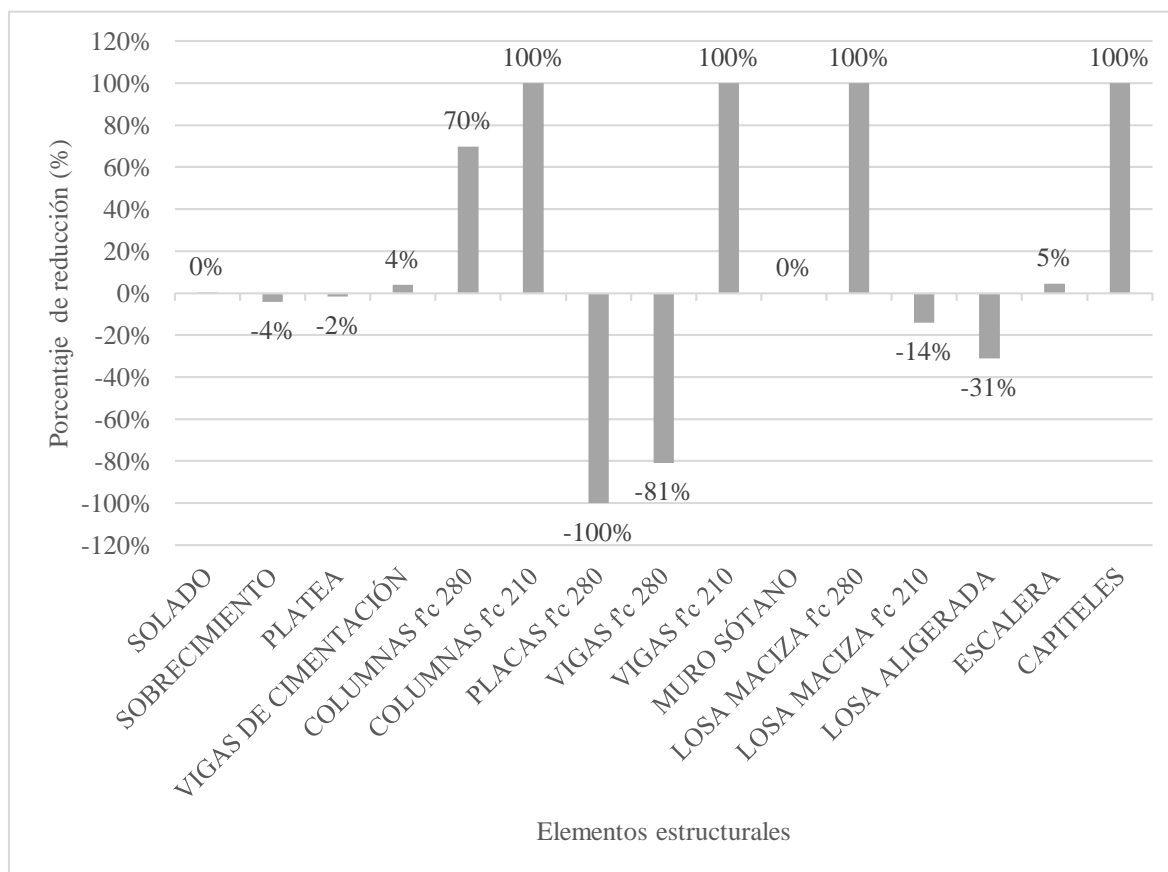
**Tabla-V-31. Resumen de metrados de concreto de elementos estructurales**

<b>METRADO DE CONCRETO</b>							
<b>ELEMENTO</b>	<b>f'c</b>	<b>E.AISLADO</b>		<b>E.CONVENCIONAL</b>		<b>Δ</b>	
	<b>kg/cm2</b>	<b>m3</b>	<b>%</b>	<b>m3</b>	<b>%</b>	<b>m3</b>	<b>%</b>
SOLADO	175	95.0	100%	94.7	100%	0.3	0%
SOBRECIMIENTO	175	13.4	96%	14.0	100%	-0.6	-4%
PLATEA	280	509.0	98%	517.9	100%	-8.9	-2%
VIGAS DE CIMENTACIÓN	280	34.1	104%	32.8	100%	1.3	4%
COLUMNAS f'c 280	280	193.2	170%	113.7	100%	79.4	70%
COLUMNAS f'c 210	210	118.1	100%	0.0	0%	118.1	100%
PLACAS f'c 280	280	0.0	0%	519.8	100%	-519.8	-100%
VIGAS f'c 280	280	117.0	19%	611.1	100%	-494.1	-81%
VIGAS f'c 210	210	475.8	100%	0.0	0%	475.8	100%
MURO SÓTANO	280	533.7	100%	533.7	100%	0.0	0%
LOSA MACIZA f'c 280	280	168.4	100%	0.0	0%	168.4	100%
LOSA MACIZA f'c 210	210	104.1	86%	121.2	100%	-17.1	-14%
LOSA ALIGERADA	210	454.7	69%	659.7	100%	-205.0	-31%
ESCALERA	210	66.2	105%	63.4	100%	2.9	5%
CAPITELES	280	57.3	100%	0.0	0%	57.3	100%
<b>CONCRETO 175 f'c</b>	175	108.4	100%	108.6	100%	-0.2	0%
<b>CONCRETO 210 f'c</b>	210	1612.6	69%	2329.0	100%	-716.5	-31%
<b>CONCRETO 280 f'c</b>	280	1218.9	144%	844.3	100%	374.6	44%

**Gráfica V-20. Resumen de metrados de concreto de elementos estructurales**



**Gráfica V-21. Porcentaje de variación de metrado de concreto del Edificio Aislado respecto a**



### 5.2.3. Metrado de encofrado y desencofrado

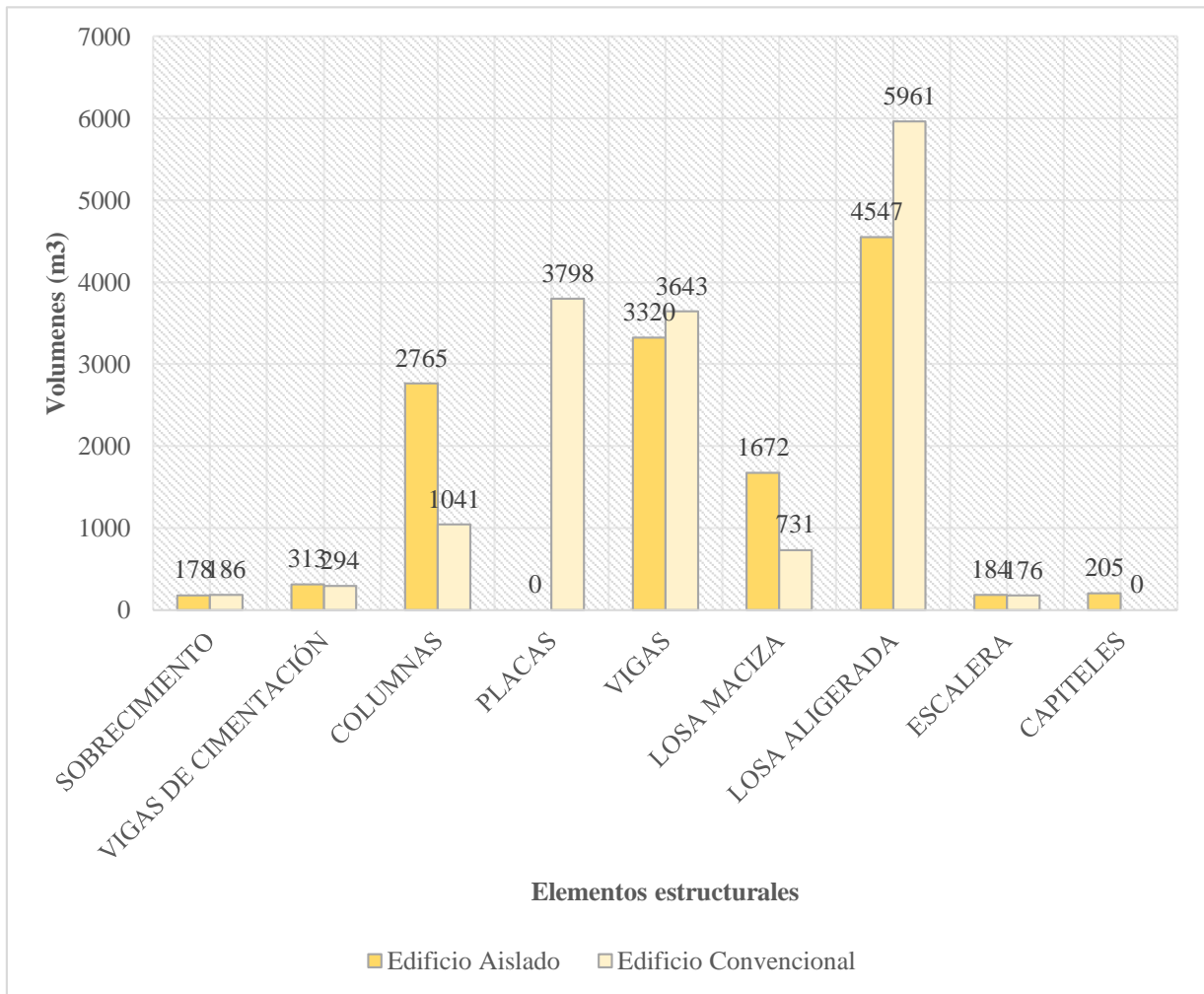
En metrado de encofrado y desencofrado, las partidas analizadas fueron: sobrecimiento, vigas de cimentación, columnas, placas, vigas, losa maciza, losa aligerada, escalera y capiteles. De la Tabla-V-32, Gráfica V-22 y Gráfica V-23, se observa y se infiere que:

- ✓ El edificio aislado tuvo la eliminación de la partida placas, debido a que la reducción de la fuerza sísmica permitió el uso de un sistema aporticado.
- ✓ Las partidas de solado sobrecimiento, vigas de cimentación y escalera tuvieron una variación de entre -8 a 19 m<sup>2</sup>, siendo este valor de poca transcendencia en el área de encofrado total.
- ✓ El edificio aislado tuvo una reducción total de placas de 100% representado por 3798 m<sup>2</sup>; sin embargo, tuvo un aumento de columnas, de 166% representando por 1724 m<sup>2</sup>. Entonces se infiere que a nivel de elementos estructurales verticales resistentes a axial y flexo compresión, la reducción predominó con 2074 m<sup>2</sup>.
- ✓ El edificio aislado tuvo una reducción en vigas de 9%, representado por 323 m<sup>2</sup>.
- ✓ El edificio aislado tuvo una reducción total en losa aligerada de 24%, representado por 1414 m<sup>2</sup>; sin embargo, tuvo un aumento de losa maciza, de 129% representando por 940 m<sup>2</sup>. Entonces se infiere que a nivel de losa de techo, la reducción predominó con 474 m<sup>2</sup>.
- ✓ El metrado de encofrado de la escalera para el edificio aislado es de 184 m<sup>3</sup>; mientras que, del edificio convencional, es de 176 m<sup>2</sup>. A pesar de que ambos edificios son de 11 de niveles, su diferencia se debe a la incorporación del sistema de aislación: aislador, viga superior y viga inferior; el edificio creció medio piso (1.40m).
- ✓ El metrado de encofrado y desencofrado de muro de sótano se mantuvo igual para ambos modelos.
- ✓ El edificio aislado tuvo la incorporación de una sola partida “capiteles”, debido a la incorporación de aisladores. El aumento de encofrado fue de 205 m<sup>2</sup>.

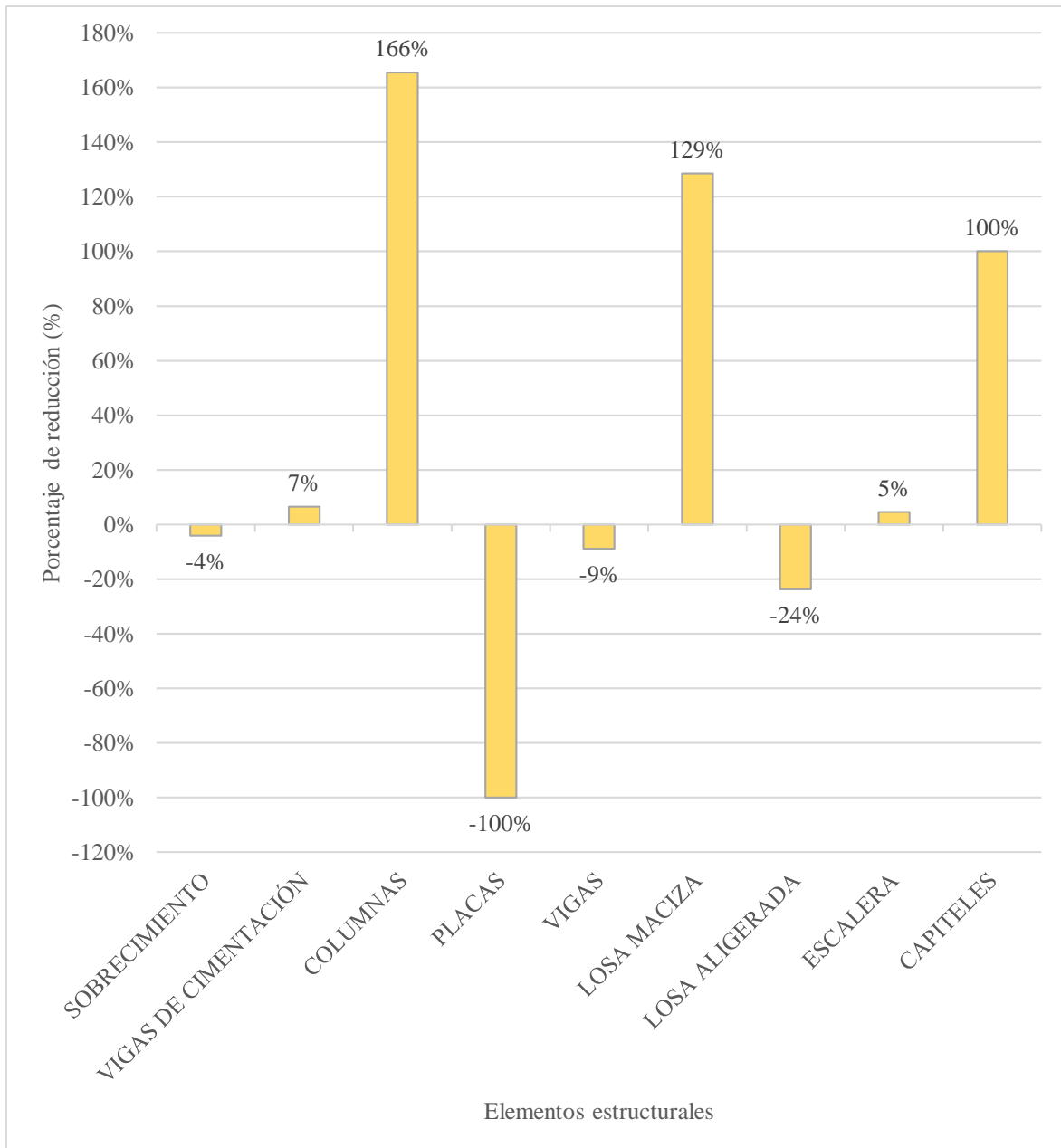
**Tabla-V-32. Resumen de metrado de encofrado y desencofrado.**

<b>METRADO DE ENCOFRADO Y DESENCOFRADO</b>							
<b>ELEMENTO ESTRUCTURAL</b>	<b>E.AISLADO</b>		<b>E.CONVENCIONAL</b>		<b>Δ</b>		
	m2	%	m2	%	m2	%	
SOBRECIMIENTO	178	96%	186	100%	-8	-4%	
VIGAS DE CIMENTACIÓN	313	107%	294	100%	19	7%	
COLUMNAS	2765	266%	1041	100%	1724	166%	
PLACAS	0	0%	3798	100%	-3798	-100%	
VIGAS	3320	91%	3643	100%	-323	-9%	
LOSA MACIZA	1672	229%	731	100%	940	129%	
LOSA ALIGERADA	4547	76%	5961	100%	-1414	-24%	
ESCALERA	184	105%	176	100%	8	5%	
CAPITELES	205	100%	0	0%	205	100%	
<b>ENCOFRADO</b>	m2	13184	83%	15830	100%	2646.3	-17%
<b>ENCOFRADO</b>	m2 x 1000	13.2	83%	15.8	100%	2.6	-17%

**Gráfica V-22. Resumen de metrado de encofrado y desencofrado.**



**Gráfica V-23. Porcentaje de variación de metrado de encofrado y desencofrado del Edificio Aislado respecto al Edificio convencional**



#### 5.2.4. Metrado de Acero

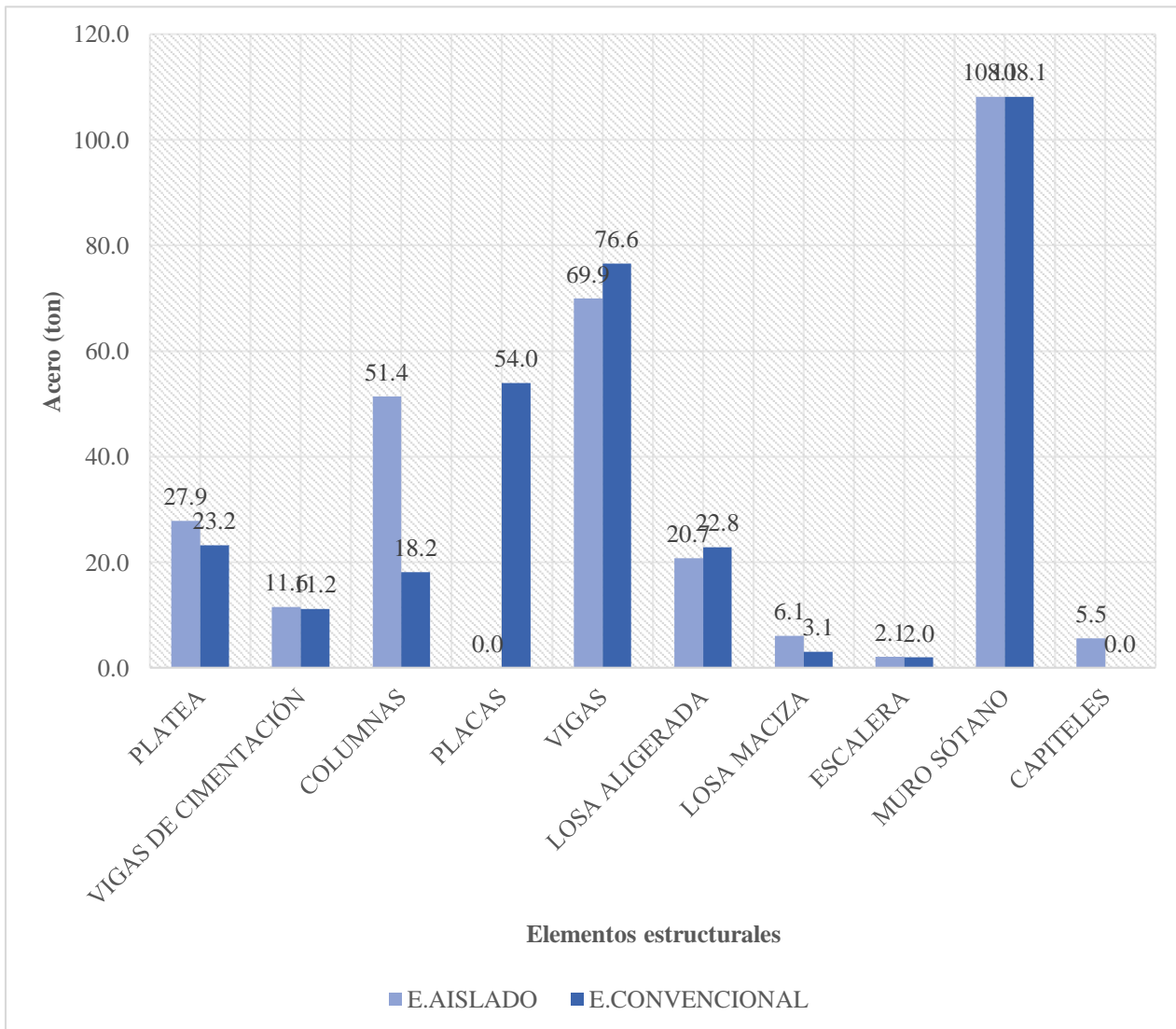
En metrado de acero, las partidas analizadas fueron: solado, sobrecimiento, platea, vigas de cimentación, columnas, placas, vigas, muros de sótano, losa maciza, losa aligerada, escalera y capiteles. De la Tabla-V-32, Gráfica V-22 y Gráfica V-23, se observa y se infiere que:

- ✓ El edificio aislado tuvo la eliminación de la partida placas, debido a que la reducción de la fuerza sísmica permitió el uso de un sistema aporticado.
- ✓ Las partidas de vigas de cimentación, losa aligerada y escalera, tuvieron una variación de entre -2.1 a 0.4 ton, siendo este valor de poca transcendencia en el peso de acero total.
- ✓ El edificio aislado tuvo una reducción total de placas de 100%, representado por 54 ton; sin embargo, tuvo un aumento de columnas, de 183%, representando por 33.2 ton. Entonces se infiere que a nivel de elementos estructurales verticales resistentes a axial y flexo compresión, la reducción predominó con 20.8 ton.
- ✓ El edificio aislado tuvo una reducción en vigas de 9%, representado por 6.6 ton.
- ✓ El edificio aislado tuvo una reducción total en losa aligerada de 9%, representado por tan solo 2.1 ton; sin embargo, tuvo un aumento de losa maciza de 98%, representando por 3.0 ton. Se infiere que, a nivel de losa de techo, el aumento predominó con 0.9 ton.
- ✓ El metrado de acero de la escalera para el edificio aislado es de 2.1 ton; mientras que, para el edificio convencional, es de 2.0 ton. A pesar de que ambos edificios son de 11 de niveles, su diferencia se debe a la incorporación del sistema de aislación: aislador, viga superior y viga inferior, el edificio creció medio piso (1.40m).
- ✓ El acero de muro de sótano se mantuvo igual para ambos modelos.
- ✓ El edificio aislado tuvo la incorporación de una sola partida “capiteles”, debido a la incorporación de aisladores. El aumento de acero fue de 5.5 ton.

