

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



T E S I S

**Mejoramiento de la capacidad estructural en modelo computacional del pabellón
de la Facultad de Derecho de la UNDAC implementando disipadores de energía**

Shear Link - Pasco 2024

Para optar el título profesional de:

Ingeniero Civil

Autor:

Bach. Carlos Alberto ATENCIO MONGE

Asesor:

Ing. Paul Mirko RODRIGUEZ ROJAS

Cerro de Pasco – Perú – 2026

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



T E S I S

**Mejoramiento de la capacidad estructural en modelo computacional del pabellón
de la Facultad de Derecho de la UNDAC implementando disipadores de energía**

Shear Link - Pasco 2024

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

Mg. José German RAMIREZ MEDRANO
PRESIDENTE

Mg. Marcial Simon CANCAPA HANCCO
MIEMBRO

Mg. Fredy Luis PALMA FERNANDEZ
MIEMBRO



Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión
Facultad de Ingeniería
Unidad de Investigación

INFORME DE ORIGINALIDAD N° 040-2026-UNDAC/UIFI

La Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión en mérito al artículo 23° del Reglamento General de Grados Académicos y Títulos Profesionales aprobado en Consejo Universitario del 21 de abril del 2022, La Tesis ha sido evaluado por el software antiplagio Turnitin Similarity, que a continuación se detalla:

Presentado por:

Bach. Carlos Alberto ATENCIO MONGE

Escuela de Formación Profesional:

Ingeniería Civil

Tipo de trabajo:

Tesis

Título del trabajo:

“Mejoramiento de la capacidad estructural en modelo computacional del pabellón de la facultad de Derecho de la UNDAC implementando disipadores de energía Shear Link - Pasco 2024”

Asesor

Ing. Paul Mirko RODRIGUEZ ROJAS

Índice de Similitud

6 %

Calificativo:

APROBADO

Se adjunta el informe y el reporte de evaluación del software Turnitin Similarity.

Cerro de Pasco, 9 de julio del 2026



Firmado digitalmente por PALOMINO
ISIDRO Ruben Edgar FAU
20154605046 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 09.07.2026 14:06:11 -05:00

DEDICATORIA

A Dios, por acompañarme y guiar mis pasos día a día, a mis hermanos, Juan Carlos, Carlos Arturo y Diana, a mi papá y muy especialmente a la memoria de mi querida madre.

AGRADECIMIENTO

- A mi familia, por su apoyo constante en búsqueda de la superación.
- A los docentes de la E.F.P. Ingeniería Civil de la UNDAC, de manera especial, al Ing. P. Mirko R., Ing. L. Luquillas P., Ing. P. Yarasca C., Ing. E. Tangoa B., Ing. Isaac Cornelio, Ing. Marcial S., Ing. Geovana B., Ing. E. Chavez R. por haber contribuido de manera significativa a mi formación profesional y, fomentar en mí el espíritu de investigación, el pensamiento crítico y la búsqueda constante del conocimiento, guiándome siempre con ética, responsabilidad e integridad.
- Al Ingeniero Luis Bozzo Rotondo, por su valiosa contribución relevante para el desarrollo de esta investigación y sobre todo por su calidad humana y profesionalismo.
- Al Ingeniero Jean Piers Chavez Aguirre, por su constante apoyo y orientación académica durante el desarrollo de esta investigación, sobre todo, por su profesionalismo y calidad humana.
- A mi hermano Juan Carlos, por su valioso aporte, sus comentarios y observaciones enriquecieron el desarrollo de esta investigación.

RESUMEN

La presente investigación tuvo como finalidad evaluar el comportamiento sísmico del pabellón de la facultad de Derecho y Ciencias Políticas de la UNDAC, antes y después de la incorporación de disipadores de energía tipo SLB (Shear Link), mediante análisis no lineales estáticos dinámicos realizados en el software ETABS. Se aplicaron los criterios de desempeño estructural establecidos en las normas ATC-40, FEMA 356 y la Norma Peruana E.030, evaluándose las derivas, desplazamientos, cortantes basales, rigidez, amortiguamiento, ductilidad y la frecuencia pico de vibración en cada sector del edificio. El modelo reforzado mostró un incremento en la rigidez y estructural añadido mínimo, asimismo, la reducción en la energía sísmica disipada por el edificio, lo cual muestra una mejora en la capacidad estructural del edificio

Por otro lado, el costo total del reforzamiento alcanzó S/. 0.707 millones, lo que representa solo el 7.46% del costo total del edificio. Asimismo, los resultados mostraron que la aplicación de disipadores SLB constituyen una alternativa técnica viable y económicamente eficiente frente a otros sistemas de reforzamiento, garantizando la seguridad estructural y la protección de los equipos ante posibles eventos sísmicos. Por lo tanto, la implementación de los dispositivos SLB resulta una solución óptima para la mejora del desempeño sísmico en edificaciones.

Palabras clave: Disipadores de energía, capacidad estructural, rigidez, amortiguamiento, ductilidad, derivas, desplazamientos.

ABSTRACT

The present research aimed to evaluate the seismic performance of the pavilion before and after the incorporation of SLB-type (Shear Link) energy dissipators through nonlinear static and dynamic analyses performed in the ETABS software. The structural performance criteria established by ATC-40, FEMA 356, and the Peruvian Standard E.030 were applied, evaluating interstory drifts, displacements, base shear forces, stiffness, damping, and ductility in each sector of the building. The retrofitted model showed an increase in stiffness and almost no additional structural damping, as well as a reduction in the seismic energy dissipated by the building, which demonstrates an improvement in its overall structural capacity.

On the other hand, the total retrofit cost reached S/. 0.707 million, representing only 7.46% of the total building cost. Furthermore, the results indicated that the implementation of SLB dissipators constitutes a technically feasible and economically efficient reinforcement alternative compared to other retrofitting systems, ensuring structural safety and the protection of equipment during potential seismic events. Therefore, the use of SLB devices is an optimal solution for enhancing the seismic performance of buildings.

Keywords: Energy dissipators, structural capacity, stiffness, damping, ductility, interstory drift, displacement.

INTRODUCCIÓN

El Perú es un país con alta sismicidad, donde gran parte de las edificaciones existentes no fueron diseñadas bajo criterios de desempeño sísmico modernos. Por otro lado, las estructuras están constantemente expuestas a vibraciones externas producidas por el tránsito vehicular, actividades industriales como la explotación minera, las cuales pueden generar deterioro progresivo, fisuración o pérdida de rigidez en los elementos estructurales.

Por ello, el estudio del comportamiento estructural y la búsqueda de estrategias de reforzamiento resultan esenciales para garantizar la seguridad de las construcciones. En ese sentido, el uso de disipadores de energía se presenta como una alternativa eficiente para reducir la demanda sísmica y mejorar el desempeño estructural de los edificios.

La presente investigación tiene como objetivo evaluar la capacidad estructural del pabellón de la Facultad de Derecho de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, antes y después de implementar disipadores de energía tipo Shear Link (SLB). Para ello, se desarrollaron análisis estáticos no lineales y dinámicos utilizando software bajo los lineamientos de los códigos ATC-40, FEMA 356 y la Norma Peruana E.030.

Los resultados obtenidos permitieron determinar la variación en la rigidez, amortiguamiento, ductilidad, derivas, desplazamientos, cortante basal y energía disipada del edificio, comprobando que la incorporación de los disipadores SLB mejora la capacidad estructural y el desempeño sísmico de la edificación, obteniéndose una solución técnica viable y económicamente eficiente.

ÍNDICE

Páginas

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema	1
1.2. Delimitación de la investigación	7
1.3. Formulación del problema.....	7
1.3.1. Problema general	8
1.3.2. Problemas específicos	8
1.4. Formulación de objetivos	9
1.4.1. Objetivo general.....	9
1.4.2. Objetivos específicos	9
1.5. Justificación de la investigación.....	9
1.6. Limitaciones de la investigación:	12

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio	13
------------------------------------	----

2.1.1. Antecedentes internacionales.....	14
2.1.2. Antecedentes nacionales	17
2.2. Bases teóricas-científicas.....	24
2.2.1. Características sismológicas	24
2.3. Definición de términos básicos	94
2.4. Formulación de hipótesis.....	97
2.4.1. Hipótesis general.....	97
2.4.2. Hipótesis específicas.....	97
2.5. Identificación de variables.....	98
2.6. Definición operacional de variables e indicadores	99

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación	101
3.2. Nivel de investigación	102
3.3. Métodos de investigación.....	103
3.4. Diseño de investigación.....	103
3.5. Población y muestra	104
3.5.1. Población.....	104
3.5.2. Muestra	104
3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	104
3.7. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación.....	105
3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	105
3.9. Tratamiento estadístico.....	105
3.10. Orientación ética filosófica y epistémica	106

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo	107
4.1.1. Situación actual.....	107
4.1.2. Propiedades del suelo.....	114
4.1.3. Propiedades de los materiales	116
4.1.4. Cargas de diseño	118
4.1.5. Cargas Vivas (Sobrecarga)	118
4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados.....	118
4.2.1. Evaluación estructural del edificio existente del pabellón de la facultad de Derecho de la UNDAC.....	118
4.2.2. Propuesta de mejoramiento estructural implementando disipadores Shear Link	
169	
4.3. Prueba de hipótesis	221
4.3.1. Prueba de hipótesis general.....	222
4.3.2. Prueba de hipótesis específicas	222
4.4. Discusión de resultados	225

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1. Resultados del incremento de la resistencia y ductilidad.	21
Tabla 2. Objetivos de reforzamiento planteados por FEMA 356.	31
Tabla 3. Niveles de amenaza sísmica según la propuesta del SEAOC.....	82
Tabla 4. Niveles de desempeño sísmico según la propuesta del SEAOC	83
Tabla 5. Curva de capacidad sectorizada por el SEAOC.....	84
Tabla 6. Curva de capacidad sectorizada por el SEAOCriz de desempeño propuesto por el código FEMA 356.....	85
Tabla 7. Daño y derivas objetivo para edificios tipo C1M.....	88
Tabla 8. Matriz operacional de variables	99
Tabla 9. Resultados del Estudio de mecánica de suelos	112
Tabla 10. Parámetros de diseño adoptados	113
Tabla 11. Resultados de análisis estructural	114
Tabla 12. Resultados del Estudio de mecánica de suelos realizados en sitio	115
Tabla 13. Resultados de la resistencia a compresión del concreto de las muestras extraídas durante la construcción del pabellón.....	116
Tabla 14. Características de los materiales	118
Tabla 15. Parámetros sísmicos.....	132
Tabla 16. Periodos naturales de vibración	133
Tabla 17. Cortante actuante en columnas y placas.	135
Tabla 18. Cortante actuante en columnas y placas.	135
Tabla 19. Tabla de irregularidad en altura	137
Tabla 20. Tabla de irregularidad en planta	137

Tabla 21. Cortantes dinámicos en la base del edificio	139
Tabla 22. Cortante dinámico vs cortante estático	140
Tabla 23. Propiedades mecánicas de los materiales	143
Tabla 24. Parámetros y criterios de aceptación para procedimientos no lineales en vigas de concreto armado.....	147
Tabla 25. Parámetros y criterios de aceptación para procedimientos no lineales en columnas de concreto armado.....	148
Tabla 26. Registros sísmicos utilizados	152
Tabla 27. Aceleración máxima de registros sísmicos utilizados	153
Tabla 28. Control de derivas A.N.L - TH - Sector A - en X-X	161
Tabla 29. Control de derivas A.N.L - TH - Sector A - en Y-Y	162
Tabla 30. Control de derivas A.N.L - TH - Sector B - en X-X.....	162
Tabla 31. Control de derivas A.N.L - TH - Sector B - en Y-Y.....	162
Tabla 32. Desplazamientos máximos	167
Tabla 33. Clasificación según tipo de estructuras.....	171
Tabla 34. Relación estado de daño-deriva según clasificación de estructura	172
Tabla 35. Razón de derivas del análisis espectral de la Norma E0.30 vs el A.N.L.T.H. del edificio Sector A.	173
Tabla 36. Razón de derivas del análisis espectral de la Norma E0.30 vs el A.N.L.T.H. del edificio Sector B.	175
Tabla 37. Fuerza cortante actuante en elementos metálicos de prediseño.....	177
Tabla 38. Parámetros de diseño de los disipadores SLB implementados.....	180
Tabla 39. Verificación de la relación Demanda/Capacidad de los dispositivos SLB asignados	181

Tabla 40. Control de derivas A.N.L. – TH – Sector A – Dirección X – Implementado los disipadores SLB	188
Tabla 41. Control de derivas A.N.L. – TH – Sector A – Dirección Y – Implementado los disipadores SLB	188
Tabla 42. Control de derivas A.N.L. – TH – Sector B – Dirección X – Implementado los disipadores SLB	189
Tabla 43. Control de derivas A.N.L. – TH – Sector B – Dirección Y – Implementado los disipadores SLB	189
Tabla 44. Desplazamientos máximos implementado los disipadores SLB	192
Tabla 45. Componentes de energía – Edificio Sector A	198
Tabla 46. Componentes de energía – Edificio Sector B	198
Tabla 47. Amortiguamiento viscoso equivalente edificio sector A	201
Tabla 48. Amortiguamiento viscoso equivalente edificio sector B	201
Tabla 49. Masa participativa edificio sector A – sin SLB	204
Tabla 50. Masa participativa edificio sector A – con SLB	205
Tabla 51. Masa participativa edificio sector B – sin SLB	206
Tabla 52. Masa participativa edificio sector B – con SLB	206
Tabla 53. Valores guía de velocidad de vibración v _{imax} para evaluar los efectos de vibraciones de corta duración en estructuras	215
Tabla 54. Evaluación de la velocidad máxima de vibración y verificación según DIN 4150-3	216
Tabla 55. Costo de reforzamiento	219

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Flujo de distribución de fuerzas en estructura típica.	3
Figura 2. Porcentaje de inversión en edificaciones públicas	11
Figura 3. Edificio educativo tipo 780-Pre.....	19
Figura 4. Alternativa n.º1, colocación del dispositivo SLB sobre muros de albañilería	19
Figura 5. Alternativa n.º2, colocación del dispositivo SLB sobre soportes metálicos tipo Chevron.	20
Figura 6. Curvas de capacidad obtenidos luego del análisis.	20
Figura 7. Principales zonas tectónicas.....	24
Figura 8. Transmisión de las Ondas de Cuerpo.....	27
Figura 9. Transmisión de las Ondas de Superficie	28
Figura 10. Representación del riesgo sísmico.....	29
Figura 11. Colocación del refuerzo en los muros de corte	33
Figura 12. Encamisado de la columna.....	34
Figura 13. Arriostramiento metálico en edificio.....	34
Figura 14. Sistema de aislamiento sísmico	36
Figura 15. Desplazamientos de Base fija vs Base aislada.....	36
Figura 16. Respuesta de un sistema de aislamiento sísmico	37
Figura 17. Aislador elastomérico	38
Figura 18. Aislador elastomérico con núcleo de plomo.....	39
Figura 19. Sistema de péndulo de fricción.....	40
Figura 20. Respuesta sismorresistente de un edificio con disipadores de energía	40
Figura 21. Clasificación de los sistemas de control estructural	43
Figura 22. Dispositivos pasivos de disipación de energía	45
Figura 23. Disipadores ADAS sobre arreglo metálico tipo Chevrón.....	47

Figura 24. Diagrama de deformación, momento, geometría de la placa y distribución de curvatura.....	48
Figura 25. Disipadores TADAS sobre arreglo metálico tipo Chevrón.	49
Figura 26. Diagrama de deformación, momento, geometría de la placa y distribución de curvatura.....	50
Figura 27. Evolución del disipador S.L. a través de los años.....	51
Figura 28. Elementos componentes de un dispositivo B.R.B. y las configuraciones del núcleo.	52
Figura 29. Disipador de energía de fluido viscoso	54
Figura 30. Uso de los disipadores de fluido viscoso en edificación nueva	54
Figura 31. Disipador de fluido viscoso.....	55
Figura 32. Diagrama de esfuerzo-deformación del acero	56
Figura 33. Comportamiento del acero frente a cargas cíclicas.....	57
Figura 34. Disipador Shear Link de dos ventanas	58
Figura 35. Disipador Shear Link con conexión tipo peine.	59
Figura 36. Geometría del disipador SLB40_5.....	60
Figura 37. Geometría del disipador SLB40_3.....	60
Figura 38. Comportamiento del disipador Shear link.....	62
Figura 39. Sistema flexible – rígido - dúctil	63
Figura 40. Relación fuerza – deformación de un disipador Shear Link.	64
Figura 41. Sistemas de instalación del disipador Shear Link	67
Figura 42. Representación simbólica del sistema disipador – arriostres metálicos.....	68
Figura 43. Modelo histerético de Wen	70
Figura 44. Energía disipada por un dispositivo Shear Link.	71
Figura 45. Energía elástica de un disipador	73

Figura 46. Geometría del dissipador Shear Link de tercera generación.	75
Figura 47. Modelo Nlink del dissipador Shear Link.	76
Figura 48. Diagrama de flujo para prediseño del dissipador Shear Link.	77
Figura 49. Diagrama de flujo del método de iteración directa.	78
Figura 50. Diagrama de flujo del método de iteración inversa.	79
Figura 51. Disposiciones típicas de colocación del dissipador Shear Link.	80
Figura 52. Instalación en arreglos Chevron de altura simple y doble.	81
Figura 53. Curvas de fragilidad para 4 niveles de daño.	87
Figura 54. Representación física de un amortiguamiento.	92
Figura 55. Variación de las fracciones de amortiguamiento modal con la frecuencia natural.	93
Figura 56. Amortiguamiento de Rayleigh.	94
Figura 57. Grietas en muros divisorios.	108
Figura 58. Grietas en vigas y en la unión de vigas y columnas.	109
Figura 59. Grietas en vigas y en la unión de vigas y columnas.	110
Figura 60. Grietas en la unión de techo y escalera.	111
Figura 61. Resistencia a la compresión del concreto de las muestras extraídas durante la construcción del pabellón.	117
Figura 62. Distribución en Planta del primer nivel del edificio existente.	119
Figura 63. Edificio existente del pabellón de la facultad de Derecho y Ciencias Políticas de la UNDAC.	120
Figura 64. Secciones transversales de la Columnas.	121
Figura 65. Secciones transversales de la Columnas.	122
Figura 66. Sección transversal de la Placa de ascensor.	123
Figura 67. Sección transversal de la Placa de escalera.	124

Figura 68. Esquema de estructuración del edificio de la facultad de Derecho de la UNDAC.	125
Figura 69. Modelo computacional del edificio evaluado.	132
Figura 70. Espectro de aceleraciones para el edificio del sector A.	138
Figura 71. Espectro de aceleraciones para el edificio del sector B.	139
Figura 72. Deriva de piso para el edificio del Sector A.	141
Figura 73. Deriva de piso para el edificio del Sector B.	142
Figura 74. Curva esfuerzo-deformación del concreto confinado y no confinado.	144
Figura 75. Curva esfuerzo-deformación del acero de refuerzo.	145
Figura 76. Diagrama de Momento-curvatura.	145
Figura 77. Modelo representativo de las rótulas	146
Figura 78. Diagrama Momento-Rotación	147
Figura 79. Diagrama Momento-Rotación en columna	148
Figura 80. Modelo histerético de Takeda.	149
Figura 81. Curva de Capacidad – Edificio Sector A	151
Figura 82. Curva de Capacidad – Edificio Sector B.	152
Figura 83. Registros Sísmicos	153
Figura 84. Función de Husid.	156
Figura 85. Registro Sísmico Reducido	157
Figura 86. Espectro de respuesta escalado	159
Figura 87. Control de derivas – Sector A - Caso 1	163
Figura 88. Control de derivas – Sector A - Caso 2	164
Figura 89. Control de derivas – Sector B - Caso 1	165
Figura 90. Control de derivas – Sector B - Caso 2	166
Figura 91. Curva de capacidad – Edificio Sector A – Implementando Disipadores SLB	186

Figura 92. Curva de capacidad – Edificio Sector B – Implementando Disipadores SLB	187
Figura 93. Control de derivas – Sector A – A.N.L. T.H. – Implementando los disipadores SLB.	190
Figura 94. Control de derivas – Sector B – A.N.L. T.H. – Implementando los disipadores SLB.	191
Figura 95. Curva histerética Disipador SLB-Sector A.....	193
Figura 96. Curva histerética Disipador SLB-Sector B.....	194
Figura 97. Curva histerética con un comportamiento no deseado.....	195
Figura 98. Energía disipada por los disipadores SLB – Sector A.....	196
Figura 99. Energía disipada por los disipadores SLB – Sector B.....	197
Figura 100. Función de excitación seno medio.....	199
Figura 101. Decremento logarítmico edificio sector A.....	200
Figura 102. Decremento logarítmico edificio sector B.....	200
Figura 103. Cortante basal edificio sector A – dirección X	202
Figura 104. Cortante basal edificio sector A – dirección Y	202
Figura 105. Cortante basal edificio sector B – dirección X.....	203
Figura 106. Cortante basal edificio sector B – dirección Y.....	203
Figura 107. Diseño de muro desacoplado W25	211
Figura 108. Diseño de muro desacoplado W41	212
Figura 109. Evaluación de costo de reforzamiento.....	220

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema

Los sismos, definidos como el resultado de un proceso de deformación elástica y acumulación de esfuerzos en una zona de la corteza que se mantiene hasta que se supera la resistencia del material, en ese momento la falla experimenta una dislocación, los esfuerzos se relajan total o parcialmente de forma súbita y la energía elástica acumulada se libera bruscamente. Parte de la energía se disipa en fenómenos no elásticos en la zona de ruptura y parte se propaga en forma de ondas sísmicas que hacen vibrar el terreno. (Miguel Herráiz – 1997, p. 2)

El Perú, ubicado en la subducción de las placas tectónicas de Nazca y Sudamericana, pertenecientes al Cinturón de Fuego del Pacífico, es catalogado como una zona con alta sismicidad.

De acuerdo con el Informe: Escenario sísmico para Lima Metropolitana y Callao: Sismo 8.8Mw, realizado por el Instituto Nacional de Defensa Civil de 2017, mencionan algunas características y magnitud de los daños que se podrían generar frente a un próximo sismo de gran magnitud, como el terremoto de magnitud 8.6 Mw.

ocurrido en Lima el 28 de octubre de 1746, el cual indica que el sismo duró menos de tres minutos, sin embargo, la mayoría de los edificios colapsaron, las naves de los puertos hundidos y otros arrastrados hasta la ciudad, la catástrofe, además, generó la pérdida de miles de vidas, además en el Perú el 80% de las edificaciones son construidos de manera informal por medio de la autoconstrucción, según CAPECO, asimismo, el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento – MVCS, a través de su programa estatal Nuestras Ciudades, 2007, indican que en la región Pasco existen 61 508 viviendas con un nivel de riesgo muy alto ante peligros recurrentes como los sismos u otros fenómenos. Por lo tanto, Pasco, específicamente el distrito de Yanacancha no se encuentra exento de la ocurrencia de un sismo, ni de los daños y pérdidas que puedan producirse durante el fenómeno.

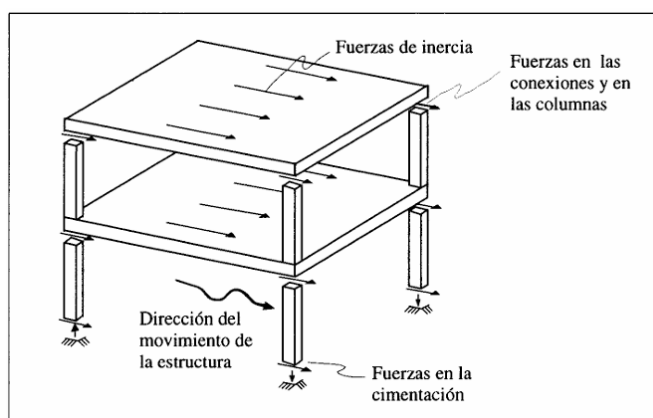
Estos acontecimientos conllevan a una preocupación bastante importante, y el planteamiento de preguntas como: ¿La región Pasco está preparado para un evento similar?, ¿Cuál será la respuesta de las edificaciones frente a un sismo de magnitud moderada?, ¿Las edificaciones construidas mediante la autoconstrucción garantizan la seguridad de las personas frente a un sismo?, ¿Qué edificaciones estarán en funcionamiento continuo luego de un sismo ocurrido en el distrito de Yanacancha?, etc.

Los sismos son sinónimo de desastre, vinculado a términos como destrucción y pérdidas, tanto materiales como de vidas humanas. El movimiento de las placas tectónicas, la liberación y relajación de los esfuerzos acumulados en el rozamiento de estas placas generan movimientos en el suelo en forma de ondas vibratorias horizontales y verticales, este movimiento del suelo se transmite a los edificios apoyados sobre este, lo cual hace que el edificio tienda a seguir el movimiento del suelo.

Las fuerzas de inercia que se generan por la vibración en los lugares donde se encuentran las masas del edificio se transmiten a través de la estructura por trayectorias que dependen de la configuración estructural. (Enrique Bazán & Roberto Meli).

La figura n.º1 muestra de forma esquemática la distribución del flujo de fuerzas en una estructura típica.

Figura 1. *Flujo de distribución de fuerzas en estructura típica.*



Nota: En la figura precedente se logra identificar el flujo de distribución de fuerzas a través de los elementos estructurales. (Bazán & Meli, 2004)

Muchas veces las fuerzas generadas por el sismo superan a la capacidad de la estructura, motivo por el cual los elementos estructurales comienzan a fallar y agrietarse, una vez superado su estado límite de diseño, la fuerza generada por el movimiento sísmico, se distribuye de manera decreciente con la altura del edificio, lo que quiere decir que la fuerza inercial que se concentra en cada nivel es mayor con respecto a la altura del edificio, por lo tanto, a mayor altura esta fuerza será mayor, tanto las deformaciones y desplazamiento serán mayores en último piso y menores en el primer piso.

En ese sentido, el pabellón de la facultad de Derecho de la UNDAC, presenta fisuras en las conexiones entre vigas y columnas en el cuarto piso, ver imagen n.º1, los muros divisorios presentan fisuras longitudinales, ver imagen n.º2, y la escalera en

desacople con la losa dónde se apoya, ver imagen n.º3, esto indica que la capacidad de la estructura está siendo superada por la demanda de las fuerzas gravitatorias y peso propio de la edificación, pese que no ocurre un sismo, los niveles inferiores presentan daños similares pero en menor magnitud.

Imagen 1. *identificación de las fisuras en la conexión de viga – columna.*



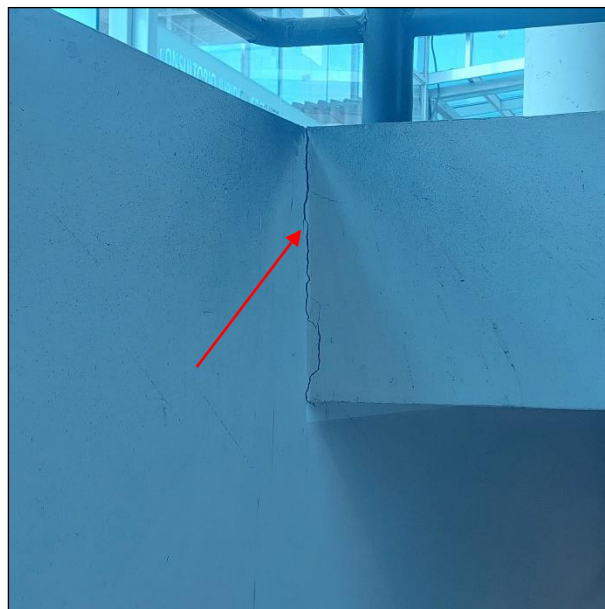
Nota: En la fotografía se logra apreciar las fisuras en la conexión de viga - columna del cuarto piso en el pabellón de la Facultad de Derecho de la UNDAC. (Fotografía tomada por el autor, 2024)

Imagen 2. *Visualización de las fisuras longitudinales producidos en los muros divisorios.*



Nota: En la fotografía se logra apreciar las fisuras longitudinales producidas en los muros divisorios del cuarto piso en el pabellón de la Facultad de Derecho de la UNDAC. (Fotografía tomada por el autor, 2024)

Imagen 3. *Se observa el desacople de la losa de la escalera con la losa de apoyo.*



Nota: En la fotografía se logra apreciar el desacople de la losa de la escalera con la losa de apoyo, ubicado en el quinto piso en el pabellón de la Facultad de Derecho de la UNDAC. (Fotografía tomada por el autor, 2024)

Por otro lado, recientes sismos ocurridos muestran que las edificaciones diseñados y construidos de acuerdo a los códigos más recientes proveen una buena respuesta, pero el costo de reparación de daños y el tiempo necesario para implementar estas reparaciones son más grandes que las anticipadas. Con la finalidad de mejorar el desempeño sísmico de las edificaciones se ha propuesto esta técnica innovadora, los dispositivos suplementarios de disipación de energía. (Genner V. – Ricardo O.)

Por otro lado, la ciudad de Cerro de Pasco presenta una interacción entre el entorno urbano y la actividad minera, debido a la proximidad de las operaciones extractivas en diversos sectores de la ciudad. Como parte de estas actividades, se

ejecutan voladuras controladas para la fragmentación de roca y otros minerales, las cuales generan una liberación instantánea de energía que se propaga en forma de ondas a través del macizo rocoso y del suelo. Estas vibraciones pueden transmitirse hacia las edificaciones cercanas, produciendo movimientos dinámicos cuya intensidad depende de la carga explosiva utilizada, la distancia a la fuente de vibración, las condiciones geológicas del terreno y las características estructurales de las construcciones expuestas.

Además, las edificaciones de la ciudad están sujetas a vibraciones inducidas por actividades mineras que pueden generar pequeñas acumulaciones de desplazamientos, deformaciones y esfuerzos adicionales en los elementos estructurales. Esta condición resulta bastante importante para el análisis del pabellón de la Facultad de Derecho de la UNDAC, cuya capacidad estructural debe garantizar niveles adecuados de seguridad y desempeño frente a diferentes fuentes de excitación dinámica.

Conforme se van creando nuevos dispositivos para la disipación de energía sísmica, es necesario conocer cuáles de estos dispositivos presenta un mejor desempeño y adecuados parámetros de diseño frente a la ocurrencia de un sismo, de esta forma poder elegir el más adecuado para la implementación en edificios existentes y el diseño de nuevas estructuras.

En ese sentido, con el fin de garantizar la seguridad de los estudiantes y público en general y evitar grandes pérdidas de vidas humanas y costos económicos en reparaciones estructurales y no estructurales, la presente investigación se enfoca en implementar los disipadores de energía tipo SHEAR LINK en el pabellón de la facultad de Derecho de la UNDAC para mejorar la capacidad estructural, de esta forma incrementar la resiliencia sísmica de la estructura.

1.2. Delimitación de la investigación

a. Delimitación de diseño:

La investigación se enfoca en un edificio de concreto armado, con sistema estructural comúnmente utilizado, durante la investigación no se realizarán estudios a edificaciones de acero ni estructuras temporales, para realizar el análisis comparativo, se utilizarán análisis modales espectrales, método tiempo historia no lineal y el método espectral, no se realizarán estudios que abarquen métodos de diseño por resistencia.

b. Delimitación espacial.

La investigación será desarrollada en el pabellón de la facultad de Derecho ubicada en la ciudad universitaria de la UNDAC en el distrito de Yanacancha de la provincia Pasco, región Pasco.

c. Delimitación Temporal.

El periodo de duración de la investigación será de 60 días calendarios o dos (02) meses.

d. Delimitación del Universo.

La investigación será desarrollada en un universo de edificaciones tipo A, de acuerdo con la Tabla n.º5 de la Norma E.030 Diseño Sismorresistente del Reglamento Nacional de Edificaciones, ubicadas dentro del distrito de Yanacancha de la provincia de Pasco, región Pasco.

1.3. Formulación del problema

Con la presente investigación se busca responder las siguientes interrogantes:

1.3.1. Problema general

¿De qué manera la implementación de disipadores de energía Shear Link mejora la capacidad estructural del pabellón de la facultad de Derecho de la UNDAC, Pasco 2024?

1.3.2. Problemas específicos

- a. ¿En qué medida la implementación de disipadores de energía tipo Shear Link incide en la variación de las derivas y los desplazamientos del pabellón de la facultad de Derecho de la UNDAC?
- b. ¿En qué medida la implementación de disipadores de energía tipo Shear Link influye en la variación de la cortante basal del pabellón de la facultad de Derecho de la UNDAC?
- c. ¿En qué medida la implementación de disipadores de energía tipo Shear Link incrementa la capacidad de disipación de energía sísmica del pabellón de la facultad de Derecho de la UNDAC?
- d. ¿En qué medida la implementación de disipadores de energía tipo Shear Link afecta la rigidez, amortiguamiento y ductilidad del pabellón de la facultad de Derecho de la UNDAC?
- e. ¿En qué medida la implementación de disipadores de energía tipo Shear Link influye en la velocidad pico de vibración (PPV) estimada del pabellón de la Facultad de Derecho de la UNDAC frente a vibraciones inducidas por voladuras mineras?

1.4. Formulación de objetivos

1.4.1. Objetivo general

Describir de qué manera la implementación de disipadores de energía Shear Link mejora la capacidad estructural del pabellón de la facultad de Derecho de la UNDAC, Pasco 2024.

1.4.2. Objetivos específicos

- a. Determinar la variación de las derivas y los desplazamientos del pabellón de la facultad de Derecho de la UNDAC como resultado de la implementación de disipadores de energía tipo Shear Link.
- b. Evaluar la variación de la cortante basal del pabellón de la facultad de Derecho de la UNDAC como resultado de la implementación de disipadores de energía tipo Shear Link.
- c. Cuantificar el incremento de la capacidad de disipación de energía sísmica del pabellón de la facultad de Derecho de la UNDAC como resultado de la implementación de disipadores de energía tipo Shear Link.
- d. Analizar la afectación de la rigidez, amortiguamiento y ductilidad del pabellón de la facultad de Derecho de la UNDAC como resultado de la implementación de disipadores de energía tipo Shear Link.
- e. Determinar la variación de la velocidad pico de vibración (PPV) estimada del pabellón de la Facultad de Derecho de la UNDAC implementando disipadores de energía tipo Shear Link frente a vibraciones inducidas por voladuras mineras.

1.5. Justificación de la investigación

Las edificaciones existentes en el distrito de Yanacancha, no garantizan un adecuado comportamiento y desempeño estructural frente a fenómenos accidentales

como los sismos, debido a problemas como la construcción informal de las viviendas, la autoconstrucción, la mala orientación técnica y por motivos económicos, se conciben viviendas y edificios con criterios de estructuración poco convencionales.

Luego de un sismo, las edificaciones, según sea su categoría, deben continuar con habitabilidad para las personas, en caso de edificaciones importantes como hospitales, colegios, centros médicos u otros establecimientos, deben funcionar continuamente para brindar atención a las personas que necesitan ayuda.

El pabellón de la facultad de Derecho de la UNDAC, debe tener un óptimo desempeño frente a la ocurrencia de un sismo, esto no significa que no se permita daños a la edificación, sino más bien que los daños sean controlados y los permitidos de acuerdo a su diseño, por otro lado, existen técnicas innovadoras que se utilizan para ayudar a la edificación con la disipación de energía sísmica, la implementación de dispositivos suplementarios de disipación sísmica.

Estos dispositivos, brindan a la edificación la rigidez y ductilidad necesario, para que la edificación pueda cumplir con su funcionalidad, sin que éste reciba esfuerzos más de lo permitido llevándolo al colapso.

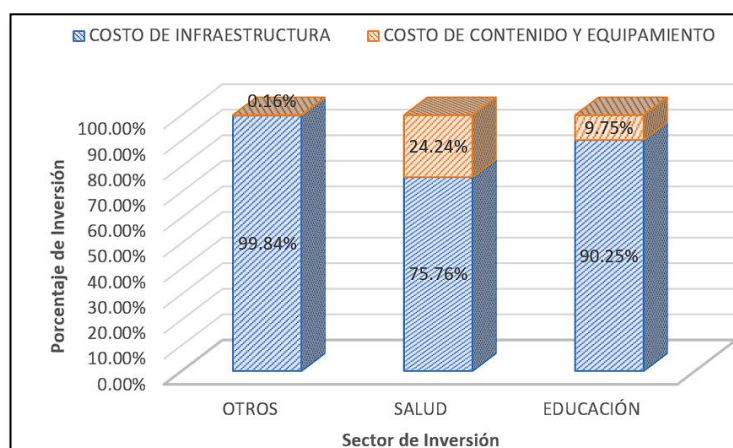
Sin embargo, económicamente hablando, ¿conviene emplear disipación sísmica o mejor un sistema común estructural resistente?

Los contenidos del edificio y los componentes no estructurales pueden sufrir daños significativos durante un terremoto importante, incluso si la estructura en sí misma permanece básicamente intacta. Esto no es tolerable para edificios cuyos contenidos son más costosos y valiosos que los edificios mismos. Las fábricas de producción de alta precisión son un ejemplo de edificios que contienen equipo extremadamente costoso y sensible. Además, los hospitales, estaciones de policía y bomberos, y centros de telecomunicaciones son ejemplos de instalaciones que

contienen equipo valioso y deben permanecer operativos inmediatamente después de un terremoto. (Chen, W. & Scawthorn, C., 2002, p. 823)

La figura n°2, muestra el porcentaje del costo de inversión de 23 edificaciones públicas en los diferentes sectores de inversión en los últimos 5 años a nivel de Gobierno Regional - Pasco, del cual se observa que el costo de inversión para elementos no estructurales (contenido y equipamiento) en el sector Salud representa un 24.24% del Costo Directo de la Inversión, en el sector Educación es de 9.75%, estos resultados muestran que daños importantes en la estructura no sólo conllevan costos de reparación estructural, sino que además involucran costos en la implementación del contenido y el equipamiento para el óptimo funcionamiento de la edificación.

Figura 2. Porcentaje de inversión en edificaciones públicas



Nota: En la figura se observa, para el sector salud y educación, el costo de inversión para la implementación del contenido y el equipamiento representan porcentajes importantes respecto al costo directo de la Inversión. (Elaborado por el autor, 2024)

En ese sentido, con el fin de garantizar la seguridad de los estudiantes y público en general y evitar grandes pérdidas de vidas humanas y costos económicos en reparaciones estructurales y no estructurales, así como también contribuir con los profesionales dedicados al campo de la ingeniería sísmica y estructural, en la

implementación de disipadores de energía durante la etapa de concepción y diseño de edificaciones nuevas y asegurar un adecuado comportamiento estructural, la presente investigación se enfoca en implementar los disipadores de energía tipo SHEAR LINK en el pabellón de la facultad de Derecho de la UNDAC para mejorar la capacidad estructural.

1.6. Limitaciones de la investigación:

La presente investigación tiene como limitaciones:

- Poca información sobre los parámetros dinámicos del suelo sobre el cual fue construido el pabellón de la facultad de Derecho de la UNDAC.
- La investigación no incluirá ensayos destructivos para la obtención de corazones diamantino al concreto en sitio para la obtención de la resistencia a la compresión, tracción y flexión del concreto, por motivos exclusivos de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión.
- La licencia de los softwares y programas de cómputo a utilizarse durante la investigación son de paga, por tal motivo durante la investigación se utilizarán softwares con licencias educativas y temporales.
- Escases y estudios poco convencionales para la mitigación de peligros y gestión de riesgos de desastres para el departamento de Pasco.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio

El pabellón de la facultad de Derecho ubicado en la ciudad universitaria de la UNDAC en el distrito de Yanacancha, es un edificio de gran importancia para la comunidad académica y la población en general, sin embargo, el estado actual de la edificación presenta fisuras y agrietamientos en los elementos estructurales, dada la moderada actividad sísmica en la región Pasco, es esencial implementar soluciones que mejoren la capacidad estructural y garanticen la seguridad de los ocupantes, en ese sentido, con la presente investigación se pretende implementar los disipadores de energía Shear Link en dicho pabellón para mejorar su capacidad estructural.

Por otro lado, a pesar de los avances significativos en el estudio de los disipadores de energía Shear Link, es necesario complementar investigaciones aplicadas a edificios educativos en regiones de moderada actividad sísmica, mediante esta investigación no sólo se beneficiarán la comunidad académica y población en general sino que también proporcionará datos valiosos para aquellos que se encuentran

orientados en el campo de la ingeniería sísmica y estructural, contribuyendo de esta manera al conocimiento científico sobre el uso de los disipadores Shear Link.

2.1.1. Antecedentes internacionales

- Ciliento, F., Ramirez, J., Nuzzo, I., Bozzo, L., Caterino, N. & Serino, G. (2020). Presentan tres métodos de diseño del dispositivo SLB implementados a una misma estructura, el edificio de Puerto Vallarta – México, el primer procedimiento de diseño denominado procedimiento directo presenta un enfoque iterativo que selecciona dispositivos adecuados para que la relación demanda-capacidad de corte no supere un valor fijo, el segundo método denominado procedimiento invertido o de fuerza fija y el tercer procedimiento, el método de diseño basado en desplazamiento basado en un análisis estático no lineal, a diferencia de los primeros métodos que se basan en un análisis modal elástico lineal, el artículo concluye que el primer y segundo método entregan dispositivos de gran ancho y grosor a diferencia del tercer método que entrega dispositivos más pequeños, descartando así, el primer método ya que por su naturaleza iterativa consume demasiado tiempo y entrega dispositivos más grandes en cada iteración, por otro lado la estructura equipada con los dispositivos SLB diseñados con el segundo método exhibió desplazamientos interpisos completamente contenidos dentro del objetivo (0.4% para evitar daños a elementos no estructurales, CFE15), mientras que la estructura diseñada con el procedimiento de diseño basado en desplazamiento presentó desplazamientos interpisos no respetando el objetivo, el cual resultó excedido en un 20%, finalmente realizando una evaluación a los tres métodos de diseño, evaluando las consideraciones económicas, el método

de diseño basado en desplazamiento resultó ser una solución de diseño más económica, ya que resultaron trabajar para un desplazamiento máximo un 162% mayor en comparación con el diseño del segundo método.

- Pantoja, M., Flores, M., Bozzo, L. & Gonzales, H. (2020). Realizaron la correlación experimental y numérica de una estructura de concreto prefabricado equipado con dispositivos SLB, el modelo se probó en la mesa de vibración unidireccional de la PUCP en Perú, teniendo limitaciones del modelo geométrico por condicionamiento de la mesa vibratoria y la condición de peso total de 150 kN, luego de realizarse un análisis dinámico no lineal para simular la respuesta sísmica del módulo en la mesa de vibración, la investigación concluye que los dispositivos SLB disiparon la mayoría de la energía sísmica de entrada, por lo que los elementos estructurales se mantuvieron en el rango elástico lineal sin daños, además, los dispositivos no fueron reemplazados después de cada prueba, pese que estos se deformaron desde la primera fase, implicando que no necesitan ser reemplazados posteriormente después de eventos sísmicos, siempre y cuando no excedan ciertos límites del dispositivo. Por otro lado, a pesar de la fuerte discontinuidad generada por los muros desacoplados en el modelo, las columnas no se sobrecargaron y no se observó ninguna rótula plástica numérica o experimentalmente, de esa forma, la estructura de concreto prefabricada propuesta cumplió con los requisitos de operación continua.
- Bozzo, L. & Gaxiola, G. (2015). En esta investigación se busca unificar los campos de control moderno y diseño clásico de estructuras mediante los conceptos de rigidez, flexibilidad y ductilidad incorporando conexiones tipo Shear Link Bozzo (SLB), se presentan tres ejemplos prácticos (edificio

Industrial Nettelco ubicado en el Perú, edificio Urbania ubicado en Guadalajara, México y para un edificio prefabricado) para analizar los criterios de flexibilidad y rigidez, en cada uno de ellos se describen criterios establecidos para su estructuración e implementación de las conexiones Shear Link, concluyendo para el primer caso una muy significativa reducción en el desplazamiento de entrepiso o deriva máxima en cada nivel, observándose reducciones cercanas al 50%, el cual indica una clara reducción del daño no estructural a menos de la mitad, además de adicionar el sistema disipativo, por otro lado el segundo caso, cuyo proyecto se encuentra en ejecución al momento de realizar la investigación, propone una solución alternativa para manejar muros discontinuos en edificios con cargas transferidas a columnas y vigas, se propone conectar los muros a sus respectivos marcos circundantes mediante sus bases y dos conexiones SLB en su extremo superior liberadas de carga vertical, dando solución a la acumulación de cargas verticales entre plantas, además se permite utilizar muros de menor espesor y por lo tanto de menor esfuerzo. En el tercer caso, al incorporar el sistema rígido – dúctil se logra una respuesta comparable en términos de cortante basal a la obtenida con aislamiento de base, pero a un costo 30% inferior y sin todas las complicaciones de disponer de una junta e instalaciones flexibles en la base durante toda la vida útil del edificio, siendo un sistema flexible se dispone de un sistema robusto.

- Aguiar, R. & Bozzo, L. (2016). Se presenta el marco teórico para el diseño de los disipadores de energía SLB de segunda generación a ser colocados en el Bloque estructural 4, basado en el diseño sísmico espacial utilizando el análisis espectral, considerando el espectro del sismo básico de diseño y

el máximo esperado, el estudio compara la estructura con la implementación de los disipadores SLB colocados sobre contravientos metálicos tipo Chevron y una estructura sin disipadores, finalmente se concluye que el Bloque Estructural 4 es una estructura muy irregular en planta y elevación por lo que se decidió incorporar disipadores SLB para incrementar el amortiguamiento inherente que tiene la estructura, con esto se consiguió que las derivas de piso no sobrepasen el 0.25% tanto para el sismo DBE como para el sismo MCE.

2.1.2. Antecedentes nacionales

- Instituto de Geología y Minería, 1978. Narra la historia de los sismos más notables ocurridos en el Perú (1513-1974), además dan a conocer la ocurrencia de sismos notables en Pasco, así como lo sucedido el 14 de octubre de 1791 a las 21:17h, fuerte temblor en la Villa de Pasco, acompañado de gran ruido, el 16 de noviembre de 1907 a las 5:10h temblor sentido en Cerro de Pasco y toda la zona central, el 17 de mayo de 1928 a las 5:55h, fuerte temblor en Cerro de Pasco, Cuzco, Macusani y Paucartambo, en este último se produjeron algunos derrumbes y, recientemente el 26 de mayo de 2019 a las 2:41h terremoto de 8.0 grados ocurrido a 70 kilómetros al suroeste de Lagunas, en Loreto, fue sentido con baja intensidad en Pasco.
- Instituto Nacional de Defensa Civil – INDECI, 2017, prevén la posible ocurrencia de un sismo de 8.8 Mw, para Lima Metropolitana y Callao, esto debido al silencio sísmico luego del sismo ocurrido en el año 1746, para la atenuación de la energía sísmica acumulada en la subducción de la placa Nazca y Sudamericana.

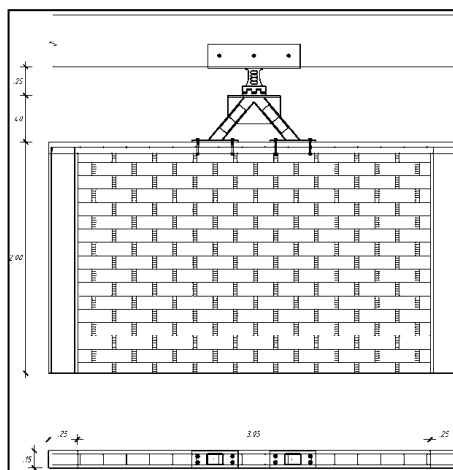
- Aquino, K. & Patiño, R. (2022). Se realizó un estudio a un edificio educativo representativo tipo 780-Pre de dos niveles ubicado en la costa peruana, la evaluación se realizó empleando métodos de análisis no lineales, estático y tiempo historia para un sismo raro de 500 años de periodo de retorno, planteándose de este modo dos alternativas para mejorar el desempeño estructural empleando los disipadores histeréticos Shear Link, la primera alternativa consistió en colocar los dispositivos histeréticos sobre un soporte de acero (arreglo Chevron) apoyado sobre los tabiques que conforman los alfeizares de las ventanas, la segunda alternativa consistió en retirar los muros de albañilería y colocar los dispositivos histeréticos sobre un soporte de acero (arreglo Chevron) apoyado en las vigas y zapatas, concluyendo que luego de realizar un análisis estático no lineal, se estimó que la edificación analizada, en su estado actual, no presenta un adecuado comportamiento sísmico, además, el nivel de desempeño para el sismo ocasional es resguardo de vida, mientras que en el sismo raro la estructura colapsaría. Además, ambas alternativas redujeron la deriva máxima considerablemente con respecto a la estructura original. La primera alternativa redujo la deriva máxima en un 50%, mientras que con la segunda alternativa la deriva se redujo en un 80%.

Figura 3. Edificio educativo tipo 780-Pre.



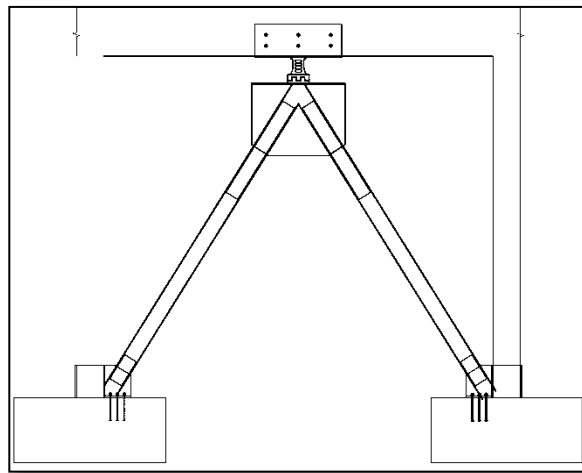
Nota: Se muestra el Edificio educativo 780-Pre, como modelo de estudio. (Aquino, K. & Patiño, R., 2022)

Figura 4. Alternativa n.º1, colocación del dispositivo SLB sobre muros de albañilería



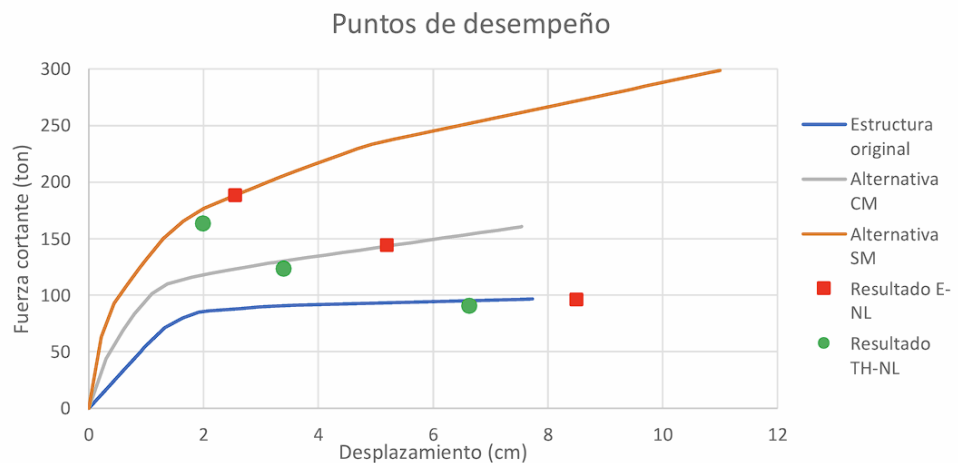
Nota: Se logra apreciar la alternativa n.º1 del estudio con la colocación y disposición del dispositivo SLB sobre muros de albañilería existentes en el eje más largo del Edificio educativo 780-Pre. (Aquino, K. & Patiño, R., 2022)

Figura 5. Alternativa n.º2, colocación del dispositivo SLB sobre soportes metálicos tipo Chevron.



Nota: Se aprecia la alternativa n.º2 con la colocación y disposición del dispositivo SLB sobre soportes metálicos tipo Chevron en el eje más largo del Edificio educativo 780-Pre. (Aquino, K. & Patiño, R., 2022)

Figura 6. Curvas de capacidad obtenidos luego del análisis.



Nota: Se logra apreciar la curva de capacidad de la estructura original (línea azul) y de las alternativas n.º1 y 2 (línea ploma y línea naranja, respectivamente). (Aquino, K. & Patiño, R., 2022)

Tabla 1. Resultados del incremento de la resistencia y ductilidad.

	Resistencia (ton)	Ductilidad	Incremento respecto a estructura original	
			Resistencia (ton)	Ductilidad
Estructura original	97	6	-	-
Alternativa CM	160	12	65%	100%
Alternativa SM	300	11	210%	85%

Nota: Adaptado de “Protección sísmica de edificios educativos peruanos vulnerables con disipadores histeréticos”, por Aquino, K. & Patiño, R., 2022, p. 111.

- Garcia, A. & Quiroz, S. (2019). En esta investigación se realizó la comparación del empleo de muros estructurales frente al empleo de los disipadores SLB, comparando así, características estructurales como el nivel de desempeño, las derivas inelásticas y fuerzas de cortante basal para cada sistema de reforzamiento estructural, mediante el Análisis Estático No Lineal – Pushover por el método de espectro de capacidad, para finalmente concluir que las derivas de entrepiso, de acuerdo con la Norma E.030 Diseño Sismorresistente del Reglamento Nacional de Edificaciones, son superiores empleando los dispositivos SLB en comparación de los muros estructurales, por lo cual habrá menor daño de elementos estructurales si se emplea los dispositivos SLB. Por otro lado, concluyen que el reforzamiento con SLB permite una formación más estable con respecto a la de muros estructurales, además, la estructura con implementación de los dispositivos SLB es ligeramente menos pesada que la que tiene muros estructurales, lo cual resulta en que las fuerzas transmitidas a las columnas son menores, por lo tanto, las cimentaciones serán menos afectadas.
- P.K. Singh, M.P. Roy (2010). Damage to surface structures due to blast vibration (Daño a estructuras superficiales debido a la vibración por

voladuras). El estudio demuestra que el daño en estructuras por vibraciones de voladura depende fuertemente tanto de la magnitud de la vibración (PPV) como del tipo de construcción. Las viviendas más vulnerables, como las de ladrillo-barro-cemento, presentan daños a niveles más bajos de vibración en comparación con estructuras de concreto reforzado (RCC), lo que evidencia la influencia de la calidad y rigidez estructural. Además, los resultados permiten establecer rangos claros de transición entre daño estético, menor y mayor, lo cual es clave para definir límites seguros de operación en actividades mineras y reducir riesgos en zonas habitadas.

Por otro lado, la investigación menciona que no solo la intensidad de la vibración es relevante, sino también su contenido frecuencial y la interacción con la frecuencia natural de las estructuras. Cuando las vibraciones coinciden con estas frecuencias naturales, se produce amplificación, especialmente en los niveles superiores de los edificios, aumentando significativamente el riesgo de daño. Asimismo, se observa que las vibraciones de baja frecuencia - comunes en la mayoría de los casos - son las más críticas, ya que tienden a coincidir con el rango natural de las estructuras. En ese sentido, la investigación muestra la importancia de considerar tanto la amplitud como la frecuencia de las vibraciones para una evaluación más precisa del impacto estructural.

- Yonggang Gou, Xiuzhi Shi, Jian Zhou, Xianyang Qiu, Xin Chen, Xiaofeng Huo (2020). Attenuation assessment of blast-induced vibrations derived from an underground mine (Evaluación de la atenuación de vibraciones inducidas por voladuras provenientes de una mina subterránea). En el estudio se demuestra que la atenuación de vibraciones por voladuras

subterráneas puede ser modelada de manera confiable mediante relaciones teóricas tipo distancia escalada (SD), siendo el escalamiento con raíz cúbica del explosivo adecuado para representar la propagación en campo lejano, mostrando además que para poder aplicar correctamente estas relaciones depende de una correcta caracterización del medio (macizo rocoso) y del esquema de carga. Asimismo, se confirma que la PPV sigue siendo un parámetro bastante “robusto” para evaluar la intensidad de la vibración.

Asimismo, el estudio introduce importantes criterios sobre la frecuencia de la vibración, mostrando que su comportamiento es más complejo que el de la amplitud. La frecuencia promedio (AF) resulta ser un mejor descriptor en macizos rocosos, mientras que factores como el recubrimiento superficial tienen baja influencia, y el peso de carga por retardo pierde relevancia en la propagación frecuencial. Esto implica que, para evaluaciones más precisas de daño o respuesta dinámica, es necesario complementar el enfoque tradicional basado en PPV con un análisis más refinado del contenido frecuencial, especialmente en estudios de interacción suelo–estructura y diseño de voladuras controladas.

- K.M. Norén-Cosgriff, N. Ramstad, A. Neby (2020). En su investigación (Building damage due to vibration from rock blasting) Daño en edificaciones debido a vibraciones por voladura de roca, se ensayó dos edificaciones sometidas a cargas por voladuras de roca concluyendo en que existe una discrepancia entre los límites normativos y el comportamiento real de las estructuras frente a vibraciones por voladuras, incluso con valores elevados de velocidad pico de partícula (PPV), no se observaron daños visibles en las edificaciones ensayadas. En ese sentido, sugieren que los

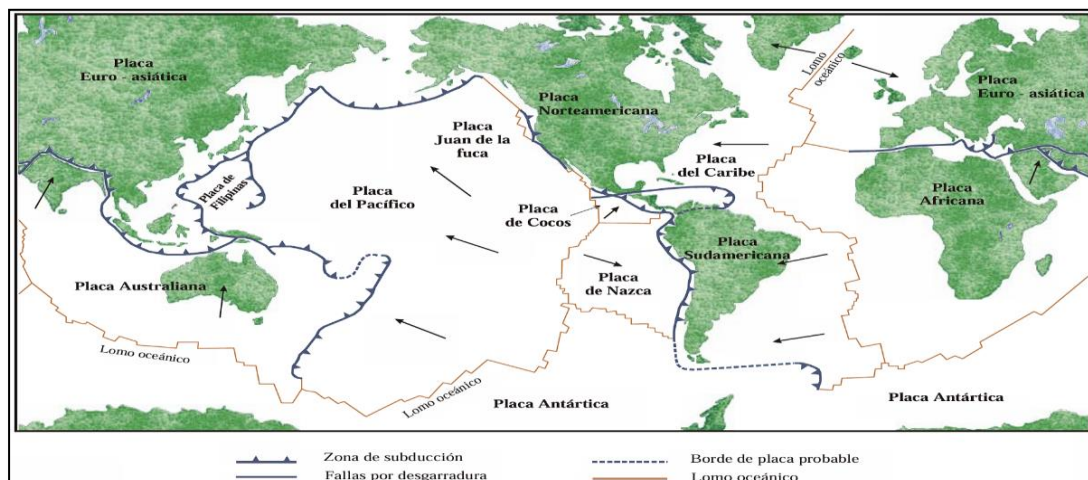
límites actuales podrían ser excesivamente conservadores, especialmente en estructuras cimentadas sobre roca. Sin embargo, la presencia de desplazamientos residuales medibles indica que sí existe una respuesta estructural, aunque no se manifieste como fisuración visible, lo que pone en cuestionamiento el uso exclusivo de criterios basados en daño observable. Por otro lado, el estudio menciona la importancia del contenido frecuencial de la vibración. La variabilidad en la determinación de la frecuencia dominante según el método utilizado en el estudio introduce incertidumbre en la evaluación del daño, lo que implica que el análisis no debería basarse únicamente en la PPV, sino en un enfoque más integral que incluya la interacción entre amplitud, frecuencia y respuesta estructural.

2.2. Bases teóricas-científicas

2.2.1. Características sismológicas

El Perú, ubicado en la subducción de las placas tectónicas de Nazca y Sudamericana, pertenecientes al Cinturón de Fuego del Pacífico, es catalogado como una zona con alta sismicidad.

Figura 7. Principales zonas tectónicas



Nota: Se aprecia las principales zonas tectónicas del mundo, asimismo la conformación del cinturón de fuego del Pacífico. (Goytia & Villanueva, 2001, p.3)

Si bien es cierto, hasta la actualidad y con toda la tecnología que se posee, aún no se logra predecir con plena exactitud la llegada de un sismo, está en las manos de los ingenieros estructurales ejecutar edificaciones con la capacidad suficiente de soportar movimientos del suelo catalogados como moderados a severos. (Chavez Aguirre, 2017, p.1)

Origen de los terremotos

El origen de los terremotos ha sido asignado a causas muy diferentes a lo largo de la Historia. En muchos casos, estas explicaciones han estado estrechamente vinculadas a las costumbres o las creencias religiosas de los diferentes pueblos y han sido atribuidas a la acción de los dioses (como, por ejemplo, a Poseidón en la Teogonía griega), o a la lucha entre deidades maléficas y protectoras. Tampoco han faltado intentos de explicación más científica como los debidos a algunos filósofos presocráticos (S. V a.C.) y a Aristóteles (S. IV a.C.), quien consideraba que los terremotos eran producidos por masas de aire caliente que intentaban escapar del interior de la Tierra. (Miguel Herráiz – 1997, p. 1)

Peligro sísmico

Se define al peligro sísmico como el grado de exposición que tiene un sitio dado a los peligros potenciales relacionados a fenómenos naturales como los terremotos, vibraciones del suelo, ruptura de fallas o problemas geotécnicos como la licuefacción del suelo.

Si bien es cierto, la ocurrencia de estos peligros potenciales, en la actualidad aún no se puede predecir con total exactitud, en ese sentido, el peligro sísmico, puede ser analizado bajo dos enfoques: Determinista y Probabilista.

a. Enfoque determinista

El peligro sísmico es determinado con exactitud, pudiéndose identificar la fecha, hora, lugar, magnitud del fenómeno, entre otras características.

b. Enfoque probabilista

El peligro sísmico es representado mediante una probabilidad de excedencia, basados en datos estadísticos de ocurrencias anteriores en un periodo de tiempo dado, lo que comúnmente se conoce como periodo de retorno.

Para la investigación, el análisis del peligro sísmico se realizó bajo un enfoque probabilista, basado en el Capítulo II – Peligro Sísmico de la Norma E.030 Diseño Sismorresistente del Reglamento Nacional de Edificaciones.

Ondas Sísmicas

Resulta del movimiento de las placas tectónicas, la liberación y relajación de los esfuerzos acumulados en el rozamiento de estas placas generan movimientos en el suelo en forma de ondas vibratorias horizontales y verticales, estas ondas se clasifican en ondas de cuerpo y ondas de superficie.

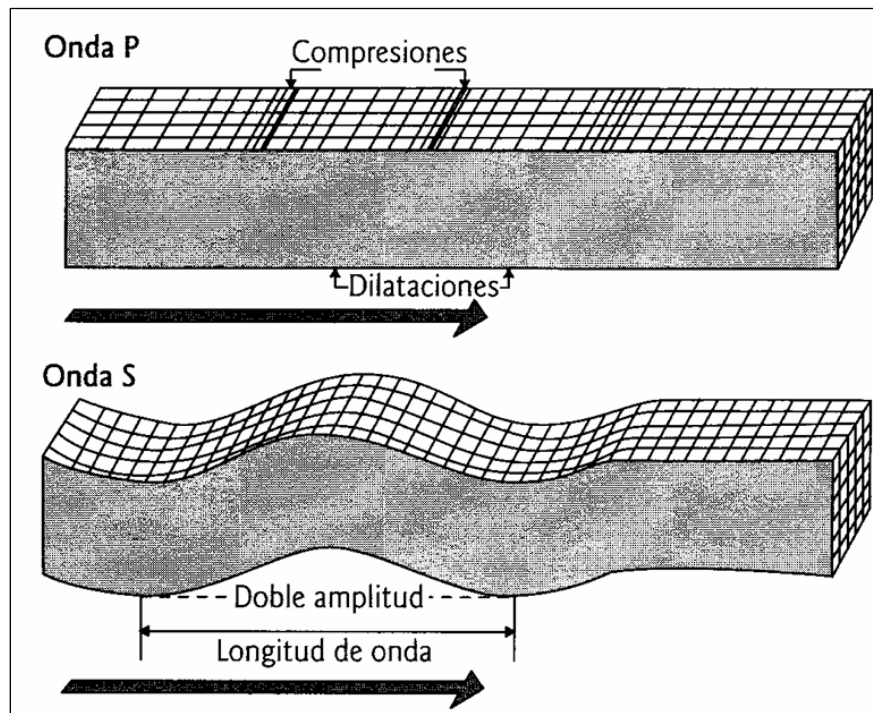
a. Ondas de cuerpo

Definidas con este término debido a que este tipo de ondas pueden viajar a través del cuerpo del material.

Ondas P: Llamadas también primarias, longitudinales, compresionales o dilatacionales; producen un movimiento de partículas en la misma dirección de la propagación, alternando compresión y dilatación del medio. (Goytia & Villanueva, 2001, p.8)

Ondas S: Llamadas también ondas secundarias, transversales o de cortante; producen un movimiento de partículas en sentido perpendicular a la dirección de propagación. (Goytia & Villanueva, 2001, p.8)

Figura 8. Transmisión de las Ondas de Cuerpo



Nota: Se aprecia la transmisión de las Ondas de Cuerpo **P** y **S** a través de la corteza.

(Salvador Gómez, 2006, p.21)

Por lo general cuando ocurre un sismo, las ondas P se registran primero, segundos más tarde llegan las ondas S, con su movimiento de arriba hacia abajo y lado a lado, causando graves daños en las estructuras. Las ondas P pueden propagarse a través de medios sólidos y líquidos, en cambio las ondas S se propagan únicamente a través de medios sólidos debido a que los líquidos no presentan rigidez al corte. (Goytia & Villanueva, 2001, p.8)

b. Ondas de superficie

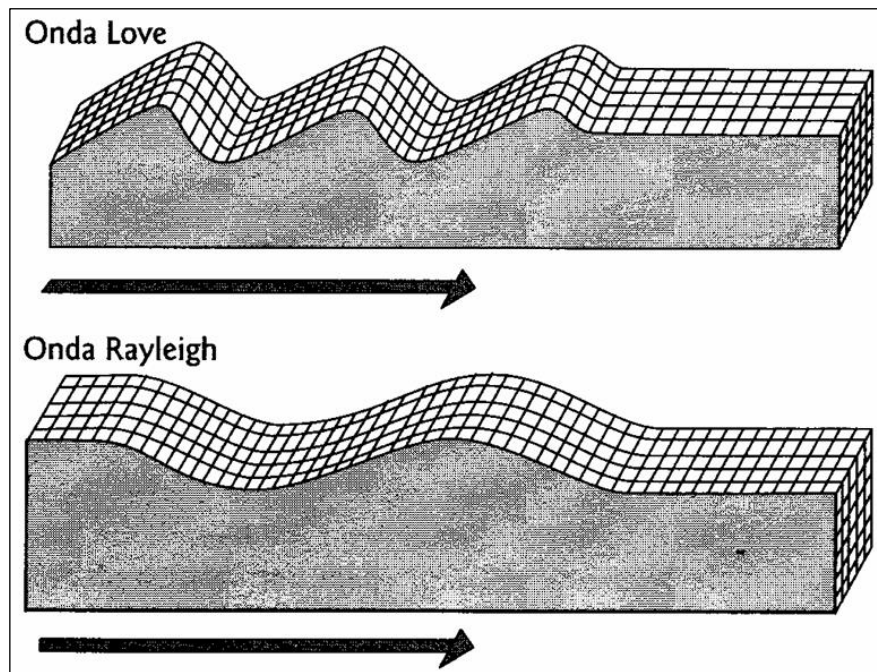
Definidas con este término debido a que este tipo de ondas viajan a lo largo de la superficie terrestre.

Ondas Love (L): Es similar al de las ondas S que no tienen componente vertical ya que mueven la superficie del suelo de lado a lado sobre un plano

horizontal y en sentido perpendicular a la dirección de propagación. (Goytia & Villanueva, 2001, p.9)

Ondas Rayleigh (R): Su movimiento es elíptico, a la vez combina movimientos verticales y horizontales.

Figura 9. Transmisión de las Ondas de Superficie



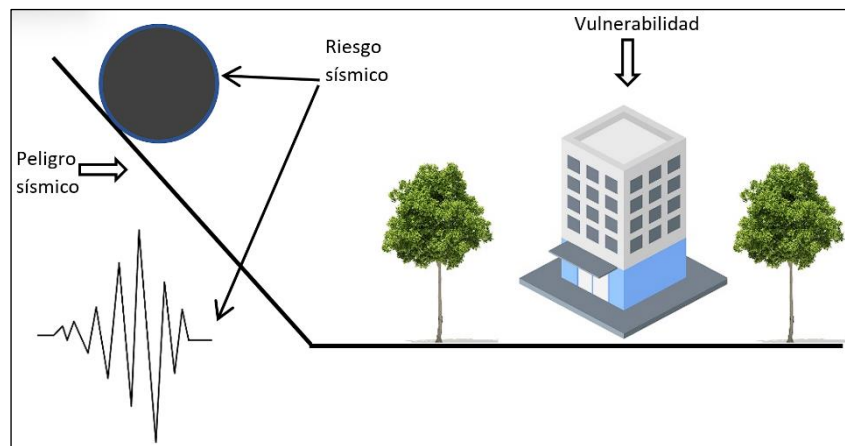
Nota: Se aprecia la transmisión de las Ondas de Superficie **L** y **R** a través de la corteza.

(Salvador Gómez, 2006, p.21)

Riesgo Sísmico

Resulta del producto del peligro sísmico y la vulnerabilidad, si en cierto caso el riesgo sísmico llegase a suceder, esto generaría pérdida de vidas, pérdidas económicas, además de generar tiempo de inactividad de la edificación.

Figura 10. Representación del riesgo sísmico



Nota: Se aprecia representación del riesgo sísmico y las fuentes de posible ocurrencia.

(Elaborado por el autor, 2024)

Vibraciones en estructuras

Para poder comprender el análisis completo de las vibraciones requiere de un estudio muy amplio, para fines de esta investigación se presenta de forma resumida conceptos básicos de las vibraciones.

Una vibración se produce cuando el sistema en cuestión es desplazado desde una posición de equilibrio estable, el sistema tiende a retornar a dicha posición, bajo la acción de fuerzas de restitución elásticas o gravitacionales, moviéndose de un lado a otro hasta alcanzar su posición de equilibrio. (Goytia & Villanueva, 2001, p.30)

Las vibraciones se clasifican en vibraciones libres y forzadas, la primera ocurre cuando una estructura es desplazada de su posición de equilibrio y se le permite oscilar sin influencia externa, la segunda ocurre cuando a la estructura se le aplican fuerzas perturbadoras externas a las que podemos llamar cargas dinámicas.

Estas vibraciones pueden ser generadas principalmente por fuerzas que pueden variar con el tiempo, como tráfico vehicular, el viento, los sismos, funcionamiento

de motores y equipos mecánicos, asimismo, pueden ser generados por los impactos y explosiones de detonaciones contraladas o accidentales.

c. Problemas generados por las vibraciones

Daños estructurales, asociados a los daños producidos por las vibraciones en elementos estructurales, ligados al desplazamiento de entrepiso.

Daños no estructurales, asociados a los daños producidos por las vibraciones en elementos no estructurales, ligado a las altas aceleraciones, lo cual puede ocasionar la inoperatividad del edificio.

Reforzamiento estructural de edificios existentes

Objetivo de intervención estructural para reforzamiento

Se sabe, que el diseño utilizado por los ingenieros estructurales está basado en la ductilidad inherente de los edificios para prevenir fallas catastróficas, mientras que se acepta un determinado nivel de daño estructural y no estructural. (Villareal G. & Oviedo R., 2009, p. 6)

La Norma E.030 Diseño Sismorresistente (NDSR) del Reglamento Nacional de Edificaciones, establece como principio de diseño, que las estructuras no deberían colapsar ni causar daños graves, pero sí permitir daños importantes en los sismos calificados como severos. Sin embargo, hoy en día, se establecen nuevos objetivos de diseño sismorresistente basados en el desempeño de la estructura bajo diferentes niveles de peligro sísmico, en ese sentido, para los edificios existentes que no cumplen con los niveles de desempeño objetivo esperado, se debe realizar la intervención estructural para el reforzamiento, de ser el caso.

En la actualidad, las normativas peruanas no contemplan un procedimiento ni técnicas para el reforzamiento sísmico de edificaciones existentes, la NDSR E.030, en el capítulo VIII, acepta la evaluación, reparación y/o reforzamiento de las

estructuras dañadas por los sismos, sin embargo, no describe un procedimiento adecuado ni técnicas de reforzamiento estructural que cumplan con el objetivo del desempeño esperado.

Enfoques como el de *Federal Emergency Management Agency* (FEMA) proponen objetivos considerando diferentes niveles de desempeño para diversos escenarios sísmicos. Los objetivos tienen influencia en el costo y la viabilidad de los proyectos a rehabilitar. En la matriz de objetivos de reforzamiento, cada objetivo se representa por letras de la “a” a la “p” y se asocia al daño esperado para diferentes periodos de retorno del sismo. (Aquino, K. & Patiño, R., 2022, p.4)

Tabla 2. *Objetivos de reforzamiento planteados por FEMA 356.*

		Niveles de desempeño esperado para edificios			
		Operativo	Ocupación Inmediata	Resguardo de la vida	Cerca al Colapso
Nivel de Peligro Sísmico	Tr = 72 años	a	b	c	d
	Tr = 225 años	e	f	g	h
	Tr = 475 años	i	j	k	l
	Tr = 2475 años	m	n	o	p

Nota: *Adaptado de “Protección sísmica de edificios educativos peruanos vulnerables con disipadores histeréticos”*, por Aquino, K. & Patiño, R., 2022, p. 4.

Los objetivos básicos de seguridad “k” y “p” buscan proteger a las estructuras del colapso ante eventos con periodo de retorno de 2475 años y resguardar la vida de sus ocupantes ante eventos con 475 años de periodo de retorno. (Aquino, K. & Patiño, R., 2022, p.4)

De acuerdo con la Tabla n.º5 de la NDSR E.030, califica como esencial a las edificaciones universitarias, en ese sentido, de acuerdo con la Tabla n.º2 del presente estudio, la edificación tendría que ser reforzada con la finalidad de

alcanzar, por lo menos, los objetivos básicos de seguridad “k”, “p” además de “a” o “b”.

Técnicas convencionales y avanzadas para el reforzamiento estructural

Cuando hablamos de reforzamiento estructural en la ingeniería civil, entendemos que refiere al aumento o incremento de la capacidad resistente original de la edificación, el reforzamiento puede ser de manera local o global, con el fin de garantizar que la estructura cumpla con requerimientos básicos de diseño.

En la actualidad, existe diferentes técnicas de reforzamiento estructural, sin embargo, no todas son aplicables a todas las edificaciones, primero hay que tener en cuenta la demanda estructural, quiere decir, lo que la estructura necesita mejorar o incrementar para cumplir con un desempeño óptimo.

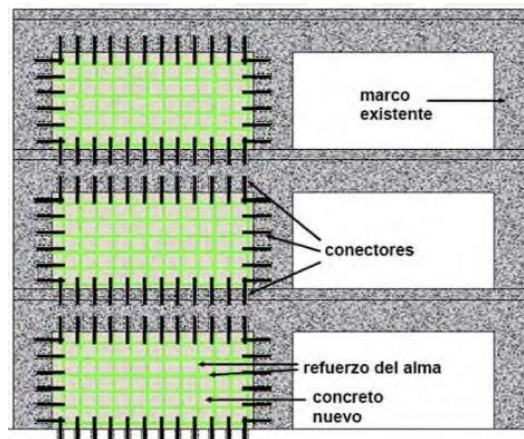
En el Perú, los eventos sísmicos ocurridos, muestran que las edificaciones fallan por efectos de las grandes deformaciones laterales, su baja capacidad de resistencia, rigideces pequeñas en la dirección de la fuerza sísmica, excesiva ductilidad, por lo cual la estructura no es capaz de retornar a su estado de equilibrio, o también deslizamientos en la base. Estas son algunas características que se pueden apreciar luego de la falla de una estructura por el efecto de las vibraciones sísmicas.

En la investigación, a modo de resumen, se dan a conocer algunas técnicas de reforzamiento estructural para efectos sísmicos, las técnicas convencionales y aquellas técnicas avanzadas, la primera denominada convencional por su uso frecuente y de bajo costo, la segunda por su uso no tan frecuente y que además la tecnología utilizada, en algunos casos, es costosa en comparación con las técnicas convencionales, a continuación, se describen dichas técnicas de reforzamiento.

d. Técnicas Convencionales

- **Adición de placas o muros de corte:** Estos serán diseñados para lograr un comportamiento dúctil frente a las solicitaciones sísmicas, de manera que no tengan una falla frágil frente a las fuerzas de corte. Debe estar diseñado para resistir combinaciones de fuerzas cortantes, momentos flectores y fuerzas axiales provocados por los eventos sísmicos. (Villafuerte, J. & Arrellano, A., 2021, p. 15).

Figura 11. Colocación del refuerzo en los muros de corte



Nota: Se aprecia la colocación de refuerzo en los muros de corte y su acople en los elementos estructurales. (Villafuerte, J. & Arrellano, A., 2021, p. 18)

- **Encamisado en concreto armado:** El encamisado de concreto se utiliza para incrementar la resistencia axial, flexión y cortante de elementos existentes. Este tipo de reforzamiento se ejecuta agregando un refuerzo longitudinal y transversal (o en su defecto una malla electrosoldada) alrededor de la sección original para, posteriormente, ser recubierta con concreto premezclado. Un incremento en las dimensiones de las columnas aumenta la capacidad a cortante del elemento más que la resistencia a flexión, con lo cual puede incrementarse significativamente la ductilidad de cortante de la columna. (Villafuerte, J. & Arrellano, A., 2021, p. 19).

Figura 12. *Encamisado de la columna.*



Nota: Se aprecia la colocación de refuerzo exterior para el encamisado de la columna.
(Villafuerte, J. & Arrellano, A., 2021, p. 19)

- **Arriostramiento metálico:** Los sistemas de arriostramiento son elementos que garantizan la estabilidad lateral de las edificaciones. (Villafuerte, J. & Arrellano, A., 2021, p. 25).

Figura 13. *Arriostramiento metálico en edificio.*



Nota: Se aprecia el arriostramiento metálico lateral en la edificación. (Villafuerte, J. & Arrellano, A., 2021, p. 25)

e. Técnicas Avanzadas

- **Aislamiento sísmico**

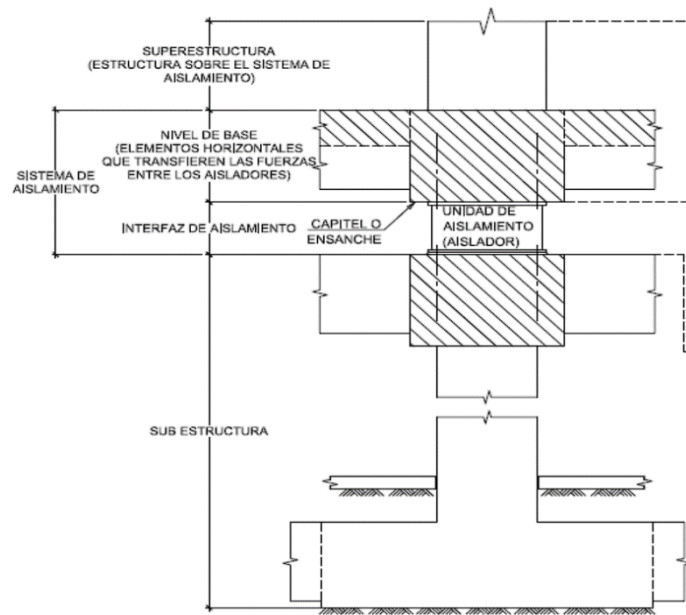
En los párrafos anteriores se describe el reforzamiento estructural mediante técnicas convencionales como el uso de muros de corte, encamisados de concreto armado y arriostramientos metálicos, con la finalidad de

incrementar la capacidad de resistencia de la estructura y poder garantizar un comportamiento adecuado, sin embargo, estas técnicas convencionales, resultan en grandes desplazamientos en los entrepisos para los edificios flexibles.