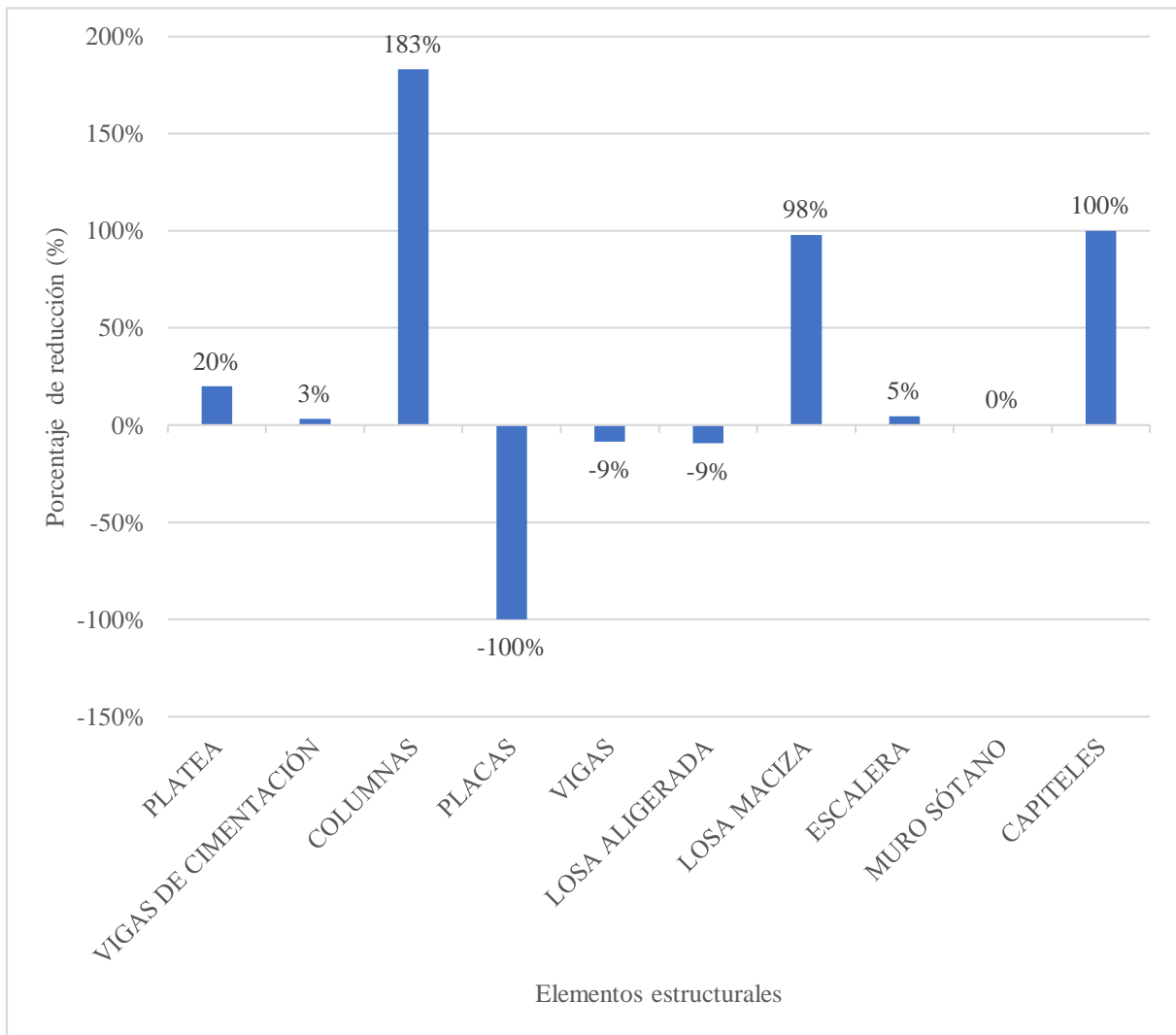
**Tabla-V-33. Resumen de metrado de acero**

ELEMENTO ESTRUCTURAL	METRADO DE ACERO					
	E.AISLADO		E.CONVENCIONAL		Δ	
	ton	%	ton	%	ton	%
PLATEA	27.9	120%	23.2	100%	4.6	20%
VIGAS DE CIMENTACIÓN	11.6	103%	11.2	100%	0.4	3%
COLUMNAS	51.4	283%	18.2	100%	33.2	183%
PLACAS	0.0	0%	54.0	100%	-54.0	-100%
VIGAS	69.9	91%	76.6	100%	-6.6	-9%
LOSA ALIGERADA	20.7	91%	22.8	100%	-2.1	-9%
LOSA MACIZA	6.1	198%	3.1	100%	3.0	98%
ESCALERA	2.1	105%	2.0	100%	0.1	5%
MURO SÓTANO	108.1	100%	108.1	100%	0.0	0%
CAPITELES	5.5	100%	0.0	0%	5.5	100%
<b>ACERO (ton)</b>	<b>303.3</b>	<b>95%</b>	<b>319.2</b>	<b>100%</b>	<b>-15.8</b>	<b>-5%</b>

**Gráfica V-24. Resumen de metrado de acero**



**Gráfica V-25. Porcentaje de variación de metrado de acero del Edificio Aislado respecto a Edificio Convencional en f(x) de elementos estructurales**



### 5.2.5. Medrado de ladrillo de techo

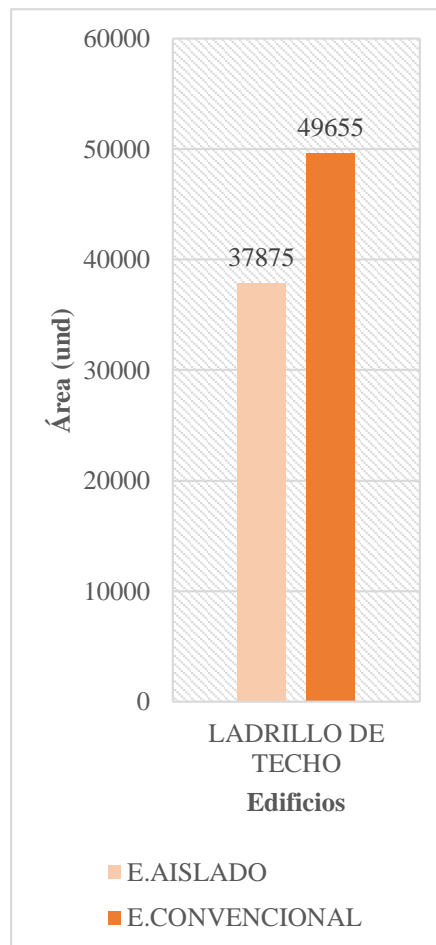
El medrado de ladrillo de techo se realizó para la partida de losa aligerada. De la Tabla-V-34, Gráfica V-26 y Gráfica V-27, se observa e infiere que:

- ✓ El medrado de ladrillo de techo para el edificio aislado fue de 37 875 und; mientras que, para el edificio convencional, fue de 49655 und; lográndose una reducción de 24% representado por 11 779 und.

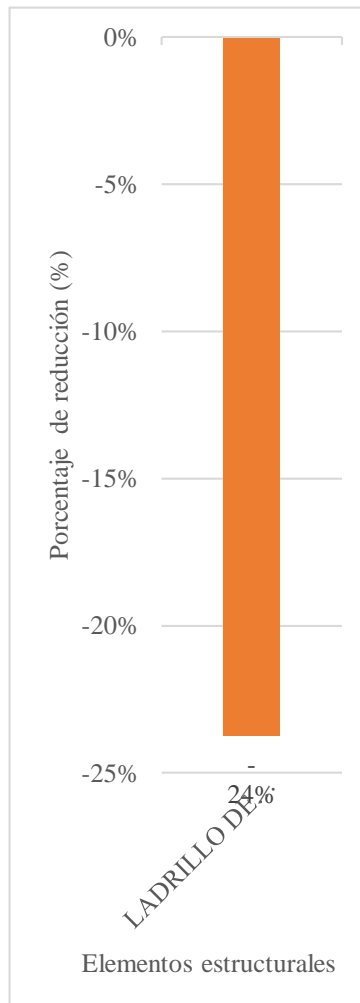
*Tabla-V-34. Resumen de medrado de ladrillo de techo.*

LADRILLO DE TECHO						
ELEMENTO ESTRUCTURAL	E.AISLADO		E.CONVENCIONAL		Δ	
	und	%	und	%	und	%
LADRILLO DE TECHO	37875	76%	49655	100%	-11779	-24%
<b>TOTAL DE LADRILLOS</b>	<b>37875</b>	<b>76%</b>	<b>49655</b>	<b>100%</b>	<b>11779.4</b>	<b>-24%</b>

*Gráfica V-26. Resumen de medrado de ladrillo de techo*



**Gráfica V-27. Porcentaje de variación de metrado de ladrillo de techo del Edificio Aislado respecto al Edificio Convencional**



### 5.3. Análisis comparativo de relación de insumos

Se ha realizado un análisis comparativo de relación de insumos para determinar qué elementos estructurales aumentan o disminuyen. Este dato es importante porque influye directamente con el cálculo de la mano de obra, cronograma de obra, y presupuesto de obra.

#### 5.3.1. Relación de insumos de mano de obra

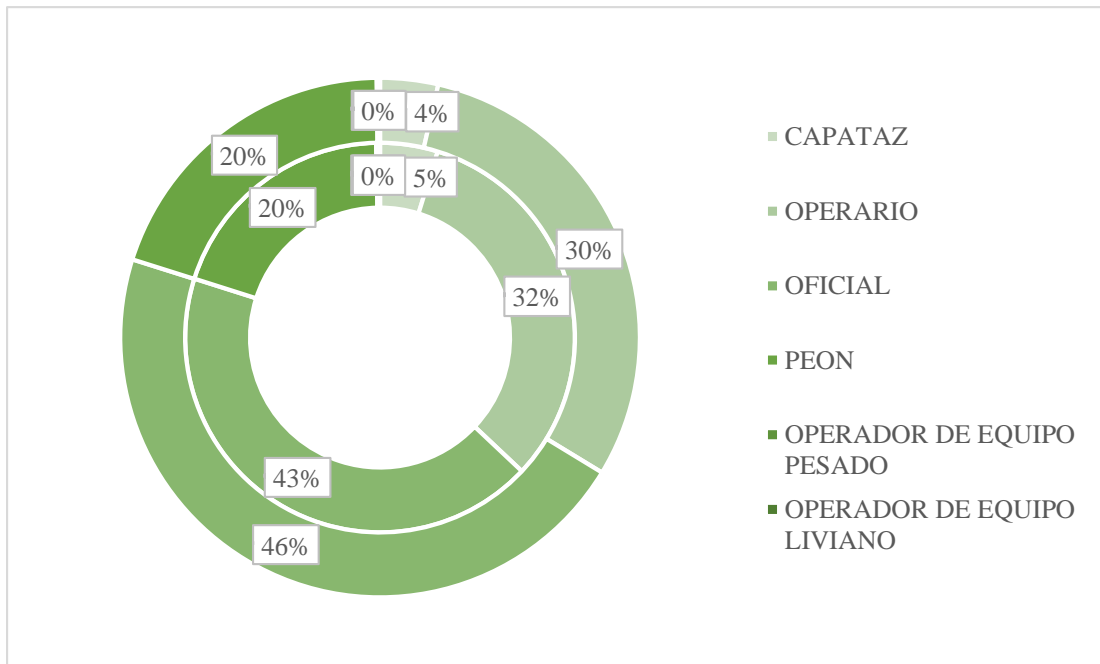
En relación de insumos de mano de obra se analizó, las horas hombre de: capataz, operario, oficial, peón, operador de equipo pesado y operador de equipo liviano. De la Tabla-V-35, Gráfica V-28 y Gráfica V-29, se observa y se infiere que:

- ✓ La relación de insumos en horas hombre, para el edificio aislado y convencional, fue de 71367 y 88956 horas hombre, respectivamente.
- ✓ La relación de insumos en horas hombre, para el edificio aislado, disminuyó en total en 17,588 horas hombre, representado por un 20% respecto al edificio convencional.
- ✓ La relación de insumos en horas hombre, para el edificio aislado, respecto a operario, oficial y peón, disminuyó en 3700, 10 000 y 3600 horas, respectivamente, esto debido a que el requerimiento de metrado en concreto, acero y encofrado, disminuyó en un % considerable.
- ✓ La relación de insumos en horas máquinas, para el edificio aislado, respecto operador de equipos, aumentó en 54 %; sin embargo, al estar representado por 47 horas, este valor es trivial para el total de horas hombre.

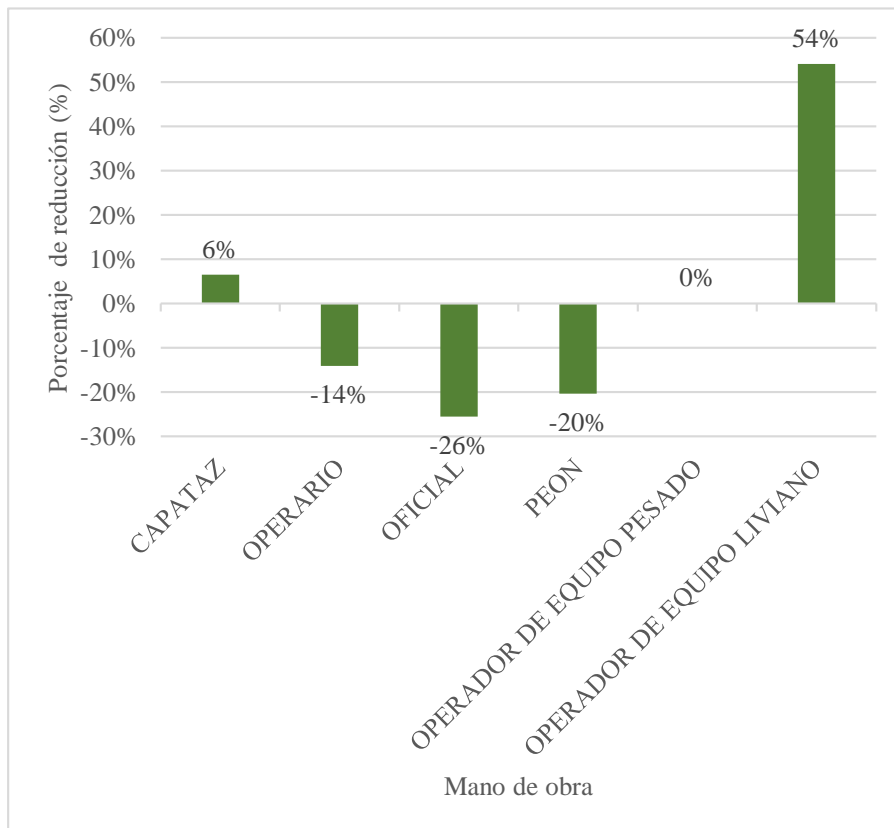
**Tabla-V-35. Resumen de Relación de Insumos – Horas hombre de Mano de obra**

RELACIÓN DE INSUMOS - MANO DE OBRA						
ELEMENTO	E.AISLADO		E.CONVENCIONAL		Δ	
	hh	%	hh	%	hh	%
CAPATAZ	3414.05	106%	3207.03	100%	207.0	6%
OPERARIO	23012.23	86%	26768.63	100%	-3756.4	-14%
OFICIAL	30589.36	74%	41071.23	100%	-10481.9	-26%
PEON	14122.68	80%	17726.74	100%	-3604.1	-20%
OPERADOR DE EQUIPO PESADO	95.82	100%	95.82	100%	0.0	0%
OPERADOR DE EQUIPO LIVIANO	133.35	154%	86.56	100%	46.8	54%
<b>HORAS HOMBRE</b>	<b>71367</b>	<b>80%</b>	<b>88956</b>	<b>100%</b>	<b>-17588.5</b>	<b>-20%</b>

**Gráfica V-28. Resumen de Relación de insumos – Horas hombre de Mano de obra**



**Gráfica V-29. Porcentaje de variación de horas hombre del Edificio aislado respecto a Edificio convencional**



### 5.3.2. Relación de insumos de mano de obra

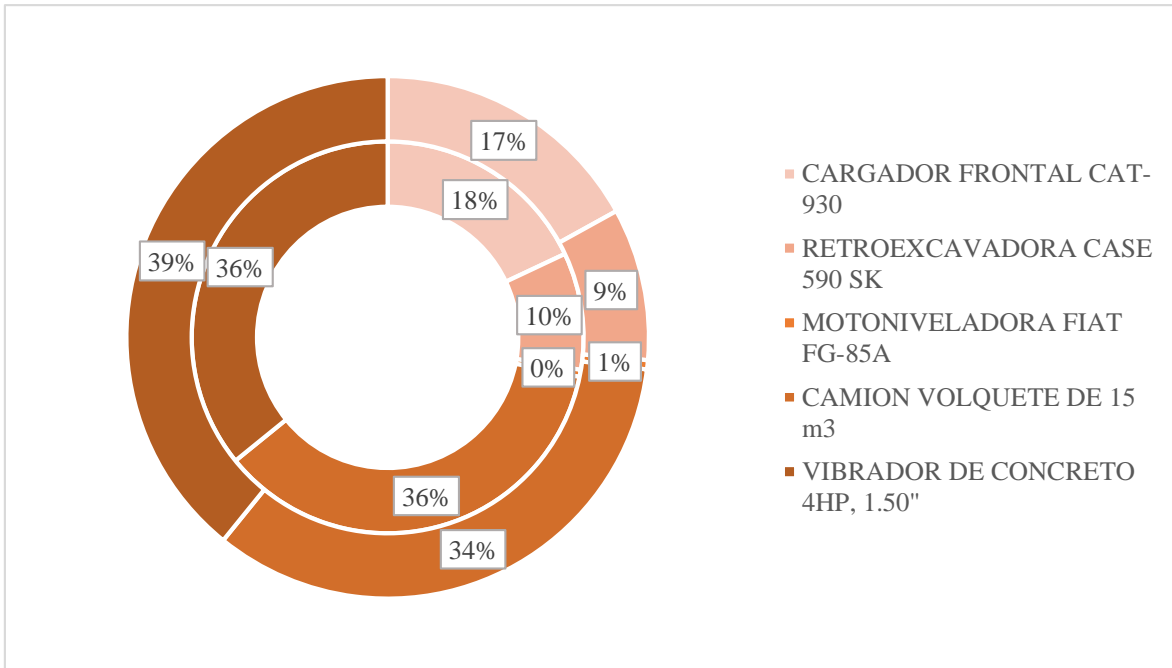
En relación de insumos de mano de obra se analizó, las horas hombre de: capataz, operario, oficial, peón, operador de equipo pesado y operador de equipo liviano. De la Tabla-V-36, Gráfica V-30 y Gráfica V-31, se observa y se infiere que:

- ✓ La relación de insumos en horas máquina, para el edificio aislado y convencional, fue de 992 y 1016 horas máquinas, respectivamente.
- ✓ La relación de insumos en horas máquina, para el edificio aislado, disminuyó en total en tan solo 24.6 horas hombre, representado por un 2%.
- ✓ La relación de insumos por horas máquina, aumentó ligeramente en 3% en el cargador frontal y el camión volquete, esto debido al incremento del volumen de excavación y eliminación de material excedente en el edificio aislado.
- ✓ La relación de insumos de horas máquina del vibrador de concreto disminuyó en 42.6 hm, representado por un 11%, esto debido a que el volumen de concreto disminuyó por los motivos explicados anteriormente.

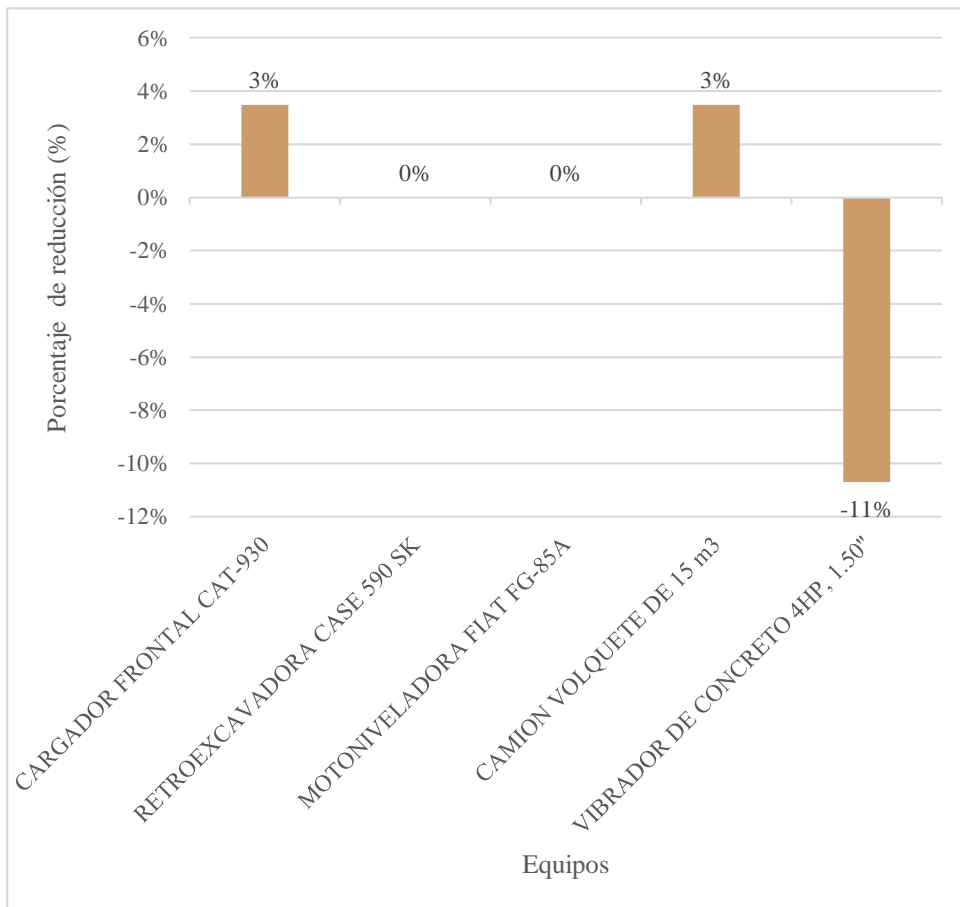
**Tabla-V-36. Resumen de Relación de insumos - Horas Máquina de Maquinaria**

RELACIÓN DE INSUMOS - MOVIMIENTO DE TIERRAS						
ELEMENTO	E.AISLADO		E.CONVENCIONAL		Δ	
	hm	%	hm	%	hm	%
CARGADOR FRONTAL CAT-930	178.47	103%	172.47	100%	6.0	3%
RETROEXCAVADORA CASE 590 SK	95.82	100%	95.82	100%	0.0	0%
MOTONIVELADORA FIAT FG-85A	5.79	100%	5.79	100%	0.0	0%
CAMION VOLQUETE DE 15 m3	356.27	103%	344.29	100%	12.0	3%
VIBRADOR DE CONCRETO 4HP, 1.50"	355.45	89%	398.06	100%	-42.6	-11%
<b>HORAS MÁQUINA</b>	<b>992</b>	<b>98%</b>	<b>1016</b>	<b>100%</b>	<b>-24.6</b>	<b>-2%</b>

**Gráfica V-30. Resumen de Relación de insumos – Horas máquina de Maquinaria**



**Gráfica V-31. Porcentaje de variación de horas hombre del Edificio aislado respecto al Edificio convencional**



### 5.3.3. Relación de insumos por tipo concreto

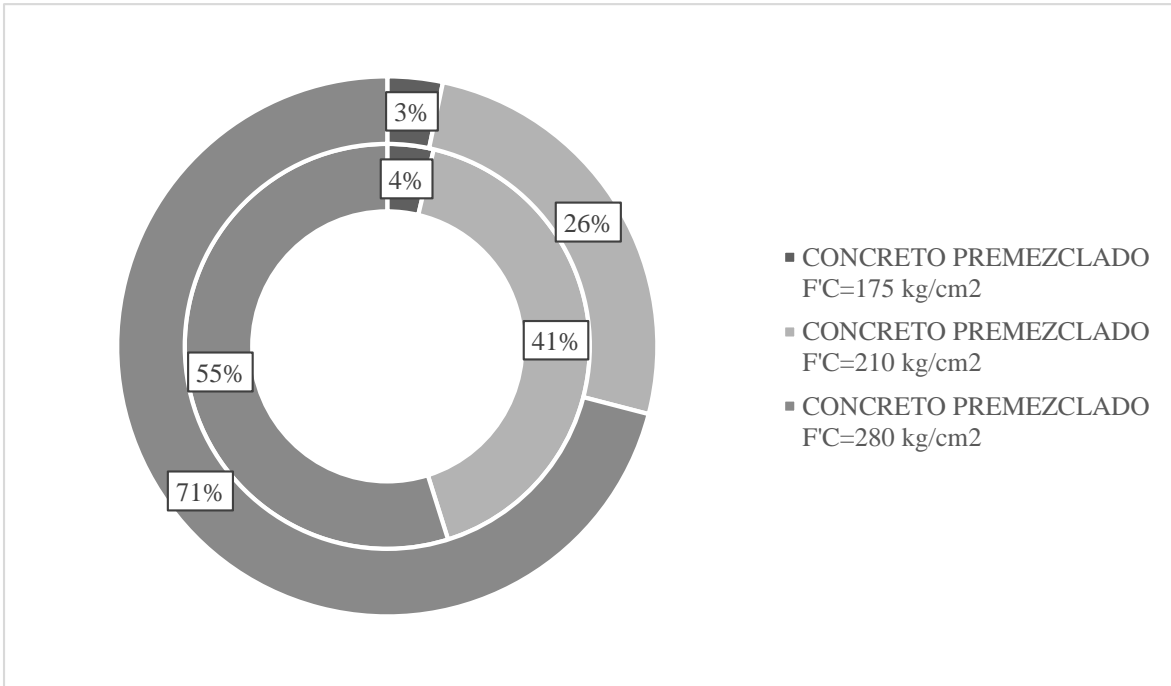
En relación de insumos por tipo de concreto se analizó, los volúmenes totales obtenido por tipo de resistencia a la compresión del concreto. De la Tabla-V-37, Gráfica V-32 y Gráfica V-33 , se observa y se infiere que:

- ✓ La relación de insumos en volumen de concreto total, para el edificio aislado y convencional, fue de 2998 y 3347 metros cúbicos, respectivamente.
- ✓ La relación de insumos en volumen de concreto total, para el edificio aislado, disminuyó en 340 m<sup>3</sup>, representado por un 10%.
- ✓ La relación de insumos por volumen de concreto, aumentó en 382 m<sup>3</sup>, representado por 44%, para el concreto de resistencia a la compresión de 210 kg/cm<sup>2</sup>.
- ✓ La relación de insumos por volumen de concreto, disminuyó en 730 m<sup>3</sup>, representado por 33%, para el concreto de resistencia a la compresión de 280 kg/cm<sup>2</sup>.
- ✓ De manera general, se observa que hay una disminución y aumento de volúmenes de concreto; no obstante, el beneficio se visualizará de mejor manera en la comparación de costos según tipo de concreto.

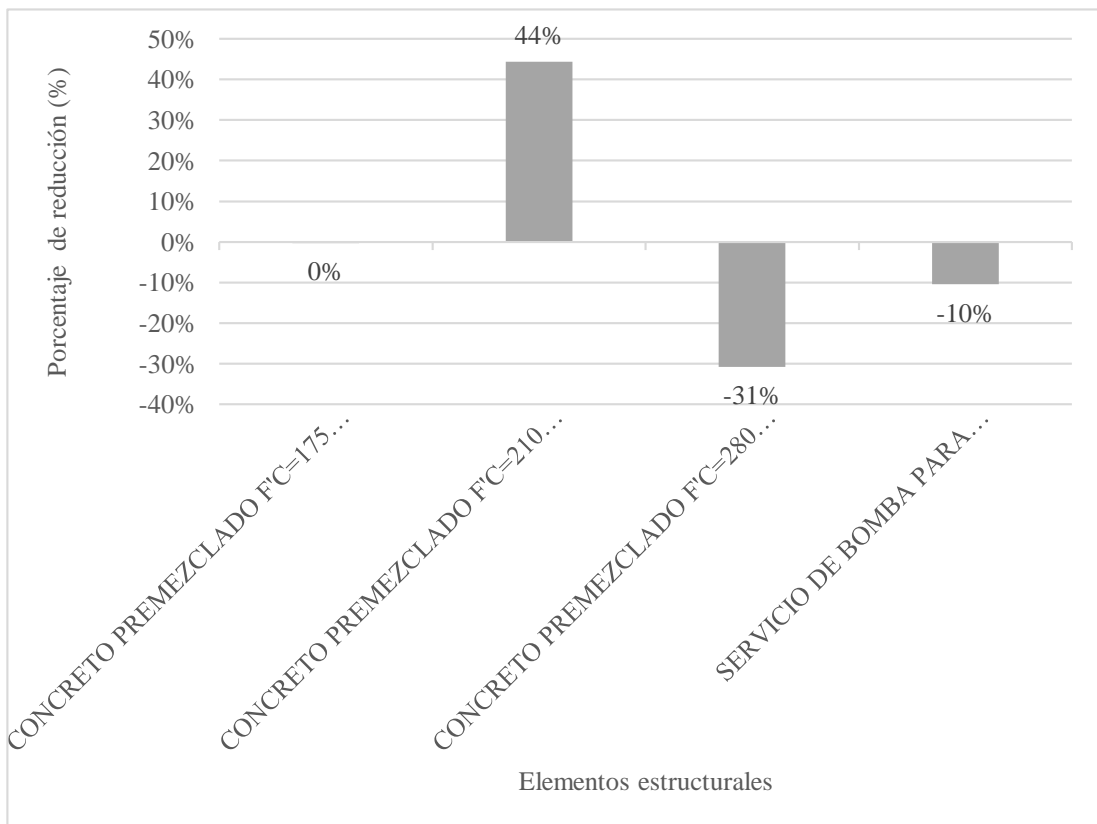
**Tabla-V-37. Resumen de Relación de insumos – Volumen de concreto por tipo de resistencia a la compresión**

RELACIÓN DE INSUMOS - CONCRETO							
ELEMENTO	f'c	E.AISLADO		E.CONVENCIONAL		Δ	
	kg/cm <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	%	m <sup>3</sup>	%	m <sup>3</sup>	%
CONCRETO PREMEZCLADO F'C=175 kg/cm <sup>2</sup>	175	110.56	100%	110.81	100%	-0.3	0%
CONCRETO PREMEZCLADO F'C=210 kg/cm <sup>2</sup>	210	1243.27	144%	861.18	100%	382.1	44%
CONCRETO PREMEZCLADO F'C=280 kg/cm <sup>2</sup>	280	1644.82	69%	2375.62	100%	-730.8	-31%
SERVICIO DE BOMBA PARA CONCRETO PREMEZCLADO		2998.65	90%	3347.61	100%	-349.0	-10%
<b>CONCRETO TOTAL</b>		<b>2999</b>	<b>90%</b>	<b>3348</b>	<b>100%</b>	<b>-349.0</b>	<b>-10%</b>

**Gráfica V-33. Resumen de Relación de insumos de concreto**



**Gráfica V-32. Porcentaje de variación de volumen de concreto por tipo de resistencia a la compresión del Edificio aislado respecto al Edificio convencional**



### 5.3.4. Relación de insumos de Materiales para encofrado y desencofrado

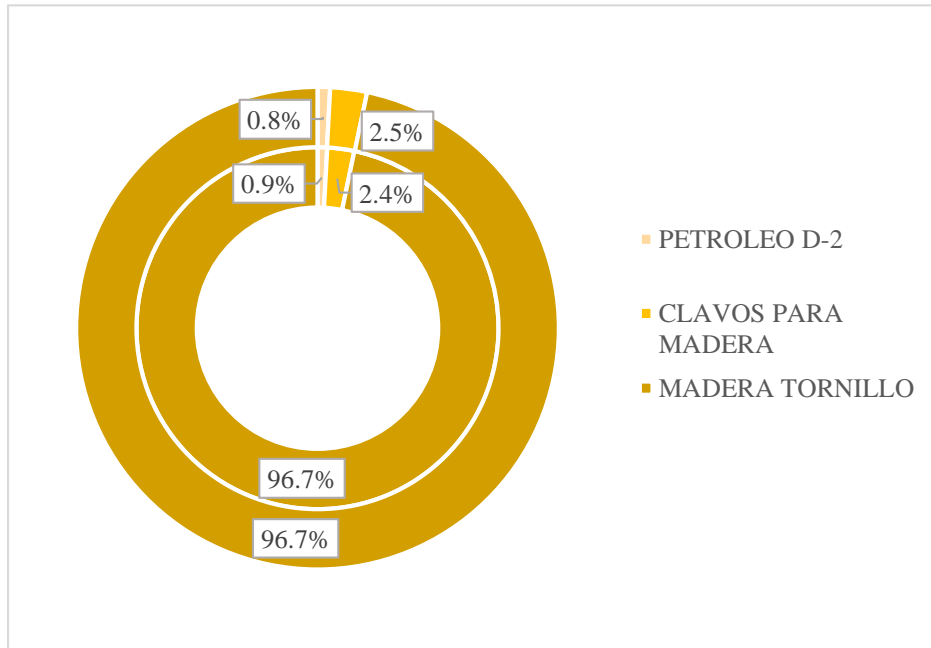
En relación de insumos de materiales para encofrado y desencofrado se analizó, los volúmenes, áreas y pesos totales de los materiales de petróleo, madera y clavos, respectivamente. De la Tabla-V-38, Gráfica V-34 y Gráfica V-35, se observa y se infiere que:

- ✓ La relación de insumos en material para volumen de petróleo total, para el edificio aislado, disminuyó en 132 galones, representado por un 17%.
- ✓ La relación de insumos en material para peso de clavos total, para el edificio aislado, disminuyó en 475 kilogramos, representado por un 20%.
- ✓ La relación de insumos en material para área de madera tornillo total, para el edificio aislado, disminuyó considerablemente en 16 925 metros cuadrados, representado por un 19%.
- ✓ Es importante mencionar que, a pesar de la incorporación de elementos estructurales como vigas en sistema de aislación y capiteles, la disminución total siguió predominando.

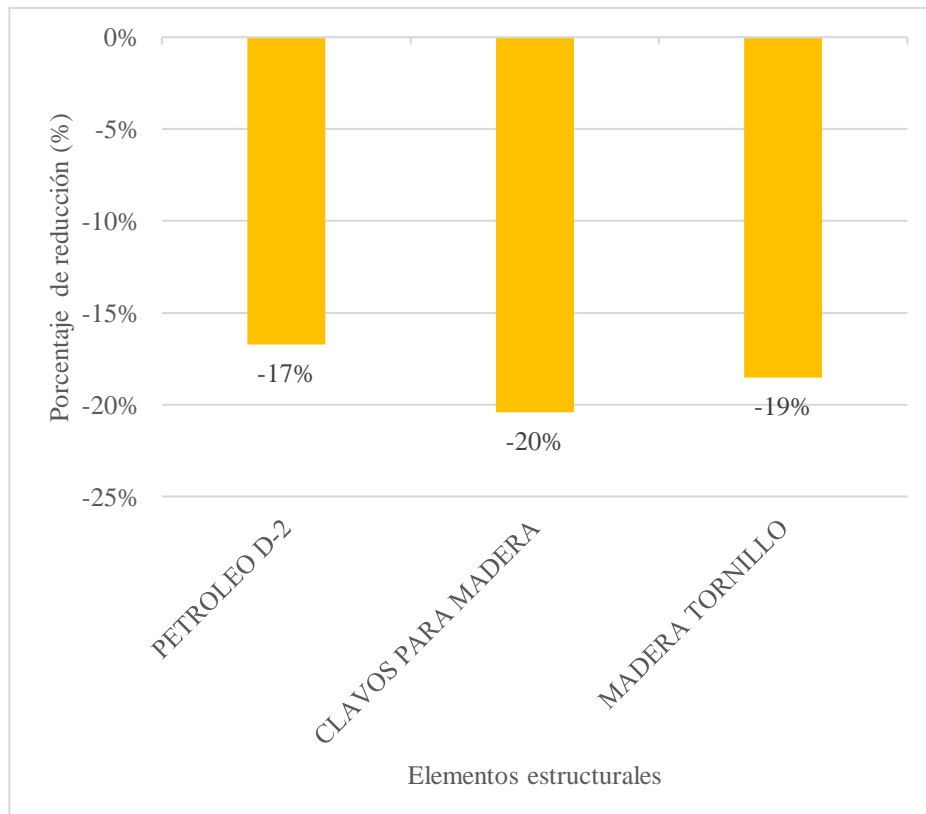
*Tabla-V-38. Resumen de Relación de insumos – Material para encofrado y desencofrado*

<b>RELACIÓN DE INSUMOS - MATERIAL PARA ENCOFRADO Y DESENCOFRADO</b>						
<b>ELEMENTO ESTRUCTURAL</b>	<b>E.AISLADO</b>		<b>E.CONVENCIONAL</b>		<b>Δ</b>	
	<b>gal,kg,p2</b>	<b>%</b>	<b>gal,kg,p2</b>	<b>%</b>	<b>gal,kg,p2</b>	<b>%</b>
PETROLEO D-2	659.20	83%	791.51	100%	-132	-17%
CLAVOS PARA MADERA	1853.30	80%	2328.76	100%	-475	-20%
MADERA TORNILLO	74401.71	81%	91327.02	100%	-16925	-19%

**Gráfica V-34. Resumen de Relación de insumos – Materiales para encofrado y desencofrado**



**Gráfica V-35. Porcentaje de variación de Materiales para encofrado y desencofrado del Edificio aislado respecto al Edificio convencional**



### 5.3.5. Relación de insumos por tipo de acero

En relación de insumos de materiales por tipo de acero se analizó, los pesos totales de alambre n°8, alambre n°16 y acero corrugado grado 60.