Los contenidos del edificio y los componentes no estructurales pueden sufrir daños significativos durante un terremoto importante, incluso si la estructura en sí misma permanece básicamente intacta. Esto no es tolerable para edificios cuyos contenidos son más costosos y valiosos que los edificios mismos. Las fábricas de producción de alta precisión son un ejemplo de edificios que contienen equipo extremadamente costoso y sensible. Además, los hospitales, estaciones de policía y bomberos, y centros de telecomunicaciones son ejemplos de instalaciones que contienen equipo valioso y deben permanecer operativos inmediatamente después de un terremoto. (Chen, W. & Scawthorn, C., 2002, p. 823)

Un sistema de aislamiento sísmico está compuesto por tres componentes principales, la primera es el sistema de aislamiento, conformado por la interfaz de aislamiento dónde únicamente se ubica la unidad de aislamiento o aislador, sobre el sistema de aislamiento se encuentra la superestructura, el cual corresponde todos los elementos estructurales de la edificación que transfieren la carga hacia el sistema de aislamiento, luego está la subestructura, ubicado debajo del sistema de aislamiento, la figura n.º14, muestra un sistema de aislamiento completo.

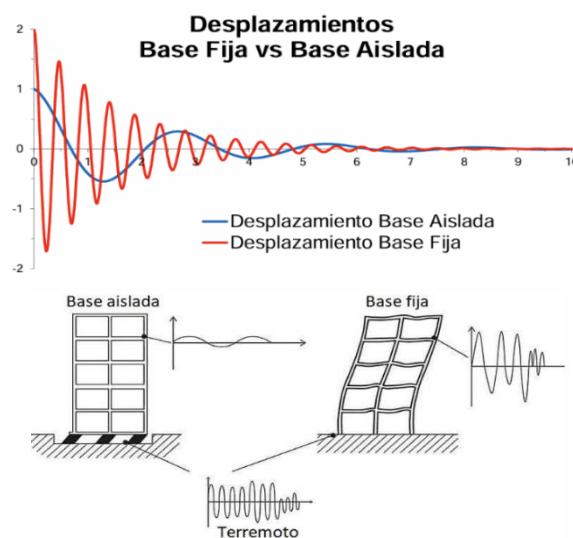
Figura 14. Sistema de aislamiento sísmico



Nota: Componentes que conforman un sistema de aislamiento sísmico. (N.T.P. E.031, 2020, p. 10)

Un edificio con aislamiento sísmico puede reducir los desplazamientos y las deformaciones en comparación con un edificio de base fija, la figura n.º15 muestra el contraste del desplazamiento de una estructura con aislamiento sísmico frente a una estructura con base fija.

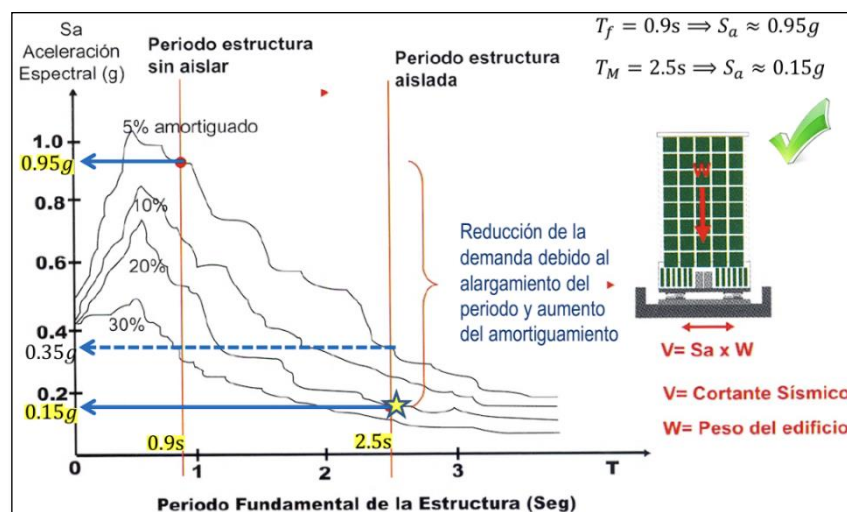
Figura 15. Desplazamientos de Base fija vs Base aislada



Nota: Se observa la diferencia del desplazamiento en edificios con base fija frente a edificios con base aislada. (Tomado del curso: Diseño práctico de edificios con aislamiento sísmico, Huamaní H., 2020, diap. 11)

El sistema de aislamiento sísmico, incrementa el periodo fundamental de la estructura, esto genera una reducción importante de la aceleración espectral y un incremento del amortiguamiento, lo cual conlleva a una reducción de las fuerzas sísmicas, disminución de los desplazamientos de los entrepisos y deformaciones en elementos estructurales, reducción de daños en elementos estructurales y no estructurales, la ocupación inmediata luego de un sismo, bajo costo de reparación y la reducción del pánico de los ocupantes.

Figura 16. Respuesta de un sistema de aislamiento sísmico



Nota: Se observa el incremento del periodo fundamental y el amortiguamiento, en respuesta a la reducción de la aceleración espectral. (Tomado del curso: Diseño práctico de edificios con aislamiento sísmico, Huamaní H., 2020, diap. 13)

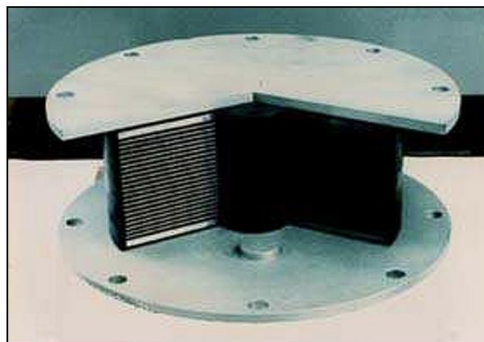
El sistema de aislamiento sísmico, representa una excelente alternativa técnica para la protección sísmica y la reducción de daños en edificios relativamente bajos o rígidos, por otro lado, la presente investigación no se enfoca en el estudio detallado del sistema de aislamiento sísmico, sin embargo,

a continuación, se describen, a modo de resumen, aquellos aisladores más desarrollados y utilizados.

Aisladores Elastoméricos

Los aisladores elastoméricos están compuesto por capas alternas de acero y goma dura y, por lo tanto, también se conoce como cojinete de goma laminada. Este tipo de cojinete es lo suficientemente rígido como para soportar cargas verticales, pero lo suficientemente flexible bajo fuerzas laterales. La capacidad de deformarse horizontalmente permite que el cojinete reduzca significativamente las fuerzas de corte inducidas por el terremoto. Aunque la función principal de los cojinetes elastoméricos es reducir la transmisión de fuerzas de corte a la superestructura mediante el alargamiento del período de vibración de todo el sistema, deben proporcionar suficiente rigidez bajo los niveles de carga de servicio para el viento y terremotos menores. (Chen, W. & Scawthorn, C., 2002, p. 824)

Figura 17. *Aislador elastomérico*



Nota: Se aprecia la conformación de las capas de goma y placas metálicas del aislador.

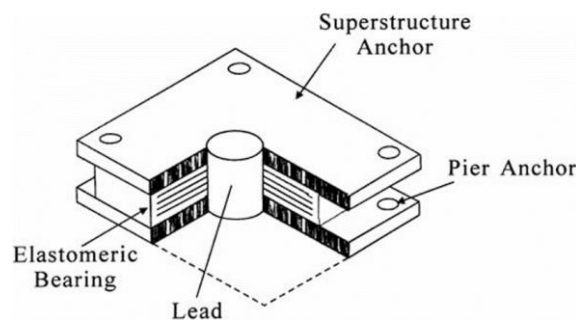
(Aguilar R., Almazán J., Dechent P., Suárez V., 2020, p. 23)

Si bien es cierto, los aisladores elastoméricos, reducen la fuerza sísmica que se transmiten a la superestructura, sin embargo, esto se da a cambio de aceptar grandes desplazamientos relativos en las capas de goma, este problema

se puede reducir mediante la instalación de dispositivos amortiguadores en el sistema de aislamiento.

Otra alternativa para reducir este problema de grandes desplazamientos, se da mediante la inclusión de un tapón central de plomo a los aisladores elastoméricos, como se aprecia en la figura n.º18.

Figura 18. *Aislador elastomérico con núcleo de plomo.*



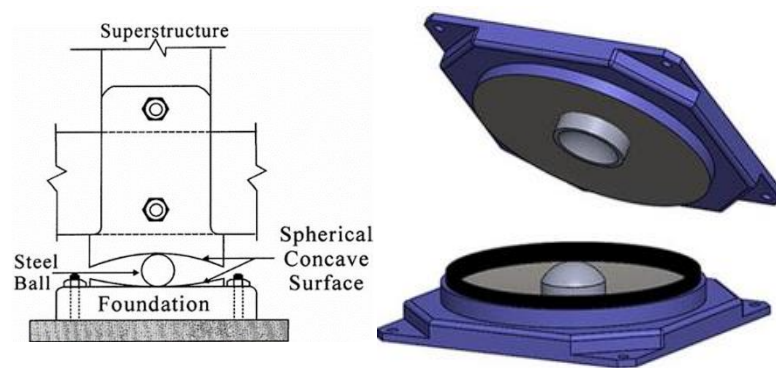
Nota: Se aprecia la inclusión del núcleo de plomo en los aisladores elastoméricos.

(Chen, W. & Scawthorn, C., 2002, p. 824)

Aisladores deslizantes o de péndulo de fricción

El sistema de aislamiento sísmico conocido como sistema de péndulo de fricción (FPS) utiliza una superficie cóncava esférica, para reducir los desplazamientos residuales que quedan luego de grandes terremotos, asimismo, la superficie cóncava proporciona una fuerza de recentrado, el cual ayuda que la estructura pueda regresar a su posición inicial, para ayudar a los aisladores de Péndulo de Fricción que puedan regresar a su condición inicial se pueden implementar dispositivos de amortiguamiento o también los aisladores elastoméricos.

Figura 19. Sistema de péndulo de fricción.



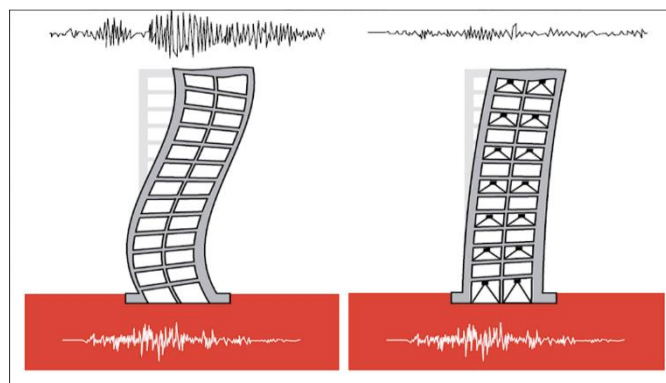
Nota: Se aprecia superficies cóncavas superior e inferior para garantizar una fuerza restauradora. (Chen, W. & Scawthorn, C., 2002, p. 825)

- Disipación de energía

La disipación de energía mejora el desempeño estructural de la edificación, mientras agrega amortiguamiento y en algunos casos mayor rigidez, asimismo, estos dispositivos de disipación reducen el desplazamiento sísmico de la estructura.

La figura n.º20, muestra el análisis de la reducción del desplazamiento lateral de una edificación con el uso de los dispositivos de disipación de energía frente a una edificación sin considerar los dispositivos.

Figura 20. Respuesta sismorresistente de un edificio con disipadores de energía



Nota: Se observa la reducción de los desplazamientos laterales en una edificación con uso de dispositivos de energía frente a una edificación sin dispositivos de disipación.

(Tomado del curso: Análisis y diseño sismorresistente de edificios con disipadores de energía, Chavez J., 2020, diap. 9)

La presente investigación se enfoca en el uso de disipadores de energía, en ese sentido se describe, con mayor énfasis, el uso, comportamiento y diseño de estos dispositivos en los apartados siguientes.

Sistemas de control estructural

Estado del arte del diseño sismorresistente

Tradicionalmente el diseño sísmico convencional de las edificaciones se basa en conceptos de resistencia, rigidez y su capacidad de disipación de energía mediante la ocurrencia de rótulas plásticas dúctiles en las vigas y columnas.

Estas consideraciones son aceptables económicamente, considerando que el colapso estructural sea prevenido y además pueda asegurar la seguridad de la vida de las personas.

Por otro lado, si la edificación debe permanecer funcional luego de un sismo, tales como los hospitales, estaciones de bomberos, locales educativos, entre otros, estas características de diseño no son aplicables y el diseño convencional es inapropiado, tal sería el caso que, si la capacidad estructural aumenta, mediante el incremento de la resistencia y una ductilidad menor, se podría prevenir las acciones inelásticas, lo cual conlleva a un costo de la inversión demasiado caro.

A través de los años, se han desarrollado nuevos procedimientos alternativos que pueden incorporar un sistema de protección sismorresistente a la estructura, estos sistemas pueden ser mediante la implementación de sistemas de aislamiento de base, o también

dispositivos de disipación de energía, esto para asegurar la protección de la vida de las personas, los elementos estructurales y no estructurales y que además puedan reducir el costo de reparación y tiempo de recuperación de la edificación.

Balance de energía

Durante la ocurrencia de un sismo, parte de la energía sísmica es absorbida por el suelo, la otra parte es absorbida por la estructura, durante esta distribución de energía, la energía finita de entrada a la estructura es transformada en energía cinética y energía potencial, las cuales son disipadas a través del calor. A continuación, se muestra la ecuación que gobierna la conservación de la energía:

$$E = E_C + E_P + E_I \quad \text{Ecuación 2.1.}$$

Dónde:

E = Energía de entrada

EC = Energía cinética

EP = Energía potencial de deformación elástica (recuperable)

EI = Energía irrecuperable, disipada por la estructura misma a través de la inelasticidad.

Sin embargo, ante un evento sísmico, la energía irrecuperable incrementa debido a que la estructura incursiona en el rango inelástico, esto implica gran absorción de la energía sísmica y la formación de las rótulas plásticas.

Por otro lado, se puede mejorar el comportamiento estructural, disminuyendo la energía de entrada mediante la implementación de aisladores sísmicos, cuyo funcionamiento ya fue explicado en la sección

2.2.2., o incrementando la energía de amortiguamiento, el cual siempre existe de manera inherente en las estructuras. Entonces, si se añade energía de amortiguamiento mediante dispositivos suplementarios, la estructura sólo disiparía la energía remanente del sismo, esto aseguraría que no se formen las posibles rótulas plásticas, asimismo, la ecuación de la energía adicionado con sistemas de protección sísmica quedaría de la siguiente manera:

$$E = E_C + E_P + E_I + E_D$$

Ecuación 2.2.

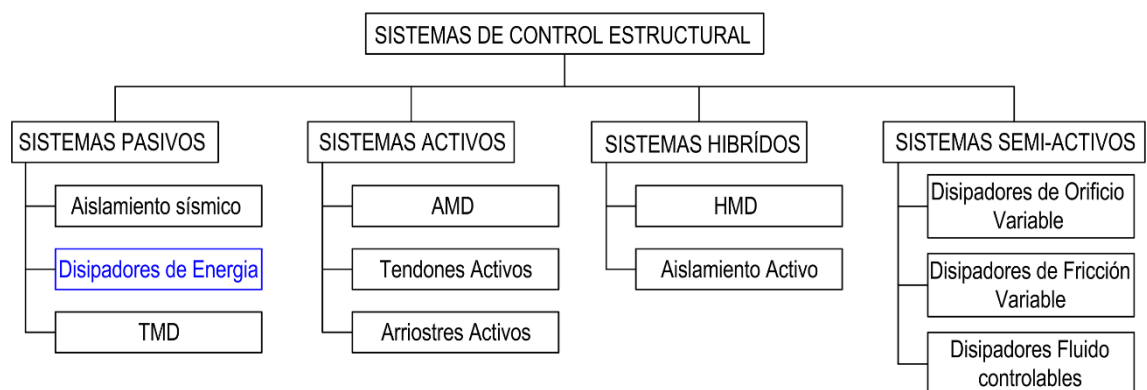
Dónde:

E_D = Energía disipada por los dispositivos suplementarios

Sistemas de control estructural

A través de los años se ha buscado mejorar la respuesta estructural de las edificaciones, en la actualidad gracias al avance de la tecnología y a numerosas investigaciones se crearon, como una alternativa, diversos sistemas de control estructural para la protección sísmica.

Figura 21. *Clasificación de los sistemas de control estructural*



Nota: Se observa la clasificación de los diferentes sistemas de control estructural, los sistemas pasivos, activos, híbridos y semi-activos. (Elaborado por el autor, 2024)

A modo de resumen, los sistemas de control pasivo se basan en elementos que responden de forma inercial la acción sísmica y a diferencia del resto de sistemas no precisan de aporte energético para funcionar. Los sistemas de activos, híbridos y semiactivos están formados por actuadores de fuerza y/o elementos pasivos, controlador a tiempo real y dispositivos sensores instalados en la estructura. (Villareal G. & Oviedo R., 2009, p. 23, 24)

La presente investigación se enfoca en el estudio de los sistemas de control pasivo, específicamente en los disipadores de energía tal como se detalla en las siguientes secciones.

f. Sistemas de control pasivo

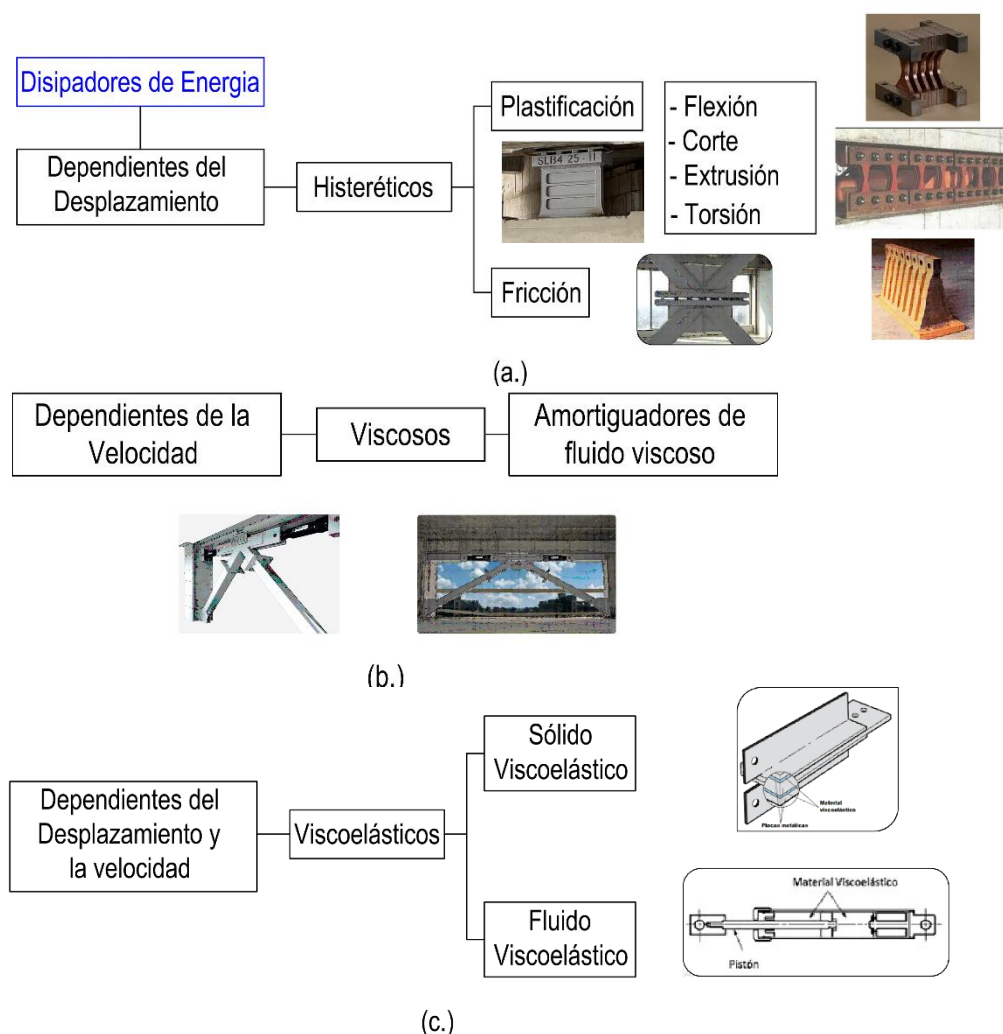
La figura n.º 21 muestra la clasificación de los sistemas de control estructural, los sistemas de control pasivos clasificados en sistemas de aislamiento sísmico, de disipación de energía y los sistemas TMD. Los sistemas de aislamiento sísmico se detallaron en la sección 2.2.2., luego están los disipadores de energía los cuales se detallarán en la siguiente sección y por último está el sistema pasivo TMD o “Tuned Mass Dampers”, este a diferencia de los dos anteriores adiciona una masa, preferentemente en los últimos niveles de la edificación, lo cual crea una fuerza en sentido contrario a las fuerzas laterales del sismo, de esta manera absorbe y logrando reducir parte de la energía sísmica de ingreso.

En general, las propiedades más valiosas de los sistemas pasivos son su robustez, no dependen de fuentes de energía, son mecánicamente simples y su costo es competitivo. (Villareal G. & Oviedo R., 2009, p. 24)

Dispositivos pasivos de disipación de energía

Los dispositivos pasivos de disipación de energía no dependen de una fuerza externa, más que la fuerza sísmica de ingreso, para iniciar con la disipación de energía, su comportamiento y desempeño es propio de cada dispositivo, estos se clasifican en 3 grupos, aquellos dispositivos dependientes del desplazamiento (figura n.º22.a.), de la velocidad (figura n.º22.b.), y aquellos dependientes del desplazamiento y velocidad (figura n.º22.c.).

Figura 22. Dispositivos pasivos de disipación de energía



Nota: La figura 22.a. muestra los disipadores de energía dependientes del desplazamiento, 22.b. los disipadores de energía dependientes de la velocidad y la

figura 22.c. disipadores de energía dependientes del desplazamiento y la velocidad.

(Elaborado por el autor, 2024)

El uso y la implementación de los disipadores de energía presentan ventajas y desventajas, como se describe:

Ventajas:

- Reducen el nivel de daño de la estructura
- Reducen las vibraciones por sismo y las vibraciones producidas por efecto del viento.
- Reducen las deformaciones dañinas en los componentes estructurales y no estructurales.
- Minimizan el daño relacionado al contenido y el equipamiento de la edificación.
- Pueden ser implementados en estructuras de baja y gran altura.
- No se requiere un mantenimiento constante.
- Contribuye con la armonía arquitectónica.

Desventajas:

- Su implementación requiere de muchos dispositivos.
- Posible recambio luego de un sismo.
- Algunos de estos dispositivos son relativamente costosos.

g. Disipadores de energía dependientes del desplazamiento

Denominado de esta forma debido a que estos dispositivos dependen del desplazamiento de la estructura para iniciar con la disipación de la energía sísmica

a) Disipadores histeréticos por plastificación de metales

La plastificación de metales en disipadores se puede producir a partir de esfuerzos estructurales o bien a partir del proceso de extrusión. Cualquier

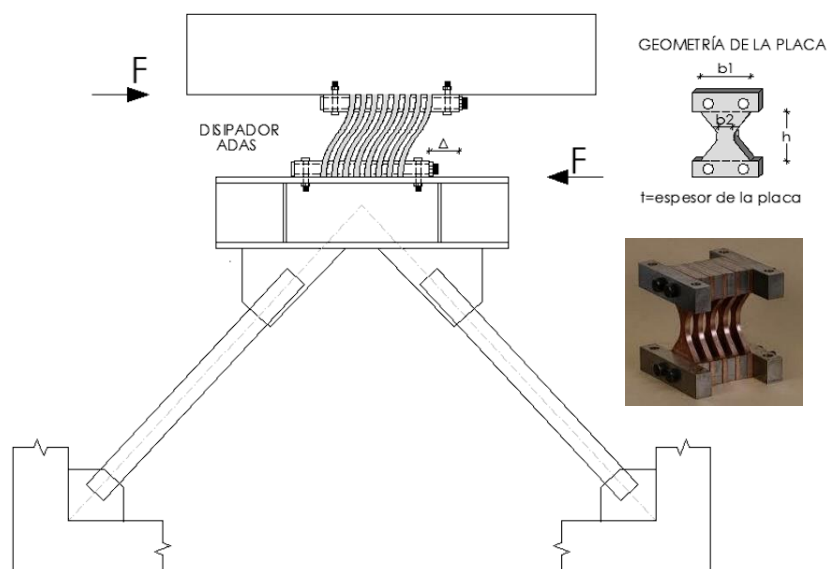
esfuerzo, sea de torsión, flexión, cortante o axial puede conducir a procesos de plastificación en metales. El acero ha sido sin duda el metal más empleado en disipadores. Entre sus virtudes están las posibilidades constructivas que ofrece, su bajo costo y su elevada ductilidad. (Villareal G. & Oviedo R., 2009, p. 32)

En la actualidad existen una amplia variedad de estos dispositivos, en esta sección se comentará a modo de resumen el funcionamiento de aquellos dispositivos que se vienen usando comúnmente, los cuales se encuentran disponibles en el mercado nacional y que su uso en el Perú se ha incrementado debido a su costo relativamente bajo.

b) Disipadores ADAS (Added Damping and Stiffness)

Los disipadores ADAS están formados por n placas metálicas de espesor t y altura h en forma de “x”, o tipo reloj de arena, cuyas dimensiones son b_1 en la parte más ancha y b_2 en la parte más angosta, como se puede apreciar en la figura n°23, estas placas están empernadas tanto en la parte inferior como superior a unas placas rígidas, generando así una idealización de doble empotramiento.

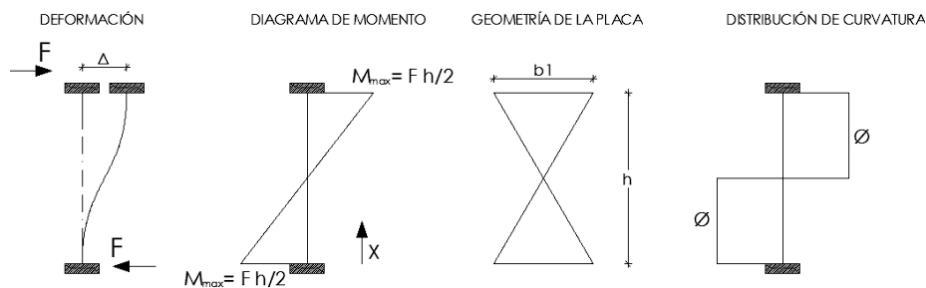
Figura 23. Disipadores ADAS sobre arreglo metálico tipo Chevrón.



Nota: La figura 23 muestra la colocación del dissipador ADAS sobre un arreglo metálico tipo chevrón, indicándose las dimensiones del dispositivo y sometido a fuerzas laterales. (Aguilar R., Mora E., Rodríguez M., 2016, p.14)

Luego de aplicarse una fuerza F en los extremos del dissipador ADAS, en la figura n.º24 se observa que los momentos flectores son máximos en los extremos y mínimos en la mitad de la altura de la placa, produciéndose además un desplazamiento relativo Δ y una deformación a flexión de doble curvatura, lo cual conlleva la plastificación total de todo el conjunto de placas en mismo instante.

Figura 24. Diagrama de deformación, momento, geometría de la placa y distribución de curvatura.



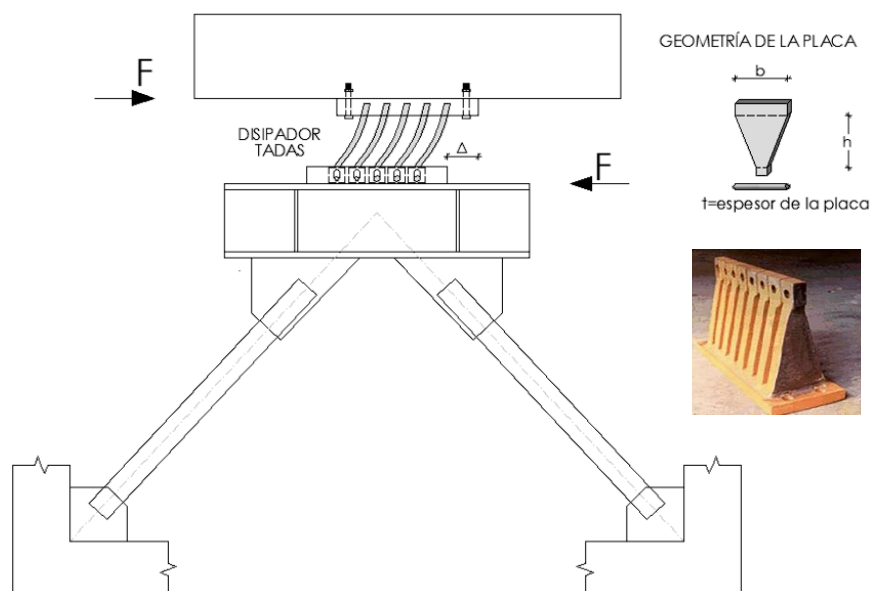
Nota: Se parecía los diferentes comportamientos del dissipador ADAS sometidos a una fuerza lateral F . (Aguilar R., Mora E., Rodríguez M., 2016, p.15)

c) Dissipadores TADAS (Triangular Added Damping and Stiffness)

Al igual que los dissipadores ADAS, los dissipadores TADAS proporcionan el incremento del amortiguamiento y rigidez a la estructura, los TADAS están formados por n placas metálicas de espesor t y altura h en forma triangular, cuya dimensión es b en la parte más ancha, como se puede apreciar en la figura n.º25, estas placas están soldadas en la parte superior a unas placas rígidas, generando así una idealización de empotramiento móvil, mientras que la parte inferior, está unida mediante un pasador a una placa de conexión, el cual

permite un desplazamiento vertical a lo largo de los agujeros y puede ser idealizado como un extremo simplemente apoyado.

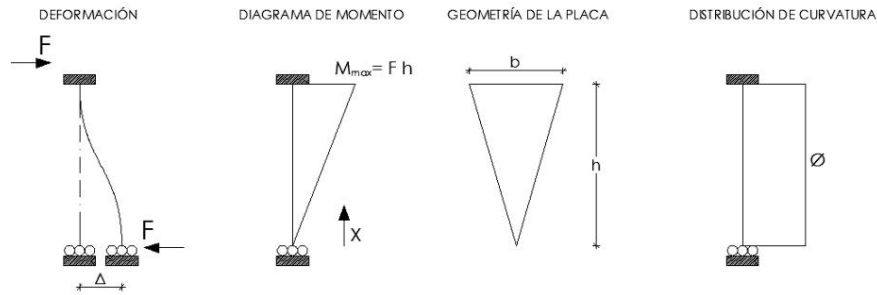
Figura 25. Disipadores TADAS sobre arreglo metálico tipo Chevrón.



Nota: La figura 25 muestra la colocación del disipador TADAS sobre un arreglo metálico tipo chevrón, indicándose las dimensiones del dispositivo y sometido a fuerzas laterales. (Aguilar R., Mora E., Rodríguez M., 2016, p.15)

De manera similar a los dispositivos ADAS, los dispositivos TADAS presentan momentos flectores máximos en el extremo de empotramiento, una deformación a flexión de curvatura simple, generando una plastificación total de todo el conjunto de placas, además, se destaca que existe un desplazamiento relativo entre ambos extremos.

Figura 26. Diagrama de deformación, momento, geometría de la placa y distribución de curvatura.



Nota: Se parecían los diferentes comportamientos del disipador TADAS sometidos a una fuerza lateral F . (Aguilar R., Mora E., Rodríguez M., 2016, p.16)

Al incorporar este sistema en un pórtico de acero a escala natural se ha observado que las reducciones en la respuesta son similares a las obtenidas con el ADAS. (Villareal G. & Oviedo R., 2009, p. 34)

d) Disipadores SL (Shear Link)

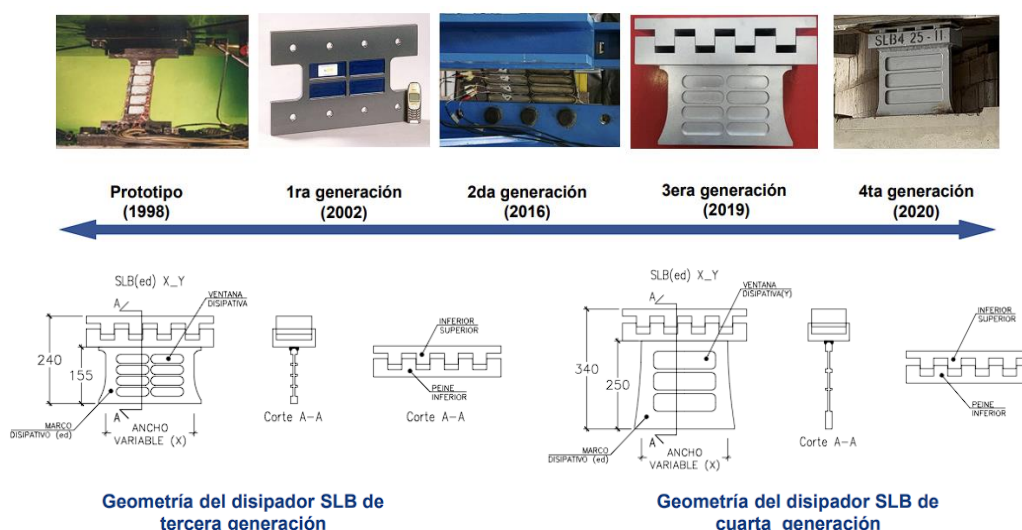
El disipador Shear Link (SL) surgió en el año de 1989, con la idea de aprovechar la capacidad disipativa por corte y flexión de los metales; que en ese entonces ya aprovechaba el sistema de brazos excéntricos metálicos desarrollados por Popov. (Bozzo L. & Gaxiola, 2015).

Los disipadores Shear Link, están formados por una placa metálica de espesor t y altura h con un marco disipador formado por franjas rígidas, en el alma de la placa existen “ventanas” metálicas disipativas de menor espesor, de esta forma el dispositivo requiere de pequeñas fuerzas cortantes para iniciar su fluencia.

A través de los años, los disipadores Shear Link han pasado por un proceso de pruebas experimentales, como se observa en la figura n.º27, desde su primer ensayo del prototipo en el año 1998 en el Laboratorio de Estructuras ISMES-Italia, dónde se consideraba un dispositivo empernado en ambos extremos, con

una idealización de doble empotramiento, hasta el ensayo del dispositivo de cuarta generación realizado en el Laboratorio de Estructuras – CANTABRIA-España-2020, dónde el dispositivo ahora es, en el extremo superior almenado o “tipo peine”, mientras que el extremo inferior esta soldada a una placa rígida, por lo mismo que se puede idealizar como un apoyo empotrado en la parte inferior y un apoyo móvil en el extremo superior para asegurar el desplazamiento relativo entre ambos extremos y anular la transferencia de la carga axial del dispositivo a la estructura.

Figura 27. Evolución del disipador S.L. a través de los años



Nota: Se aprecia los diferentes arreglos del dispositivo S.L. a través de los años, asimismo, los dispositivos S.L. de uso actual, los de tercera y cuarta generación. (Tomado del curso: Diseño de estructuras con Disipadores Shear Link Bozzo, Muñoz E., 2022, diap. 24, 44)

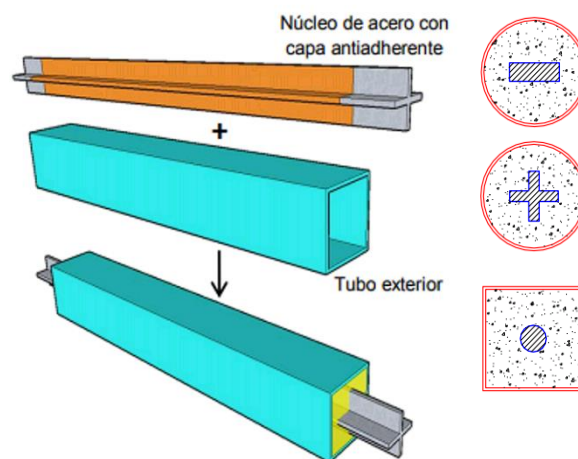
Una característica importante de los dispositivos S.L. es que disipan energía por un mecanismo doble. La energía se disipa inicialmente en el marco y la ventana a través de esfuerzos de corte. Luego de que se degradan las ventanas disipativas, el marco del disipador continúa con el proceso de disipación de energía mediante esfuerzos de flexión (Nuzzo, 2026)

Por otro lado, más que un determinado disipador o amortiguador, la conexión S.L. es una rotula plástica que el diseñador puede ubicar según su inventiva y conocimientos. Estos dispositivos al presentar un fallo dúctil no representan un peligro para la seguridad global de la estructura, de este modo el efecto del movimiento sísmico se desvía de la estructura a estos puntos diseñados especialmente para este fin, evitando daños en la estructura (Hurtado & Bozzo, 2008).

e) Disipadores B.R.B (Buckling Restrained Braces)

Los disipadores B.R.B (Buckling Restrained Braces) o, conocido en nuestro medio como Disipadores de Riostras o Diagonales de Pandeo Restringido están formados por un núcleo de acero confinado con concreto o mortero de alta resistencia, el cual restringe el pandeo bajo cargas de compresión axial.

Figura 28. Elementos componentes de un dispositivo B.R.B. y las configuraciones del núcleo.



Nota: A la izquierda se aprecia los elementos que componen un dispositivo B.R.B., a la derecha se presenta las diferentes configuraciones del núcleo. (Cancelado R., 2013, p.2)

La figura n.º28 muestra las diferentes configuraciones que puede adoptar el núcleo, mientras que el tubo exterior usualmente tiene sección circular o cuadrada.

El núcleo se encarga de soportar la carga axial mientras que el tubo exterior, proporciona soporte lateral al núcleo y evita el pandeo global del dispositivo. La capa de material antiadherente a lo largo del núcleo de acero elimina la transferencia de esfuerzos cortantes durante el alargamiento y la contracción del núcleo y también permite su libre expansión lateral cuando está en compresión. (Cancelado R., 2013, p. 2)

h. Disipadores de energía dependientes de la velocidad

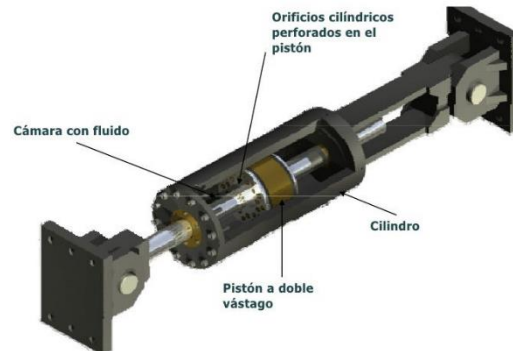
Denominado de esta forma debido a que estos dispositivos dependen de la velocidad de oscilación de la estructura para iniciar con la disipación de la energía sísmica.

a) Disipadores de fluido viscoso

Los amortiguadores viscosos proporcionan una fuerza que resiste el movimiento de la estructura, esta fuerza es proporcional a la velocidad relativa entre los extremos del amortiguador. Los disipadores de fluido viscoso, son dispositivos que trabajan con un pistón y una cámara hueca de acumulación de fluido silicónico, en la cual ante los desplazamientos del pórtico trabajan pasando el fluido de una cámara a otra mediante orificios donde ante dicha acción ocurre la conversión de energía mecánica mediante el calor interno y por ende la disipación de la energía sísmica. Estos dispositivos dependen de la velocidad, reduciendo al mismo tiempo tanto deflexiones como esfuerzos en todo y cada uno de los elementos estructurales debido a sus propiedades no sobre-esfuerzan a la estructura, siendo su principal ventaja la gran absorción

de energía sísmica y el no ser cambiados luego de un evento sísmico severo a diferencia de un disipador Histerético. (Chavez Aguirre J., 2017, p.44-45)

Figura 29. *Disipador de energía de fluido viscoso*



Nota: Se aprecia un disipador de energía de fluido viscoso y sus componentes. (Chavez Aguirre J., 2017, p.46)

Figura 30. *Uso de los disipadores de fluido viscoso en edificación nueva*



Nota: Se aprecia el uso de los disipadores de fluido viscoso en arreglo tipo chevrón Braces en edificación nueva del Mall San Miguel, Lima, Perú. (Taylor Devices Inc., 2024, p.137)

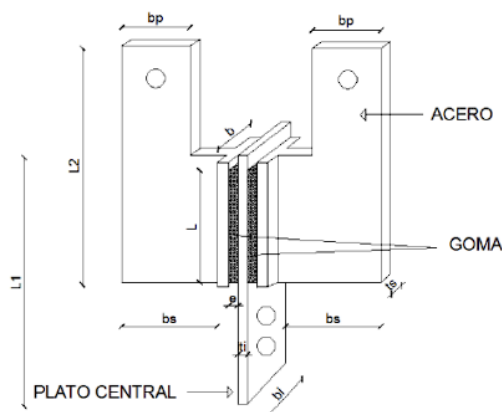
i. Disipadores de energía dependientes de la velocidad y el desplazamiento

a) Disipadores viscoelásticos (sólido)

Los disipadores viscoelásticos están formados con chapas metálicas unidas con capas finas de material viscoelástico, ver figura n.º31, y presentan

ciclos histeréticos característicos elípticos. (Villarreal G. & Oviedo R., 2009, p.41)

Figura 31. *Disipador de fluido viscoso*



Nota: Se aprecia el disipador de fluido viscoso con las planchas de acero y el material viscoelástico. (Huamani H., 2020, p.21)

La acción disipativa de este dispositivo se basa en el incremento del amortiguamiento y la rigidez de la edificación, sin embargo, económicamente hablando presentan inconvenientes, ya que para lograr un amortiguamiento significativo y garantizar una respuesta estructural adecuada es necesario la colocación de una gran cantidad de dispositivos.

Disipadores histeréticos por plastificación de metales: Shear Link

Como se comentó brevemente en el ítem 2.2.3.4.1. de este estudio, los disipadores Shear Link son dispositivos dependientes del desplazamiento, el cual aprovecha la capacidad disipativa por corte y flexión de los metales para plastificarse y disipar energía sísmica.

En este apartado, se estudia las características propias y netamente de los disipadores Shear Link, se estudia los elementos que lo componen, el modelo matemático, el comportamiento Histerético, entre otros.

j. Componentes de un disipador Shear Link

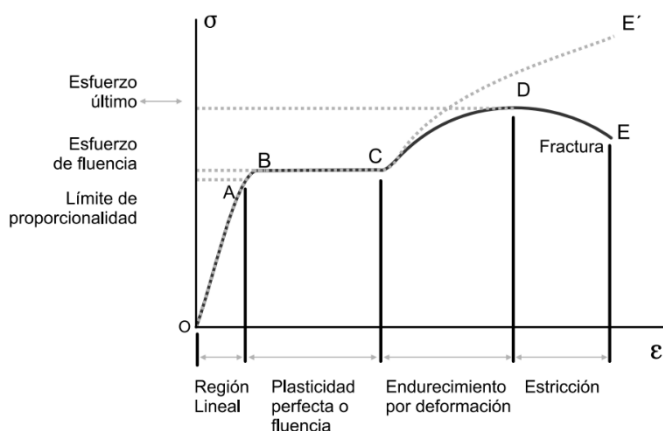
Los disipadores Shear Link, están formados por una placa metálica de espesor t y altura h con un marco disipador formado por franjas rígidas, en el alma de la placa existen “ventanas” metálicas disipativas de menor espesor.

La placa metálica del dispositivo está fabricada con acero de grado 36 – A36, estos metales muestran gran comportamiento dúctil y su gran capacidad de resistencia a cortante.

Comportamiento del acero frente a cargas estáticas

La curva esfuerzo-deformación describe el comportamiento del acero ante ensayo de tensión uniaxial de forma incrementada a una velocidad muy lenta hasta que llega a la rotura.

Figura 32. Diagrama de esfuerzo-deformación del acero



Nota: En el diagrama se aprecia el comportamiento del acero desde el comportamiento lineal hasta el punto del esfuerzo de fractura. (Enciso F., 2019, p.39)

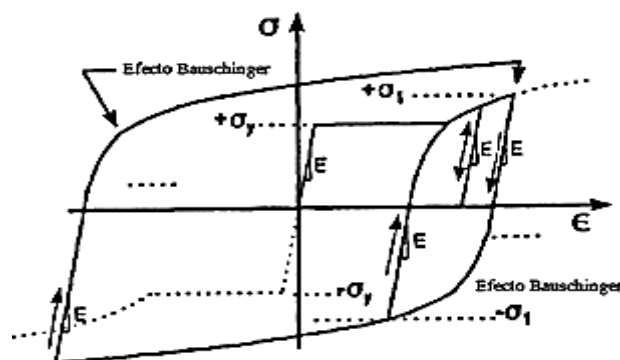
La figura 32 indica que la respuesta del acero frente a cargas estáticas presenta cuatro regiones definidas. Del punto O al punto A corresponde a la región lineal elástica, a partir del punto A inicia la zona plástica, el punto B es el inicio de la fluencia, a partir de este punto se incrementa las deformaciones considerablemente para el esfuerzo de fluencia hasta llegar al punto C, a partir del cual inicia una fase

de endurecimiento por deformación donde se ocurren deformaciones para pequeños incrementos de esfuerzos hasta llegar al punto D donde se genera el esfuerzo último o máxima resistencia aparente que resiste el acero a partir del cual inicia la región de estricción caracterizada por una reducción de la sección del espécimen ensayado , en este tramo el acero se va poniendo menos tenso hasta el momento de la rotura. (Enciso F., 2019, p.39)

Comportamiento del acero frente a cargas cíclicas

El acero frente a fuerzas cíclicas de carga y descarga incremental presentan curvas histeréticas que inician con una fase elástica hasta superar el esfuerzo de fluencia donde se produce un punto de inflexión en la curva e inicia la fase inelástica hasta llegar al máximo esfuerzo aplicado el cual no debe superar el esfuerzo máximo que resiste el acero según la figura n.º32, alcanzado la fuerza máxima aplicada se inicia el proceso de descarga el cual inicia de forma paralela a la fase elástica hasta alcanzar nuevamente el rango inelástico. Este proceso se repite de forma cíclica de acuerdo a los ciclos de carga que se le aplique sobre el elemento. La figura n.º33 describe lo anteriormente descrito, se observa que el diagrama de la figura n.º32 forma parte del diagrama ante cargas cíclicas.

Figura 33. Comportamiento del acero frente a cargas cíclicas

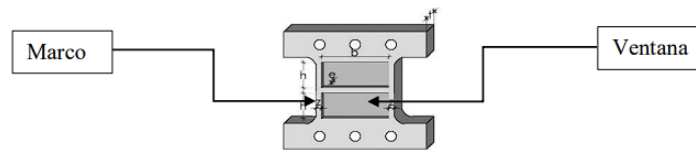


Nota: Se muestra el comportamiento del acero frente a cargas cíclicas, notándose el incremento de carga y descarga, incursionando del rango elástico al inelástico. (Enciso F., 2019, p.40)

k. Geometría y elementos componentes del disipador Shear Link

Los dispositivos Shear Link están diseñados para absorber la mayor cantidad posible de fuerza generada por un sismo. Está compuesto principalmente por marcos rígidos y ventanas o paneles, ver figura n.º34, que son los elementos encargados de disipar la energía. Estos paneles se fabrican mediante un proceso que evita soldaduras entre sus partes, asegurando una mayor eficacia durante un sismo. Las ventanas, que actúan como zonas más débiles, se deforman de manera permanente a medida que ocurre el sismo, permitiendo así la disipación de energía. Debido a sus pequeñas dimensiones, estas ventanas comienzan a disipar energía con deformaciones mínimas, lo que ayuda a reducir los desplazamientos laterales y protege mejor los elementos no estructurales de la edificación.

Figura 34. *Disipador Shear Link de dos ventanas*



Nota: Se muestra el disipador Shear link, identificándose los marcos rígidos y los paneles o ventanas. (Enciso F., 2019, p.41)

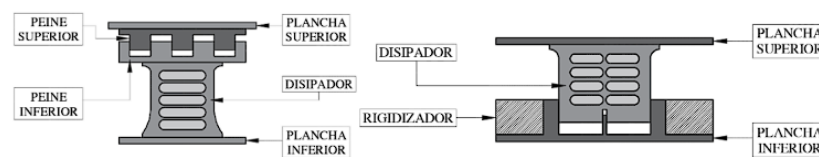
Entonces, los dispositivos Shear Link se diseñan para que se deformen plásticamente antes de que las ventanas más delgadas se pandeen, ya que el pandeo reduce considerablemente la capacidad de disipar energía.

Como se nota, es relativamente fácil modificar las dimensiones y aumentar el espesor de la ventana y los marcos según la fuerza cortante de plastificación en el lugar donde se va a instalar. El disipador Shear Link puede adoptar distintas configuraciones, ya que su principio fundamental es proporcionar una articulación plástica capaz de adaptarse a diversas fuerzas y desplazamientos de plastificación. Por ello, no se utiliza un sistema único o una geometría fija, sino que el diseñador

debe seleccionar entre varias opciones disponibles. Esto muestra una ventaja para el diseñador, debido a la variedad de alternativas que se pueden emplear para utilizar los disipadores Shear Link.

La figura n.º33 muestra, en la parte superior del disipador orificios para la colocación de los pernos, mientras que en la parte inferior los agujeros para la colocación de los pernos no son circulares, sino más bien son ovalados, esto permite que el dispositivo pueda desplazarse verticalmente y evitando que se produzca la transferencia de cargas axiales hacia los elementos inferiores. Luego de realizar varios ensayos experimentales, en la actualidad se incluyen nuevas configuraciones de los disipadores Shear Link como se muestra en la figura n.º34.

Figura 35. Disipador Shear Link con conexión tipo peine.



Nota: Se muestra el disipador Shear link con conexión tipo peine, el cual se considera como dispositivo Shear Link de cuarta generación. (Enciso F., 2019, p.42)

Los disipadores de cuarta generación, al igual que los disipadores vistos en la figura n.º33, no permiten la transferencia de cargas axiales debido a la separación que existe entre el peine superior e inferior, es más los dispositivos de cuarta generación, presenta mayor rigidez.

Como se mencionó en los ítems anteriores, el dispositivo Shear Link es dependiente del desplazamiento así que, a la primera fracción de milímetro de desplazamiento, el disipador inicia su plastificación en los paneles.

a) Modelo matemático

Para comenzar con el análisis del modelo matemático, en primera instancia, se aclara que para efectos de este estudio se utilizará los disipadores

Figura 36. Geometría del disipador SLB40_5

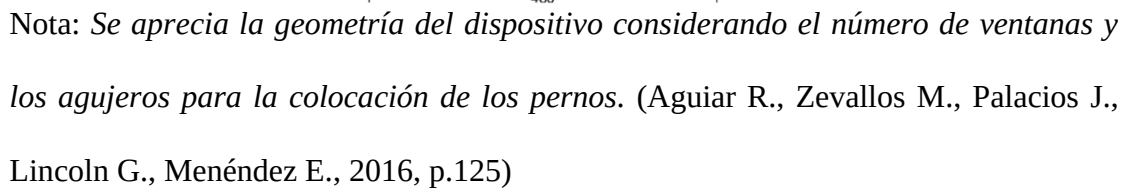


Figura 37. Geometría del disipador SLB40_3



Nota: *Se aprecia la geometría del dispositivo Shear Link de segunda generación, se observa que el número de ventanas es 4 y tienen mayor altura.* (Aguiar R., Zevallos M., Palacios J., Lincoln G., Menéndez E., 2016, p.125)

Sin embargo, la dimensión del espesor del dispositivo no es lo que los diferencia entre uno y otro, sino más bien, en los dispositivos de segunda generación, la ventana disipativa tiene una altura de 5cm, en cambio en el de la tercera generación la ventana tiene una altura de 2.5 cm por lo que tiene más ventanas, como se aprecia en la figura n.º35. En los ítems anteriores, se mencionó que en los disipadores Shear Link se destaca que la plastificación del material se da en las ventanas, por lo tanto, los disipadores de tercera generación al tener mayor número de ventanas su capacidad de plastificación será mayor.

Cabe resaltar que lo descrito en el párrafo anterior, es una forma de diferenciar entre un disipador de segunda generación y un disipador de tercera generación, otra forma de diferenciarlos es evaluando la capacidad de deformación última de cada disipador.

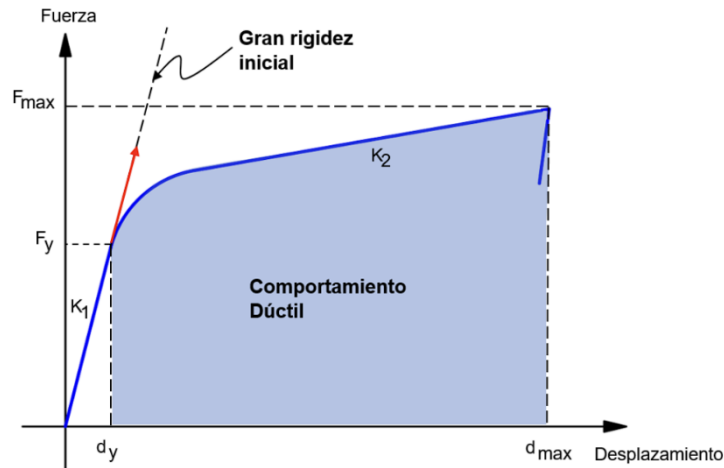
Por otro lado, el problema que se tiene con los disipadores Shear Link de la segunda generación era el de abolladura que no es más que al trabajar ante cargas laterales, la plastificación se da en el marco primero o simultáneamente que en las ventanas. Al tener ventanas más pequeñas la plastificación se da en las ventanas. (Aguiar R., Zevallos M., Palacios J., Lincoln G., Menéndez E., 2016, p.125)

Sistema Flexible – Rígido – Dúctil

Los disipadores Shear Link, presentan una elevada rigidez inicial (K_1) y una gran capacidad de deformación, para nuestro caso de estudio, los

disipadores de tercera generación pueden presentar deformaciones de más de 25 veces la deformación de fluencia, lo cual vuelve dúctil al dispositivo.

Figura 38. Comportamiento del disipador *Shear link*

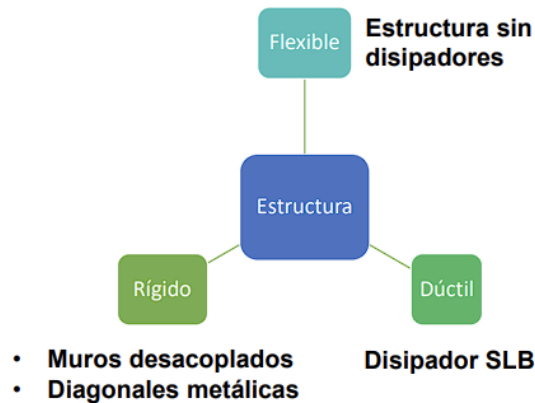


Nota: Se aprecia la rigidez inicial K_1 y la rigidez plástica K_2 del dispositivo. (Tomado del curso: Disipadores de energía Shear Link Bozzo SLB para edificaciones de gran altura, Bozzo L., 2023, diap. 10)

La figura n.º37 muestra el comportamiento del disipador, de dónde se observa una gran rigidez elástica inicial K_1 , luego, al incursionar en el rango inelástico se muestra una rigidez K_2 menor que K_1 , el cual genera que los lazos histeréticos sean mucho más amplios y por tanto un mejor comportamiento dúctil y una mayor disipación de energía sísmica.

Entonces, los dispositivos Shear Link, aportan a la estructura rigidez, a través de los elementos componentes como los muros desacoplados o las diagonales metálicas y ductilidad, a través de los disipadores Shear Link, dejando entonces que la estructura sea lo suficientemente flexible por sí sólo, a este concepto se llama sistema flexible-rígido-dúctil.

Figura 39. Sistema flexible – rígido - dúctil



Nota: En la figura se aprecia el Sistema flexible – rígido – dúctil, dejando el comportamiento flexible a la estructura mientras el disipador Shear Link añade rigidez y ductilidad. (Tomado del curso: Disipadores de energía Shear Link Bozzo SLB para edificaciones de gran altura, Bozzo L., 2023, diap. 10)

Comportamiento bilineal

Habiéndose entendido el sistema flexible – rígido – dúctil, los disipadores Shear Link añaden rigidez y ductilidad a la estructura, en ese sentido, para demostrar el modelo matemático se idealiza el comportamiento del marco del disipador como columnas biempotradas en ambos extremos, a la cual de denominaremos K_p y estará definido por la siguiente ecuación:

$$K_p = \frac{n_{cp} * 12 * E * I}{h^3} \quad (1)$$

$$I = \frac{t * z^3}{12} \quad (2)$$

Dónde, n_{cp} es el número de elementos verticales que contienen a las ventanas, E es el módulo de elasticidad del acero del disipador, I es el momento de inercia a flexión, h es la altura de la ventana, t es el espesor del marco, z es el espesor del marco. Para nuestro caso de estudio, el disipador de la figura n.º35 es de 8 ventanas y $n_p = 12$.

$$K_p = \frac{144EI}{h^3} \quad (3)$$

A la rigidez de las ventanas disipativas denominaremos K_v y estará definido por la siguiente ecuación:

$$K_v = \frac{n \cdot G \cdot A_w}{h} \quad (4)$$

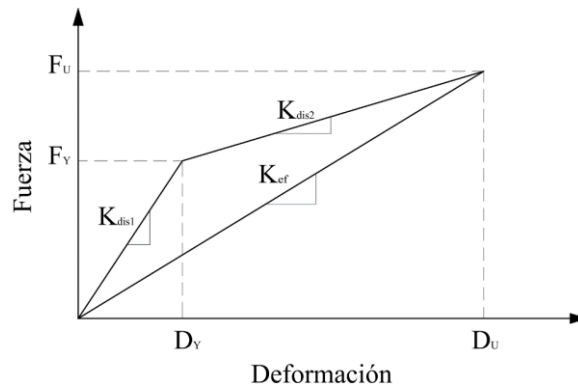
$$A_w = b \cdot e \quad (5)$$

Dónde, n es el número de ventanas del disipador, A_w es el área de la sección transversal que trabaja al corte, b es la base de la ventana, e representa el espesor de la ventana, G es el módulo de corte del material, h es la altura de una ventana. Asimismo, para nuestro estudio, el disipador de la figura n.º 35 $n = 8$.

$$K_v = \frac{8GA_w}{h} \quad (6)$$

Luego, como se vio en la figura n.º 37, para representar el comportamiento fuerza vs la deformación lateral del dispositivo se considera un diagrama bilineal, ahora la figura n.º 39 representa la curva de capacidad bilineal de un disipador Shear Link, dónde K_{dis1} es la rigidez en el rango elástico dónde las ventanas disipativas y el marco trabajan en conjunto, y K_{dis2} es la rigidez en el rango inelástico, dónde sólo trabaja la rigidez del marco.

Figura 40. Relación fuerza – deformación de un disipador Shear Link.



Nota: Se observa un diagrama bilineal típico que representa el comportamiento de un disipador Shear Link, notándose la rigidez elástica (K_{dis1}), inelástica (K_{dis2}) y la rigidez efectiva (K_{ef}). (Aguiar R., Zevallos M., Palacios J., Lincoln G., Menéndez E., 2016, p.129)

De acuerdo con (Aguiar R., Zevallos M., Palacios J., Lincoln G., Menéndez E., 2016, p.129), se puede considerar que los componentes de un disipador Shear Link trabajan como dos resortes en paralelo, esto ocurre en la primera etapa elástica, donde las deformaciones laterales de la ventana y el marco son iguales, entonces, la rigidez (K_{dis1}) resulta de la suma de las rigideces del marco y de las ventanas.

$$K_{dis1} = K_p + K_v \quad (7)$$

De la figura n°39, la fuerza de fluencia F_y se determina mediante la expresión:

$$F_y = F_p + F_v \quad (8)$$

Dónde, F_p es la fuerza desarrollada en el marco y F_v es la fuerza desarrollada en la ventana. Para encontrar la fuerza desarrollada en la ventana se puede utilizar la siguiente expresión:

$$F_v = n * \tau * A_v \quad (9)$$

$$\tau = \frac{1}{\sqrt{3}} * f_y \quad (10)$$

Dónde, τ representa el esfuerzo cortante de una ventana, f_y representa el esfuerzo de fluencia del material y n representa el número de ventanas. Luego para determinar la expresión que represente la fuerza que desarrolla el marco F_p , se considera que la deformación por fluencia D_y del marco sea igual a la deformación de las ventanas.

$$D_y = \frac{f_y * A_v}{\sqrt{3} * K_v} \quad (11)$$

$$D_y = \frac{F_p}{K_p} = \frac{F_v}{K_v} \gg F_p = \frac{K_p}{K_v} * F_v \quad (12)$$

Reemplazando las ecuaciones (9) y (12) en la ecuación (8), la expresión para determinar la fuerza de fluencia F_y quedaría:

$$F_y = \frac{K_p}{K_v} * F_v + n * \tau * A_v \quad (13)$$

Luego, en la etapa inelástica, la rigidez K_{dis2} representa una fracción de la rigidez inicial K_{dis1} , debido a que en el rango elástico se deforman ambos componentes y en el rango inelástico sólo actúa el marco del disipador, entonces, K_{dis2} se puede expresar:

$$K_{dis2} = \alpha * K_{dis1} \quad (14)$$

Dónde, α es el coeficiente de relación de pendientes del diagrama bilineal, para el caso de los dispositivos Shear Link, α varía entre 0.015 y 0.030, esto dependiendo de las dimensiones particulares de cada dispositivo. (Aquino K., Patiño R., 2022, p.34)

Asimismo, el desplazamiento máximo D_u se puede obtener con la ductilidad μ del dispositivo, que para los dispositivos Shear Link varía entre 1.3 y 2, de acuerdo con la siguiente expresión:

$$D_u = \mu * D_y \quad (15)$$

De la misma forma, la fuerza máxima F_u puede obtenerse de la siguiente expresión:

$$F_u = F_y + K_{dis2} * D_y * (\mu - 1) \quad (16)$$

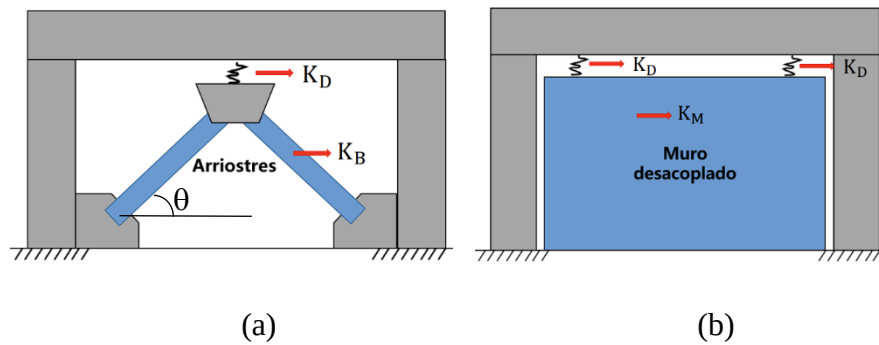
Así, de la relación F_u y D_u se obtiene la expresión de la rigidez efectiva (K_{ef}) en el punto de rotura del dispositivo:

$$K_{ef} = \frac{F_u}{D_u} \quad (17)$$

Rigidez equivalente

Ahora bien, como parte de su instalación los disipadores Shear Link pueden ser colocados sobre diagonales metálicas o bien sobre muros desacoplados, en la figura n.º40 (a) puede apreciarse el sistema de sujeción del disipador sobre arriostres metálicos dispuestos en un arreglo tipo Chevron, la figura n.º40 (b) muestra el sistema de instalación del disipador sobre muros desacoplados.

Figura 41. *Sistemas de instalación del disipador Shear Link*

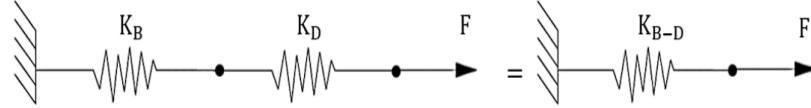


Nota: (a) Sistema disipador - arriostres metálicos, (b) Sistema disipador – muro desacoplado. (Tomado del curso: Disipadores de energía Shear Link Bozzo SLB para edificaciones de gran altura, Bozzo L., 2023, diap. 13-14)

Entonces, la rigidez efectiva (K_{ef}) ahora será determinado con la adición de la rigidez del elemento que lo soporte, los arriostres metálicos o sobre muros desacoplados, asimismo, para garantizar el funcionamiento óptimo de los disipadores los elementos de soporte deben ser más rígidos que los dispositivos instalados. Para este estudio, se muestra el desarrollo para encontrar la rigidez efectiva equivalente (K_{B-D}) del sistema disipador – arriostres metálicos.

De acuerdo con la figura n.º40 (a), el sistema disipador – arriostres metálicos puede ser considerado como un sistema de resortes en serie, como se representa en la figura n.º41, dónde K_B es la rigidez del arriostramiento metálico y K_D es la rigidez del dispositivo.

Figura 42. Representación simbólica del sistema disipador – arriostres metálicos



Nota: Representación simbólica del sistema disipador-arriostres metálicos como un sistema de resortes en serie. (Tomado del curso: Disipadores de energía Shear Link Bozzo SLB para edificaciones de gran altura, Bozzo L., 2023, diap.14)

Considerando la aplicación de una fuerza externa F al sistema disipador – arriostres metálicos, el desplazamiento lateral δ_{total} se halla con la ecuación (18), dónde K_B es la rigidez del arriostramiento metálico, que puede hallarse con la ecuación (19) para un elemento de sección transversal A_d y una longitud L_d , K_D es la rigidez del dispositivo en su rango elástico o inelástico, el cual fue determinado en los ítems anteriores.

$$\delta_{total} = \frac{F}{K_B} + \frac{F}{K_D} \quad (18)$$

$$K_B = \frac{2 * E * A_d}{L_d} * \cos^2(\theta) \quad (19)$$

Desarrollando la ecuación (18) para encontrar la rigidez equivalente K_{B-D} se tiene:

$$\frac{F}{\delta_{total}} = K_{B-D} = \frac{K_B * K_D}{K_B + K_D} \quad (20)$$

Dividimos la ecuación (20) respecto a K_B la rigidez equivalente K_{B-D} será:

$$K_{B-D} = K_D * \left(\frac{1}{1+K_B/K_D^{-1}} \right) \quad (21)$$

Si la relación K_B/K_D tiende a ser infinito (∞), entonces la rigidez equivalente K_{B-D} quedará gobernada por la rigidez del dispositivo K_D . Ahora, si dividimos la ecuación (20) respecto a K_D la rigidez equivalente K_{B-D} será:

$$K_{B-D} = K_B * \left(\frac{1}{1+K_B/K_D} \right) \quad (22)$$

De igual forma, si la relación K_B/K_D tiende a ser cero (0), entonces la rigidez equivalente K_{B-D} quedará gobernada por la rigidez del arriostramiento K_B . Para ambos casos, si el arriostramiento resulta muy rígido, este puede resultar muy caro, aunque su comportamiento y desempeño sea mejor, por lo tanto, se recomienda que la relación K_B/K_D no sea menor que 2 ni mayor que 3 ($2 \leq K_B/K_D \leq 3$).

Modelo Histerético o modelo plástico de Wen.

En la figura n.º33, se muestra el comportamiento del acero frente a cargas cíclicas, el modelo plástico de Wen permite simular adecuadamente el efecto Baushinger y la respuesta cíclica del acero en su rango inelástico, entonces, para encontrar la fuerza restauradora o fuerza de restitución (f) puede utilizarse la siguiente expresión:

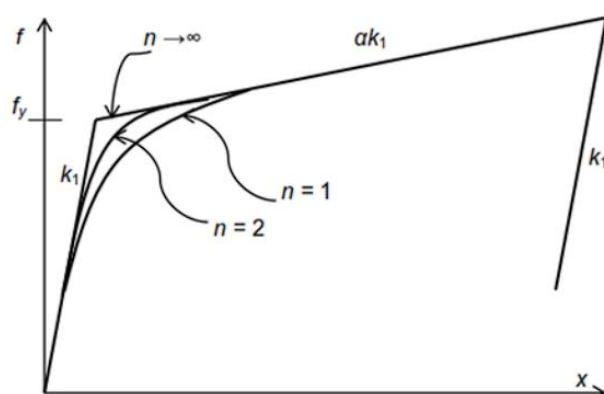
$$f = \alpha Kx + (1 - \alpha)Kz \quad (23)$$

Donde, (α) representa la relación de la rigidez post-fluencia y la rigidez elástica (K_2/K_1), (K) es la rigidez elástica del sistema, (x) es el desplazamiento relativo entre los extremos disipador y (z) es una variable interna propia del modelo, este último puede ser definido por la siguiente ecuación diferencial propuesta por Wen (1976):

$$\dot{z} = A\dot{x} - \beta z|\dot{x}||z|^{n-1} - \gamma|\dot{x}||z|^n \quad (24)$$

Donde, (A) es el factor de escala general, (β) y (γ) son factores que ajustan la rigidez y la forma del lazo histerético, (n) es un parámetro que controla la forma de la curva histerética definiendo la “suavidad” o “dureza” de la transición de la fase elástica hacia la fase inelástica, entonces, el creador del dispositivo Shear Link, sugiere utilizar los valores de $A=1$, $\beta=\gamma=0.5$.

Figura 43. Modelo histerético de Wen



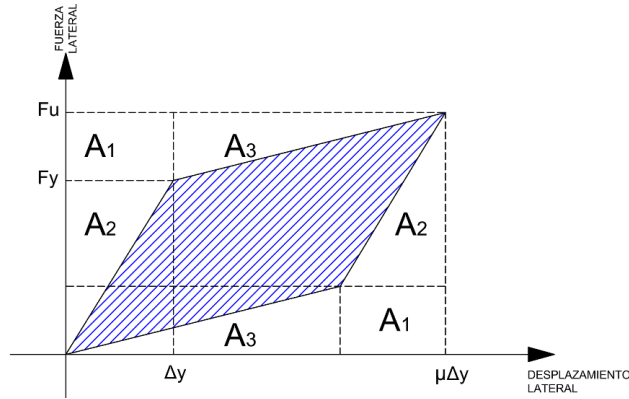
Nota: Representación del modelo histerético de Wen para el comportamiento del material. (Tomado del curso: Disipadores de energía Shear Link Bozzo SLB para edificaciones de gran altura, Bozzo L., 2023, diap.15)

De la figura n.º42, se entiende que el comportamiento del disipador depende del exponente (n), si este es mayor que 1, se genera una buena transición de la fase elástica hacia la fase inelástica, sin embargo, si (n) toma valores muy grandes entonces, se pierde la transición elástica a inelástica, por lo tanto, para poder generar una óptima transición entre ambas fases, el creador del dispositivo Shear Link, recomienda utilizar un valor de $n = 2$.

b) Energía disipada y amortiguamiento equivalente

La figura n.º39 representa el modelo bilineal que representa el comportamiento de un dispositivo Shear Link, a continuación, se calcula la energía disipada por un dispositivo en un ciclo de histéresis.

Figura 44. Energía disipada por un dispositivo Shear Link.



Nota: El área sobrada de la figura representa la energía disipada por un dispositivo Shear Link en un ciclo de histéresis. (Aguilar R., Zevallos M., Palacios J., Lincoln G., Menéndez E., 2016, p.130)

La región sombreada de la figura n.º 43 representa la cuarta parte de la energía disipada por un dispositivo Shear Link en un ciclo de histéresis, entonces, para determinar la energía disipada (E_D) completa, será multiplicar por 4 el área de la región sombreada. Sea (E_D) la energía disipada, entonces quedará definido mediante la siguiente expresión:

$$E_D = 4 * A_s \quad (25)$$

Dónde (A_s) representa el área de la región sombreada, el cual puede ser determinado mediante la expresión:

$$A_s = F_u \mu \Delta_y - 2(A_1 + A_2 + A_3) \quad (26)$$

$$A_1 = (F_u - F_y) \Delta_y \quad (27)$$

$$A_2 = \frac{1}{2} F_y \Delta_y \quad (28)$$

$$A_3 = \frac{(F_u - F_y)(\mu \Delta_y - \Delta_y)}{2} \quad (29)$$

Desarrollando la ecuación (26) luego de reemplazar las ecuaciones (27), (28) y (29) se halla la energía disipada (E_D) en función del desplazamiento de fluencia

(Δ_y), de la fuerza de fluencia (F_y), de la fuerza última (F_u) y de la ductilidad del disipador (μ).

$$E_D = 4\Delta_y(\mu F_y - F_u) \quad (30)$$

De la figura n.º39 se observa:

$$F_u = F_y + K_p(\mu\Delta_y - \Delta_y) \quad (31)$$

$$F_y = K_e\Delta_y \quad (32)$$

Dónde (K_p) es la rigidez plástica, en este caso representa a (K_{dis2}) determinado en la ecuación (14) y (K_e) es la rigidez inicial elástica, en este caso representa a (K_{dis1}) determinado en la ecuación (7), luego, reemplazando las ecuaciones (31) y (32) en la ecuación (30), se tiene:

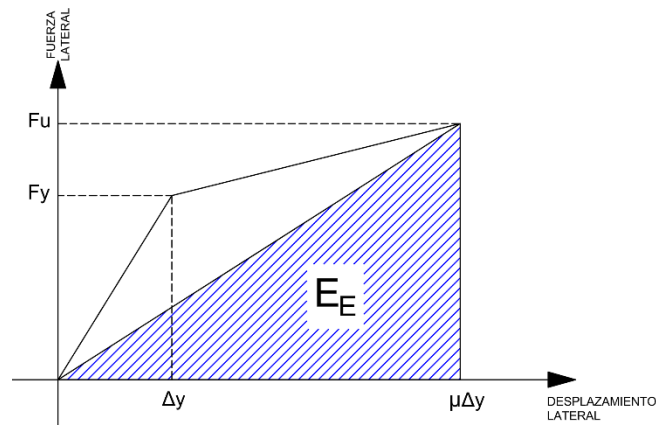
$$E_D = 4\Delta_y[\mu K_p\Delta_y - K_e\Delta_y - K_p(\mu\Delta_y - \Delta_y)] \quad (33)$$

Desarrollando la ecuación (33) se determina la ecuación que define la energía disipada (E_D).

$$E_D = 4(\Delta_y)^2(K_e - K_p)(\mu - 1) \quad (34)$$

Luego, para determinar el amortiguamiento equivalente de un disipador, primero se determina la energía elástica de un disipador en un ciclo de histéresis, al cual se denominará E_E , la región sombreada de la figura n.º44 representa la energía elástica de un disipador.

Figura 45. Energía elástica de un disipador



Nota: El área sobrada de la figura representa la energía elástica de un disipador en un ciclo de histéresis. (Aguiar R., Zevallos M., Palacios J., Lincoln G., Menéndez E., 2016, p.131)

Entonces, la energía elástica E_E queda definido mediante la siguiente expresión:

$$E_E = \frac{1}{2} F_u * \mu * \Delta_y \quad (35)$$

$$K_{ef} = \frac{F_u}{\mu \Delta_y} \quad (36)$$

Reemplazando la ecuación (36) en la ecuación (35), la energía elástica (E_E) queda definido de la siguiente manera:

$$E_E = \frac{1}{2} K_{ef} * (\mu \Delta_y)^2 \quad (37)$$

Factor de amortiguamiento equivalente

El método más común para definir el amortiguamiento viscoso equivalente consiste en igualar la energía disipada en un ciclo de vibración de la estructura real y en un sistema viscoso equivalente. (Chopra A., 2014, p.104)

Entonces, para encontrar el factor de amortiguamiento (ξ_{eq}) de un disipador, se considera que el amortiguamiento es de tipo viscoso, por lo tanto, se tiene la siguiente relación que determina el factor de amortiguamiento:

$$\xi_{eq} = \frac{E_D}{4\pi E_F} \quad (38)$$

Por otra parte, la frecuencia natural (W_n) del disipador en función de la rigidez efectiva (K_{ef}) y la masa (m), viene dada por la siguiente ecuación.

$$W_n^2 = \frac{K_{ef}}{m} \quad (39)$$

$$K_{ef} = W_n^2 m \quad (40)$$

Amortiguamiento equivalente del disipador

Sea (C_d) el factor de amortiguamiento equivalente de un disipador, este puede expresarse en función del amortiguamiento equivalente. (Aguiar R., Zevallos M., Palacios J., Lincoln G., Menéndez E., 2016, p.132)

$$\xi_{eq} = \frac{C_d}{2\sqrt{mK_{ef}}} \quad (41)$$

Luego, reemplazando la ecuación (40) en la ecuación (41) y desarrollando la expresión, se tiene la ecuación que define el amortiguamiento equivalente de disipador (C_d).

$$C_d = 2 * m * W_n * \xi_{eq} \quad (42)$$

Amortiguamiento equivalente viscoso

El amortiguamiento que ocurre cuando el movimiento sísmico del suelo lleva una estructura al rango inelástico puede verse como una combinación de amortiguamiento viscoso, que es inherente a la estructura, y amortiguamiento histerético. El amortiguamiento histerético está relacionado con el área dentro de los bucles que se forman cuando la fuerza del sismo (corte basal) se traza contra el desplazamiento de la estructura. El amortiguamiento histerético puede representarse como amortiguamiento viscoso equivalente utilizando ecuaciones vistas anteriormente. (ATC-40, 1996, P.168)

Por lo tanto, el amortiguamiento viscoso equivalente (β_{eq}) puede ser estimado mediante la siguiente ecuación.

$$\beta_{eq} = \xi_{eq} + 0.05 \quad (43)$$

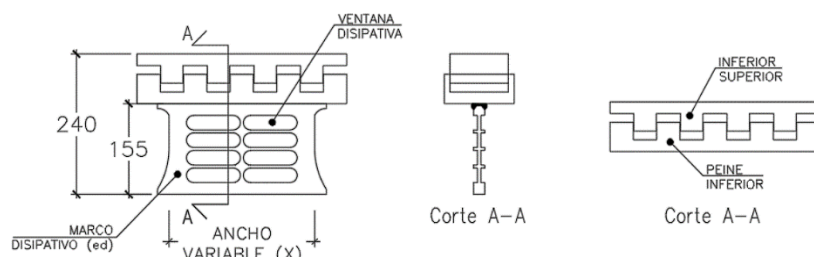
Dónde, (ξ_{eq}) representa el factor de amortiguamiento equivalente determinado en la ecuación (38) y 0.05, representa el 5% de amortiguamiento viscoso inherente en la estructura.

c) Criterios de selección y modelamiento de los disipadores

Criterio de selección

Los disipadores Shear Link, inician con la disipación de energía al mínimo desplazamiento de la edificación producido por las fuerzas cortantes del sismo, entonces, para poder seleccionar el disipador adecuado es fundamental determinar la fuerza cortante que actúa sobre este, ya que, a mayor fuerza cortante las dimensiones del dispositivo pueden incrementar. Para este estudio, como se mencionó en los ítems anteriores, se emplearán los dispositivos Shear Link de tercera generación. La geometría del disipador de tercera generación se muestra a continuación:

Figura 46. Geometría del disipador Shear Link de tercera generación.



Nota: Los disipadores Shear link de tercera generación, emplean una conexión tipo peine, el cual restringe la transmisión de las cargas axiales. (Tomado del curso: Disipadores de energía Shear Link Bozzo SLB para edificaciones de gran altura, Bozzo L., 2023, diap. 6)

Criterio de modelamiento

El comportamiento histerético del disipador es representado por el modelo de Wen (1976), como se vio en el ítem 2.2.3.5.3., entonces, para su modelamiento en los softwares de análisis se representará como un elemento “Nlink” de propiedad Wen, para este estudio se realizó el análisis estructural y el modelamiento del disipador en el Software C.S.I. Etabs y C.S.I. Sap2000, ambos softwares con licencia educacional, luego, la instalación del dispositivo se realizará sobre elementos metálicos con arreglo tipo Chevron, entonces, el disipador se modelará como “Nlink” de la viga superior a los diagonales metálicos, como se observa en la siguiente figura.