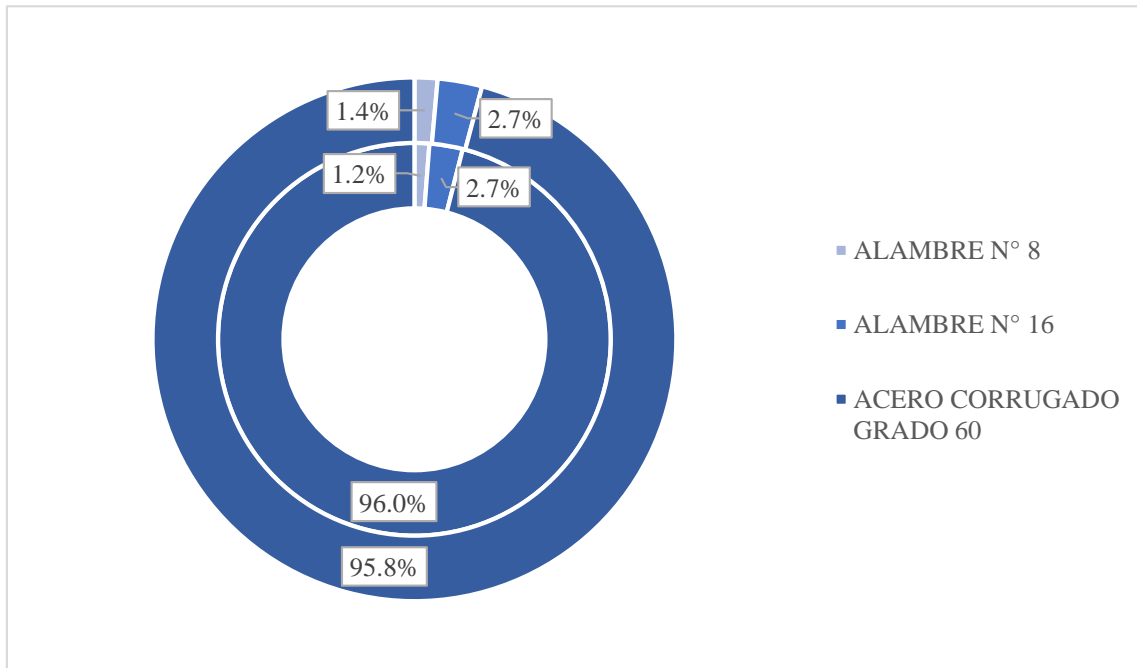
De la Tabla-V-39, Gráfica V-36 y Gráfica V-37, se observa y se infiere que:

- ✓ La relación de insumos en peso de acero total, para el edificio aislado y convencional, fue de 338 y 352 toneladas, respectivamente.
- ✓ La relación de insumos en peso de acero total, para el edificio aislado, disminuyó en 13.8 toneladas, representado por una disminución del 4%.
- ✓ La relación de insumos en peso de acero alambre n°8 total, para el edificio aislado, disminuyó en 0.9 toneladas, representado por un 17%.
- ✓ La relación de insumos en peso de acero alambre n°16 total, para el edificio aislado, disminuyó en 0.4 toneladas, representado por un 4%.
- ✓ La relación de insumos en peso de acero corrugado total para el edificio aislado disminuyó en 12.6 toneladas, representado por un 4%.

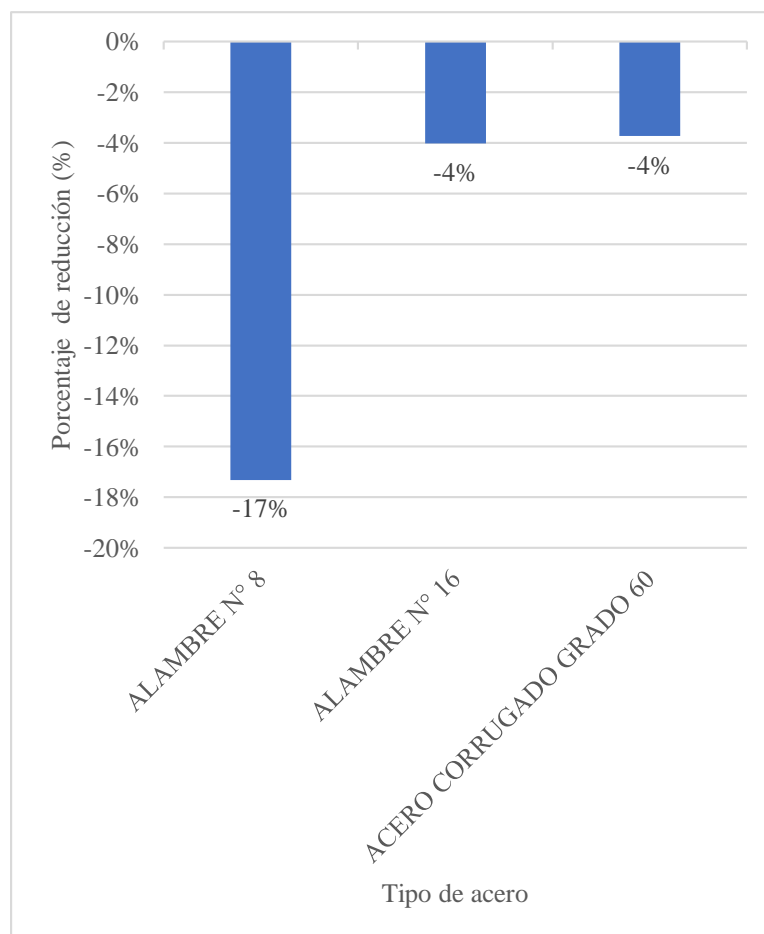
**Tabla-V-39. Resumen de Relación de insumos - Acero**

RELACIÓN DE INSUMOS - ACERO						
ELEMENTO ESTRUCTURAL	E.AISLADO		E.CONVENCIONAL		Δ	
	ton	%	ton	%	ton	%
ALAMBRE N° 8	4.1	83%	5	100%	-0.9	-17%
ALAMBRE N° 16	9.3	96%	10	100%	-0.4	-4%
ACERO CORRUGADO GRADO 60	325	96%	337	100%	-12.6	-4%
<b>ACERO (ton)</b>	<b>338</b>	<b>96%</b>	<b>352</b>	<b>100%</b>	<b>-13.8</b>	<b>-4%</b>

**Gráfica V-36. Resumen de Relación de insumos - Acero**



**Gráfica V-37. Porcentaje de variación de peso de acero del Edificio Aislado respecto al Edificio convencional**



## 5.4. Análisis comparativo económico

Se ha realizado un análisis comparativo de costos de la relación de insumos, para determinar la variación del costo en cada uno de los insumos utilizados. Este análisis es de suma importancia, debido a que nos permite determinar las ventajas económicas en la implementación de un sistema de aislación.

### 5.4.1. Costos de mano de obra

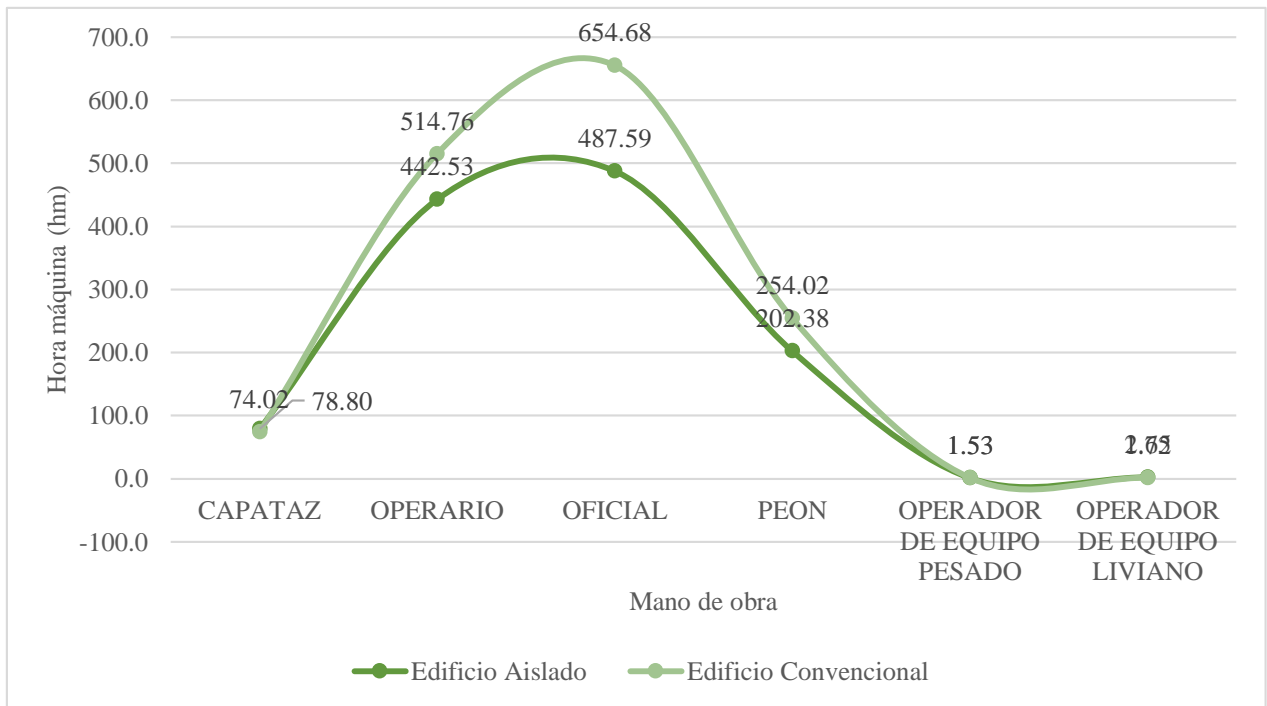
De la Tabla V-40, Gráfica V-38 y Gráfica V-39, se observa que:

- ✓ El costo total en horas hombre para el edificio aislado y convencional fue de 1,2 y 1,5 millones de soles, respectivamente.
- ✓ El costo total en horas hombre, para el edificio aislado, disminuyó en 2,85 millones de soles, obteniendo una disminución del 19% respecto al edificio convencional.
- ✓ La relación de insumos en horas hombre, para el edificio aislado respecto a operario, oficial y peón, disminuyó en 0,72, 1,67 y 0,51 millones de soles, respectivamente, esto debido a que el requerimiento de metrado en concreto, acero y encofrado, disminuyó en un % considerable.
- ✓ La relación de insumos en horas máquinas, para el edificio aislado, respecto operador de equipos, aumentó en 54 %; sin embargo, al estar representado por un costo total de 9 mil soles, este valor es trivial para el costo total de horas hombre.

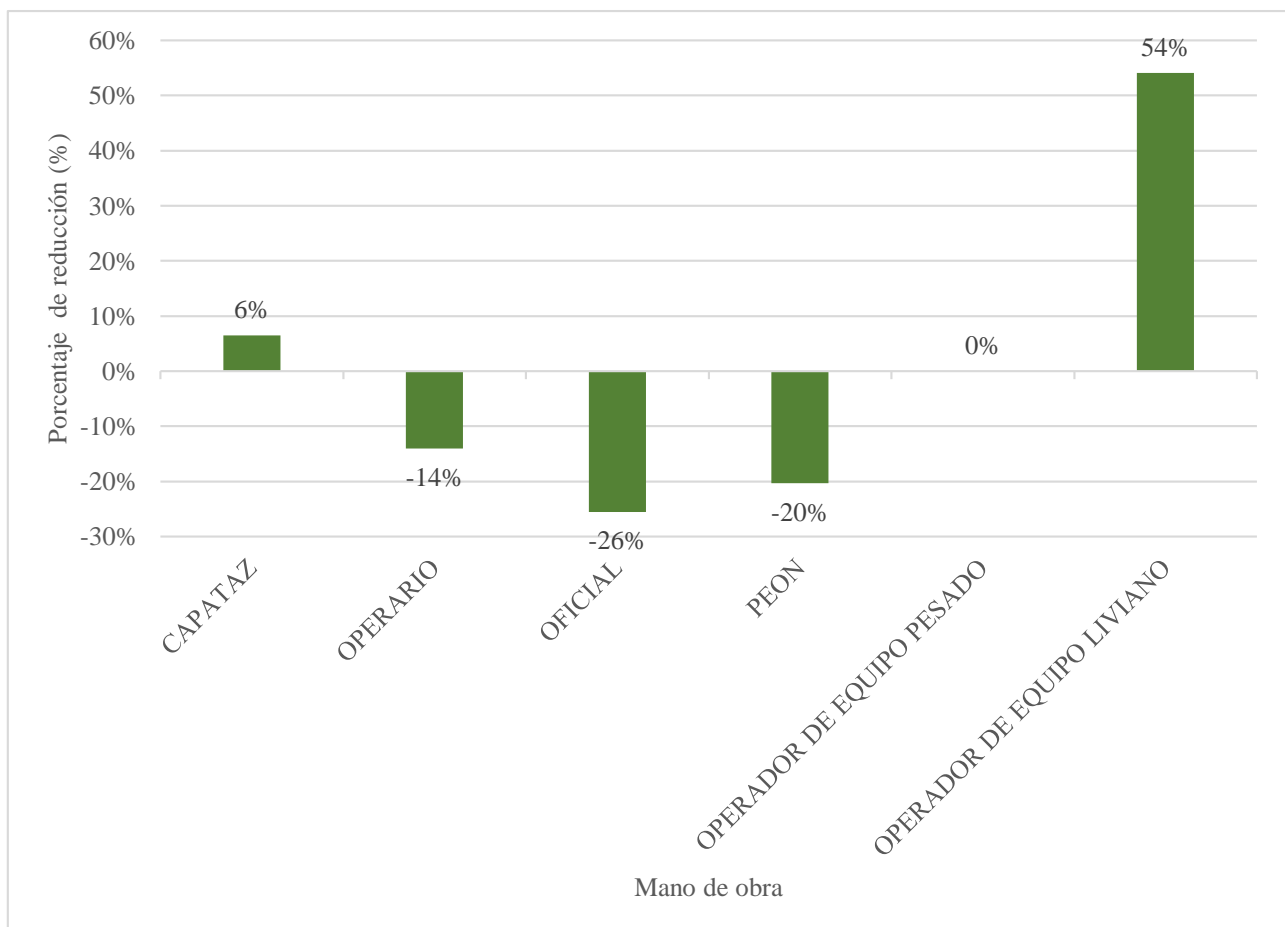
**Tabla V-40. Resumen de Costos – Mano de obra**

COSTO - MANO DE OBRA						
INSUMO	E.AISLADO		E.CONVENCIONAL		Δ	
	S/.	%	S/.	%	S/.	%
CAPATAZ	78.80	106%	74.02	100%	4.8	6%
OPERARIO	442.53	86%	514.76	100%	-72.2	-14%
OFICIAL	487.59	74%	654.68	100%	-167.1	-26%
PEON	202.38	80%	254.02	100%	-51.6	-20%
OPERADOR DE EQUIPO PESADO	1.53	100%	1.53	100%	0.0	0%
OPERADOR DE EQUIPO LIVIANO	2.65	154%	1.72	100%	0.9	54%
<b>TOTAL</b>	<b>1215</b>	<b>81%</b>	<b>1501</b>	<b>100%</b>	<b>-285.3</b>	<b>-19%</b>

**Gráfica V-38. Resumen de Costos – Mano de obra**



**Gráfica V-39. Porcentaje de variación de costos totales de mano de obra del Edificio aislado respecto a Edificio convencional**



## 5.4.2. Costos de equipos

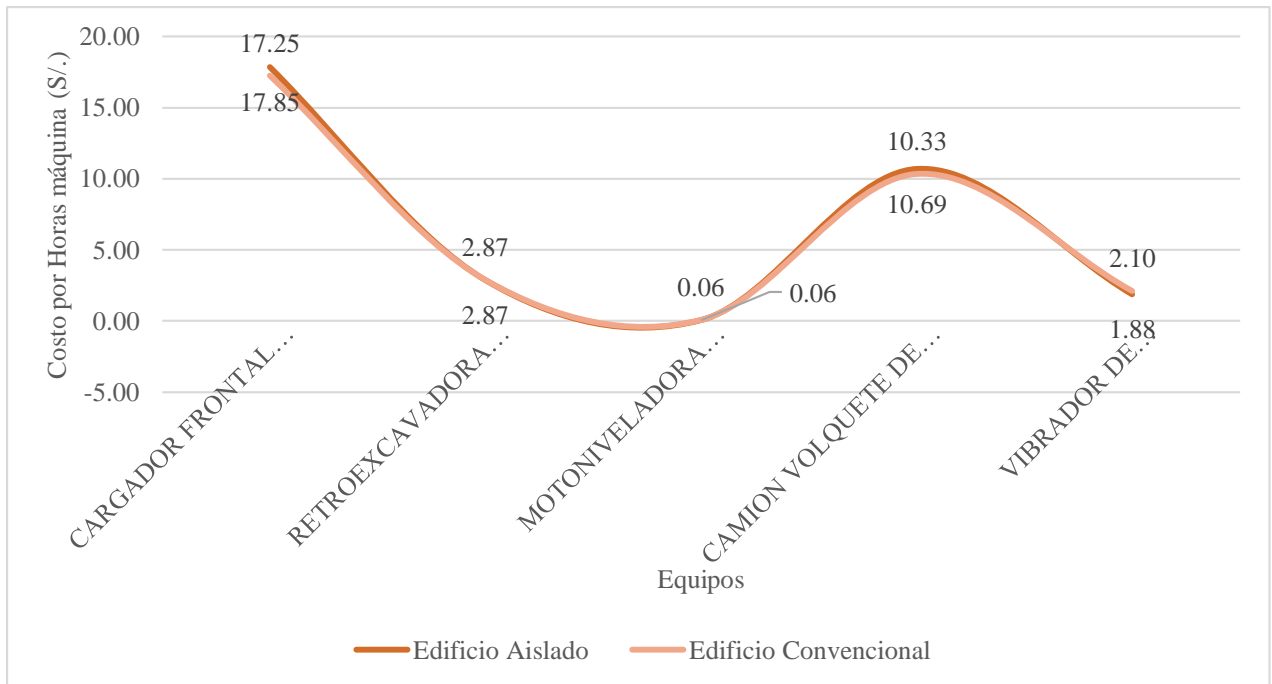
En relación de insumos de mano de obra, se analizó las horas hombre de: capataz, operario, oficial, peón, operador de equipo pesado y operador de equipo liviano. De la Tabla V-40, Gráfica V-41 y Gráfica V-40, se observa y se infiere que:

- ✓ El costo total por horas máquina, para el edificio aislado y convencional, fue de 33,4 y 32,6 mil soles, respectivamente.
- ✓ El costo total en horas máquina, para el edificio aislado, en total disminuyó en tan solo 700 soles, representado por un 2%.
- ✓ El costo total por horas máquina, aumentó ligeramente en 3% en el cargador frontal y el camión volquete, esto debido al incremento del volumen de excavación y eliminación de material excedente en el edificio aislado.
- ✓ El costo total de horas máquina del vibrador de concreto disminuyó en 200 soles, representado por un 11%; esto debido a que el volumen de concreto disminuyó como ya se ha explicado anteriormente.

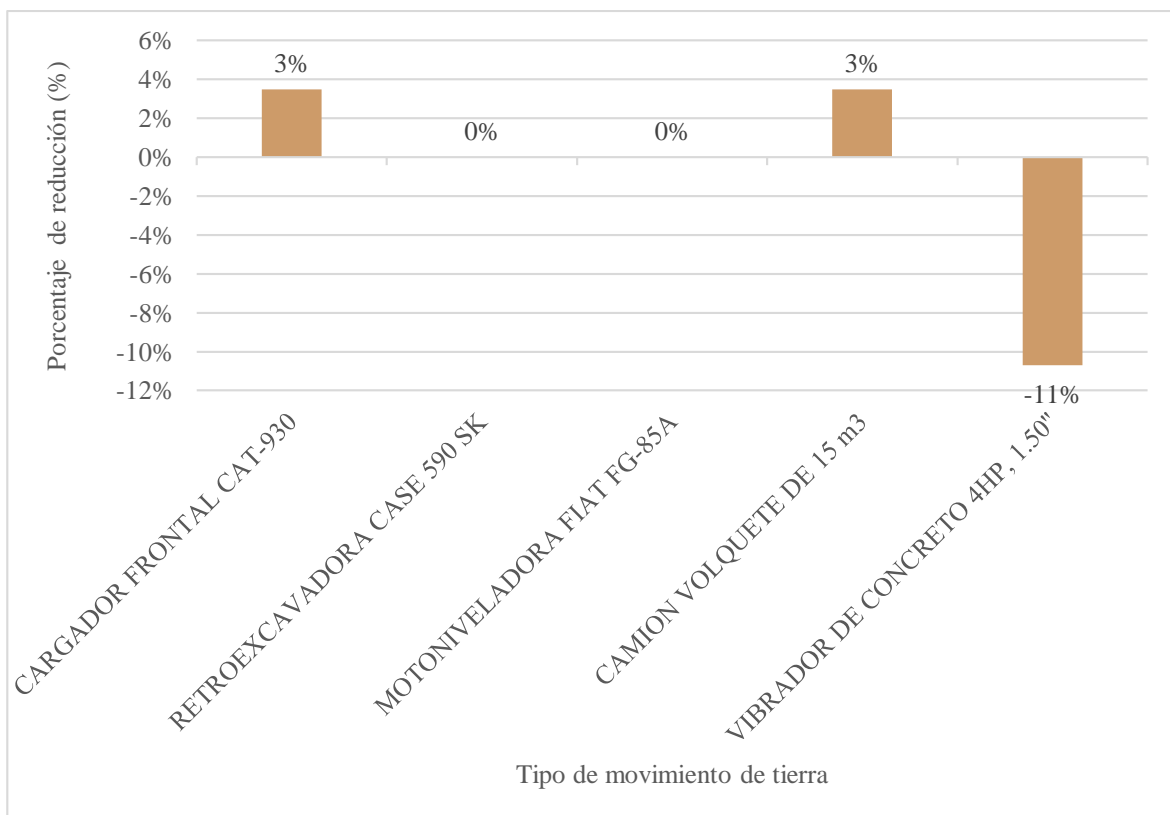
**Tabla V-41. Resumen de Costos - Equipos**

COSTO - EQUIPOS						
INSUMO	E.AISLADO		E.CONVENCIONAL		Δ	
	S/.	%	S/.	%	S/.	%
CARGADOR FRONTAL CAT-930	17.85	103%	17.25	100%	0.6	3%
RETROEXCAVADORA CASE 590 SK	2.87	100%	2.87	100%	0.0	0%
MOTONIVELADORA FIAT FG-85A	0.06	100%	0.06	100%	0.0	0%
CAMION VOLQUETE DE 15 m3	10.69	103%	10.33	100%	0.4	3%
VIBRADOR DE CONCRETO 4HP, 1.50"	1.88	89%	2.10	100%	-0.2	-11%
<b>TOTAL</b>	<b>33</b>	<b>102%</b>	<b>33</b>	<b>100%</b>	<b>0.7</b>	<b>2%</b>

**Gráfica V-41. Resumen de Costos - Equipos**



**Gráfica V-40. Porcentaje de variación de costos totales de equipos del Edificio aislado respecto a Edificio convencional**



### 5.4.3. Costos por tipo de resistencia a la compresión del concreto

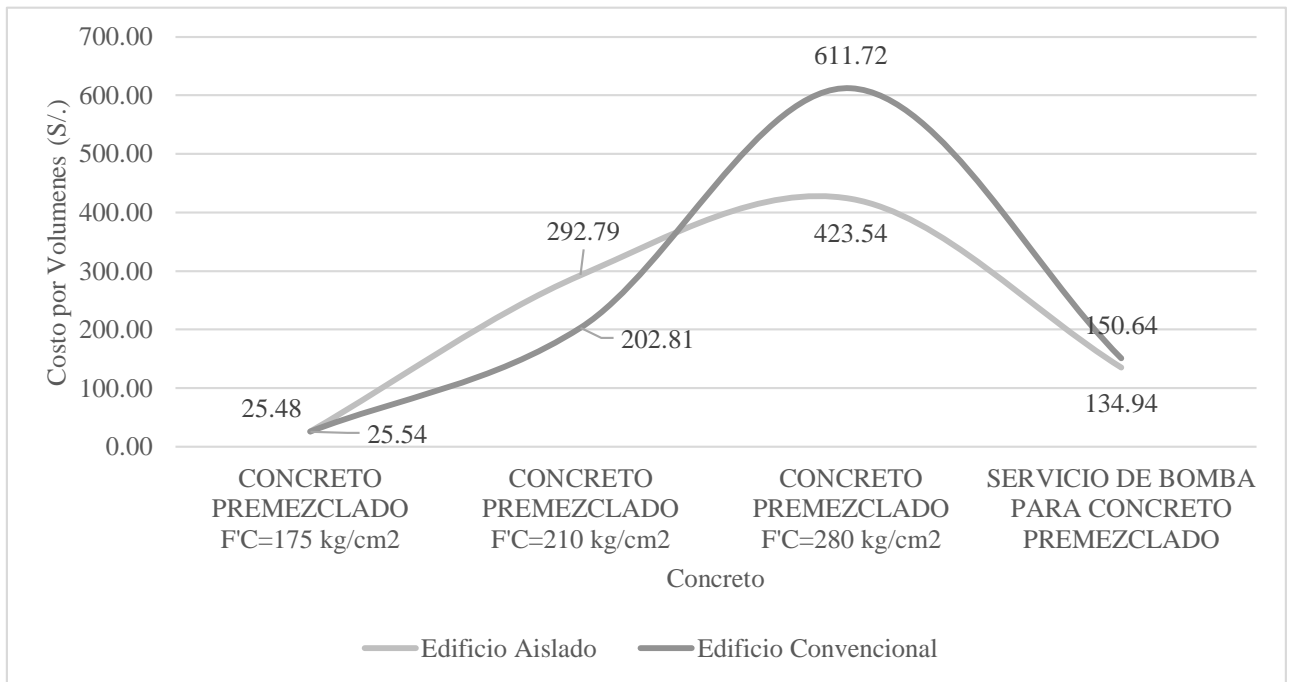
En relación de insumos de concreto, se analizó los volúmenes totales, obtenidos por tipo de resistencia a la compresión del concreto. De la Tabla V-42, Gráfica V-43 y Gráfica V-42, se observa y se infiere que:

- ✓ El costo total en volumen de concreto total, para el edificio aislado y convencional, fue de 742 y 840 mil soles, respectivamente.
- ✓ El costo total en volumen de concreto total, para el edificio aislado, disminuyó en 98,3 mil soles, representado por una disminución del 12%.
- ✓ El costo total por volumen de concreto de resistencia a compresión 210 kg/cm<sup>2</sup>, aumentó en 89,9 mil soles, representado por 44%.
- ✓ El costo total por volumen de concreto de resistencia a la compresión de 280 kg/cm<sup>2</sup>. disminuyó en 188 mil soles, representado por 31%.
- ✓ De manera general se observa que hay una disminución y aumento de volúmenes de concreto; no obstante, el beneficio se visualizará de mejor manera en la comparación de costos según tipo de concreto.

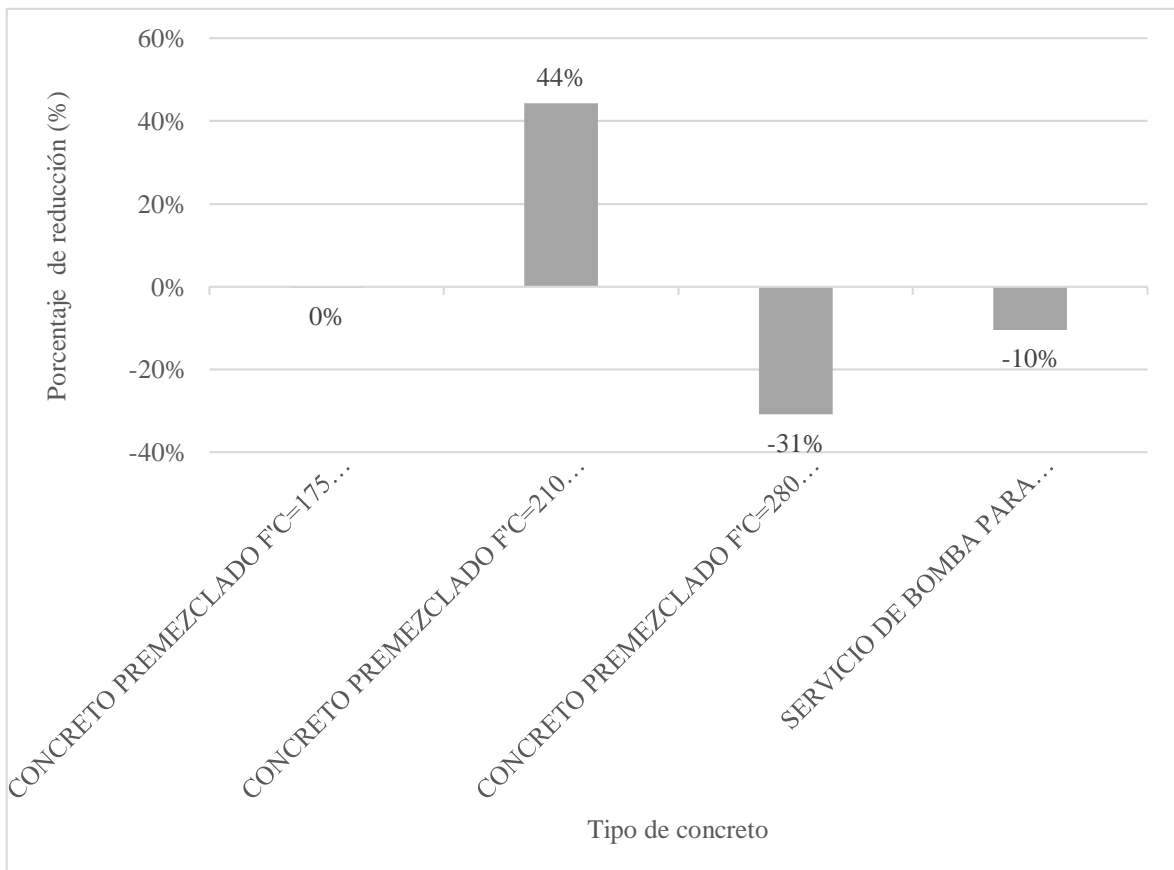
**Tabla V-42. Resumen de Costos – Tipo de concreto**

COSTO - TIPO DE CONCRETO							
INSUMO	f'c kg/cm <sup>2</sup>	E.AISLADO		E.CONVENCIONAL		Δ	
		S/.	%	S/.	%	S/.	%
CONCRETO PREMEZCLADO F'C=175 kg/cm <sup>2</sup>	175	25.48	100%	25.54	100%	-0.06	0%
CONCRETO PREMEZCLADO F'C=210 kg/cm <sup>2</sup>	210	292.79	144%	202.81	100%	89.98	44%
CONCRETO PREMEZCLADO F'C=280 kg/cm <sup>2</sup>	280	423.54	69%	611.72	100%	-188.18	-31%
SERVICIO DE BOMBA PARA CONCRETO PREMEZCLADO		134.94	90%	150.64	100%	-15.70	-10%
<b>TOTAL</b>		<b>742</b>	<b>88%</b>	<b>840</b>	<b>100%</b>	<b>-98.3</b>	<b>-12%</b>

**Gráfica V-43. Resumen de Costos – Tipo de concreto**



**Gráfica V-42. Porcentaje de variación de costos totales por tipo de resistencia a la compresión del concreto del Edificio aislado respecto a Edificio convencional**



#### 5.4.4. Costos de materiales para encofrado y desencofrado

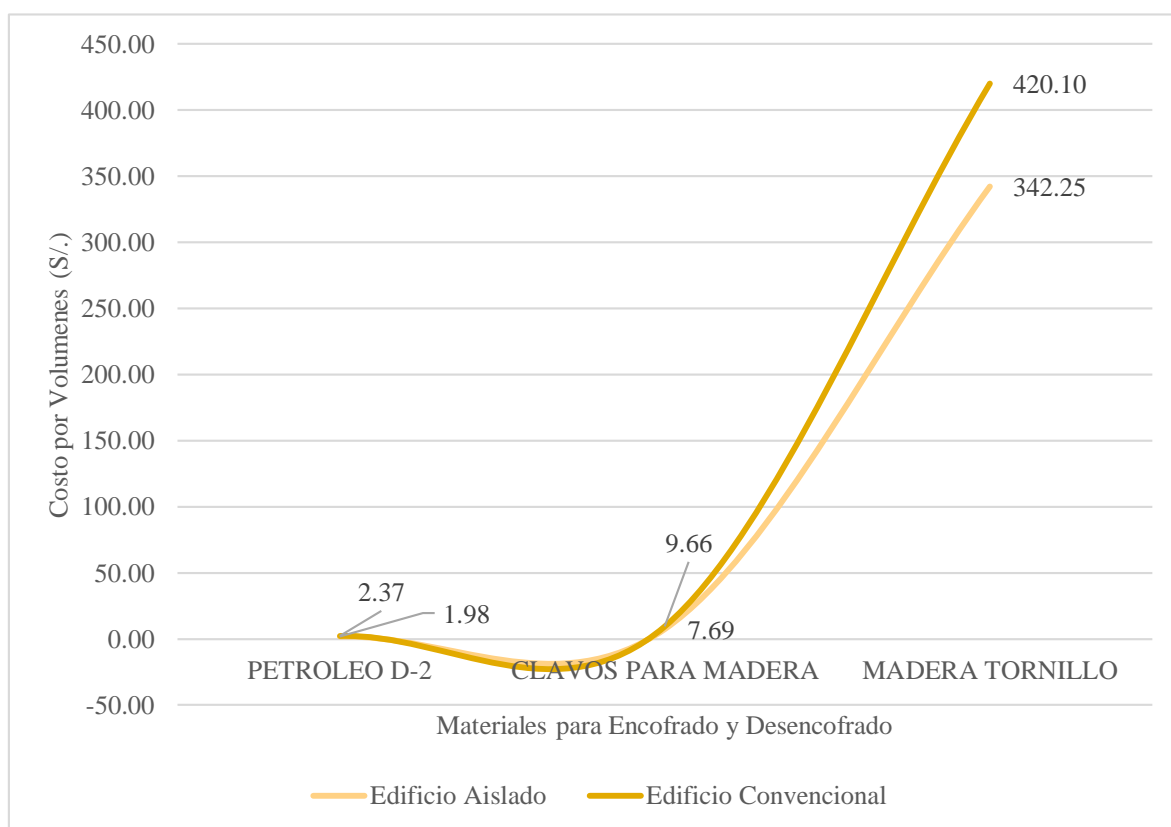
En costos de materiales para encofrado y desencofrado, se analizó los costos totales de los materiales de petróleo, madera y clavos. De la Tabla V-43, Gráfica V-45 y Gráfica V-44, se observa y se infiere que:

- ✓ El costo total en material para volumen de petróleo total para el edificio aislado disminuyó en tan solo 400 soles, representado por una disminución del 17%.
- ✓ El costo total en material para peso de clavos total para el edificio aislado disminuyó en 1970 soles, representado por una disminución del 20%.
- ✓ El costo total en material para área de madera tornillo total para el edificio aislado disminuyó considerablemente en 77 860 soles, representado por una disminución del 19%.
- ✓ El costo total en todos los materiales para encofrado y desencofrado para el edificio aislado disminuyó considerablemente en 80,230 soles, representado por una disminución del 19%.
- ✓ Es importante mencionar que a pesar de la incorporación de elementos estructurales como vigas en sistema de aislación y capiteles. La disminución total siguió predominando.

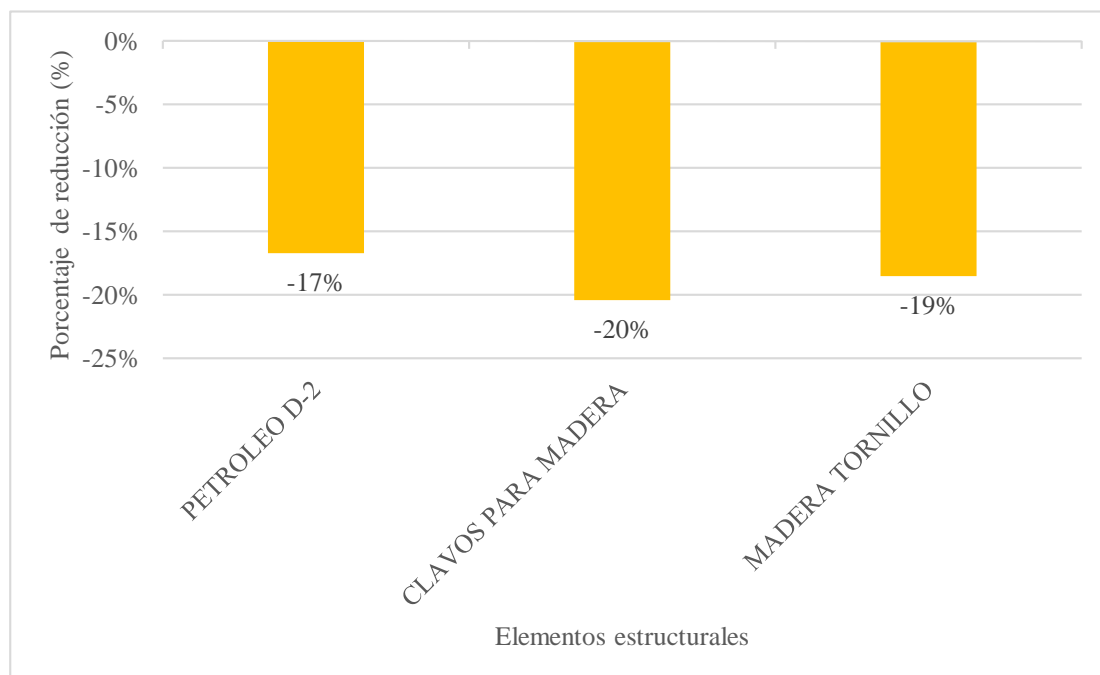
**Tabla V-43. Resumen de Costos – Materiales para encofrado y desencofrado**

<b>COSTO - MATERIALES PARA ENCOFRADO Y DESENCOFRADO</b>						
<b>INSUMO</b>	<b>E.AISLADO</b>		<b>E.CONVENCIONAL</b>		<b>Δ</b>	
	<b>S/.</b>	<b>%</b>	<b>S/.</b>	<b>%</b>	<b>S/.</b>	<b>%</b>
PETROLEO D-2	1.98	83%	2.37	100%	-0.40	-17%
CLAVOS PARA MADERA	7.69	80%	9.66	100%	-1.97	-20%
MADERA TORNILLO	342.25	81%	420.10	100%	-77.86	-19%
<b>TOTAL</b>	<b>351.92</b>	<b>81%</b>	<b>432.14</b>	<b>100%</b>	<b>-80.23</b>	<b>-19%</b>

**Gráfica V-45. Resumen de Costos – Materiales para encofrado y desencofrado**



**Gráfica V-44. Porcentaje de variación de costos totales por materiales para encofrado y desencofrado del Edificio aislado respecto a Edificio convencional**



#### 5.4.5. Costos por tipo de acero

En costos por tipo de acero, se analizó los costos totales de alambre n°8, alambre n°16 y acero corrugado grado 60. De la Tabla V-44, Gráfica V-47 y Gráfica V-46, se observa y se infiere que:

- ✓ El costo de acero total para el edificio aislado y convencional, fue de 795 y 829 mil soles, respectivamente.
- ✓ El costo de acero total para el edificio aislado disminuyó en 33.8 mil soles, representado por una disminución del 4%.
- ✓ El costo total de alambre n°8 total para el edificio aislado disminuyó en 3,6 mil soles, representado por una disminución del 17%.
- ✓ El costo total de alambre n°16 total para el edificio aislado disminuyó en 1,2 mil soles, representado por una disminución del 4%.
- ✓ La relación de insumos en peso de acero corrugado total para el edificio aislado disminuyó en 29,1 mil soles, representado por una disminución del 4%.