Figura 47. *Modelo Nlink del disipador Shear Link.*



Nota: Se muestra el modelamiento Nlink de disipador Shear Link de tercera generación en el Software Etabs. (Tomado del curso: Disipadores de energía Shear Link Bozzo SLB para edificaciones de gran altura, Bozzo L., 2023, diap. 19)

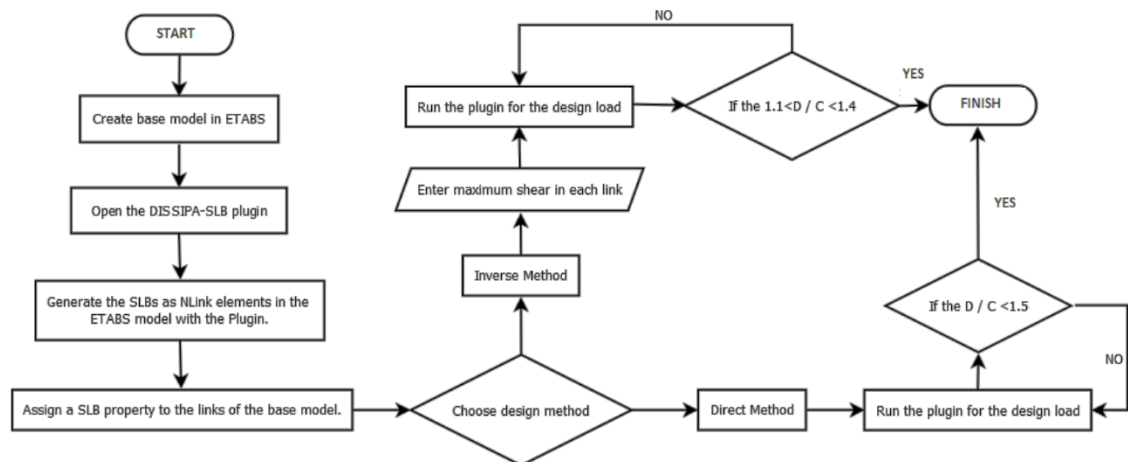
A modo de resumen, a continuación, se define el procedimiento óptimo para el modelamiento del dispositivo. Primero, se define el modelo histerético de Wen como un elemento tipo “Nlink”, luego, se definen los estados límites de deformación del dispositivo, seguidamente, se definen las propiedades del disipador para cada dirección y por último se toma la rigidez efectiva para realizar el análisis lineal.

d) Métodos de prediseño del disipador

Para la selección de dispositivos SLB se dispone de dos métodos de prediseño, basados en el análisis modal espectral, los cuales reemplazan procedimientos que hacen uso del análisis tiempo historia no lineal, logrando así, un ahorro significativo en el tiempo cómputo para la solución de la estructura con disipadores. Sin embargo, el prediseño se deberá verificar mediante un análisis no lineal. (Muñoz E., 2021)

A continuación, se muestra el diagrama de flujo, ver figura n.º47, dónde se presenta, de manera resumida, los métodos de prediseño de los disipadores, teniendo en cuenta que el software utilizado para el análisis es realizado en ETABS.

Figura 48. Diagrama de flujo para prediseño del disipador Shear Link.



Nota: Se observa los métodos de prediseño del disipador Shear Link en un modelo estructural realizado en ETABS. (Tomado del curso: Disipadores de energía Shear Link Bozzo SLB para edificaciones de gran altura, Bozzo L., 2023, diap. 33)

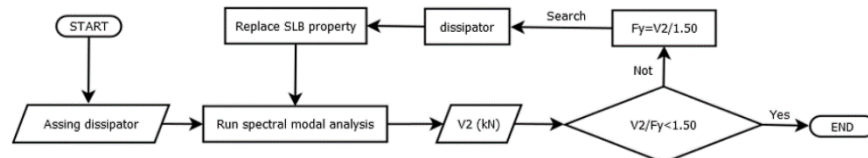
Método de iteración directa

El método directo consiste en iterar la selección de dispositivos mediante una serie de análisis, de manera que los dispositivos asignados inicialmente vayan actualizándose según la fuerza de cortante obtenida en cada iteración,

hasta que dicho cortante de análisis y la fuerza de fluencia del dispositivo tengan una relación D/C menor que 1.5. (Bozzo L., 2019)

A continuación, se presenta el diagrama de flujo para emplear el método de iteración directa para la selección de los disipadores Shear Link.

Figura 49. Diagrama de flujo del método de iteración directa



Nota: Se observa el procedimiento para el prediseño de los disipadores Shear Link mediante el método de iteración directa. (Tomado del curso: Disipadores de energía Shear Link Bozzo SLB para edificaciones de gran altura, Bozzo L., 2023, diap. 33)

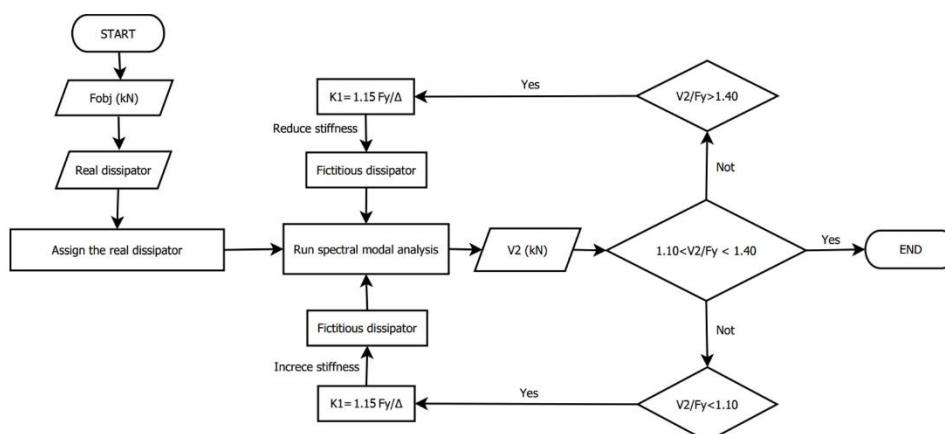
Para los métodos iterativos se toman las fuerzas de diseño de la estructura. Cuando el D/C tienda a cero quiere decir que el disipador no plastifica, por lo que se recomienda reubicar el dispositivo o reducir su tamaño. Por otro lado, cuando el D/C sea mucho mayor a 1.5 quiere decir que el disipador este sobrepasando su deformación máxima y se recomienda cambiarlo por otro más rígido. (Muñoz E., 2021)

Método de iteración inversa

La iteración inversa o método de la “fuerza fija”, es un procedimiento que a diferencia del método directo busca limitar la fuerza cortante en la selección de los disipadores. (Muñoz E., 2021)

A continuación, se presenta el diagrama de flujo para emplear el método de iteración inversa para la selección de los disipadores Shear Link.

Figura 50. Diagrama de flujo del método de iteración inversa.



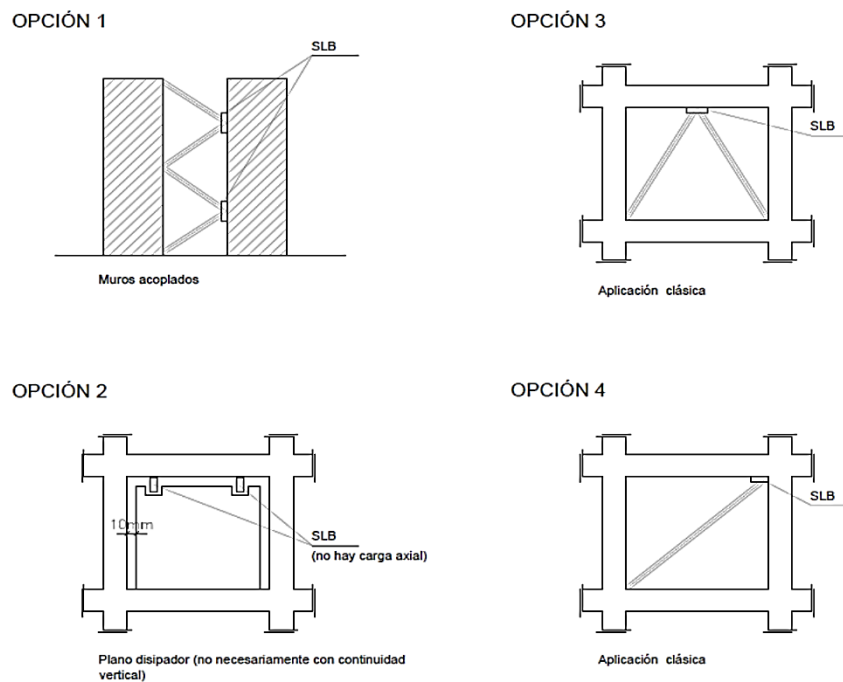
Nota: Se observa el procedimiento para el prediseño de los disipadores Shear Link mediante el método de iteración inversa. (Tomado del curso: Disipadores de energía Shear Link Bozzo SLB para edificaciones de gran altura, Bozzo L., 2023, diap. 42)

Para los métodos iterativos se toman las fuerzas de diseño de la estructura. Cuando el D/C sea menor a 1.1 quiere decir que el disipador no plastifica (para el sismo reducido) y la rigidez ficticia deberá ser mayor a la rigidez real del dispositivo. Cuando el D/C sea mucho mayor a 1.4 quiere decir que el disipador este sobrepasando su deformación máxima y se recomienda cambiarlo por otro más rígido. (Muñoz E., 2021)

e) Disposiciones típicas de colocación

Una de las ventajas favorables del disipador Shear Link es la variedad de las formas de colocación, en la figura n.º50 se aprecia 4 opciones para la colocación del dispositivo. La opción (1) muestra la instalación del dispositivo en muros acoplados, la opción (2) sobre muros desacoplados y las opciones (3) y (4) sobre marcos metálicos, sobre un arreglo tipo Chevron y sobre una diagonal, respectivamente. De estas 4 opciones de colocación, los más frecuentes son empleando muros desacoplados y los arreglos Chevron.

Figura 51. Disposiciones típicas de colocación del disipador Shear Link

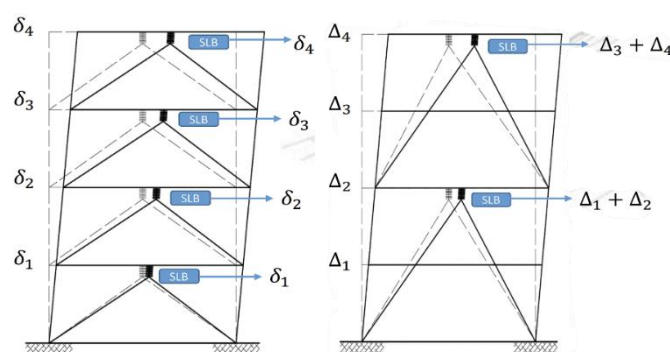


Nota: Se observa las disposiciones típicas de colocación del disipador Shear Link.

(Tomado del curso: Disipadores de energía Shear Link Bozzo SLB para edificaciones de gran altura, Bozzo L., 2023, diap. 11)

Como parte de la disposición del disipador sobre arreglo metálico tipo Chevron, este puede instalarse en arreglos de altura simple y doble, como se observa en la figura n.º 51, sin embargo, se debe tener en cuenta que, cuando se realice la instalación en arreglos de doble altura el disipador debe asumir las deformaciones de ambos niveles, esto podría ocasionar que las deformaciones en el disipador sobrepasen su capacidad máxima, por lo tanto, es recomendable para este tipo de instalaciones utilizar un disipador de mayor tamaño con una rigidez también mayor.

Figura 52. *Instalación en arreglos Chevron de altura simple y doble.*



Nota: Se observa las deformaciones en los dispositivos Shear Link en los arreglos Chevron de altura simple y doble. (Tomado del curso: Disipadores de energía Shear Link Bozzo SLB para edificaciones de gran altura, Bozzo L., 2023, diap. 12)

Daño y desempeño sísmico

Tradicionalmente el diseño sísmico convencional de las edificaciones se basa en conceptos de resistencia, rigidez y ductilidad, con el fin de que las estructuras no colapsen ni sufran daños graves, pero si permitir daños importantes en los sismos calificados como severos. Sin embargo, la experiencia durante la ocurrencia de los sismos a través de los años demuestra que la seguridad ante el colapso a consecuencia de grandes sismos no implica necesariamente un comportamiento adecuado de la estructura ante sismos de menor intensidad, ya que, se presenció que edificaciones “bien diseñadas” sufrieron grandes daños estructurales y no estructurales y cuantiosas pérdidas, tanto humanas como económicas, ante sismos con aceleraciones incluso menores a las esperadas.

En ese sentido, hoy en día, se establecen nuevos objetivos de diseño sismorresistente basados un escenario de múltiples niveles de desempeño de la estructura bajo diferentes niveles de peligro sísmico.

Bajo estos criterios, entidades como la Sociedad de Ingenieros Estructurales de California (SEAOC), el Consejo de Tecnología Aplicada (ATC-40) de 1996, HAZUS 99, FEMA 273 – 274, proponen, con diferencias mínimas, niveles del desempeño sísmico de las edificaciones.

Niveles de amenaza sísmica

De acuerdo con la propuesta del comité VISION 2000 (SEAOC 1995), establece cuatro niveles de amenaza sísmica, fundamentados en la probabilidad de ser excedida en un periodo de retorno de 50 años, o en función del periodo medio de retorno, como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 3. *Niveles de amenaza sísmica según la propuesta del SEAOC*

Sismo de diseño	Probabilidad de excedencia en 50 años	Periodo medio de retorno
Sismos frecuentes	69%	43 años
Sismos ocasionales	50%	72 años
Sismos raros	10%	475 años
Sismos muy raros	5%	970 años

Nota: *Adaptado de “Diseño de un edificio con disipadores en arreglo Chevron”, por Boza, Z. & Galán, T., 2013, p. 17.*

Niveles de desempeño

De acuerdo al comportamiento de la estructura frente a un sismo, los desplazamientos de la edificación pueden mantenerse en el rango elástico, entonces se afirma que su desempeño es perfectamente operativo, por otro lado, si los desplazamientos de la edificación incursionan en el rango inelástico la determinación del desempeño puede ser más compleja, si la estructura sufre grandes daños o que se aproxime al colapso, en ese sentido, el comité VISION

2000 (SEAO 1995) relaciona los niveles de desempeño y el daño general de estructura, tal como se muestra a continuación:

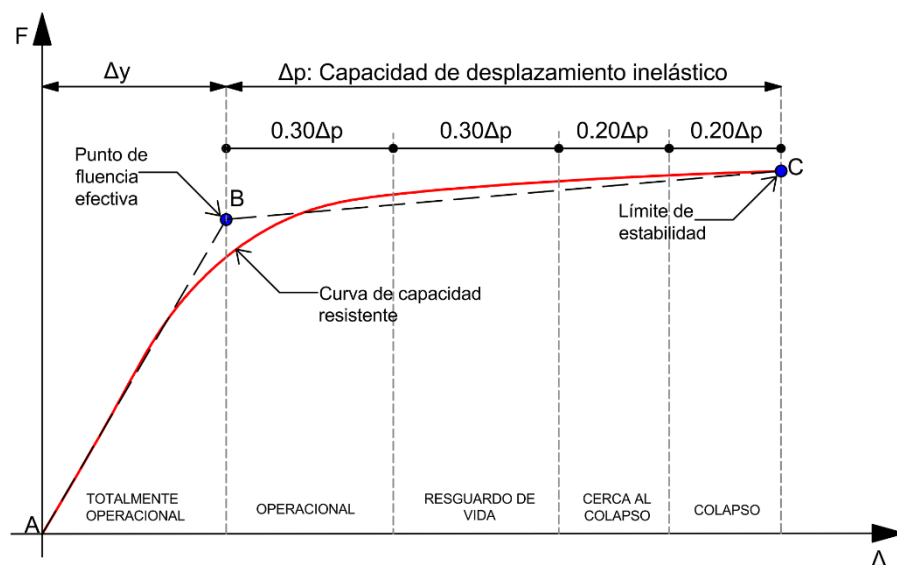
Tabla 4. Niveles de desempeño sísmico según la propuesta del SEAO

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

Nota: *Adaptado de “Diseño de un edificio con disipadores en arreglo Chevron”, por Boza, Z. & Galán, T., 2013, p. 18.*

Para poder identificar los niveles de desempeño en una curva de capacidad empleando un modelo bilineal, la propuesta del comité VISION 2000 (SEAOC 1995) sectoriza la zona elástica e inelástica de la curva de capacidad y asigna un nivel de desempeño a cada uno de los sectores, el nivel de desempeño cuando el desplazamiento está en el rango elástico es totalmente operacional, mientras que los niveles de desempeño en el rango inelástico son operacional, resguardo de vida, cerca al colapso y colapso. A continuación, muestra la curva de capacidad sectorizada por SEAOC.

Tabla 5. *Curva de capacidad sectorizada por el SEAOC*



Nota: *Se observa los niveles de desempeño sectorizado en la curva de capacidad propuesto por el SEAOC. (Boza, Z. & Galán, T., 2013, p. 19)*

La figura n.º49 representa la propuesta de sectorización de la curva de capacidad para los diferentes niveles de desempeño, dónde, se puede identificar el modelo bilineal, el tramo AB representa el comportamiento elástico mientras que, a partir del punto B, punto de fluencia efectiva, queda

definido el inicio del comportamiento inelástico hasta el punto de colapso o límite de estabilidad, punto C.

Objetivos de desempeño

Para definir los objetivos de desempeño, se toma en cuenta la propuesta del código FEMA 356, el cual propone una matriz de desempeño para precisar el comportamiento inelástico de la edificación de acuerdo con la tipología de importancia, para los cuales, se definen tres categorías de edificaciones: las edificaciones comunes, importantes y esenciales. De manera similar la tabla n.º6 de la Norma peruana E030, categoriza las edificaciones de acuerdo al uso.

En ese sentido, para cada tipo de edificación se tiene un desempeño esperado ante la acción de cada nivel de amenaza sísmica. Para definir el objetivo de desempeño, esta dependerá de la importancia de la edificación, tal como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 6. Curva de capacidad sectorizada por el SEAOCriz de desempeño propuesto por el código FEMA 356

		Nivel de desempeño			
		Completamente operacional	Operacional	Resguardo de vida	Cerca al colapso
Amenaza sísmica (Sismo de diseño)	Sismo frecuente				
	Sismo ocasional				
	Sismo raro				
	Sismo muy raro				

Edificación común

Edificación importante

Edificación esencial

Nota: Adaptado de “Protección sísmica de edificios educativos peruanos vulnerables con disipadores histeréticos”, por Aquino K. & Patiño, R., 2022, p. 56.

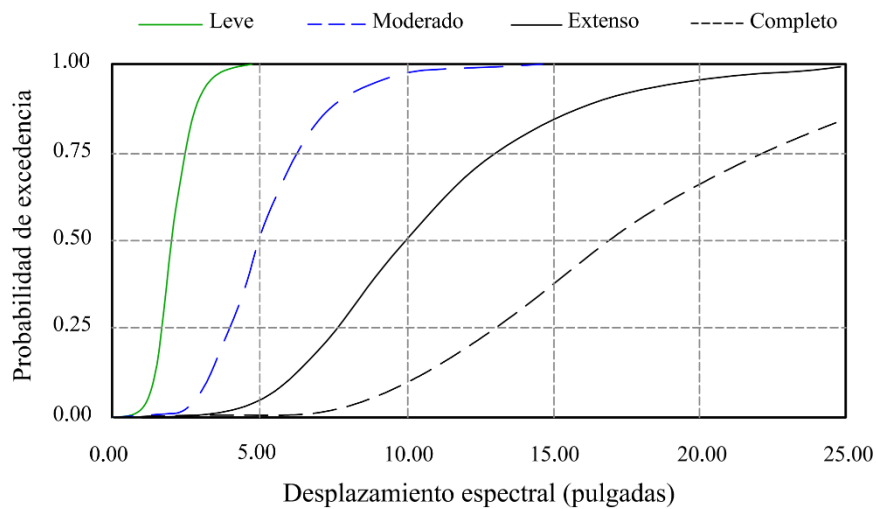
Relación daño – deriva

La figura n.º49 muestra la curva de capacidad de una edificación bajo un modelo bilineal, del cual se entiende que a partir del punto de fluencia efectiva (B), el nivel de desempeño sísmico decrece debido al incremento del desplazamiento en el rango inelástico el cual genera grandes daños a la estructura e incrementa la probabilidad de colapso.

El Manual Hazus – MH2.1 presenta las funciones de daño para edificaciones en forma de curvas de fragilidad (figura n.º50), los cuales relacionan la probabilidad de exceder diferentes estados de daño a través de un parámetro de demanda, ya sea por el desplazamiento espectral del suelo (PGA) o por la aceleración espectral de suelo (PGD).

A continuación, se presenta las curvas de fragilidad para una relación de probabilidad de excedencia y el desplazamiento espectral del suelo, obtenidos a partir de la elaboración de curvas de capacidad para los sismos ocurridos en los últimos años. Del cual se puede entender que, para un mismo desplazamiento espectral la probabilidad de ser alcanzado o excedido es mucho mayor para un nivel de daño leve que para un nivel de daño moderado o completo, entonces, se nota que la probabilidad de alcanzar o exceder un determinado desplazamiento espectral depende del nivel de daño que se quiera tener.

Figura 53. *Curvas de fragilidad para 4 niveles de daño.*



Nota: Se presenta las curvas de fragilidad para 4 niveles de daño propuesto por HAZUS

– MH2.1 (Boza, Z. & Galán, T., 2013, p. 21)

Relación daño – deriva según HAZUS

El manual de Multihazard Loss Estimation Methodology HAZUS, lista 16 sistemas estructurales y los subdivide de acuerdo a la altura de la edificación. Para cada tipo de edificio establecido hay un nivel de daño estructural asociado: Leve, moderado, extenso, completo, similar a lo establecido por el SEAOC, cada estado de daño se asocia a una deriva objetivo. (Boza, Z. & Galán, T., 2013, p. 22)

De los múltiples sistemas estructurales que propone el manual HAZUS, para este estudio se considera edificios de mediana altura (entre 4 y 7 pisos) hechos de concreto armado a los cuales se denominaran C1M. A continuación, a modo de resumen se describe el nivel de daño asociado a las derivas objetivo para el tipo de edificio C1M.

Tabla 7. Daño y derivas objetivo para edificios tipo C1M

Daño estructural	Descripción	Deriva objetivo
Leve	Pueden observarse grietas de corte y de flexión cerca de la unión de algunas vigas y columnas.	0.33%
Moderado	La mayoría de columnas y vigas presentan grietas. Algunos elementos como vigas han alcanzado la fluencia. Es evidente la presencia de largas grietas de flexión y en algunos lugares el concreto de recubrimiento se ha desprendido.	0.58%
Extenso	Algunos pórticos han alcanzado su capacidad última evidente por la presencia de largas grietas de flexión, concreto desprendido y refuerzo principal y transversal deformado. Resulta en un colapso parcial.	1.56%
Completo	La estructura ha colapsado o está a punto de hacerlo debido a falla frágil, agotamiento de ductilidad o pérdida de la estabilidad del sistema.	4.00%

Nota: Adaptado de “Diseño de un edificio con disipadores en arreglo Chevron”, por

Boza, Z. & Galán, T., 2013, p. 18.

Análisis lineal y no lineal

Las fuerzas sísmicas aplicadas sobre una estructura generan deformaciones, primero en el rango elástico, donde el comportamiento es lineal, luego cuando las fuerzas aplicadas generan mayores deformaciones incursionan en el rango inelástico, ahora el comportamiento ya no es lineal, sino más bien es un comportamiento del modelo bilineal.

Análisis lineal

Un análisis lineal implica evaluar la respuesta de una estructura bajo cargas aplicadas, estáticas o aquellas que varían lentamente con el tiempo, en la cual se asume que el comportamiento de la estructura siga las leyes de la elasticidad lineal como la ley de Hooke.

Generalmente las edificaciones son diseñadas para soportar deformaciones en el rango elástico, sin embargo, estas pueden resultar muy

caras debido al gran tamaño de los elementos estructurales para asegurar un comportamiento rígido.

La Norma peruana E030. Diseño sismorresistente, indica que es factible realizar el análisis lineal estático a todas las estructuras regulares e irregulares ubicadas en la zona sísmica 1, para las estructuras ubicadas en las otras zonas, la estructura tiene que ser regular de no más de 30 metros de altura. Asimismo, de acuerdo con el documento federal ASCE/SEI 41-23, indica que el análisis lineal estático puede aplicarse a edificios de tipo común y para un máximo de 6 pisos sobre la base de la estructura.

Por otro lado, el análisis lineal no se limita a un análisis estático, otra técnica de evaluación es realizar un análisis lineal dinámico, el cual implica evaluar la respuesta de una estructura sometida a cargas que varían en el tiempo, como aquellas producidas por sismos, viento, vibraciones del suelo inducidas u otro fenómeno eventual. El análisis lineal dinámico toma en cuenta la inercia y la amortiguación de la estructura, además de su rigidez, para predecir cómo responderá la estructura ante excitaciones dinámicas, todo dentro del marco de un modelo lineal. La Norma peruana E030. Diseño sismorresistente indica realizar un análisis dinámico modal espectral, donde la estructura se descompone en sus modos naturales de vibración y la respuesta dinámica se calcula para cada modo, luego se combina para obtener la respuesta total. Este análisis puede ser efectuado para cualquier tipo de estructura.

Entonces, para este estudio se realizará el análisis lineal estático y dinámico modal espectral, siguiendo el procedimiento que indican los artículos 28 y 29, respectivamente, de la Norma peruana E030. Diseño sismo resistente.

Análisis no lineal

En el análisis lineal, las deformaciones son pequeñas y sólo ocurren en el rango elástico, cuando las deformaciones incrementan, incursionan en el rango inelástico, aquí el comportamiento ya no es lineal, porque los elementos ya no se comportan elásticamente, sino más bien los materiales se plastifican generando las rótulas plásticas, de esa forma proporcionan una visión más realista del comportamiento estructural bajo grandes cargas. El análisis no lineal puede ser estático o también dinámico.

La Norma peruana E030. Diseño sismorresistente, no indica el procedimiento a realizar para evaluar una estructura mediante un análisis no lineal estático. Sin embargo, para realizar el análisis estático no lineal, también conocido como el Análisis Pushover, para este estudio se toma en cuenta la Guía técnica ATC-40 de 1996, específicamente el capítulo 8 que aborda los procedimientos para el análisis estático no lineal. Este capítulo guía el proceso de aplicar cargas laterales incrementales a la estructura hasta alcanzar su capacidad máxima o un desplazamiento objetivo. Este método permite identificar la formación de rótulas plásticas y trazar la curva de capacidad de la estructura. A partir de esta curva, se determina el punto de desempeño utilizando el espectro de capacidad, que combina la curva de capacidad con el espectro de demanda sísmica. El punto de desempeño indica el desplazamiento máximo esperado durante un sismo y se evalúa si la estructura cumple con los criterios de seguridad, considerando posibles refuerzos si es necesario.

Asimismo, la Norma peruana E030. Diseño Sismorresistente, permite la realización de un análisis dinámico tiempo-historia, pero el rango lineal, asumiendo que la estructura se comporta de manera elástica bajo la acción de

cargas sísmicas, considerando la respuesta de la estructura ante un historial de aceleraciones sísmicas. Esto implica que no se toman en cuenta los efectos de plastificación, daño acumulado o grandes deformaciones que podrían ocurrir en un sismo severo. En ese sentido este estudio se complementará con un análisis dinámico tiempo-historia no lineal, tomando en cuenta el procedimiento detallado en el capítulo 7 de la Norma ASCE/SEI 41-23. Considerando, además, que los disipadores Shear Link se comportan en un rango bilineal, por lo tanto, un análisis dinámico tiempo-historia no lineal, permitirá interpretar mejor el comportamiento del disipador.

Representación del amortiguamiento

Cuando se realiza el análisis Tiempo-Historia no Lineal, es importante definir el tipo de amortiguamiento que representará la estructura, en ese sentido, a continuación, se define el amortiguamiento de Rayleigh como sistema de amortiguamiento elegido.

Amortiguamiento de Rayleigh

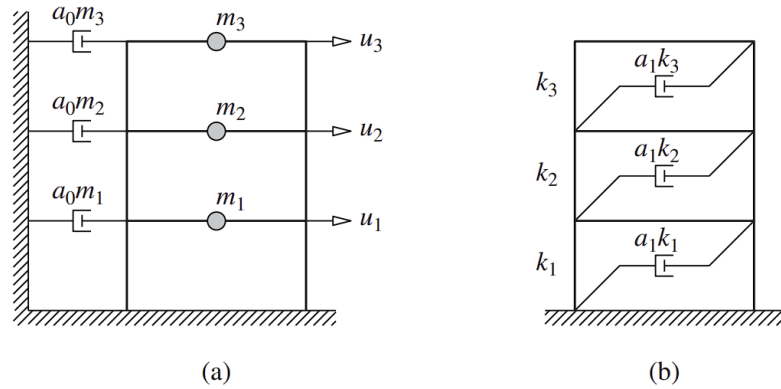
Para definir el amortiguamiento de Rayleigh, primero se considera un amortiguamiento propio de la masa y un amortiguamiento propio de la rigidez, como se indica en las ecuaciones (44) y (45), respectivamente:

$$C = a_0 m \quad (44)$$

$$C = a_1 k \quad (45)$$

Dónde las (a_0) y (a_1) son constantes y tienen unidades de (s^{-1}) y (s) , respectivamente. Ambos modelos de amortiguamiento pueden representarse como se indica en la figura n.º54.

Figura 54. Representación física de un amortiguamiento



Nota: (a) Amortiguamiento proporcional a la masa; (b) Amortiguamiento proporcional a la rigidez. (Chopra A., 2014, p. 456)

Luego, para un sistema de amortiguamiento proporcional a la masa, la fracción de amortiguamiento modal para el n -ésimo modo es:

$$C_n = a_0 M_n \quad (46)$$

$$\xi_n = \frac{a_0}{2} \frac{1}{\omega_n} \quad (47)$$

De manera similar, las fracciones de amortiguamiento modal para un sistema con amortiguamiento proporcional a la rigidez pueden relacionarse con el coeficiente (a_1) de la forma:

$$C_n = a_1 \omega_n^2 M_n \quad (48)$$

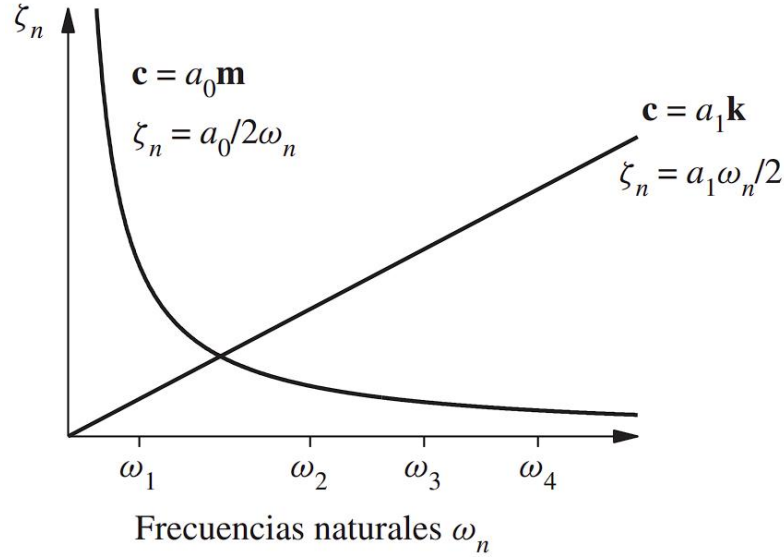
$$\xi_n = \frac{a_1}{2} \omega_n \quad (49)$$

Cabe señalar, que ninguna de las matrices de amortiguamiento definidas por las ecuaciones (44) y (45) son apropiadas para el análisis práctico de los sistemas de varios grados de libertad, debido a que en una estructura se tiene varios modos de vibración.

Por otro lado, la figura n.º55, muestra que el comportamiento de la fracción de amortiguamiento con relación a la masa varía inversamente proporcional a la frecuencia natural, mientras que la fracción de

amortiguamiento respecto a la rigidez, varía de forma lineal o directamente proporcional a la frecuencia natural.

Figura 55. Variación de las fracciones de amortiguamiento modal con la frecuencia natural.



Nota: Se identifica la variación de la fracción de amortiguamiento modal con relación a la masa (línea curva) y la variación lineal del amortiguamiento modal con relación a la rigidez (línea recta), ambos con relación a la frecuencia natural. (Chopra A., 2014, p. 457)

Luego, para definir el modelo de Rayleigh se considera que la matriz de amortiguamiento es una combinación lineal de las matrices de masa y de rigidez.

$$\mathbf{C} = a_0 \mathbf{m} + a_1 \mathbf{k} \quad (50)$$

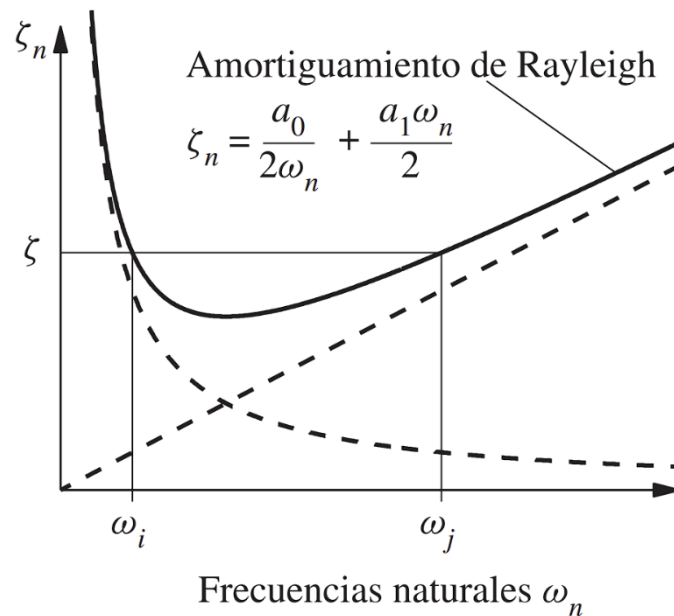
Asimismo, la fracción de amortiguamiento para el n -ésimo modo de tal sistema es:

$$\xi_n = \frac{a_0}{2} \frac{1}{\omega_n} + \frac{a_1}{2} \omega_n \quad (51)$$

Dónde las constantes (a_0) y (a_1) pueden obtenerse en base a los primeros modos de vibración. Entonces, la matriz de amortiguamiento para el modelo

de Rayleigh queda definido mediante ecuación (50) y la fracción de amortiguamiento para cualquier otro modo definida con la ecuación (51) la cual varía con la frecuencia natural, como se muestra en la figura n.º53.

Figura 56. Amortiguamiento de Rayleigh



Nota: Se muestra el amortiguamiento de Rayleigh para los dos primeros modos de vibración. (Chopra A., 2014, p. 457)

2.3. Definición de términos básicos

Capacidad estructural: Es la aptitud de una estructura para resistir acciones externas (gravitacionales y sísmicas) sin alcanzar estados límite de falla, garantizando niveles aceptables de resistencia, rigidez, ductilidad y estabilidad global durante su vida útil. Chopra, A.K. (2017), Dinámica de estructuras.

Modelo computacional: Representación matemática y numérica de una estructura real, desarrollada mediante software especializado, que idealiza su geometría, materiales, condiciones de borde y acciones, con el fin de analizar su comportamiento estructural bajo distintas solicitaciones. Bathe, K. J. (1996). Procedimientos de elementos finitos.

Sismo: Fenómeno natural producido por la liberación repentina de energía acumulada en el interior de la Tierra, que se propaga en forma de ondas sísmicas y genera movimientos del terreno capaces de inducir fuerzas dinámicas en las estructuras. Kramer, S. L. (1996). Ingeniería Geotécnica Sismorresistente.

Peligro sísmico: Probabilidad de que en un sitio determinado ocurran movimientos sísmicos de cierta intensidad durante un período de tiempo específico, considerando la sismicidad regional, las fuentes sísmicas y la atenuación de las ondas. Cornell, C. A. (1968), Análisis de Riesgo Sísmico en Ingeniería. Boletín de la Sociedad Sismológica de América.

Disipador de energía: Dispositivo estructural diseñado para absorber y disipar parte de la energía sísmica inducida en una estructura, reduciendo la demanda de fuerzas, desplazamientos y daños en los elementos principales. Soong, T. T., & Dargush, G. F. (1997). Sistemas de Disipación Pasiva de Energía en Ingeniería Estructural.

Disipador Histerético por plastificación: Tipo de disipador de energía que disipa energía sísmica mediante deformaciones plásticas controladas. Skinner, R. I., Robinson, W. H., & McVerry, G. H. (1993). Introducción al Aislamiento Sísmico.

Rigidez estructural: Propiedad que mide la resistencia de una estructura o elemento estructural a deformarse ante la aplicación de cargas, definida como la relación entre la fuerza aplicada y el desplazamiento resultante. Hibbeler, R. C. (2017). Análisis estructural.

Amortiguamiento estructural: Mecanismo mediante el cual una estructura disipa energía vibratoria, reduciendo progresivamente la amplitud de las oscilaciones dinámicas. Incluye amortiguamiento material, estructural y adicional (disipadores). Clough, R. W., & Penzien, J. (1993). Dinámica de estructuras.

Ductilidad: Capacidad de un elemento o sistema estructural para experimentar deformaciones inelásticas significativas sin pérdida súbita de resistencia, permitiendo una redistribución de esfuerzos y un comportamiento sísmico favorable. Park, R., & Paulay, T. (1975). Estructuras de concreto reforzado.

Período fundamental de vibración: Tiempo que tarda una estructura en completar un ciclo completo de vibración en su primer modo de vibración, siendo el modo que generalmente concentra la mayor participación de masa. Chopra, A.K. (2017), Dinámica de estructuras.

Espectro de respuesta: Representación gráfica que muestra la respuesta máxima (aceleración, velocidad o desplazamiento) de sistemas de un grado de libertad con distintos períodos, sometidos a un mismo registro sísmico. Newmark, N. M., & Hall, W. J. (1982). Espectros Sísmicos y Diseño. Instituto de Investigación en Ingeniería Sísmica.

Modo de vibración: Forma característica en la que una estructura oscila dinámicamente, asociada a una frecuencia natural específica, describiendo la distribución espacial de desplazamientos durante la vibración. Chopra, A.K. (2017), Dinámica de estructuras.

Curva de capacidad: Relación no lineal entre el cortante basal y el desplazamiento de control de una estructura, obtenida mediante análisis estático no lineal (pushover), que representa su capacidad resistente y deformacional. ATC-40 (1996). Evaluación Sísmica y Rehabilitación de Edificios de Concreto. Consejo de Tecnología Aplicada.

Velocidad Pico de Partícula (PPV): Valor máximo de velocidad (en mm/s) alcanzado por una partícula del suelo durante el paso de una onda vibratoria generada por una fuente dinámica, como una voladura, un sismo o una actividad de

construcción. Sikind, D. & Dowding, C.H. (1980). Daño y respuesta estructural producido por vibración de suelo de explotación minera.

2.4. Formulación de hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

La implementación de disipadores de energía tipo Shear Link asocia a una mejor condición de la capacidad estructural del pabellón de la Facultad de Derecho de la UNDAC, incidiendo en variaciones favorables de las derivas y desplazamientos, la cortante basal, la disipación de energía sísmica, la rigidez, el amortiguamiento equivalente y la ductilidad del sistema estructural.

2.4.2. Hipótesis específicas

- a. La implementación de disipadores de energía tipo Shear Link se asocia a una disminución de las derivas máximas y de los desplazamientos laterales del pabellón de la Facultad de Derecho de la UNDAC, en comparación con la condición estructural sin disipadores, Pasco 2024.
- b. La implementación de disipadores de energía tipo Shear Link se relaciona con una variación en la cortante basal del pabellón de la Facultad de Derecho de la UNDAC, generado por la redistribución de fuerzas sísmicas del sistema estructural, Pasco 2024.
- c. La implementación de disipadores de energía tipo Shear Link se asocia a un incremento de la capacidad de disipación de energía sísmica del pabellón de la Facultad de Derecho de la UNDAC, evidenciado mediante el análisis del balance energético del sistema estructural, Pasco 2024.
- d. La implementación de disipadores de energía tipo Shear Link se relaciona con variaciones en la rigidez global, el amortiguamiento equivalente y la ductilidad estructural del pabellón de la Facultad de Derecho de la UNDAC,

manteniendo los elementos principales dentro de rangos de desempeño aceptables, Pasco 2024.

- e. La implementación de disipadores de energía tipo Shear Link reduce la velocidad pico de vibración (PPV) estimada del pabellón de la Facultad de Derecho de la UNDAC frente a vibraciones inducidas por voladuras mineras.

2.5. Identificación de variables

Variable dependiente

- Capacidad estructural

Variable independiente

- Implementación de disipadores de energía Shear Link.

Variables intervinientes

- Nivel de amenaza sísmica
- Tipo de edificación
- Costo y beneficio económico

2.6. Definición operacional de variables e indicadores

Tabla 8. Matriz operacional de variables

Matriz operacional de variables				
Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores
V.D.: Capacidad Estructural	Es la aptitud de una estructura para resistir acciones externas (gravitacionales y sísmicas) sin alcanzar estados límite de falla, garantizando o niveles aceptables de resistencia, rigidez, ductilidad y estabilidad global durante su vida útil. Chopra, A.K. (2017), Dinámica de estructuras.	Mejoramiento de la capacidad estructural del pabellón de la facultad de Derecho de la UNDAC para resistir cargas vibratorias naturales o inducidas, mediante la implementación de disipadores de energía Shear Link.	- Desplazamientos laterales. - Derivas de entrepiso - Absorción de energía. - Respuesta vibratoria frente a voladuras mineras.	- Desplazamientos laterales máximos permitidos. - Deriva máxima establecida en la Norma Peruana E030. Diseño Sismorresistente. - Cantidad de energía absorbida y disipada por los disipadores de energía. - Límite admisible de la Velocidad pico de partícula (PPV) según DIN 4250-3
V.I.: Implementación de disipadores de energía Shear Link.	Dispositivo estructural diseñado para absorber y disipar	Incorporación en modelo computacional de disipadores Shear Link dentro del	- Configuración del Sistema de disipación. - Propiedades mecánicas	- Cantidad de dispositivos instalados y su posicionamiento en el modelo computacional.

	parte de la energía sísmica inducida en una estructura, reduciendo la demanda de fuerzas, desplazamientos y daños en los elementos principales. Soong, T. T., & Dargush, G. F. (1997). Sistemas de Disipación Pasiva de Energía en Ingeniería Estructural.	pabellón de la facultad de Derecho de la UNDAC.	de los disipadores.	- Capacidad de resistencia de cada disipador y la capacidad de absorción de energía.
--	--	---	---------------------	--

Nota: Se muestra la matriz operacional de variables dependientes e independientes.

(Elaborado por el autor, 2024)

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación

De acuerdo con la finalidad de la investigación:

Investigación aplicada, denominada también “activa”, “dinámica”, “práctica” o “empírica”, se encuentra íntimamente ligada a la investigación básica, ya que depende de sus descubrimientos y aportes teóricos para llevar a cabo la solución de problemas, con la finalidad de generar bienestar a la sociedad. (S. Valderrama, 2010, p. 168)

Busca conocer, actuar, construir y modificar una realidad problemática, está más interesada en la aplicación inmediata sobre una problemática antes que el desarrollo de un conocimiento de valor universal. (M. Borja, 2016, p. 10)

En ese sentido, al lograr mejorar la capacidad estructural de la facultad de Derecho de la UNDAC, ayudamos a mejorar la capacidad de las edificaciones para resistir y reducir daños luego de eventos sísmicos, generando una base de datos las cuales serán de aporte para que investigaciones futuras preocupados en mejorar la respuesta sísmica y control de daños en edificios, puentes y otras estructuras puedan prevenir fallas catastróficas.

De acuerdo con el enfoque de la investigación:

Investigación cuantitativa: Plantea que una forma confiable para conocer la realidad es a través de la recolección y análisis de datos, con lo que se podría contestar las preguntas de la investigación y probar las hipótesis. Este tipo de investigación confía en la medición numérica, el conteo y frecuentemente en el uso de la estadística para establecer con exactitud patrones de comportamiento en una población. (M. Borja, 2016, p. 11)

En tal sentido, la presente investigación se enmarca en el enfoque cuantitativo debido a que se analizará variables estructurales medibles, como las derivas de entrepiso, los desplazamientos laterales máximos, la cortante basal, la rigidez global, el amortiguamiento equivalente, la ductilidad estructural y la energía sísmica disipada, las cuales se obtendrán mediante la modelación matemática y análisis estructural no lineal estático y dinámico. Asimismo, los resultados se expresan en valores numéricos con unidades definidas los cuales permitirán comparar el comportamiento sísmico del pabellón de la Facultad de Derecho de la UNDAC antes y después de la implementación de disipadores de energía tipo Shear Link.

3.2. Nivel de investigación

Descriptivo: Los estudios descriptivos buscan especificar las propiedades, las características y los perfiles de las personas, grupos, comunidades, procesos, objetivos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis. Es decir, únicamente pretenden medir o recoger información de manera independiente o conjunta, sobre los conceptos o las variables a las que se refieren, esto es, su objetivo no es indicar cómo se relacionan estas. (Hernández, 2010, p.80)

En ese sentido, la presente investigación es de nivel descriptivo porque describe y cuantifica el comportamiento sísmico del pabellón de la Facultad de Derecho de la

UNDAC antes y después de la implementación de disipadores de energía Shear Link, a partir de componentes estructurales medibles como derivas, desplazamientos, cortante basal, rigidez, amortiguamiento equivalente, ductilidad, energía disipada y la velocidad pico de la partícula, sin intervenir físicamente la estructura ni controlar experimentalmente las condiciones reales del sistema, limitándose a caracterizar su respuesta estructural mediante modelación computacional,

3.3. Métodos de investigación

Es una forma ordenada para obtener conocimientos sobre el problema de investigación. En términos prácticos, es la manera en que se busca solución a un problema determinado. (S. Valderrama, 2010, p. 183)

De acuerdo con Valderrama (2010), la presente investigación adopta el método descriptivo, ya que el problema de investigación se formuló bajo la pregunta ¿de qué manera?, el cual está orientado a describir el comportamiento y desempeño estructural del pabellón mediante indicadores cuantificables, sin establecer relaciones de correlación entre variables.

3.4. Diseño de investigación

El diseño de la investigación es la estrategia o plan que se utilizará para obtener la colecta de datos, responder a la formulación del problema, al cumplimiento de los objetivos, y para aceptar o rechazar la hipótesis nula. (S. Valderrama, 2010, p.177)

En ese sentido, la investigación presenta un diseño no experimental, de tipo transversal descriptivo, debido a que las variables no son manipuladas directamente en un entorno real, asimismo, en la investigación no existe control experimental, aleatorización ni grupos de control reales, además, el análisis del comportamiento estructural del pabellón se realiza en un único momento temporal, mediante un modelo computacional, describiendo el efecto de la implementación de disipadores de energía

Shear Link a través de indicadores estructurales cuantificables (derivadas, desplazamientos, cortante basal, rigidez, ductilidad, entre otros), por último, no se calculan correlaciones estadísticas ni relaciones causales formales.

3.5. Población y muestra

3.5.1. Población

La población es definida por todas las edificaciones consideradas como esenciales, de acuerdo con la tabla n.º5 de la Norma Peruana E030. Diseño sismorresistente, ubicadas en el distrito de Yanacancha. Para la investigación no se incluirá edificaciones temporales por su propia naturaleza.

3.5.2. Muestra

Se toma como muestra el edificio del pabellón de la facultad de Derecho de la UNDAC, ubicado en la misma ciudad universitaria, ya que fue construido hace 7 años y presenta posibles fallas estructurales.

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

- **Revisión de documentación y registros:** Se realizará una revisión exhaustiva de documentos técnicos, informe de evaluación sísmica, artículos científicos relacionados con la capacidad estructural, control de daños y respuesta dinámica de las edificaciones con la implementación de disipadores de energía Shear Link. Asimismo, se revisarán los planos de construcción de la muestra seleccionada. Por otro lado, como una actividad esencial, se realizará la revisión bibliográfica, con temas relacionados a la investigación.
- **Simulaciones computacionales:** Se utilizarán software de modelado y simulación estructural para realizar análisis de elementos finitos y simular el comportamiento sísmico de las edificaciones con y sin disipadores Shear Link. Estas simulaciones permitirán evaluar el rendimiento estructural bajo diferentes escenarios sísmicos y

comparar los resultados para determinar el impacto de los disipadores de energía en la capacidad estructural.

3.7. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación

La selección de los instrumentos incluye el uso de software de simulación estructural y métodos analíticos para evaluar la capacidad estructural del pabellón de la facultad de Derecho de la UNDAC, la validación se asegura mediante la comparación de los resultados de las simulaciones en el modelo computacional con los requerimientos mínimos establecidos en las normas nacionales e internacionales, garantizando que los modelos y métodos reflejan con precisión el comportamiento estructural esperado.

3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

- **Análisis estadístico descriptivo:** Se busca, resumir y describir los datos recopilados de la documentación y evaluación de las simulaciones computacionales realizadas, para entender el comportamiento estructural, la capacidad de carga sísmica, el desempeño de la edificación, así como también de los disipadores de energía Shear Link implementados en el pabellón de la facultad de Derecho de la UNDAC.

3.9. Tratamiento estadístico

- **Análisis comparativo:** Se realizarán análisis comparativos para evaluar la efectividad de los disipadores de energía Shear Link en la capacidad estructural. Este procedimiento implica las propiedades sísmicas del pabellón de la facultad de Derecho con y sin disipadores, utilizando medidas como el período fundamental, la capacidad de carga sísmica y la respuesta ante diferentes niveles de amenaza sísmica.

- **Análisis de costos y beneficios:** Se realiza un análisis económico para evaluar los costos y beneficios de instalar y mantener los disipadores de energía Shear Link en la facultad de Derecho de la UNDAC a lo largo de su ciclo de vida.

3.10. Orientación ética filosófica y epistémica

La presente investigación está guiada por los principios fundamentales de integridad, el respeto y la equidad considerando mantener altos estándares de integridad académica y evitar cualquier forma de fraude, plagio o mala conducta.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo

A continuación, se describe el trabajo de campo realizado, el cual consistió en la recopilación de datos esenciales directamente en el sitio del pabellón de la Facultad de Derecho de la UNDAC. La información obtenida fue fundamental para asegurar que el modelo computacional y las simulaciones desarrolladas reflejen las condiciones reales de la estructura y su entorno.

4.1.1. Situación actual

El pabellón de la facultad de Derecho de la UNDAC, se ubica en la ciudad universitaria de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, en el Distrito de Yanacancha, en la provincia y región Pasco.

Durante el trabajo de campo, se realizó una inspección visual rápida del edificio, para poder identificar las características arquitectónicas y estructurales, notándose un diseño arquitectónico bastante convencional, degradación de los acabados de pintura, entre otras características arquitectónicas, las cuales no se profundizan en este estudio por su propia naturaleza.

Asimismo, se verificó daños estructurales en el edificio, grietas en muros de albañilería ubicados en el cuarto nivel del edificio, ver figura n.º57, asociados, como primer criterio, a un mal comportamiento estructural, ya que las grietas identificadas en estos encuentros, muestran que los muros están actuando como elementos rigidizantes, ya que al momento de que la estructura se desplace en la dirección del muro, producto de una vibración en el suelo, transmite fuerzas de corte al muro, esto contraviene el sistema estructural de la edificación, ya que la tabiquería arquitectónica no es un elemento diseñado para resistir fuerzas de corte, pese que en la localidad no es frecuente la ocurrencia de sismos, el movimiento vibratorio puede ser producto de las vibraciones producidas por los impactos de los explosivos realizados en empresa minera. Otro criterio de evaluación puede involucrar deficiencias en el proceso constructivo, o una mala calidad de los materiales utilizados.

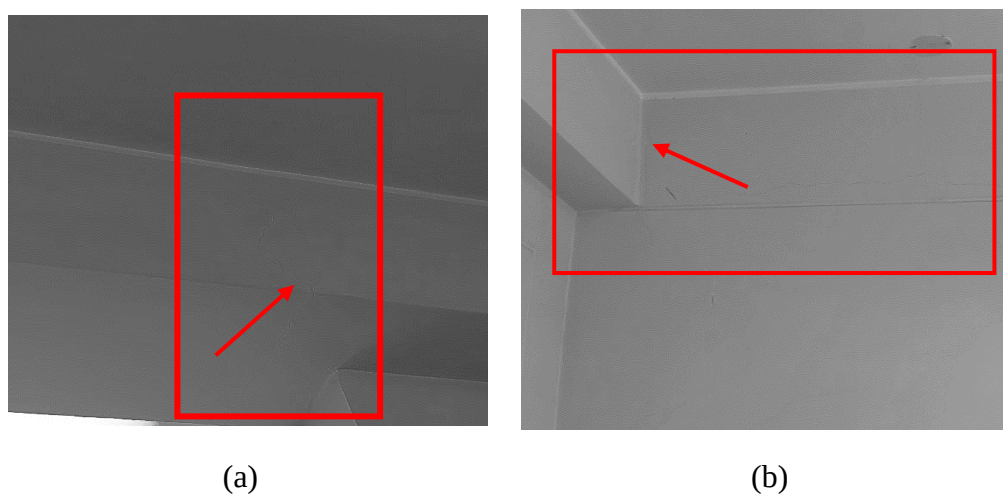
Figura 57. *Grietas en muros divisorios.*



Nota: Se identifica agrietamiento en los muros divisorios en el cuarto nivel del edificio del pabellón de la facultad de Derecho de la UNDAC. (Fotografía tomada por el autor, 2024)

No sólo se verificó agrietamiento en los muros, sino también en las vigas y en la unión de las vigas y las columnas en el cuarto nivel, como se muestra en la figura n.º58.

Figura 58. *Grietas en vigas y en la unión de vigas y columnas.*

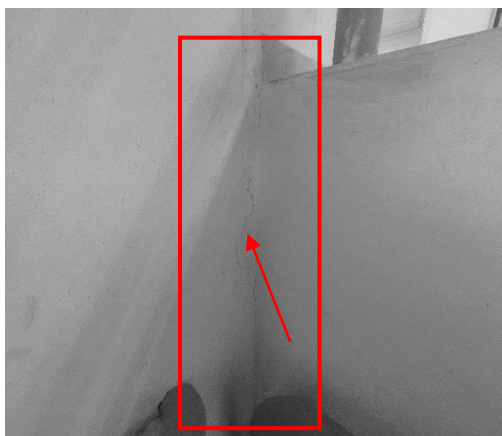


Nota: (a) Se identifica agrietamiento vertical en tramo $L/3$ de la viga; (b) Grietas horizontales en las vigas en la unión de vigas y columnas. (Fotografía tomada por el autor, 2024)

Para el caso (a) de la figura n.º58, se verifica que las grietas son verticales, ubicadas dentro del tramo $L/3$ de la viga, esto puede producirse por varias razones, entre ellas puede ser producto de la contracción del concreto durante el proceso del endurecimiento y un inadecuado curado, o bien, producto de una mala disposición del refuerzo transversal, permitiendo que los esfuerzos cortantes generen el agrietamiento. Por otro lado, el caso (b), es aún más preocupante debido que presenta un agrietamiento horizontal en la unión de la viga y la columna, este problema puede deberse a la mala transferencia de cargas entre los elementos viga y columna, o un refuerzo de acero insuficiente que no resiste los esfuerzos de tracción y flexión producidos en la viga debido a las cargas externas de un sismo o cualquier movimiento vibratorio, o debido a la diferencia de rigideces entre ambos elementos. Como se mencionó, estos pueden ser algunos de las posibles razones por la cual los elementos muestran estos problemas.

El problema encontrado en la unión de las vigas y las columnas del cuarto nivel también se repite en el tercer nivel, como se muestra en la figura n.º59.

Figura 59. *Grietas en vigas y en la unión de vigas y columnas.*

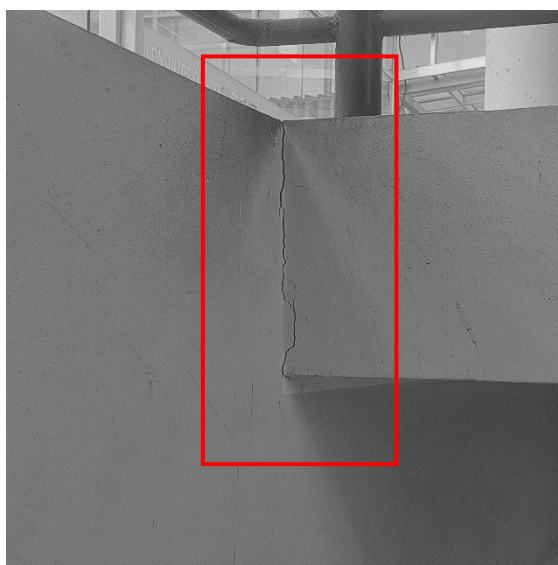


Nota: Se identifica agrietamiento vertical en las vigas en la unión de vigas y columnas.

(Fotografía tomada por el autor, 2024)

Otro de los problemas encontrados durante la inspección visual rápida, fue en el acceso hacia la azotea, el encuentro entre la losa del techo del cuarto nivel y el paño de llegada de la escalera, como se muestra en la figura n.º60, se evidencia grietas verticales en la unión de ambos elementos. Como bien se sabe, el diseño estructural de la escalera considera cargas dinámicas debido a un sismo o bien al tráfico de las personas, esto produce vibraciones y por consiguiente esfuerzos de tensión entre ambos elementos, el agrietamiento que se muestra en la figura, puede ser causa de estos esfuerzos de tensión, o bien puede ser producto de desplazamientos diferenciales de ambos elementos, lo que quiere decir es que la losa del techo se desplaza con una frecuencia diferente al desplazamiento de la escalera, provocando deficiencias en la unión estructural.

Figura 60. *Grietas en la unión de techo y escalera*



Nota: Se identifica agrietamiento vertical en la unión del techo del cuarto nivel y el tramo de llegada de escalera hacia la azotea. (Fotografía tomada por el autor, 2024)

Luego de haber realizado la inspección visual rápida al pabellón de la facultad de Derecho de la UNDAC, mediante Carta n.º001-2024-CAAM de 6 de junio de 2024, se solicitó información al área de Unidad Ejecutora de Inversiones de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión respecto a los documentos técnicos de ejecución de obra, de esta manera se obtuvo los planos estructurales de construcción, la memoria de cálculo estructural y el estudio de mecánica de suelos, para identificar las propiedades de los materiales y las características geotécnicas del suelo, considerados para la elaboración de la memoria de cálculo estructural.

El informe del estudio de mecánica de suelos realizado para la construcción del pabellón de la facultad de Derecho, muestra los siguientes resultados:

Tabla 9. Resultados del Estudio de mecánica de suelos

CALICATA	PROFUNDIDAD	CLASIFICACIÓN SUCS	CAPACIDAD PORTANTE
C-01	1.40 – 2.20 m	GP-GC (Grava pobremente graduada con arcilla y arena.	1.560 kg/cm ²
C-02	0.80 – 1.60 m	GW-GC (Grava bien graduada con arcilla y arena)	1.580 kg/cm ²
C-03	0.00 – 1.60 m	GC – GM (Grava limosa arcillosa con arena)	1.550 kg/cm ²
-) La estructura considerada es en base a zapatas y columnas, la profundidad de cimentación mínima será de 1.60m. -) De ser el caso para el análisis sismorresistente considerar un perfil de suelo flexible con un periodo de vibración $T_s = 0.6$ seg un factor de amplificación de ondas sísmicas $S=1.2$.			

Nota: Se muestra los resultados del informe del estudio de mecánica de suelos realizados para la construcción del pabellón de la facultad de Derecho. (Extraído del Informe de Estudios de Suelos del proyecto: Instalación del pabellón y mejoramiento de los servicios académicos de la facultad de Derecho y Ciencias Políticas de la UNDAC – Pasco. P. 47 -48)

Asimismo, se muestra los parámetros de diseño utilizados para el diseño estructural del pabellón de la facultad de Derecho y los resultados obtenidos luego de realizar el análisis estructural, obtenidos de la memoria descriptiva de estructuras para la construcción del pabellón de la facultad de Derecho.

Tabla 10. Parámetros de diseño adoptados

<u>Concreto simple:</u>	
Cimiento	$f'_c = 175 \text{ kg/cm}^2 + 30\% \text{ PG}$
<u>Concreto armado</u>	
Para todo elemento de concreto armado	$f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$
<u>Acero</u>	
Corrugado	$f'_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$
<u>Albañilería</u>	
Resistencia a la compresión	$f'_m = 45 \text{ kg/cm}^2$
Unidades de albañilería	Tipo IV
<u>Cargas</u>	
Concreto armado	2400 kg/m^3
Concreto ciclópeo	2300 kg/cm^3
Piso terminado	100 kg/m^2
Albañilería	1800 kg/m^3
Losa maciza	480 kg/m^2

Nota: Se muestra los parámetros de diseño adoptados para el análisis estructural para la construcción del pabellón de la facultad de Derecho. (Extraído de la Memoria descriptiva de estructuras del proyecto: Instalación del pabellón y mejoramiento de los servicios académicos de la facultad de Derecho y Ciencias Políticas de la UNDAC – Pasco. P. 1094 - 1095)

Tabla 11. Resultados de análisis estructural

<u>Módulo A</u>	<u>Módulo B</u>
Coeficiente básico de reducción sísmica: $R_x = R_y = 8$ (Muros de concreto armado). <u>Eje x - x</u> * Desplazamiento máximo del último piso: 6.36cm * Desplazamiento máximo de entrepiso: 4.86 cm * Desplazamiento máximo de entrepiso es $0.0054 < 0.007$ <u>Eje y - y</u> * Desplazamiento máximo del último piso: 5.4 cm * Desplazamiento máximo de entrepiso: 4.50 cm * Desplazamiento máximo de entrepiso es $0.0036 < 0.007$.	Coeficiente básico de reducción sísmica: $R_x = R_y = 8$ (Muros de concreto armado). <u>Eje x - x</u> * Desplazamiento máximo del último piso: 1.32cm * Desplazamiento máximo de entrepiso: 2.22 cm * Desplazamiento máximo de entrepiso es $0.0021 < 0.007$ <u>Eje y - y</u> * Desplazamiento máximo del último piso: 1.92 cm * Desplazamiento máximo de entrepiso: 1.14 cm * Desplazamiento máximo de entrepiso es $0.0028 < 0.007$.

Nota: Se muestra los resultados del análisis estructural del pabellón de la facultad de Derecho. (Extraído de la Memoria descriptiva de estructuras del proyecto: Instalación del pabellón y mejoramiento de los servicios académicos de la facultad de Derecho y Ciencias Políticas de la UNDAC – Pasco. P. 1093 – 1092 - 1091)

De la tabla n.º9 se pudo apreciar que el análisis estructural sólo satisface los requisitos mínimos establecidos por la normativa peruana, notándose que el estudio comprendió de un análisis estático y dinámico modal espectral en el rango lineal.

Los resultados de la tabla n.º9 serán contrastados con los resultados del análisis estructural realizados en este estudio.

4.1.2. Propiedades del suelo

Se realizó el estudio de mecánica de suelos en sitio con fines de caracterización del suelo y cimentación, de esta forma conocer y obtener información real del suelo los

cuales servirán para obtener los parámetros de diseño para el análisis estructural de la edificación. Como parte de este estudio, el anexo A muestra el informe del Estudio de Mecánica de Suelos realizado, a continuación, la tabla n°10 muestra un resumen de los resultados:

Tabla 12. Resultados del Estudio de mecánica de suelos realizados en sitio

CALICATA	PROFUNDIDAD	SUCS	DESCRIPCIÓN	CAPACIDAD PORTANTE (kg/cm ²)
C-01	2.30 – 2.80 m	GW-GC	Suelo grava arcillosa bien gradada de color marrón con presencia de rocas meteorizadas en condición húmedo con bolonería de 6"-8" de consistencia firme y cementación fuerte.	2.46
C-02	0.50 – 1.10 m	GP-GC	Suelo grava arcillosa pobremente gradada de color marrón dorado con gravas angulosas de TM 2" con presencia de rocas meteorizadas en condición húmedo de consistencia firme y cementación moderada.	1.71
C-03	1.80 - 2.60 m	GC-GM	Suelo grava limo arcillosa de color marrón dorado con gravas sub angulosas de TM 2" en condición húmedo de consistencia firme y cementación moderada.	1.41
-) De acuerdo con el análisis de cimentación, registros de campo, ensayos de laboratorio, descripción de los perfiles estratigráficos y características del proyecto, en concordancia con la Norma Peruana E-030, el suelo de cimentación se clasifica como Tipo S2: Suelos Intermedios.				
-) De la caracterización del suelo y su clasificación con la Norma Peruana E-030 Diseño Sismorresistente, se considera un perfil de suelo flexible con un periodo característico de vibración $T_p = 0.6$ y un periodo límite de 2.0 segundos.				

Nota: Se muestra el resumen de los resultados del informe del estudio de mecánica de suelos realizados en sitio durante la investigación. (Realizado por el autor, 2025)

4.1.3. Propiedades de los materiales

Para la evaluación del comportamiento estructural del edificio del pabellón de la facultad de Derecho de la UNDAC, se tomará en cuenta los resultados de los ensayos de laboratorio correspondientes a muestras de concreto extraídas durante el proceso constructivo del pabellón de la facultad, estos resultados fueron recopilados del expediente de liquidación de obra, previa solicitud a la UNDAC. Estas muestras, extraídas como parte del control de calidad durante el vaciado de los elementos estructurales, muestran un comportamiento real del material en obra. Esta información es contrastada con los parámetros mecánicos teóricos asumidos en el modelo estructural, en ese sentido, la tabla n°11 muestran los resultados de las probetas ensayadas para cada elemento.

Tabla 13. *Resultados de la resistencia a compresión del concreto de las muestras extraídas durante la construcción del pabellón*

Muestreo n°1				
Nº de testigo	f'c especificada	Descripción del elemento	Edad (días)	f'c kg/cm2
	210	Techo y viga peraltada 1er nivel	0	0
1			7	151
3			14	206
5			28	235

Muestreo n°2				
Nº de testigo	f'c especificada	Descripción del elemento	Edad (días)	f'c kg/cm2
	210	Techo y viga peraltada 1er nivel	0	0
2			7	155
4			14	213
6			28	254

Muestreo n°3				
Nº de testigo	f'c especificada	Descripción del elemento	Edad (días)	f'c kg/cm2
	210	Techo y viga peraltada 1er nivel	0	0
1			7	158
3			14	204
5			28	240

Muestreo n°4				
Nº de testigo	f'c especificada	Descripción del elemento	Edad (días)	f'c kg/cm2
	210	Techo y viga peraltada 1er nivel	0	0
2			7	166
4			14	202
6			28	225

Muestreo n°5				
Nº de testigo	f'c especificada	Descripción del elemento	Edad (días)	f'c kg/cm2
	210	viga peraltada 2do nivel	0	0
1			30	536.69

Muestreo n°6				
Nº de testigo	f'c especificada	Descripción del elemento	Edad (días)	f'c kg/cm2
	210	viga peraltada 3er nivel	0	0
1			5	121.23

Muestreo n°7				
Nº de testigo	f'c especificada	Descripción del elemento	Edad (días)	f'c kg/cm2
	210	Techo 2do nivel	0	0
1			29	522.27

Muestreo n°8				
Nº de testigo	f'c especificada	Descripción del elemento	Edad (días)	f'c kg/cm2
	210	Techo 3er nivel	0	0
1			5	127.32

Muestreo n°9				
Nº de testigo	f'c especificada	Descripción del elemento	Edad (días)	f'c kg/cm2
	210	Columna 3er nivel	0	0
1			7	155.64

Muestreo n°10				
Nº de testigo	f'c especificada	Descripción del elemento	Edad (días)	f'c kg/cm2
	210	Columna	0	0
1			10	357.61

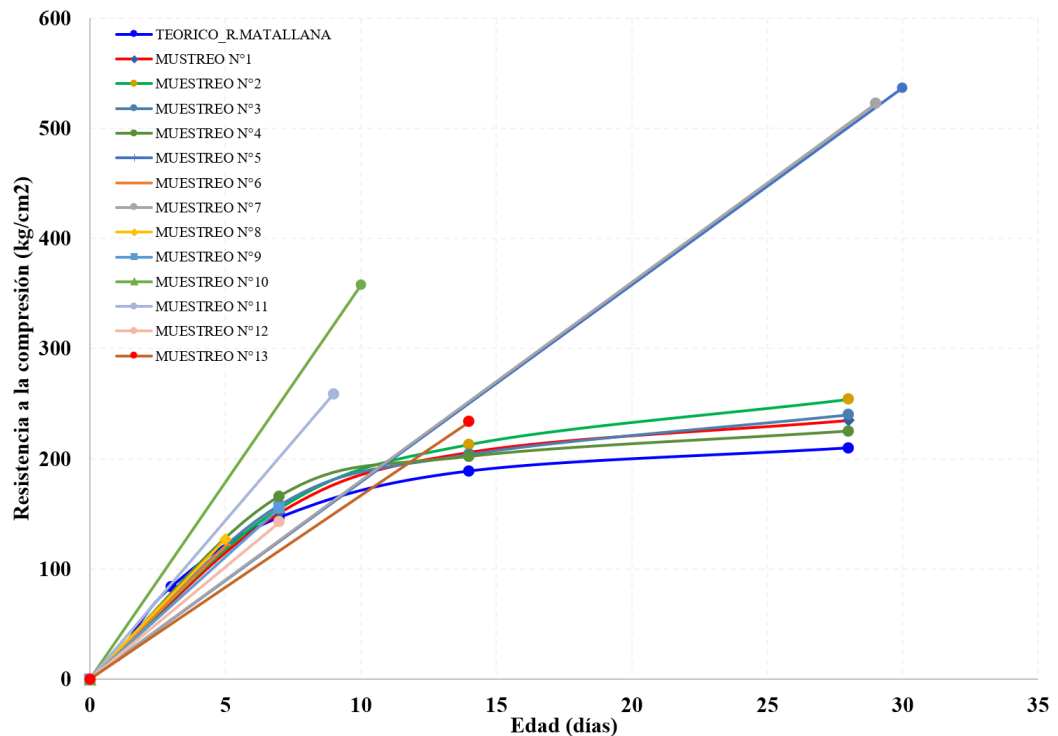
Muestreo n°11				
Nº de testigo	f'c especificada	Descripción del elemento	Edad (días)	f'c kg/cm2
	210	Zapata	0	0
1			9	258.91

Muestreo n°12				
Nº de testigo	f'c especificada	Descripción del elemento	Edad (días)	f'c kg/cm2
	210	Viga	0	0
1			7	136.01

Muestreo n°13				
Nº de testigo	f'c especificada	Descripción del elemento	Edad (días)	f'c kg/cm2
	210	Viga	0	0
1			7	142.85

Nota: (Realizado por el autor, 2026)

Figura 61. Resistencia a la compresión del concreto de las muestras extraídas durante la construcción del pabellón.



Nota: (Realizado por el autor, 2026)

Comentario. Los resultados muestran un crecimiento de la resistencia con la edad. A los 28 días, la mayoría de las muestras se ubica en rangos casi compatibles con la curva teórica, evidenciando un desarrollo adecuado de resistencia. Sin embargo, se observa una alta variación con las edades intermedias, donde algunas muestras presentan valores significativamente superiores, incluso por encima del 200% respecto a la resistencia requerida.

Estos valores de la tabla, concordantes en algunos casos, no representan necesariamente una mejora real del material, sino que pueden deberse a diversos factores como cambios en la dosificación, condiciones de curado no uniformes, diferencias en la toma o preparación de probetas, etc.

En ese sentido, de acuerdo con la información obtenida, para el desarrollo de la investigación, el concreto considera la resistencia requerida (f'_c) como el promedio de

los resultados a los 28 días de los ensayos realizados a las muestras extraídas, para el acero de refuerzo se considera de acuerdo con el catálogo del material puesto en obra.

Tabla 14. *Características de los materiales*

Concreto	Columnas	$f'c=$	256.625	kg/cm ²
	muros			
	Vigas y losas	$f'c=$	335.493	kg/cm ²
Acero	$f'y=$		4200	kg/cm ²

Nota: (Realizado por el autor, 2026)

4.1.4. Cargas de diseño

Como se indicó en el ítem 4.1.3., con el fin de realizar una evaluación estructural con los parámetros básico de diseño con los cuales fue construido el edificio, se tomará en cuenta las cargas consideradas en tabla n.º8, asimismo, como parte complementaria, se tomará en cuenta las cargas mínimas y su respectiva combinación los establecidos por la Norma E.020 Cargas vigente a la fecha de la elaboración del estudio previo a la construcción de la edificación, en ese sentido las cargas de diseño a considerar son:

Cargas Muertas

- Losa maciza : 300 kg/cm²
- Tabiquería móvil : 150 kg/cm²
- Acabados : 100kg/cm²

4.1.5. Cargas Vivas (Sobrecarga)

- De acuerdo con la memoria descriptiva de estructuras del estudio para la ejecución del pabellón de la facultad de Derecho, se consideró una sobrecarga de 400 kg/cm² en los techos y 200 kg/cm² en la azotea.

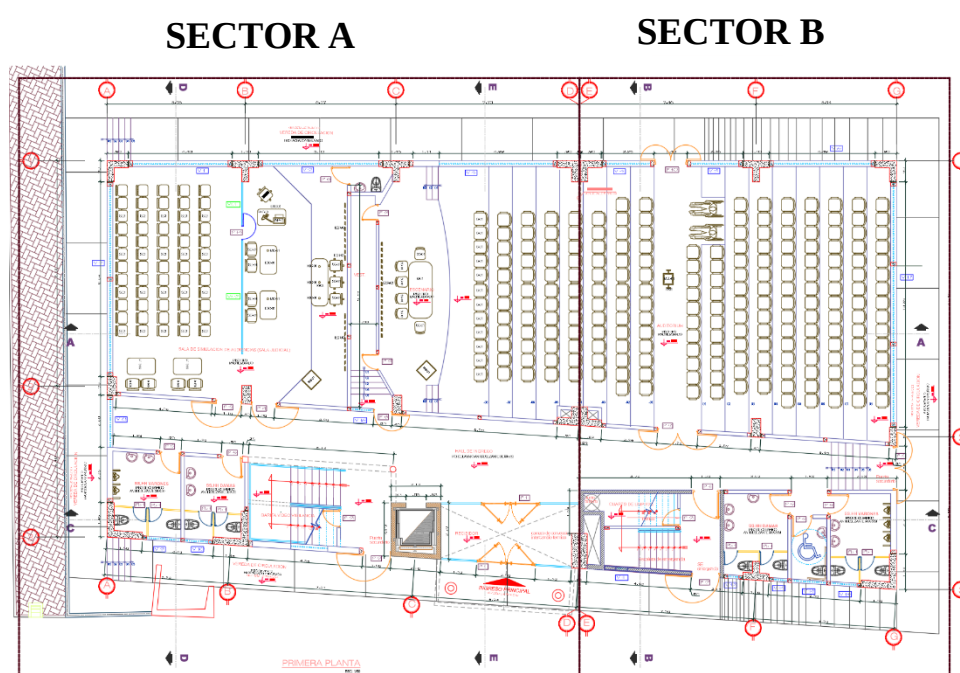
4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados

4.2.1. Evaluación estructural del edificio existente del pabellón de la facultad de Derecho de la UNDAC

Descripción de la edificación existente

El edificio existente del pabellón de la facultad de Derecho y Ciencias Políticas de la UNDAC, se ubica en la zona sísmica 2 de acuerdo con la normativa peruana E.030, asimismo, de acuerdo con el informe del estudio de mecánica de suelos realizado en sitio, el edificio está construido sobre un suelo intermedio (S2). El edificio en planta es dividido en dos sectores A y B, separados mediante una junta sísmica de 9 cm, ambos módulos presentan una forma irregular, en conjunto la edificación cuenta con 4 niveles y una azotea. En el primer nivel cuenta con auditorio, sala de simulación de audiencias y servicios higiénicos, en el segundo nivel cuenta con salas de reunión, ambientes administrativos y servicios higiénicos, en el tercer y cuarto nivel cuenta con aulas académicas, ambientes administrativos y servicios higiénicos, la azotea cuenta con espacios libre para zona de estar. Todo el edificio se comunica a través de escaleras colocados en ambos sectores del edificio y un ascensor principal ubicado en el sector A. La altura de entrepiso es de 4.00 m, en todo el perímetro y la distribución interior del edificio está formado por tabiquería de 13 cm de espesor.

Figura 62. *Distribución en Planta del primer nivel del edificio existente.*



Nota: Se identifica la distribución arquitectónica del primer nivel, asimismo, se identifica la separación de los sectores A y B (Plano arquitectónico del proyecto: Instalación del pabellón y mejoramiento de los servicios académicos de la facultad de Derecho y Ciencias Políticas de la UNDAC – Pasco.)

Figura 63. Edificio existente del pabellón de la facultad de Derecho y Ciencias Políticas de la UNDAC.



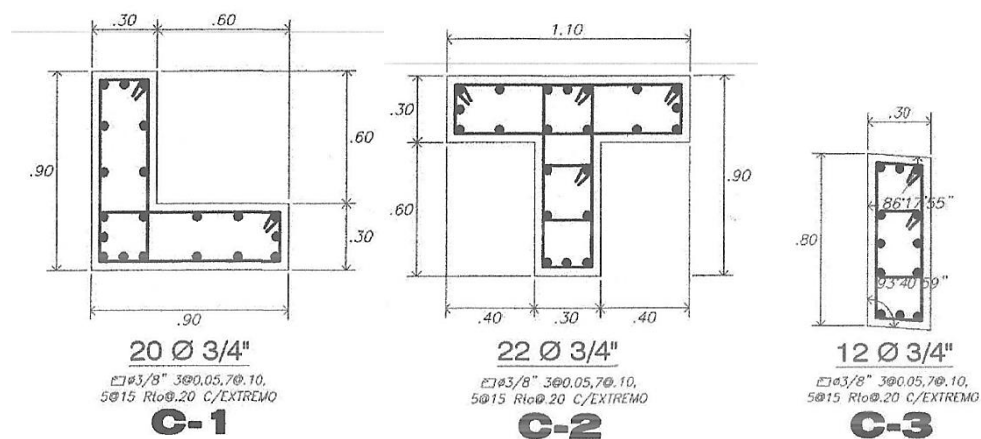
Nota: Se identifica el edificio existente del edificio del pabellón de la facultad de Derecho y Ciencias Políticas de la UNDAC. (Fotografía tomado por el autor, 2024)

En el eje longitudinal, orientado en la dirección más larga, el sistema estructural está formado por pórticos de concreto armado. Cada pórtico está formado por vigas de sección variable, VA101 (0.30 x 1.20 m), VA102 (0.30 x 0.70 m) y VA103 (0.30 x 1.00 m), además cuenta con columnas de sección regular e irregular, los cuales tienen continuidad estructural desde la cimentación hasta el último nivel del edificio.