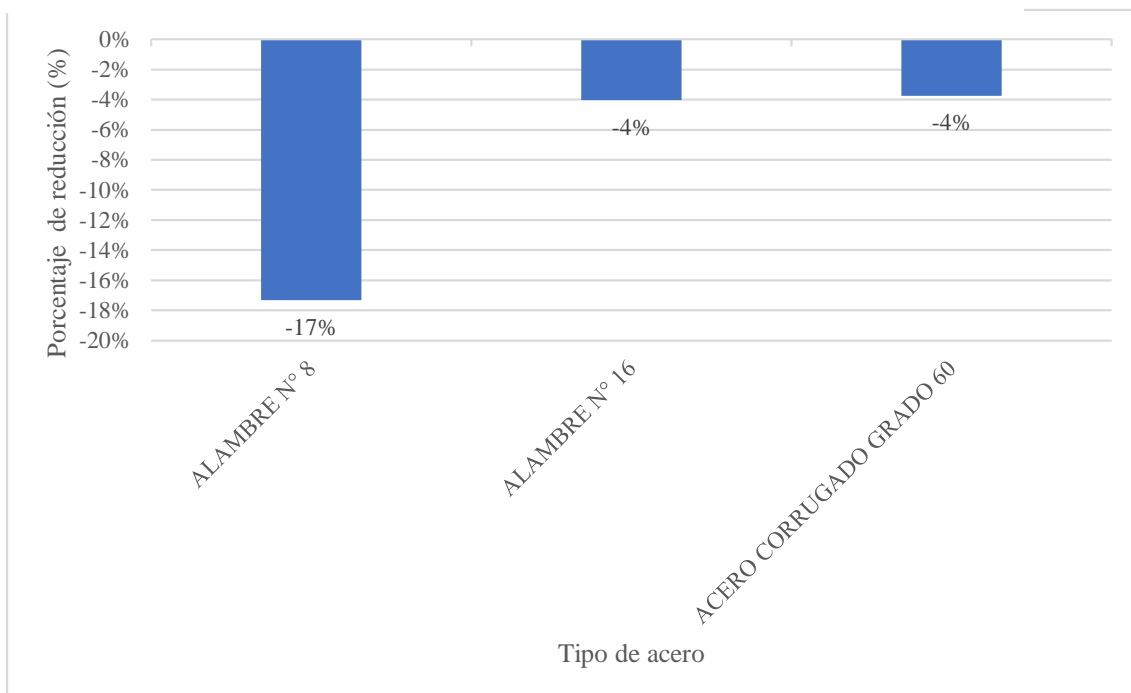
**Tabla V-44. Resumen de Costos – Tipo de acero**

INSUMO	COSTO - ACERO					
	E.AISLADO		E.CONVENCIONAL		Δ	
	S/.	%	S/.	%	S/.	%
ALAMBRE N° 8	17.1	83%	21	100%	-3.6	-17%
ALAMBRE N° 16	27.8	96%	29	100%	-1.2	-4%
ACERO CORRUGADO GRADO 60	750	96%	779	100%	-29.1	-4%
<b>TOTAL X S/1,000</b>	<b>795</b>	<b>96%</b>	<b>829</b>	<b>100%</b>	<b>-33.8</b>	<b>-4%</b>

**Gráfica V-47. Resumen de Costos – Tipo de acero**



**Gráfica V-46. Porcentaje de variación de costos totales por tipo de acero del Edificio aislado respecto a Edificio convencional**



#### 5.4.6. Costos de ladrillo

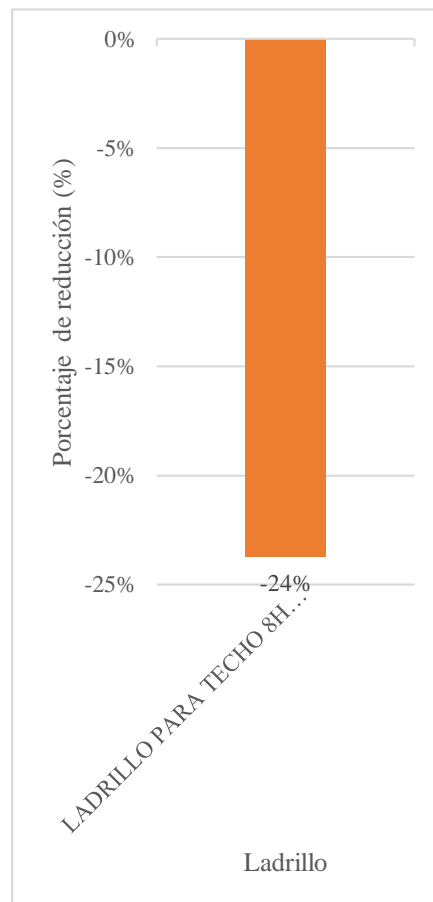
El metrado de ladrillo de techo se realizó para la partida de losa aligerada. De la Tabla V-45 y Gráfica V-48, se observa e infiere que:

- ✓ El costo total de ladrillo de techo fue de 63 y 82 mil soles, para el edificio aislado y convencional, respectivamente.
- ✓ El costo total de ladrillo de techo disminuyó en 19,5 mil soles, representado por 24% respecto al edificio aislado.

**Tabla V-45. Resumen de costos - Ladrillo**

COSTO - LADRILLO						
INSUMO	E.AISLADO		E.CONVENCIONAL		Δ	
	S/.	%	S/.	%	S/.	%
LADRILLO PARA TECHO 8H DE 15X30X30 cm	62.83	76%	82.38	100%	-20	-24%
<b>TOTAL X S/1,000</b>	63	76%	82	100%	19.5	-24%

**Gráfica V-48. Porcentaje de variación de costos totales de ladrillos del Edificio aislado respecto a Edificio convencional**



## 5.5. Análisis general por relación de insumos y costos totales

De la Tabla V-47. Resumen de Relación de insumos y Costos totales – Mano de obra, se infiere que:

- ✓ El costo total por horas hombre de capataz, aumentó en 6.5%; mientras que las del operario, oficial y peón disminuyeron en 14%, 25%, 20%, respectivamente.
- ✓ El costo total por horas hombre, disminuyó en 19%, equivalente a S/. 285,000.

De la Tabla V-48. Resumen de Relación de insumos y Costo total – Materiales, se infiere que:

- ✓ El costo total por materiales de acero, madera, concreto y ladrillo, disminuyó en porcentajes de hasta un 30.8%; sin embargo, por aisladores sísmicos y concreto de 210 kg/cm<sup>2</sup> aumentaron en ,100% y 44%, respectivamente.
- ✓ El costo total por materiales, aumentó en 36%, equivalente a S/. 844 000.

De la Tabla V-46. Resumen de Relación de insumos y Costo total – Equipos, se infiere que:

- ✓ El costo total por horas máquina de herramientas manuales y vibrador de concreto, disminuyó en 18.3% y 10.7%, respectivamente; mientras que, por cargador frontal y camión volquete, aumentó en 3.5% en ambos casos.
- ✓ El costo total por horas máquina, aumentó en 10.3%, equivalente a S/8,600.

De la Tabla V-50. Costos por metro cuadrado (con aisladores sísmicos) y Tabla V-51. Costo por metro cuadrado (sin aisladores sísmicos), se infiere que:

- ✓ El costo total de la edificación con sistema de aislación sísmica respecto al sistema convencional aumentó en 13.8%, equivalente a S/530,000. Por otro lado, si no se consideraran los aisladores, habría una disminución del 14%, equivalente a S/540,000. Esto significa que la inclusión de un sistema de aislación sísmica, equivale a un aumento de S/1, 070,000.

















**Tabla V-47. Resumen de Relación de insumos y Costos totales – Mano de obra**

<b>RESUMEN DE MANO DE OBRA</b>										
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>RELACIÓN DE INSUMOS</b>					<b>COSTO TOTAL ( X S/.1 000)</b>				<b>BARRA</b>
	UND	E.AISL.	E.CONV.	Δ	%	E.AISL.	E.CONV.	Δ	%	
CAPATAZ	hh	3,414.05	3,207.03	207.0	6.5%	78.80	74.02	4.8	6.5%	
OPERARIO	hh	23,012.23	26,768.63	-3756.4	-14.0%	442.53	514.76	-72.2	-14.0%	
OFICIAL	hh	30,589.36	41,071.23	-10481.9	-25.5%	487.59	654.68	-167.1	-25.5%	
PEON	hh	14,122.68	17,726.74	-3604.1	-20.3%	202.38	254.02	-51.6	-20.3%	
OPERADOR DE EQUIPO PESADO	hh	95.82	95.82	0.0	0.0%	1.53	1.53	0.0	0.0%	
OPERADOR DE EQUIPO LIVIANO	hh	133.35	86.56	46.8	54.1%	2.65	1.72	0.9	54.1%	
<b>TOTAL</b>	<b>hh</b>	<b>71,367.48</b>	<b>88,956.01</b>	<b>-17588.5</b>	<b>-19.8%</b>	<b>1,215.48</b>	<b>1,500.73</b>	<b>-285.3</b>	<b>-19.0%</b>	

**Tabla V-46. Resumen de Relación de insumos y Costo total – Equipos**

<b>RESUMEN DE EQUIPOS</b>										
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>RELACIÓN DE INSUMOS</b>					<b>COSTO TOTAL ( X S/.1 000)</b>				<b>BARRA</b>
	UND	E.AISL.	E.CONV.	Δ	%	E.AISL.	E.CONV.	Δ	%	
HERRAMIENTAS MANUALES	%mo	0.00	0.00	0.0		41.89	51.25	-9.4	-18.3%	
CARGADOR FRONTAL CAT-930	hm	178.47	172.47	6.0	3.5%	17.85	17.25	0.6	3.5%	
RETROEXCAVADORA CASE 590 SK	hm	95.82	95.82	0.0	0.0%	2.87	2.87	0.0	0.0%	
MOTONIVELADORA FIAT FG-85A	hm	5.79	5.79	0.0	0.0%	0.06	0.06	0.0	0.0%	
CAMION VOLQUETE DE 15 m3	hm	356.27	344.29	12.0	3.5%	10.69	10.33	0.4	3.5%	
VIBRADOR DE CONCRETO 4HP, 1.50"	hm	355.45	398.06	-42.6	-10.7%	1.88	2.10	-0.2	-10.7%	
<b>TOTAL</b>	<b>hm</b>	<b>991.80</b>	<b>1,016.44</b>	<b>-24.6</b>	<b>-2.4%</b>	<b>75.24</b>	<b>83.86</b>	<b>-8.6</b>	<b>-10.3%</b>	

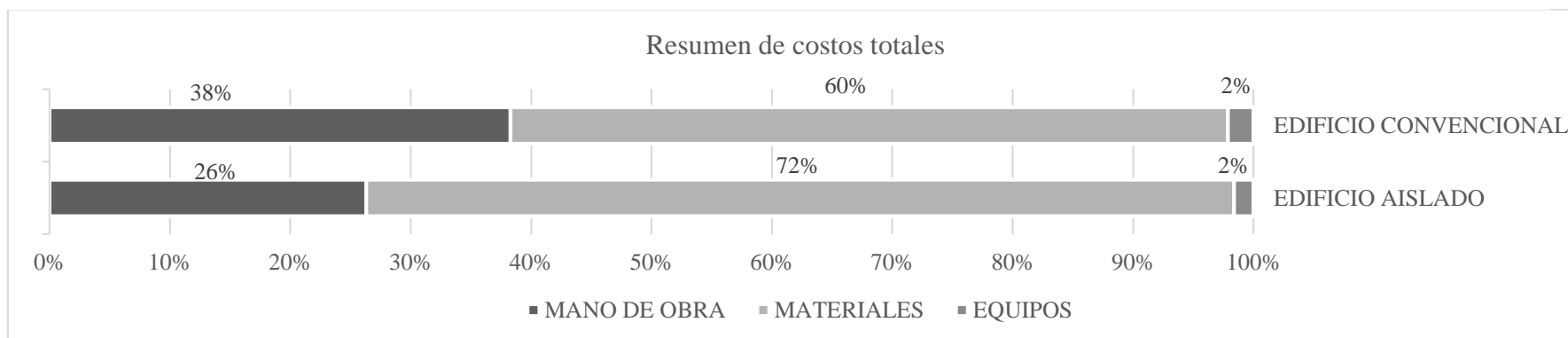
**Tabla V-48. Resumen de Relación de insumos y Costo total – Materiales**

<b>RESUMEN DE MATERIALES</b>										
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>RELACIÓN DE INSUMOS</b>					<b>COSTO TOTAL ( X S/1 000)</b>				<b>BARRA</b>
	UND	E.AISL.	E.CONV.	Δ	%	E.AISL.	E.CONV.	Δ	%	
PETROLEO D-2	gal	659.20	791.51	-132.3	-16.7%	1.98	2.37	-0.4	-16.7%	
ALAMBRE N° 8	kg	4,129.76	4,994.41	-864.7	-17.3%	17.14	20.73	-3.6	-17.3%	
ALAMBRE N° 16	kg	9,265.63	9,654.51	-388.9	-4.0%	27.80	28.96	-1.2	-4.0%	
ACERO CORRUGADO GRADO 60	kg	324,581.40	337,168.53	-12587.1	-3.7%	749.78	778.86	-29.1	-3.7%	
CLAVOS PARA MADERA	kg	1,853.30	2,328.76	-475.5	-20.4%	7.69	9.66	-2.0	-20.4%	
LADRILLO PARA TECHO 8H DE 15X30X30 cm	mll	37.88	49.65	-11.8	-23.7%	62.83	82.38	-19.5	-23.7%	
CONCRETO PREMEZCLADO F'C=175 kg/cm2	m3	110.56	110.81	-0.3	-0.2%	25.48	25.54	-0.1	-0.2%	
CONCRETO PREMEZCLADO F'C=210 kg/cm2	m3	1,243.27	861.18	382.1	44.4%	292.79	202.81	90.0	44.4%	
CONCRETO PREMEZCLADO F'C=280 kg/cm2	m3	1,644.82	2,375.62	-730.8	-30.8%	423.54	611.72	-188.2	-30.8%	
SERVICIO DE BOMBA PARA CONCRETO PREMEZCLADO	m3	2,998.65	3,347.61	-349.0	-10.4%	134.94	150.64	-15.7	-10.4%	
MADERA TORNILLO	p2	74,401.71	91,327.02	-16925.3	-18.5%	342.25	420.10	-77.9	-18.5%	
AISLADOR SÍSMICO HDR DE 60 CM	und	9.00	0.00	9.0	100.0%	220.50	0.00	220.5	100.0%	
AISLADOR SÍSMICO HDR DE 65 CM	und	23.00	0.00	23.0	100.0%	657.80	0.00	657.8	100.0%	
AISLADOR SÍSMICO HDR DE 70 CM	und	6.00	0.00	6.0	100.0%	186.90	0.00	186.9	100.0%	
DESLIZADOR SÍSMICO	und	6.00	0.00	6.0	100.0%	180.00	0.00	180.0	100.0%	
<b>TOTAL</b>						<b>3,331.42</b>	<b>2,333.78</b>	<b>997.6</b>	<b>42.7%</b>	

**Tabla V-49. Resumen de Relación de Insumos y Costos total**

RESUMEN TOTAL												
DESCRIPCIÓN	RELACIÓN DE INSUMOS					COSTO TOTAL ( X S/.1 000)						BARRA
	UND	E.AISL.	E.CONV.	Δ	%	E.AISL.	%	E.CONV.	%	Δ	%	
MANO DE OBRA	hh	71,367.48	88,956.01	-17588.5	-19.8%	1,215.48	26%	1,500.73	38%	-285.3	-19.0%	
MATERIALES						3,331.42	72%	2,333.78	60%	997.6	42.7%	
EQUIPOS	hm	991.80	1,016.44	-24.6	-2.4%	75.24	2%	83.86	2%	-8.6	-10.3%	
<b>TOTAL</b>						<b>4,622.14</b>	<b>100.0%</b>	<b>3,918.38</b>	<b>100%</b>	<b>703.8</b>	<b>18.0%</b>	

**Gráfica V-49. Resumen de Costos totales**



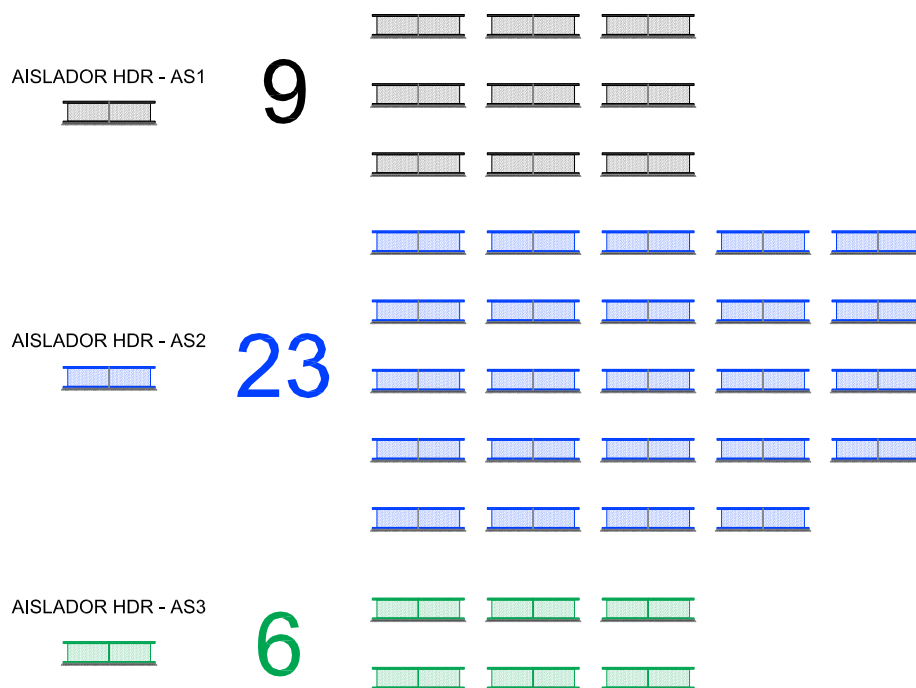
**Tabla V-50. Costos por metro cuadrado (con aisladores sísmicos)**

<b>COSTO POR METRO CUADRADO - CON AISLADORES SÍSMICOS</b>				
	E.AISL.	E.CONV.	$\Delta$	%
Área construida (m2)	718.58	718.58		
Costo total (S/.)	4,622,141	3,918,380	-703,761	18.0
Costo (S/./m2)	6,432	5,453	-979	18.0

**Tabla V-51. Costo por metro cuadrado (sin aisladores sísmicos)**

<b>COSTO POR METRO CUADRADO - SIN AISLADORES SÍSMICOS</b>				
	E.AISL.	E.CONV.	$\Delta$	%
Área construida (m2)	718.58	718.58		
Costo total (S/.)	3,376,941	3,918,380	541,439	-13.8
Costo (S/./m2)	4,699	5,453	753	-13.8

**Ilustración V-10. Representación de cantidad de aisladores HDR por diámetro.**



## VI. CONCLUSIONES.

1. El costo-beneficio de la inclusión de aisladores sísmicos en el sistema estructural de la edificación analizada de tipo residenciales, luces en promedio de 6 metros, nueve niveles, dos sótanos, estructura regular, suelo blando y nivel freático alto; ante un evento sísmico de magnitud elevada, es que a corto plazo será eficiente estructuralmente; sin embargo, económicamente, implicará un aumento del costo de la especialidad de estructuras del 18%, representado por S/. 703,761.00.
2. Del análisis comparativo estructural, se determinó que los tipos de aisladores HDR, LRB y FPS, para el presente proyecto de investigación, evidenciaron comportamientos favorables y similares. Finalmente, por optimización de costos, se consideró el sistema de aislación HDR como el más favorable, por ser el más económico.
3. El amortiguamiento verdadero de la estructura con sistema de aislación de alto amortiguamiento (HDR) observado en el análisis no lineal, estuvo por encima y cercano, del supuesto en la etapa de diseño, razón por la cual no fue necesario aumentar su amortiguamiento a través de la incorporación de aisladores con núcleo de plomo (LRB).
4. El diseño estructural de una edificación con sistema de aislación, debe garantizar que su periodo estructural esté suficientemente alejado y por encima del periodo del suelo, con el objetivo de que la misma, no incurra en un problema por resonancia sísmica.
5. La altura del sótano de una edificación con sistemas de aislación siempre será mayor que la de una edificación con sistema convencional, debido a la altura total incorporada por las vigas del sistema de aislación, capiteles y aisladores. Sin embargo, la altura de los muros de contención dependerá de la arquitectura y la geotecnia del proyecto.
6. La optimización de metrado, relación de insumos y costos, de los muros de sótanos de un edificio aislado se podría lograr a través de un diseño arquitectónico que considere reducir el número de gradas de la escalera en el sótano. Sin embargo, está afectada por el tipo de diseño y proceso constructivo.