Asimismo, en el eje transversal, orientado en la dirección más corta, el sistema estructural está formado por pórticos de concreto armado. Cada pórtico está formado por vigas de 0.30 x 1.00 m, como en el eje longitudinal, cuenta con columnas de sección variable con continuidad estructural desde la cimentación hasta el último nivel del

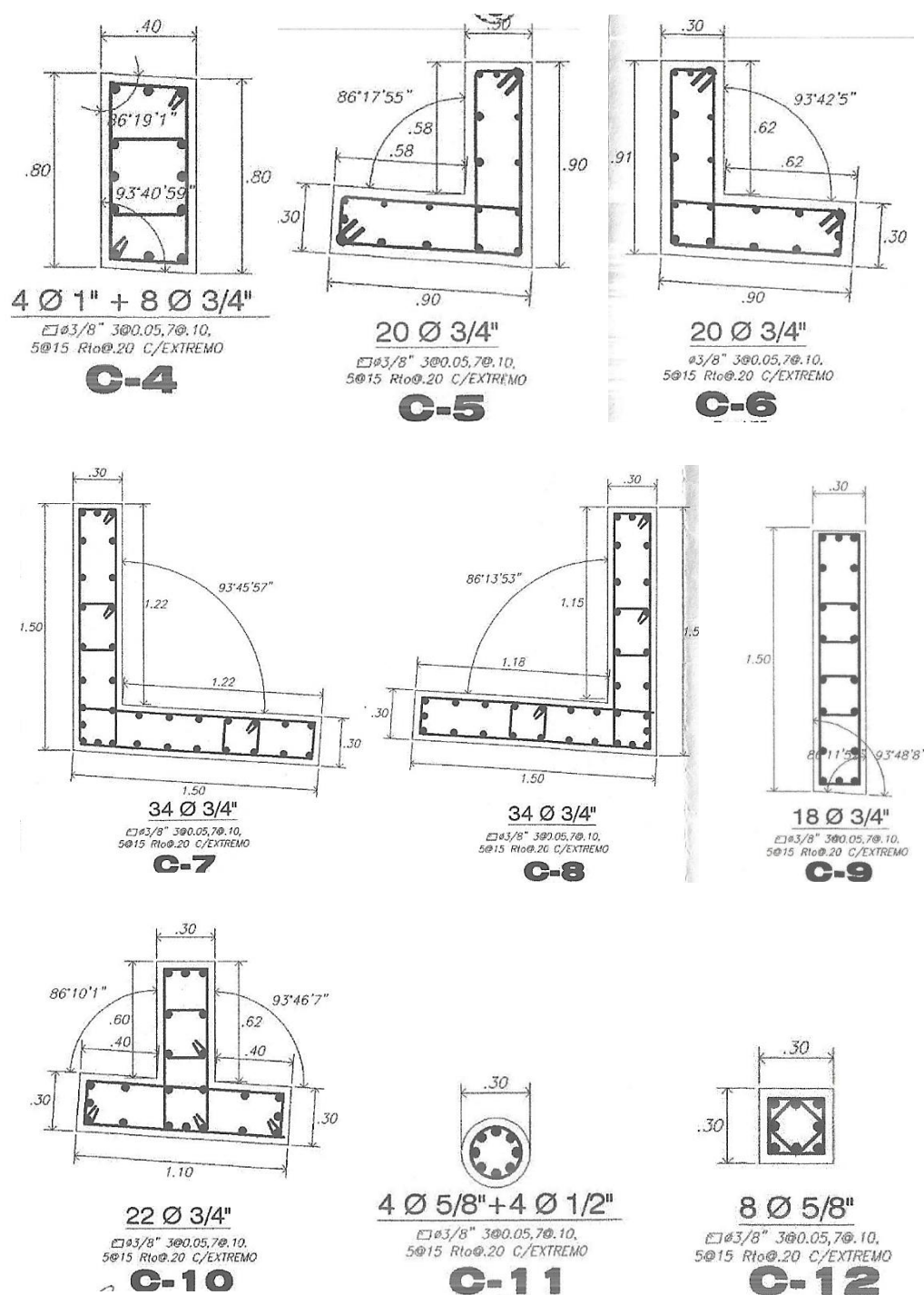
edificio. La figura n°63 y 64 muestran las secciones transversales de las columnas ubicadas en ambos sectores A y B.

Figura 64. Secciones transversales de la Columnas



Nota: Se identifica la sección transversal de las columnas ubicadas en los sectores A y B del edificio de la facultad de Derecho de la UNDAC. (Plano estructural del proyecto: Instalación del pabellón y mejoramiento de los servicios académicos de la facultad de Derecho y Ciencias Políticas de la UNDAC – Pasco.)

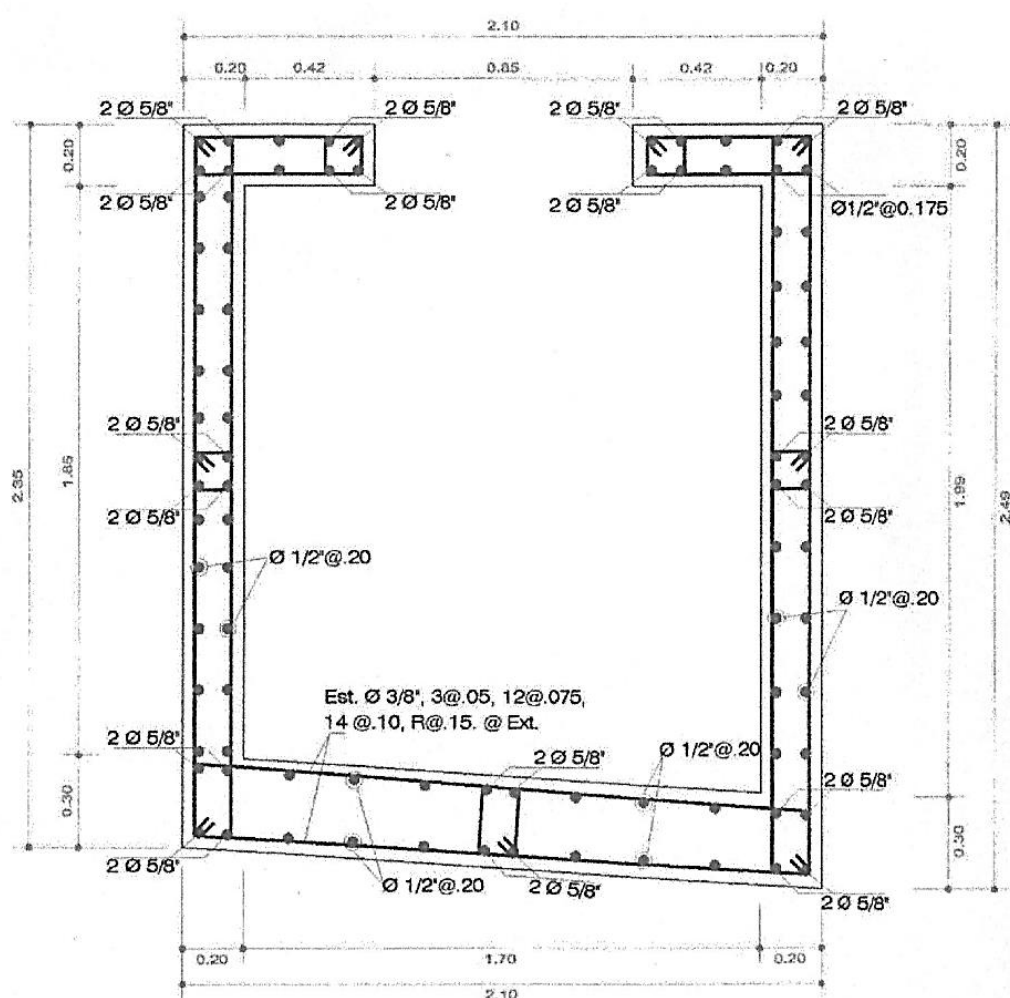
Figura 65. Secciones transversales de la Columnas.



Nota: Se identifica la sección transversal de las columnas ubicadas en los sectores A y B del edificio de la facultad de Derecho de la UNDAC. (Plano estructural del proyecto: Instalación del pabellón y mejoramiento de los servicios académicos de la facultad de Derecho y Ciencias Políticas de la UNDAC – Pasco.)

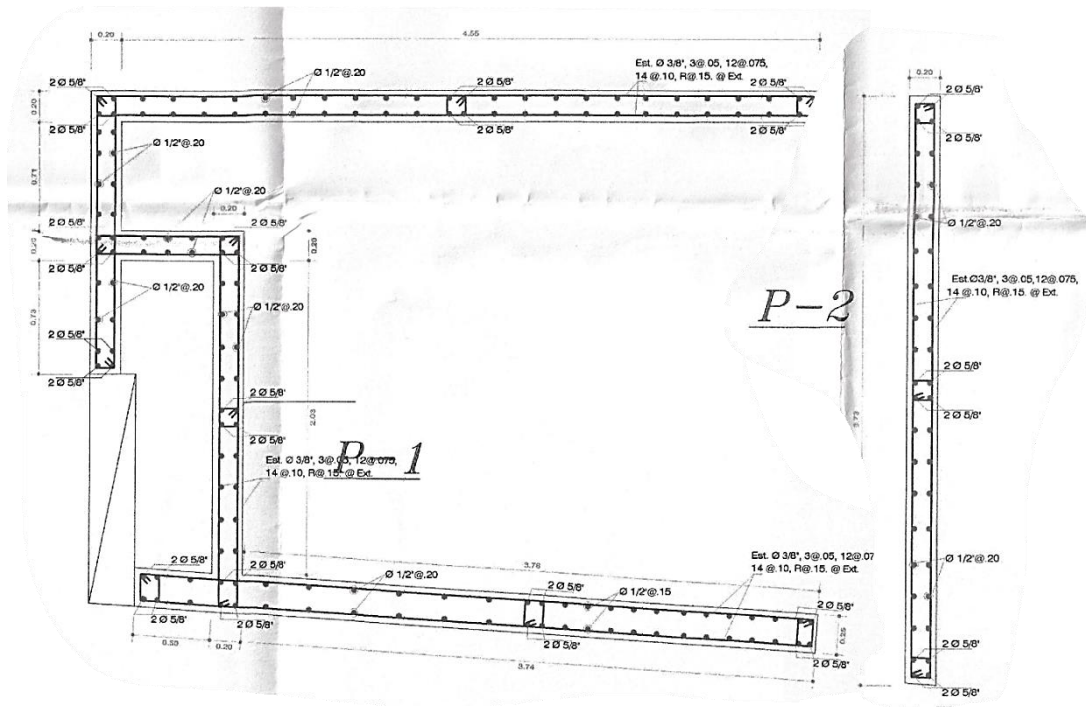
Por otro lado, en el sector A como elemento de confinamiento para la caja de ascensor, se consideró la proyección de placas, asimismo, en el sector B, se consideró placas para el confinamiento de las escaleras. La figura n.º66 muestra la sección transversal de la placa de ascensor, la figura n.º67 muestra la sección transversal de la placa de las escaleras en el sector B, ambos elementos tienen continuidad estructural desde la cimentación hasta el último nivel del edificio.

Figura 66. Sección transversal de la Placa de ascensor



Nota: Se identifica la sección transversal de la placa de ascensor ubicada en el sector A del edificio de la facultad de Derecho de la UNDAC. (Plano estructural del proyecto: Instalación del pabellón y mejoramiento de los servicios académicos de la facultad de Derecho y Ciencias Políticas de la UNDAC – Pasco.)

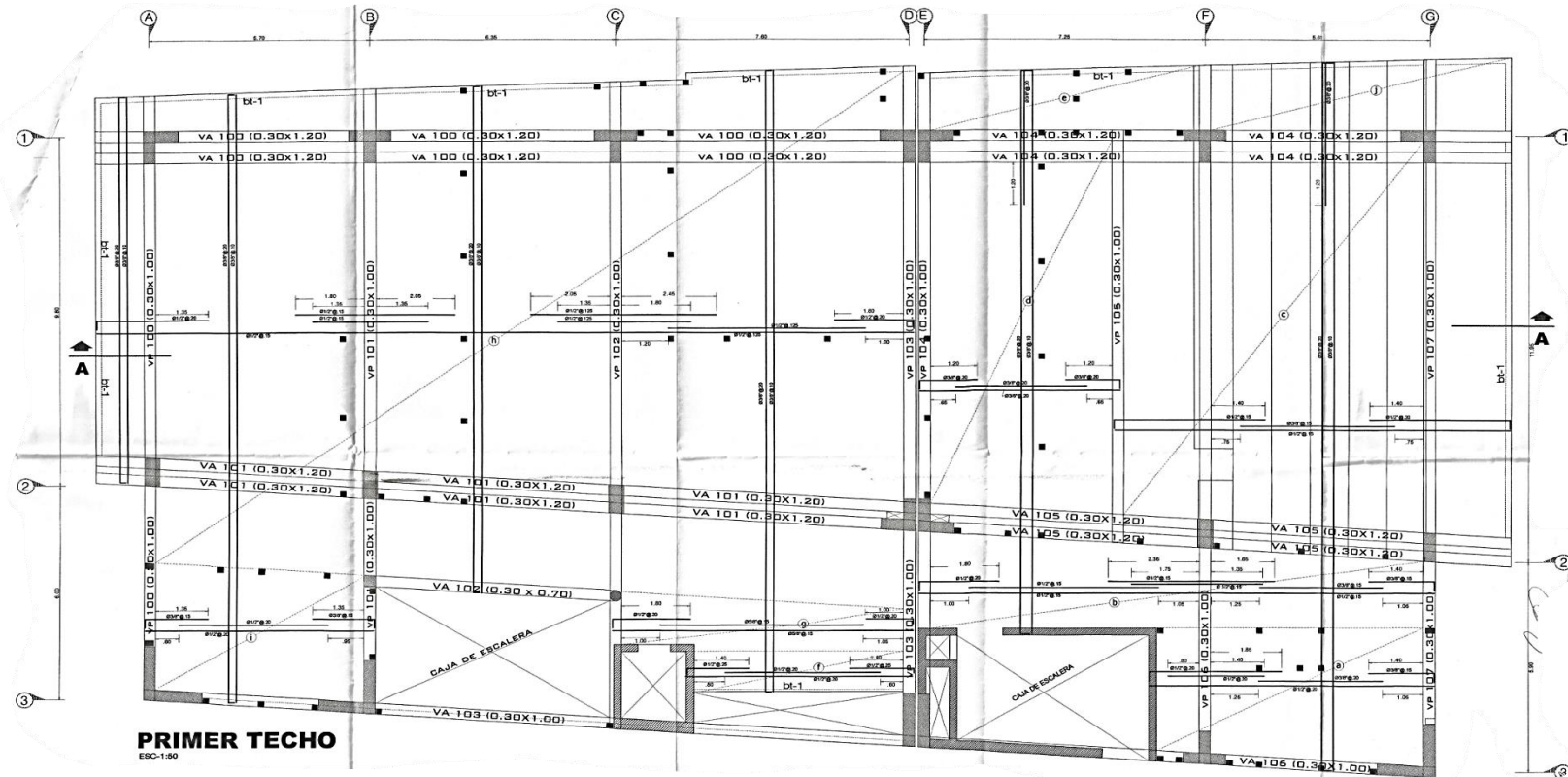
Figura 67. Sección transversal de la Placa de escalera



Nota: Se identifica la sección transversal de la placa en el ducto de la escalera ubicada en el sector B del edificio de la facultad de Derecho de la UNDAC. (Plano estructural del proyecto: Instalación del pabellón y mejoramiento de los servicios académicos de la facultad de Derecho y Ciencias Políticas de la UNDAC – Pasco.)

En todos los niveles el sistema de techado está compuesto por losas macizas de 0.20 m de espesor orientadas en la dirección longitudinal. La figura n.º68 muestra un esquema de la estructuración del edificio analizado.

Figura 68. Esquema de estructuración del edificio de la facultad de Derecho de la UNDAC.



Nota: Se muestra el esquema de estructuración del edificio de la facultad de Derecho de la UNDAC. (Plano estructural del proyecto: Instalación del pabellón y mejoramiento de los servicios académicos de la facultad de Derecho y Ciencias Políticas de la UNDAC – Pasco.)

Análisis sísmico del edificio evaluado

A través del siguiente análisis, se muestra que la estructura en su condición actual, sin reforzamiento adicional, no cumple con los requerimientos mínimos que indica la norma peruana E-030 Diseño Sismorresistente.

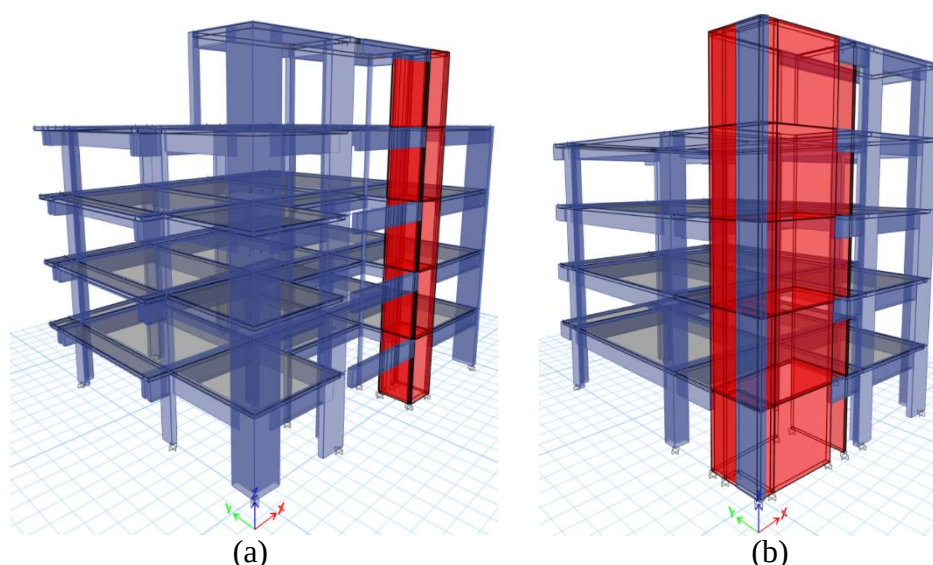
a. Modelo computacional del edificio

Para el modelado computacional del edificio se utilizó el software ETABS V22. Como se describió anteriormente, el edificio se divide en dos sectores A y B, en conjunto tienen 4 niveles y una azotea. Para lograr una distribución uniforme de las fuerzas inerciales hacia los elementos estructurales, en cada nivel se asignó un diafragma rígido.

Las vigas en ambos sectores, fueron definidas como elementos tipo frame, para el caso de las columnas, estas fueron considerados como elementos tipo placa, sin embargo, se restringió a las placas para que sólo trabajen a esfuerzos axiales, de esta manera su comportamiento es similar al de una columna, luego, para el modelado del techo, el cual está conformado por losas macizas de espesor 20 cm, se define en el modelo como elementos Shell-thin.

Para ambos sectores no se realizó el modelado de los muros de albañilería en ambas direcciones, ya que estos se encuentran separados de la estructura. Asimismo, en las uniones viga-columna se asignaron brazos rígidos. La figura 69 muestra el modelo computacional realizado.

Figura 69. Modelo computacional del edificio evaluado.



Nota: Se muestra el modelo computacional en el software Etabs V22 del edificio evaluado. a) Sector A y b) Sector B (Elaborado por el autor, 2025)

b. Análisis sísmico estático

El siguiente análisis se realiza con la finalidad de determinar si el sistema estructural asumido inicialmente como un sistema de muros estructurales cuyo factor de reducción es $R=6$ es correcto o no.

La tabla n°11, muestra los parámetros sísmicos asumidos para el análisis, estos valores fueron asumidos en concordancia con la Norma Peruana E.030 – 2026.

Tabla 15. Parámetros sísmicos

PARÁMETRO	VALOR
Factor de Zona (Z)	$Z = 0.25$
Factor de Uso (U)	$U = 1.5$
Factor de Suelo (S)	$S = 1.20$
Factor de Reducción (R_o) asumido	$R_o(x-x) = 6$ $R_o(y-y) = 6$
T_p	$T_p = 0.6 \text{ s}$
T_l	$T_l = 2.0 \text{ s}$

Nota: Se muestra los parámetros sísmicos del edificio en concordancia con la N.T.P. E.030. (Elaborado por el autor, 2025)

El edificio evaluado cuenta con una altura medida desde el nivel de terreno natural de 21.60 m, luego se determina el periodo natural de vibración referencial mediante la fórmula brindada por la Norma Peruana E.030.

$$T_{xy} = \frac{Hn}{Ct} = \frac{21.6}{60} = 0.360 \text{ seg}$$

Teniendo en cuenta que el periodo fundamental es inferior al periodo de ondas primarias T_p , el coeficiente de amplificación sísmica (C) será:

$$T < T_p; C = 2.5$$

Luego, con los valores de $ZUCS/R * P$, ya conocidos se realiza el análisis estático con el software, cabe indicar además que, el valor del peso sísmico P de la edificación fue calculado de manera directa por el software. Así, se tienen los periodos naturales de vibración reales para cada sector de la edificación.

Tabla 16. Periodos naturales de vibración

	Tx (seg)	Ty (seg)
Sector A	0.441	0.50
Sector B	0.409	0.547

Nota: Se muestra los periodos naturales de vibración de acuerdo con la N.T.P. E.030.

(Elaborado por el autor, 2025)

Debido que los periodos naturales de vibración son menores que el periodo de ondas primarias T_p , el coeficiente de amplificación sísmica (C) en ambos sectores sigue siendo el estimado anteriormente: $C = 2.5$

Seguidamente, para cada sector y en ambas direcciones se determina el exponente por altura del edificio (k).

Sector A

Para eje “x”, como el periodo natural es menor que 0.5 segundos, entonces:

$$k_x = 1.0.$$

Para eje “y”, como el periodo natural es igual que 0.5 segundos, entonces:

$$K_y = (0.75 + 0.5T_y)$$

$$K_y = (0.75 + 0.5 \cdot 0.5)$$

$$K_y = 1.00 \leq 2 \text{ Ok}$$

Sector B

Para eje “x”, como el periodo natural es menor que 0.5 segundos, entonces:

$$k_x = 1.0.$$

Para eje “y”, como el periodo natural es mayor que 0.5 segundos, entonces:

$$K_y = (0.75 + 0.5T_y)$$

$$K_y = (0.75 + 0.5 \cdot 0.547)$$

$$K_y = 1.023 \leq 2 \text{ Ok}$$

Posteriormente, se determina la magnitud de la cortante basal.

Sector A

Como el coeficiente de amplificación sísmica (C) es igual en ambas direcciones de análisis, se tiene:

$$V_x = V_y = \frac{0.25 \times 1.5 \times 2.5 \times 1.2}{6} \times 1626.77 = 305.019 \text{ tn}$$

Sector B

Del mismo modo, como el coeficiente de amplificación sísmica (C) es igual en ambas direcciones de análisis, se tiene:

$$V_x = V_y = \frac{0.25 \times 1.5 \times 2.5 \times 1.2}{6} \times 1319.66 = 247.322 \text{ tn}$$

Ahora bien, para dar inicio con el análisis estático, se asumió el sistema estructural de muros estructurales, considerando un $R = 6$, ahora se determina el

porcentaje de absorción de la fuerza cortante en las placas respecto al cortante basal total de la edificación, de esta forma definir el sistema estructural.

En ese sentido, la tabla n°13 muestra las fuerzas cortantes en las columnas y placas en la dirección x-x e y-y del edificio del sector A.

Tabla 17. Cortante actuante en columnas y placas.

Sistema estructural - edificio sector B				
Elemento estructural	Dirección x-x		Dirección y - y	
	Vx (Ton)	Vx (%)	Vy (ton)	Vy (%)
Columnas	60.127273	24.30%	236.303	95.50%
Placas	187.31006	75.70%	11.135	4.50%
Total	247.43734	100%	247.437	100%

Nota: Se muestra las fuerzas cortantes actuantes en las direcciones x-x e y-y del edificio Sector A. (Elaborado por el autor, 2025)

Asimismo, la tabla n°14 muestra las fuerzas cortantes en las columnas y placas en la dirección x-x e y-y del edificio del sector B.

Tabla 18. Cortante actuante en columnas y placas.

Sistema estructural - edificio sector A				
Elemento estructural	Dirección x-x		Dirección y - y	
	Vx (Ton)	Vx (%)	Vy (ton)	Vy (%)
Columnas	130.243	42.70%	271.467	89.01%
Placas	174.776	57.30%	33.518	10.99%
Total	305.019	100%	304.986	100%

Nota: Se muestra las fuerzas cortantes actuantes en las direcciones x-x e y-y del edificio Sector B. (Elaborado por el autor, 2025)

De acuerdo con la tabla n°13, para el edificio del sector A fue incorrecto asumir un sistema estructural de muros estructurales en ambas direcciones, ya que, de acuerdo con la Norma Peruana E.030, el porcentaje de absorción de las placas en la dirección x-x es 57.30% es, por lo tanto, un sistema estructural dual con un $R = 7$. Asimismo, el porcentaje de absorción de las columnas en la dirección y-y es de 89.01% por lo tanto, es un sistema estructural aporticado con un $R = 8$. Debido a la existencia de dos sistemas estructurales, se toma el menor valor de R para ambas direcciones de análisis. $R_{xy} = 7$.

Por otro lado, de la tabla n°14, para el edificio del sector B se observa que el porcentaje de absorción de las placas en la dirección x-x es de 84.97%, por lo tanto, es un sistema estructural de muros estructurales con un $R = 6$, además, el porcentaje de absorción de las columnas en la dirección y-y es de 95.5% siendo así, un sistema estructural de aporticado con un $R = 8$. Luego, como se tiene dos sistemas estructurales en ambas direcciones, se toma el menor valor de R para ambas direcciones de análisis. $R_{xy} = 6$

Una vez definido el sistema estructural, a continuación, de acuerdo con la Norma Peruana E.030, se define las posibles irregularidades que pueda poseer la edificación, tanto el edificio del sector A como el sector B. La tabla n°15 y 16, presentan las irregularidades estructurales en altura como en planta, respectivamente, encontrados durante el análisis.

Tabla 19. *Tabla de irregularidad en altura*

Irregularidades estructurales en altura	Edificio Sector A	Edificio Sector B
Irregularidad de rigidez-piso blando	Si presenta	Si presenta
Irregularidades de resistencia-piso débil	No presenta	No presenta
Irregularidad extrema de rigidez	No presenta	No presenta
Irregularidad extrema de resistencia	No presenta	No presenta
Irregularidad de masa o peso	No presenta	No presenta
Irregularidad geométrica vertical	No presenta	No presenta
Discontinuidad extrema de los sistemas resistentes	No presenta	No presenta
Ia	0.75	0.75

Nota: Se muestra las irregularidades en altura para los edificios de los sectores A y B.

(Elaborado por el autor, 2025)

Tabla 20. *Tabla de irregularidad en planta*

Irregularidades estructurales en planta	Edificio Sector A	Edificio Sector B
Irregularidad torsional	No presenta	No presenta
Irregularidad torsional extrema	No presenta	No presenta
Esquinas entrantes	No presenta	No presenta
Discontinuidad del diafragma	No presenta	No presenta
Sistemas no paralelos	No presenta	No presenta
Ip	1	1

Nota: Se muestra las irregularidades en planta para los edificios de los sectores A y B.

(Elaborado por el autor, 2025)

Visto las tablas n°15 y 16, se observa que los edificios para ambos sectores A y B, presentan irregularidad de rigidez-piso blando, por lo tanto, el coeficiente de irregularidad afectará el coeficiente básico de reducción sísmica R_o asumido en un

inicio, por lo tanto, el coeficiente definitivo de reducción sísmica R en las dos direcciones será:

Sector A

$$R_{xy} = R_o * I_a * I_p \Rightarrow R_{xy} = 7 * 0.75 * 1 = 5.25$$

Sector B

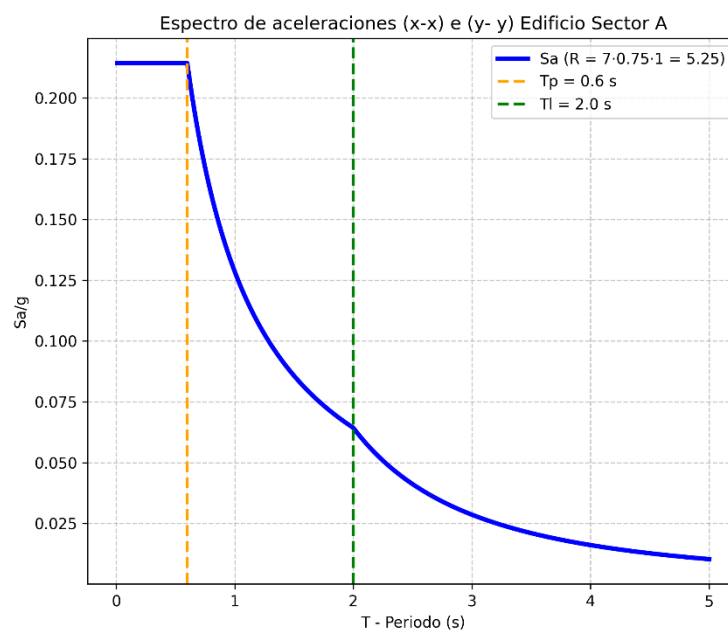
$$R_{xy} = R_o * I_a * I_p \Rightarrow R_{xy} = 6 * 0.75 * 1 = 4.5$$

c. Análisis Dinámico Modal Espectral

Con los parámetros sísmicos encontrados anteriormente, se construye los espectros de aceleraciones de acuerdo con la Norma Peruana E.030. Debido a que el coeficiente de reducción sísmica (R_o) se consideró igual para ambas direcciones, para el edificio del sector A como para el sector B, el espectro de aceleraciones será el mismo en ambas direcciones, longitudinal y transversal.

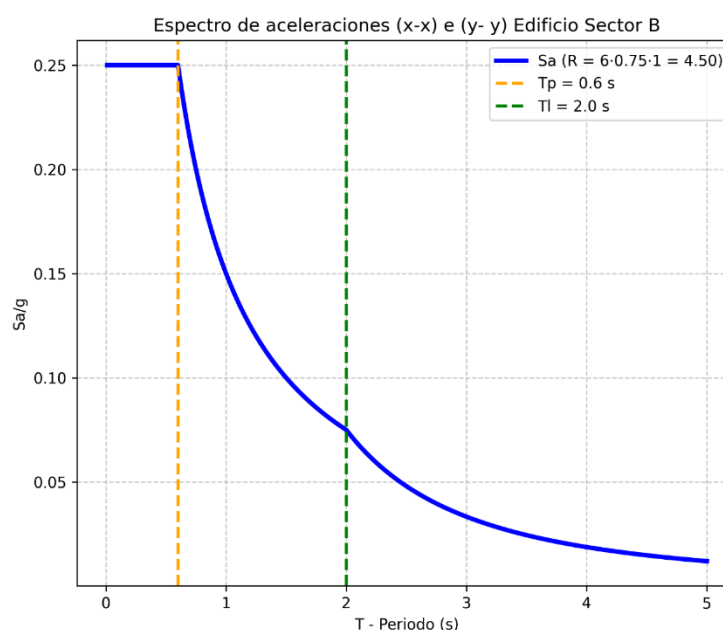
La figura n°70 y 71, muestran el espectro de aceleraciones para el edificio del sector A y sector B, respectivamente.

Figura 70. Espectro de aceleraciones para el edificio del sector A.



Nota: Se muestra el espectro de aceleraciones para el edificio del sector A, de acuerdo con la N.P. E0.30 (Elaborado por el autor, 2025)

Figura 71. Espectro de aceleraciones para el edificio del sector B.



Nota: Se muestra el espectro de aceleraciones para el edificio del sector B, de acuerdo con la N.P. E0.30 (Elaborado por el autor, 2025)

Se tomará en cuenta 3 modos de vibración por nivel, así, para el edificio del sector A y el sector B se tiene 12 modos de vibración, en la cual se tiene que satisfacer como mínimo que la sumatoria de los modos superen el 90% de la masa del edificio.

Luego, mediante el uso del software, se determina la cortante dinámica en la base. La tabla n°17 muestra los resultados.

Tabla 21. Cortantes dinámicos en la base del edificio

Sismo	Cortantes dinámicos en la base			
	Edificio Sector A		Edificio Sector B	
	Vx(ton)	Vy(ton)	Vx(ton)	Vy(ton)
S_DINX	280.79	-	193.875	-
S_DINY	-	297.83	-	196.998

Nota: Se muestra las fuerzas cortantes en la base de los edificios de los sectores A y B.

(Elaborado por el autor, 2025)

Asimismo, se verifica el porcentaje de absorción de la fuerza cortante dinámica frente a la fuerza cortante estática determinada anteriormente.

Tabla 22. *Cortante dinámico vs cortante estático*

Cortante dinámico vs cortante estático				
Sismo	Edificio Sector A		Edificio Sector B	
	Vx(ton)	Vy(ton)	Vx(ton)	Vy(ton)
S_ESTX	305.02	-	247.43	-
S_ESTY	-	305.019	-	247.43
S_DINX	280.79	-	193.875	-
S_DINY	-	297.83	-	196.998
Porcentaje	92.06%	97.64%	78.36%	79.62%

Nota: Se muestra las fuerzas cortantes dinámicas vs las fuerzas cortantes estáticas en la base del edificio de los sectores A y B. (Elaborado por el autor, 2025)

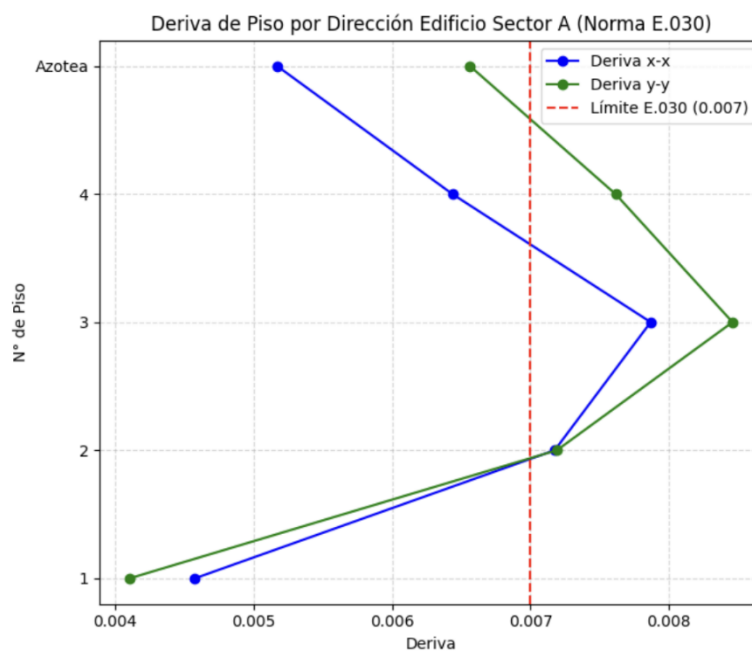
De acuerdo con la Norma Peruana E0.30 indica que para estructuras regulares la cortante dinámica tiene que ser por lo menos el 80% de la fuerza cortante estática, de no cumplirse, esta debe escalarse de manera proporcional. En ese sentido, los resultados mostrados en la tabla n°18, muestran que la cortante dinámica del edificio del sector A cumple con más de 80% de la cortante estática, por otro lado, para el caso del edificio del sector B, la cortante dinámica en X-X no cumple tal condición, por lo tanto, se debió generar un factor de escala igual a 1.035 e introducir al software y calcular nuevamente la cortante dinámica.

Siguiendo con el procedimiento del análisis modal, en concordancia con la norma peruana E0.30, indica que la sumatoria de un determinado número de modos, debe cumplir con participación mínima del 90% de la masa del edificio. Así, para el caso del edificio del sector A, la masa participativa supera el 90% la masa del edificio a partir del quinto modo de vibración, de igual manera, el edificio del sector B, supera el 90% de la masa del edificio, a partir del quinto modo de

vibración, en ese sentido, se nota que el edificio, en su conjunto, cumple con los criterios de la Norma Peruana E.030.

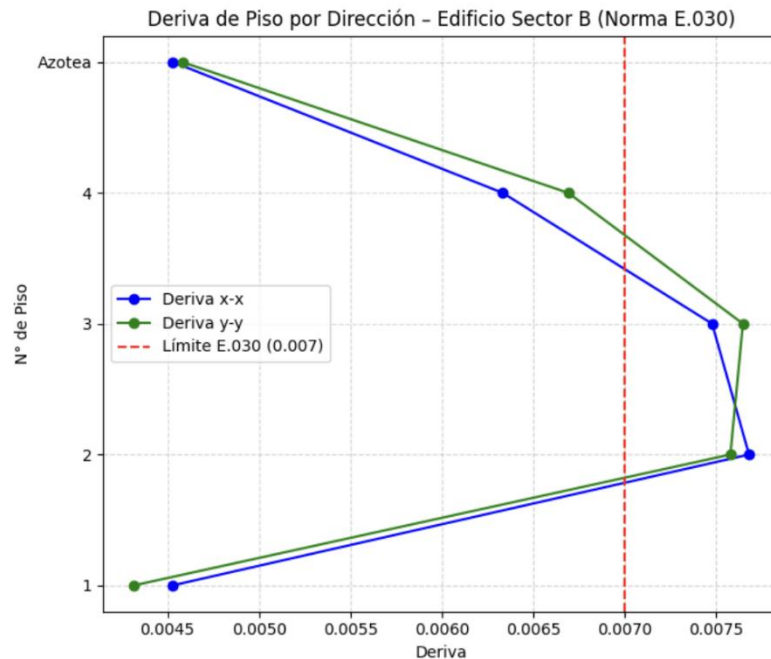
Asimismo, la Norma Peruana E.030, limita la distorsión de entrepiso (deriva) para garantizar que la estructura sea lo suficientemente dúctil cuando ocurran las deformaciones inelásticas. En ese sentido el límite para las derivas inelásticas para estructuras de concreto armado es de 7 ‰ (0.007). La figura n°72 y 73, muestran las derivas encontradas durante el análisis para los edificios del sector A y el sector B, respectivamente, en contraste con el límite establecido en la Norma Peruana E.030.

Figura 72. Deriva de piso para el edificio del Sector A.



Nota: Se muestra las derivas de piso del edificio del sector A, siendo estas comparadas con el límite establecido por la N.P. E0.30 (Elaborado por el autor, 2025)

Figura 73. Deriva de piso para el edificio del Sector B.



Nota: Se muestra las derivas de piso del edificio del sector B, siendo estas comparadas con el límite establecido por la N.P. E0.30 (Elaborado por el autor, 2025)

De las figuras n°72 y 73, se observa que las derivas de piso encontradas durante el análisis, en su mayoría, sobrepasan el límite de deriva inelástica establecida por la Norma Peruana E.030.

d. Modelo No Lineal

El modelo no lineal se definió concentrando las articulaciones plásticas en los extremos de los elementos viga y columna mediante rótulas, estas rótulas fueron definidas considerando el comportamiento no lineal de los materiales, tanto para el acero de refuerzo como para el concreto. En vista de que fue imposible ensayar el concreto en su estado endurecido de la edificación mediante métodos destructivos y no destructivos como también el acero de refuerzo, se presentan las propiedades de los materiales obtenidas de manera empírica y aquellos utilizados para la elaboración del expediente técnico y la ejecución del proyecto.

Tabla 23. Propiedades mecánicas de los materiales

Material	Propiedad mecánica	Valor (kg/cm ²)
Concreto	Resistencia a la compresión (f'_c)	335.493
	Módulo de elasticidad (E_c)	274747.16
Acero de refuerzo	Esfuerzo de fluencia (f_y)	4200
	Esfuerzo último (f_u)	7000
	Módulo de elasticidad (E_s)	20000000

Nota: Se muestra las propiedades mecánicas del concreto y el acero de refuerzo adoptados para la construcción del pabellón de la facultad de Derecho. (Extraído de los ensayos en sitio realizados durante la construcción del pabellón de la facultad de Derecho y Ciencias Políticas de la UNDAC – Pasco. P. 1094 - 1095)

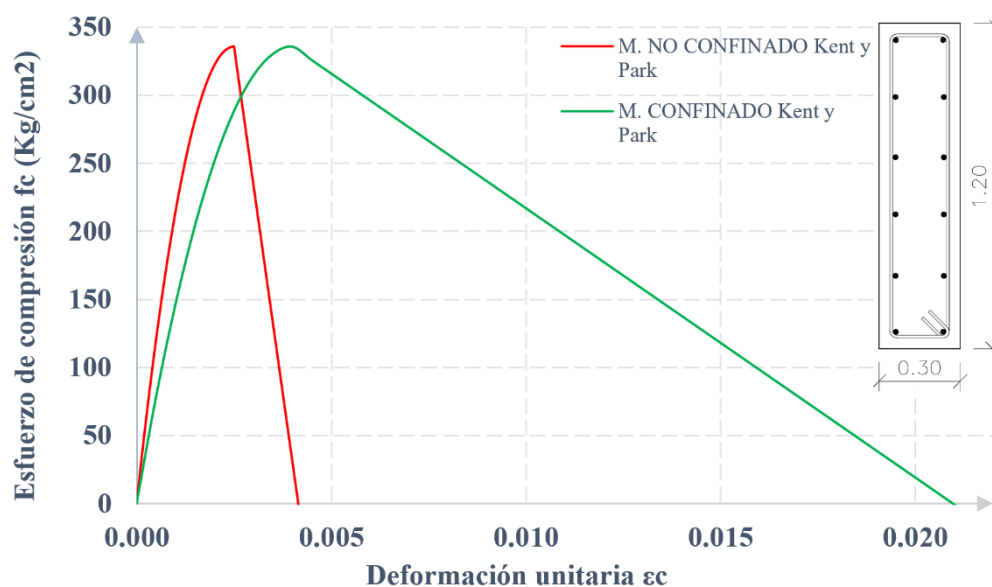
Modelo no lineal de las rótulas

Como se mencionó anteriormente, el modelo no lineal se definió concentrando las articulaciones plásticas en los extremos de los elementos viga y columna mediante rótulas plásticas controladas por flexión tipo Momento-Rotación ($M-\theta$), luego, para modelar las rótulas, es necesario definir la longitud equivalente l_p de la articulación plástica dónde se concentra el daño y se considera una curvatura constante, asimismo, se define el diagrama de Momento-Curvatura para el elemento ($M-\phi$).

Para obtener la longitud equivalente l_p se considera la expresión de R. Park (1995); $l_p = 0.45 h$, dónde h es el peralte del elemento estructural. Luego, se construye el diagrama de Momento-Curvatura ($M-\phi$) a partir de la sección del elemento y la curva esfuerzo-deformación ($\sigma-\epsilon$) para el concreto confinado y no confinado, asimismo, para el acero de refuerzo.

Para obtener la curva esfuerzo-deformación del concreto confinado y sin confinar se utilizó el modelo de Kent y Park. La figura n°74, muestra la curva $\sigma-\epsilon$ de la viga VA-100 (0.30x1.20m) para un concreto de resistencia f'_c de 210 kg/cm².

Figura 74. Curva esfuerzo-deformación del concreto confinado y no confinado.

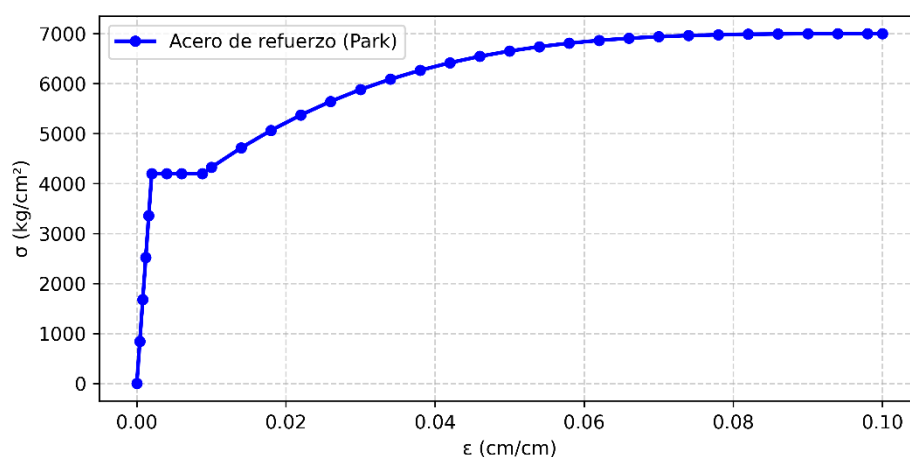


Nota: Se muestra las curvas de esfuerzo-deformación para el concreto confinado (línea roja) y no confinado (línea negra) del concreto para una resistencia de 210 kg/cm².

(Elaborado por el autor, 2025)

Asimismo, para obtener la curva esfuerzo-deformación del acero de refuerzo se utilizó el modelo de Park considerando un tramo con comportamiento inelástico debido a la deformación por endurecimiento del material. La figura n°75, muestra la curva $\sigma-\epsilon$ para el acero de refuerzo.

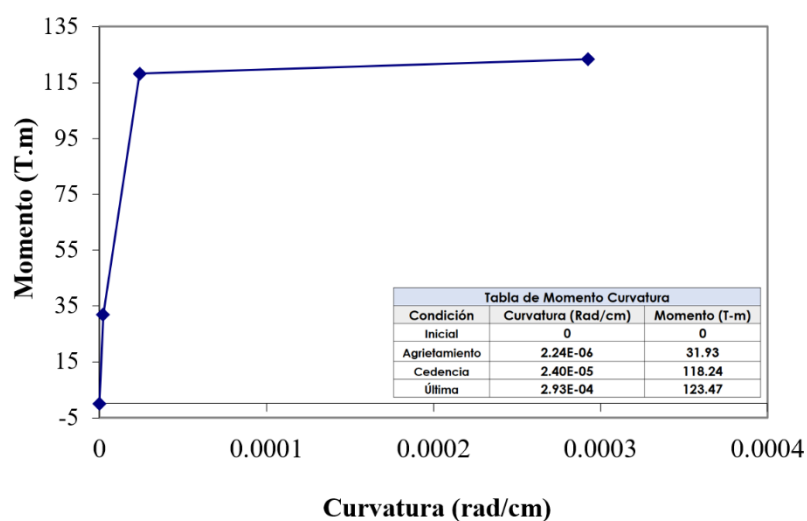
Figura 75. Curva esfuerzo-deformación del acero de refuerzo.



Nota: Se muestra la curva de esfuerzo-deformación para el acero de refuerzo considerando el modelo de Park. (Elaborado por el autor, 2025)

Luego de definir las curvas de σ - ϵ del concreto y del acero de refuerzo, se construye el diagrama de M - ϕ para la viga VA-100 (0.30x1.20m), como muestra la figura n°76.

Figura 76. Diagrama de Momento-curvatura.

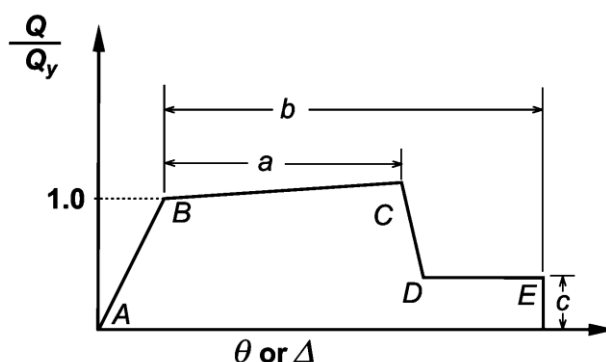


Nota: Se muestra el diagrama Momento-curvatura de la viga VA-100 (0.30x1.20m). (Elaborado por el autor, 2025)

Definición de rótulas plásticas para vigas y columnas

Para la definición de las articulaciones plásticas a los que asignamos como rótulas, se emplea el procedimiento descrito por el FEMA 356, en la cual se utiliza el criterio de modelado de las rótulas gobernadas a flexión para vigas y columnas. La figura n°77 muestra el criterio de modelado de las rótulas.

Figura 77. Modelo representativo de las rótulas



Nota: Se muestra el modelo de las rótulas plásticas para vigas y columnas con un comportamiento de flexión. (Seismic Rehabilitation Prestandard – FEMA 356, p. 6-13, 2000)

Dónde los valores de a, b y c son obtenidos en función a la cuantía del acero longitudinal, el refuerzo transversal para el confinamiento y la fuerza cortante de diseño. Asimismo, para poder cuantificar e identificar el nivel de daño de las deformaciones, el FEMA 356 define estos umbrales de niveles de daño como ocupación Inmediata (IO), seguridad de vida (LS) y prevención de colapso (CP), la tabla n.º20 muestra estos umbrales para una viga de concreto.

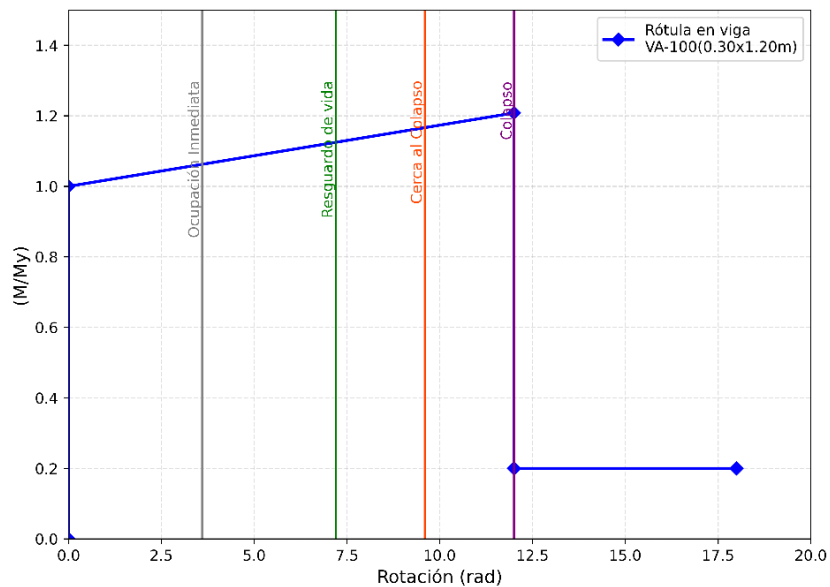
Tabla 24. *Parámetros y criterios de aceptación para procedimientos no lineales en vigas de concreto armado.*

Vigas controladas por flexión			Rotación plástica (rad)		Ratio Fuerza residual	Nivel de desempeño de componente primario (rad)		
$\frac{p-p'}{p_{bal}}$	Refuerzo Transversal	$\frac{V(pound)}{b_w(in)d(in)\sqrt{f'_c(ksi)}}$	a	b	c	IO	LS	CP
≤ 0.0	Confinado	≤ 3	0.025	0.05	0.2	0.010	0.02	0.025
≤ 0.0	Confinado	≥ 6	0.02	0.04	0.2	0.005	0.01	0.02
≥ 0.5	Confinado	≤ 3	0.02	0.03	0.2	0.005	0.01	0.02
≥ 0.5	Confinado	≥ 6	0.015	0.02	0.2	0.005	0.005	0.015
≤ 0.0	No Confinado	≤ 3	0.02	0.03	0.2	0.005	0.01	0.02
≤ 0.0	No Confinado	≥ 6	0.01	0.015	0.2	0.0015	0.005	0.01
≥ 0.5	No Confinado	≤ 3	0.01	0.015	0.2	0.005	0.01	0.01
≥ 0.5	No Confinado	≥ 6	0.005	0.01	0.2	0.0015	0.005	0.005

Nota: Se muestra los parámetros y criterios de aceptación para procedimientos no lineales en vigas de concreto armado. (Adaptado Seismic Rehabilitation Prestandard – FEMA 356, p. 6-21, 2000)

En ese sentido, la figura n.º78 muestra el diagrama Momento-Rotación ($M-\theta$) y los umbrales de nivel de daño, para la viga VA-100 (0.30x1.20m)

Figura 78. *Diagrama Momento-Rotación*



Nota: Se muestra el diagrama Momento-Rotación de la Viga VA-100 (0.30x1.20m) (Realizado por el autor, 2025)

Asimismo, la tabla n.º21 muestra los criterios de modelado y aceptación para procedimientos no lineales en columnas de concreto armado.

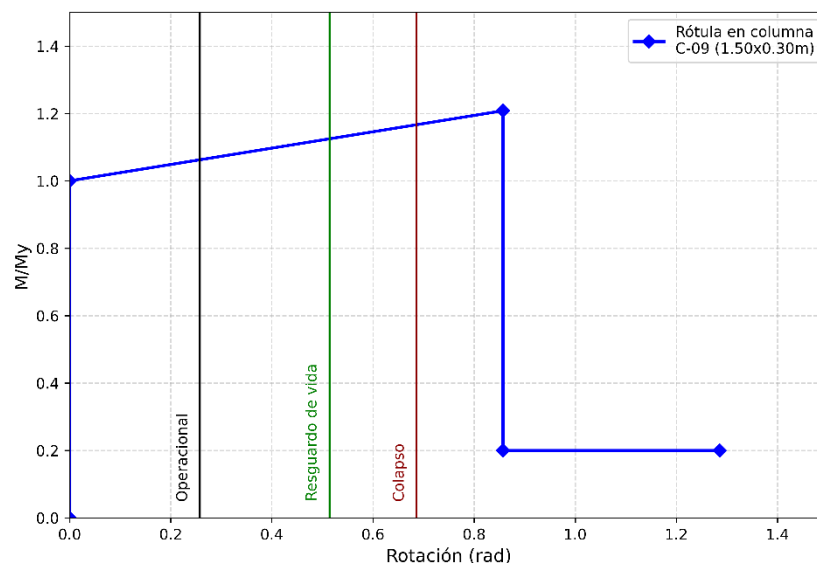
Tabla 25. *Parámetros y criterios de aceptación para procedimientos no lineales en columnas de concreto armado.*

Columnas controladas por flexión			Nivel de desempeño de componente primario (rad)		
			IO	LS	CP
$\frac{P(\text{pound})}{A_g(\text{in}^2) * f'_c(\text{psi})}$	Refuerzo Transversal	$\frac{V(\text{pound})}{b_w(\text{in}) * d(\text{in}) * \sqrt{f'_c(\text{psi})}}$			
≤ 0.1	Confinado	≤ 3	0.005	0.015	0.02
≤ 0.1	Confinado	≥ 6	0.005	0.012	0.016
≥ 0.4	Confinado	≤ 3	0.003	0.012	0.015
≥ 0.4	Confinado	≥ 6	0.003	0.01	0.012
≤ 0.1	No Confinado	≤ 3	0.005	0.005	0.006
≤ 0.1	No Confinado	≥ 6	0.005	0.004	0.005
≥ 0.4	No Confinado	≤ 3	0.002	0.002	0.003
≥ 0.4	No Confinado	≥ 6	0.002	0.002	0.002

Nota: Se muestra los parámetros y criterios de aceptación para procedimientos no lineales en columnas de concreto armado. Los recuadros en rojo son los criterios adoptados para el presente trabajo. (Adaptado Seismic Rehabilitation Prestandard – FEMA 356, p. 6-22, 2000)

Luego, utilizando los criterios mencionados, la figura n.º79, muestra el diagrama de Momento-Rotación para la columna C-9 (1.50x0.30m).

Figura 79. *Diagrama Momento-Rotación en columna*

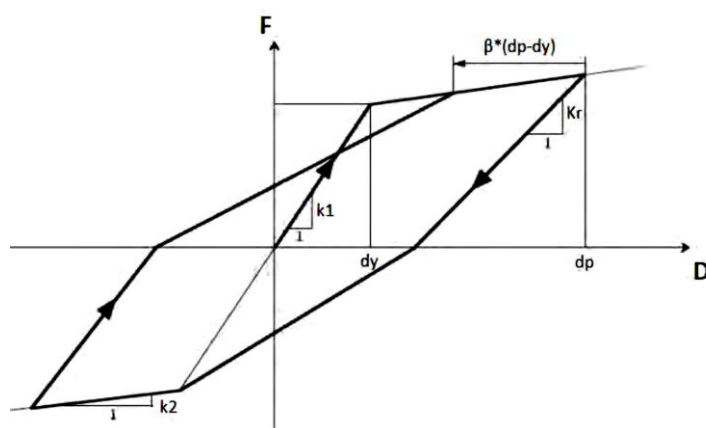


Nota: Se muestra el diagrama Momento-Rotación y definición de rótula plástica para la columna C-09 (1.50x0.30m) (Realizado por el autor, 2025)

Definición del comportamiento histerético en elementos estructurales de concreto armado

Para representar el comportamiento histerético de los elementos estructurales de concreto armado ante cargas cíclicas, se ha considerado el modelo de Takeda. Este modelo permite simular la degradación de rigidez y energía característica de estos materiales, mediante la aplicación de recarga y descarga basadas en datos experimentales (Takeda et al., 1970). En ese sentido, para este estudio su aplicación resulta adecuada, ya que se trata de la simulación de edificaciones bajo excitaciones sísmicas, el cual permitirá evaluar la acumulación de daño y la disipación de energía. La Figura n.º80, muestra el modelo modificado presentado por Takeda.

Figura 80. Modelo histerético de Takeda



Nota: Se muestra modelo histerético presentado por Takeda (1970) para el comportamiento bilineal de elementos de concreto reforzado. (Protección sísmica de edificios educativos peruanos vulnerables con disipadores histeréticos. K. Aquino, R. Patiño, p.71, 2022)

Dónde, rigidez elástica (k_1), rigidez inelástica (k_2), desplazamiento de fluencia (d_y), el coeficiente β y α relacionados con el punto de recarga o descarga y la degradación de rigidez, respectivamente. Además, se parecía la rigidez de descarga

(k_r) después de la fluencia, el cual puede ser obtenido mediante la expresión: $k_r = k_1 * \beta^{-\alpha}$.

e. Análisis Estático No Lineal – Pushover del Edificio actual

El análisis estático no lineal, se realizó de acuerdo con los procedimientos establecidos en la Guía técnica ATC-40 de 1996, específicamente el capítulo 8 que aborda los procedimientos para el análisis estático no lineal. Este capítulo guía el proceso de aplicar cargas laterales incrementales a la estructura hasta alcanzar su capacidad máxima o un desplazamiento objetivo.

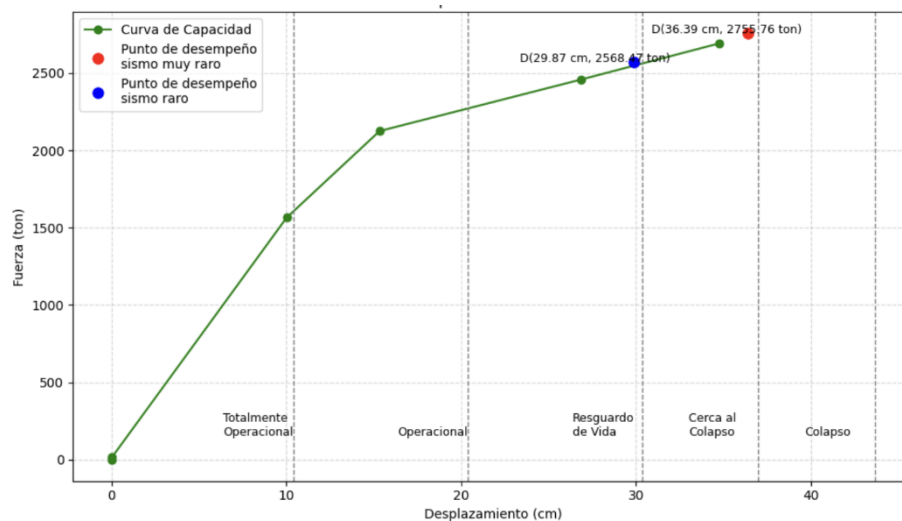
En ese sentido, dado que el edificio se divide en dos sectores A y B, el análisis no lineal se realizó de manera individual, dado que, los modos de vibración y el porcentaje de las masas participativas son diferentes para ambos sectores.

Para el caso del edificio del Sector A, el primer modo de vibración predominante está en el eje X-X, en el cual también hay una mayor concentración de porcentaje de la masa participativa respecto a los otros modos, por lo tanto, el análisis se realizará en esta dirección. Por otro lado, para el caso del edificio del sector B, el análisis se realizará en el eje Y-Y, ya que, por las mismas razones, el modo predominante de vibración está en la dirección Y-Y, y la mayor concentración de la masa participativa.

Luego de realizar el análisis del modelo computacional, a partir de la figura n°53, se obtiene la curva de capacidad sectorizado según el SEAOC (1995) para el edificio del sector A. Encontrándose el punto de desempeño a un desplazamiento de 29.87 cm asociado a una fuerza cortante de 2568.47 ton considerando un sismo raro, asimismo, la figura n.º81, muestra el punto de desempeño para un sismo muy raro, con un desplazamiento de 36.39 cm asociado a una fuerza cortante de 2755.76 ton. Además, se identifica que, de acuerdo con la tabla n.º4, para un sismo raro el

nivel de desempeño para una edificación importante debe ser Operacional, mientras que, para un sismo muy raro el nivel de desempeño debe ser Resguardo de Vida, sin embargo, en la figura n°81 se observa que para un sismo raro, el nivel de desempeño se encuentra en Resguardo de Vida muy próximo al nivel de desempeño Cerca al Colapso, mientras que para un sismo muy raro, la demanda supera la capacidad, obteniéndose un nivel de desempeño fuera del Colapso de la edificación.

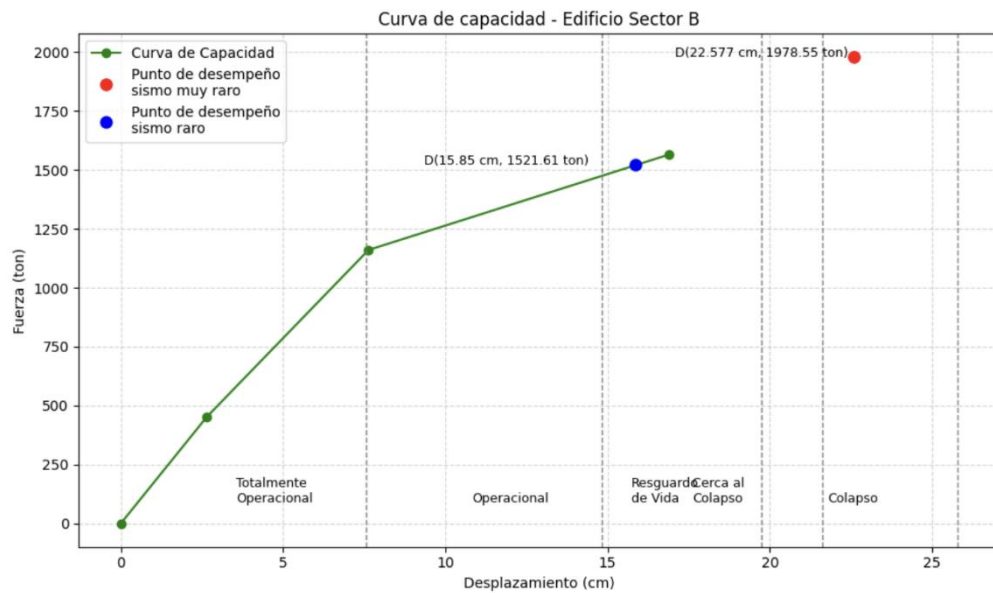
Figura 81. *Curva de Capacidad – Edificio Sector A*



Nota: Se muestra la curva de capacidad correspondiente al edificio del sector A, identificándose los niveles de desempeño para un sismo raro y muy raro. (Elaborado por el autor, 2025)

Asimismo, la figura n.º82 muestra la curva de capacidad del edificio del Sector B, encontrándose el punto de desempeño a un desplazamiento de 15.85 cm asociado a una fuerza cortante de 1565.04 ton considerando un sismo raro, el nivel de desempeño es Resguardo de vida, por otro lado cuando se considera un sismo muy raro las curvas de capacidad y demanda no convergen, y el nivel de desempeño se asocia al colapso de la edificación, con un desplazamiento de 25 cm y una fuerza cortante de 2000 ton.

Figura 82. Curva de Capacidad – Edificio Sector B



Nota: Se muestra la curva de capacidad correspondiente al edificio del sector B, identificándose los niveles de desempeño para un sismo raro y muy raro. (Elaborado por el autor, 2025)

f. Análisis Tiempo Historia No Lineal del Edificio actual

De acuerdo con la Norma Peruana E.030 – 2026, se realiza el análisis complementario Tiempo Historia no lineal utilizando 4 registros sísmicos en la dirección norte-sur y este-oeste. Estos registros fueron tomados considerando las condiciones similares del lugar donde se encuentra ubicado el edificio en estudio, la tabla n.º22 muestra los registros sísmicos utilizados.

Tabla 26. Registros sísmicos utilizados

Registro	Fecha	Magnitud
Lima - Callao	15/06/2025	6.1
Lircay - Huancavelica	18/01/2026	5.2
Tocache	08/01/2017	5.3
Yurimaguas - Loreto	18/12/2022	5.6

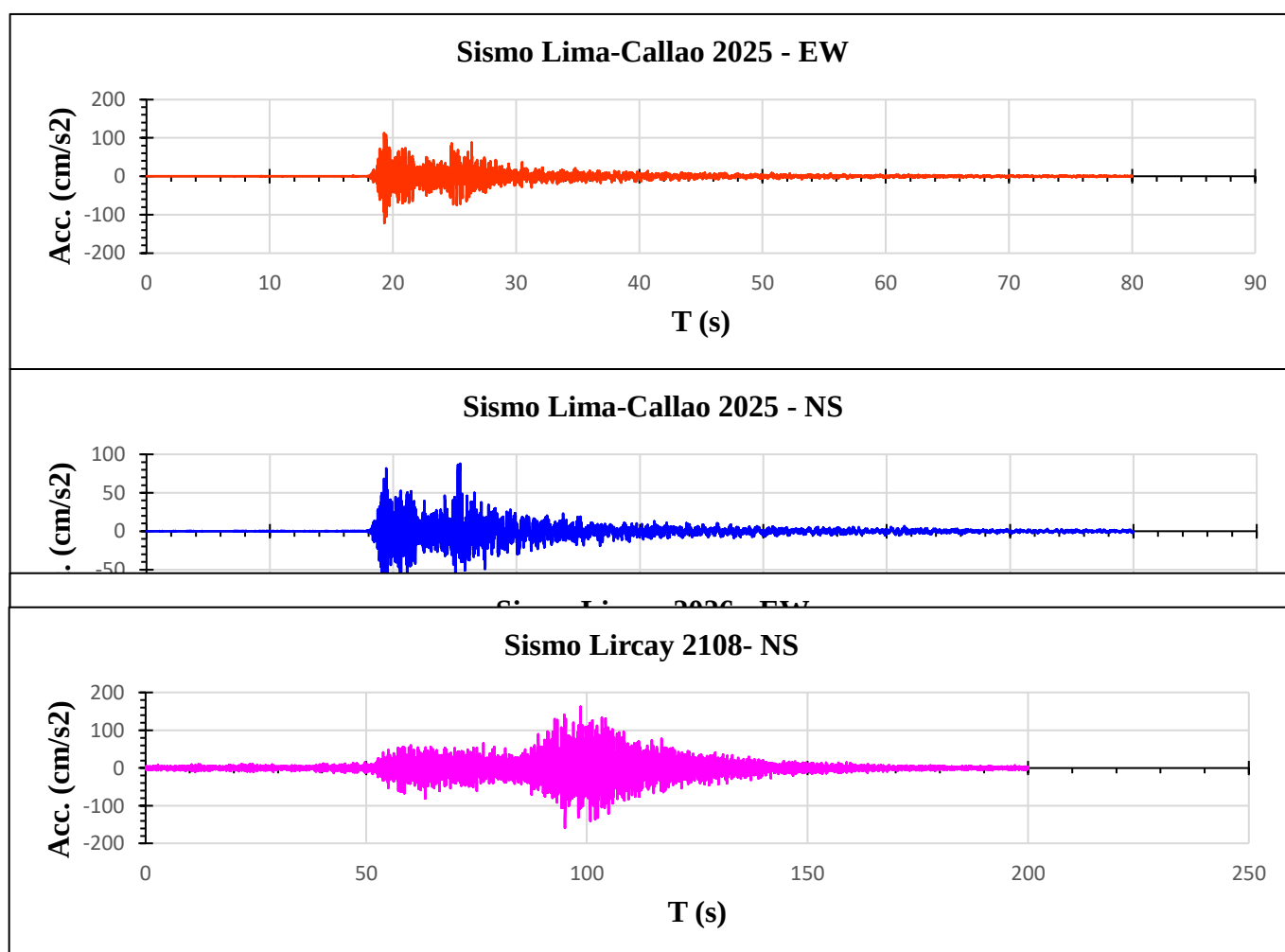
Nota: Se muestra los registros sísmicos utilizados para el análisis tiempo historia no lineal. (Elaborado por el autor, 2025)

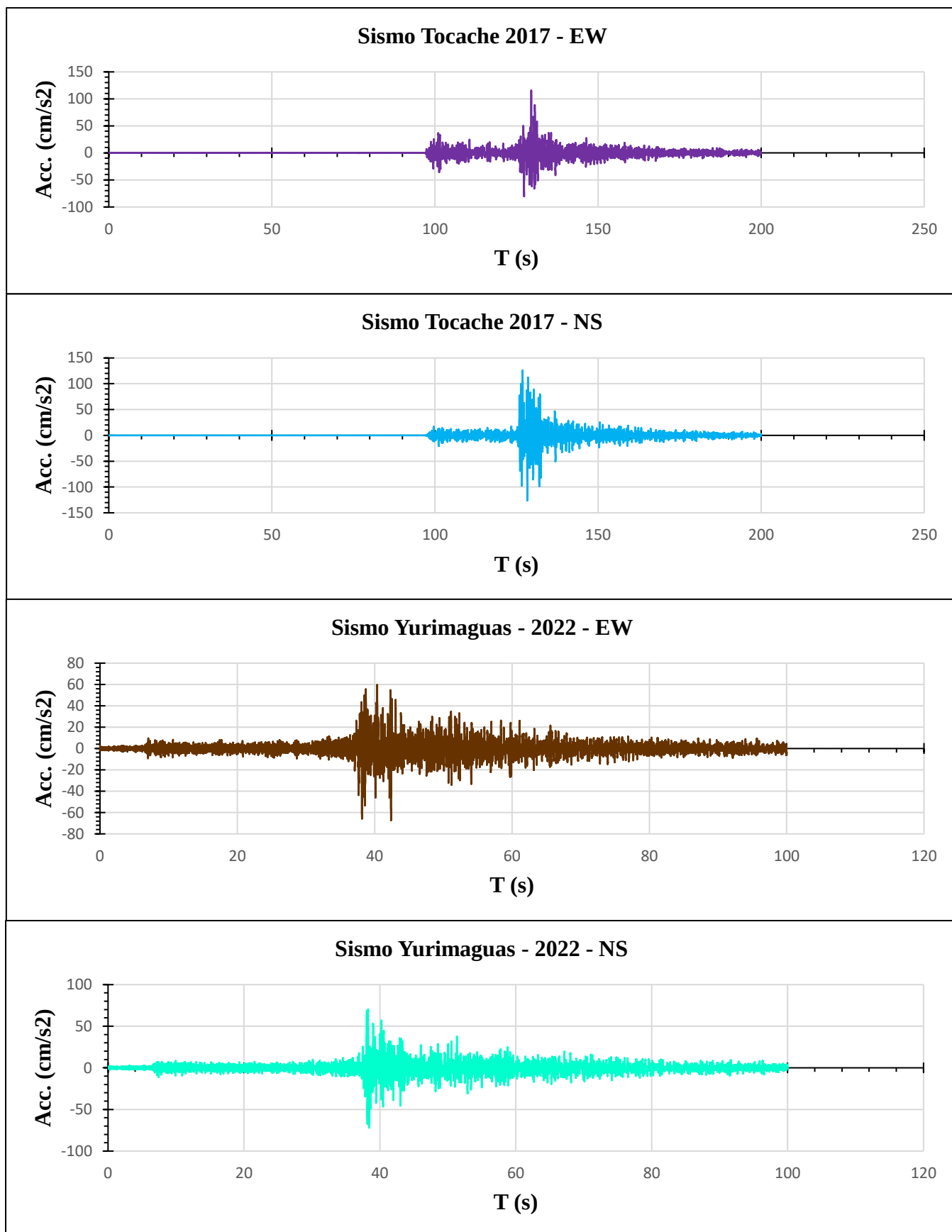
Tabla 27. Aceleración máxima de registros sísmicos utilizados

Registro	Fecha	Componentes	Aceleración máxima (cm/s ²)	Duración (s)
Lima - Callao	15/06/2025	E-W	-121	149.995
		N-S	87.94	
Lircay - Huancavelica	18/01/2026	E-W	-171.3	206.975
		N-S	162.5	
Tocache	08/01/2017	E-W	116	89.475
		N-S	-126	
Yurimaguas - Loreto	18/12/2022	E-W	-67.31	139.99
		N-S	-72.03	

Nota: Se muestra las aceleraciones máximas de los registros sísmicos seleccionados en las direcciones Este-Oeste (EW) y Norte-Sur (NS). (Elaborado por el autor, 2025)

Figura 83. Registros Sísmicos

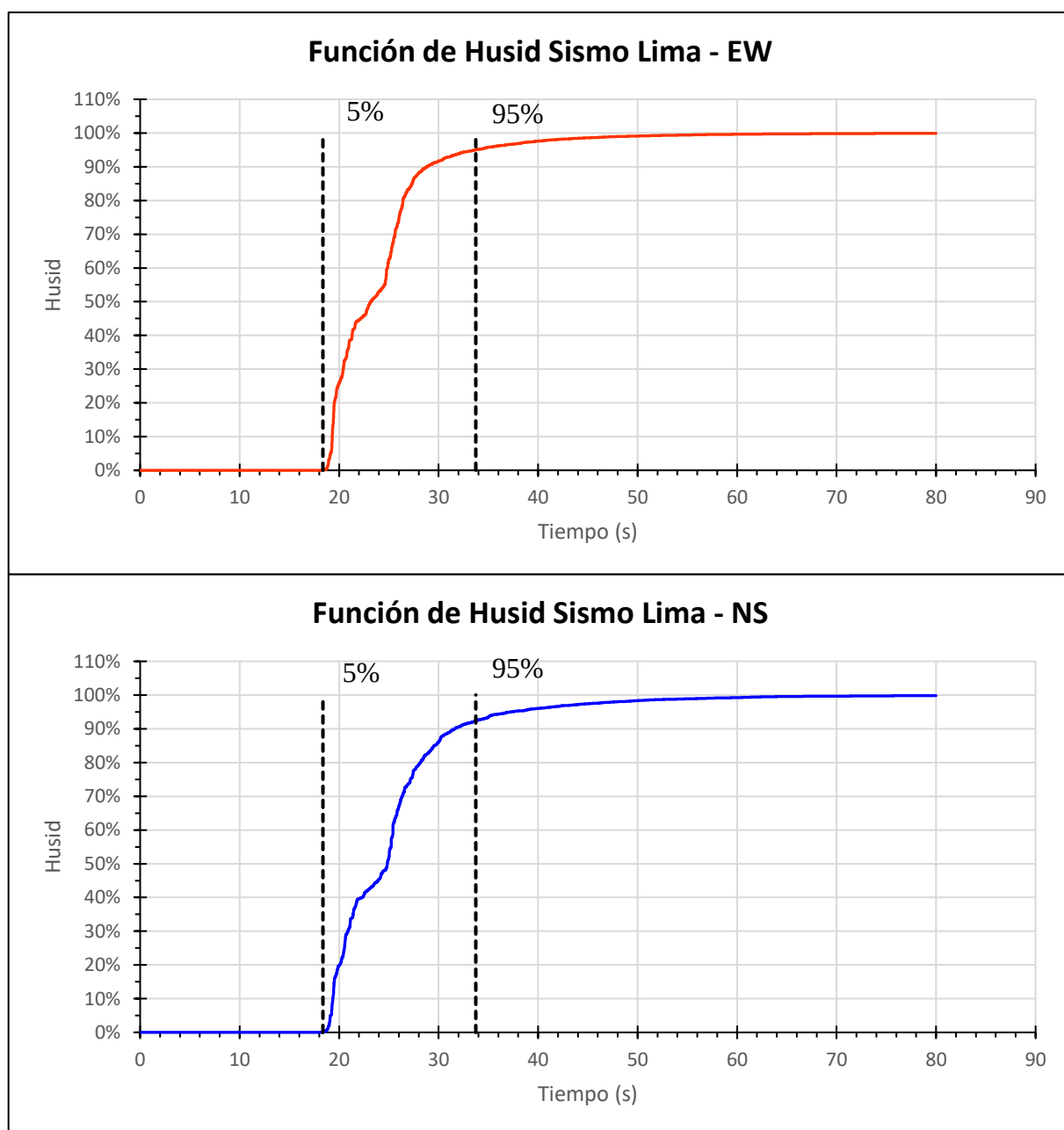




Nota: Se muestra los registros sísmicos seleccionados en las direcciones Este-Oeste (EW) y Norte-Sur (NS). (Elaborado por el autor, 2025)

Luego, para delimitar el tramo del sismo que contiene la energía más significativa se empleó la función de Husid, el cual permite cuantificar la energía acumulada de un registro sísmico y determinar su duración significativa, para definir la ventana de análisis entre el 5% y el 95% de la energía total. A continuación, la figura n°83 muestra el gráfico de la función de Husid aplicado al registro sísmico de Lima en las direcciones EW y NS, donde se puede apreciar que la duración significativa del sismo es de 15 s en la dirección EW y 18 s en la dirección NS, en promedio duración significativa para el registro fue de 15s.

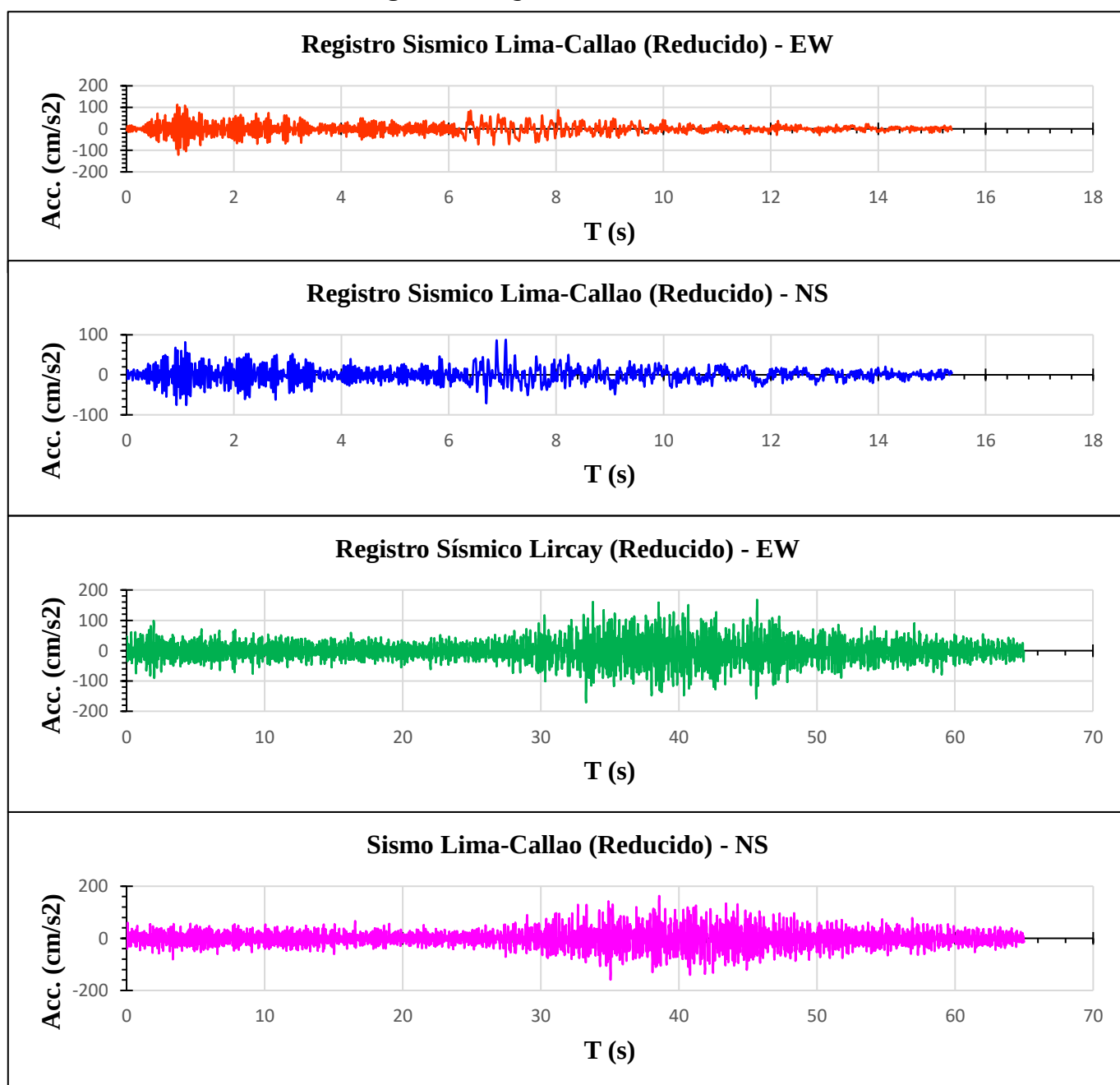
Figura 84. Función de Husid

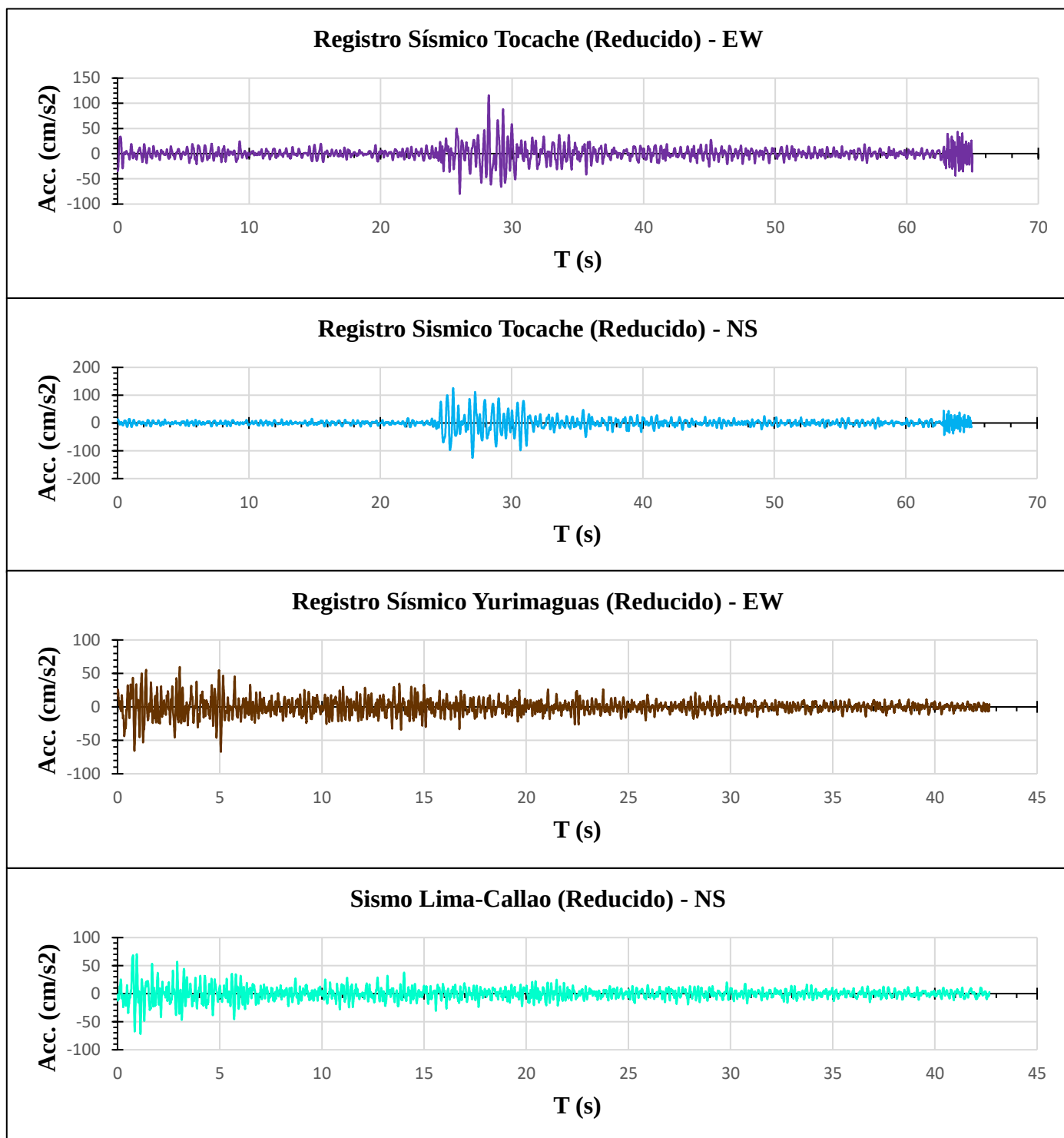


Nota: Función de Husid aplicado al registro sísmico de Lima en las direcciones Este-Oeste (EW) y Norte-Sur (NS). (Elaborado por el autor, 2025)

Se aplicó la función de Husid a todos los registros sísmicos en las direcciones EW y NS, del cual se obtuvo la duración significativa de cada registro sísmico, para el registro de Lircay-2026 fue de 65 s, para Tocache 2017 fue de 65s y para el registro de Yurimaguas-2022 una duración de 41s, a continuación, la figura n°85 muestra los registros sísmicos reducidos a la duración efectiva determinada mediante la función de Husid.

Figura 85. Registro Sísmico Reducido

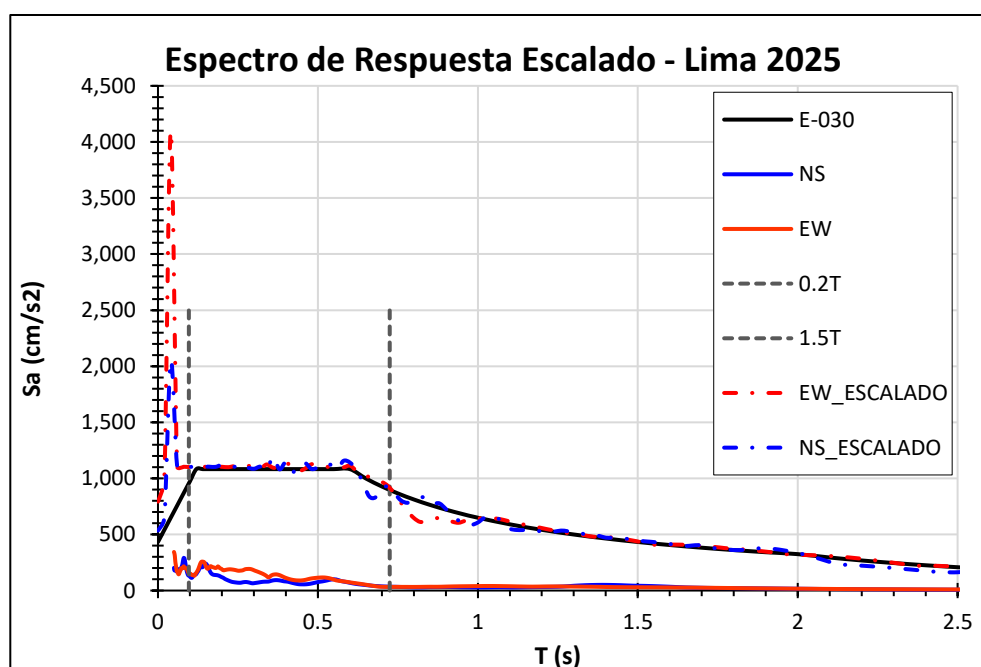


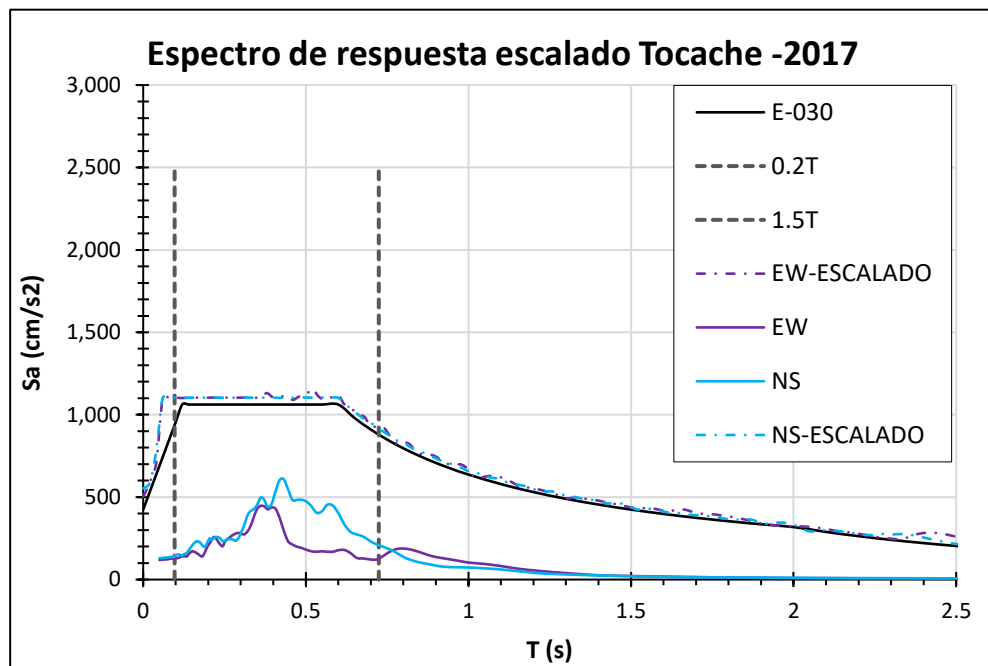
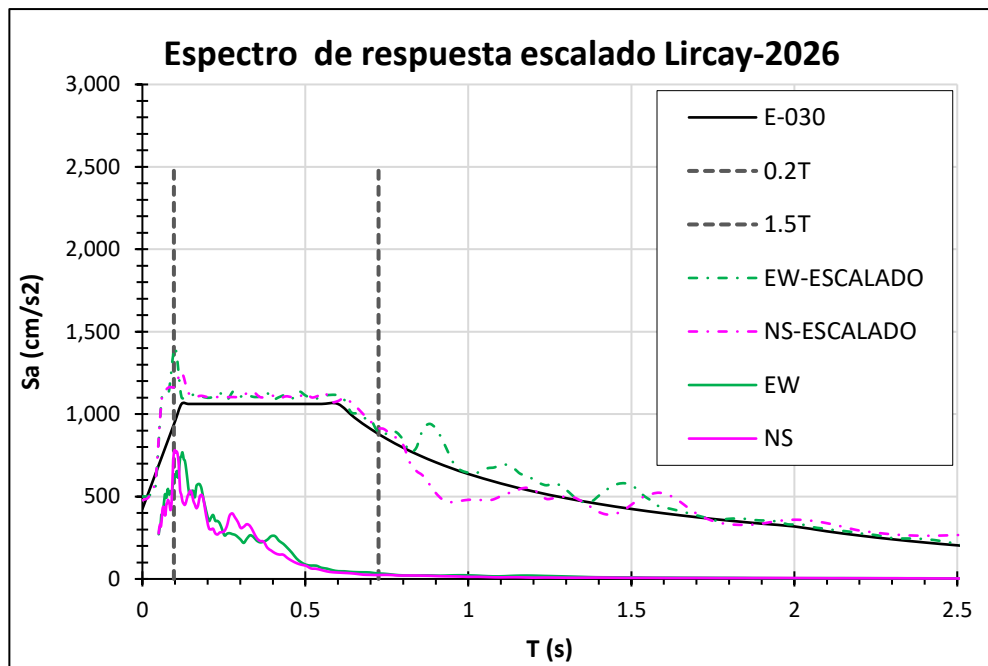


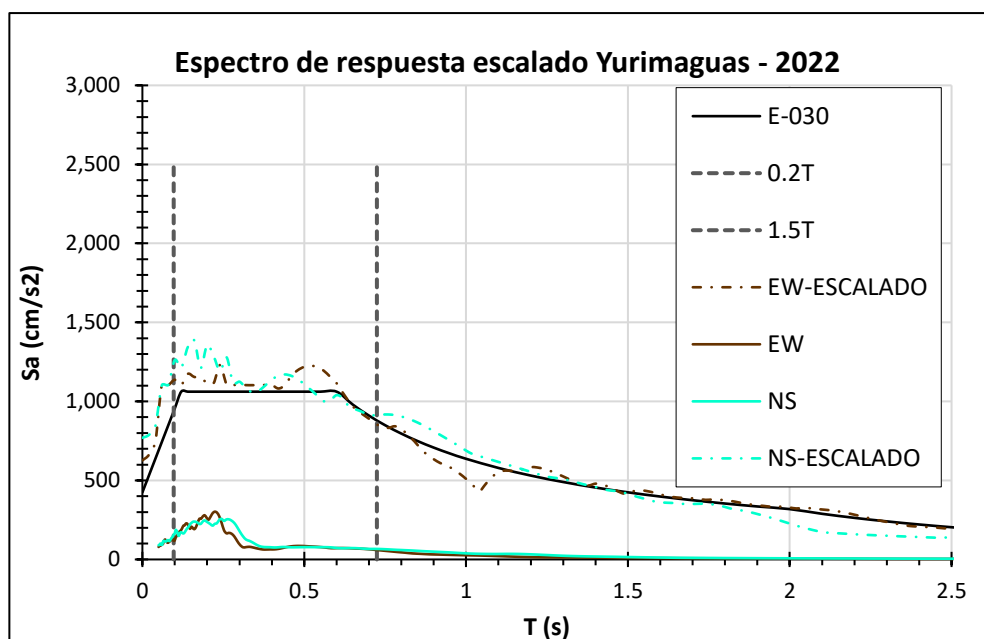
Nota: Se muestra los registros sísmicos reducidos con la función de Husid en las direcciones Este-Oeste (EW) y Norte-Sur (NS). (Elaborado por el autor, 2025)

Luego, cada registro sísmico se escaló al espectro de aceleraciones objetivo de la Norma Peruana E.030 considerando los parámetros sísmicos definidos en la tabla n.º11 y amortiguamiento crítico del 5%, mediante el software SeismoMatch, considerando que el registro sísmico escalado sea representativo de la demanda sísmica, el espectro de respuesta se ajustó adecuadamente al espectro objetivo en un rango de periodos que refleje la respuesta dominante del sistema. Según lo establecido en el código ASCE/SEI 7-16 (Sección 16.1.3.1) y la guía FEMA 440 (2005), este rango se debe considerar entre 0.20 y 1.5 del periodo fundamental de vibración de la estructura. En ese sentido, considerando el periodo fundamental del edificio del Sector A en la dirección X = 0.483 s, Y = 0.546 s, además, el periodo fundamental para el edificio del sector B es en la dirección X = 0.441 s, Y=0.596 s. A continuación, se muestra el espectro de respuesta de pseudoaceleraciones S_a (cm/s²) vs el tiempo (s) para cada registro sísmico escalado.

Figura 86. Espectro de respuesta escalado







Nota: Se muestra los espectros de respuesta escalados al espectro objetivo de la Norma E.030 en las direcciones Este-Oeste (EW) y Norte-Sur (NS). (Elaborado por el autor, 2025)

Luego del tratamiento de los registros sísmicos, para el análisis tiempo historia se establece dos casos, el primero, dónde el 100% del sismo EW se aplicará en la dirección X y 100% del sismo NS en la dirección Y, el segundo caso estará definido con la aplicación del 100% del sismo NS en la dirección X y 100% del sismo EW en la dirección Y, para poder identificar las máximas derivas inelásticas.

Tabla 28. Control de derivas A.N.L - TH - Sector A - en X-X

Piso	Lima 2025		Lircay - 2026		Tocache - 2017		Yurimaguas - 2022	
	Caso 1	Caso 2	Caso 1	Caso 2	Caso 1	Caso 2	Caso 1	Caso 2
5	0.003505	0.003475	0.003441	0.003935	0.003962	0.004325	0.004379	0.004029
4	0.004327	0.004306	0.004263	0.004844	0.004955	0.005502	0.005927	0.005088
3	0.005988	0.005325	0.006721	0.006555	0.006794	0.006874	0.008028	0.006138
2	0.006602	0.006189	0.008395	0.007510	0.008455	0.007825	0.008580	0.006842
1	0.003774	0.003607	0.004919	0.004217	0.004841	0.004701	0.004700	0.004203

Tabla 29. Control de derivas A.N.L - TH - Sector A - en Y-Y

Piso	Lima 2025		Lircay - 2026		Tocache - 2017		Yurimaguas - 2022	
	Caso 1	Caso 2	Caso 1	Caso 2	Caso 1	Caso 2	Caso 1	Caso 2
5	0.006846	0.006656	0.006075	0.006752	0.006678	0.006609	0.005640	0.006366
4	0.007626	0.007599	0.006884	0.007561	0.007433	0.007366	0.006243	0.007335
3	0.009745	0.009183	0.008859	0.009063	0.009394	0.009283	0.008764	0.009239
2	0.010058	0.008981	0.009680	0.008505	0.009550	0.009389	0.009692	0.010490
1	0.005322	0.004887	0.005149	0.004377	0.004896	0.004797	0.005318	0.005684

Tabla 30. Control de derivas A.N.L - TH - Sector B - en X-X

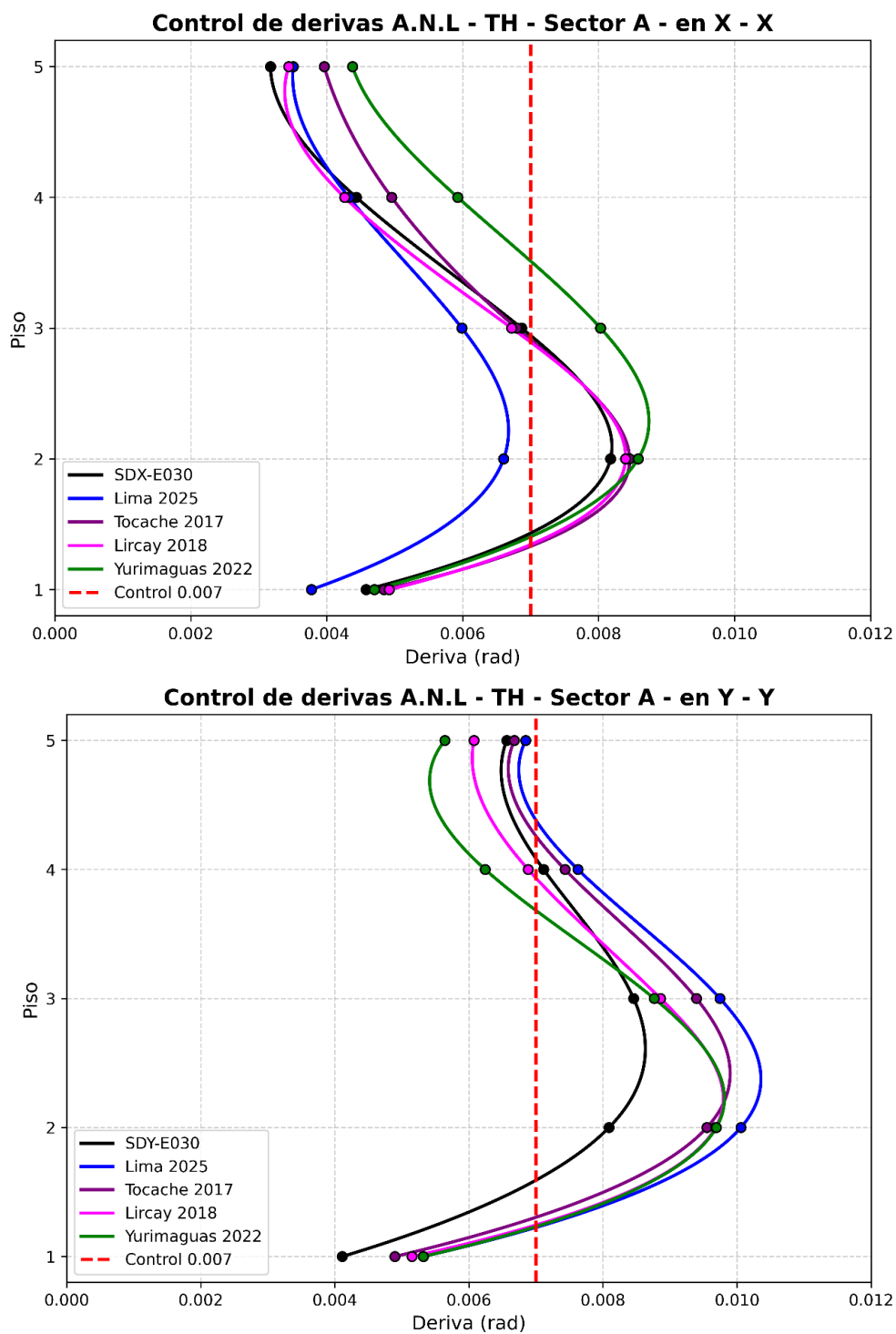
Piso	Lima 2025		Lircay - 2026		Tocache - 2017		Yurimaguas - 2022	
	Caso 1	Caso 2	Caso 1	Caso 2	Caso 1	Caso 2	Caso 1	Caso 2
5	0.002021	0.001955	0.002142	0.001794	0.003559	0.002590	0.002211	0.002089
4	0.006478	0.005069	0.004995	0.005034	0.009351	0.007493	0.007665	0.007119
3	0.009732	0.007179	0.006716	0.006881	0.013188	0.011114	0.011149	0.009972
2	0.011597	0.007947	0.008030	0.007710	0.014495	0.012930	0.013204	0.010635
1	0.006018	0.004003	0.004361	0.004067	0.007219	0.006558	0.006977	0.005478

Tabla 31. Control de derivas A.N.L - TH - Sector B - en Y-Y

Piso	Lima 2025		Lircay - 2026		Tocache - 2017		Yurimaguas - 2022	
	Caso 1	Caso 2	Caso 1	Caso 2	Caso 1	Caso 2	Caso 1	Caso 2
5	0.004980	0.007243	0.005885	0.005325	0.007178	0.009174	0.006637	0.008370
4	0.006462	0.008601	0.006967	0.006864	0.008742	0.010659	0.008255	0.009592
3	0.008656	0.010068	0.008759	0.008460	0.010211	0.012220	0.009500	0.010788
2	0.009509	0.010302	0.009044	0.008252	0.010532	0.011397	0.008668	0.011882
1	0.004628	0.005105	0.004274	0.003875	0.004990	0.005300	0.004037	0.005920

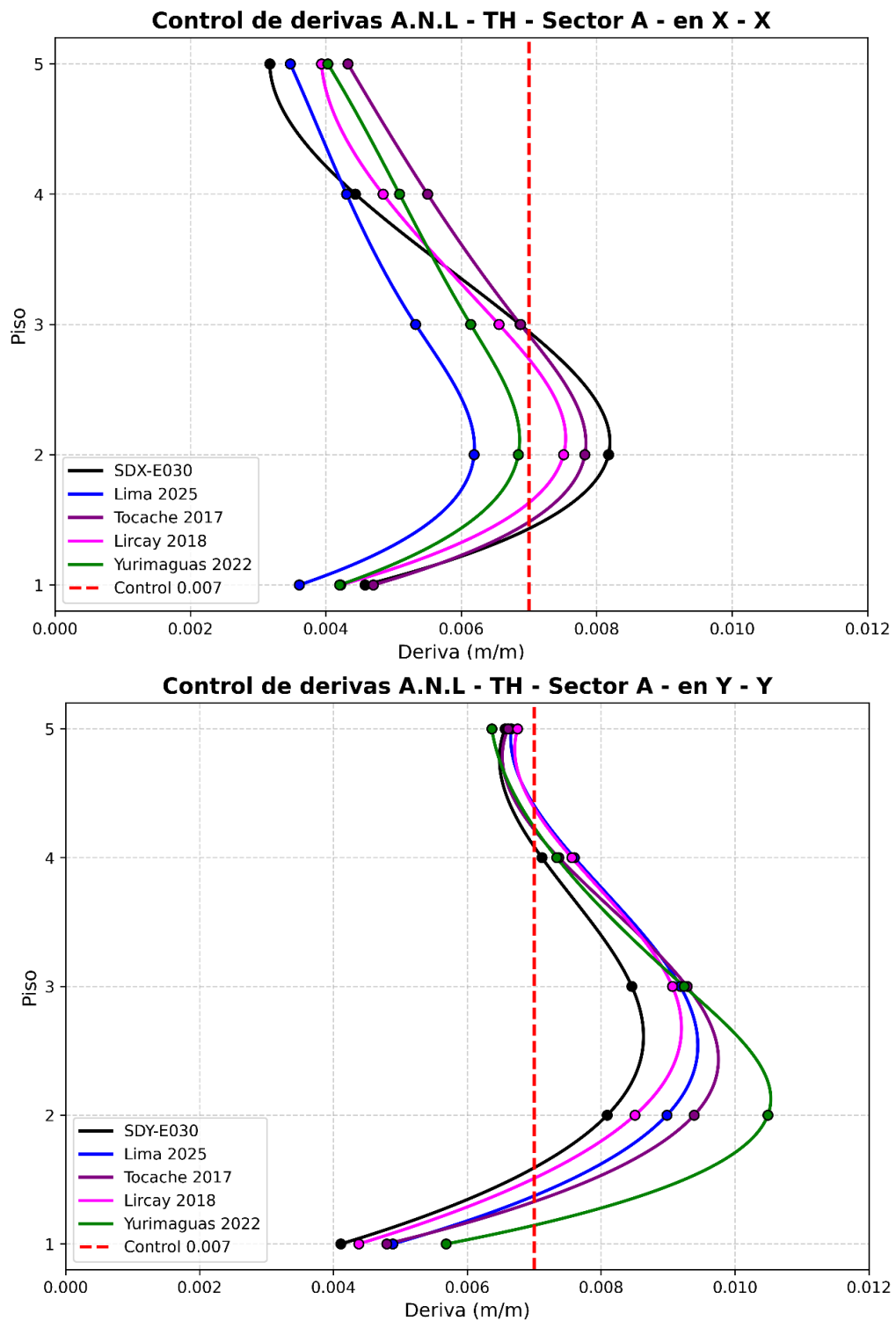
Nota: Se muestra las derivas inelásticas para los casos 1 y 2 a partir del análisis no lineal TH para los edificios de los sectores A y B. (Elaborado por el autor, 2025)

Figura 87. Control de derivas – Sector A - Caso 1



Nota: Se muestra las derivas de entrepiso del edificio del Sector A para caso 1. (Elaborado por el autor, 2025)

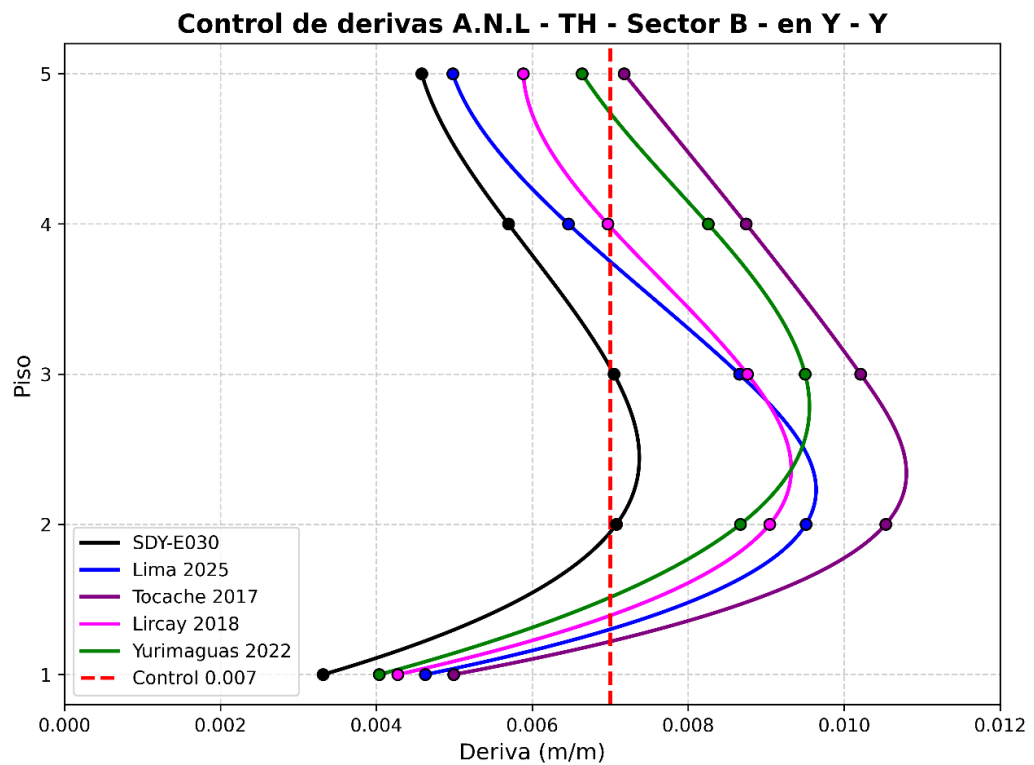
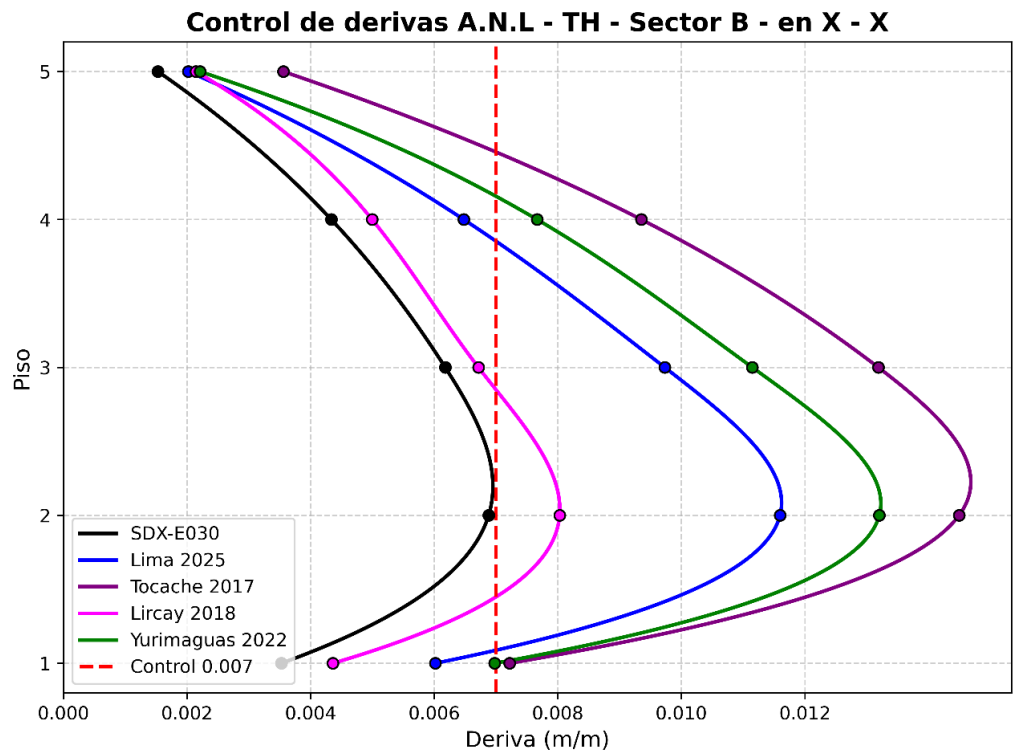
Figura 88. Control de derivas – Sector A - Caso 2



Nota: Se muestra las derivas de entrepiso del edificio del Sector A para caso 2.

(Elaborado por el autor, 2025)

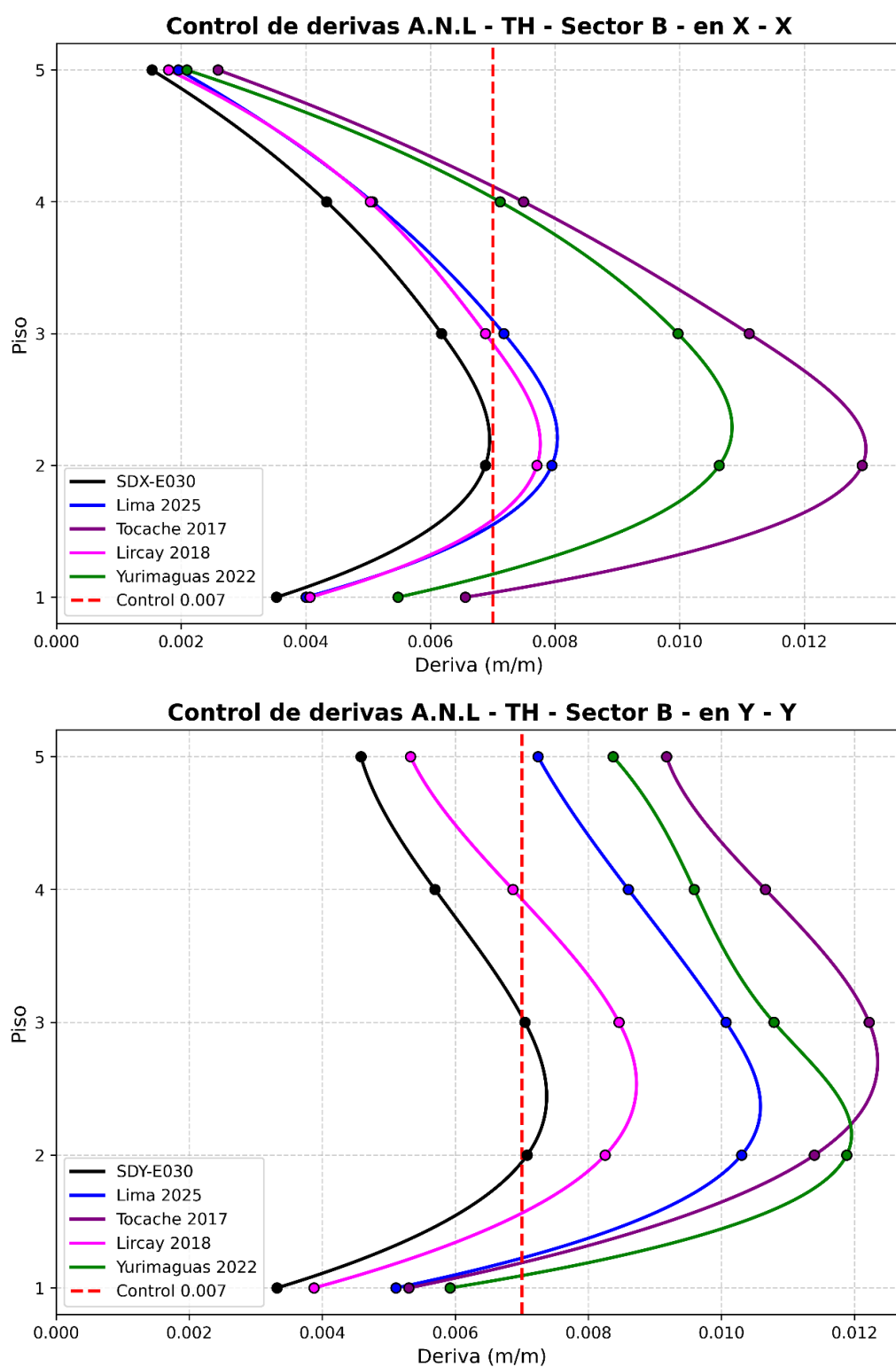
Figura 89. Control de derivas – Sector B - Caso 1



Nota: Se muestra las derivas de entrepiso del edificio del Sector B para caso 1.

(Elaborado por el autor, 2025)

Figura 90. Control de derivas – Sector B - Caso 2



Nota: Se muestra las derivas de entrepiso del edificio del Sector B para caso 2.

(Elaborado por el autor, 2025)

Nótese además que, para ambos casos de análisis, en los sectores A y B las derivas están por encima de lo permitido por la E.030 en ambas direcciones, por ello se buscará mejorar la capacidad estructural con los disipadores SLB para asegurar que las derivas cumplan de manera satisfactoria y económicamente con la Norma E.030.

A continuación, la tabla n.º28 muestra los máximos desplazamientos obtenidos con cada registro sísmico y para ambos casos de análisis.

Tabla 32. Desplazamientos máximos

Registro	Sector A		Sector B	
	Caso 1	Caso 2	Caso 1	Caso 2
Lima 2025	31.0799	29.2413	15.4696	17.2645
Lircay 2026	28.2621	28.2347	14.4127	13.5888
Tocache 2017	29.7795	29.3252	20.2011	21.1586
Yurimaguas 2022	27.0000	28.6892	17.5596	18.6603
Promedio	29.03	28.873	16.911	17.668

Nota: Se muestra los máximos desplazamientos del edificio en ambos sectores A y B para los casos de análisis 1 y 2 luego del análisis no lineal TH. (Elaborado por el autor, 2025)

La tabla precedente, muestra los desplazamientos máximos obtenidos luego de realizar el análisis no lineal TH, notándose un desplazamiento promedio de 29 cm para el edificio del sector A, el cual lleva a la estructura a un estado de daño cercano al colapso, asimismo, el desplazamiento promedio para el edificio del sector B es de 16 cm, de igual forma, este desplazamiento supera el punto de desempeño de la edificación, llevándolo a un estado de daño cercano al colapso.

Desempeño esperado

Luego de realizar el análisis estático, se observa que el desplazamiento promedio para el edificio del sector A es de 29.03 cm para un sismo raro según la Norma E.030, asimismo, muestra un desplazamiento de 29.87 cm para un sismo

muy raro, además, se identifica que, de acuerdo con la tabla n.º4, considerando la edificación importante, para un sismo raro el nivel de desempeño para una edificación importante debe ser Operacional, mientras que, para un sismo muy raro el nivel de desempeño debe ser Resguardo de Vida, sin embargo, en la figura n.º81 se observa que para un sismo raro, el nivel de desempeño se encuentra en Resguardo de Vida muy próximo al nivel de desempeño Cerca al Colapso, mientras que para un sismo muy raro, la demanda supera la capacidad, obteniéndose un nivel de desempeño fuera del Colapso de la edificación.

Asimismo, la figura n.º82 muestra la curva de capacidad del edificio del Sector B, encontrándose el punto de desempeño a un desplazamiento de 15.85 cm para un sismo raro asociado a un nivel de desempeño de Resguardo de vida, por otro lado, cuando se considera un sismo muy raro se tiene un desplazamiento de 22.577 cm asociado a un nivel de desempeño de colapso de la edificación.

Por otro lado, luego de realizar el análisis no lineal Tiempo-Historia con los registros sísmicos seleccionados, se obtuvo para el edificio del sector A un desplazamiento promedio de 29 cm, de acuerdo con la figura n.º81, este desplazamiento se asocia a un nivel de desempeño de Resguardo de vida, muy cercano al nivel de desempeño de Colapso, y, según la tabla n.º4, considerando que la edificación es una edificación importante, este debe estar asociado a un nivel de desempeño operacional. Mientras que, para el edificio del sector B, se tiene un desplazamiento promedio de 16 cm, comparando con la figura n.º82, este desplazamiento se asocia a un nivel de desempeño de Resguardo de vida, además, según la tabla n.º4 la edificación debe asociarse a un nivel de desempeño operacional. En ese sentido, con el presente estudio, se pretende garantizar la

mejora de la respuesta estructural de la edificación mediante el uso de los disipadores histeréticos. En los capítulos siguientes se muestra el desarrollo.

4.2.2. Propuesta de mejoramiento estructural implementando disipadores Shear

Link

En los ítems anteriores, se mostró que la edificación no cumple con las condiciones mínimas de diseño que establece la Norma E.030, en ese sentido, en este apartado, se propone la implementación de los disipadores de energía SLB, con el objetivo de mejorar la respuesta estructural de la edificación frente a eventos sísmicos y aquellos producidos por el movimiento vibratorio del suelo.

Luego de haber realizado el análisis sísmico de la edificación, en su estado actual, para los dos sectores A y B, de acuerdo con las tablas n°24, 25, 26 y 27 se observa que las derivas en la dirección X e Y, sobrepasan las condiciones mínimas de la Norma E0.30, en ese sentido, la implementación de los disipadores de energía SLB se realizará en ambas direcciones para garantizar una óptima respuesta estructural.

Por otro lado, se justifica la elección de los disipadores de energía SLB respecto a otros disipadores histeréticos y aquellos de fluido viscoso, en vista que, como ventaja, los disipadores SLB son 10 veces más económicos que los anteriores, además, que los disipadores SLB aportan a la estructura rigidez, a través de los elementos componentes como los muros desacoplados o las diagonales metálicas, y ductilidad a través de los disipadores Shear Link, dejando entonces que la estructura sea lo suficientemente flexible por sí sólo. Lo que no hacen los otros disipadores, en ese sentido y, para estar en armonía con la arquitectura los dispositivos serán implementados sobre sistema de muros desacoplados como se muestra en la figura n°50.

Nivel de amenaza sísmica

El sismo al cual fue sometido la edificación es considerado un sismo raro, de acuerdo con la tabla n.º3 propuesta por el comité VISION 2000 (SEAOC 1995) con la probabilidad de excedencia del 10% en 50 años.

Nivel de desempeño sísmico

De acuerdo con la tabla n.º4 propuesta por el comité VISION 2000 (SEAOC 1995), luego del evento sísmico severo, la edificación quedará en resguardo de vida, con un estado de daño moderado con posibilidad de repararse.

Objetivo de desempeño

La tabla n.º6 de la Norma peruana E030, categoriza las edificaciones de acuerdo al uso, en ese sentido, el edificio en estudio, se encuentra categorizado como esencial (importante). Luego, de la Tabla n.º4 propuesto por el código FEMA 356, considerando un sismo raro y la categoría de la edificación, luego de un evento sísmico, el objetivo de desempeño debe ser operacional.

Deriva objetivo

La tabla n.º29 clasifica según tipo de estructuras propuesta por Multi-Hazard Loss Estimation Methodology Hazus, 2010, considerando la altura del edificio y el número de pisos.

El edificio en análisis se divide en dos sectores A y B, los cuales tienen diferente sistema estructural, el edificio del Sector A tiene un sistema estructural Dual ($R=7$), mientras que el edificio del Sector B tiene un sistema estructural de muros estructurales ($R=6$).

La tabla n.º29 no contempla el sistema estructural Dual, entonces, del análisis realizado, se identifica que el 59.70% de la fuerza cortante en la base es captado por los muros estructurales frente al 40.30% captado por el pórtico, en ese sentido, para la tabla

n°29, ambos sectores A y B, se ubicaran como un sistema de muros estructurales, por la predominancia de la captación de la fuerza cortante.

Tabla 33. Clasificación según tipo de estructuras

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

Nota: La tabla muestra la clasificación de las estructuras. (Rojo) Edificio Sector A y (azul) Edificio Sector B. (Multi-Hazard Loss Estimation Methodology Hazus, 2010)

Luego, de la tabla precedente, en función al sistema estructural, considerando además que, la edificación tiene 4 niveles más azotea, pertenece a la fila 20 con el código C2M, calificado como edificio de mediana altura.

Teniendo el código (C2M), considerando que se desea un nivel de daño moderado, la tabla n°30, indica que para llegar a obtener un nivel de daño moderado se debe llegar a una deriva máxima de 0.0056 ante un sismo severo.

Tabla 34. *Relación estado de daño-deriva según clasificación de estructura*

Building Properties			Interstory Drift at			
Type	Height (inches)		Threshold of Damage State			
	Roof	Modal	Slight	Moderate	Extensive	Complete
W1	168	126	0.0040	0.0099	0.0306	0.0750
W2	288	216	0.0040	0.0099	0.0306	0.0750
S1L	288	216	0.0060	0.0104	0.0235	0.0600
S1M	720	540	0.0040	0.0069	0.0157	0.0400
S1H	1872	1123	0.0030	0.0052	0.0118	0.0300
S2L	288	216	0.0050	0.0087	0.0233	0.0600
S2M	720	540	0.0033	0.0058	0.0156	0.0400
S2H	1872	1123	0.0025	0.0043	0.0117	0.0300
S3	180	135	0.0040	0.0070	0.0187	0.0525
S4L	288	216	0.0040	0.0069	0.0187	0.0525
S4M	720	540	0.0027	0.0046	0.0125	0.0350
S4H	1872	1123	0.0020	0.0035	0.0093	0.0262
S5L						
S5M						
S5H						
C1L	240	180	0.0050	0.0087	0.0233	0.0600
C1M	600	450	0.0033	0.0058	0.0156	0.0400
C1H	1440	864	0.0025	0.0043	0.0117	0.0300
C2L	240	180	0.0040	0.0084	0.0232	0.0600
C2M	600	450	0.0027	0.0056	0.0154	0.0400
C2H	1440	864	0.0020	0.0042	0.0116	0.0300
C3L						
C3M						
C3H						
PC1	180	135	0.0040	0.0070	0.0187	0.0525
PC2L	240	180	0.0040	0.0069	0.0187	0.0525
PC2M	600	450	0.0027	0.0046	0.0125	0.0350
PC2H	1440	864	0.0020	0.0035	0.0094	0.0263
RM1L	240	180	0.0040	0.0069	0.0187	0.0525
RM1M	600	450	0.0027	0.0046	0.0125	0.0350
RM2L	240	180	0.0040	0.0069	0.0187	0.0525
RM2M	600	450	0.0027	0.0046	0.0125	0.0350
RM2H	1440	864	0.0020	0.0035	0.0094	0.0263
URML						
URMM						
MH	120	120	0.0040	0.0080	0.0240	0.0700

Nota: La tabla muestra la relación estado de daño-deriva para el código C2M. (Rojo) Edificio Sector A y (azul) Edificio Sector B. (Multi-Hazard Loss Estimation Methodology Hazus, 2010)

Sismo de diseño

Las tablas n°24, 25, 26 y 27 muestran los resultados de las derivas ante un sismo severo en las dos direcciones considerando 2 casos de análisis luego de un A.N.L. T.H. para los registros seleccionados previamente.

En el presente ítem se determinará la mayor similitud entre las derivas halladas en el A.N.L.T.H vs las derivas halladas con el análisis dinámico espectral de la Norma E.030, las derivas de cualquier registro en cualquiera de los dos casos que tengan mayor similitud al análisis espectral de la Norma, será elegido como el sismo de diseño. La similitud será elegida mediante un cociente entre las derivas de cada análisis con los cocientes que estén por debajo de 0.8 se descartan al igual que las que estén por encima de 1.5, ya que estarán al 80% 0 150% del valor que se quiere llegar. (Chavez A.,2017, p.268)

Tabla 35. Razón de derivas del análisis espectral de la Norma E0.30 vs el A.N.L.T.H. del edificio Sector A.

Razón de derivas del análisis espectral de la Norma E0.30 vs el A.N.L.T.H. del edificio Sector A en la dirección X.								
Piso	Lima 2025		Lircay - 2026		Tocache - 2017		Yurimaguas - 2022	
	Caso 1	Caso 2	Caso 1	Caso 2	Caso 1	Caso 2	Caso 1	Caso 2
5	1.11	1.1	1.09	1.24	1.25	1.36	1.38	1.27
4	0.98	0.97	0.96	1.09	1.12	1.24	1.34	1.15
3	0.87	0.78	0.98	0.95	0.99	1	1.17	0.89
2	0.81	0.76	1.03	0.92	1.03	0.96	1.05	0.84
1	0.82	0.79	1.07	0.92	1.06	1.03	1.03	0.92

Razón de derivas del análisis espectral de la Norma E0.30 vs el A.N.L.T.H. del edificio Sector A en la dirección Y.								
Piso	Lima 2025		Lircay - 2026		Tocache - 2017		Yurimaguas - 2022	
	Caso 1	Caso 2	Caso 1	Caso 2	Caso 1	Caso 2	Caso 1	Caso 2
5	1.04	1.01	0.93	1.03	1.03	1.01	0.86	0.97
4	1.07	1.07	0.97	1.06	1.06	1.04	0.88	1.03
3	1.15	1.09	1.05	1.07	1.07	1.1	1.04	1.09
2	1.24	1.11	1.2	1.05	1.05	1.16	1.2	1.3
1	1.29	1.19	1.25	1.06	1.06	1.17	1.29	1.38

Nota: Elaborado por el autor, 2025

Como se aprecia en la Tabla n°31, la relación de derivas para ambos casos de los registros sísmicos seleccionados tiene buena aproximación a la unidad, excepto el caso 1 del sismo Lima 2025 en Y, luego, realizando un análisis, se observa que por más que la relación de derivas superen el 100%, no significa que sea completamente buena, sino que se podría sobreestimar el diseño, en ese sentido, en la búsqueda de un diseño óptimo, se elige el caso 2 del sismo Yurimaguas 2022. Si bien en cierto, los otros registros también presentan buena aproximación con las derivas del análisis espectral de la Norma E0.30, tanto para el eje X e Y, por cuestiones académicas se elige el caso 2 del sismo de Yurimaguas 2022 como sismo de diseño para los dispositivos del edificio el sector A en ambas direcciones.

Tabla 36. Razón de derivas del análisis espectral de la Norma E0.30 vs el A.N.L.T.H. del edificio Sector B.

Razón de derivas del análisis espectral de la Norma E0.30 vs el A.N.L.T.H. del edificio Sector B en la dirección X.								
Piso	Lima 2025		Lircay - 2026		Tocache - 2017		Yurimaguas - 2022	
	Caso 1	Caso 2	Caso 1	Caso 2	Caso 1	Caso 2	Caso 1	Caso 2
5	1.32	1.28	1.4	1.17	2.33	1.69	1.45	1.37
4	1.49	1.17	1.15	1.16	2.16	1.73	1.77	1.64
3	1.58	1.16	1.09	1.11	2.13	1.8	1.8	1.61
2	1.69	1.16	1.17	1.12	2.11	1.88	1.92	1.55
1	1.71	1.13	1.24	1.15	2.05	1.86	1.98	1.55

Razón de derivas del análisis espectral de la Norma E0.30 vs el A.N.L.T.H. del edificio Sector B en la dirección Y.								
Piso	Lima 2025		Lircay - 2026		Tocache - 2017		Yurimaguas - 2022	
	Caso 1	Caso 2	Caso 1	Caso 2	Caso 1	Caso 2	Caso 1	Caso 2
5	1.09	1.58	1.28	1.16	1.57	2	1.45	1.83
4	1.14	1.51	1.22	1.21	1.54	1.87	1.45	1.69
3	1.23	1.43	1.24	1.2	1.45	1.73	1.35	1.53
2	1.34	1.46	1.28	1.17	1.49	1.61	1.22	1.68
1	1.4	1.54	1.29	1.17	1.5	1.6	1.22	1.79

Nota: Elaborado por el autor, 2025

De la tabla n°32, se observa que la relación de derivas en la dirección X e Y superan el 1.5, notándose además que para el caso 1 del sismo de Tocache 2017 la relación supera el 200%, en ese sentido, viendo que para los registros de Lima 2025, Toche 2017 y Yurimaguas 2022 la relación de derivas supera el 1.5 se descarta tales registros, por lo tanto, se elige como sismo de diseño el caso 2 del sismo Lircay 2026 para ambas direcciones. Como ya se explicó anteriormente, el caso 2 aplica el 100% de

la fuerza sísmica (NS) en la dirección X y 100% de la fuerza sísmica (EW) en la dirección Y.

Dimensionamiento de los disipadores SLB

Como se mencionó anteriormente, existen dos métodos para el prediseño de los disipadores SLB: el método de iteración directa y el método de iteración inversa.

Para esta investigación, al tratarse de una edificación de pocos niveles, se opta por emplear el método de iteración directa, el cual consiste en iterar la selección de dispositivos mediante una serie de análisis, de modo que los disipadores asignados inicialmente se actualicen según la fuerza cortante obtenida en cada iteración, hasta que la relación entre la fuerza cortante de análisis y la fuerza de fluencia del dispositivo (D/C) sea menor que 1.5 (Bozzo L., 2019).

Adicionalmente, para el dimensionamiento de los disipadores se adoptó el procedimiento propuesto por Enciso F. (2019), el cual fue adaptado a las condiciones y características del edificio en estudio.

Entonces, para conocer la fuerza cortante que actuará en cada disipador, fue necesario inicialmente representar dicho disipador como una barra metálica simple sobre el muro desacoplado, luego, conociendo la fuerza cortante actuante asignar la serie SLB que corresponde para dicha fuerza empleando la tabla del anexo B.

Luego del análisis modal, con los parámetros sísmicos iniciales se tiene la siguiente tabla de fuerzas cortantes actuantes en los elementos metálicos de prediseño en los edificios de los sectores A y B.

Tabla 37. *Fuerza cortante actuante en elementos metálicos de prediseño*

Fuerzas cortantes actuantes - Piso 1 - Sector A			
dirección x-x		dirección y-y	
elemento frame	Fuerza cortante actuante (Tn)	elemento frame	Fuerza cortante actuante (Tn)
K5	10.2369	K1	27.0644
K6	0.0993	K2	25.8289
K7	10.2306	-	-
K8	12.4224	-	-
K9	12.5142	-	-
K10	0.0643	-	-
K11	1.6085	-	-
K12	6.0637	-	-
Fuerzas cortantes actuantes - Piso 2 - Sector A			
dirección x-x		dirección y-y	
elemento frame	Fuerza cortante actuante (Tn)	elemento frame	Fuerza cortante actuante (Tn)
K29	14.57405	K25	46.5390
K30	14.57409	K26	44.1235
K31	18.21227	K27	45.7051
K32	18.36492	K28	43.0011
K33	8.91647	-	-
K34	9.06921	-	-
K35	14.26730	-	-
K36	14.75158	-	-
Fuerzas cortantes actuantes - Piso 3 - Sector A			
dirección x-x		dirección y-y	
elemento frame	Fuerza cortante actuante (Tn)	elemento frame	Fuerza cortante actuante (Tn)
K17	10.4532	K13	46.0858
K18	10.4432	K14	44.2791
K19	13.4262	K15	41.7103
K20	13.5252	K16	39.6667
K21	6.3586	-	-
K22	6.5019	-	-
K23	20.6962	-	-
K24	21.3111	-	-

Fuerzas cortantes actuantes - Piso 4 - Sector A			
dirección x-x		dirección y-y	
elemento frame	Fuerza cortante actuante (Tn)	elemento frame	Fuerza cortante actuante (Tn)
K41	5.321664381	K37	51.8834
K42	5.302116421	K38	37.6853
K43	8.017681879	K39	43.9932
K44	8.059806356	K40	28.8914
K45	3.159651869	-	-
K46	3.25113061	-	-
K47	21.01282293	-	-
K48	21.6410191	-	-

Fuerzas cortantes actuantes - Piso 1 - Sector B			
dirección x-x		dirección y-y	
elemento frame	Fuerza cortante actuante (Tn)	elemento frame	Fuerza cortante actuante (Tn)
K35	17.7349	K3	4.5315
K37	17.2699	K4	4.5463
K38	11.2515	K5	16.2803
K39	11.0764	K6	16.2450
K40	0.4351	K7	23.1049
K41	-0.1038	K8	23.0370
K42	0.5066	-	-
K43	-0.0943	-	-

Fuerzas cortantes actuantes - Piso 2 - Sector B			
dirección x-x		dirección y-y	
elemento frame	Fuerza cortante actuante (Tn)	elemento frame	Fuerza cortante actuante (Tn)
K60	23.12230	K25	15.9131
K61	22.46770	K26	15.9425
K62	14.18990	K27	4.0159
K63	14.00350	K28	4.0256
K64	17.94540	K29	13.8860
K65	17.10740	K30	13.8623
K66	6.60420	K31	32.4278
K67	5.80720	K32	32.4551

Fuerzas cortantes actuantes - Piso 3 - Sector B			
dirección x-x		dirección y-y	
elemento frame	Fuerza cortante actuante (Tn)	elemento frame	Fuerza cortante actuante (Tn)
K52	17.2877	K17	17.5937
K53	16.6945	K18	17.6228
K54	9.9385	K19	1.9571
K55	9.7545	K20	1.9673
K56	22.7284	K21	8.1399
K57	21.9958	K22	8.1130
K58	5.0435	K23	36.6678
K59	4.2210	K24	36.6962
Fuerzas cortantes actuantes - Piso 4 - Sector B			
dirección x-x		dirección y-y	
elemento frame	Fuerza cortante actuante (Tn)	elemento frame	Fuerza cortante actuante (Tn)
K44	13.4616	K9	17.8069
K45	9.8986	K10	17.8370
K46	5.464	K11	-0.2081
K47	4.7608	K12	-0.1960
K48	25.9475	K13	2.1069
K49	23.0326	K14	2.0744
K50	3.4845	K15	36.6664
K51	0.2977	K16	36.6918

Nota. Se muestra las fuerzas cortantes que actúan en los elementos metálicos de prediseño asignados en los edificios de los sectores A y B. (Elaborado por el autor, 2025)

Luego de haber obtenido la fuerza cortante que actúa en cada elemento metálico de prediseño, se inicia con las iteraciones correspondientes para la elección de un disipador adecuado, revisando la tabla de parámetros de diseño de los disipadores SLB del Anexo B, por cuestiones netamente académicas, por cada piso se uniformiza una misma serie de SLB. La tabla n°34 muestra los parámetros de diseño de los disipadores SLB implementados en los edificios de los sectores A y B.

Tabla 38. *Parámetros de diseño de los disipadores SLB implementados*

Disipador SLB asignado - Sector A								
Piso	Serie	K1 (KN/cm)	K2 (KN/cm)	Dy (mm)	Fy (KN)	Fmax (KN)	Kp (KN/cm)	Kr (KN/cm)
1	SLB4 15_7	3021.88	28.76	0.697	210.76	345.09	143	1430
2	SLB4 40_8	8718.88	86.41	0.588	512.48	890.2	543	16290
3	SLB4 40_8	8718.88	86.41	0.588	512.48	890.2	543	16290
4	SLB4 40_8	8718.88	86.41	0.588	512.48	890.2	543	16290

Disipador SLB asignado - Sector B								
Piso	Serie	K1 (KN/cm)	K2 (KN/cm)	Dy (mm)	Fy (KN)	Fmax (KN)	Kp (KN/cm)	Kr (KN/cm)
1	SLB4 15_7	3021.88	28.76	0.697	210.76	345.09	143	1430
2	SLB4 25_7	4767.68	46.51	0.638	304.31	521.31	306	4590
3	SLB4 25_7	4767.68	46.51	0.638	304.31	521.31	306	4590
4	SLB4 25_7	4767.68	46.51	0.638	304.31	521.31	306	4590

Nota. Se muestran las series y los parámetros de diseño de los dispositivos SLB asignados en los edificios de los sectores A y B. (Elaborado por el autor, 2025)

La elección adecuada de cada dispositivo, se encontró luego de la cuarta iteración, considerando la máxima relación entre la fuerza cortante del análisis y la fuerza de fluencia del dispositivo es 1.5, según Bozzo (2026). Luego de asignar los disipadores adecuados, se ejecuta nuevamente el modelo para verificar que la máxima relación Demanda/Capacidad (D/C) no exceda lo permitido.

La tabla n°35, muestra la verificación de la relación Demanda/Capacidad de los dispositivos SLB asignados.

Tabla 39. Verificación de la relación Demanda/Capacidad de los dispositivos SLB asignados

Verificación de la relación Demanda/Capacidad de los disipadores SLB asignados piso 1 - Sector A							
Dirección X-X				Dirección Y-Y			
SLB asignado	Fuerza cortante actuante (Tn)	D/C	Condición (D/C<1.5)	SLB asignado	Fuerza cortante actuante (Tn)	D/C	Condición (D/C<1.5)
SLB4 15_7	10.8202	0.50	OK	SLB4 15_7	30.4018	1.41	OK
SLB4 15_7	0.1159	0.01	OK	SLB4 15_7	28.5860	1.33	OK
SLB4 15_7	10.8131	0.50	OK	-	-	-	-
SLB4 15_7	13.9444	0.65	OK	-	-	-	-
SLB4 15_7	14.1012	0.66	OK	-	-	-	-
SLB4 15_7	0.0691	0.00	OK	-	-	-	-
SLB4 15_7	2.0424	0.10	OK	-	-	-	-
SLB4 15_7	6.8852	0.32	OK	-	-	-	-

Verificación de la relación Demanda/Capacidad de los disipadores SLB asignados piso 2 - Sector A							
Dirección X-X				Dirección Y-Y			
SLB asignado	Fuerza cortante actuante (Tn)	D/C	Condición (D/C<1.5)	SLB asignado	Fuerza cortante actuante (Tn)	D/C	Condición (D/C<1.5)
SLB4 40_8	19.06953	0.36	OK	SLB4 40_8	80.8445	1.44	OK
SLB4 40_8	19.11670	0.37	OK	SLB4 40_8	72.4953	1.38	OK
SLB4 40_8	27.52355	0.53	OK	SLB4 40_8	77.2059	1.47	OK
SLB4 40_8	28.50426	0.55	OK	SLB4 40_8	68.1611	1.30	OK
SLB4 40_8	9.91968	0.19	OK	-	-	-	-
SLB4 40_8	10.16682	0.19	OK	-	-	-	-
SLB4 40_8	19.00833	0.36	OK	-	-	-	-
SLB4 40_8	20.06278	0.38	OK	-	-	-	-

Verificación de la relación Demanda/Capacidad de los disipadores SLB asignados piso 3 - Sector A							
Dirección X-X				Dirección Y-Y			
SLB asignado	Fuerza cortante actuante (Tn)	D/C	Condición (D/C<1.5)	SLB asignado	Fuerza cortante actuante (Tn)	D/C	Condición (D/C<1.5)
SLB4 40_8	13.2389	0.25	OK	SLB4 40_8	69.1503	1.32	OK
SLB4 40_8	13.2333	0.25	OK	SLB4 40_8	63.0764	1.20	OK
SLB4 40_8	17.1810	0.33	OK	SLB4 40_8	58.8529	1.12	OK
SLB4 40_8	17.7520	0.34	OK	SLB4 40_8	52.1917	0.99	OK
SLB4 40_8	6.1659	0.12	OK	-	-	-	-
SLB4 40_8	6.3844	0.12	OK	-	-	-	-
SLB4 40_8	27.9040	0.53	OK	-	-	-	-
SLB4 40_8	29.2936	0.56	OK	-	-	-	-

Verificación de la relación Demanda/Capacidad de los disipadores SLB asignados piso 4 - Sector A							
Dirección X-X				Dirección Y-Y			
SLB asignado	Fuerza cortante actuante (Tn)	D/C	Condición (D/C<1.5)	SLB asignado	Fuerza cortante actuante (Tn)	D/C	Condición (D/C<1.5)
SLB4 40_8	7.3585	0.14	OK	SLB4 40_8	87.0224	1.47	OK
SLB4 40_8	7.3089	0.14	OK	SLB4 40_8	43.6291	0.83	OK
SLB4 40_8	8.3218	0.16	OK	SLB4 40_8	70.0903	1.34	OK
SLB4 40_8	8.5253	0.16	OK	SLB4 40_8	27.0101	0.52	OK
SLB4 40_8	2.2040	0.04	OK	-	-	-	-
SLB4 40_8	2.3400	0.04	OK	-	-	-	-
SLB4 40_8	28.9937	0.55	OK	-	-	-	-
SLB4 40_8	30.4237	0.58	OK	-	-	-	-

Verificación de la relación Demanda/Capacidad de los disipadores SLB asignados piso 1 - Sector B							
Dirección X-X				Dirección Y-Y			
SLB asignado	Fuerza cortante actuante (Tn)	D/C	Condición (D/C<1.5)	SLB asignado	Fuerza cortante actuante (Tn)	D/C	Condición (D/C<1.5)
SLB4 15_7	20.3953	0.95	OK	SLB4 15_7	4.6948	0.2184	OK
SLB4 15_7	19.7236	0.92	OK	SLB4 15_7	4.7168	0.2195	OK
SLB4 15_7	11.7705	0.55	OK	SLB4 15_7	17.5605	0.8171	OK
SLB4 15_7	11.5133	0.54	OK	SLB4 15_7	17.5089	0.8147	OK
SLB4 15_7	0.5432	0.03	OK	SLB4 15_7	27.5102	1.2800	OK
SLB4 15_7	-0.1458	-0.01	OK	SLB4 15_7	27.4129	1.2755	OK
SLB4 15_7	0.6374	0.03	OK	-	-	-	-
SLB4 15_7	-0.1401	-0.01	OK	-	-	-	-

Verificación de la relación Demanda/Capacidad de los disipadores SLB asignados piso 2 - Sector B							
Dirección X-X				Dirección Y-Y			
SLB asignado	Fuerza cortante actuante (Tn)	D/C	Condición (D/C<1.5)	SLB asignado	Fuerza cortante actuante (Tn)	D/C	Condición (D/C<1.5)
SLB4 25_7	27.7200	0.89	OK	SLB4 25_7	18.4954	0.60	OK
SLB4 25_7	26.3204	0.85	OK	SLB4 25_7	18.5588	0.60	OK
SLB4 25_7	15.0182	0.48	OK	SLB4 25_7	4.0650	0.13	OK
SLB4 25_7	14.6155	0.47	OK	SLB4 25_7	4.0876	0.13	OK
SLB4 25_7	21.3526	0.69	OK	SLB4 25_7	14.5232	0.47	OK
SLB4 25_7	19.9799	0.64	OK	SLB4 25_7	14.4681	0.47	OK
SLB4 25_7	7.6192	0.25	OK	SLB4 25_7	36.8820	1.19	OK
SLB4 25_7	6.2860	0.20	OK	SLB4 25_7	36.9397	1.19	OK

Verificación de la relación Demanda/Capacidad de los disipadores SLB asignados piso 3 - Sector B							
Dirección X-X				Dirección Y-Y			
SLB asignado	Fuerza cortante actuante (Tn)	D/C	Condición (D/C<1.5)	SLB asignado	Fuerza cortante actuante (Tn)	D/C	Condición (D/C<1.5)
SLB4 25_7	19.5640	0.63	OK	SLB4 25_7	20.0880	0.65	OK
SLB4 25_7	18.3047	0.59	OK	SLB4 25_7	20.1505	0.65	OK
SLB4 25_7	10.4156	0.34	OK	SLB4 25_7	1.6258	0.05	OK
SLB4 25_7	10.0125	0.32	OK	SLB4 25_7	1.6495	0.05	OK
SLB4 25_7	26.9550	0.87	OK	SLB4 25_7	7.6120	0.25	OK
SLB4 25_7	25.7430	0.83	OK	SLB4 25_7	7.5497	0.24	OK
SLB4 25_7	5.6541	0.18	OK	SLB4 25_7	41.8871	1.35	OK
SLB4 25_7	4.2757	0.14	OK	SLB4 25_7	41.9473	1.35	OK

Verificación de la relación Demanda/Capacidad de los disipadores SLB asignados piso 4 - Sector B							
Dirección X-X				Dirección Y-Y			
SLB asignado	Fuerza cortante actuante (Tn)	D/C	Condición (D/C<1.5)	SLB asignado	Fuerza cortante actuante (Tn)	D/C	Condición (D/C<1.5)
SLB4 25_7	16.8561	0.54	OK	SLB4 25_7	20.1780	0.65	OK
SLB4 25_7	9.3657	0.30	OK	SLB4 25_7	20.2428	0.65	OK
SLB4 25_7	6.105	0.20	OK	SLB4 25_7	-0.7386	-0.02	OK
SLB4 25_7	4.6372	0.15	OK	SLB4 25_7	-0.7104	-0.02	OK
SLB4 25_7	31.5202	1.02	OK	SLB4 25_7	0.8204	0.03	OK
SLB4 25_7	26.5254	0.85	OK	SLB4 25_7	0.7454	0.02	OK
SLB4 25_7	4.3953	0.14	OK	SLB4 25_7	41.9726	1.35	OK
SLB4 25_7	-0.9774	-0.03	OK	SLB4 25_7	42.0266	1.35	OK

Nota. Se muestran los resultados de la verificación de la relación Demanda/Capacidad de los dispositivos SLB asignados en los edificios de los sectores A y B. (Elaborado por el autor, 2025)

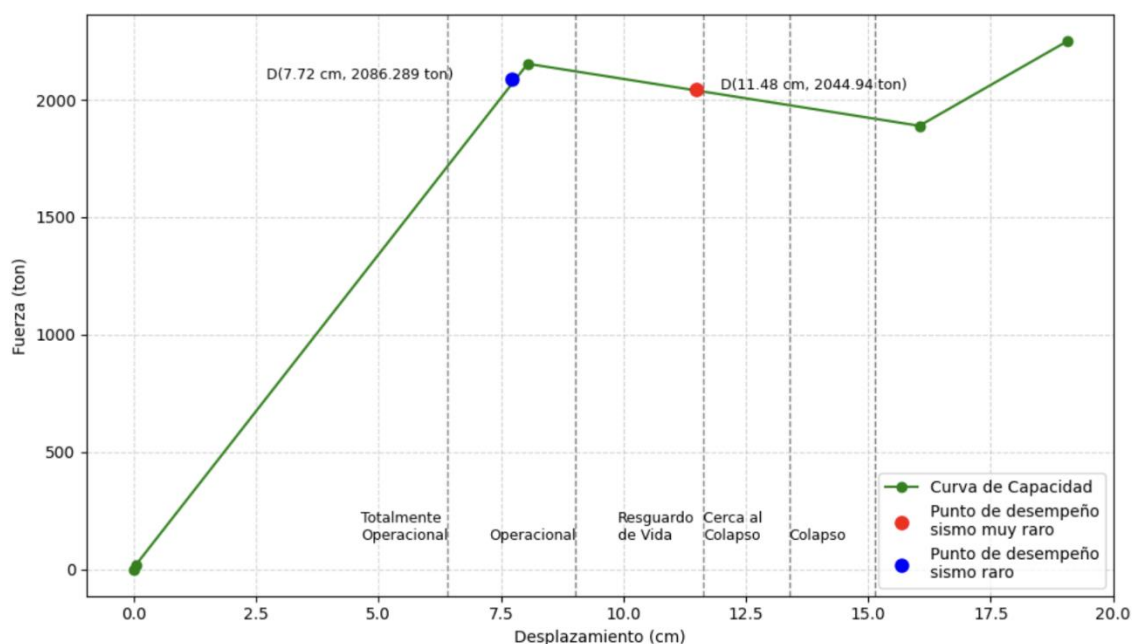
Tal como se logra apreciar en la tabla n°35, la relación D/C en cada uno de los dispositivos asignados no supera el 1.5 tal como indica Bozzo (2026). Luego del análisis no lineal Tiempo Historia de evaluará si es necesario cambiar algún dispositivo.

Por otro lado, es importante mencionar que, los disipadores asignados son de cuarta generación con conexión almenada, con deformación plástica a partir de los 0.2mm hasta una capacidad de deformación de $\pm 60\text{mm}$.

Análisis Estático No Lineal - Pushover del edificio implementando disipadores SLB.

Luego de realizar el análisis del modelo computacional, a partir de la figura n°52, se obtiene la curva de capacidad sectorizado según el SEAOC (1995) para el edificio del sector A implementando los disipadores SLB. Encontrándose el punto de desempeño a un desplazamiento de 7.72 cm asociado a una fuerza cortante de 2086.289 ton considerando un sismo raro, asimismo, la figura n.º91, muestra el punto de desempeño para un sismo muy raro, con un desplazamiento de 11.48 cm asociado a una fuerza cortante de 2044.94 ton. Además, se identifica que, de acuerdo con la tabla n.º4, para un sismo raro el nivel de desempeño para una edificación importante debe ser Operacional, mientras que, para un sismo muy raro el nivel de desempeño debe ser Resguardo de Vida, en la figura n°81 se observa que con la implementación de los dispositivos SLB se logra alcanzar dichos niveles de desempeño

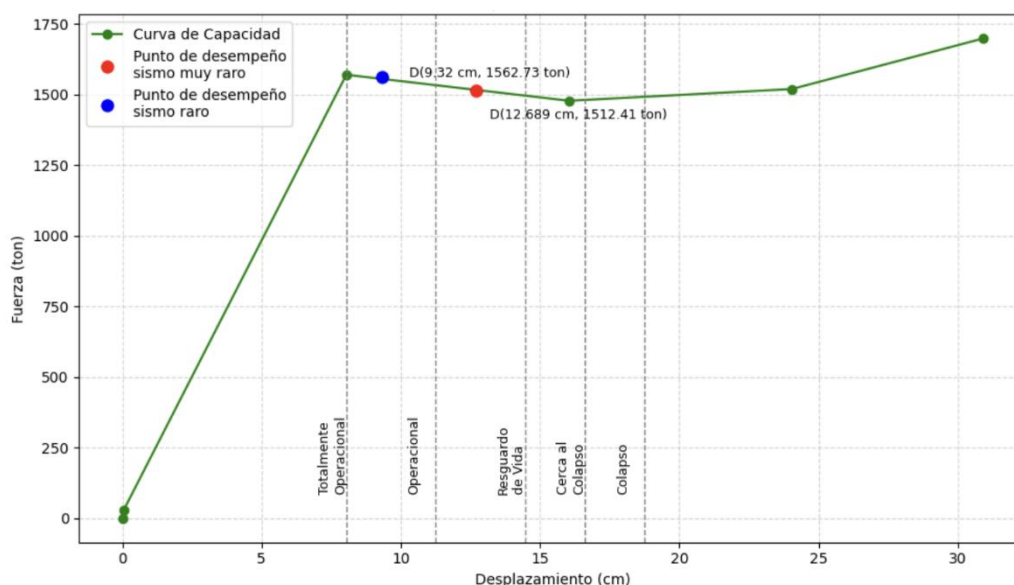
Figura 91. Curva de capacidad – Edificio Sector A – Implementando Disipadores SLB



Nota: Se muestra la curva de capacidad implementando los disipadores SLB para un sismo raro y muy raro. (Elaborado por el autor, 2025)

Luego, la figura n°92 muestra la curva de capacidad del edificio del Sector B implementando los dispositivos SLB, encontrándose el punto de desempeño a un desplazamiento de 9.32 cm asociado a una fuerza cortante de 1562.73 ton considerando un sismo raro, el nivel de desempeño es Operacional, por otro lado, para un sismo considerado muy raro el punto de desempeño ocurre a un desplazamiento de 12.689 cm asociado a fuerza cortante de 1512.41 ton observándose que el nivel desempeño se encuentra en Resguardo de vida, lo cual muestra que la implementación de los dispositivos SLB logran garantizar una mejor respuesta estructural del edificio.

Figura 92. *Curva de capacidad – Edificio Sector B – Implementando Disipadores SLB*



Nota: Se muestra la curva de capacidad implementando los disipadores SLB para un sismo raro y muy raro. (Elaborado por el autor, 2025)

Análisis Tiempo Historia No Lineal del edificio implementando disipadores SLB

Para el análisis Tiempo historia implementando los disipadores SLB se realizó el mismo procedimiento utilizado para el análisis del edificio en estado actual, se utilizó los 4 registros sísmicos seleccionados previamente considerando ahora para el análisis sólo el estudio del caso 2 (100% de la fuerza sísmica (NS) en la dirección X y 100% de la fuerza sísmica (EW) en la dirección Y) en ambos sectores del edificio. Además, en este caso el modelo computacional consideró los parámetros bilineales para cada serie del disipador SLB asignados para cada sector del edificio, la tabla n°34 muestra los parámetros utilizados para el análisis. Asimismo, para el análisis dinámico modal espectral se consideró los mismos parámetros sísmicos iniciales.

Tabla 40. *Control de derivas A.N.L. – TH – Sector A – Dirección X – Implementado los disipadores SLB*

Piso	Sismo Dinámico E-030	Lima 2025	Lircay 2026	Tocache 2017	Yurimaguas 2022
5	0.002567	0.002821	0.002684	0.002635	0.002979
4	0.002945	0.003321	0.003117	0.003118	0.003421
3	0.003344	0.003887	0.003500	0.003677	0.003963
2	0.003239	0.003824	0.003241	0.003673	0.004034
1	0.001764	0.002033	0.001750	0.001970	0.002217

Nota: Elaborado por el autor, 2025

Tabla 41. *Control de derivas A.N.L. – TH – Sector A – Dirección Y – Implementado los disipadores SLB*

Piso	Sismo Dinámico E-030	Lima 2025	Lircay 2026	Tocache 2017	Yurimaguas 2022
5	0.002058	0.001907	0.002144	0.002040	0.001927
4	0.002079	0.002387	0.002062	0.002353	0.001970
3	0.002468	0.002877	0.002558	0.003042	0.002434
2	0.002604	0.003333	0.002691	0.003345	0.002967
1	0.001596	0.002147	0.001698	0.002065	0.001925

Nota: Elaborado por el autor, 2025

Tabla 42. *Control de derivas A.N.L. – TH – Sector B – Dirección X – Implementado los disipadores SLB*

Piso	Sismo Dinámico E-030	Lima 2025	Lircay 2026	Tocache 2017	Yurimaguas 2022
5	0.001508	0.001655	0.001972	0.001962	0.001919
4	0.001773	0.002126	0.002192	0.002210	0.002161
3	0.002277	0.002731	0.002537	0.002479	0.002667
2	0.002628	0.003381	0.003091	0.002684	0.003439
1	0.001868	0.002342	0.002145	0.001853	0.002595

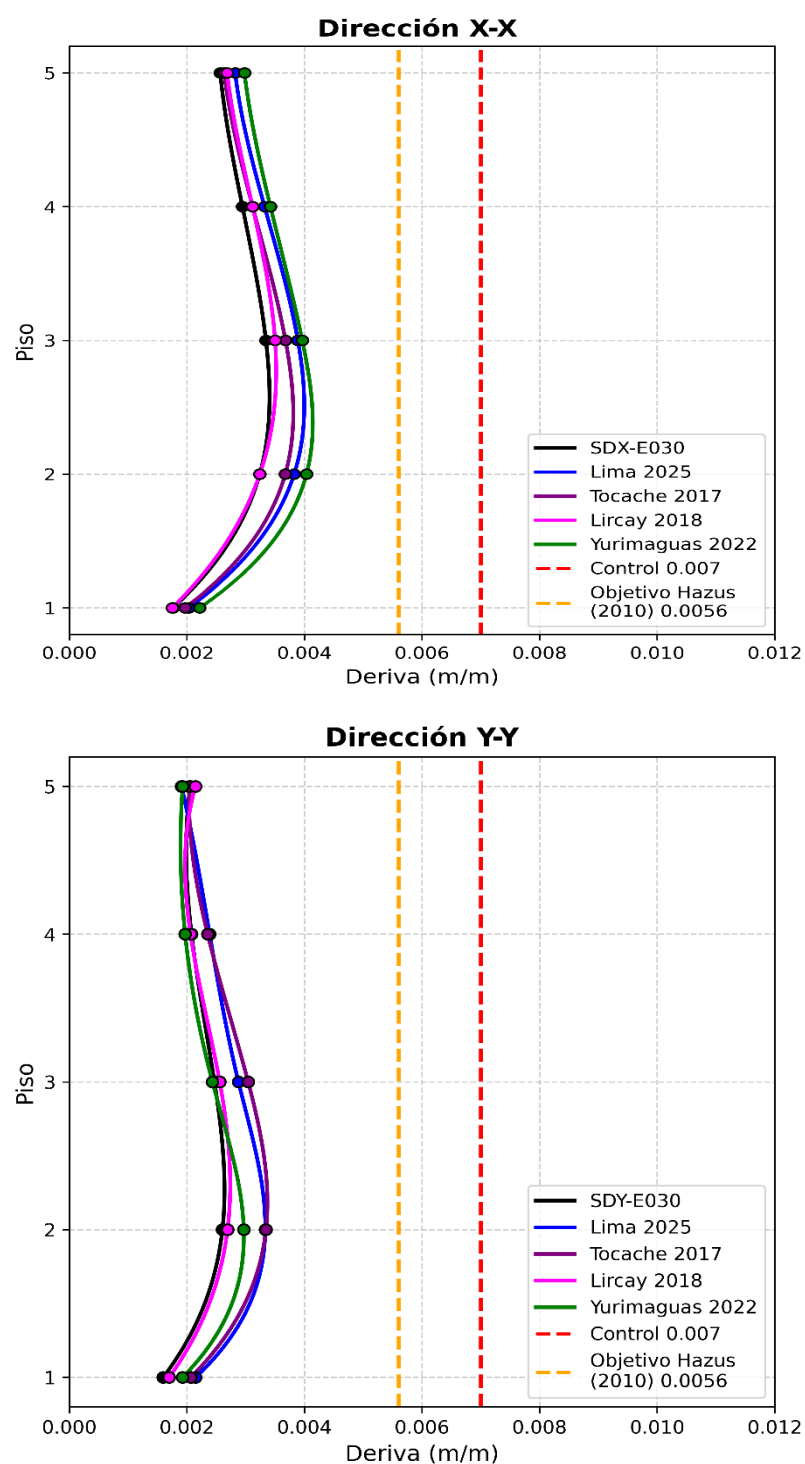
Nota: Elaborado por el autor, 2025

Tabla 43. *Control de derivas A.N.L. – TH – Sector B – Dirección Y – Implementado los disipadores SLB*

Piso	Sismo Dinámico E-030	Lima 2025	Lircay 2026	Tocache 2017	Yurimaguas 2022
5	0.002259	0.001942	0.002345	0.002234	0.001924
4	0.002304	0.002100	0.002440	0.002459	0.002149
3	0.002732	0.002603	0.002793	0.002915	0.002681
2	0.002993	0.003021	0.003188	0.003192	0.003164
1	0.001674	0.001967	0.001908	0.001883	0.001901

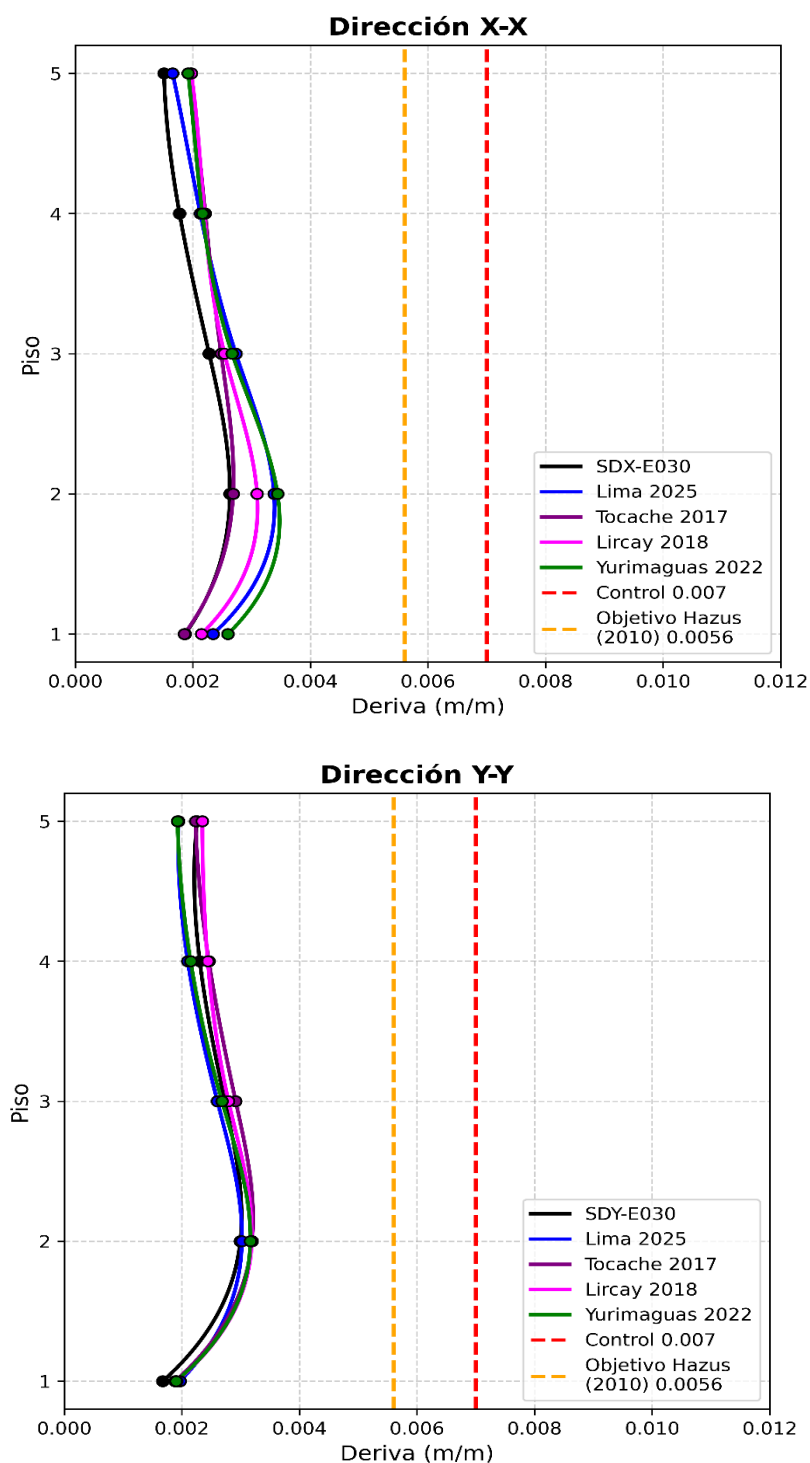
Nota: Elaborado por el autor, 2025

Figura 93. Control de derivas – Sector A – A.N.L. T.H. – Implementando los disipadores SLB.