7. Las propiedades mecánicas más importantes de los aisladores son: rigidez horizontal, comportamiento de volteo (rigidez de flexión); debido a que ambos influyen directamente en los desplazamientos y definen los factores de seguridad requeridos.
8. La inclusión de un sistema de aislamiento en edificios con sótano ocasionaría el aumento considerablemente de la pendiente de la rampa.
9. Solo para el ascensor y escalera, se decidió ubicar el sistema de aislamiento en la base inicial de ambos; es decir, su cimentación, debido a que en el caso del ascensor los rieles son elementos mecánicos que no pueden partirse y en el caso de la escalera para evitar realizar modificaciones abruptas.

## **VII. RECOMENDACIONES.**

1. Ampliar el estudio del costo-beneficio de la inclusión de aisladores sísmicos en el presente proyecto a través de: un análisis a largo plazo y la inclusión del análisis comparativo de metrados, relación de insumos y costos, para las demás especialidades tales como: Arquitectura, Instalaciones Sanitarias, Instalaciones eléctricas, entre otros.
2. Modelar la edificación usando acelerogramas que hayan sido registrados en suelos que representen con mejor precisión las características geotécnicas del terreno. En la presente investigación, se utilizaron los registros sísmicos de Villa el Salvador – departamento de Lambayeque; y aunque, pertenecen a un suelo tipo S3 según el RNE, los valores de las aceleraciones fueron regulares a bajas. Como método alternativo, se recomienda crear sismos artificiales.
3. Utilizar un método de estudio de mecánica de suelo más profundo, que represente con mayor detalle la geotecnia del proyecto, de tal manera que se logre: alcanzar la profundidad de estudio estipulada por la normativa y la estimación de propiedades geotécnicas sea más precisa.
4. Obtener un comportamiento sísmico más eficaz a través de la implementación de un software especializado que considere las propiedades geotécnicas de los estratos a una profundidad considerable, por debajo de la infraestructura.

## VIII. LISTA DE REFERENCIAS.

- [1] E. Norabuena, T. Dixon, S. Seth y C. Harrison, *Decelerating Nazca-South America and Nazca Pacific Plate Motions*, 22 ed., vol. 26, GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS, 1999, pp. 3405-3408.
- [2] Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, *Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), Norma E030 - Diseño Sismorresistente*, Lima: MACRO, 2019.
- [3] D. E. Comercio, «<https://elcomercio.pe/peru/riesgo-sismos-fuertes-mayor-tres-zonas-costa-302626>,» 18 Marzo 2014. [En línea]. [Último acceso: 18 octubre 2015].
- [4] Instituto Nacional de Normalización, *Análisis y diseño de edificios con aislación sísmica, NCh 2745 Of 2003*, 1° ed., 2013.
- [5] P. W. Ruiz Castro, ANÁLISIS Y DISEÑO DE EDIFICIOS CON AISLADORES SÍSMICOS DE PÉNDULO FRICCIONAL DOBLE Y TRIPLE, Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, 2017.
- [6] F. N. a. J. M. Kelly, *Design of Seismic Isolated Structures. From Theory to Practice*, California: John Wiley & Sons, INC, 1999.
- [7] J. A. Arriagada Rosas, *Aislación Sísmica de un Edificio de Oficinas de Siete Pisos. (Análisis Comparativo de Comportamiento y Costos con un Edificio Tradicional).*, Valdivia: Universidad Austral de Chile, 2005.
- [8] Ing. Alvaro Talavera Gómez, «Experiencia nacional en edificaciones con sistemas de protección sísmica,» Gallegos Casabonne Arango Quesada: GSAQ Ingenieros civiles, Octubre 2017. [En línea]. Available: [http://www3.vivienda.gob.pe/dnc/archivos/difusion/eventos/2017/5.Experien%20Nacional%20en%20Sist.%20de%20protec.%20s%20C3%ADsmica%20\(Alvaro%20Talavera\).pdf](http://www3.vivienda.gob.pe/dnc/archivos/difusion/eventos/2017/5.Experien%20Nacional%20en%20Sist.%20de%20protec.%20s%20C3%ADsmica%20(Alvaro%20Talavera).pdf). [Último acceso: 22 Noviembre 2018].
- [9] J. J. Muñoz Guerra, ANÁLISIS Y DISEÑO DE UNA ESTRUCTURA HOSPITALARIA CON AISLADORES SISMICOS EN LA CIUDAD DE AREQUIPA”, Arequipa: Universidad Católica de Santa María, 2003.
- [10] Federal Emergency Management Agency (FEMA), «Diapositivas de FEMA 415b. NEHRP Recommended Provisions for new buildings and other structures,» 2007.
- [11] H. Tavera y I. Bernal, «Distribución espacial de áreas de ruptura y lagunas sísmicas en el borde oeste del Perú,» *Boletín de la Sociedad Geológica del Perú*, vol. 6, pp. 89-102, 2005.
- [12] B. Briones, C. Gubbins y H. Sady, «Diseño del sistema de aislamiento sísmico de Edificio Madre - Memoria de cálculo de sistema de aislamiento,» Prisma ingeniería, Lima, 2015.

- [13] LABOK Grupo Inmobiliario, «Edificio con sistema de aisladores sísmicos - Atlantik Ocean Tower,» Adondevivir, 2015. [En línea]. Available: <https://www.adondevivir.com/propiedades/edificio-con-sistema-de-aisladores-sismicos-atlantik-1112865.html#.VGbV5PmG-kE>. [Último acceso: 18 agosto 2015].
- [14] P. A. Korswagen Eguren, J. C. Arias Ricse y P. G. Huaranga Huamaní, ANÁLISIS Y DISEÑO DE ESTRUCTURAS CON AISLADORES SÍSMICOS EN EL PERÚ, Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP), 2012.
- [15] Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI), PLAN DE PREVENCIÓN ANTE DESASTRES: USOS DEL SUELO Y MEDIDAS DE MITIGACIÓN CIUDAD DE CHICLAYO, Chiclayo: INDECI, 2003.
- [16] A. Basauri y L. Diez, Tesis de pregrado. "Microzonificación de la ciudad de Chiclayo y zonas de expansión", Lambayeque: Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo (UNPRG), 2001.
- [17] U. C. S. T. d. Mogrovejo, USAT, 9 setiembre 2013. [En línea]. Available: <http://www.usat.edu.pe/socialusat-campus-y-comunidad/noticias-por-escuela/ingenieria-civil-y-ambiental/1583-presentan-metodo-para-la-construccion-de-sotanos-en-lugares-con-nivel-freatico-alto-y-suelos-blandos> (último acceso: 18 de octubre de 2014).. [Último acceso: 14 mayo 2014].
- [18] American Society of Civil Engineers, *Minimum Design Loads for Building and Other Structures. Revision of ASCE 7-10*, Virginia: Structural Engineering Institute (SEI), 2010.
- [19] Computers and Structures, Inc (CSI), «SAP2000 V.19,» California, 2018.
- [20] Seismosoft, Earthquake Engineering Software Solutions., «Software SeismoMatch,» Pavia.
- [21] Seismosoft, Earthquake Engineering Software Solutions., «Software SeismoArtif,» Pavia.
- [22] Software SeismoArtif, «Software SeismoSignal,» Pavia.
- [23] Computers and Structures, Inc (CSI), «ETABS v.16,» California, 2016.
- [24] Computers and Structures, Inc (CSI), «SAFE 2016,» California, 2016.
- [25] CYPE Ingenieros, «Muros Pantalla. Software para Arquitectura, Ingeniería y Construcción,» CYPE Ingenieros Perú, Lima, 2018.
- [26] DISEPRO: Ingenieros Estructurales, «Diplomado "Diseño de sistemas de protección sísmica: aisladores de base y disipadores de energía",» DISEPRO: Ingenieros Estructurales, Lima, 2016.
- [27] Colegio de Ingenieros del Perú (CIP), Código Deontológico del Colegio de Ingenieros del Perú, Lima, 2012.
- [28] Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, *Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), Norma E060 - Concreto Armado*, Lima: MACRO, 2016.

- [29] P. Castillo González, «Propuesta de proceso constructivo para cimentaciones en zonas de suelos arenosos con nivel freático alto en el centro cívico de Chiclayo,» Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, Chiclayo, 2015.
- [30] B. Corporation, Seismic Isolation Product Line-up, Tokyo: Infrastructure Products Business Development Department, 2015.
- [31] T. H. Olano Facundo, «Comparación del comportamiento sísmico del edificio Juan Pablo II de la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo utilizando aisladores de energía sísmica y el sistema convencional de construcción,» Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, Chiclayo, 2014.
- [32] Z. A. Dr. Ing. Bardales y J. Dr. Ing. Alva Hurtado, MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DE LIMA, Lima: Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), 2004.
- [33] J. S. Proaño Sarango, ANÁLISIS Y DISEÑO SÍSMICO DE UN EDIFICIO EN ACERO CON AISLADORES SÍSMICOS, MODELAMIENTO EN EL ETABS, Quito: Universidad Central del Ecuador, 2014.
- [34] G. Ottazi Pasino, DISEÑO EN CONCRETO ARMADO, Lima: Asociación Capítulo Peruano del Instituto Americano del Concreto ACI-Perú, 2011.
- [35] DYNAMIC ISOLATION SYSTEMS, *Aislamiento Sísmico para edificios y puentes*, McCarran, Nevada, 2004.
- [36] C. Villalaz Crespo, MECÁNICA DE SUELOS Y CIMENTACIONES, México DF: Limusa, 2004.
- [37] B. M. Das, Fundamentos de ingeniería de cimentaciones, 7ma ed., CENGAGE Learning, 2010.
- [38] F. Muzás Labad, «Consideraciones sobre la elección de coeficiente de balasto,» *Obras Públicas*, pp. 45-51, Noviembre 2002.
- [39] R. Peck, W. Hanson y T. Thornburn, INGENIERÍA DE CIMENTACIONES, Noriega, Ed., México DF: Limusa.
- [40] R. Meza Blandón y E. Sánchez García, «Guía de diseño sísmico de aisladores elastoméricos y de fricción para la república de Nicaragua,» Universidad Nacional de Ingeniería, Nicaragua, 2010.

## IX. ANEXOS.

### 9.1. Anexo 1. Reporte de Ensayo SPT N°02



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL  
LABORATORIO DE CONCRETO, SUELOS Y PAVIMENTOS USAT

INFORME N°001 - 2016 LEM USAT

METODO DE ENSAYO DE PENETRACION ESTANDAR (SPT)

NTP 359-153

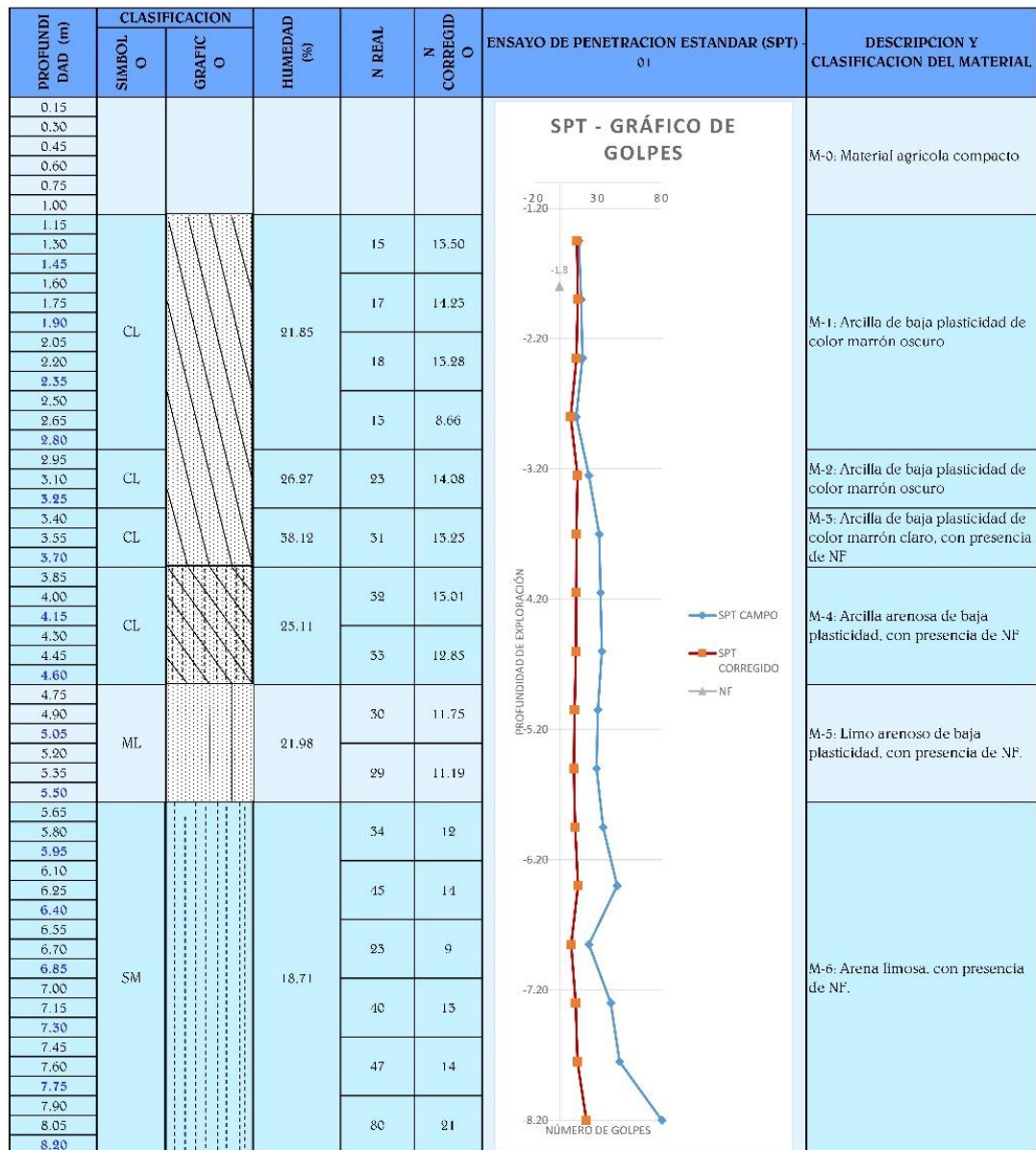
GRAFICO DE PENETRACION ESTANDAR(SPT)

ESCUELA: Ingeniería Civil Ambiental

TESISTA: David Christ Millones Cumpa

TESIS: Estudio comparativo de una edificación de nueve niveles, sótano y semisótano, con y sin aisladores sísmicos.

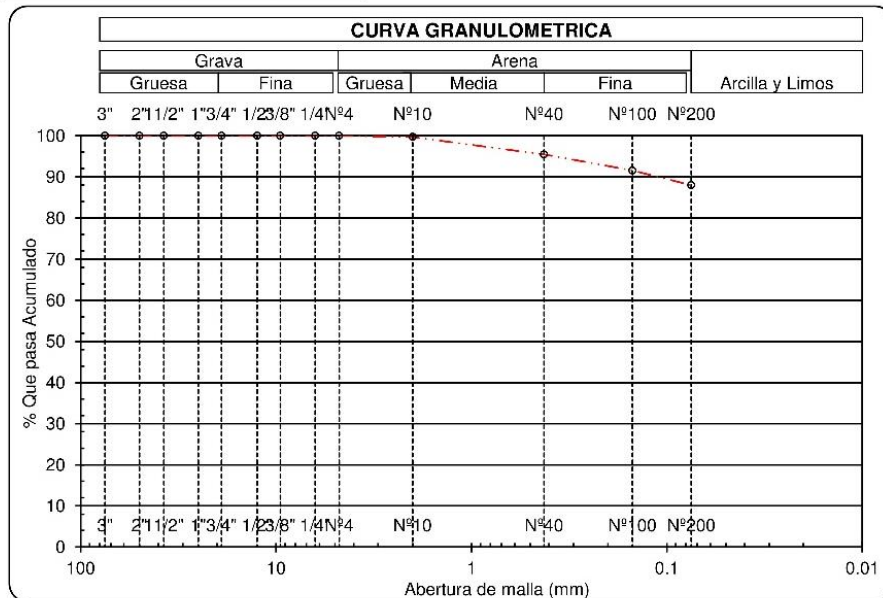
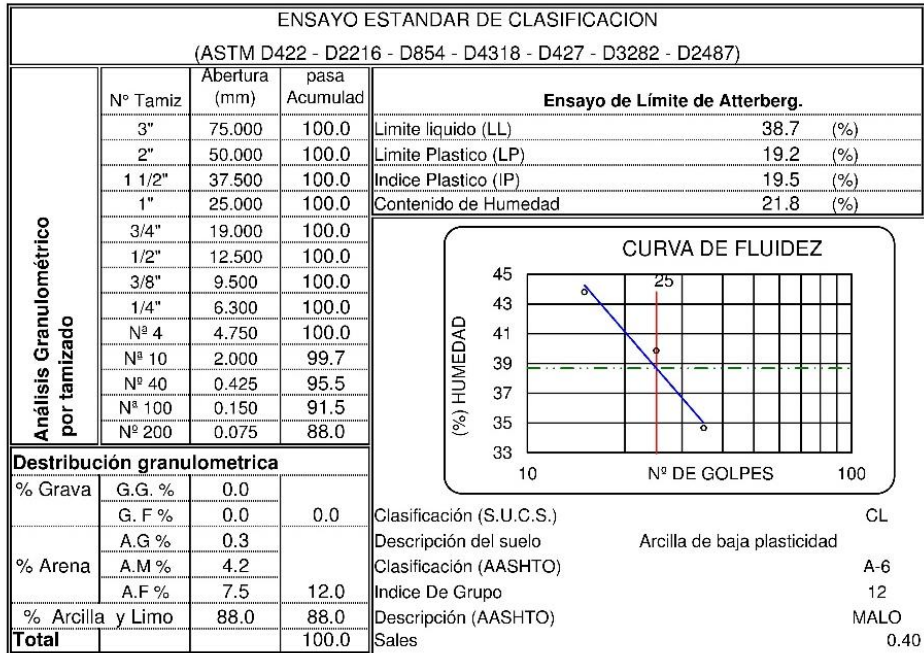
UBICACIÓN: Parque frente al Colegio Santa Angela, calle abtao. Urb. Santa Victoria



## 9.2. Anexo 2. Reporte de Clasificación de Suelos SPT-1/M-1

USAT  
LABORATORIO DE ENSAYO DE SUELO Y CONCRETO

ESCUELA: INGENIERIA CIVIL Y AMBIENTAL  
TESISTA: David Christ Millones Cumpa  
TESIS: "Estudio comparativo de una edificación de nueve niveles, sótano y semisótano, con y sin aisladores sísmicos"  
UBICACIÓN: Parque frente al Colegio Santa Angela, calle abtao. Urb. Santa Victoria  
SPT: SPT - 1  
MUESTRA: M - 1