Nota: Se muestra las derivas de entrepiso del edificio del Sector A para el A.N.L. T.H. implementando los disipadores SLB en ambas direcciones. (Elaborado por el autor, 2025)

Figura 94. Control de derivas – Sector B – A.N.L. T.H. – Implementando los disipadores SLB.



Nota: Se muestra las derivas de entrepiso del edificio del Sector A para el A.N.L. T.H. implementando los disipadores SLB en ambas direcciones. (Elaborado por el autor, 2025)

En las figuras n°93 y 94, se puede apreciar que para ambos sectores A y B, la respuesta estructural mejora, notándose que se encuentran muy por debajo del control de derivas que establece la Norma E030 y la deriva objetivo según Hazus (2010). Asimismo, la tabla n°38 muestra los máximos desplazamientos obtenidos con cada registro sísmico luego del A.N.L. TH.

Tabla 44. *Desplazamientos máximos implementado los disipadores SLB*

Registro	Sector A	Sector B
Lima 2025	7.433	8.837
Lircay 2026	8.049	9.453
Tocache 2017	8.503	10.521
Yurimaguas 2022	7.790	9.208
Promedio	7.944	9.505

Nota: Se muestra los máximos desplazamientos del edificio en ambos sectores A y B luego del análisis no lineal TH implementando los disipadores SLB. (Elaborado por el autor, 2025)

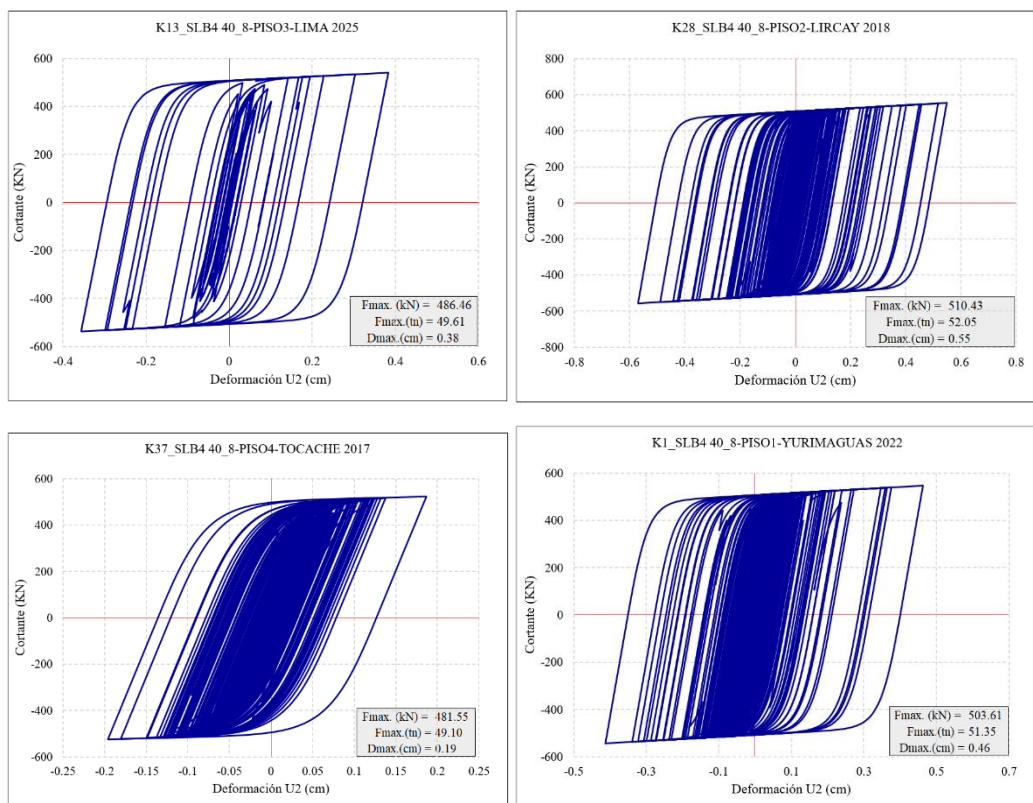
La tabla precedente, muestra los desplazamientos máximos obtenidos luego de realizar el análisis no lineal TH implementando los disipadores SLB, notándose un desplazamiento promedio de 7.944 cm para el edificio del sector A, el cual mantiene a la estructura a un estado de daño Operacional, asimismo, el desplazamiento promedio para el edificio del sector B es de 9.505 cm, de igual forma, este desplazamiento no supera el punto de desempeño de la edificación, manteniéndolo a un estado de daño Operacional.

Verificación de fuerza cortante en los Dispositivos SLB implementados.

Para lograr optimizar el desempeño de cada dispositivo, se realizó la verificación de la fuerza cortante actuante en cada disipador mediante la curva de

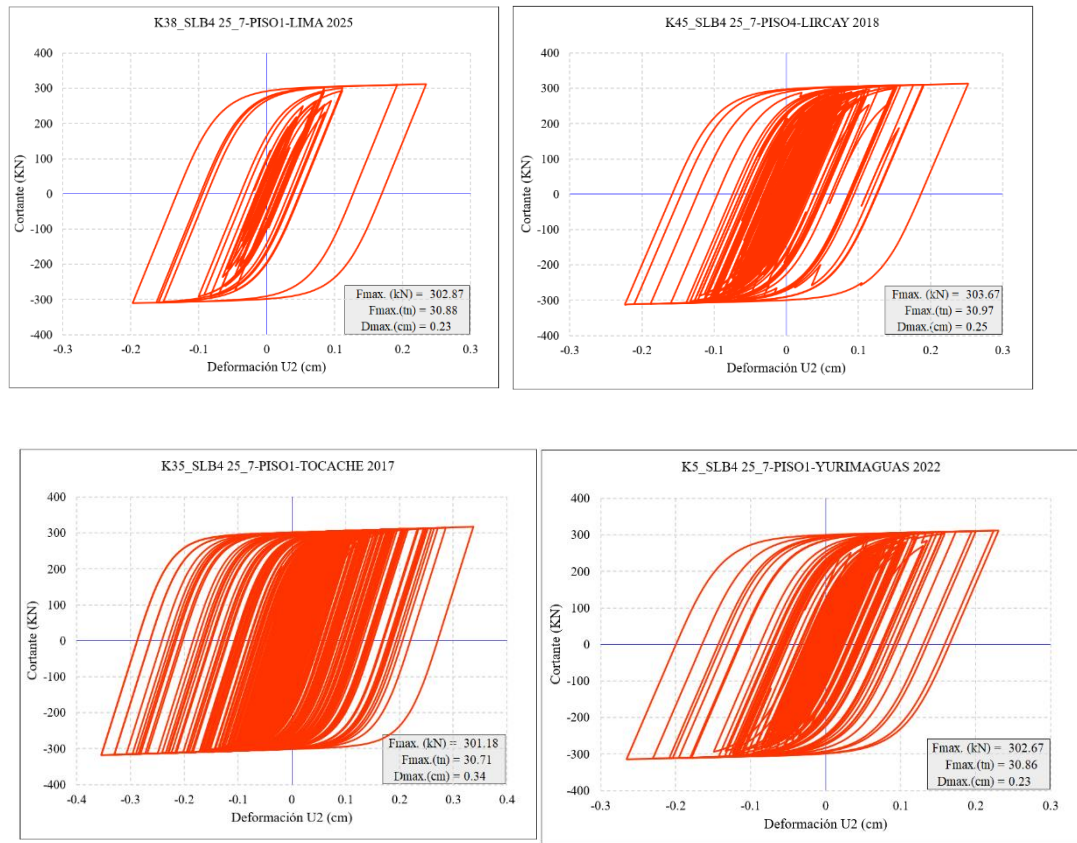
histéresis. La figura n°95 y 96, muestran la curva histerética de algunos de los disipadores SLB instalados en los edificios de los sectores A y B, respectivamente, para cada uno de los registros sísmicos utilizados.

Figura 95. *Curva histerética Disipador SLB-Sector A.*



Nota: Se muestra la curva histerética de los disipadores SLB instalados en el edificio del Sector A. (Elaborado por el autor, 2025)

Figura 96. Curva histerética Disipador SLB-Sector B.



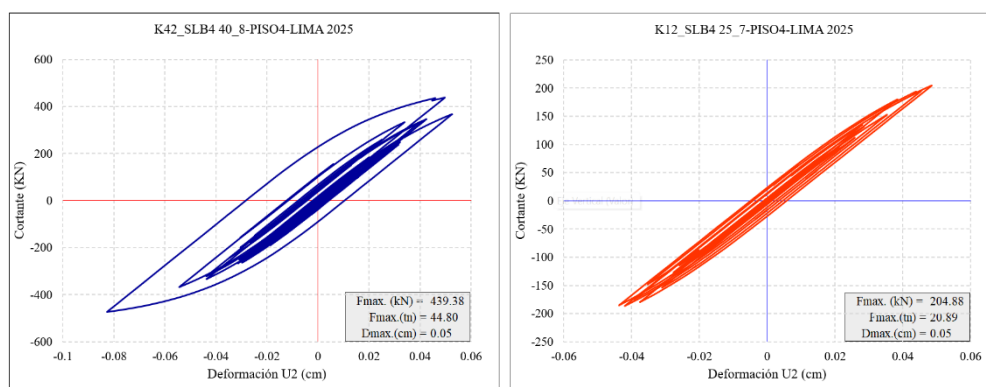
Nota: Se muestra la curva histerética de los disipadores SLB instalados en el edificio del Sector B. (Elaborado por el autor, 2025)

Las figuras anteriores muestran una curva de histéresis con un comportamiento adecuado y preestablecido, como se ve en la figura n°42, muy similar al modelo plástico de Wen.

Asimismo, se puede observar para el caso de los disipadores instalados en el edificio del Sector A (SLB4_40_8, $F_y = 512.48$ kN), la máxima fuerza es 510.43kN, el cual es menor a la fuerza de fluencia del disipador. Por otro lado, para los disipadores del edificio del Sector B (SLB4_25_7, $F_y = 304.31$ kN) se tiene una fuerza máxima de 303.67 kN, el cual también es menor a la fuerza de fluencia del disipador, sin embargo, estos resultados, pueden ser aún más optimizados ya que las fuerzas actuantes, no difieren en gran magnitud a la fuerza de fluencia del disipador. Asimismo, durante la

verificación se observó que no todos los dispositivos mostraban un comportamiento bueno, los cuales fueron optimizados en las iteraciones realizadas. La figura n°97, muestra los resultados obtenidos de los disipadores que no muestran un comportamiento adecuado ni logran desarrollar una curva histerética deseada (Modelo plástico de Wen).

Figura 97. Curva histerética con un comportamiento no deseado.



Nota: Se muestra la curva histerética con un comportamiento no deseado de los disipadores SLB instalados en el edificio del Sector A(azul) y el Sector B (rojo). (Elaborado por el autor, 2025)

Además, de la figura n°96, se observa que los disipadores instalados no muestran un comportamiento deseado con el modelo plástico de Wen, a esto se puede sumar, además, que la disipación de energía sería mínima.

Balance energético

A continuación, la figura n°98 y 99 muestran cómo se da la disipación de la energía por los disipadores instalados para los diferentes registros sísmicos empleados.

Figura 98. *Energía disipada por los disipadores SLB – Sector A*

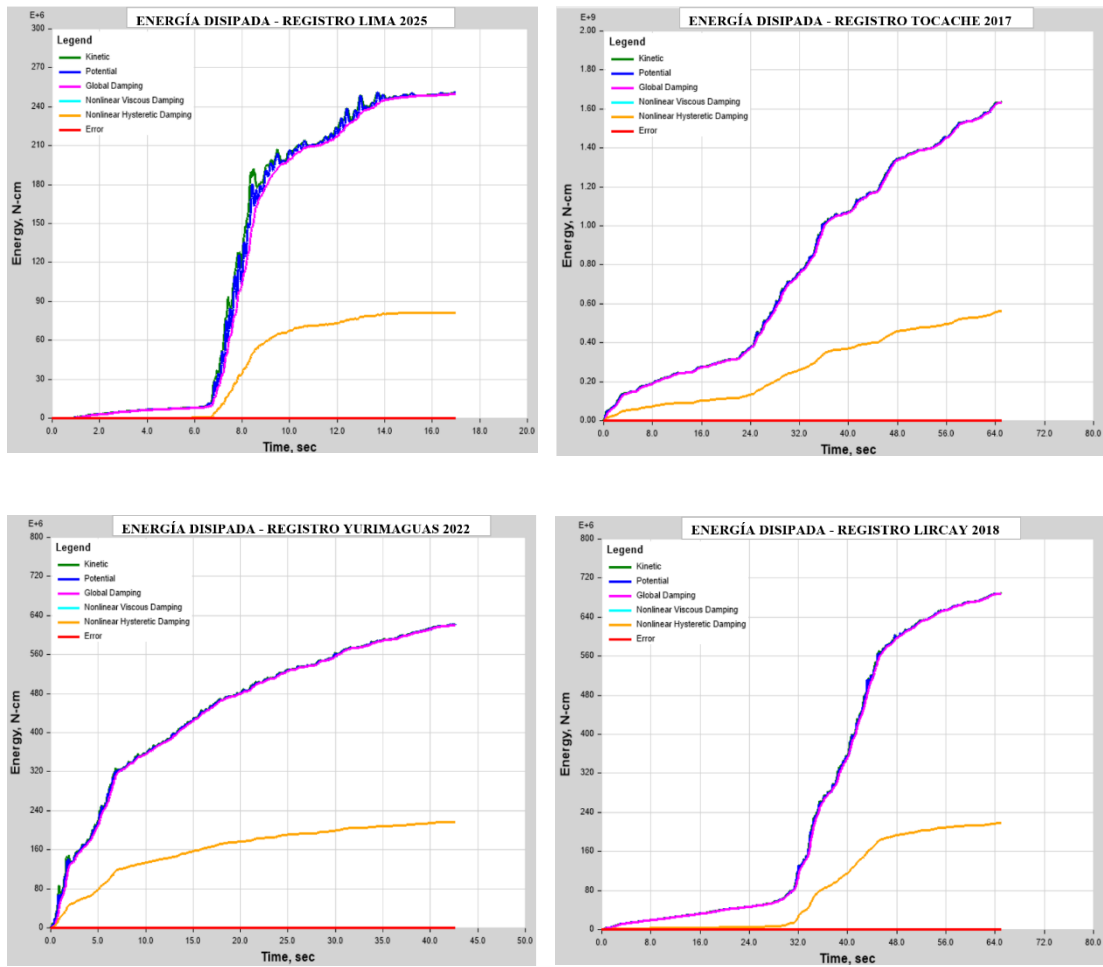
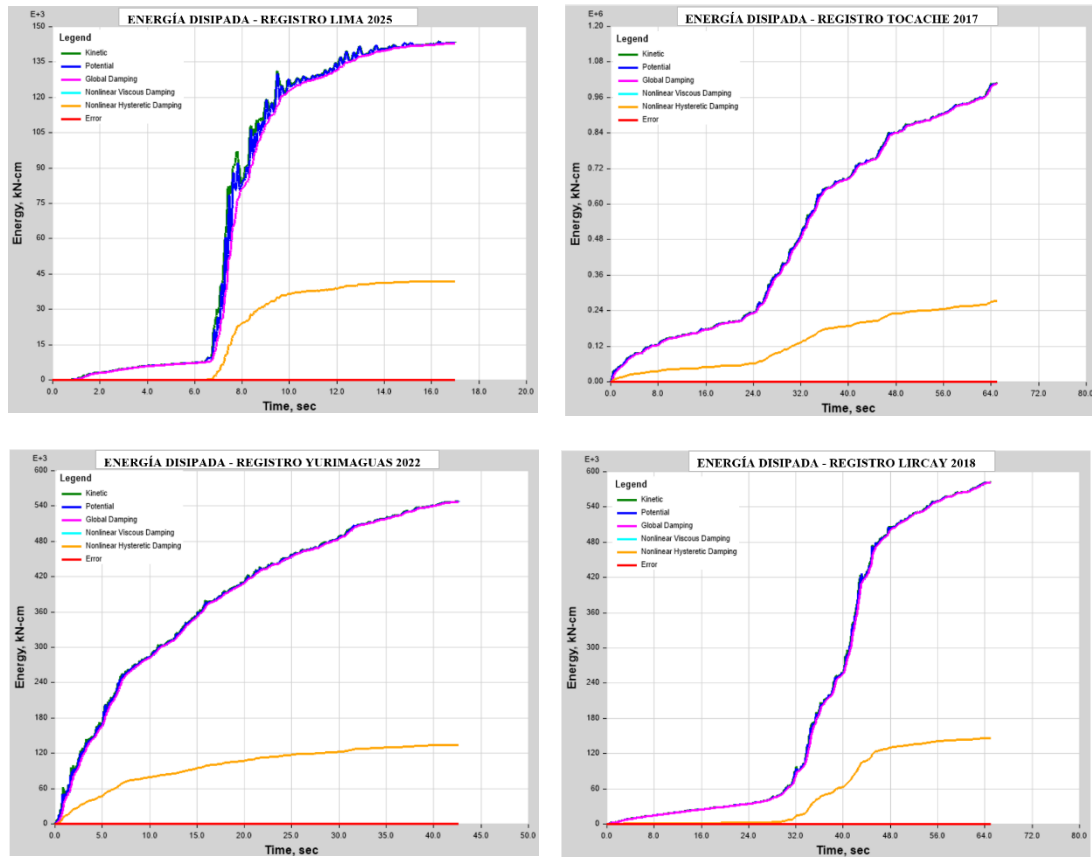


Figura 99. *Energía disipada por los disipadores SLB – Sector B*



Nota: Se muestra la energía disipada por los disipadores SLB en cada Sector del edificio para cada registro sísmico empleado. (Elaborado por el autor, 2025)

Dónde, la energía cinética E_c (línea verde), energía potencial E_p (línea azul) y la energía disipada por los disipadores SLB E_D (línea naranja) garantizan un balance de energía adecuado, cumpliendo con la Ecuación 2.2. del balance de energía. La tabla n°41 y 42 muestran los porcentajes de participación de cada tipo de energía para los diferentes registros sísmicos empleados.

Tabla 45. Componentes de energía – Edificio Sector A

Registro sísmico	Energía de Ingreso	Energía cinética		Energía potencial		Energía de amortiguamiento		Energía del disipador	
	tonf-m	tonf-m	%	tonf-m	%	tonf-m	%	tonf-m	%
Lima 2025	255.98	34.57	13.51 %	34.08	13.31 %	171.67	67.06 %	83.10	32.47 %
Tocache 2017	1666.91	36.87	2.21 %	40.89	2.45 %	1093.21	65.58 %	571.92	34.31 %
Yurimaguas 2022	634.07	39.23	6.19 %	38.42	6.06 %	411.78	64.94 %	221.04	34.86 %
Lircay 2026	702.11	22.86	3.26 %	30.92	4.40 %	479.82	68.34 %	221.74	31.58 %

Tabla 46. Componentes de energía – Edificio Sector B

Registro sísmico	Energía de Ingreso	Energía cinética		Energía potencial		Energía de amortiguamiento		Energía del disipador	
	tonf-m	tonf-m	%	tonf-m	%	tonf-m	%	tonf-m	%
Lima 2025	146.50	31.57	21.55 %	26.90	18.36 %	103.19	70.44 %	42.60	29.08 %
Tocache 2017	1029.40	23.91	2.32 %	26.12	2.54 %	748.29	72.69 %	277.41	26.95 %
Yurimaguas 2022	558.83	29.34	5.25 %	28.90	5.17 %	421.01	75.34 %	137.01	24.52 %
Lircay 2026	593.75	27.20	4.58 %	23.32	3.93 %	443.71	74.73 %	149.44	25.17 %

Nota: Elaborado por el autor, 2025

Como se logra apreciar en las tablas n°29 y 30, para los diferentes registros sísmicos se generan variación en la magnitud absoluta de la energía de ingreso, asimismo, se mantiene una distribución coherente entre las componentes en la distribución de energía, lo que indica un comportamiento estable con la implementación de los dispositivos SLB.

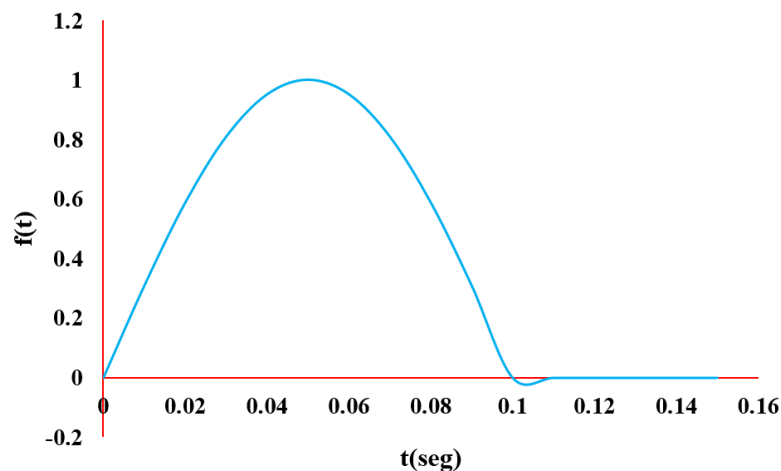
Control de amortiguamiento

En este apartado se verifica si la implementación de los disipadores SLB incrementa el amortiguamiento global de la edificación y, de ser el caso, aplicar el factor de reducción B al espectro de diseño, el cual está en función del amortiguamiento viscoso equivalente (β_{eq}) definido en la Ec. 43.

En ese sentido, para obtener el amortiguamiento viscoso equivalente (β_{eq}), se introdujo al modelo computacional, un análisis de vibración libre tipo pulso con una señal de excitación con una función de seno medio definido mediante la ecuación:

$$f(t) = A \sin\left(\frac{\pi t}{T_p}\right) \quad (52)$$

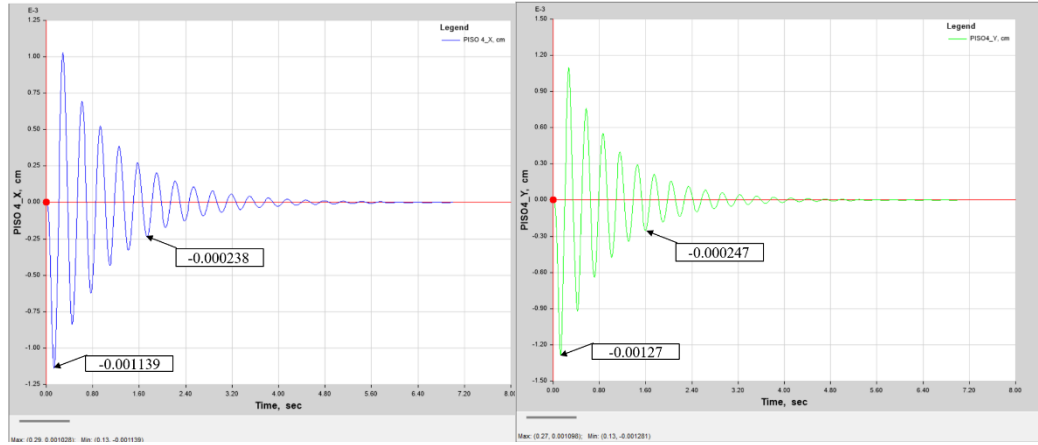
Figura 100. *Función de excitación seno medio*



Nota: Se muestra la función de excitación de ingreso. (Elaborado por el autor, 2025)

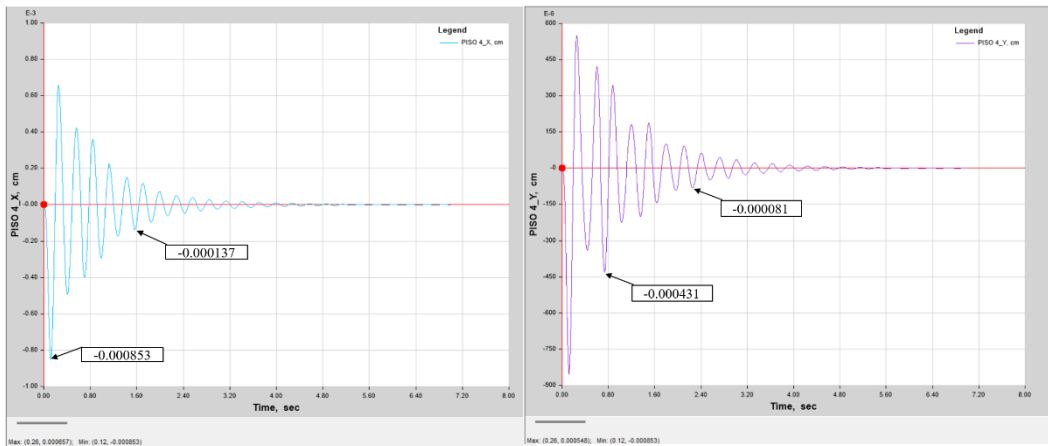
La figura n°100 muestra la función de excitación de ingreso para generar el análisis de vibración libre en ambos sectores del edificio. Luego de haber ingresado la función de excitación, se obtiene la curva de respuesta de desplazamiento.

Figura 101. Decremento logarítmico edificio sector A



Nota: Se muestra el decremento logarítmico del edificio sector A, en la dirección x (línea azul) y la dirección y (línea verde). (Elaborado por el autor, 2025)

Figura 102. Decremento logarítmico edificio sector B



Nota: Se muestra el decremento logarítmico del edificio sector B, en la dirección x (línea celeste) y la dirección y (línea morada). (Elaborado por el autor, 2025)

Luego de haber realizado el análisis de vibración libre en ambos sectores del edificio, mediante la ecuación 53 se obtiene el amortiguamiento viscoso equivalente (β_{eq}), dónde n representa el número de ciclos de análisis, X_o y X_n representan los desplazamientos máximos en cada ciclo.

$$\frac{1}{n} \ln\left(\frac{X_o}{X_n}\right) = \frac{2\pi\beta}{\sqrt{1-\beta^2}} \quad (53)$$

Para ambos edificios, se analiza el desplazamiento al quinto ciclo de la respuesta armónica, luego, reemplazando los datos se tiene el amortiguamiento viscoso equivalente (β_{eq}) en cada dirección para cada sector del edificio.

Tabla 47. *Amortiguamiento viscoso equivalente edificio sector A*

Dirección de análisis	n	Xo	Xn	β_{eq}
X	5	0.001139	0.00023	5.086%
Y	5	0.001277	0.000247	5.222%

Tabla 48. *Amortiguamiento viscoso equivalente edificio sector B*

Dirección de análisis	n	Xo	Xn	β_{eq}
X	5	0.000853	0.000137	5.811%
Y	5	0.000431	0.000081	5.314%

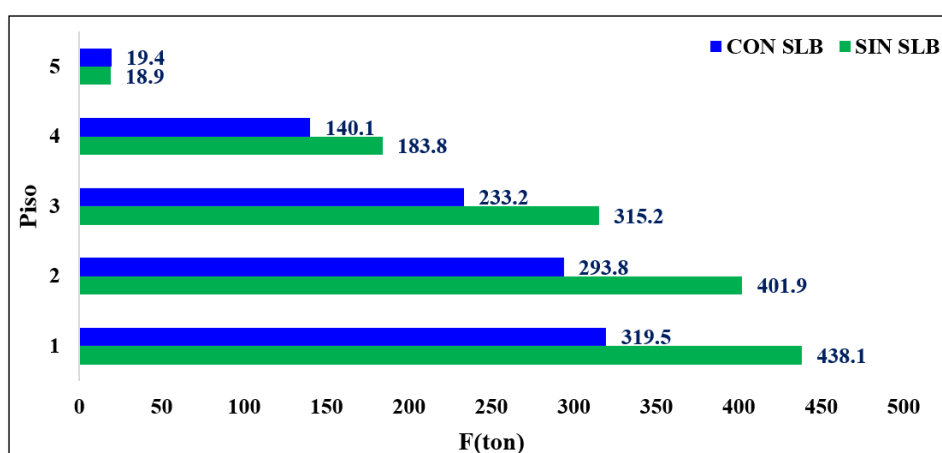
Nota: Elaborado por el autor, 2025

Luego, para determinar el amortiguamiento añadido por los disipadores SLB, se utiliza la ecuación 43, para el caso del edificio del sector A el amortiguamiento efectivo es de 0.086% en la dirección X y 0.222% en la dirección Y, asimismo, para el edificio del sector B el amortiguamiento efectivo es de 0.811% en la dirección X y 0.314% en la dirección Y, notándose en ambos casos que la implementación de los disipadores SLB no incrementan el amortiguamiento a la edificación ni en 1%, por lo tanto, el espectro de diseño se mantiene constante para el caso de diseño de los elementos.

Verificación de cortante basal

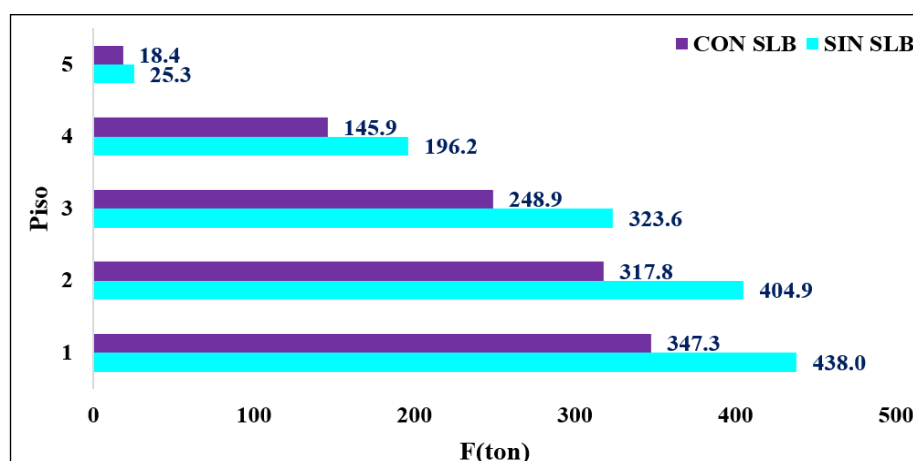
A continuación, se muestra los resultados de la cortante basal, sin la implementación de los disipadores SLB y con la implementación de los disipadores SLB para cada edificio del sector A y B.

Figura 103. Cortante basal edificio sector A – dirección X



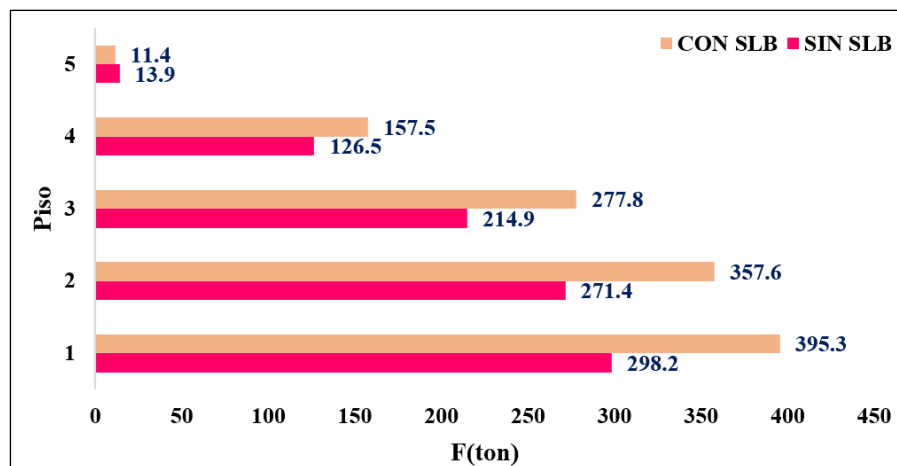
Nota: Se muestra el valor de las cortantes basales para ambos casos, con y sin la implementación de los disipadores SLB. (Elaborado por el autor, 2025)

Figura 104. Cortante basal edificio sector A – dirección Y



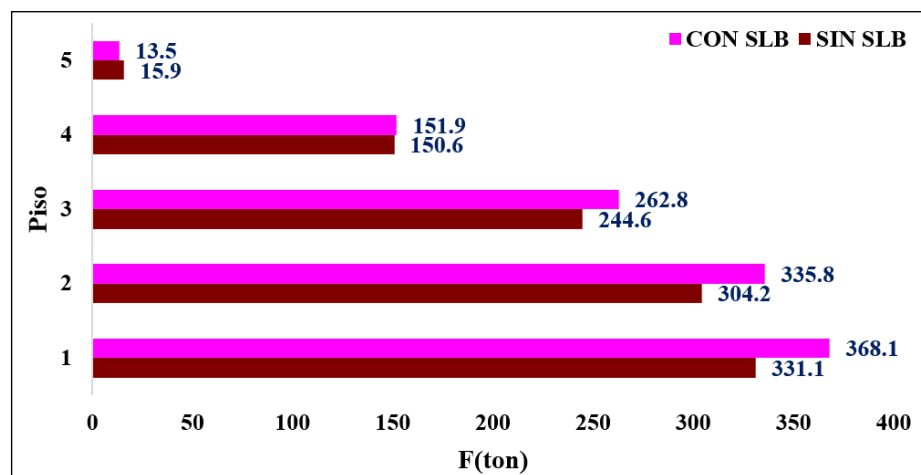
Nota: Se muestra el valor de las cortantes basales para ambos casos, con y sin la implementación de los disipadores SLB. (Elaborado por el autor, 2025)

Figura 105. Cortante basal edificio sector B – dirección X



Nota: Se muestra el valor de las cortantes basales para ambos casos, con y sin la implementación de los disipadores SLB. (Elaborado por el autor, 2025)

Figura 106. Cortante basal edificio sector B – dirección Y



Nota: Se muestra el valor de las cortantes basales para ambos casos, con y sin la implementación de los disipadores SLB. (Elaborado por el autor, 2025)

De las imágenes precedentes se aprecia, para el caso del edificio del sector A, la fuerza cortante en la base se reduce en ambas direcciones en X y Y en porcentajes promedio de 27 y 20% respectivamente con la implementación de los disipadores SLB, lo que da entender que disipación de energía se realiza de manera satisfactoria disminuyendo la demanda sísmica, por otro lado, para el edificio del sector B, la fuerza de la cortante basal se incrementa en porcentajes del 32 y 11% en la direcciones X y Y,

respectivamente, lo cual, no indica que el diseño esté mal, sino más bien, el incremento de la rigidez lateral, y en consecuencia mayor fuerza en la base, sin embargo, el porcentaje añadido de fuerza cortante son absorbidas por los disipadores sin transferir esfuerzos a la estructura principal, garantizando una correcta disipación de energía.

Verificación de masa participativa

La verificación de la masa participativa se realizará para identificar la variación del periodo fundamental y la acumulación modal de la masa, para ambos sectores se define un mínimo de 15 modo de vibración.

Tabla 49. *Masa participativa edificio sector A – sin SLB*

Caso de análisis	Modo	Periodo	UX	UY	SumUX	SumUY
		seg				
Modal	1	0.5	0.00930	0.7511	0.93%	75.11%
Modal	2	0.441	0.74900	0.0077	89.70%	88.16%
Modal	3	0.366	0.02790	0.0012	91.31%	90.33%
Modal	4	0.141	0.01370	0.1215	92.71%	90.37%
Modal	5	0.131	0.09720	0.0217	95.38%	92.23%
Modal	6	0.104	0.01610	0.0004	95.94%	94.60%
Modal	7	0.075	0.01400	0.0186	96.56%	95.90%
Modal	8	0.064	0.02670	0.0237	97.22%	96.39%
Modal	9	0.057	0.00560	0.0131	98.57%	97.26%
Modal	10	0.051	0.00620	0.0048	98.57%	97.42%
Modal	11	0.04	0.00660	0.0088	98.73%	98.80%
Modal	12	0.038	0.01350	0.0015	98.88%	98.88%
Modal	13	0.033	0.00000	0.0138	98.96%	98.98%
Modal	14	0.032	0.00160	0.0008	99.18%	99.12%
Modal	15	0.026	0.00150	0	99.46%	99.28%

Tabla 50. Masa participativa edificio sector A – con SLB

Caso de análisis	Modo	Periodo	UX	UY	SumUX	SumUY
		seg				
Modal	1	0.371	0.018	0.769800	1.80%	76.98%
Modal	2	0.352	0.6932	0.016500	71.13%	78.63%
Modal	3	0.255	0.066	0.001400	77.72%	78.77%
Modal	4	0.122	0.003	0.117300	90.73%	90.50%
Modal	5	0.109	0.1271	0.002900	91.36%	90.79%
Modal	6	0.087	0.0063	0.002100	92.34%	91.01%
Modal	7	0.075	0.0098	0.019200	93.99%	92.92%
Modal	8	0.061	0.0165	0.026200	96.71%	95.54%
Modal	9	0.054	0.0272	0.008600	96.75%	96.40%
Modal	10	0.05	0.0005	0.002900	97.10%	96.69%
Modal	11	0.042	0.0035	0.008800	98.67%	97.57%
Modal	12	0.038	0.0157	0.000900	98.68%	97.66%
Modal	13	0.035	0.0001	0.012400	98.81%	98.90%
Modal	14	0.034	0.0013	0.000700	98.97%	98.97%
Modal	15	0.027	0.0016	0.000004	98.99%	98.97%

Nota: Elaborado por el autor, 2025

De las tablas precedentes, se observa que la implementación de los disipadores SLB disminuyen el periodo fundamental, además, mejora la participación modal traslacional, superando el 90% a partir del tercer modo en la dirección X y en la dirección Y, lo cual muestra una correcta representación del comportamiento dinámico, asimismo, la variación en la distribución de masas modales sucede debido al cambio en la rigidez lateral y el poco incremento del amortiguamiento inducido por los disipadores SLB, por lo tanto, vuelve a la estructura menos flexible pero con la rigidez necesaria para disipar la energía sísmica.

Tabla 51. Masa participativa edificio sector B – sin SLB

Caso de análisis	Modo	Periodo seg	UX	UY	SumUX	SumUY
Modal	1	0.547	0.2298	0.33800	22.98%	33.80%
Modal	2	0.409	0.3426	0.36260	86.95%	78.51%
Modal	3	0.243	0.1831	0.03160	87.92%	89.84%
Modal	4	0.154	0.0591	0.05280	93.78%	91.00%
Modal	5	0.109	0.055	0.11330	94.90%	92.04%
Modal	6	0.075	0.0097	0.01160	95.71%	95.50%
Modal	7	0.068	0.0586	0.01040	96.07%	95.89%
Modal	8	0.056	0.0113	0.03460	97.60%	96.74%
Modal	9	0.046	0.0081	0.00390	97.67%	96.98%
Modal	10	0.043	0.0036	0.00860	97.67%	98.27%
Modal	11	0.037	0.0153	0.00240	97.68%	98.27%
Modal	12	0.035	0.0007	0.01290	97.81%	98.27%
Modal	13	0.029	0.0000	0.00000	97.81%	98.29%
Modal	14	0.028	0.0001	0.00000	97.89%	98.31%
Modal	15	0.026	0.0013	0.00020	98.15%	98.49%

Tabla 52. Masa participativa edificio sector B – con SLB

Caso de análisis	Modo	Periodo seg	UX	UY	SumUX	SumUY
Modal	1	0.332	0.007800	0.672300	0.78%	67.23%
Modal	2	0.309	0.739500	0.020400	80.01%	69.27%
Modal	3	0.223	0.040300	0.084000	90.67%	77.67%
Modal	4	0.11	0.012600	0.093500	93.05%	90.47%
Modal	5	0.096	0.106600	0.034500	94.23%	90.91%
Modal	6	0.069	0.023800	0.004400	96.02%	94.58%
Modal	7	0.064	0.011800	0.036700	96.36%	95.67%
Modal	8	0.055	0.018000	0.011000	97.14%	96.71%
Modal	9	0.047	0.003300	0.010300	98.05%	97.02%
Modal	10	0.043	0.007800	0.003100	98.39%	97.46%
Modal	11	0.039	0.009200	0.004400	98.39%	98.56%
Modal	12	0.036	0.003400	0.010900	98.70%	98.56%
Modal	13	0.032	0.000002	0.000009	98.72%	98.73%
Modal	14	0.029	0.003000	0.001700	98.88%	98.73%
Modal	15	0.028	0.000021	0.000044	98.88%	98.73%

Nota: Elaborado por el autor, 2025

De la misma forma, se observa que la implementación de los disipadores SLB disminuyen el periodo fundamental, mejorando la participación modal traslacional,

superando el 90% a partir del tercer modo en la dirección X y del cuarto modo en la dirección Y.

Verificación de la ductilidad

En el sector A, la ductilidad pasó de 3.198 a 2.727, mientras que en el sector B, aumentó de 1.981 a 2,799. Esta reducción se debe principalmente al incremento de la rigidez estructural que proporcionan los disipadores, los cuales restringen los desplazamientos laterales y limitan las deformaciones inelásticas de los elementos resistentes. Sin embargo, este comportamiento no significa que esté mal, sino que, la disminución de la ductilidad global es compensada por la capacidad de disipación de energía localizada en los dispositivos, los cuales concentran la respuesta no lineal del sistema. En ese sentido, la estructura mantiene un comportamiento estable, reduciendo daños en los elementos principales y mejorando su desempeño sísmico.

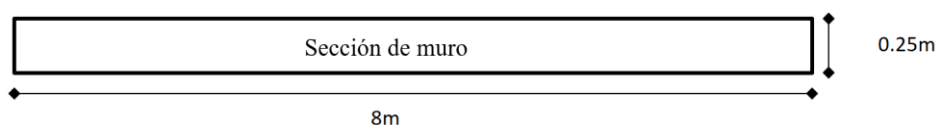
Diseño de muro desacoplado

Con el fin académico de realizar el costo de reforzamiento, se realiza el diseño del muro desacoplado. Para realizar el diseño del muro desacoplado para el edificio del sector A, se consideró el muro W25 del primer piso, asimismo, para el diseño del muro desacoplado para el edificio del sector B, se consideró el muro W41 del primer piso, manteniendo el diseño para los muros continuos superiores en ambos edificios.

Muro desacoplado Sector A

Considerando

$f'_c =$	210.00	kg/cm ²	Resistencia del concreto
$f_y =$	4200.00	kg/cm ²	Fluencia del acero
$L =$	8.00	m	Longitud del muro
$t =$	0.25	m	Espesor del muro
$PD =$	14.00	ton	Carga muerta
$PL =$	10.00	ton	Carga viva
$H_m =$	3.50	m	Altura total del muro
$P_u =$	20.00	ton	Carga ultima
$M_u =$	16.88	ton-m	Momento ultima
$V_u =$	56.27	ton	Cortante ultima



Relación de esbeltez: $H_w/L_w > 2$, entonces, para $H_w = 3.50$ y $L_w = 8.00$ se tiene una relación de esbeltez igual a $0.437 > 2$, del cual se entiende que el muro estructural no es esbelto, dónde el comportamiento predominante es a cortante, por lo tanto, las deformaciones por flexión no son demasiado importantes gracias a la rigidez lateral del muro, en ese sentido, no se realizará la verificación por flexocompresión ya que los esfuerzos axiales y de flexión no gobiernan su comportamiento resistente.

Verificación de elementos de borde: Para la verificación de requerimiento de elementos de borde se toma como criterio de evaluación el artículo 21.9.7.5. de la norma peruana E060.

Los muros estructurales que no sean diseñados de acuerdo con las disposiciones de 21.9.7.4 deben tener elementos confinados en los bordes y alrededor de las aberturas cuando el esfuerzo de compresión máximo de la fibra extrema correspondiente a las

fuerzas amplificadas incluyendo los efectos sísmicos, sobrepase de 0,2 f'c. (Norma Peruana E060)

P =	20.00	ton	carga ultima
M =	16.88	ton-m	momento ultima
$A = L \cdot t$			
A =	2.00	m2	área del muro
$c = \frac{L}{2}$			
c =	4.00	m	punto centro muro (L/2)
$I = \frac{t \cdot L^3}{12}$			
I =	10.67	m4	momento de inercia

Luego:

$$\sigma_{\text{comp max}} = \frac{P}{A} \pm \frac{Mc}{I}$$

$$\sigma_{\text{comp max (+)}} = 1.63 \quad \text{kg/cm}^2$$

$$\sigma_{\text{comp max (-)}} = 0.37 \quad \text{kg/cm}^2$$

$$\sigma_{\text{comp max}} = 1.63 \quad \text{kg/cm}^2$$

$$\sigma = 0.20 \cdot f'c$$

$$\sigma = 42.00 \quad \text{kg/cm}^2$$

$\sigma_{\text{comp max}}$ (kg/cm2)		σ (kg/cm2)
1.63	<	42.00

Se aprecia que el esfuerzo de compresión en la fibra externa no supera criterio establecido por la norma peruana E060 ($0.20f'_c$), por lo tanto, el muro no requiere de elementos de borde, a continuación, se realiza el diseño por corte del muro.

$$\begin{aligned}
 V_u &= 56.27 \text{ ton} && \text{Resistencia al corte del concreto} \\
 V_n &\geq 2.6 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot A && \frac{H_m}{L_m} \leq 1.5 \rightarrow \alpha_c = 0.80 \\
 A &= 2 \text{ m}^2 && \frac{H_m}{L_m} \geq 2.0 \rightarrow \alpha_c = 0.53 \\
 V_n &\geq 753.55 \text{ ton} \\
 V_n &\geq \phi \cdot (V_c + V_s) && \text{Para } \alpha_c: \\
 &&& H_m / L_m = 0.4375 \\
 &&& \alpha_c = 0.8 \\
 &&& V_c = \alpha_c \cdot \sqrt{f'_c} \cdot A_{cw} \\
 &&& A_{cw} = 2 \text{ m}^2 \\
 &&& V_c = 231.86 \text{ ton} \\
 \text{Luego: } &&& V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c
 \end{aligned}$$

Considerando para $\phi = 0.85$, se tiene $V_s = 165.66 \text{ ton}$, de la igualdad, $V_s = A_{cw} \cdot \phi \cdot f_y$, se tiene la cuantía de acero horizontal $\rho_h = 0.0020$, sin embargo, la norma peruana E060 recomienda ρ_h mínimo = 0.0025, utilizando dicha cuantía se tiene para un metro de muro de análisis $A_{sh} = 6.25 \text{ cm}^2$, por lo tanto, utilizando acero de $\phi 3/8''$ se tiene un espaciamiento de 0.23 m, considerando lo recomendado por la norma peruana E060, $S < S_{\max}$ o $3t$, se elige el espaciamiento del acero horizontal cada 0.20 m en cada cara del muro.

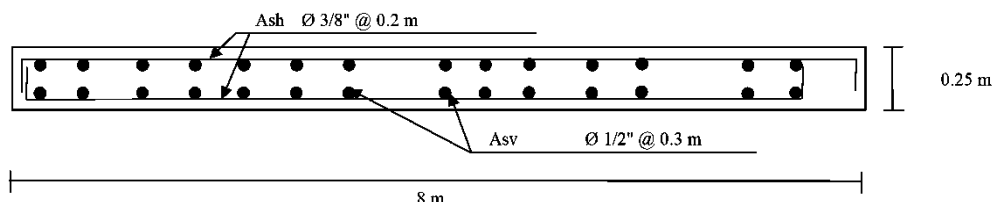
De la misma forma se calcula el refuerzo vertical mediante la expresión

$$\rho_v = 0.0025 \cdot 0.5 \cdot \left(2.5 - \frac{H_m}{L_m}\right) \cdot (\rho_h \cdot 0.0025)$$

Reemplazando los valores correspondientes se tiene una cuantía vertical $\rho_v = 0.0025$, el cual cumple con la cuantía mínima establecida por la norma peruana E060, luego utilizando acero de $\phi 1/2''$ se tiene un espaciamiento de 0.41 m, considerando lo recomendado por la norma peruana E060, $S < S_{\max}$ o $3t$, se elige el

espaciamiento del acero vertical cada 0.30 m en cada cara del muro. Finalmente se tiene la sección transversal del muro con la distribución de acero calculado.

Figura 107. *Diseño de muro desacoplado W25*

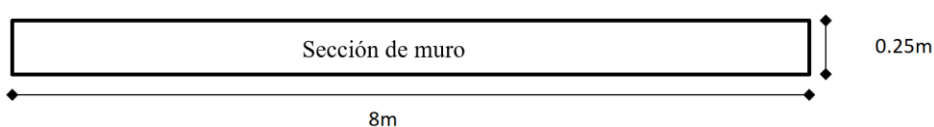


Nota: Se muestra el diseño final del muro desacoplado el cual incluye la distribución del acero de refuerzo para servir de elemento de acople para el dissipador SLB.
(Elaborado por el autor, 2025)

Muro desacoplado Sector B

Considerando

$f'_c =$	210.00	kg/cm ²	Resistencia del concreto
$f_y =$	4200.00	kg/cm ²	Fluencia del acero
$L =$	8.00	m	Longitud del muro
$t =$	0.25	m	Espesor del muro
$PD =$	10.00	ton	Carga muerta
$PL =$	10.00	ton	Carga viva
$H_m =$	3.50	m	Altura total del muro
$P_u =$	20.00	ton	Carga ultima
$M_u =$	391	ton-m	Momento ultima
$V_u =$	97	ton	Cortante ultima



Dado las características del muro desacoplado, se observa que no el muro no es esbelto, por tal motivo, no se realizará la verificación por flexocompresión, luego de la verificación para los elementos de borde se tiene:

P =	20.00	ton	carga ultima
M =	391.00	ton-m	momento ultima
$A = L \cdot t$			
A =	2.00	m ²	area placa
$c = \frac{L}{2}$			
c =	4.00	m	punto centro muro (L/2)
$I = \frac{t \cdot L^3}{12}$			
I =	10.67	m ⁴	momento de inercia

Luego:

$$\sigma_{\text{comp max}} = \frac{P}{A} \pm \frac{Mc}{I}$$

$$\sigma_{\text{comp max (+)}} = 15.66 \quad \text{kg/cm}^2$$

$$\sigma_{\text{comp max (-)}} = -13.66 \quad \text{kg/cm}^2$$

$$\sigma_{\text{comp max}} = 15.66 \quad \text{kg/cm}^2$$

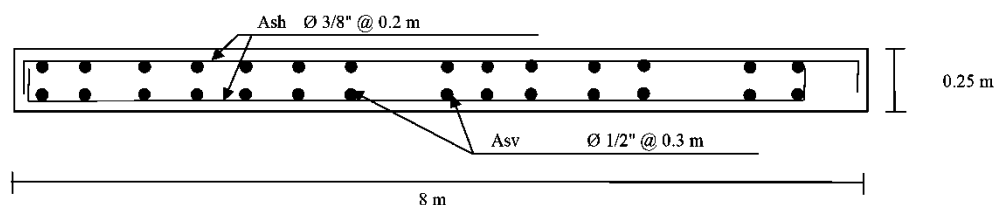
$$\sigma = 0.20 \cdot f'_c$$

$$\sigma = 42.00 \quad \text{kg/cm}^2$$

$\sigma_{\text{comp max}}$ (kg/cm ²)		σ (kg/cm ²)
15.66	<	42.00

Se aprecia que el esfuerzo de compresión en la fibra externa no supera criterio establecido por la norma peruana E060 ($0.20f'_c$), por lo tanto, el muro no requiere de elementos de borde, luego, se sigue el mismo procedimiento de diseño para el muro desacoplado del sector A, finalmente se tiene la sección transversal.

Figura 108. Diseño de muro desacoplado W41



Nota: Se muestra el diseño final del muro desacoplado el cual incluye la distribución del acero de refuerzo para servir de elemento de acople para el dissipador SLB.

(Elaborado por el autor, 2025)

Evaluación de la respuesta estructural frente a vibraciones inducidas por voladuras

Los terremotos, explosiones nucleares y disparos mineros “in situ” de gran escala producen vibraciones del terreno potencialmente dañinas, así como también otras fuentes de vibración estática y cuasi-estáticas (tráfico, hincado de pilotes, estampidos sónicos, etc.). (E. Siskind, M.S. Stagg, J. Kopp & C.H. Dowding, p. 6)

Las vibraciones del terreno producidas por voladuras son un subproducto no deseado del uso de explosivos para fragmentar roca en minería, canteras, excavaciones y construcción. Esta vibración del terreno o energía sísmica generalmente se describe como un desplazamiento, velocidad o aceleración variable en el tiempo de un punto particular (partícula) en el terreno. (E. Siskind, M.S. Stagg, J. Kopp & C.H. Dowding, p. 2)

Las interacciones entre las vibraciones y el medio de propagación originan varios tipos de ondas, incluyendo ondas compresionales directas y de corte, ondas refractadas del cuerpo y ondas superficiales polarizadas tanto horizontal como verticalmente. El análisis de daños en estructuras no requiere conocer lo que ocurre entre la fuente y el receptor ni el tipo de onda. Solo requiere la entrada vibratoria a la vivienda en su cimentación. Además, los disparos múltiples retardados son fuentes vibratorias suficientemente complejas como para hacer difícil, si no imposible, la identificación de ondas individuales en la mayoría de las condiciones. (E. Siskind, M.S. Stagg, J. Kopp & C.H. Dowding, p. 2)

En ese sentido, debido al contexto minero de la región Pasco y a la presencia de actividades de voladura en zonas cercanas a edificaciones urbanas, es importante evaluar el comportamiento dinámico de las estructuras frente a vibraciones inducidas por detonaciones controladas.

En el presente apartado se realiza una evaluación referencial del comportamiento estructural del pabellón de la Facultad de Derecho de la UNDAC frente a vibraciones inducidas por voladuras, considerando parámetros dinámicos obtenidos del modelo computacional desarrollado en ETABS. La evaluación se centra en la estimación de la velocidad pico de partícula equivalente (PPV), empleando los desplazamientos máximos y períodos fundamentales obtenidos en el análisis estructural, luego, se compara los resultados con límites admisibles establecidos en el estándar internacional DIN 4150 – 3.

Se requieren tres componentes ortogonales sincronizados en el tiempo para caracterizar completamente el movimiento: desplazamiento, velocidad o aceleración variable en el tiempo de un punto particular. Los descriptores del movimiento están relacionados mediante integración y diferenciación. Dónde: D: desplazamiento, V: velocidad y A: Aceleración.

$$V = \frac{dD}{dt} = \int A dt \quad (54)$$

$$A = \frac{dV}{dt} = \frac{d^2D}{dt^2} \quad (55)$$

Luego, cuando las vibraciones pueden aproximarse mediante una onda única (movimiento armónico simple), las relaciones anteriores se convierten en:

$$D = D_0 \sin(2\pi f t) \quad (56)$$

$$V = D_0(2\pi f) \cos(2\pi f t) = V_0 \cos(2\pi f t) \quad (57)$$

$$A = -D_0(2\pi f)^2 \sin(2\pi f t) \quad (58)$$

$$= -A_0 \sin(2\pi f t) \quad (59)$$

Dónde: f: frecuencia, t: tiempo, D₀, V₀ y A₀: Constantes

Luego, los valores máximos corresponden al instante en que las funciones trigonométricas son iguales a la unidad, las relaciones para estos valores máximos son:

$$D_0 = \frac{V_0}{2\pi f} = \frac{A_0}{(2\pi f)^2} \quad (60)$$

$$V_0 = 2\pi f D_0 = \frac{A_0}{2\pi f} \quad (61)$$

$$A_0 = (2\pi f)^2 D_0 = 2\pi f V_0 \quad (62)$$

Evaluación de estructuras para vibración de corta duración

La evaluación deberá basarse en las velocidades de vibración horizontal que ocurren en el piso más alto, tomando como referencia el máximo de las dos componentes horizontales. Las mediciones realizadas en este punto generalmente proporcionan la respuesta horizontal máxima de la estructura frente a la excitación en la cimentación. (DIN 4150-3, Vibración en estructuras – efectos en estructuras, 2016)

Tabla 53. Valores guía de velocidad de vibración *v_{imax}* para evaluar los efectos de vibraciones de corta duración en estructuras

Valores para V _{imax} en mm/s					
Tipo de estructura	Cimentación, todas las direcciones (i = x, y, z) a una frecuencia de			Piso más alto, dirección horizontal (i = x, y)	Losas de piso, dirección vertical (i = z)
	1 Hz a 10 Hz	10 Hz a 50 Hz	50 Hz a 100 Hz ^a	Todas las frecuencias	Todas las frecuencias
1. Edificios usados para fines comerciales, edificios industriales y edificaciones de diseño similar	20	20 a 40	40 a 50	40	20
2. Edificios residenciales y edificaciones de diseño y/o uso similar	5	5 a 15	15 a 20	15	20
3. Estructuras que, debido a su particular sensibilidad a la vibración, no pueden clasificarse en las líneas 1 y 2 y son de gran valor intrínseco (por ejemplo, edificios catalogados o históricos)	3	3 a 8	8 a 10	8	20
Nota: Incluso si se cumplen los valores guía indicados en la línea 1, columnas 2 a 5, no puede excluirse la aparición de daños menores.					
a. Para frecuencias superiores a 100 Hz, los valores guía correspondientes a 100 Hz pueden aplicarse como valores mínimos.					

Nota. Tomado de la tabla n°1 de la norma DIN 4150-3, Vibración en estructuras – efectos en estructuras, 2016.

Ahora bien, de acuerdo con la Norma E030-2026, y la Norma DIN 4150-3 el Pabellón de la Facultad de Derecho y Ciencias Políticas de la UNDAC se clasifica en la línea 2 como edificio residencial. Asimismo, para determinar los resultados se utilizó la ecuación n°61 para determinar la velocidad de partícula. La tabla n°50, muestra los resultados referenciales obtenidos.

Tabla 54. *Evaluación de la velocidad máxima de vibración y verificación según DIN 4150-3*

Sector A

Modelo	Periodo Fundamental (T)	Frecuencia (Hz)	Desplazamiento D_0 (mm)	Vimax (mm/s) $V_o = 2\pi f D_0$	Límite DIN 4150 - 3 (mm/s)	Condición
Sin SLB	0.5	2	1.48	18.598	15	No Cumple
Con SLB	0.371	2.7	0.821	13.928		Cumple

Sector B

Modelo	Periodo Fundamental (T)	Frecuencia (Hz)	Desplazamiento D_0 (mm)	Vimax (mm/s) $V_o = 2\pi f D_0$	Límite DIN 4150 - 3 (mm/s)	Condición
Sin SLB	0.547	1.83	1.29	14.833	15	Cumple
Con SLB	0.332	3.01	0.601	11.366		Cumple

De los resultados obtenidos en la Tabla n°50 se observa que para el Sector A muestran que la implementación de los disipadores SLB produjo una reducción significativa de la respuesta dinámica de la estructura frente a la excitación armónica aplicada. El período fundamental disminuyó de 0.50 s a 0.371 s, el cual incrementó la rigidez global del sistema estructural. Asimismo, el desplazamiento máximo se redujo de 1.48 mm a 0.821 mm, disminuir disminuyendo la velocidad máxima de vibración de 18.598 mm/s a 13.928 mm/s. De acuerdo con los límites establecidos por la norma DIN 4150-3 para vibraciones de corta duración, el modelo original supera el valor admisible de 15 mm/s, mientras que el modelo reforzado con disipadores SLB logra cumplir con

dicho criterio, demostrando una mejora favorable en el comportamiento dinámico y en el control de vibraciones inducidas.

Luego, para en el Sector B, se observa una mejora en la respuesta dinámica del pabellón tras la implementación de los disipadores SLB. El período fundamental se redujo de 0.547 s a 0.332 s, indicando una mayor rigidez estructural. Asimismo, el desplazamiento máximo disminuyó de 1.29 mm a 0.601 mm, generando una reducción de la velocidad máxima de vibración de 14.833 mm/s a 11.366 mm/s. Ambos modelos cumplen con el límite admisible de 15 mm/s establecido por la norma DIN 4150-3; sin embargo, el sistema con disipadores presenta valores considerablemente menores, lo que evidencia una mayor capacidad para controlar vibraciones inducidas y reducir la demanda dinámica transmitida a la estructura.

Costo de reforzamiento

Con la mejora en el comportamiento estructural del edificio mediante la implementación de los disipadores SLB, en este apartado se realiza una evaluación respecto al costo de reforzamiento que se generaría en la implementación de los dispositivos.

En Perú ya se vienen realizando estos trabajos de reforzamientos, empresas como POSTENSA mantienen sus costos en una variación entre 5% a 10% del costo total de la edificación, esto depende del tipo de la edificación, los trabajos de reforzamiento, el estado de la edificación entre otros (Bozzo, 2013). Asimismo, en Chile existen empresas referentes como SIRVE, que presenta su costo de referencia solo para los trabajos con sistemas de disipación histerético entre \$ 6 a \$ 10, lo que proporcionalmente y junto a todos los trabajos de reforzamiento representan un valor que varía de 4% hasta 7% del costo total de la edificación (Alvarez, 2010)

Asimismo, como referencia, el libro sobre Hospitales Seguros de la Organización Panamericana de la Salud, Oficina Regional de la Organización Mundial de la Salud 2005, el reforzamiento de estructuras hospitalarias representa entre el 8% a 15% del costo total de la edificación.

En ese sentido, el presupuesto presentado a continuación, es un aproximado, ya que, para poder obtener el costo verdadero, se debe realizar un estudio más a profundidad desarrollado en un expediente de evaluación estructural en la cual se incluya el reforzamiento del edificio mediante los disipadores histeréticos SLB.

Tabla 55. Costo de reforzamiento

SUB PRESUPUESTO: INSTALACIÓN DE DISIPADORES SLB

UB.: Av. Los Próceres 703 - Yanacancha - Pasco - Pasco

FECHA: 2025-10-21

MONEDA: SOLES

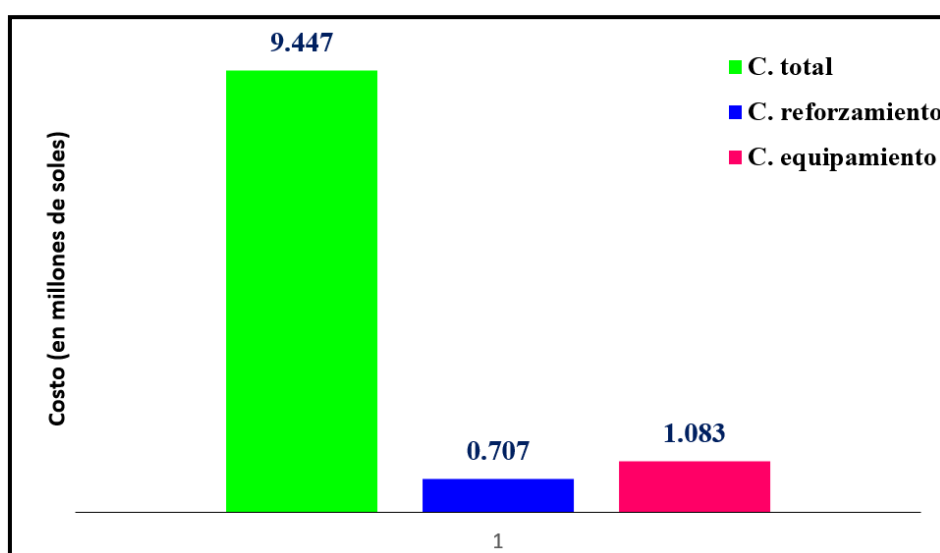
Item	Partida	Und	Metrado	CU	Parcial
1	OBRAS PROVISIONALES, TRABAJOS PRELIMINARES, SEGURIDAD Y SALUD				455,264.28
1.1	OBRAS PROVISIONALES				9,319.67
1.1.1	CARTEL DE IDENTIFICACION DE OBRA	UND	1.00	1,006.67	1,006.67
1.1.2	CONSTRUCCIÓN DE LOCAL PARA ALMACEN, GUARDIANIA Y OFICINA DE OBRA	M2	50.00	156.26	7,813.00
1.1.3	INSTALACION DEL SERVICIO DE AGUA Y DESAGUE	GLB	1.00	250.00	250.00
1.1.4	INSTALACION DEL SERVICIO DE ENERGÍA ELECTRICA	GLB	1.00	250.00	250.00
1.2	TRABAJOS PRELIMINARES				22,712.50
1.2.1	LIMPIEZA MANUAL DE TERRENO	M2	2,270.64	2.06	4,677.52
1.2.2	TRAZO Y REPLANTEO PRELIMINAR	M2	2,270.64	2.66	6,039.90
1.2.3	RETIRO DE PISO	M2	747.54	2.10	1,569.83
1.2.4	PICADO DE RECUBRIMIENTO EN VIGA	M2	87.73	4.21	369.34
1.2.5	PICADO DE RECUBRIMIENTO EN FONDO DE VIGA PARA ADICIÓN DE REFUERZO E=5CM	M2	87.73	5.61	492.17
1.2.6	DEMOLICION DE MUROS DE TABIQUERIA	M2	177.33	29.42	5,217.05
1.2.7	ELIMINACION DE MATERIAL DE DEMOLICION	M3	223.48	19.45	4,346.69
1.3	CONCRETO ARMADO				236,752.32
1.3.1	CONCRETO F'C=210 KG/CM2 EN MURO DESACOPLADO	M3	155.16	517.48	80,292.20
1.3.2	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO EN MURO DESACOPLADO	M2	1,299.06	92.49	120,150.06
1.3.3	ACERO CORRUGADO F'Y = 4200 KG/CM2 EN MURO DESACOPLADO	KG	5,837.63	6.22	36,310.06
1.4	ESTRUCTURA METALICA				80,850.00
1.4.1	COLOCACIÓN E INSTALACIÓN DE DISIPADORES HISTERÉTICOS SLB	UND	60.00	1,225.00	80,850.00
1.5	ACABADOS				101,815.11
1.5.1	ACABADO DE PISO	M2	747.54	48.64	36,360.35
1.5.2	TARRAJEO DE VIGAS	M2	175.45	42.25	7,412.76
1.5.3	TARRAJEO EN MUROS DESACOPLADOS	M2	1,299.06	28.53	37,062.18
1.5.4	PINTURA ESMALTE EN MUROS DESCOPLADOS	M2	1,299.06	16.15	20,979.82
1.6	VARIOS				3,814.68
1.6.1	LIMPIEZA FINAL DE OBRA	M2	2,270.64	1.68	3,814.68
COSTO DIRECTO					447,914.28
GASTOS GENERALES 10%					44,791.43
UTILIDAD 10%					44,791.43

SUB TOTAL	537,497.14
IGV 18%	96,749.49
COSTO TOTAL DE EJECUCION	634,246.63
EXPEDIENTE TECNICO	41,050.00
SUPERVISION 5%	31,712.33
TOTAL DE PRESUPUESTO	707,008.96
SON: SETECIENTOS SIETE MIL OCHO CON 96/100 SOLES	

Nota. Elaborado por el autor 2025

De acuerdo con la tabla n°51, el costo preliminar de reforzamiento alcanzaría un total de **S/. 707,008.96 soles**, recordando, que el costo no incluye los trabajos para evaluación estructural invasivos como muestras diamantinas y picado de elementos estructurales y con poco conocimiento sobre la cimentación del edificio existente.

Figura 109. Evaluación de costo de reforzamiento



Nota: Se muestra el costo total del proyecto, el costo de reforzamiento y costo por el equipamiento. (Elaborado por el autor, 2025)

De la figura n.º110 se observa que el costo de reforzamiento alcanza los S/. 0.707 millones de soles, por otro lado, el costo debido al equipamiento de la edificación alcanza los S/. 1.083 millones de soles, del cual, el costo de reforzamiento representa el 7.46% del costo total, mientras que el costo por los materiales de equipamiento representa el 11.46% del costo total, lo que implica que ante un suceso de movimiento

sísmico o alguna otra fuente de vibración que dañe estructuralmente el edificio, no solo afecta el costo estructural de reparación, sino también, se añade el costo por la implementación de equipos.

Además, según el libro sobre Hospitales Seguros de la Organización Panamericana de la Salud, el costo de reforzamiento preliminar mostrado en la tabla n°37, se encuentra dentro del rango permitido, por otro lado, el costo de reforzamiento no deberá superar el 30% del valor del edificio (Jara, 2005), finalmente, la propuesta de reforzamiento planteada es más económica en comparación con un sistema de aislamiento de base, el cual, dependiendo del tamaño y tipología del edificio puede incrementar el costo entre el 3% y 6% del costo total. (Disipa ingenieros, 2025)

4.3. Prueba de hipótesis

Para la prueba y validación de las hipótesis se realizará mediante un enfoque mixto, combinando un análisis determinista y la estadística inferencial, según Hernández, Fernández y Baptista (2014). En ese sentido, la hipótesis general se evaluará mediante un análisis determinista comparando los resultados estructurales globales del pabellón con y sin disipadores Shear Link, basado en los criterios de desempeño de la ATC-40, FEMA 356 y bajo criterios estructurales de la norma técnica peruana E030. Por otro lado, las hipótesis específicas se contrastarán mediante pruebas de hipótesis estadísticas, aplicando la prueba t de Student para muestras relacionadas considerando un nivel de significancia del 5 %.

El procedimiento de validación consistirá en comparar los resultados obtenidos del análisis estructural con y sin disipadores Shear Link para cada sector A y B, evaluando las variables de deriva, cortante basal, ductilidad y desplazamiento. Se aplicará la prueba t de Student para muestras relacionadas con un nivel de significancia del 5 %, considerando que si el valor p es menor a 0.05 se rechaza la hipótesis nula y

se acepta la hipótesis alternativa, evidenciando mejoras significativas en el comportamiento estructural.

4.3.1. Prueba de hipótesis general

Del análisis comparativo del pabellón de la Facultad de Derecho de la UNDAC, con y sin la implementación de los disipadores de energía tipo Shear Link, se observa una mejora importante en el comportamiento estructural general. En ambos sectores analizados A y B se observó una reducción significativa de las derivas laterales y desplazamientos máximos, garantizando un desempeño óptimo de la edificación, indicando además una mayor rigidez global y un control más eficiente de las deformaciones ante la acción sísmica. En cuanto a la cortante basal, se identificó una disminución de dicha fuerza para el sector A, mientras que para el sector B se produjo un incremento moderado, debido a la redistribución de los esfuerzos internos ocasionada por la incorporación de los disipadores, el cual no representa un efecto desfavorable, sino una mejora en la capacidad de absorción y disipación de energía. Asimismo, los resultados muestran un incremento mínimo del amortiguamiento estructural, lo que confirma un comportamiento adecuado de los disipadores. En ese sentido, estos resultados prueban la hipótesis general, concluyéndose que la implementación de los disipadores de energía tipo Shear Link mejora significativamente la capacidad estructural del pabellón de la Facultad de Derecho de la UNDAC.

4.3.2. Prueba de hipótesis específicas

Para probar la primera hipótesis específica, se observa que los resultados obtenidos presentan menores derivas y desplazamientos al implementar disipadores de energía tipo Shear Link. En ese sentido, luego del análisis estadístico se observa reducciones significativas tanto en derivas como en desplazamientos máximos. Para el

caso de las derivas, el edificio del sector A presentó una mejora media del 51.03% con una significancia de $p = 0.0038$ y el edificio del sector B del 58.33% con una significancia de $p = 0.0268$ ambos resultados < 0.05 permitidos, por otro lado, en los desplazamientos máximos se obtuvieron reducciones del 61.14% y 55.47% para los edificios de los sectores A y B, respectivamente. En ese sentido, estos resultados, muestran una disminución significativa de las derivas y los desplazamientos, de esta manera queda probada la hipótesis planteada.

Para probar la segunda la hipótesis específica, se aplicó una prueba t de Student para muestras pareadas, considerando los valores de fuerza cortante obtenidos en cada piso, antes y después de la implementación de los disipadores, para ambos edificios de los sectores A y B en las direcciones X y Y. Este método estadístico para realizar la prueba de hipótesis fue seleccionado debido a que los datos provienen del mismo modelo estructural bajo dos condiciones comparables (con y sin disipadores), lo que justifica un análisis pareado.

Los resultados obtenidos muestran que, para el edificio del sector A, las diferencias en las cortantes son significativas tanto en la dirección X ($t = 3.293$; $p = 0.0381$) como en la dirección Y ($t = 3.813$; $p = 0.0203$), indicando una reducción promedio del 36.24 % y 20.67 %, respectivamente. Por otro lado, en el edificio del sector B se observó un comportamiento distinto, con incrementos en la cortante basal de aproximadamente 20.15 % en X y 13.62 % en Y, con significancias de $p = 0.0347$ y $p = 0.0471$, respectivamente, lo cual es debido a una redistribución de esfuerzos y el efecto de la rigidez adicional generada por los disipadores.

En ese sentido, los resultados muestran que la implementación de los disipadores produce una variación significativa en la cortante basal, reduciéndola en el edificio del sector A, volviéndolo más flexible (A) y redistribuyéndola hacia en el

edificio del sector B, haciéndolo más rígido, validando de esta forma la hipótesis planteada.

En el caso de la tercera hipótesis, se aplicó el método determinista, ya que se realiza una comparación directa de los valores de energía de ingreso total antes y después de implementar los disipadores SLB. El procedimiento consistió en calcular la reducción porcentual de energía para cada sector mediante la expresión:

$$Reducción (\%) = \frac{E_{sinSLB} - E_{conSLB}}{E_{sinSLB}} \times 100$$

Los resultados obtenidos muestran reducciones promedio del 58.60 % en el edificio del sector A y del 75.83 % en el edificio del sector B, lo que muestra una disminución significativa en la energía sísmica absorbida por la estructura al incorporar los disipadores Shear Link. En ese sentido, los resultados obtenidos superan el umbral mínimo esperado (20–30 % de disipación), por lo tanto, la implementación de los disipadores mejora sustancialmente la capacidad de disipación energética del pabellón.

Finalmente, para probar la hipótesis cuarta, se utilizó un análisis determinista, en la cual se observa que la implementación de los disipadores SLB generan una variación favorable en el comportamiento dinámico de la estructura. Para el sector A, la ductilidad global disminuye de 3.198 a 2.727, evidenciando una reducción del 17.3 % y para el sector B, la ductilidad global pasa de 1.981 a 2.799, con un incremento del 41.3 %, en el caso del amortiguamiento, para ambos sectores se nota un incremento mínimo e inferior al 1% respecto al amortiguamiento inherente de la estructura, mostrando que los disipadores SLB no añaden amortiguamiento importante y que su comportamiento es óptimo, asimismo, estas variantes en la que la ductilidad se reduce y el amortiguamiento aumenta, indica que la estructura adquiere un comportamiento más rígido y generando una respuesta más estable frente a movimientos sísmicos. En

ese sentido, se comprueba que los disipadores SLB incrementan la rigidez y el amortiguamiento global del sistema estructural y, a la vez optimizan el desempeño sísmico de la edificación.

4.4. Discusión de resultados

Discusión 1

Orientado al objetivo 1. Los resultados obtenidos muestran que, luego de la implementación de los dispositivos SLB, la estructura presenta un incremento significativo en su rigidez global y un amortiguamiento efectivo mínimo, mostrando así la reducción de los desplazamientos y derivas laterales frente a la acción sísmica. Esto indica un comportamiento más estable y una mejor capacidad de control de la respuesta dinámica. En relación con la ductilidad global, se observó una ligera disminución en comparación con el modelo sin disipadores, sin embargo, este resultado es coherente, ya que los disipadores SLB concentran la disipación de energía mediante deformaciones controladas, reduciendo la demanda inelástica en los elementos estructurales. Según Bozzo (2026), explica que los disipadores metálicos actúan como fusibles estructurales que absorben la energía sísmica a través de su deformación plástica. Asimismo, la norma peruana E.030 (2026) y los criterios de desempeño establecidos en el código FEMA 356 (2000) describen que el aumento del amortiguamiento y la rigidez, junto con una ductilidad controlada, son indicadores de un mejor desempeño sísmico, ya que la estructura mantiene su funcionalidad sin alcanzar niveles significativos de daño. En ese sentido, la reducción de la ductilidad observada no implica una desventaja estructural, sino una optimización del comportamiento inelástico, donde los disipadores asumen las deformaciones y evitan el deterioro de los elementos resistentes. Por lo tanto, la implementación de disipadores de energía SLB mejora la capacidad estructural del edificio en ambos sectores A y B,

al incrementar la rigidez y el amortiguamiento global, y al mantener una ductilidad eficiente que garantiza un desempeño estructural más seguro.

Discusión 2

Orientado al objetivo 2. Luego del análisis se observa una reducción significativa en los desplazamientos y derivas laterales en ambas direcciones principales para cada sector A y B, lo cual indica la mejora del comportamiento estructural frente a acciones sísmicas. Esto debido al incremento de la rigidez y el amortiguamiento global mínimo, lo cual permite que la estructura disipe una mayor cantidad de energía durante la respuesta sísmica y limite sus deformaciones máximas. En el estudio, los valores obtenidos se encuentran por debajo de los límites establecidos por la Norma Peruana E.030, la cual señala que la deriva máxima permisible no debe exceder el 0.007 (0.7%) del entrepiso. Esto muestra que el edificio con disipadores cumple con los criterios de desempeño sísmico, garantizando la seguridad y funcionalidad estructural durante un evento sísmico severo.