### 9.3. Anexo 3. Reporte de Clasificación de Suelos SPT-1/M-2

USAT  
LABORATORIO DE ENSAYO DE SUELO Y CONCRETO

ESCUELA: INGENIERIA CIVIL Y AMBIENTAL  
 TESIS: David Christ Millones Cumpa  
 TESIS: "Estudio comparativo de una edificación de nueve niveles, sótano y semisótano, con y sin aisladores sísmicos"  
 UBICACIÓN: Parque frente al Colegio Santa Angela, calle abtao. Urb. Santa Victoria  
 SPT: SPT - 1  
 MUESTRA: M - 2

ENSAYO ESTANDAR DE CLASIFICACION (ASTM D422 - D2216 - D854 - D4318 - D427 - D3282 - D2487)			
Análisis Granulométrico por tamizado	Nº Tamiz	Abertura (mm)	pasa Acumulad
	3"	75.000	100.0
	2"	50.000	100.0
	1 1/2"	37.500	100.0
	1"	25.000	100.0
	3/4"	19.000	100.0
	1/2"	12.500	100.0
	3/8"	9.500	100.0
	1/4"	6.300	100.0
	Nº 4	4.750	100.0
	Nº 10	2.000	99.6
	Nº 40	0.425	97.8
	Nº 100	0.150	95.2
	Nº 200	0.075	94.1
<b>Distribución granulométrica</b>			
% Grava	G.G. %	0.0	0.0
	G. F %	0.0	
	A.G %	0.4	
% Arena	A.M %	1.8	5.9
	A.F %	3.7	
% Arcilla y Limo		94.1	94.1
<b>Total</b>			100.0

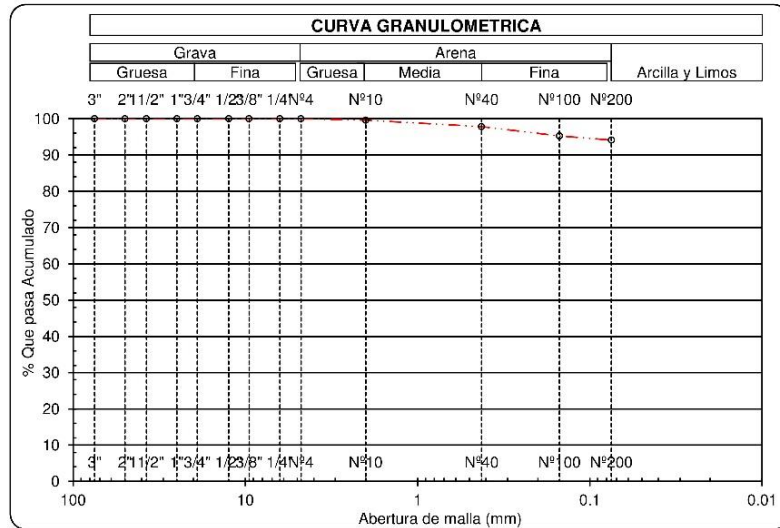
Ensayo de Limite de Atterberg.	
Limite liquido (LL)	43.4 (%)
Limite Plastico (LP)	25.8 (%)
Indice Plastico (IP)	17.6 (%)
Contenido de Humedad	26.3 (%)

**CURVA DE FLUIDEZ**

Clasificación (S.U.C.S.)	CL
Descripción del suelo	Arcilla de baja plasticidad
Clasificación (AASHTO)	A-7-6
Indice De Grupo	12
Descripción (AASHTO)	MALO

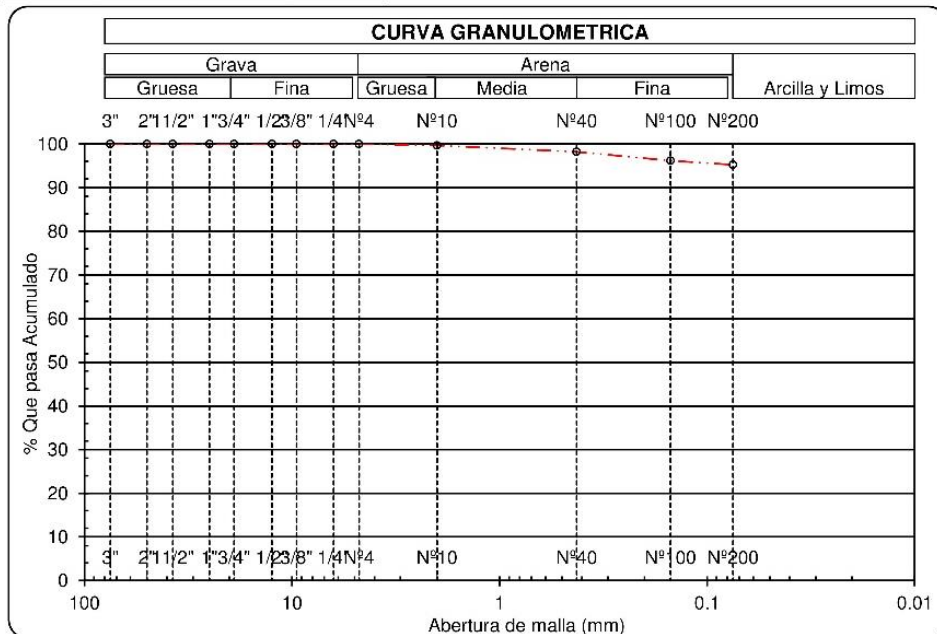


## 9.4. Anexo 4. Reporte de Clasificación de Suelos SPT-1/M-3

USAT  
LABORATORIO DE ENSAYO DE SUELO Y CONCRETO

ESCUELA: INGENIERIA CIVIL Y AMBIENTAL  
 TESIS: "Estudio comparativo de una edificación de nueve niveles, sótano y semisótano, con y sin aisladores sísmicos"  
 UBICACIÓN: Parque frente al Colegio Santa Angela, calle abtao. Urb. Santa Victoria  
 SPT - 1  
 MUESTRA: M - 3

ENSAYO ESTANDAR DE CLASIFICACION (ASTM D422 - D2216 - D854 - D4318 - D427 - D3282 - D2487)						
Análisis Granulométrico por tamizado	Nº Tamiz	Abertura (mm)	pasa Acumulad	<b>Ensayo de Límite de Atterberg.</b>		
	3"	75.000	100.0			Límite líquido (LL)
	2"	50.000	100.0	Límite Plástico (LP)	20.1 (%)	
	1 1/2"	37.500	100.0	Índice Plástico (IP)	21.8 (%)	
	1"	25.000	100.0	Contenido de Humedad	38.1 (%)	
	3/4"	19.000	100.0			
	1/2"	12.500	100.0			
	3/8"	9.500	100.0			
	1/4"	6.300	100.0			
	Nº 4	4.750	100.0			
	Nº 10	2.000	99.7			
	Nº 40	0.425	98.2			
	Nº 100	0.150	96.1			
	Nº 200	0.075	95.2			
<b>Distribución granulométrica</b>						Clasificación (S.U.C.S.)
% Grava	G.G. %	0.0	0.0	Descripción del suelo		Arcilla de baja plasticidad
	G. F %	0.0		Clasificación (AASHTO)		A-7-6
% Arena	A.G %	0.3	4.8	Índice De Grupo		13
	A.M %	1.5		Descripción (AASHTO)		MALO
% Arcilla y Limo	A.F %	3.0	95.2	Sales		0.20
<b>Total</b>			100.0			

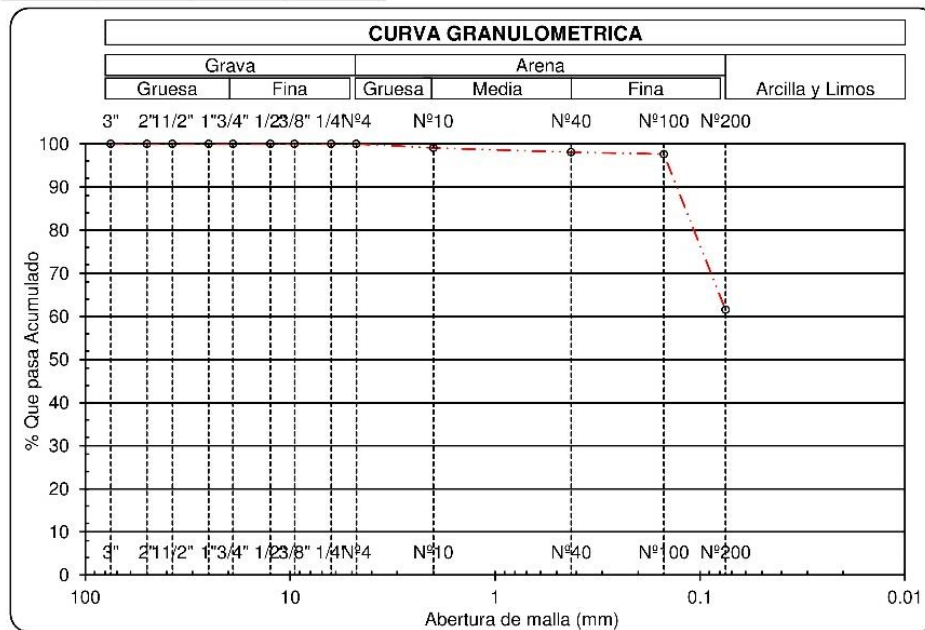


## 9.5. Anexo 5. Reporte de Clasificación de Suelos SPT-1/M-4

USAT  
LABORATORIO DE ENSAYO DE SUELO Y CONCRETO

ESCUELA: INGENIERIA CIVIL Y AMBIENTAL  
 TESISTA: David Christ Millones Cumpa  
 TESIS: "Estudio comparativo de una edificación de nueve niveles, sótano y semisótano, con y sin aisladores sísmicos"  
 UBICACIÓN: Parque frente al Colegio Santa Angela, calle abtao. Urb. Santa Victoria  
 SPT: SPT - 1  
 MUESTRA: M - 4

ENSAYO ESTANDAR DE CLASIFICACION (ASTM D422 - D2216 - D854 - D4318 - D427 - D3282 - D2487)															
Análisis Granulométrico por tamizado	Nº Tamiz	Abertura (mm)	pasa Acumulad												
	3"	75.000	100.0												
	2"	50.000	100.0												
	1 1/2"	37.500	100.0												
	1"	25.000	100.0												
	3/4"	19.000	100.0												
	1/2"	12.500	100.0												
	3/8"	9.500	100.0												
	1/4"	6.300	100.0												
	Nº 4	4.750	100.0												
	Nº 10	2.000	99.1												
	Nº 40	0.425	98.1												
	Nº 100	0.150	97.6												
	Nº 200	0.075	61.5												
<b>Distribución granulométrica</b>															
% Grava	G.G. %	0.0	0.0												
	G. F %	0.0													
% Arena	A.G %	0.9	38.5												
	A.M %	1.0													
% Arcilla y Limo	A.F %	36.6	61.5												
		61.5													
<b>Total</b>			<b>100.0</b>												
<table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%;">                     Clasificación (S.U.C.S.) CL                      Descripción del suelo Arcilla arenosa de baja plasticidad                      Clasificación (AASHTO) A-6                      Índice De Grupo 7                      Descripción (AASHTO) MALO                      Sales 0.29                 </td> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Ensayo de Límite de Atterberg.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Límite líquido (LL)</td> <td>37.7 (%)</td> </tr> <tr> <td>Límite Plástico (LP)</td> <td>23.8 (%)</td> </tr> <tr> <td>Índice Plástico (IP)</td> <td>13.9 (%)</td> </tr> <tr> <td>Contenido de Humedad</td> <td>25.1 (%)</td> </tr> </tbody> </table> </td> </tr> </table>				Clasificación (S.U.C.S.) CL Descripción del suelo Arcilla arenosa de baja plasticidad Clasificación (AASHTO) A-6 Índice De Grupo 7 Descripción (AASHTO) MALO Sales 0.29	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Ensayo de Límite de Atterberg.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Límite líquido (LL)</td> <td>37.7 (%)</td> </tr> <tr> <td>Límite Plástico (LP)</td> <td>23.8 (%)</td> </tr> <tr> <td>Índice Plástico (IP)</td> <td>13.9 (%)</td> </tr> <tr> <td>Contenido de Humedad</td> <td>25.1 (%)</td> </tr> </tbody> </table>	Ensayo de Límite de Atterberg.		Límite líquido (LL)	37.7 (%)	Límite Plástico (LP)	23.8 (%)	Índice Plástico (IP)	13.9 (%)	Contenido de Humedad	25.1 (%)
Clasificación (S.U.C.S.) CL Descripción del suelo Arcilla arenosa de baja plasticidad Clasificación (AASHTO) A-6 Índice De Grupo 7 Descripción (AASHTO) MALO Sales 0.29	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Ensayo de Límite de Atterberg.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Límite líquido (LL)</td> <td>37.7 (%)</td> </tr> <tr> <td>Límite Plástico (LP)</td> <td>23.8 (%)</td> </tr> <tr> <td>Índice Plástico (IP)</td> <td>13.9 (%)</td> </tr> <tr> <td>Contenido de Humedad</td> <td>25.1 (%)</td> </tr> </tbody> </table>	Ensayo de Límite de Atterberg.		Límite líquido (LL)	37.7 (%)	Límite Plástico (LP)	23.8 (%)	Índice Plástico (IP)	13.9 (%)	Contenido de Humedad	25.1 (%)				
Ensayo de Límite de Atterberg.															
Límite líquido (LL)	37.7 (%)														
Límite Plástico (LP)	23.8 (%)														
Índice Plástico (IP)	13.9 (%)														
Contenido de Humedad	25.1 (%)														

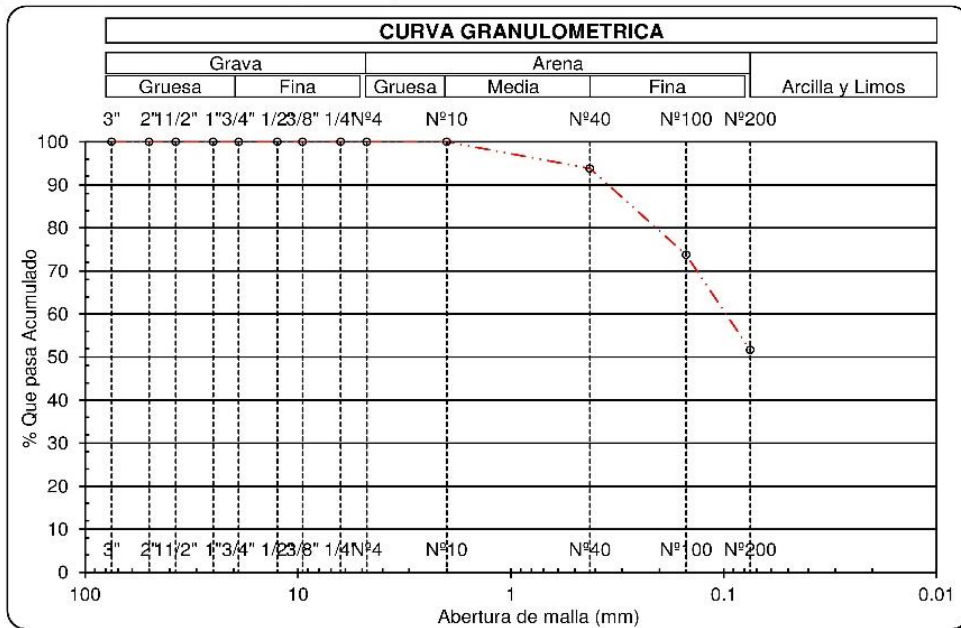


## 9.6. Anexo 6. Reporte de Clasificación de Suelos SPT-1/M-5

USAT  
LABORATORIO DE ENSAYO DE SUELO Y CONCRETO

ESCUELA: INGENIERIA CIVIL Y AMBIENTAL  
 TESISTA: David Christ Millones Cumpa  
 TESIS: "Estudio comparativo de una edificación de nueve niveles, sótano y semisótano, con y sin aisladores sísmicos"  
 UBICACIÓN: Parque frente al Colegio Santa Angela, calle abtao. Urb. Santa Victoria  
 SPT: SPT - 1  
 MUESTRA: M - 5

ENSAYO ESTANDAR DE CLASIFICACION (ASTM D422 - D2216 - D854 - D4318 - D427 - D3282 - D2487)					
<b>Análisis Granulométrico por tamizado</b>	Nº Tamiz	Abertura (mm)	pasa Acumulad	<b>Ensayo de Límite de Atterberg.</b>	
	3"	75.000	100.0	Límite líquido (LL)	0.0 (%)
	2"	50.000	100.0	Límite Plástico (LP)	0.0 (%)
	1 1/2"	37.500	100.0	Índice Plástico (IP)	0.0 (%)
	1"	25.000	100.0	Contenido de Humedad	22.0 (%)
	3/4"	19.000	100.0		
	1/2"	12.500	100.0		
	3/8"	9.500	100.0		
	1/4"	6.300	100.0		
	Nº 4	4.750	100.0		
	Nº 10	2.000	100.0		
	Nº 40	0.425	93.8		
Nº 100	0.150	73.8			
Nº 200	0.075	51.6			
<b>Distribución granulométrica</b>					
% Grava	G.G. %	0.0	0.0	Clasificación (S.U.C.S.)	
	G. F %	0.0		ML	
% Arena	A.G %	0.0	Descripción del suelo		
	A.F %	42.2	Limo arenoso de baja plasticidad		
% Arcilla y Limo	A.M %	6.2	Clasificación (AASHTO)		
	A.F %	48.4	A-4		
<b>Total</b>	51.6		Índice De Grupo		
	51.6		4		
		100.0	Descripción (AASHTO)		
		100.0	REGULAR-MAI		
			Sales		
			0.30		



## 9.7. Anexo 7. Reporte de Clasificación de Suelos SPT-1/M-6

USAT  
LABORATORIO DE ENSAYO DE SUELO Y CONCRETO

ESCUELA: INGENIERIA CIVIL Y AMBIENTAL  
 TESISTA David Christ Millones Cumpa  
 TESIS "Estudio comparativo de una edificación de nueve niveles, sótano y semisótano, con y sin aisladores sísmicos"  
 UBICACIÓN Parque frente al Colegio Santa Angela, calle abtao. Urb. Santa Victoria  
 SPT SPT - 1  
 MUESTRA M - 6

ENSAYO ESTANDAR DE CLASIFICACION (ASTM D422 - D2216 - D854 - D4318 - D427 - D3282 - D2487)					
<b>Análisis Granulométrico por tamizado</b>	Nº Tamiz	Abertura (mm)	pasa Acumulad	<b>Ensayo de Límite de Atterberg.</b>	
	3"	75.000	100.0		
	2"	50.000	100.0	Límite Plástico (LP)	0.0 (%)
	1 1/2"	37.500	100.0	Índice Plástico (IP)	0.0 (%)
	1"	25.000	100.0	Contenido de Humedad	18.7 (%)
	3/4"	19.000	100.0	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p style="text-align: center;"><b>CURVA DE FLUIDEZ</b></p> </div>	
	1/2"	12.500	100.0		
	3/8"	9.500	100.0		
	1/4"	6.300	100.0		
	Nº 4	4.750	100.0		
	Nº 10	2.000	99.6		
	Nº 40	0.425	44.0		
	Nº 100	0.150	28.0		
	Nº 200	0.075	22.6		
<b>Distribución granulométrica</b>					
% Grava	G.G. %	0.0	0.0	Descripción del suelo	
	G. F %	0.0		Arena limosa	
% Arena	A.G %	0.4	77.4	Clasificación (AASHTO)	
	A.M %	55.7		A-1-b	
% Arcilla y Limo	A.F %	21.4	22.6	Índice De Grupo	
				0	
<b>Total</b>				Descripción (AASHTO)	
				Sales	
				BUENO	
				0.30	