Discusión 3

Orientado al objetivo 3. Los resultados obtenidos muestran una variación favorable de la fuerza cortante basal, la cual, varía para cada sector, en uno se incrementa y en el otro disminuye, dependiendo de la distribución de rigideces en cada dirección. En el sector A, la cortante basal disminuyó en un promedio de 26.34% en la dirección X y 29.46% en la dirección Y, mientras que en el Módulo B se observó un incremento del 29.83% en X y 11.46% en Y. Esta diferencia es debido a que la incorporación de los disipadores modifica la distribución del esfuerzo cortante entre los elementos estructurales, concentrando parte de la fuerza sísmica en los dispositivos y reduciendo la que absorben los elementos principales. Según Bozzo (2026), este tipo de sistemas no lineales permiten redistribuir las fuerzas internas, disipando energía y

evitando concentraciones críticas en columnas y vigas. En ese sentido, la respuesta de la estructura se vuelve más controlada y estable. Asimismo, de acuerdo con la Norma E.030 (2026), una reducción o control del cortante basal es indicativo de una mejor capacidad de disipación de energía y de control de la demanda sísmica.

Asimismo, los resultados muestran reducciones significativas en ambos sectores analizados: en el Sector A, la energía sísmica se redujo en promedio un 66.70%, y en el Sector B, un 73.57%, lo que muestra una disminución de la demanda energética total del sistema estructural. Estas reducciones muestran que la incorporación de los disipadores SLB ayudan a controlar la respuesta inelástica mediante el aumento de la capacidad de disipación de energía, permitiendo que los elementos principales trabajen dentro de rangos elásticos o levemente plásticos. Según Bozzo (2026), los disipadores SLB concentran la deformación en zonas controladas, absorbiendo gran parte de la energía inducida por el sismo y evitando daños significativos en los elementos estructurales.

Discusión 4

Orientado al objetivo 4. Los resultados obtenidos muestran que la estructura experimentó un incremento en la rigidez global, debido a la disminución de derivas y desplazamientos laterales. Asimismo, el amortiguamiento global aumentó ligeramente en ambos sectores, alcanzando valores inferiores al 1%, lo que refleja una mayor capacidad de disipar energía sin comprometer la estabilidad estructural. En cuanto a la ductilidad, se observó una leve reducción, el cual es debido al aumento de la rigidez y a la redistribución de las deformaciones hacia los disipadores, los cuales concentran la respuesta no lineal.

Discusión 5

Orientado al objetivo 5, sobre las vibraciones inducidas por voladuras mineras. Los resultados obtenidos muestran que la implementación de disipadores de energía tipo SLB mejora el comportamiento dinámico del pabellón frente a vibraciones inducidas por voladuras, debido a que reduce los desplazamientos máximos y la velocidad máxima de vibración generada por la excitación armónica aplicada. En ambos sectores analizados se observó una disminución significativa de los valores de V_{max} , asociada al incremento de la rigidez estructural y a la capacidad de disipación de energía proporcionada por los dispositivos SLB. En el Sector A, el modelo sin reforzamiento superó el límite admisible establecido por la norma DIN 4150-3, mientras que el modelo con disipadores logró cumplir con dicho criterio normativo, evidenciando un mejor control de la respuesta vibratoria. Del mismo modo, en el Sector B ambos modelos cumplen con la normativa, sin embargo, la incorporación de los disipadores permitió reducir aún más la demanda dinámica transmitida a la estructura. En ese sentido, los resultados muestran que los disipadores SLB contribuyen a controlar de manera más eficiente las vibraciones inducidas, disminuyendo el riesgo de afectación estructural y no estructural ante cargas dinámicas de origen minero.

CONCLUSIONES

- La implementación de los disipadores de energía tipo SLB en el pabellón de la Facultad de Derecho de la UNDAC permitió mejorar significativamente la capacidad estructural del edificio, mostrando una respuesta sísmica más controlada, una reducción de la demanda de energía interna y una distribución más eficiente de esfuerzos en los elementos estructurales. Estos resultados demuestran que el sistema de disipación contribuye a mejorar el desempeño del edificio ante movimientos sísmicos severos.
- Se observó una reducción considerable tanto en las derivas como en los desplazamientos máximos de los sectores analizados, esto reflejado en un incremento efectivo en la rigidez global de la estructura. La implementación de los disipadores limitó las deformaciones laterales sin comprometer la integridad del sistema estructural, cumpliendo con los límites establecidos por la Norma E.030 de Diseño Sismorresistente.
- En el sector A, la cortante basal se redujo debido al efecto de disipación de energía, mientras que en el sector B se registró un ligero incremento como consecuencia de una mejor transferencia de esfuerzos entre los niveles estructurales. Esta diferencia es debido al comportamiento dinámico propio de cada sector, demostrando que la implementación de los disipadores modifica favorablemente la distribución de fuerzas sísmicas sin comprometer la estabilidad global.
- El análisis del balance energético muestra que los disipadores tipo SLB absorbieron entre el 37% y 23% de la energía total ingresada al sistema, lo que redujo significativamente la energía disipada por deformaciones estructurales. Esto muestra que gran parte del trabajo sísmico fue asumido por los disipadores, disminuyendo el daño en los elementos estructurales y mejorando la resiliencia estructural del edificio.
- La rigidez global del pabellón aumentó con la incorporación de los disipadores, mientras que el amortiguamiento equivalente presentó incrementos cercanos al 1% en ambos

sectores, lo que contribuyó a una mayor capacidad de disipación de energía. Por su parte, la ductilidad global se redujo, mostrando comportamiento esperado en estructuras con los disipadores, dado que la demanda inelástica se traslada a los elementos metálicos SLB, manteniendo los componentes estructurales principales dentro de un rango elástico seguro.

- La evaluación realizada mediante excitación armónica muestra que la implementación de disipadores de energía SLB mejora el comportamiento estructural del pabellón de la Facultad de Derecho de la UNDAC frente a vibraciones inducidas por voladuras. La incorporación de estos dispositivos permitió reducir los desplazamientos máximos y las velocidades máximas de vibración en ambos sectores analizados, además de incrementar la rigidez global del sistema estructural. Asimismo, los resultados obtenidos muestran que el modelo reforzado cumple con los límites admisibles establecidos por la norma DIN 4150-3 para vibraciones de corta duración, demostrando que los disipadores SLB contribuyen de manera efectiva al control de la respuesta dinámica y a la disminución de la demanda vibratoria transmitida a la estructura ante excitaciones de origen minero.
- El análisis de costos demuestra que la implementación de los disipadores de energía tipo SLB representa una alternativa económicamente viable y eficiente para el reforzamiento del pabellón de la Facultad de Derecho de la UNDAC. El costo del reforzamiento equivale al 7.6% del costo total del edificio, porcentaje que se encuentra dentro del rango permitido por la Organización Panamericana de la Salud y por los lineamientos de Jara (2005). Además, la propuesta resulta más económica que otros sistemas de control sísmico, como el aislamiento de base, cuyo incremento de costo oscila entre el 3% y 6% del costo total. En ese sentido, los disipadores SLB no solo mejora el desempeño estructural y reduce los daños ante sismos, sino que también optimiza la relación costo-beneficio al proteger tanto la estructura como los equipos e instalaciones dentro del edificio.

- La evaluación de la velocidad pico de partícula (PPV) frente a vibraciones inducidas por voladuras mostró que la implementación de disipadores de energía tipo SLB mejora el comportamiento dinámico del pabellón de la Facultad de Derecho de la UNDAC. Los resultados mostraron una reducción de la velocidad máxima de vibración en ambos sectores analizados, alcanzándose valores de 13.928 mm/s y 11.366 mm/s para los sectores A y B, respectivamente. Asimismo, el modelo reforzado logró cumplir con los límites admisibles establecidos por la norma DIN 4150-3 para vibraciones de corta duración en edificaciones convencionales, demostrando que los disipadores SLB contribuyen al control de vibraciones inducidas por actividades mineras y a la disminución de la demanda dinámica transmitida a la estructura.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda considerar la instalación de disipadores de energía tipo Shear Link en edificaciones existentes con comportamiento estructural deficiente o vulnerabilidad sísmica similar al pabellón analizado, debido a que este sistema ha demostrado mejorar la capacidad estructural con un costo de reforzamiento moderado.
- Antes de ejecutar un reforzamiento como el realizado en este estudio, se recomienda realizar un análisis estructural detallado que incluya la determinación de los modos dominantes de vibración, el nivel de daño esperado y la distribución de esfuerzos, con el fin de garantizar la ubicación y cantidad óptima de disipadores.
- Se recomienda implementar los disipadores de energía tipo Shear Link en las edificaciones ubicadas en entornos urbanos influenciados por actividades mineras, debido a que los resultados obtenidos evidencian una reducción de la velocidad pico de partícula (PPV) y una mejora en el control de la respuesta dinámica estructural frente a vibraciones inducidas por voladuras.
- Se recomienda aplicar el mismo enfoque de análisis en otros pabellones o de la universidad, así como en estructuras de diferente material o tipología, con el objetivo de validar la eficiencia de los disipadores SLB bajo distintas condiciones estructurales y dinámicas.
- Dado que el costo del reforzamiento representa solo el 7.6% del valor total del edificio y se encuentra dentro del rango recomendado, se recomienda incluir este tipo de análisis económico en futuros proyectos de reforzamiento estructural para facilitar la toma de decisiones.
- Se recomienda que futuras investigaciones profundicen en el estudio del comportamiento de los disipadores de energía tipo Shear Link frente a vibraciones inducidas por sismos, voladuras mineras controladas u otro factor de vibración, con el fin de ampliar el

conocimiento sobre su efectividad como alternativa de protección estructural en edificaciones ubicadas en entornos mineros.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Miguel Herráiz S. (1997) – CISMID-UNI. Conceptos Básicos de Sismología para ingenieros.
- Ibrahim Almufti A. – Michael Willford A. (2013). Resilience-based Earthquake Design Initiative for the next generation of Buildings.
- Building Seismic Safety Council (1997). Comentarios a la publicación FEMA 274 sobre las Directrices para la Rehabilitación Sísmica de Edificios.
- Chopra, A.K. (2007). Dinámica de estructuras.
- Genner Villarreal C. – Ricardo Oviedo S. (2009). Edificaciones con disipadores de energía.
- Bozzo L. (2002). Análisis y diseño de estructuras equipadas con disipadores de energía SL.
- Bozzo L. – Ordoñez D. (2001). Disipadores mecánicos de energía.
- Chavez Aguirre J. (2017). Diseño Sismorresistente de edificios con disipadores de fluido viscoso.
- Servicio Nacional de Capacitación para la industria de la Construcción (2026). Reglamento Nacional de Edificaciones.
- Instituto Nacional de Defensa civil (INDECI) (2017). Escenario Sísmico para Lima Metropolitana y Callao: Sismo 8.8 Mw.
- Martín René Somarriba L. (2012). Tesis: Efecto de los disipadores metálicos de energía tipo “ADAS” y “TADAS” en la respuesta sísmica de un edificio irregular.
- Roberto Aguiar, Marcos Zevallos, Jorge Palacios, Lincoln García, Edgar Menéndez. (2016). Reforzamiento de estructuras con disipadores de energía.
- Hernández Sampieri R. (6Ta edición). Metodología de la investigación.
- Siskind David E. (2000). Vibrations from blasting.

ANEXOS

**ESTUDIOS DE SUELOS PARA DETERMINAR LA CAPACIDAD
ADMISIBLE DEL SUELO**

Solicitante : Bach. ATENCIO MONGE CARLOS ALBERTO

Proyecto : "MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD
ESTRUCTURAL EN MODELO
COMPUTACIONAL DEL PABELLÓN DE LA
FACULTAD DE DERECHO DE LA UNDAC
IMPLEMENTANDO DISIPADORES DE ENERGÍA
SHEAR LINK - PASCO 2024"

Ubicación : Yanacancha - Pasco – Pasco

Nº Informe : S – 24 – 101



CECIC Laboratorio y capacitaciones



APVU – Mz "II", lote 4. San Juan
Ref. a tres cuadras del GOREPA



990270829 / 963600813



990270829 / 963600813



Capacitaciones.ccic@gmail.com

CONSULTORIAS, ESTUDIOS Y CAPACITACIONES EN INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN

OCEDA J & G CORPORATION SOCIEDAD ANONIMA CERRADA - RUC 20600166051

CONTENIDO

1.	MEMORIA DESCRIPTIVA	4
1.1	GENERALIDADES	4
1.2	RESUMEN DE LOS ESTUDIOS	4
1.2.1	CIMENTACIÓN	4
1.3	INFORMACIÓN PREVIA.....	4
1.3.1	OBJETIVO.....	4
1.3.2	UBICACIÓN DEL AREA DEL ESTUDIO	4
1.4	EXPLORACIÓN DE CAMPO	5
1.4.1	CLASIFICACIÓN DE SUELOS:	5
1.5	ENSAYOS DE LABORATORIO	5
1.5.1	ENSAYOS ESTÁNDAR	5
1.5.2	ENSAYOS ESPECIALES.....	6
1.6	PERFIL DEL SUELO.....	6
1.7	NIVEL DE LA NAPA FREÁTICA	6
1.8	ANÁLISIS DE LA CIMENTACIÓN PARA EL DISEÑO	6
1.8.1	VARIABLE PARA EL DISEÑO DE CIMENTACIONES	7
1.8.2	PROFUNDIDAD DE CIMENTACION.....	7
1.8.3	CÁLCULO DE LA CAPACIDAD PORTANTE ADMISIBLE	7
a)	CALICATA N°01	8
b)	CALICATA N°02	9
c)	CALICATA N°03	9
1.8.4	CÁLCULO DE ASENTAMIENTO INICIAL	10
2.	PLANOS Y PERFILES DE PUNTOS INVESTIGADOS	11
2.1	PLANO DE UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE EXPLORACIÓN	11
	PROYECTO DE INTERVENCIÓN	11
2.2	PERFIL ESTRATIGRAFICO POR PUNTO EXPLORADO	11
3.	GEOLOGIA.....	12
4.1.	UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS.....	12
4.1.1.	PLIEGUES EJE ANTICLINAL	16
4.2.	GEOLOGIA REGIONAL.....	17
4.2.1.	GRUPO PUCARA	17



CECIC Laboratorio y capacitaciones



APVU – Mz “II”, lote 4. San Juan
Ref. a tres cuerdas del GOREPA



990270829 / 963600813



990270829 / 963600813



Capitaciones.ccic@gmail.com

CONSULTORIAS, ESTUDIOS Y CAPACITACIONES EN INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN

OCEDA J & G CORPORATION SOCIEDAD ANONIMA CERRADA - RUC 20600166051

(a)	FORMACIÓN CHAMBARA.....	19
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	21

ANEXO N°01: REPORTE DE LOS ENSAYOS DESARROLLADOS

ANEXO N°02: PANEL FOTOGRAFICO

ANEXO N°03: CERTIFICADOS DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS



CECIC Laboratorio y capacitaciones



APVU – Mz “II”, lote 4. San Juan
Ref. a tres cuerdas del GOREPA



990270829 / 963600813



990270829 / 963600813



Capacitaciones.ccic@gmail.com

INVESTIGACIÓN

"MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL EN MODELO COMPUTACIONAL DEL PABELLÓN DE LA FACULTAD DE DERECHO DE LA UNDAC IMPLEMENTANDO DISIPADORES DE ENERGÍA SHEAR LINK - PASCO 2024"

ESTUDIO PARA DETERMINAR LA CAPACIDAD ADMISIBLE DEL SUELO

1. MEMORIA DESCRIPTIVA

1.1 GENERALIDADES

El presente estudio de suelos para la elaboración de tesis, tiene el fin de evaluar las características del suelo caracterizándolo como suelo de fundación para determinar la capacidad admisible del suelo; para ello se evaluaron 3 muestras de: C-1, C-2 y C-3.

1.2 RESUMEN DE LOS ESTUDIOS

1.2.1 CIMENTACIÓN

Para el diseño de las cimentaciones se evaluarán los resultados obtenidos de la muestra C1, C2 y C3 identificándose los siguientes parámetros para el diseño.

Cuadro N° 1.0: Condiciones para diseño de estructuras de contención

	Cohesión (C) kg/cm ²	Ángulo de fricción (ϕ)	Peso unitario del suelo (g/cm ³)
Calicata N°01	0.04	29.71	2.120
Calicata N°02	0.04	28.71	2.003
Calicata N°03	0.02	26.75	1.989

Fuente: Laboratorio CECIC

1.3 INFORMACIÓN PREVIA

1.3.1 OBJETIVO

El objetivo del estudio es evaluar las características del suelo con fines de cimentación con el fin de establecer el ángulo de fricción y la cohesión para determinar la capacidad admisible del suelo a la profundidad de evaluación.

1.3.2 UBICACIÓN DEL AREA DEL ESTUDIO

El proyecto se encuentra ubicado en el campus universitario de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión del Distrito de Yanacancha, Provincia y Región Pasco.



CONSULTORIAS, ESTUDIOS Y CAPACITACIONES
EN INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN

Marcel S. CANCABA HANCCO
INGENIERO CIVIL / CIP. 168608
JEFE DE LABORATORIO



CECIC Laboratorio y capacitaciones



APVU – Mz "II", lote 4. San Juan
Ref. a tres cuerdas del GOREPA



990270829 / 963600813



990270829 / 963600813



Capitaciones.cic@gmail.com

OCEDA J & G CORPORATION SOCIEDAD ANONIMA CERRADA - RUC 20600166051



Imagen N°01. Ubicación

1.4 EXPLORACIÓN DE CAMPO

1.4.1 CLASIFICACIÓN DE SUELOS:

Durante el desarrollo de la exploración de campo el solicitante ha desarrollado 03 calicatas, de los cuales se han obtenido la siguiente información.

Cuadro N° 4.0: Clasificación

	Estrato	SUCS	AASHTO
Calicata N°01	E5	GW - GC	A-2-4 (0)
Calicata N°02	E3	GP - GC	A-2-4 (0)
Calicata N°03	E4	GC - GM	A-1-b (0)

Fuente: Laboratorio CECIC

1.5 ENSAYOS DE LABORATORIO

Para el presente proyecto se han estudiado una muestra por cada una de las calicatas con el fin de evaluar los parámetros para el diseño de cimentación. Los ensayos fueron realizados en el laboratorio de mecánica de suelos CECIC, siguiendo las normas establecidas por la American Society for Testing and Materials (ASTM) y la Normas Técnicas Peruanas (NTP).

1.5.1 ENSAYOS ESTÁNDAR

Con las muestras representativas remitidas al laboratorio se realizaron los siguientes ensayos:

- Análisis Granulométrico por Tamizado (ASTM D-4222).



LABORATORIOS, ESTUDIOS Y CAPACITACIONES
EN INGENIERIA Y CONSTRUCCION

Parcial S. CANCANA HANCCO
INGENIERO CIVIL - CIP. 168608
JEFE DE LABORATORIO



CONSULTORIAS, ESTUDIOS Y CAPACITACIONES EN INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN

OCEDA J & G CORPORATION SOCIEDAD ANONIMA CERRADA - RUC 20600166051

- Límite Líquido (ASTM D-4318).
- Límite Plástico (ASTM D4318).
- Contenido de Humedad (ASTM D-2216).

1.5.2 ENSAYOS ESPECIALES

Se realizó el siguiente ensayo:

- Corte Directo (ASTM D-3080)
- Próctor Estándar (ASTM D-698)

1.6 PERFIL DEL SUELO

Con la información brindada por el solicitante y los ensayos de campo de las calicatas se han desarrollado perfiles estratigráficos de cada calicata, así mismo se han evaluado muestras del último estrato en la calicata C1, C2, C3 evidenciados en la exploración. A continuación, se brinda el resumen de las calicatas.

Cuadro N° 5.0: Ensayo densidad de campo

	Estrato	Profundidad	SUCS	DESCRIPCIÓN
Calicata N°01	E5	2.30m – 2.80m	GW - GC	Suelo grava arcillosa bien gradada de color marrón con presencia de rocas meteorizadas en condición húmedo con bolonería de 6" - 8" de consistencia firme y cementación fuerte.
Calicata N°02	E3	0.50m – 1.10m	GP - GC	Suelo grava arcillosa pobremente gradada de color marrón dorado con gravas angulosas de TM 2" con presencia de rocas meteorizadas en condición húmedo de consistencia firme y cementación moderada.
Calicata N°03	E4	1.80m – 2.60m	GC - GM	Suelo grava limo arcillosa de color marrón con lentes de color dorado con gravas sub angulosas de TM 2" en condición húmedo de consistencia firme y cementación moderada.

Fuente: Laboratorio CECIC

1.7 NIVEL DE LA NAPA FREÁTICA

A la fecha de exploración de campo NO se identificaron niveles de napa freática a la profundidad de exploración que se indica en el presente informe para las calicatas.

1.8 ANÁLISIS DE LA CIMENTACIÓN PARA EL DISEÑO

En esta sección y con el fin de determinar la capacidad admisible del suelo se realiza el análisis de la cimentación para el área estudiada y se proponen la capacidad de carga admisible.



CECIC Laboratorio y capacitaciones



APVU – Mz "II", lote 4. San Juan
Ref. a tres cuerdas del GOREPA



990270829 / 963600813



990270829 / 963600813



Capacitaciones.cic@gmail.com

1.8.1 VARIABLE PARA EL DISEÑO DE CIMENTACIONES

Cuadro N° 6.0: Variables para el diseño de cimentación

	Cohesión (C) kg/cm2	Ángulo de fricción (φ)	Peso unitario del suelo (g/cm3)	Clasificación SUCS	Tipo de falla de corte
C-1	0.04	29.71	2.120	GW - GC	General
C-2	0.04	28.71	2.003	GP - GC	General
C-3	0.02	26.75	1.989	GC - GM	General

Fuente: Laboratorio CECIC

1.8.2 PROFUNDIDAD DE CIMENTACION

De acuerdo al análisis de cimentación, registros de campo, ensayos de laboratorio, descripción de los perfiles estratigráficos y características del proyecto, la profundidad será definida considerando los tipos de bloque, condiciones topográficas, estudio de MS y los resultados del presente estudio, los cuales en ningún caso menor a la profundidad de desplante del cálculo de la capacidad admisible.

1.8.3 CÁLCULO DE LA CAPACIDAD PORTANTE ADMISIBLE

Para la determinación de la capacidad admisible de carga se han considerado los criterios de Terzaghi-Peck (1967), modificado por Vesic (1973), según el cual la capacidad última de carga se expresa por la siguiente ecuación:

Para zapatas cuadradas aisladas:

$$q_{ult} = S_c c N_c + S_q q N_q + 0.5 S_y \gamma B N_y$$

Siendo la capacidad admisible de carga: $q_{ad} = q_{ult}/FS$, donde:

FS = Factor de Seguridad = 3

N_c, N_q, N_y = Factores de Capacidad de Carga

S_c, S_q, S_y = Factores de Forma

q = Presión de Sobrecarga (Ton/m^2)

γ = Peso Unitario del Suelo (Ton/m^3)

d = Profundidad de Cimentación (m)

B = Ancho de la Cimentación (m)

Asimismo, según el Reglamento Nacional de edificaciones, Norma E.050 en su última versión aprobada en el año 2018 toma a la referencia de Bowles, Joseph E. (1996) Foundation Analysis and Design. New York: Mc Graw – Hill Book Co., La capacidad de carga (q_d) es la presión última o de falla por corte del suelo y se determina utilizando las fórmulas aceptadas por la mecánica de suelos a partir de parámetros determinados mediante los ensayos in situ o los ensayos de laboratorio realizados en las tablas 1, 2 y 3.

En suelos cohesivos (arcilla, arcilla limosa y limo-arcilloso), se emplea un ángulo de fricción interna (ϕ') igual a cero.

$$q_d = s_c i_c c N_c$$

En suelos friccionantes (gravas, arenas y gravas-arenosas), se emplea una cohesión (c) igual a cero.

$$q_d = i_q \gamma_1 D_f N_q + 0.5 s_y i_\gamma \gamma_2 B N_y$$

Para las ecuaciones indicadas se tiene:



CONSULTORIAS, ESTUDIOS Y CAPACITACIONES
EN INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN
MARCIAL S. CANCAPA HANCCO
INGENIERO CIVIL - CIR 168608
JEFE DE LABORATORIO



CECIC Laboratorio y capacitaciones



APVU – Mz "II", lote 4. San Juan
Ref. a tres cuerdas del GOREPA



990270829 / 963600813



990270829 / 963600813



Capacitaciones.cic@gmail.com

$$N_q = \varepsilon(\pi \tan \phi') \tan^2 \left[\left(45 + \frac{\phi'}{2} \right) \right]$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi'$$

$$N_\gamma = (N_q - 1) \tan(1,4 \phi')$$

$$S_c = 1 + 0,2 \frac{B}{L}$$

$$i_c = i_q = \left(1 - \frac{\alpha^\circ}{90^\circ} \right)^2$$

$$S_\gamma = 1 - 0,2 \frac{B}{L}$$

$$i_\gamma = \left(1 - \frac{\alpha^\circ}{\phi^\circ} \right)^2$$

Donde:

- c = Cohesión del suelo ubicado bajo la zapata
- i_c = Coeficiente de corrección por inclinación de la carga correspondiente a la cohesión
- i_q = Coeficiente de corrección por inclinación de la carga correspondiente a la sobre carga (γD_f)
- S_c = Coeficiente de corrección por la forma de la cimentación correspondiente a la cohesión
- S_γ = Coeficiente de corrección por la forma de la cimentación correspondiente a la fricción
- i_γ = Coeficiente de corrección por inclinación de la carga correspondiente a la fricción
- γ_1 = Peso unitario volumétrico de suelo ubicado sobre el nivel de cimentación
- γ_2 = Peso unitario volumétrico efectivo de suelo ubicado bajo el nivel de cimentación
- N_c = Coeficiente de capacidad de carga correspondiente a la cohesión
- N_q = Coeficiente de capacidad de carga correspondiente a la sobre carga (γD_f)
- N_γ = Coeficiente de capacidad de carga correspondiente a la fricción
- B' = Ancho del "área efectiva"
- α° = Ángulo en grados que hace la carga con la vertical

a) CALICATA N°01

En la calicata C-1 de profundidad 2.60 m, se ha realizado el ensayo de Corte Directo en especímenes remodelados y saturados del estrato (E-5) contenido entre 1.20m y 2.60m clasificándose en suelos como GW - GC. De acuerdo a este ensayo, se obtuvieron los siguientes resultados:

- Ángulo de Fricción Interna: $\phi = 29.72^\circ$
- Cohesión (Kg/cm^2): $c = 0.04$



CONSULTORIAS, ESTUDIOS Y CAPACITACIONES EN INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN

Margel S. ZANCAPA HANCCO
INGENIERO CIVIL - CIP. 168608
JEFE DE LABORATORIO



CECIC Laboratorio y capacitaciones



APVU - Mz "II", lote 4. San Juan
Ref. a tres cuerdas del GOREPA



990270829 / 963600813



990270829 / 963600813



Capacitaciones.cic@gmail.com

CONSULTORIAS, ESTUDIOS Y CAPACITACIONES EN INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN

OCEDA J & G CORPORATION SOCIEDAD ANONIMA CERRADA - RUC 20600166051

Asimismo, para el ángulo de fricción angular (corte local) los factores de capacidad de carga determinados por el RNE E.050 correspondientes son:

$$N_c = 29.48, N_q = 17.83, N_\gamma = 14.94.$$

Considerando zapatas cuadradas, los factores de forma correspondientes: $S_c = 1.20$, $S_\gamma = 0.80$

Cuadro N° 7.0: CAPACIDAD DE CARGA ADMISIBLE

B_ancho (m)	1.20		1.40		1.60		1.80	
L_largo (m)	1.20		1.40		1.60		1.80	
Profundidad (m)	Qult (Kg/cm ²)	Qadm (kg/cm ²)	Qult (Kg/cm ²)	Qadm (kg/cm ²)	Qult (Kg/cm ²)	Qadm (kg/cm ²)	Qult (Kg/cm ²)	Qadm (kg/cm ²)
1.20	5.40	1.80	5.65	1.88	5.90	1.97	6.16	2.05
1.35	5.70	1.90	5.96	1.99	6.21	2.07	6.46	2.15
1.50	6.01	2.00	6.26	2.09	6.52	2.17	6.77	2.26
1.65	6.32	2.11	6.57	2.19	6.82	2.27	7.08	2.36
1.80	6.63	2.21	6.88	2.29	7.13	2.38	7.39	2.46

Fuente: Laboratorio CECIC

b) CALICATA N°02

En la calicata C-2 de profundidad 1.10 m, se ha realizado el ensayo de Corte Directo en especímenes remodelados y saturados del estrato (E-3) contenido entre 0.50m y 1.10m clasificándose en suelos como GP - GC. De acuerdo a este ensayo, se obtuvieron los siguientes resultados:

- Ángulo de Fricción Interna: $\phi = 28.71^\circ$
- Cohesión (Kg/cm²): $c = 0.04$

Asimismo, para el ángulo de fricción angular (corte local) los factores de capacidad de carga determinados por el RNE E.050 correspondientes son:

$$N_c = 27.24, N_q = 15.92, N_\gamma = 12.61.$$

Considerando zapatas cuadradas, los factores de forma correspondientes: $S_c = 1.20$, $S_\gamma = 0.80$

Cuadro N° 7.0: CAPACIDAD DE CARGA ADMISIBLE

B_ancho (m)	1.20		1.40		1.60		1.80	
L_largo (m)	1.20		1.40		1.60		1.80	
Profundidad (m)	Qult (Kg/cm ²)	Qadm (kg/cm ²)	Qult (Kg/cm ²)	Qadm (kg/cm ²)	Qult (Kg/cm ²)	Qadm (kg/cm ²)	Qult (Kg/cm ²)	Qadm (kg/cm ²)
0.80	3.98	1.33	4.19	1.40	4.39	1.46	4.59	1.53
0.90	4.17	1.39	4.37	1.46	4.57	1.52	4.77	1.59
1.00	4.35	1.45	4.55	1.52	4.75	1.58	4.96	1.65
1.10	4.53	1.51	4.74	1.58	4.94	1.65	5.14	1.71
1.15	4.63	1.54	4.83	1.61	5.03	1.68	5.23	1.74

Fuente: Laboratorio CECIC

c) CALICATA N°03

En la calicata C-3 de profundidad 1.50 m, se ha realizado el ensayo de Corte Directo en especímenes remodelados y saturados del estrato (E-4) contenido entre 1.20m y 1.50m clasificándose en suelos como GC - GM. De acuerdo a este ensayo, se obtuvieron los siguientes resultados:

- Ángulo de Fricción Interna: $\phi = 26.75^\circ$
- Cohesión (Kg/cm²): $c = 0.02$

Asimismo, para el ángulo de fricción angular (corte local) los factores de capacidad de carga determinados por el RNE E.050 correspondientes son:



CECIC Laboratorio y capacitaciones



APVU - Mz "II", lote 4. San Juan
Ref. a tres cuadras del GOREPA



990270829 / 963600813



990270829 / 963600813



Capacitaciones.ccic@gmail.com

CONSULTORIAS, ESTUDIOS Y CAPACITACIONES EN INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN

OCEDA J & G CORPORATION SOCIEDAD ANONIMA CERRADA - RUC 20600166051

$N_c = 23.50$, $N_q = 12.85$, $N_\gamma = 9.07$.

Considerando zapatas cuadradas, los factores de forma correspondientes: $S_c = 1.20$, $S_\gamma = 0.80$

Cuadro N° 7.0: CAPACIDAD DE CARGA ADMISIBLE

B_ancho (m)	1.20		1.40		1.60		1.80	
L_largo (m)	1.20		1.40		1.60		1.80	
Profundidad (m)	Qult (Kg/cm ²)	Qadm (kg/cm ²)	Qult (Kg/cm ²)	Qadm (kg/cm ²)	Qult (Kg/cm ²)	Qadm (kg/cm ²)	Qult (Kg/cm ²)	Qadm (kg/cm ²)
1.20	3.20	1.07	3.35	1.12	3.49	1.16	3.64	1.21
1.30	3.35	1.12	3.50	1.17	3.64	1.21	3.78	1.26
1.40	3.50	1.17	3.64	1.21	3.79	1.26	3.93	1.31
1.50	3.65	1.22	3.79	1.26	3.94	1.31	4.08	1.36
1.60	3.79	1.26	3.94	1.31	4.08	1.36	4.23	1.41

Fuente: Laboratorio CECIC

1.8.4 CÁLCULO DE ASENTAMIENTO INICIAL

Los métodos más comunes emplean varias integraciones de la solución de Boussinesq para determinar el asentamiento de una carga puntual en la superficie de un semi-espacio homogéneo, isotrópico y elástico.

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

$$I_f = \frac{\sqrt{\frac{L}{B}}}{\beta_z}$$

Donde:

- S_i = Asentamiento Inicial
- Q_{adm} = Presión de carga admisible
- μ = Relación de Poisson
- E_s = Módulo de elasticidad
- B = Ancho de la cimentación
- I_f = Factor de influencia que depende de la forma y la rigidez de la Cimentación (cm./m) (Bowles 1977)

TIPO DE SUELO	E_s (ton/m ²)
ARCILLA MUY BLANDA	30 - 300
BLANDA	200 - 400
MEDIA	450 - 900
DURA	700 - 2000
ARCILLA ARENOSA	3000 - 4250
SUELOS GRACIARES	1000 - 16000
LOESS	1500 - 6000
ARENA LIMOSA	500 - 2000
ARENA : SUELTA	1000 - 2500
DENSA	5000 - 10000
GRAVA ARENOSA : DENSA	8000 - 20000
SUELTA	5000 - 14 000
ARCILLA ESQUISTOSA	14000 - 140000
LIMOS	200 - 2000

TIPO DE SUELO	μ (-)
ARCILLA: SATURADA	0.4 - 0.5
NO SATURADA	0.1 - 0.3
ARENOSA	0.2 - 0.3
LIMO	0.3 - 0.35
ARENA : DENSA	0.2 - 0.4
DE GRANO GRUESO	0.15
DE GRANO FINO	0.25
ROCA	0.1 - 0.4
LOESS	0.1 - 0.3
HIELO	0.36
CONCRETO	0.15

Fuente: Alva J. (Diseño de Cimentaciones)

De acuerdo al análisis desarrollado para las calicatas se tiene los siguientes resultados de Asentamiento Inicial para las calicatas N°01, N°02 y N°03.



CONSULTORIAS, ESTUDIOS Y CAPACITACIONES EN INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN

Marcel S. CANCABA HANCCO
INGENIERO CIVIL CIP 168608
JEFE DE LABORATORIO



CECIC Laboratorio y capacitaciones



APVU - Mz "II", lote 4. San Juan
Ref. a tres cuerdas del GOREPA



990270829 / 963600813



990270829 / 963600813



Capitaciones.cic@gmail.com

CONSULTORIAS, ESTUDIOS Y CAPACITACIONES EN INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN

OCEDA J & G CORPORATION SOCIEDAD ANONIMA CERRADA - RUC 20600166051

Cuadro N° 8.0: Asentamiento inicial

	Presión de carga S_i (cm)	Presión de carga asumida por asentamiento, S_i (cm)
Calicata N°01	0.39	0.64
Calicata N°02	0.29	0.64
Calicata N°03	0.23	0.64

Fuente: Laboratorio CECIC

2. PLANOS Y PERFILES DE PUNTOS INVESTIGADOS

2.1 PLANO DE UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE EXPLORACIÓN

Para el presente estudio los puntos de exploración y su ubicación fueron designados por el solicitante.

PROYECTO DE INTERVENCIÓN

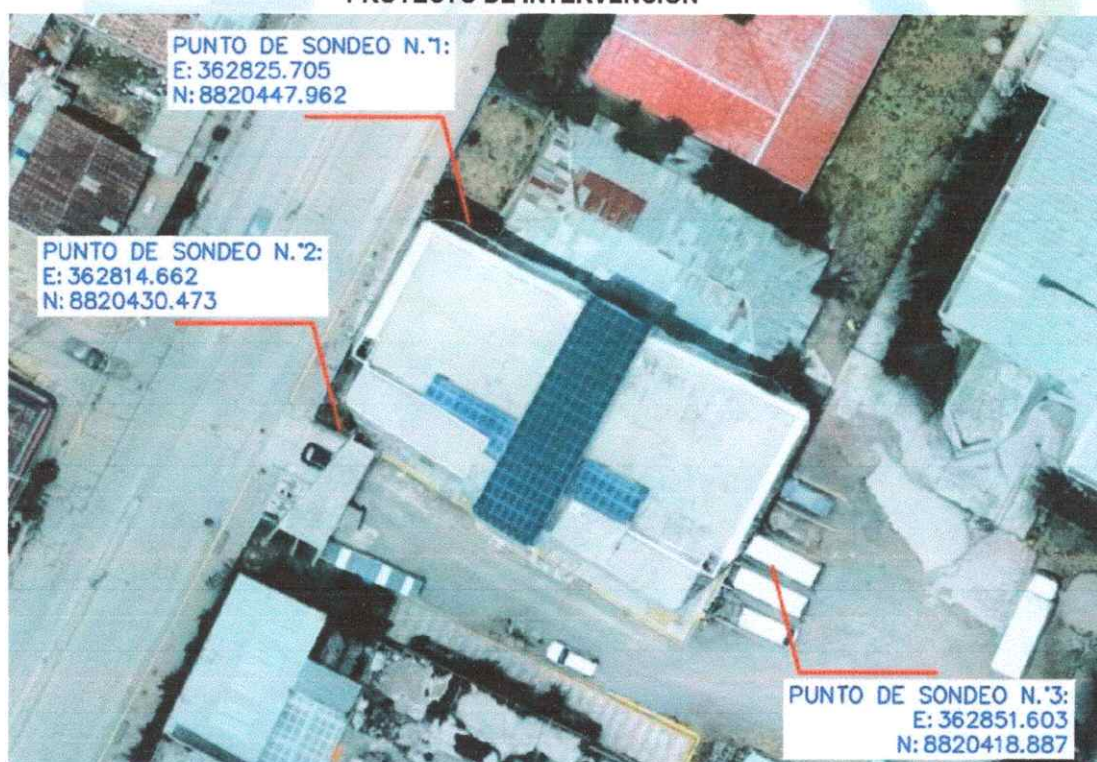


Imagen N°02: Ubicación de calicatas

2.2 PERFIL ESTRATIGRAFICO POR PUNTO EXPLORADO

Durante la exploración de las tres calicatas del proyecto en mención se ha desarrollado perfiles estratigráficos tomando los criterios de descripción e identificación de la NTP 339.150, los mismos que son adjuntados en el ANEXO N°01: REPORTE DE LOS ENSAYOS DESARROLLADOS.



CONSULTORIAS, ESTUDIOS Y CAPACITACIONES
EN INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN

Maximal S. CANCAPA HANCCO
INGENIERO CIVIL - CIP 168608
JEFE DE LABORATORIO



CECIC Laboratorio y capacitaciones



APVU – Mz “II”, lote 4. San Juan
Ref. a tres cuadras del GOREPA



990270829 / 963600813



990270829 / 963600813



Capacitaciones.cic@gmail.com

3. GEOLOGIA

La morfología es el resultado de los efectos degradatorios causados por los agentes de meteorización que ha actuado sobre las unidades litológicas constituidas por calizas y en menor proporción por areniscas.

4.1. UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS

Morfoestructuralmente, la mayor parte de la zona de estudio se encuentra dentro de las Altiplanicies Interandinas que separan la Cordillera Occidental de la Cordillera Oriental. Las características que se han considerado para diferenciar las unidades morfológicas locales fueron: altitud sobre el nivel del mar, relieve y el tipo de roca que aflora. Como resultado, se han diferenciado 5 unidades morfológicas (Imagen N°03). Dos de ellas se encuentran en las Altiplanicies Interandinas: Planicie del lago Junín y Bosque de Rocas; y las otras tres, en la Cordillera Oriental: Cordillera Oriental (sensu stricto), borde oeste de la Cordillera Oriental, y Valles Interandinos.

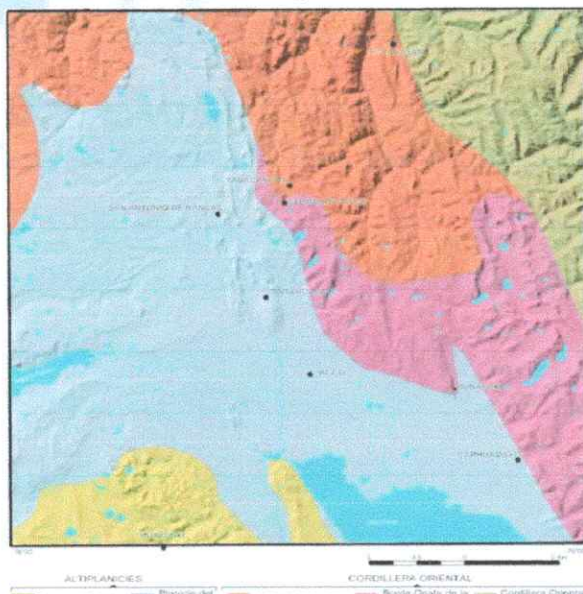


Imagen N°03 - Principales unidades geomorfológicas regionales de la zona de estudio.

• Zona de Altas Cumbres:

Corresponde a la parte más alta de la Cordillera Occidental que se extiende desde el Noroeste del cuadrángulo de Ondores hasta el cuadrángulo de Matucana, formando una línea de cumbre con dirección NO-SE que cruza el área. Se encuentra constituida por geoformas agrestes de modelado glaciar, algunas con restos de nieve perpetua como el Nevado Alcaz, las cordilleras La Viuda, y Puagjancha, ubicadas al Suroeste del cuadrángulo de Ondores, alcanzando altitudes que varían de 4,800 a 5,400 msnm. Estas cumbres constituyen las nacientes de los ríos Corpocancha, Capillayoc y Chonta, entre otros, presenta un drenaje dendrítico y drenan hacia la cuenca del Mantaro, siendo éstos sus principales tributarios.

• Superficie Puna:

Esta unidad reconocida por Mc LAUGHLIN, D.H. (1924) consistente en una superficie pobremente desarrollada, que no ha logrado ser peneplanizada por completo, la superficie se establece truncando los pliegues de la Tectónica Incaica que afecta a los estratos paleozoicos y mesozoicos. Teniendo como base a los volcánicos del Grupo Calipuy reconocido al Noroeste del cuadrángulo de Ondores, se tiene que estos volcánicos descansan sobre una superficie de



CECIC Laboratorio y capacitaciones



APVU - Mz "II", lote 4. San Juan
Ref. a tres cuadras del GOREPA



990270829 / 963600813



990270829 / 963600813



Capacitaciones.cic@gmail.com

CONSULTORIAS, ESTUDIOS Y CAPACITACIONES EN INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN

OCEDA J & G CORPORATION SOCIEDAD ANONIMA CERRADA - RUC 20600166051

estratos mesozoicos y paleógenos plegados. En los cuadrángulos de Ambo y Cerro de Pasco esta superficie es madura, descansa y/o reposa sobre los esquistos del Grupo Excelsior, así como en rocas mesozoicas y pudiendo correlacionarse con una Superficie Eocena, que se encuentra por debajo del Grupo Calipuy. las superficies de erosión pueden ser identificadas sobre fotografías aéreas e imágenes de satélite, por presentar una morfología plana y ondulada.

• **Relieve Cordillerano:**

Se encuentra distribuido en los cuadrángulos de Ambo (Nororiental y Noroccidental), en Cerro de Pasco (Oriental) y Ondores (Sur Occidental). El relieve es caracterizado por tener una superficie de intensa erosión, laderas post-maduras, ríos moderadamente profundos y relativamente empinadas. Siendo la glaciación cuaternaria uno de los principales agentes que moldearon el relieve; la acción del hielo sobre la roca determina la topografía abrupta conformando los Nevados como: Ashujanca, Pabletanca, Quiulacocha, Alcay y de La Viuda presente en el área de estudio.

• **Depresión de la Laguna Chinchaycocha:**

Esta unidad geomorfológica se ubica entre las cordilleras Occidental y Oriental. en el sector Sureste del cuadrángulo de Cerro de Pasco y Noreste de Ondores, respectivamente, conforma una superficie ondulada con fondo llano disectado por el socavamiento del río Mantaro, moldeado por la acción eólica y erosión glaciár, formando la depresión longitudinal del Lago Junín (Chinchaycocha). Así mismo presenta una morfología suave; ubicada a una altitud de 4,200 msnm emplazada en rocas del Grupo Pucará.

• **Lagunas Glaciares:**

Cubren los nevados de Alcay, Jitpa, Lashal y Cordillera La Viuda, ubicadas en el extremo Suroeste del cuadrángulo de Ondores y Noreste del cuadrángulo de Ambo, presenta alineación Noroeste - Sureste. La formación de las lagunas se debe a las filtraciones del hielo en cubetas labradas por la glaciación, las que tienen como diques a las morrenas frontales, de tal manera que la filtración en la zona de estudio sería la causante de estas cubetas creándose las lagunas.

• **Depósitos Morrénicos y Llanura de Inundación:**

Esta unidad se extiende al Noroeste de la localidad de Cerro de Pasco, consiste de una superficie plana con tierras altas que alcanzan una altura promedio de 4,300 msnm. Está moderadamente circundada por una cadena de cerros dentados que forman la divisoria continental, siendo cubierta en la parte baja con depósitos glaciares que forman las grandes morrenas; tal como se puede apreciar en las localidades de Huaracancha y la Hacienda Ranchangaga ubicados al Noreste del cuadrángulo de Ondores. Es posible distinguir depósitos morrénicos de dos diferentes edades. El antiguo por efecto de intemperismo, la cresta va siendo degradada y el reciente presenta una cresta marginal dentada, siendo estos rasgos característicos de los hielos estancados que se dan al Noroeste de Ondores.

• **Valle Glaciár:**

Los ríos desarrollan varias etapas de erosión conformando los procesos y agentes geomorfológicos externos los que han actuado en combinación con movimientos epigenéticos ocurridos a fines del Neógeno y el Cuaternario. Los valles glaciares se encuentran en las partes altas con un típico modelado glaciar destacándose las formas en "U" tal como los valles de Casacancha, Jircacancha, Racray, Pampa Cuncash ubicados al Suroeste del cuadrángulo de Ondores, estos valles están separados por una cadena de cumbres concordantes que descienden de 4,600 a 4,200 msnm



CONSULTORIAS, ESTUDIOS Y CAPACITACIONES
EN INGENIERIA Y CONSTRUCCION
Marcelo S. CANCAY HANCCO
INGENIERO CIVIL - CIP: 166608
JEFE DE LABORATORIO



CECIC Laboratorio y capacitaciones



APVU - Mz "II", lote 4. San Juan
Ref. a tres cuadras del GOREPA



990270829 / 963600813



990270829 / 963600813



Capacitaciones.ccc@gmail.com

• Etapa Cañón:

En la zona de estudio estos valles se encuentran en los cuadrángulos de Ambo, Cerro de Pasco y Ondores, ligados a los valles formados por depósitos aluviales los que se suceden a diferentes niveles, a ambos flancos del lecho del río, tal como se ve en el río Pucayacu y Shiriconcha ubicados al extremo Sureste de la represa de Mal Paso, las cuales drenan sus aguas a la cuenca del Mantaro, así también el río Chaupihuaranga ubicado en el extremo Suroeste del cuadrángulo de Ambo discurre sus aguas hacia el valle del Huallaga, siendo uno de los principales tributarios.

• Etapa Valle:

Esta unidad geomorfológica se ubica en el cuadrángulo de Ambo, presentando laderas con pendientes moderadas como las formadas en el río Huertas y demás tributarios, los que llevan sus aguas al río Huallaga alcanzando una dirección de Norte a Sur. En su recorrido pasa por las localidades de Huariaca, San Rafael y Ambo cortando una serie de rocas paleozoicas como las del Grupo Mitu y el Neo-proterozoico.

Tomando como referencia la base de datos del GEOCATMIN – INGEMMET, 2017, las unidades geomorfológicas del área de estudio están formadas por:

- (1) Formación Chambara (Ts-ch): Calizas blancas en bancos medianos a gruesos, calizas arenosas y areniscas calcáreas con limoarcillitas. (Imagen N° 4 y N°5)

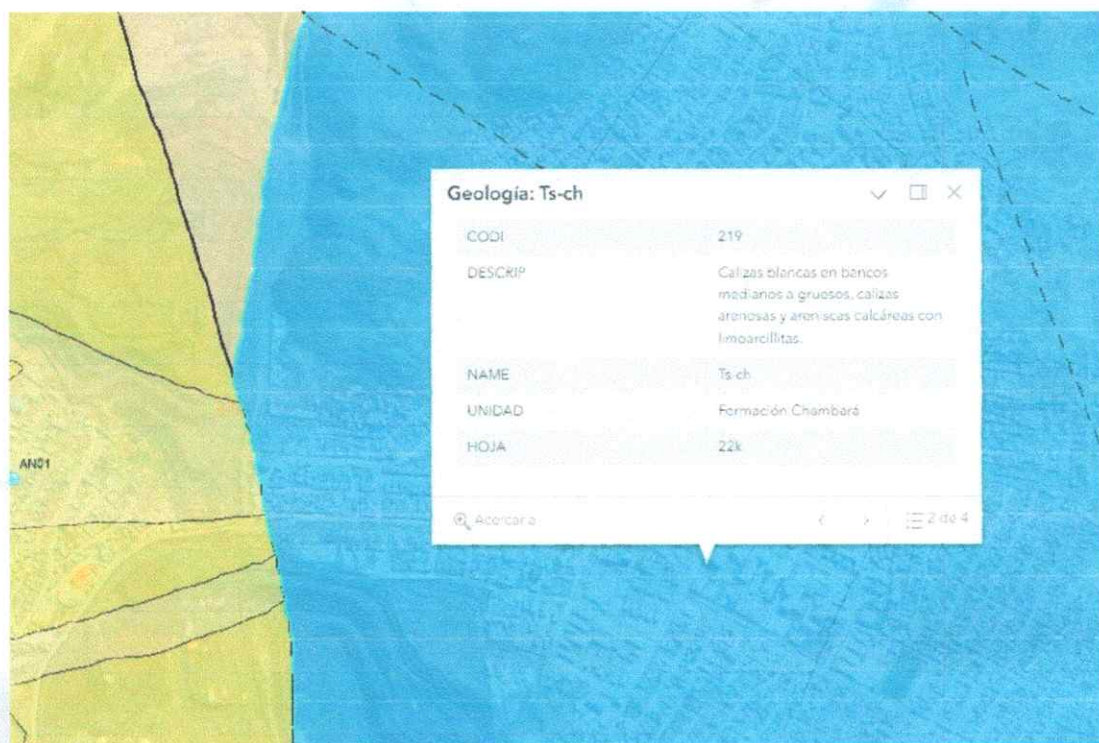


Imagen N°04: Unidades geomorfológicas dentro de la zona del proyecto



CONSULTORIAS, ESTUDIOS Y CAPACITACIONES
EN INGENIERIA Y CONSTRUCCION

Marcial S. CANCAYA HANCCO
INGENIERO CIVIL - CIP 168608
JEFE DE LABORATORIO



CECIC Laboratorio y capacitaciones



APVU – Mz "II", lote 4. San Juan
Ref. a tres cuadras del GOREPA



990270829 / 963600813



990270829 / 963600813



Capitaciones.cic@gmail.com

CONSULTORIAS, ESTUDIOS Y CAPACITACIONES EN INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN

OCEDA J & G CORPORATION SOCIEDAD ANONIMA CERRADA - RUC 20600166051

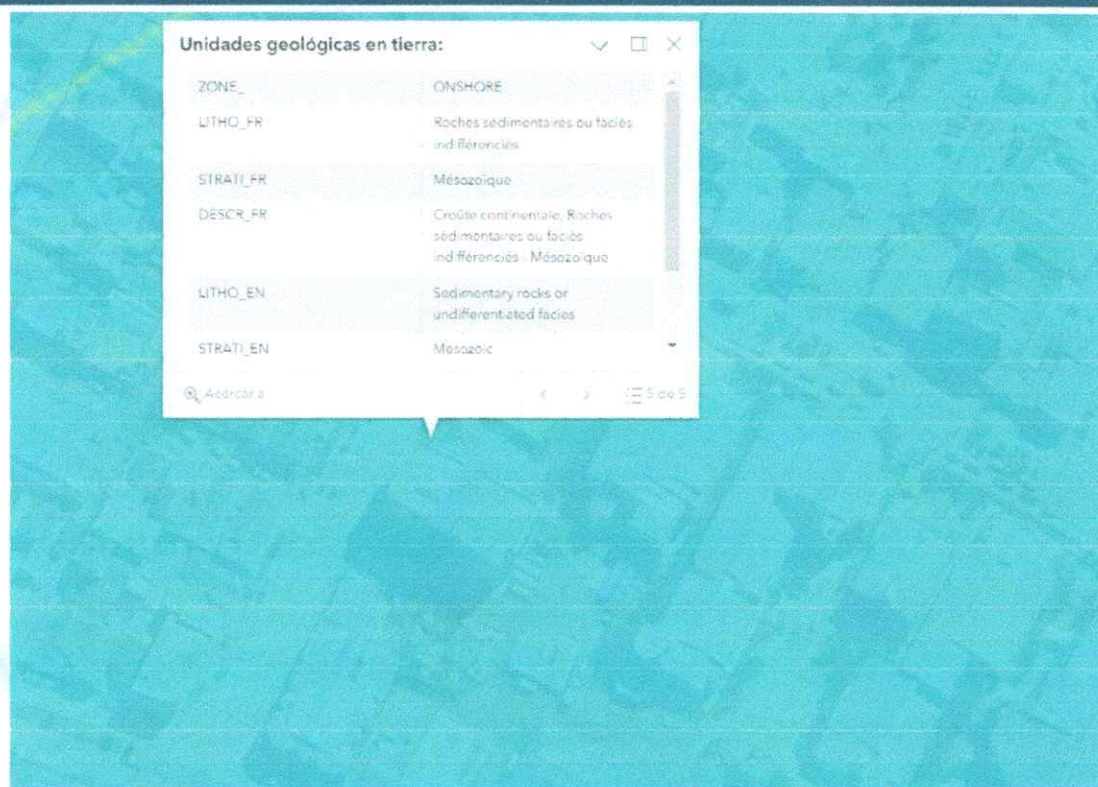


Imagen N°05: Unidades geomorfológicas
Fuente: INGENMET

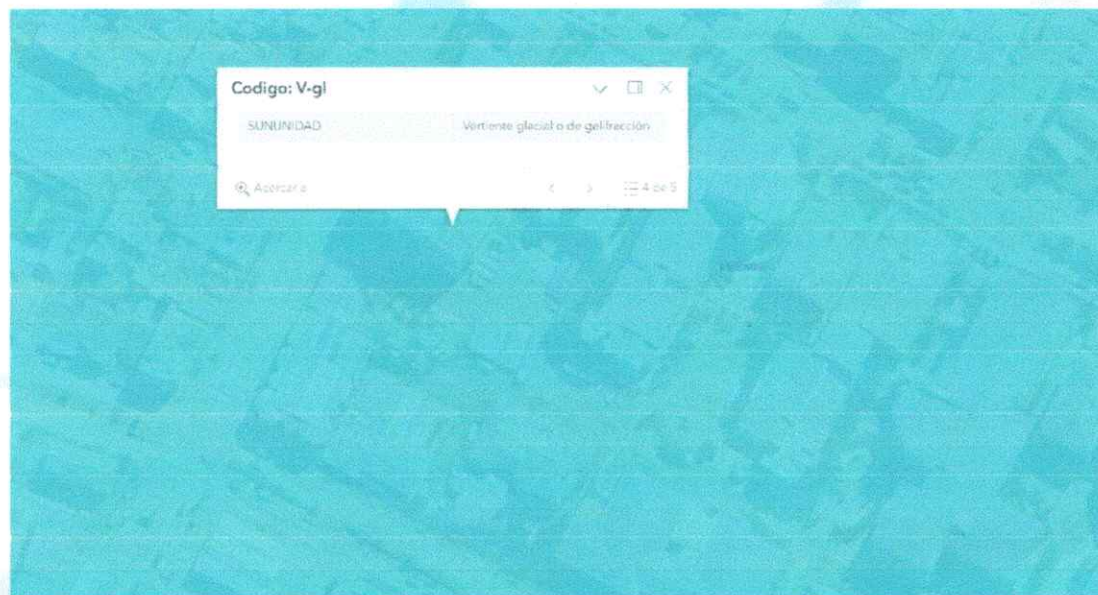


Imagen N°06: Vertiente glacial o de gelifracción
Fuente: INGENMET



CONSULTORIAS, ESTUDIOS Y CAPACITACIONES
EN INGENIERIA Y CONSTRUCCION
MARCIAL S. CANCOPA HANCO
INGENIERO CIVIL - CIP 168608
JEFE DE LABORATORIO



CECIC Laboratorio y capacitaciones



APVU – Mz "II", lote 4. San Juan
Ref. a tres cuadras del GOREPA



990270829 / 963600813



990270829 / 963600813



Capacitaciones.ccic@gmail.com

4.1.1. PLIEGUES EJE ANTICLINAL

Los pliegues geológicos son estructuras formadas por la deformación dúctil de las capas de roca de la corteza terrestre debido a las fuerzas tectónicas. Estas fuerzas, que actúan a lo largo de millones de años, provocan que las rocas, inicialmente horizontales, se doblen y formen ondas. Los pliegues son una muestra de los efectos que puede provocar la dinámica interna de la Tierra durante un tiempo prolongado en materiales aparentemente invariables. Este fenómeno nos proporciona información valiosa sobre los procesos geológicos que han afectado a una región determinada.

Los anticlinales son pliegues en forma de arco hacia arriba, donde las capas más antiguas se encuentran en el núcleo del pliegue.

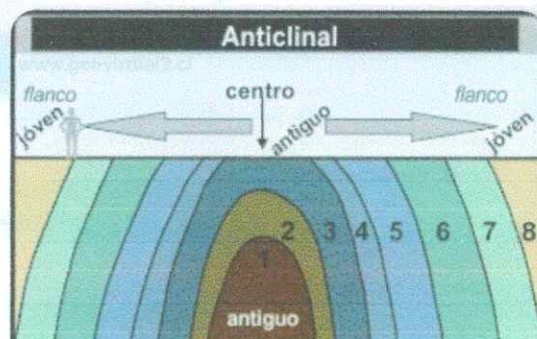


Imagen N°06: Pliegue anticlinal

- a) el centro es un eje de simetría.
- b) los dos lados del anticlinal muestran direcciones (de inclinación) diferentes.
- c) los estratos se inclinan siempre hacia los flancos.
- d) en el centro el manteo es pequeño o cero (estratos horizontales)
- e) desde del centro hacia los flancos el manteo se aumenta paulatinamente.
- f) en el centro (núcleo) afloran los estratos más antiguos en los flancos los estratos más jóvenes.

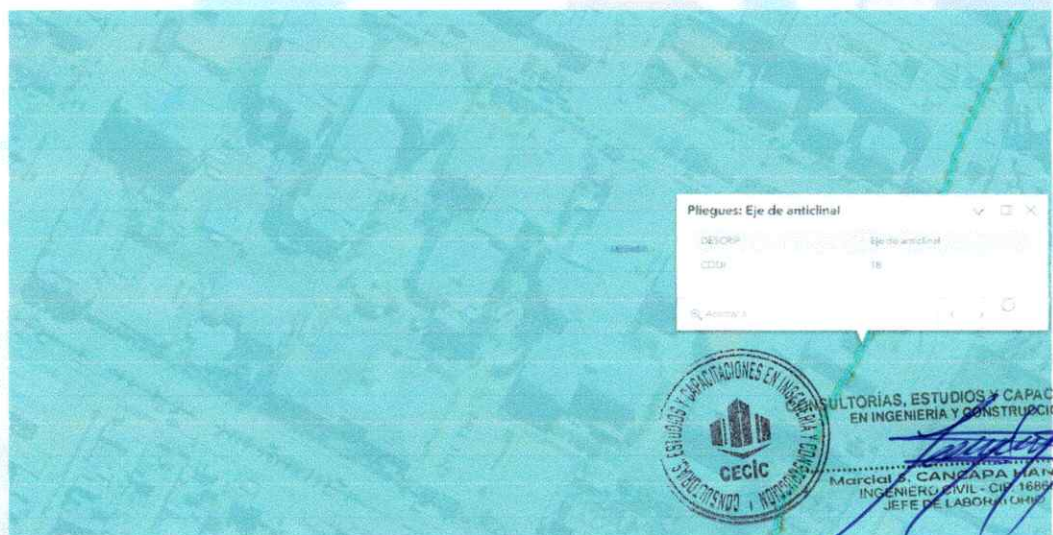


Imagen N°07: Pliegues geológicos dentro de la zona del proyecto
Fuente: INGENMET



CECIC Laboratorio y capacitaciones



APVU – Mz "II", lote 4. San Juan
Ref. a tres cuadras del GOREPA



990270829 / 963600813



990270829 / 963600813



Capitaciones.ccic@gmail.com

4.2. GEOLOGIA REGIONAL

Cerro de Pasco se localiza en las altiplanicies interandinas de la parte central del Perú, entre la cordillera Occidental y la cordillera Oriental. Está conformado por las planicies interandinas y forman parte de la cuenca del lago de Junín, lugar donde nace el río Mantaro, hacia la parte norte el relieve es más abrupto formado por valles en "V", los cuales son efecto de la erosión hecha por la red hidrográfica del río Huallaga. La geología regional comprende rocas sedimentarias, ígneas y metamórficas, cuyas edades varían desde el Paleozoico inferior hasta el cuaternario. Hacia la cordillera Oriental se hallan las rocas paleozoicas más antiguas. En la cordillera Occidental, donde se desarrolla una altiplanicie de más de 4,200 m. de altitud, aflora el mesozoico marino y sedimentos continentales terciarios con pequeñas intrusiones del Mioceno.

La evolución geológica ha ocurrido en 9 ciclos: Precámbrico, Paleozoico inferior, Paleozoico superior, Pérmico superior, Jurásico inferior, Jurásico superior- cretácico, Cretácico medio-superior, Paleógeno, Neógeno y Cuaternario; y se han repartido en 5 dominios tectonoestratigráficos: Occidental, central, suroccidental, nororiental y oriental. En la parte oriental y nor-oeste del cuadrángulo de Cerro de Pasco, afloran las rocas más antiguas, el grado de metamorfismo ha permitido atribuir a estas rocas al complejo Metamórfico del Maraón cuya edad puede llegar al Precámbrico. (INGEMENT, 2011).

El Cuadrángulo de Cerro de Pasco (22-k) abarca aproximadamente 3000 km². Está ubicado en el centro del Perú, entre las coordenadas geográficas 10°30' a 11°00' de latitud sur, y 76°00' a 76°30' longitud oeste (Fig. 1). Políticamente, el área de estudio pertenece a las regiones de Cerro de Pasco y Junín. La zona de estudio, desde el punto de vista geológico, es importante porque se encuentra en el límite norte de las Altiplanicies Interandinas que separan la Cordillera Occidental de la Cordillera Oriental. Entre ellas se encuentran varios dominios tectonoestratigráficos y numerosas minas polimetálicas como Cerro de Pasco, Milpo, Atacocha, Colquijirca y Huarón, y la mina de oro Quicay. Los atractivos geoturísticos dentro del Cuadrángulo de Cerro de Pasco son el tajo Raúl Rojas de la Mina Cerro de Pasco, el Bosque de Piedras de Huayllay y la meseta de Bombón

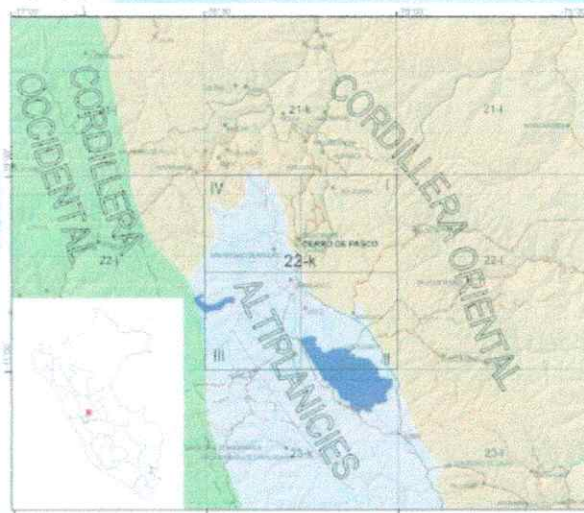


Imagen N°08: Mapa de ubicación del Cuadrángulo de Cerro de Pasco (22-k)

Fuente: INGENMET

4.2.1. GRUPO PUCARA

El conjunto de rocas carbonatadas presenta una morfología suave ondulada con relieves



CECIC Laboratorio y capacitaciones



APVU – Mz "II", lote 4. San Juan
Ref. a tres cuadras del GOREPA



990270829 / 963600813



990270829 / 963600813



Capitaciones.ccc@gmail.com

CONSULTORIAS, ESTUDIOS Y CAPACITACIONES EN INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN

OCEDA J & G CORPORATION SOCIEDAD ANONIMA CERRADA - RUC 20600166051

cársticos y dolinas, ocasionalmente escarpados, encañonada como ocurre entre Yanamate y Pucayacu.

Inicialmente en el área de estudio el Grupo Pucará fue diferenciado en las calizas triásicas de la Formación Chambará y calizas liásicas de Formación Condorsinga. En estudios recientes se reconoció la Formación Aramachay en base a criterios estratigráficos y paleontológicos.

La Formación Chambará: se caracteriza por constituir una secuencia relativamente monótona de calizas masivas, color gris azulado a superficie intemperizada | cremoso, se distingue nódulos de chert de formas irregulares o lentes paralelos a la estratificación.

La Formación Aramachay: se caracteriza por presentar calizas tabulares del orden menor de 15 cm, de color gris oscuro a bituminoso con niveles margosos y políticos negros con abundante material orgánico con la presencia de fósiles que caracterizan a esta unidad. El grosor es variable de un lugar a otro, pero se estima en 50 m.

La Formación Condorsinga: está constituido por calizas grises en capas delgadas, ligeramente masivos bien estratificados con ciertas intercalaciones de calizas dolomíticas.

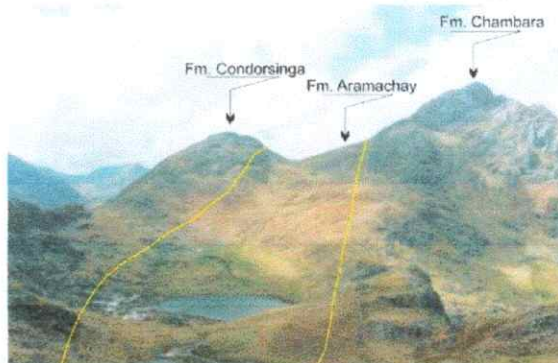


Imagen N°10: Vista panorámica del Grupo Pucará en el cerro Rondoní. Nótese las formaciones Chambará, Aramachay y Condorsinga.



CONSULTORIAS, ESTUDIOS Y CAPACITACIONES
EN INGENIERIA Y CONSTRUCCION
[Firma]
Marcel S. CANCATA HANCCO
INGENIERO CIVIL / CIP 188608
JEFE DE LABORATORIO



CECIC Laboratorio y capacitaciones



APVU – Mz "II", lote 4. San Juan
Ref. a tres cuadras del GOREPA



990270829 / 963600813



990270829 / 963600813



Capitaciones.cic@gmail.com

CONSULTORIAS, ESTUDIOS Y CAPACITACIONES EN INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN

OCEDA J & G CORPORATION SOCIEDAD ANONIMA CERRADA - RUC 20600166051



Imagen N° 10.- columna estratigráfica del Grupo Pucara en la carretera Cerro de Pasco - Milpo.

(a) FORMACIÓN CHAMBARA

Se caracteriza por constituir una secuencia relativamente monótona de calizas masivas, color gris azulino a superficie intemperizada color amarillo cremoso, se distingue nódulos de chert de formas irregulares o lentes paralelos a la estratificación. El cerro Uliachín está constituida por calizas potentes de color oscuro a veces bituminosa a la parte superior, alterna niveles de margas y calizas arenosas. No se observa la base debido a la existencia de una falla, sin embargo, se muestra cerca del talweg y flanco oriental de la quebrada Rumillana a unos 3 km al norte de Cerro de Pasco; en este lugar se encuentran muy subverticales y están situadas inmediatamente encima del Grupo Excelsior. Al Este de la falla Atacocha - Milpo se midió una sección constituida en la base por caliza gris clara compacta y masiva con intercalaciones de calizas nodulares, de chert; capas medianas a gruesas, con esporádicos niveles delgados de caliza tabular con vetillas de calcita, se caracteriza por ser muy resistente a erosión. En la margen derecha de la quebrada Sharpa



CECIC Laboratorio y capacitaciones



APVU - Mz "II", lote 4. San Juan
Ref. a tres cuerdas del GOREPA



990270829 / 963600813



990270829 / 963600813



Capacitaciones.cic@gmail.com

CONSULTORIAS, ESTUDIOS Y CAPACITACIONES EN INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN

OCEDA J & G CORPORATION SOCIEDAD ANONIMA CERRADA - RUC 20600166051

son calizas gris claras a oscuras de composición micrítica, se intercalan capas delgadas de calizas dolomíticas a dolomitas, margas y lutitas. En los niveles inferiores se presenta calizas nodulares con chert en capas medianas a gruesas con rumbo aproximado Norte - Sur, con inclinaciones de 70 - 85° al Oeste a veces verticales e invertidos

La Formación Chamará (Ts-ch):

Se caracteriza por constituir una secuencia relativamente monótona de calizas masivas, color gris azulino a superficie intemperizada color amarillo cremoso, se distingue nódulos de chert de formas irregulares o lentes paralelos a la estratificación.

Formación Chamará (Ts-hc).

ERATEMA	SISTEMA	SERIE	EDAD (Ma)	UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS			
PERMICO	TRIÁSICO JURÁSICO	INFERIOR	174.1	Grupo Pucara	Formación Condorsinga	Jl-c	Calizas gris claras y oscuras y calcarenitas amarillentas en estratos gruesos
		SUPERIOR	201.2		Formación Aramachay	Jl-a	Areniscas calcáreas negras a gris claras intercaladas con calizas carbonosas con nódulos
			203		Formación Chamará	Ts-ch	Calizas blancas, calizas arenosas y areniscas calcáreas con limonarcillitas estratos de medianos a gruesos
	LOPINGIANO		252.17	Grupo Mitu		PET-m	Areniscas intercaladas con limonarcillitas y conglomerados volcáeos; tobas y lavas andesíticas y basálticas
			252.8				

Imagen N° 11.- columna estratigráfica del Grupo Pucara en la carretera Cerro de Pasco - Milpo.

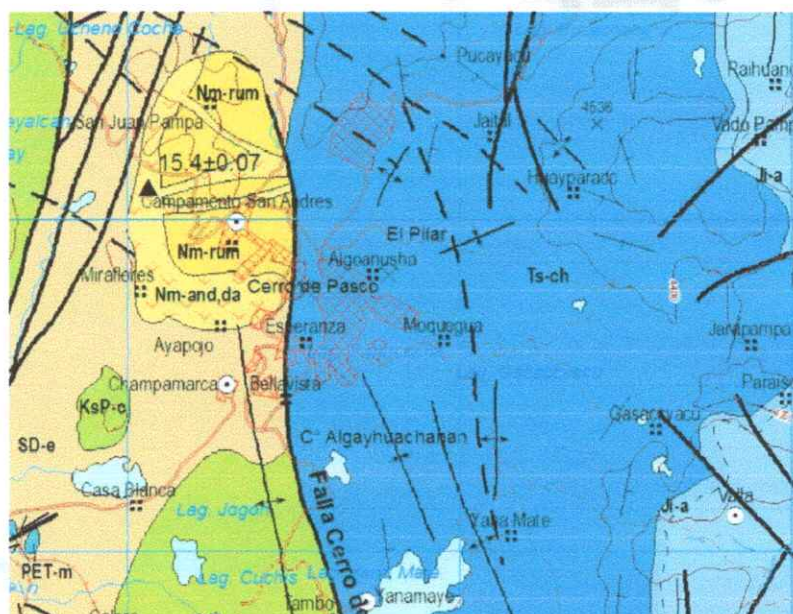


Imagen N° 12.- Ts - ch



CECIC Laboratorio y capacitaciones



APVU - Mz "II", lote 4. San Juan
Ref. a tres cuadras del GOREPA



990270829 / 963600813



990270829 / 963600813



Capitaciones.cic@gmail.com

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. A partir de los ensayos desarrollados a las muestras obtenidas en las calicatas se recomienda realizar el diseño de las cimentaciones de las estructuras considerando los siguientes parámetros y/o de considerar necesario cimentar sobre los macizos rocosos, debiendo evaluar para ello el nivel de pisos terminados y ubicación de cada uno de los bloques a proyectarse.

	Cohesión (C) kg/cm ²	Ángulo de fricción (φ)	Peso unitario del suelo (g/cm ³)
Calicata N°01	0.04	29.71	2.120
Calicata N°02	0.04	28.71	2.003
Calicata N°03	0.02	26.75	1.989

Fuente: Laboratorio CECIC

2. Las dimensiones, profundidad y tipo de cimentación consideradas en la presente fueron ideadas para la determinación de la capacidad admisible. Por lo tanto, el investigador podría adoptar sus propias condiciones de diseño de acuerdo al tipo de infraestructura.
3. No debe cimentarse sobre turba, suelo orgánico, tierra vegetal, desmonte, relleno sanitario o relleno artificial y estos materiales inadecuados deberán ser removidos en su totalidad, antes de construir la edificación y ser reemplazados con materiales adecuados debidamente compactados.
4. Para evitar situaciones de inestabilidad derivados principalmente de la condición suelta en que pueden quedar los suelos de apoyo de las zapatas durante el proceso de construcción que altera totalmente sus propiedades naturales, es necesario densificar convenientemente el fondo de la excavación.
5. De acuerdo al RNE (E.050) no se debe diseñar la cimentación de las estructuras sobre un terreno de relleno no controlado, por consiguiente, se recomienda diseñar las cimentaciones sobre los macizos rocosos, suelos de rellenos de ingeniería, estabilizaciones y/o evaluar cimentaciones a través de falsas zapatas como conexión del macizo rocoso y las zapatas.
6. Se deberá contar con un drenaje apropiado, de tal forma de mantener la humedad a la cual se realizaron los ensayos de este estudio y no variar las condiciones mecánicas del suelo de fundación.



CONSULTORIAS, ESTUDIOS Y CAPACITACIONES
EN INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN

Marcial S. CANZAPA HANCCO
INGENIERO CIVIL - CIP. 168608
JEFE DE LABORATORIO



CECIC Laboratorio y capacitaciones



APVU – Mz “II”, lote 4. San Juan
Ref. a tres cuadras del GOREPA



990270829 / 963600813



990270829 / 963600813



Capacitaciones.ccic@gmail.com

ANEXO N°01: REPORTE DE LOS ENSAYOS DESARROLLADOS



CECIC Laboratorio y capacitaciones



APVU – Mz “II”, lote 4. San Juan
Ref. a tres cuadras del GOREPA



990270829 / 963600813



990270829 / 963600813



Capacitaciones.ccic@gmail.com

CONSULTORIAS, ESTUDIOS Y CAPACITACIONES EN INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN

OCEDA J & G CORPORATION SOCIEDAD ANONIMA CERRADA - RUC 20600166051



LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y CONTROL DE CALIDAD

ESTUDIOS DE SUELOS PARA DETERMINACIÓN DE CAPACIDAD ADMISIBLE DEL SUELO

Solicitante : Bach. ATENCIO MONGE CARLOS ALBERTO
Obra/Proyecto : "MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL EN MODELO COMPUTACIONAL DEL PABELLÓN DE LA FACULTAD DE DERECHO DE LA UNDAC IMPLEMENTANDO DISIPADORES DE ENERGÍA SHEAR LINK - PASCO 2024"
Ubicación : Yanacancha - Pasco - Pasco
Nº Informe : S - 24 - 101

DATOS

Recepción de Muestras : 16/11/2024
Fecha de Emisión : 22/11/2024
Calicata : C-1; E-5
Descripción : Calicata
Muestra : M1

RESUMEN DE ENSAYOS

Clasificación : GW - GC Contenido de humedad : 11.27%
A-2-4 (0)

Límites de Atterberg

Límite Líquido : 27.00
Límite Plástico : 18.00
Índice de plasticidad : 9.00

Ensayo de corte directo

Cohesión (c): : 0.04 kg/cm²
Ang. Fricción (f): : 29.72 °

Nota: - Las muestras fueron remoldeadas al 90 % de la MDS.

Peso unitario del suelo bajo el : 2.120 g/cm³
nivel de fundación

Capacidad admisible del suelo

B_ancho (m)	1.20		1.40		1.60	
L_largo (m)	1.20		1.40		1.60	
Profundidad(m)	Qult (Kg/cm2)	Qadm (Kg/cm2)	Qult (Kg/cm2)	Qadm (Kg/cm2)	Qult (Kg/cm2)	Qadm (Kg/cm2)
1.20	5.40	1.80	5.65	1.88	5.90	1.97
1.35	5.70	1.90	5.96	1.99	6.21	2.07
1.50	6.01	2.00	6.26	2.09	6.52	2.17
1.65	6.32	2.11	6.57	2.19	6.82	2.27
1.80	6.63	2.21	6.88	2.29	7.13	2.38



CONSULTORIAS, ESTUDIOS Y CAPACITACIONES
EN INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN
BACH. S. CANCADA HANCO
INGENIERO CIVIL - RUC 106608
JEFE DE LABORATORIO



CECIC Laboratorio y capacitaciones



APVU - Mz "II", lote 4. San Juan
Ref. a tres cuadras del GOREPA



990270829 / 963600813



990270829 / 963600813



Capacitaciones.cic@gmail.com

CONSULTORIAS, ESTUDIOS Y CAPACITACIONES EN INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN

OCEDA J & G CORPORATION SOCIEDAD ANONIMA CERRADA - RUC 20600166051

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y CONTROL DE CALIDAD

PERFIL ESTRATIGRÁFICO

Solicitante
Obra/Proyecto

: Bach. ATENCIO MONGE CARLOS ALBERTO
: "MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL EN MODELO COMPUTACIONAL DEL PABELLÓN DE LA FACULTAD DE DERECHO DE LA UNDAC IMPLEMENTANDO DISIPADORES DE ENERGÍA SHEAR LINK - PASCO 2024"

Ubicación
Fecha de Ensayo
Fecha de Emisión
Muestra
Nº Registro

: Yanacancha - Pasco - Pasco
: 16/11/2024
: 22/11/2024
: C-1; E-5
: SPE - 23 - 101 - 01

Nivel freático : 0.00 m

Profundidad (m)	Estrato	Simbolo gráfico	Descripción	Clasificación SUCS
0.2	E - 1		Material organico con presencia de raices y cobertura de gras natural	Pt
0.4	E - 2		Material de relleno con presencia de plastico, desperdicios	R
0.6	E - 3		Suelo grava limosa de color plomo con lentes de color marrón enm condición humedo	GM
0.8	E - 4		Suelo grava arcillosa de color dorado en condición humedo con rocas meteorizadas.	GC
1	E - 5		Suelo grava arcillosa bien gradada de color marrón con presencia de rocas meteorizadas en condición humedo con boloneria de 6" - 8" de consistencia firme y cementación fuerte.	GW - GC
1.2				
1.4				
1.6				
1.8				
2				
2.2				
2.4				
2.6				
2.8			ROCA	
3				

OBSERVACIONES: - El perfil estratigráfico fue elaborado con las muestras proveidas por el solicitante.



CONSULTORIAS, ESTUDIOS Y CAPACITACIONES EN INGENIERIA Y CONSTRUCCION

Marcial S. CANCARRA HANCOCO
INGENIERO CIVIL CIP 168608
JEFE DE LABORATORIO



CECIC Laboratorio y capacitaciones



APVU - Mz "II", lote 4. San Juan
Ref. a tres cuadas del GOREPA



990270829 / 963600813



990270829 / 963600813



Capacitaciones.ccic@gmail.com

CONSULTORIAS, ESTUDIOS Y CAPACITACIONES EN INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN

OCEDA J & G CORPORATION SOCIEDAD ANONIMA CERRADA - RUC 20600166051



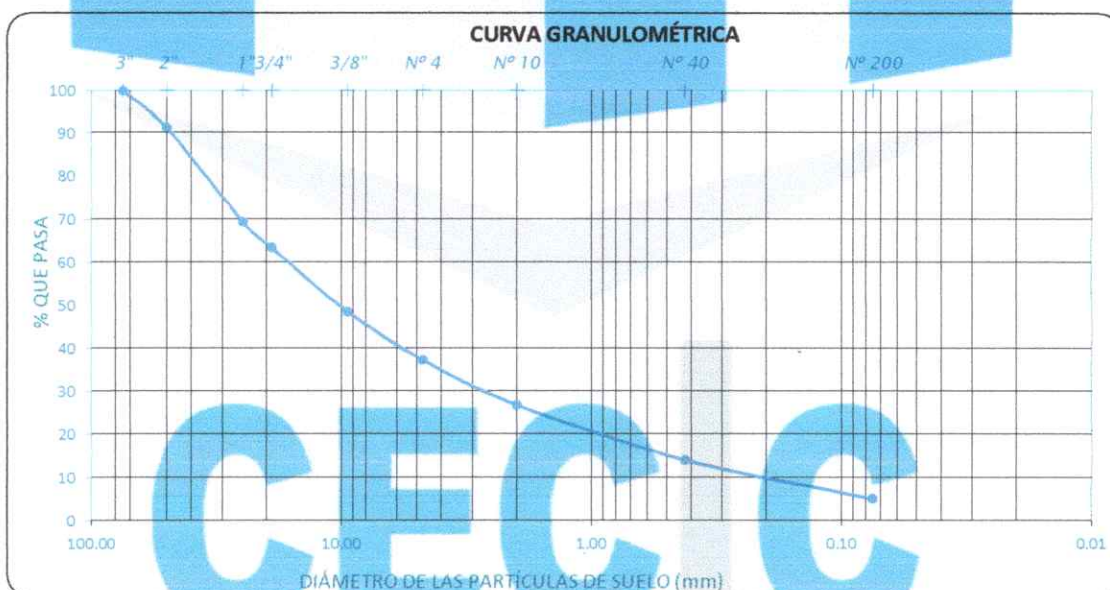
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y CONTROL DE CALIDAD

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

ASTM D-422 / NTP 339.128

Solicitante : Bach. ATENCIO MONGE CARLOS ALBERTO
 Obra/Proyecto : "MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL EN MODELO COMPUTACIONAL DEL PABELLÓN DE LA FACULTAD DE DERECHO DE LA UNDAC IMPLEMENTANDO DISIPADORES DE ENERGÍA SHEAR LINK - PASCO 2024"
 Ubicación : Yanacancha - Pasco - Pasco
 Fecha de Ensayo : 17/11/2024
 Fecha de Emisión : 22/11/2024
 Muestra : C-1; E-5
 N° Registro : S3 - 23 - 101 - 02

TAMIZ N°	DIÁMETRO (mm)	PESO RETENIDO	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	LÍMITES DE CONSISTENCIA
3"	75.000	0.00	0.00	0.00	100.00	LÍMITE LIQUIDO = 27.00
2"	50.000	660.95	8.79	8.79	91.21	LÍMITE PLÁSTICO = 18.00
1"	25.000	1627.47	21.63	30.42	69.58	ÍNDICE PLÁSTICO = 9.00
3/4"	19.000	453.81	6.03	36.45	63.55	COEFICIENTE DE CURVATURA = 2.13
3/8"	9.500	1120.06	14.89	51.34	48.66	COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD = 83.33
N° 4	4.750	848.56	11.28	62.62	37.38	CLASIFICACIÓN
N° 10	2.000	784.66	10.43	73.05	26.95	SUCS : GW - GC
N° 40	0.425	967.13	12.86	85.91	14.09	AASHTO : A-2-4 (0)
N° 200	0.075	677.76	9.01	94.92	5.08	Grava bien gradada con arcilla y arena
CAZOLETA	0.000	382.34	5.08	100.00	0.00	OBSERVACIONES
TOTAL		7522.74	100.00			% grava = 62.62%
						% arena = 32.30%
						% de finos = 5.08%



OBSERVACIONES.-

* Los ensayos se desarrollarán con las muestras proveídas por el solicitante.



CONSULTORIAS, ESTUDIOS Y CAPACITACIONES
 EN INGENIERIA Y CONSTRUCCION
 Marcela S. HANCCO HANCCO
 INGENIERO CIVIL - RUP 16608
 JEFE DE LABORATORIO



CECIC Laboratorio y capacitaciones



APVU - Mz "II", lote 4. San Juan
 Ref. a tres cuadras del GOREPA



990270829 / 963600813



990270829 / 963600813



Capacitaciones.ccic@gmail.com

CONSULTORIAS, ESTUDIOS Y CAPACITACIONES EN INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN

OCEDA J & G CORPORATION SOCIEDAD ANONIMA CERRADA - RUC 20600166051



LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y CONTROL DE CALIDAD

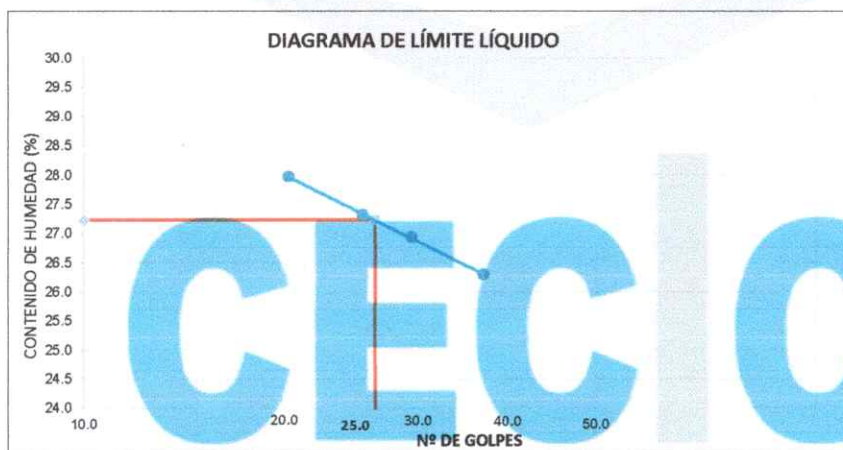
ENSAYO DE LÍMITES DE CONSISTENCIA

ASTM D-4318 / NTP 339.129

Solicitante : Bach. ATENCIO MONGE CARLOS ALBERTO
Obra/Proyecto : "MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL EN MODELO COMPUTACIONAL DEL PABELLÓN DE LA FACULTAD DE DERECHO DE LA UNDAC IMPLEMENTANDO DISIPADORES DE ENERGÍA SHEAR LINK - PASCO 2024"
Ubicación : Yanacancha - Pasco - Pasco
Fecha de Ensayo : 17/11/2024
Fecha de Emisión : 22/11/2024
Muestra : C-1; E-5
Nº Registro : S4, S5 - 23 - 101 - 03

LÍMITE LÍQUIDO				
Nº TARRO	10A	7A	3A	9A
TARRO + SUELO HÚMEDO	29.82	28.27	30.34	30.87
TARRO + SUELO SECO	24.84	23.81	25.45	25.97
CONTENIDO DE AGUA	4.98	4.46	4.89	4.90
PESO DEL TARRO	7.04	7.49	7.30	7.34
PESO DEL SUELO SECO	17.80	16.32	18.15	18.63
% DE HUMEDAD	27.98	27.33	26.94	26.30
Nº DE GOLPES	19	24	28	35

LÍMITE PLÁSTICO				
Nº TARRO	84	88	89	
TARRO + SUELO HÚMEDO	11.83	11.18	11.32	PROM = 17.93
TARRO + SUELO SECO	10.83	10.26	10.37	
AGUA	1.00	0.92	0.95	
PESO DEL TARRO	5.18	5.13	5.14	
PESO DEL SUELO SECO	5.65	5.13	5.23	
% DE HUMEDAD	17.70	17.93	18.16	



RESULTADOS	
LÍMITE LÍQUIDO =	27.00
LÍMITE PLÁSTICO =	18.00
ÍNDICE DE PLASTICIDAD =	9.00

OBSERVACIONES.-

* Los ensayos se desarrollaron con las muestras proveídas por el solicitante.



CONSULTORIAS, ESTUDIOS Y CAPACITACIONES EN INGENIERIA Y CONSTRUCCIÓN
Mauricio S. CANCANA HANCCO
 INGENIERO CIVIL / CIP 168608
 JEFE DE LABORATORIO



CECIC Laboratorio y capacitaciones



APVU – Mz "II", lote 4. San Juan
 Ref. a tres cuadras del GOREPA



990270829 / 963600813



990270829 / 963600813



Capacitaciones.ccic@gmail.com

CONSULTORIAS, ESTUDIOS Y CAPACITACIONES EN INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN

OCEDA J & G CORPORATION SOCIEDAD ANONIMA CERRADA - RUC 20600166051

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y CONTROL DE CALIDAD

ENSAYO DE PROCTOR ESTANDAR

ASTM D-698 / NTP 339.142

Solicitante : Bach. ATENCIO MONGE CARLOS ALBERTO
Obra/Proyecto : "MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL EN MODELO COMPUTACIONAL DEL PABELLÓN DE LA FACULTAD DE DERECHO DE LA UNDAC IMPLEMENTANDO DISIPADORES DE ENERGÍA SHEAR LINK - PASCO 2024"
Ubicación : Yanacancha - Pasco - Pasco
Fecha de Ensayo : 19/11/2024
Fecha de Emisión : 22/11/2024
Muestra : C-1; E-5
N° Registro : S9 - 23 - 101 -04

Volumen del molde : cm³ : 938

DENSIDAD DE SUELO HUMEDO

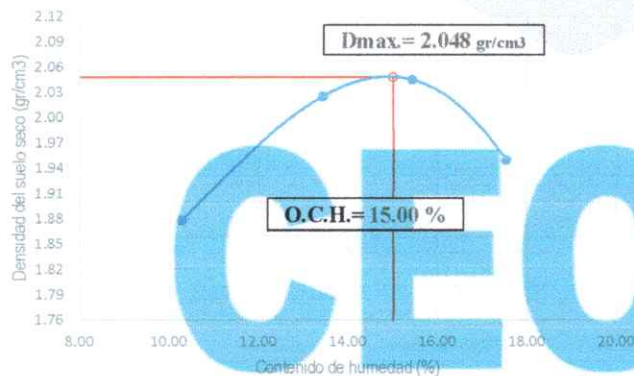
Muestra		M1	M2	M3	M4
Peso Suelo + molde	gr	3690.00	3902.00	3961.00	3896.00
Peso del molde	gr	1747.00	1747.00	1747.00	1747.00
Peso suelo humedo compactado	gr	1943.00	2155.00	2214.00	2149.00
Densidad suelo humedo	gr/cm³	2.07	2.30	2.36	2.29

CONTENIDO DE HUMEDAD

N° Cápsula		54	79	82	80	88	15	73	74
Peso suelo humedo + tara	gr	600.30	601.21	600.47	600.13	600.80	600.75	601.99	600.31
Peso suelo seco + tara	gr	550.80	551.61	537.50	536.69	530.20	531.62	520.10	519.58
Tara	gr	69.40	70.40	68.40	65.20	70.70	86.30	55.10	56.10
Peso del agua	gr	49.50	49.60	62.97	63.44	70.60	69.13	81.89	80.73
Peso del suelo seco	gr	481.40	481.21	469.10	471.49	459.50	445.32	465.00	463.48
Contenido de humedad	%	10.28	10.31	13.42	13.46	15.36	15.52	17.61	17.42
Contenido de humedad prom	%	10.29		13.44		15.44		17.51	

DENSIDAD DE SUELO SECO : gr/cm³ : 1.88 : 2.03 : 2.04 : 1.95

CURVA DE COMPACTACIÓN



RESULTADOS

DENSIDAD DE SUELO SECO

2.05 gr/cm³

ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD

15.00%

OBSERVACIONES. - El ensayo se realizó con las muestras proveídas por el solicitante.



CONSULTORIAS, ESTUDIOS Y CAPACITACIONES
 EN INGENIERIA Y CONSTRUCCION
 MARCIAL S. CANCAYA HANCCO
 INGENIERO CIVIL - CIP 168608
 JEFE DE LABORATORIO



CECIC Laboratorio y capacitaciones



APVU – Mz "II", lote 4. San Juan
 Ref. a tres cuerdas del GOREPA



990270829 / 963600813



990270829 / 963600813



Capacitaciones.cic@gmail.com

CONSULTORIAS, ESTUDIOS Y CAPACITACIONES EN INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN

OCEDA J & G CORPORATION SOCIEDAD ANONIMA CERRADA - RUC 20600166051



LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y CONTROL DE CALIDAD

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

ASTM D-3080 / NTP 339.171

Solicitante : Bach. ATENCIO MONGE CARLOS ALBERTO
 Obra/Proyecto : "MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL EN MODELO COMPUTACIONAL DEL PABELLÓN DE LA FACULTAD DE DERECHO DE LA UNDAC IMPLEMENTANDO DISIPADORES DE ENERGÍA SHEAR LINK - PASCO 2024"
 Ubicación : Yanacancha - Pasco - Pasco
 Fecha de Ensayo : 20/11/2024
 Fecha de Emisión : 22/11/2024
 Muestra : C-1; E-5
 N° Registro : S1 - 23 - 101 - 06

Sondaje : C-1; E-5
 Muestra : M1

Estado : Remoldeado

Velocidad : 0.05 mm/min
 Clasificación SUCS : GW - GC

ESPECIMEN 1

Altura : 23.9 mm
 Diámetro : 61.2 mm
 Carga : 15.00 kg
 D. Seca : 1.84 gr/cm³
 Humedad : 15.00 %
 Est. Normal : 0.50 kg/cm²
 Est. Corte : 0.32 kg/cm²

ESPECIMEN 2

Altura : 23.9 mm
 Lado : 61.2 mm
 Carga : 30.00 kg
 D. Seca : 1.84 gr/cm³
 Humedad : 15.00 %
 Est. Normal : 1.00 kg/cm²
 Est. Corte : 0.64 kg/cm²

ESPECIMEN 3

Altura : 23.9 mm
 Lado : 61.2 mm
 Carga : 60.00 kg
 D. Seca : 1.84 gr/cm³
 Humedad : 15.00 %
 Est. Normal : 2.00 kg/cm²
 Est. Corte : 1.20 kg/cm²

Deep. lateral (mm)	Esfuerzo de Corte (kg/cm ²)	Esfuerzo Normalizado (t/s)
0.00	0.000	0.00
0.03	0.024	0.05
0.06	0.045	0.09
0.12	0.087	0.17
0.18	0.102	0.20
0.30	0.134	0.26
0.45	0.158	0.31
0.60	0.187	0.37
0.75	0.202	0.40
0.90	0.208	0.41
1.05	0.216	0.42
1.20	0.228	0.45
1.50	0.239	0.47
1.80	0.248	0.49
2.10	0.259	0.51
2.40	0.266	0.52
2.70	0.267	0.52
3.00	0.276	0.54
3.60	0.281	0.55
4.20	0.288	0.56
4.80	0.295	0.58
5.40	0.303	0.59
6.00	0.305	0.60
6.60	0.308	0.60
7.20	0.311	0.61
7.80	0.316	0.62
8.40	0.314	0.61
9.00	0.319	0.62
9.60	0.318	0.62
10.20	0.321	0.63

Deep. lateral (mm)	Esfuerzo de Corte (kg/cm ²)	Esfuerzo Normalizado (t/s)
0.00	0.00	0.00
0.03	0.04	0.04
0.06	0.09	0.08
0.12	0.15	0.15
0.18	0.17	0.16
0.30	0.21	0.21
0.45	0.25	0.24
0.60	0.28	0.27
0.75	0.31	0.30
0.90	0.33	0.33
1.05	0.36	0.35
1.20	0.39	0.38
1.50	0.42	0.41
1.80	0.45	0.44
2.10	0.47	0.46
2.40	0.50	0.49
2.70	0.52	0.51
3.00	0.54	0.53
3.60	0.57	0.56
4.20	0.59	0.58
4.80	0.60	0.59
5.40	0.62	0.60
6.00	0.62	0.61
6.60	0.63	0.61
7.20	0.63	0.62
7.80	0.64	0.62
8.40	0.64	0.62
9.00	0.64	0.63
9.60	0.64	0.63
10.20	0.643	0.63

Deep. lateral (mm)	Esfuerzo de Corte (kg/cm ²)	Esfuerzo Normalizado (t/s)
0.00	0.00	0.00
0.03	0.05	0.03
0.06	0.16	0.08
0.12	0.26	0.13
0.18	0.30	0.14
0.30	0.37	0.18
0.45	0.44	0.21
0.60	0.50	0.24
0.75	0.56	0.27
0.90	0.60	0.30
1.05	0.66	0.32
1.20	0.71	0.35
1.50	0.77	0.38
1.80	0.81	0.39
2.10	0.84	0.41
2.40	0.88	0.43
2.70	0.91	0.45
3.00	0.95	0.47
3.60	1.02	0.50
4.20	1.08	0.53
4.80	1.12	0.55
5.40	1.14	0.56
6.00	1.15	0.57
6.60	1.16	0.57
7.20	1.17	0.57
7.80	1.18	0.58
8.40	1.18	0.58
9.00	1.19	0.58
9.60	1.20	0.59
10.20	1.202	0.59

OBSERVACIONES:

El ensayo se realizó con el material remoldeado pasante el tamiz # 4



CONSULTORIAS, ESTUDIOS Y CAPACITACIONES EN INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN
 Marcel S. CARRERA
 INGENIERO CIVIL, CIP. 108808
 JEFE DE LABORATORIO



CECIC Laboratorio y capacitaciones



APVU - Mz "II", lote 4. San Juan
 Ref. a tres cuadras del GOREPA



990270829 / 963600813



990270829 / 963600813



Capacitaciones.cic@gmail.com

CONSULTORIAS, ESTUDIOS Y CAPACITACIONES EN INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN

OCEDA J & G CORPORATION SOCIEDAD ANONIMA CERRADA - RUC 20600166051

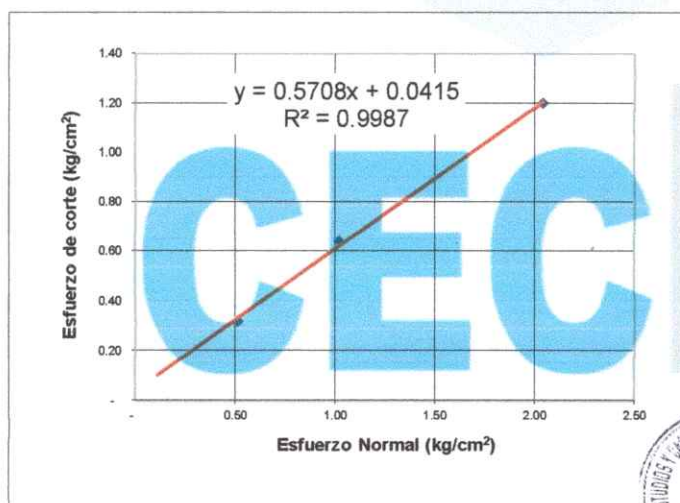
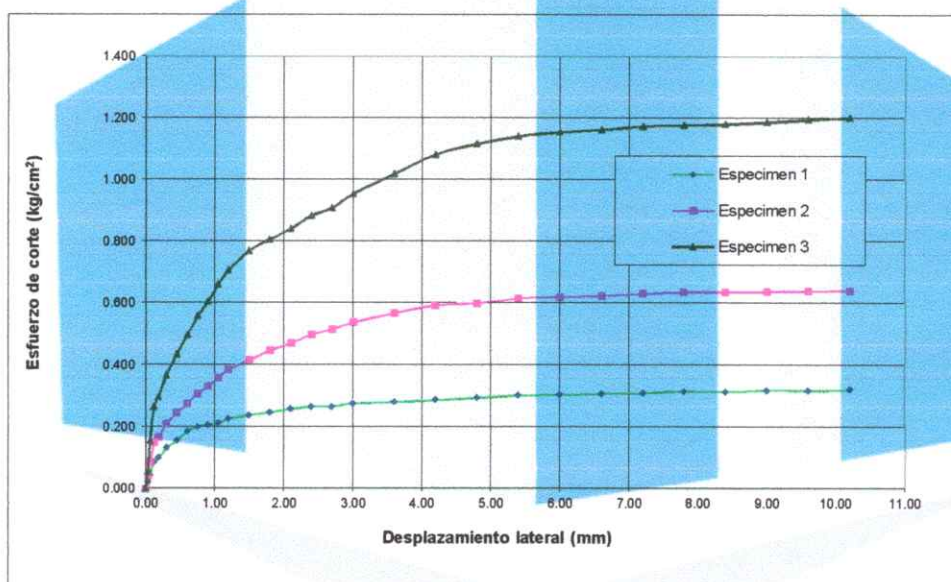


LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y CONTROL DE CALIDAD

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

ASTM D-3080 / NTP 339.171

Solicitante : Bach. ATENCIO MONGE CARLOS ALBERTO
Obra/Proyecto : "MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL EN MODELO COMPUTACIONAL DEL PABELLÓN DE LA FACULTAD DE DERECHO DE LA UNDAC IMPLEMENTANDO DISIPADORES DE ENERGÍA SHEAR LINK - PASCO 2024"
Ubicación : Yanacancha - Pasco - Pasco
Fecha de Ensayo : 20/11/2024
Fecha de Emisión : 22/11/2024
Muestra : C-1; E-5
N° Registro : S1 - 23 - 101 - 07



Resultados:

Cohesión (c): 0.04 kg/cm²

Ang. Fricción (φ): 29.72 °

OBSERVACIONES:

- Las muestras fueron remoldeadas al 90 % de la MDS.



CONSULTORIAS, ESTUDIOS Y CAPACITACIONES EN INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN

Marcial S. CANCANA HANCCO
INGENIERO CIVIL - CIP 168608
JEFE DE LABORATORIO



CECIC Laboratorio y capacitaciones



APVU - Mz "II", lote 4. San Juan
Ref. a tres cuadras del GOREPA



990270829 / 963600813



990270829 / 963600813



Capitaciones.ccic@gmail.com



LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y CONTROL DE CALIDAD

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

ASTM D-3080 / NTP 339.171

Solicitante : Bach. ATENCIO MONGE CARLOS ALBERTO
Obra/Proyecto : "MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL EN MODELO COMPUTACIONAL DEL PABELLÓN DE LA FACULTAD DE DERECHO DE LA UNDAC IMPLEMENTANDO DISIPADORES DE ENERGÍA SHEAR LINK - PASCO 2024"
Ubicación : Yanacancha - Pasco - Pasco
Fecha de Ensayo : 20/11/2024
Fecha de Emisión : 21/11/2024
Muestra : C-1; E-5
N° Registro : S1 - 23 - 101 - 08

Estado : Remoldeado (material < Tamiz N°4)
Muestra : C-1; E-5

	Especimen N°01	Especimen N°02	Especimen N°03
Diámetro del anillo (cm)	6.12	6.12	6.12
Altura inicial de la muestra (cm)	2.39	2.39	2.39
Densidad húmeda inicial (gr/cm3)	2.120	2.120	2.120
Densidad seca inicial (gr/cm3)	1.843	1.843	1.843
Contenido de humedad inicial (%)	15.00	15.00	15.00
Altura final de la muestra (cm)	2.30	2.28	2.26
Densidad húmeda final (gr/cm3)	2.310	2.324	2.331
Densidad seca final (gr/cm3)	1.874	1.894	1.912
Contenido de humedad final (%)	23.25	22.67	21.89
Esfuerzo normal (kg/cm2)	0.50	1.00	2.00
Esfuerzo de corte máximo (kg/cm2)	0.321	0.643	1.202
Ángulo de fricción interna (°)	29.72		
Cohesión (kg/cm2)	0.04		

CECIC



CONSULTORIAS, ESTUDIOS Y CAPACITACIONES
EN INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN

Marcial S. CANCAYA HANCCO
INGENIERO CIVIL - CIP 168608
JEFE DE LABORATORIO



CECIC Laboratorio y capacitaciones



APVU – Mz "II", lote 4. San Juan
Ref. a tres cuerdas del GOREPA



990270829 / 963600813



990270829 / 963600813



Capacitaciones.ccic@gmail.com

CONSULTORIAS, ESTUDIOS Y CAPACITACIONES EN INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN

OCEDA J & G CORPORATION SOCIEDAD ANONIMA CERRADA - RUC 20600166051



LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y CONTROL DE CALIDAD

CONTENIDO DE HUMEDAD DELSUELO

NTP 339.127 / ASTM D 2216

Solicitante : Bach. ATENCIO MONGE CARLOS ALBERTO
Obra/Proyecto : "MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL EN MODELO COMPUTACIONAL DEL PABELLÓN DE LA FACULTAD DE DERECHO DE LA UNDAC IMPLEMENTANDO DISIPADORES DE ENERGÍA SHEAR LINK - PASCO 2024"
Ubicación : Yanacancha - Pasco - Pasco
Fecha de Ensayo : 17/11/2024
Fecha de Emisión : 22/11/2024
Muestra : C-1; E-5
N° Registro : S9 - 23 - 101 -09

		UND	M - 1	M - 2
Peso de la muestra húmeda + Tara		gr	601.24	601.37
Peso de la muestra seca + Tara		gr	547.12	546.98
Peso de la tara		gr	65.24	66.32
Masa de la muestra humedad	W	gr	536.00	535.05
Masa de la muestra seca en gramos	D	gr	481.88	480.66
Contenido de humedad	(W-D)/D		11.23%	11.32%
Promedio			11.27%	



CONSULTORIAS, ESTUDIOS Y CAPACITACIONES
EN INGENIERÍA
Marcelo S. CANO
INGENIERO CIVIL
JEFE DE LABORATORIO

CECIC



CECIC Laboratorio y capacitaciones



APVU - Mz "II", lote 4. San Juan
Ref. a tres cuadradas del GOREPA



990270829 / 963600813



990270829 / 963600813



Capacitaciones.ccic@gmail.com

CONSULTORIAS, ESTUDIOS Y CAPACITACIONES EN INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN

OCEDA J & G CORPORATION SOCIEDAD ANONIMA CERRADA - RUC 20600166051



LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y CONTROL DE CALIDAD

DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE CARGA

Solicitante : Bach. ATENCIO MONGE CARLOS ALBERTO
 Obra/Proyecto : "MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL EN MODELO COMPUTACIONAL DEL PABELLÓN DE LA FACULTAD DE DERECHO DE LA UNDAC IMPLEMENTANDO DISIPADORES DE ENERGÍA SHEAR LINK - PASCO 2024"
 Ubicación : Yanacancha - Pasco - Pasco
 Fecha de Ensayo : 21/11/2024
 Fecha de Emisión : 21/11/2024
 Muestra : C-1; E-5
 N° Registro : S1 - 23 - 101 - 09

CÁLCULO DE CAPACIDAD DE CARGA - RNE (2018)

Ángulo de fricción $\phi = 29.72$
 Cohesión $C = 0.04 \text{ kg/cm}^2$ (Ensayo de corte directo)
 Tipo de suelo
 Ángulo de fricción $\phi = 29.72$ (RNE E.050, Art 20, inciso 20.3)
 Cohesión $C = 0.04 \text{ kg/cm}^2$ (RNE E.050, Art 20, inciso 20.3)
 Tipos de falla Corte general (suelos densos)
 Ángulo de fricción $\phi = 29.72$
 Cohesión $C = 0.04 \text{ kg/cm}^2$
 Peso unitario del suelo sobre el nivel de fundación $\gamma = 1.15 \text{ g/cm}^3$
 Peso unitario del suelo bajo el nivel de fundación $\gamma = 2.12 \text{ g/cm}^3$
 Profundidad de cimentación $D_f =$
 Profundidad de napa freática (NF) $NF = 0.00 \text{ m}$
 Factor de seguridad $FS = 3.00$ (RNE E.050, Art 21, inciso 21.1)

$$q_{ult} = cN_c s_c i_c + \gamma_1 D_f N_q i_q + 0.5 \gamma_2 B N_\gamma s_\gamma i_\gamma$$

Terzaghi (1943) - RNE (2018)

FACTORES DE CAPACIDAD DE CARGA		
Nc	Nq	N γ
29.48	17.83	14.94

Terzaghi RNE(2018)

ÁNGULO DE INCLINACION (α)	FACTORES DE INCLINACION		
	i_c	i_q	i_γ
0.00	1.00	1.00	1.00

FACTORES DE FORMA	
Sc	S γ
1.20	0.80

$$N_q = e^{(\pi \tan \phi') \tan^2 \left(45 + \frac{\phi'}{2} \right)}$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi'$$

$$N_\gamma = (N_q - 1) \tan(1.4 \phi')$$

$$S_c = 1 + 0.2 \frac{B}{L}$$

$$i_c = i_q = \left(1 - \frac{\alpha^\circ}{90^\circ} \right)^2$$

$$S_\gamma = 1 - 0.2 \frac{B}{L}$$

$$i_\gamma = \left(1 - \frac{\alpha^\circ}{\phi^\circ} \right)^2$$

B_ancho (m)	1.20		1.40		1.60		1.80	
L_largo (m)	1.20		1.40		1.60		1.80	
Profundidad (m)	Qult (Kg/cm2)	Qadm (kg/cm2)	Qult (Kg/cm2)	Qadm (kg/cm2)	Qult (Kg/cm2)	Qadm (kg/cm2)	Qult (Kg/cm2)	Qadm (kg/cm2)
1.20	5.40	1.80	5.65	1.88	5.90	1.97	6.16	2.05
1.35	5.70	1.90	5.96	1.99	6.21	2.07	6.46	2.15
1.50	6.01	2.00	6.26	2.09	6.52	2.17	6.77	2.26
1.65	6.32	2.11	6.57	2.19	6.82	2.27	7.08	2.36
1.80	6.63	2.21	6.88	2.29	7.13	2.38	7.39	2.46

OBSERVACIONES:

* Los ensayos se desarrollarán con las muestras identificadas en el estudio.

* Las dimensiones, profundidad y tipo de cimentación consideradas en la presente fueron ideadas para la determinación de la capacidad admisible, por lo que el proyectista podría tomar sus propias decisiones.



CECIC Laboratorio y capacitaciones



APVU - Mz "II", lote 4. San Juan
 Ref. a tres cuadas del GOREPA



990270829 / 963600813



990270829 / 963600813



Capacitaciones.ccic@gmail.com

CONSULTORIAS, ESTUDIOS Y CAPACITACIONES EN INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN

OCEDA J & G CORPORATION SOCIEDAD ANONIMA CERRADA - RUC 20600166051



LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y CONTROL DE CALIDAD

ESTUDIOS DE SUELOS PARA DETERMINACIÓN DE CAPACIDAD ADMISIBLE DEL SUELO

Solicitante : Bach. ATENCIO MONGE CARLOS ALBERTO
Obra/Proyecto : "MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL EN MODELO COMPUTACIONAL DEL PABELLÓN DE LA FACULTAD DE DERECHO DE LA UNDAC IMPLEMENTANDO DISIPADORES DE ENERGÍA SHEAR LINK - PASCO 2024"
Ubicación : Yanacancha - Pasco - Pasco
N° Informe : S - 24 - 101

DATOS

Recepción de Muestras : 16/11/2024
Fecha de Emisión : 22/11/2024
Calicata : C-2; E-3
Descripción : Calicata
Muestra : M1

RESUMEN DE ENSAYOS

Clasificación : GP - GC
A-2-4 (0) Contenido de humedad : 11.08%

Límites de Atterberg

Límite Líquido : 27.00
Límite Plástico : 19.00
Índice de plasticidad : 8.00

Ensayo de corte directo

Cohesión (c): : 0.04 kg/cm²
Ang. Fricción (f): : 28.71 °

Nota: - Las muestras fueron remoldeadas al 90 % de la MDS.

Peso unitario del suelo bajo el nivel de fundación : 2.003 g/cm³

Capacidad admisible del suelo

B_ancho (m)	1.20		1.40		1.60	
L_largo (m)	1.20		1.40		1.60	
Profundidad(m)	Qult (Kg/cm ²)	Qadm (Kg/cm ²)	Qult (Kg/cm ²)	Qadm (Kg/cm ²)	Qult (Kg/cm ²)	Qadm (Kg/cm ²)
0.80	3.98	1.33	4.19	1.40	4.39	1.46
0.90	4.17	1.39	4.37	1.46	4.57	1.52
1.00	4.35	1.45	4.55	1.52	4.75	1.58
1.10	4.53	1.51	4.74	1.58	4.94	1.65
1.15	4.63	1.54	4.83	1.61	5.03	1.68



CONSULTORIAS, ESTUDIOS Y CAPACITACIONES EN INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN

Morici S. GARCAPÁ HANCO
INGENIERO CIVIL - CIP. 168608
JEFE DE LABORATORIO



CECIC Laboratorio y capacitaciones



APVU - Mz "II", lote 4. San Juan
Ref. a tres cuadras del GOREPA



990270829 / 963600813



990270829 / 963600813



Capacitaciones.cic@gmail.com

CONSULTORIAS, ESTUDIOS Y CAPACITACIONES EN INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN

OCEDA J & G CORPORATION SOCIEDAD ANONIMA CERRADA - RUC 20600166051

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y CONTROL DE CALIDAD

PERFIL ESTRATIGRÁFICO

Solicitante
Obra/Proyecto

: Bach. ATENCIO MONGE CARLOS ALBERTO
: "MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL EN MODELO COMPUTACIONAL DEL PABELLÓN DE LA FACULTAD DE DERECHO DE LA UNDAC IMPLEMENTANDO DISIPADORES DE ENERGIA SHEAR LINK - PASCO 2024"

Ubicación
Fecha de Ensayo
Fecha de Emisión
Muestra
N° Registro

: Yanacancha - Pasco - Pasco
: 16/11/2024
: 22/11/2024
: C-2; E-3
: SPE - 23 - 101 - 01

Nivel freático : 0.00 m

Profundidad (m)	Estrato	Simbolo gráfico	Descripción	Clasificación SUCS
0.2	E - 1		Material organico con presencia de raices y cobertura de gras natural	Pt
0.4	E - 2		Material de relleno con presencia de plastico, desperdicios	R
0.6	E - 3		Suelo grava arcillosa pobremente gradada de color marrón dorado con gravas angulosas de TM 2" con presencia de rocas meteorizadas en condición humedo de consistencia firme y cementación moderada.	GP - GC
0.8				
1				
1.2			ROCA	
1.4				
1.6				
1.8				
2				
2.2				
2.4				
2.6				
2.8				
3				

OBSERVACIONES.- El perfil estratigráfico fue elaborado con las muestras proveídas por el solicitante.



CONSULTORIAS, ESTUDIOS Y CAPACITACIONES
EN INGENIERIA Y CONSTRUCCION

Margel S. CANCAPA HANCCO
INGENIERO CIVIL - CIP 168608
JEFE DE LABORATORIO



CECIC Laboratorio y capacitaciones



APVU - Mz "II", lote 4. San Juan
Ref. a tres cuadradas del GOREPA



990270829 / 963600813



990270829 / 963600813



Capacitaciones.ccic@gmail.com

CONSULTORIAS, ESTUDIOS Y CAPACITACIONES EN INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN

OCEDA J & G CORPORATION SOCIEDAD ANONIMA CERRADA - RUC 20600166051



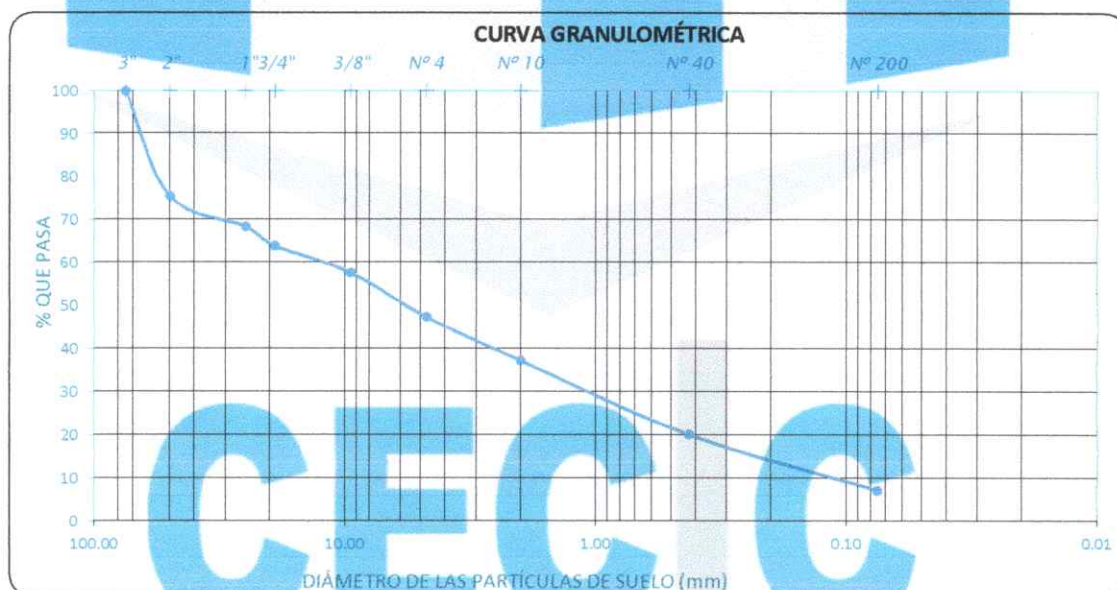
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y CONTROL DE CALIDAD

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

ASTM D-422 / NTP 339.128

Solicitante : Bach. ATENCIO MONGE CARLOS ALBERTO
 Obra/Proyecto : "MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL EN MODELO COMPUTACIONAL DEL PABELLÓN DE LA FACULTAD DE DERECHO DE LA UNDAC IMPLEMENTANDO DISIPADORES DE ENERGÍA SHEAR LINK - PASCO 2024"
 Ubicación : Yanacancha - Pasco - Pasco
 Fecha de Ensayo : 17/11/2024
 Fecha de Emisión : 22/11/2024
 Muestra : C-2; E-3
 N° Registro : S3 - 23 - 101 - 02

TAMIZ N°	DIÁMETRO (mm)	PESO RETENIDO	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	LÍMITES DE CONSISTENCIA
3"	75.000	0.00	0.00	0.00	100.00	LÍMITE LIQUIDO = 27.00
2"	50.000	1774.55	24.48	24.48	75.52	LÍMITE PLÁSTICO = 19.00
1"	25.000	509.00	7.02	31.50	68.50	ÍNDICE PLÁSTICO = 8.00
3/4"	19.000	326.66	4.51	36.01	63.99	COEFICIENTE DE CURVATURA = 0.79
3/8"	9.500	455.76	6.29	42.29	57.71	COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD = 111.57
N° 4	4.750	746.05	10.29	52.59	47.41	CLASIFICACIÓN
N° 10	2.000	731.41	10.09	62.68	37.32	SUCS : GP - GC
N° 40	0.425	1242.92	17.15	79.82	20.18	AASHTO : A-2-4 (0)
N° 200	0.075	944.65	13.03	92.85	7.15	Grava pobremente gradada con arcilla y arena
CAZOLETA	0.000	518.02	7.15	100.00	0.00	OBSERVACIONES
TOTAL		7249.02	100.00			% grava = 52.59%
						% arena = 40.27%
						% de finos = 7.15%



OBSERVACIONES.-

* Los ensayos se desarrollarán con las muestras proveídas por el solicitante.



CONSULTORIAS, ESTUDIOS Y CAPACITACIONES
 EN INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN
 Marcel S. GARCÍA HANCCO
 INGENIERO CIVIL - EIP 188608
 JEFE DE LABORATORIO



CECIC Laboratorio y capacitaciones



APVU - Mz "II", lote 4. San Juan
 Ref. a tres cuerdas del GOREPA



990270829 / 963600813



990270829 / 963600813



Capitaciones.ccic@gmail.com

CONSULTORIAS, ESTUDIOS Y CAPACITACIONES EN INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN

OCEDA J & G CORPORATION SOCIEDAD ANONIMA CERRADA - RUC 20600166051



LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y CONTROL DE CALIDAD

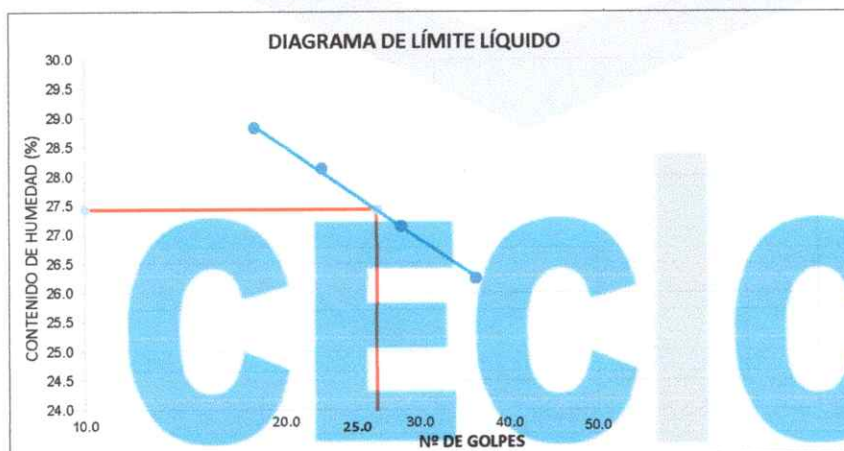
ENSAYO DE LÍMITES DE CONSISTENCIA

ASTM D-4318 / NTP 339.129

Solicitante : Bach. ATENCIO MONGE CARLOS ALBERTO
 Obra/Proyecto : "MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL EN MODELO COMPUTACIONAL DEL PABELLÓN DE LA FACULTAD DE DERECHO DE LA UNDAC IMPLEMENTANDO DISIPADORES DE ENERGÍA SHEAR LINK - PASCO 2024"
 Ubicación : Yanacancha - Pasco - Pasco
 Fecha de Ensayo : 17/11/2024
 Fecha de Emisión : 22/11/2024
 Muestra : C-2; E-3
 N° Registro : S4, S5 - 23 - 101 - 03

LÍMITE LÍQUIDO				
N° TARRO	94	87	90	85
TARRO + SUELO HÚMEDO	26.48	25.48	27.90	26.38
TARRO + SUELO SECO	21.70	21.02	23.01	21.93
CONTENIDO DE AGUA	4.78	4.46	4.89	4.45
PESO DEL TARRO	5.12	5.17	5.00	4.98
PESO DEL SUELO SECO	16.58	15.85	18.01	16.95
% DE HUMEDAD	28.83	28.14	27.15	26.25
N° DE GOLPES	17	21	27	34

LÍMITE PLÁSTICO				
N° TARRO	91	93	92	PROM = 19.38
TARRO + SUELO HÚMEDO	11.16	11.33	11.32	
TARRO + SUELO SECO	10.17	10.29	10.31	
AGUA	0.99	1.04	1.01	
PESO DEL TARRO	5.08	4.97	5.03	
PESO DEL SUELO SECO	5.09	5.32	5.28	
% DE HUMEDAD	19.45	19.55	19.13	



RESULTADOS	
LÍMITE LÍQUIDO =	27.00
LÍMITE PLÁSTICO =	19.00
ÍNDICE DE PLASTICIDAD =	8.00

OBSERVACIONES.-

* Los ensayos se desarrollarán con las muestras proveídas por el solicitante.



CONSULTORIAS, ESTUDIOS Y CAPACITACIONES EN INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN

Marcial S. CANCAYA HANCCO
 INGENIERO CIVIL - O.P. 168608
 JEFE DE LABORATORIO



CECIC Laboratorio y capacitaciones



APVU - Mz "II", lote 4. San Juan
 Ref. a tres cuadras del GOREPA



990270829 / 963600813



990270829 / 963600813



Capacitaciones.ccic@gmail.com

CONSULTORIAS, ESTUDIOS Y CAPACITACIONES EN INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN

OCEDA J & G CORPORATION SOCIEDAD ANONIMA CERRADA - RUC 20600166051

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y CONTROL DE CALIDAD

ENSAYO DE PROCTOR ESTANDAR

ASTM D-698 / NTP 339.142

Solicitante : Bach. ATENCIO MONGE CARLOS ALBERTO
Obra/Proyecto : *MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL EN MODELO COMPUTACIONAL DEL PABELLÓN DE LA FACULTAD DE DERECHO DE LA UNDAC IMPLEMENTANDO DISIPADORES DE ENERGÍA SHEAR LINK - PASCO 2024*
Ubicación : Yanacancha - Pasco - Pasco
Fecha de Ensayo : 19/11/2024
Fecha de Emisión : 22/11/2024
Muestra : C-2, E-3
N° Registro : S9-23-101-04

Volumen del molde : cm3 : 938

DENSIDAD DE SUELO HUMEDO

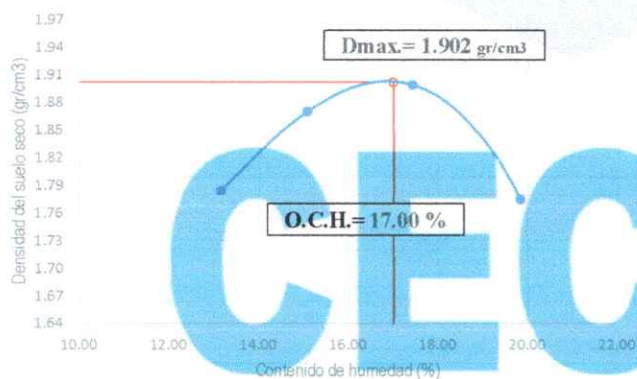
Muestra		M1	M2	M3	M4
Peso Suelo + molde	gr	3641.00	3766.00	3839.00	3742.00
Peso del molde	gr	1747.00	1747.00	1747.00	1747.00
Peso suelo humedo compactado	gr	1894.00	2019.00	2092.00	1995.00
Densidad suelo humedo	gr/cm3	2.02	2.15	2.23	2.13

CONTENIDO DE HUMEDAD

N° Cápsula		1	2	64	63	96	26	75	73
Peso suelo humedo + tara	gr	599.89	600.47	600.30	602.17	601.10	602.33	600.21	602.98
Peso suelo seco + tara	gr	536.22	535.03	529.25	530.21	520.10	523.33	510.47	511.96
Tara	gr	51.20	39.40	56.10	56.00	56.30	70.10	56.10	55.20
Peso del agua	gr	63.67	65.44	71.05	71.96	81.00	79.00	89.74	91.02
Peso del suelo seco	gr	485.02	495.63	473.15	474.21	463.80	453.23	454.37	456.76
Contenido de humedad	%	13.13	13.20	15.02	15.17	17.46	17.43	19.75	19.93
Contenido de humedad prom	%	13.17		15.10		17.45		19.84	

DENSIDAD DE SUELO SECO	gr/cm3	1.78	1.87	1.90	1.77
------------------------	--------	------	------	------	------

CURVA DE COMPACTACIÓN



RESULTADOS

DENSIDAD DE SUELO SECO

1.90 gr/cm3

ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD

17.00%

OBSERVACIONES.- El ensayo se realizó con las muestras proveídas por el solicitante.



CONSULTORIAS, ESTUDIOS Y CAPACITACIONES
EN INGENIERIA Y CONSTRUCCION
Marcel S. ZANCAPA HANCCO
INGENIERO CIVIL - CP. 168608
JEFE DE LABORATORIO



CECIC Laboratorio y capacitaciones



APVU – Mz "II", lote 4. San Juan
Ref. a tres cuadras del GOREPA



990270829 / 963600813



990270829 / 963600813



Capacitaciones.ccic@gmail.com

CONSULTORIAS, ESTUDIOS Y CAPACITACIONES EN INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN

OCEDA J & G CORPORATION SOCIEDAD ANONIMA CERRADA - RUC 20600166051



LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y CONTROL DE CALIDAD

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

ASTM D-3080 / NTP 339.171

Solicitante : Bach. ATENCIO MONGE CARLOS ALBERTO
 Obra/Proyecto : "MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL EN MODELO COMPUTACIONAL DEL PABELLÓN DE LA FACULTAD DE DERECHO DE LA UNDAC IMPLEMENTANDO DISIPADORES DE ENERGÍA SHEAR LINK - PASCO 2024"
 Ubicación : Yanacancha - Pasco - Pasco
 Fecha de Ensayo : 20/11/2024
 Fecha de Emisión : 22/11/2024
 Muestra : C-2, E-3
 N° Registro : S1 - 23 - 101 - 06

Sondaje : C-2, E-3
 Muestra : M1

Estado : Remoldeado

Velocidad : 0.05 mm/min
 Clasificación SUCS : GP - GC

ESPECIMEN 1

Altura : 23.9 mm
 Diámetro : 61.2 mm
 Carga : 15.00 kg
 D. Seca : 1.71 gr/cm³
 Humedad : 17.00 %
 Est. Normal : 0.50 kg/cm²
 Est. Corte : 0.31 kg/cm²

ESPECIMEN 2

Altura : 23.9 mm
 Lado : 61.2 mm
 Carga : 30.00 kg
 D. Seca : 1.71 gr/cm³
 Humedad : 17.00 %
 Est. Normal : 1.00 kg/cm²
 Est. Corte : 0.63 kg/cm²

ESPECIMEN 3

Altura : 23.9 mm
 Lado : 61.2 mm
 Carga : 60.00 kg
 D. Seca : 1.71 gr/cm³
 Humedad : 17.00 %
 Est. Normal : 2.00 kg/cm²
 Est. Corte : 1.16 kg/cm²

Desp. lateral (mm)	Esfuerzo de Corte (kg/cm ²)	Esfuerzo Normalizado (ts)
0.00	0.000	0.00
0.03	0.030	0.06
0.06	0.022	0.04
0.12	0.031	0.06
0.18	0.041	0.08
0.30	0.058	0.11
0.45	0.069	0.14
0.60	0.082	0.16
0.75	0.098	0.19
0.90	0.115	0.23
1.05	0.130	0.25
1.20	0.143	0.28
1.50	0.165	0.32
1.80	0.185	0.36
2.10	0.205	0.40
2.40	0.227	0.45
2.70	0.242	0.47
3.00	0.249	0.49
3.60	0.265	0.52
4.20	0.275	0.54
4.80	0.286	0.56
5.40	0.282	0.55
6.00	0.288	0.56
6.60	0.300	0.59
7.20	0.300	0.59
7.80	0.296	0.58
8.40	0.299	0.59
9.00	0.304	0.60
9.60	0.308	0.60
10.20	0.303	0.59

Desp. lateral (mm)	Esfuerzo de Corte (kg/cm ²)	Esfuerzo Normalizado (ts)
0.00	0.00	0.00
0.03	0.03	0.03
0.06	0.06	0.06
0.12	0.08	0.08
0.18	0.10	0.10
0.30	0.13	0.13
0.45	0.16	0.16
0.60	0.20	0.20
0.75	0.23	0.23
0.90	0.27	0.26
1.05	0.28	0.28
1.20	0.32	0.31
1.50	0.37	0.36
1.80	0.41	0.40
2.10	0.45	0.44
2.40	0.49	0.48
2.70	0.51	0.50
3.00	0.53	0.52
3.60	0.56	0.54
4.20	0.58	0.57
4.80	0.59	0.58
5.40	0.60	0.59
6.00	0.61	0.60
6.60	0.62	0.60
7.20	0.62	0.61
7.80	0.62	0.61
8.40	0.63	0.61
9.00	0.62	0.60
9.60	0.61	0.60
10.20	0.611	0.60

Desp. lateral (mm)	Esfuerzo de Corte (kg/cm ²)	Esfuerzo Normalizado (ts)
0.00	0.00	0.00
0.03	0.07	0.04
0.06	0.12	0.06
0.12	0.17	0.08
0.18	0.20	0.10
0.30	0.27	0.13
0.45	0.33	0.16
0.60	0.39	0.19
0.75	0.42	0.21
0.90	0.48	0.23
1.05	0.54	0.27
1.20	0.59	0.29
1.50	0.68	0.33
1.80	0.75	0.37
2.10	0.83	0.41
2.40	0.86	0.42
2.70	0.92	0.45
3.00	0.97	0.47
3.60	1.02	0.50
4.20	1.06	0.52
4.80	1.07	0.53
5.40	1.10	0.54
6.00	1.10	0.54
6.60	1.13	0.55
7.20	1.14	0.56
7.80	1.15	0.56
8.40	1.16	0.57
9.00	1.15	0.56
9.60	1.15	0.56
10.20	1.154	0.56

OBSERVACIONES:

El ensayo se realizó con el material remoldeado pasante el tamiz # 4



CONSULTORIAS, ESTUDIOS Y CAPACITACIONES EN INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN
 MARGEL S. CANCAYA HANCCO
 INGENIERO CIVIL - CP 168608
 JEFE DE LABORATORIO



CECIC Laboratorio y capacitaciones



APVU - Mz "II", lote 4. San Juan
 Ref. a tres cuerdas del GOREPA



990270829 / 963600813



990270829 / 963600813



Capitaciones.ccic@gmail.com

CONSULTORIAS, ESTUDIOS Y CAPACITACIONES EN INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN

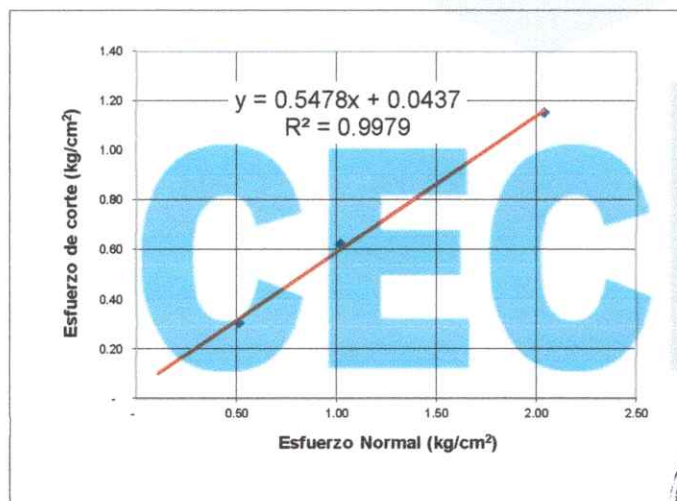
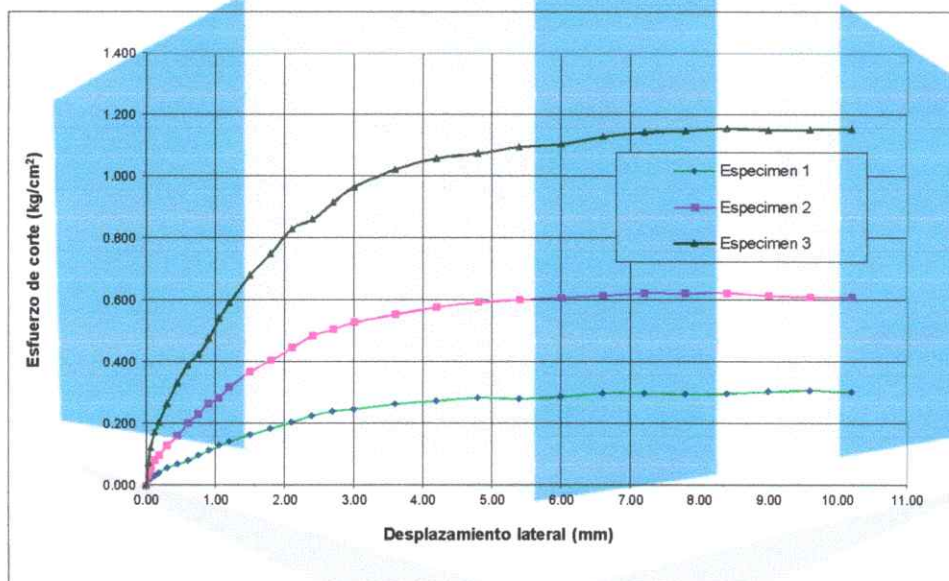
OCEDA J & G CORPORATION SOCIEDAD ANONIMA CERRADA - RUC 20600166051

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y CONTROL DE CALIDAD

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

ASTM D-3080 / NTP 339.171

Solicitante : Bach. ATENCIO MONGE CARLOS ALBERTO
Obra/Proyecto : "MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL EN MODELO COMPUTACIONAL DEL PABELLÓN DE LA FACULTAD DE DERECHO DE LA UNDAC IMPLEMENTANDO DISIPADORES DE ENERGÍA SHEAR LINK - PASCO 2024"
Ubicación : Yanacancha - Pasco - Pasco
Fecha de Ensayo : 20/11/2024
Fecha de Emisión : 22/11/2024
Muestra : C-2; E-3
Nº Registro : S1 - 23 - 101 - 07



Resultados:

Cohesión (c): 0.04 kg/cm²

Ang. Fricción (φ): 28.71 °

OBSERVACIONES:

- Las muestras fueron remoldeadas al 90 % de la MDS.



CONSULTORIAS, ESTUDIOS Y CAPACITACIONES
EN INGENIERIA Y CONSTRUCCION

Marcial S. CANCABA PIANCCO
INGENIERO CIVIL - CIP 168608
JEFE DE LABORATORIO



CECIC Laboratorio y capacitaciones



APVU - Mz "II", lote 4. San Juan
Ref. a tres cuadras del GOREPA



990270829 / 963600813



990270829 / 963600813



Capacitaciones.ccic@gmail.com

CONSULTORIAS, ESTUDIOS Y CAPACITACIONES EN INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN

OCEDA J & G CORPORATION SOCIEDAD ANONIMA CERRADA - RUC 20600166051



LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y CONTROL DE CALIDAD

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

ASTM D-3080 / NTP 339.171

Solicitante : Bach. ATENCIO MONGE CARLOS ALBERTO
Obra/Proyecto : "MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL EN MODELO COMPUTACIONAL DEL PABELLÓN DE LA FACULTAD DE DERECHO DE LA UNDAC IMPLEMENTANDO DISIPADORES DE ENERGÍA SHEAR LINK - PASCO 2024"
Ubicación : Yanacancha - Pasco - Pasco
Fecha de Ensayo : 20/11/2024
Fecha de Emisión : 21/11/2024
Muestra : C-2; E-3
N° Registro : S1 - 23 - 101 - 08

Estado : Remoldeado (material < Tamiz N°4)
Muestra : C-2; E-3

	Especimen N°01	Especimen N°02	Especimen N°03
Diámetro del anillo (cm)	6.12	6.12	6.12
Altura inicial de la muestra (cm)	2.39	2.39	2.39
Densidad húmeda inicial (gr/cm3)	2.003	2.003	2.003
Densidad seca inicial (gr/cm3)	1.712	1.712	1.712
Contenido de humedad inicial (%)	17.00	17.00	17.00
Altura final de la muestra (cm)	2.29	2.28	2.26
Densidad húmeda final (gr/cm3)	2.198	2.201	2.207
Densidad seca final (gr/cm3)	1.719	1.730	1.746
Contenido de humedad final (%)	27.88	27.24	26.38
Esfuerzo normal (kg/cm2)	0.50	1.00	2.00
Esfuerzo de corte máximo (kg/cm2)	0.308	0.626	1.155
Ángulo de fricción interna (°)	28.71		
Cohesión (kg/cm2)	0.04		



CECIC Laboratorio y capacitaciones



APVU – Mz "II", lote 4. San Juan
Ref. a tres cuerdas del GOREPA



990270829 / 963600813



990270829 / 963600813



Capitaciones.ccic@gmail.com

CONSULTORIAS, ESTUDIOS Y CAPACITACIONES EN INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN

OCEDA J & G CORPORATION SOCIEDAD ANONIMA CERRADA - RUC 20600166051



LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y CONTROL DE CALIDAD

CONTENIDO DE HUMEDAD DELSUELO

NTP 339.127 / ASTM D 2216

Solicitante : Bach. ATENCIO MONGE CARLOS ALBERTO
Obra/Proyecto : "MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL EN MODELO COMPUTACIONAL DEL PABELLÓN DE LA FACULTAD DE DERECHO DE LA UNDAC IMPLEMENTANDO DISIPADORES DE ENERGÍA SHEAR LINK - PASCO 2024"
Ubicación : Yanacancha - Pasco - Pasco
Fecha de Ensayo : 17/11/2024
Fecha de Emisión : 22/11/2024
Muestra : C-2; E-3
N° Registro : S9 - 23 - 101 -09

		UND	M - 1	M - 2
Peso de la muestra húmeda + Tara		gr	572.22	570.98
Peso de la muestra seca + Tara		gr	521.89	521.21
Peso de la tara		gr	70.41	68.99
Masa de la muestra húmeda	W	gr	501.81	501.99
Masa de la muestra seca en gramos	D	gr	451.48	452.22
Contenido de humedad	(W-D)/D		11.15%	11.01%
Promedio			11.08%	



CONSULTORIAS, ESTUDIOS Y CAPACITACIONES
EN INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN
Manuel S. CANCANA HANCOCO
INGENIERO CIVIL - CIP 168608
JEFE DE LABORATORIO

CECIC



CECIC Laboratorio y capacitaciones



APVU - Mz "II", lote 4. San Juan
Ref. a tres cuadras del GOREPA



990270829 / 963600813



990270829 / 963600813



Capacitaciones.ccic@gmail.com

Solicitante	: Bach. ATENCIO MONGE CARLOS ALBERTO
Obra/Proyecto	: "MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL EN MODELO COMPUTACIONAL DEL PABELLÓN DE LA FACULTAD DE DERECHO DE LA UNDAC IMPLEMENTANDO DISIPADORES DE ENERGÍA SHEAR LINK - PASCO 2024"
Ubicación	: Yanacancha - Pasco - Pasco
Fecha de Ensayo	: 21/11/2024
Fecha de Emisión	: 21/11/2024
Muestra	: C-2; E-3
Nº Registro	: S1 - 23 - 101 - 09

Ángulo de fricción	φ =	28.71
Cohesión	C =	0.04 kg/cm ² (Ensayo de corte directo)
Tipo de suelo		
Ángulo de fricción	φ =	28.71 (RNE. E.050, Art.20, inciso 20.3)
Cohesión	C =	0.04 kg/cm ² (RNE. E.050, Art.20, inciso 20.3)
Tipos de falla		
Ángulo de fricción	φ =	28.71
Cohesión	C =	0.04 kg/cm ²
Peso unitario del suelo sobre el nivel de fundación	γ =	1.15 g/cm ³
Peso unitario del suelo bajo el nivel de fundación	γ =	2.00 g/cm ³
Profundidad de cimentación	Df =	---
Profundidad de napa freática (NF)	NF =	0.00 m
Factor de seguridad	FS =	3.00 (RNE. E.050, Art.21, inciso 21.1)

$$N_q = c(\pi \tan \phi') \tan^2 \left(45 + \frac{\phi'}{2} \right)$$

$$N_c = (N_a - 1) \cot \phi'$$

$$N_s = (N_g - 1) \tan(1.4 \phi')$$

$$S_c = 1 + 0,2 \frac{B}{l}$$

$$t_c = t_q = (1 - \frac{\alpha^o}{90^o})^2$$

$$S_Y = 1 - 0,2 \frac{B}{L}$$

$$\ell_\gamma = (1 - \frac{\alpha^o}{\phi^o})^2$$

Terzaghi RNE(2018)

FACTORES DE INCLINACION		
i_c	i_g	i_y
1.00	1.00	1.00

OBSERVACIONES:

* Los ensayos se desarrollarán con las muestras identificadas en el estudio.

* Las dimensiones, profundidad y tipo de cimentación consideradas en la presente fueron ideadas para la determinación de la capacidad admisible, por lo que el proyectista podría tomar sus propias decisiones.



CECIC Laboratorio y capacitaciones



APVU – Mz “II”, lote 4. San Juan
Ref. a tres cuadras del GOREPA

CONSULTORIAS, ESTUDIOS Y CAPACITACIONES
EN INGENIERIA Y CONSTRUCCION

Marcial S. CANCADO HANCCO
INGENIERO CIVIL - CIP 168608

990270829 / 963600813

990270829 / 963600813

Capacitaciones.ccic@gmail.com

CONSULTORIAS, ESTUDIOS Y CAPACITACIONES EN INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN

OCEDA J & G CORPORATION SOCIEDAD ANONIMA CERRADA - RUC 20600166051



LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y CONTROL DE CALIDAD

ESTUDIOS DE SUELOS PARA DETERMINACIÓN DE CAPACIDAD ADMISIBLE DEL SUELO

Solicitante : Bach. ATENCIO MONGE CARLOS ALBERTO
Obra/Proyecto : "MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL EN MODELO COMPUTACIONAL DEL PABELLÓN DE LA FACULTAD DE DERECHO DE LA UNDAC IMPLEMENTANDO DISIPADORES DE ENERGÍA SHEAR LINK - PASCO 2024"
Ubicación : Yanacancha - Pasco - Pasco
Nº Informe : S - 24 - 101

DATOS

Recepción de Muestras : 07/10/2024
Fecha de Emisión : 13/10/2024
Calicata : C-3; E-4
Descripción : Calicata
Muestra : M1

RESUMEN DE ENSAYOS

Clasificación : GC - GM Contenido de humedad : 10.94%
A-1-b (0)

Limites de Atterberg

Límite Líquido : 23.00
Límite Plástico : 17.00
Índice de plasticidad : 6.00

Ensayo de corte directo

Cohesión (c): : 0.02 kg/cm²
Ang. Fricción (φ): : 26.75 °

Nota: - Las muestras fueron remoldeadas al 90 % de la MDS.

Peso unitario del suelo bajo el : 1.989 g/cm³
nivel de fundación

Capacidad admisible del suelo

B_ancho (m)	1.20		1.40		1.60	
L_largo (m)	1.20		1.40		1.60	
Profundidad(m)	Qult (Kg/cm ²)	Qadm (Kg/cm ²)	Qult (Kg/cm ²)	Qadm (Kg/cm ²)	Qult (Kg/cm ²)	Qadm (Kg/cm ²)
1.20	3.20	1.07	3.35	1.12	3.49	1.16
1.30	3.35	1.12	3.50	1.17	3.64	1.21
1.40	3.50	1.17	3.64	1.21	3.79	1.26
1.50	3.65	1.22	3.79	1.26	3.94	1.31
1.60	3.79	1.26	3.94	1.31	4.08	1.36



CONSULTORIAS, ESTUDIOS Y CAPACITACIONES
EN INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN

Marcial S. CANGA HANCCO
INGENIERO CIVIL - CIP. 168608
JEFE DE LABORATORIO



CECIC Laboratorio y capacitaciones



APVU – Mz "II", lote 4. San Juan
Ref. a tres cuerdas del GOREPA



990270829 / 963600813



990270829 / 963600813



Capacitaciones.ccic@gmail.com

CONSULTORIAS, ESTUDIOS Y CAPACITACIONES EN INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN

OCEDA J & G CORPORATION SOCIEDAD ANONIMA CERRADA - RUC 20600166051

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y CONTROL DE CALIDAD

PERFIL ESTRATIGRÁFICO

Solicitante
Obra/Proyecto

: Bach. ATENCIO MONGE CARLOS ALBERTO
: "MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL EN MODELO COMPUTACIONAL DEL PABELLÓN DE LA FACULTAD DE DERECHO DE LA UNDAC IMPLEMENTANDO DISIPADORES DE ENERGIA SHEAR LINK - PASCO 2024"

Ubicación
Fecha de Ensayo
Fecha de Emisión
Muestra
Nº Registro

: Yanacancha - Pasco - Pasco
: 07/10/2024
: 13/10/2024
: C-3; E-4
: SPE - 23 - 101 - 01

Nivel freático : 0.00 m

Profundidad (m)	Estrato	Simbolo gráfico	Descripción	Clasificación SUCS
0.2	E - 1		Material de relleno.	R
0.4	E - 2		Material de relleno con presencia de plastico y material granular	R
0.6				
0.8	E - 3		Suelo grava limosa pobremente grada de color marrón con gravas sub angulosas en condición humedo	GM - GP
1				
1.2				
1.4	E - 4		Suelo grava limo arcillosa de color marrón con lentes de color dorado con gravas sub angulosas de TM 2" en condición humedo de consistencia firme y cementación moderada.	GC - GM
1.6			ROCA	
1.8				
2				
2.2				
2.4				
2.6				
2.8				
3				

OBSERVACIONES.- El perfil estratigráfico fue elaborado con las muestras proveidas por el solicitante.



CONSULTORIAS, ESTUDIOS Y CAPACITACIONES
EN INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN

Marcial S. CANCOPA HANGCO
INGENIERO CIVIL - CIP 168608
JEFE DE LABORATORIO



CECIC Laboratorio y capacitaciones



APVU - Mz "II", lote 4. San Juan
Ref. a tres cuadradas del GOREPA



990270829 / 963600813



990270829 / 963600813



Capacitaciones.ccic@gmail.com

CONSULTORIAS, ESTUDIOS Y CAPACITACIONES EN INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN

OCEDA J & G CORPORATION SOCIEDAD ANONIMA CERRADA - RUC 20600166051



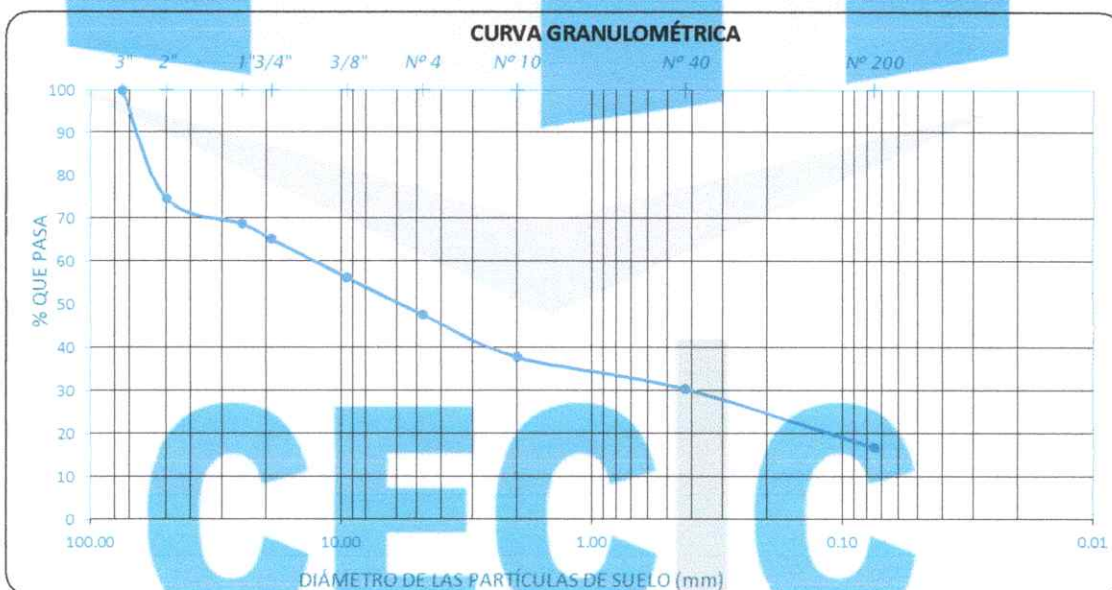
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y CONTROL DE CALIDAD

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

ASTM D-422 / NTP 339.128

Solicitante : Bach. ATENCIO MONGE CARLOS ALBERTO
 Obra/Proyecto : "MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL EN MODELO COMPUTACIONAL DEL PABELLÓN DE LA FACULTAD DE DERECHO DE LA UNDAC IMPLEMENTANDO DISIPADORES DE ENERGÍA SHEAR LINK - PASCO 2024"
 Ubicación : Yanacancha - Pasco - Pasco
 Fecha de Ensayo : 08/10/2024
 Fecha de Emisión : 13/10/2024
 Muestra : C-3; E-4
 N° Registro : S3 - 23 - 101 - 02

TAMIZ N°	DIÁMETRO (mm)	PESO RETENIDO	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	LÍMITES DE CONSISTENCIA
3"	75.000	0.00	0.00	0.00	100.00	LÍMITE LIQUIDO = 23.00
2"	50.000	1858.29	25.28	25.28	74.72	LÍMITE PLÁSTICO = 17.00
1"	25.000	433.61	5.90	31.17	68.83	ÍNDICE PLÁSTICO = 6.00
3/4"	19.000	260.79	3.55	34.72	65.28	COEFICIENTE DE CURVATURA = 0.29
3/8"	9.500	654.21	8.90	43.62	56.38	COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD = 280.94
N° 4	4.750	638.58	8.69	52.31	47.69	CLASIFICACIÓN
N° 10	2.000	717.48	9.76	62.07	37.93	SUCS : GC - GM
N° 40	0.425	550.61	7.49	69.56	30.44	AASHTO : A-1-b (0)
N° 200	0.075	1008.34	13.72	83.27	16.73	Grava limo arcillosa con arena
CAZOLETA	0.000	1229.83	16.73	100.00	0.00	OBSERVACIONES
TOTAL		7351.74	100.00			% grava = 52.31%
						% arena = 30.96%
						% de finos = 16.73%



OBSERVACIONES.-

* Los ensayos se desarrollaron con las muestras proveídas por el solicitante.



CONSULTORIAS, ESTUDIOS Y CAPACITACIONES
 EN INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN
 Marcial A. CANCAYA HANCOC
 INGENIERO CIVIL - CIP 168608
 JEFE DE LABORATORIO



CECIC Laboratorio y capacitaciones



APVU - Mz "II", lote 4. San Juan
 Ref. a tres cuadras del GOREPA



990270829 / 963600813



990270829 / 963600813



Capacitaciones.ccic@gmail.com

CONSULTORIAS, ESTUDIOS Y CAPACITACIONES EN INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN

OCEDA J & G CORPORATION SOCIEDAD ANONIMA CERRADA - RUC 20600166051



LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y CONTROL DE CALIDAD

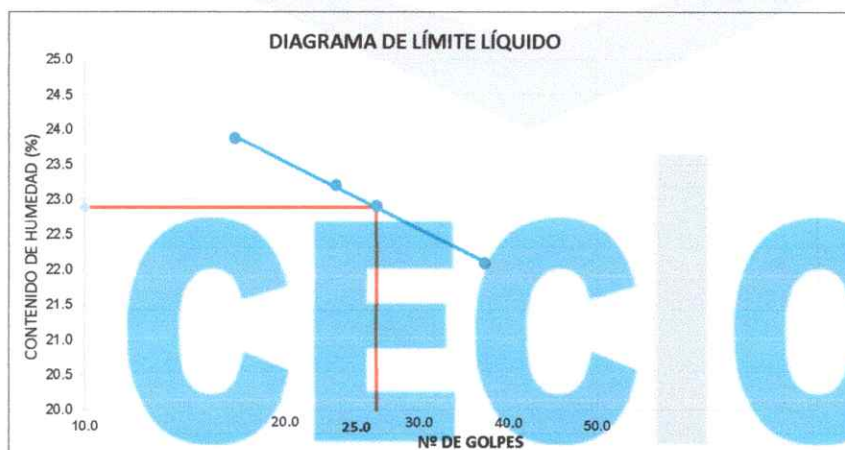
ENSAYO DE LÍMITES DE CONSISTENCIA

ASTM D-4318 / NTP 339.129

Solicitante : Bach. ATENCIO MONGE CARLOS ALBERTO
 Obra/Proyecto : "MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL EN MODELO COMPUTACIONAL DEL PABELLÓN DE LA FACULTAD DE DERECHO DE LA UNDAC IMPLEMENTANDO DISIPADORES DE ENERGÍA SHEAR LINK - PASCO 2024"
 Ubicación : Yanacancha - Pasco - Pasco
 Fecha de Ensayo : 08/10/2024
 Fecha de Emisión : 13/10/2024
 Muestra : C-3; E-4
 N° Registro : S4, S5 - 23 - 101 - 03

LÍMITE LÍQUIDO				
N° TARRO	43	49	89	30
TARRO + SUELO HÚMEDO	32.59	36.66	24.76	36.89
TARRO + SUELO SECO	28.52	32.18	21.04	32.65
CONTENIDO DE AGUA	4.07	4.48	3.72	4.24
PESO DEL TARRO	11.48	12.88	4.80	13.46
PESO DEL SUELO SECO	17.04	19.30	16.24	19.19
% DE HUMEDAD	23.88	23.21	22.91	22.09
N° DE GOLPES	16	22	25	35

LÍMITE PLÁSTICO				
N° TARRO	46	61	48	PROM = 17.31
TARRO + SUELO HÚMEDO	18.77	18.63	18.48	
TARRO + SUELO SECO	17.78	17.65	17.57	
AGUA	0.99	0.98	0.91	
PESO DEL TARRO	12.10	12.04	12.23	
PESO DEL SUELO SECO	5.68	5.61	5.34	
% DE HUMEDAD	17.43	17.47	17.04	



RESULTADOS	
LÍMITE LÍQUIDO =	23.00
LÍMITE PLÁSTICO =	17.00
ÍNDICE DE PLASTICIDAD =	6.00

OBSERVACIONES.-

* Los ensayos se desarrollarán con las muestras proveídas por el solicitante.



CONSULTORIAS, ESTUDIOS Y CAPACITACIONES EN INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN

Marcial S. CANCAYA HANCCO
 INGENIERO CIVIL CIP 168608
 JEFE DE LABORATORIO



CECIC Laboratorio y capacitaciones



APVU – Mz "II", lote 4. San Juan
 Ref. a tres cuadras del GOREPA



990270829 / 963600813



990270829 / 963600813



Capacitaciones.cic@gmail.com

CONSULTORIAS, ESTUDIOS Y CAPACITACIONES EN INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN

OCEDA J & G CORPORATION SOCIEDAD ANONIMA CERRADA - RUC 20600166051



LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y CONTROL DE CALIDAD

ENSAYO DE PROCTOR ESTANDAR

ASTM D-698 / NTP 339.142

Solicitante : Bach. ATENCIO MONGE CARLOS ALBERTO
Obra/Proyecto : "MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL EN MODELO COMPUTACIONAL DEL PABELLÓN DE LA FACULTAD DE DERECHO DE LA UNDAC IMPLEMENTANDO DISIPADORES DE ENERGÍA SHEAR LINK - PASCO 2024"
Ubicación : Yanacancha - Pasco - Pasco
Fecha de Ensayo : 10/10/2024
Fecha de Emisión : 13/10/2024
Muestra : C-3; E-4
N° Registro : S9 - 23 - 101 -04

Volumen del molde : cm3 : 938

DENSIDAD DE SUELO HUMEDO

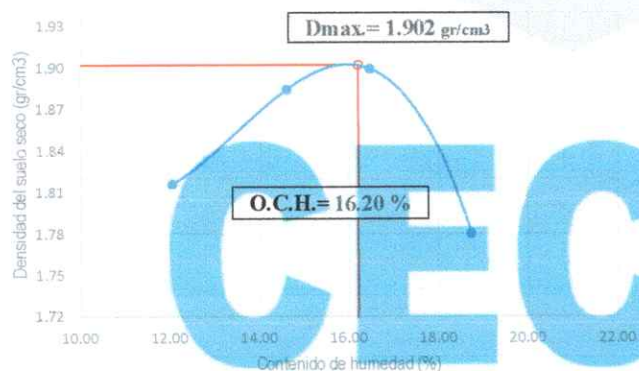
Muestra		M1	M2	M3	M4
Peso Suelo + molde	gr	3656.00	3773.00	3822.00	3730.00
Peso del molde	gr	1747.00	1747.00	1747.00	1747.00
Peso suelo humedo compactado	gr	1909.00	2026.00	2075.00	1983.00
Densidad suelo humedo	gr/cm3	2.04	2.16	2.21	2.11

CONTENIDO DE HUMEDAD

N° Cápsula		9	10	12	13	62	60	99	98
Peso suelo humedo + tara	gr	599.89	600.47	600.30	602.17	600.21	601.01	600.21	602.98
Peso suelo seco + tara	gr	542.02	543.58	531.02	536.25	523.31	523.55	514.63	516.32
Tara	gr	64.30	69.70	56.10	86.30	55.60	54.60	56.00	55.80
Peso del agua	gr	57.87	56.89	69.28	65.92	76.90	77.46	85.58	86.66
Peso del suelo seco	gr	477.72	473.88	474.92	449.95	467.71	468.95	458.63	460.52
Contenido de humedad	%	12.11	12.01	14.69	14.65	16.44	16.52	18.66	18.82
Contenido de humedad prom	%	12.06		14.62		16.48		18.74	

DENSIDAD DE SUELO SECO : gr/cm3 : 1.82 : 1.88 : 1.90 : 1.78

CURVA DE COMPACTACIÓN



RESULTADOS

DENSIDAD DE SUELO SECO

1.90 gr/cm3

ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD

16.20%

OBSERVACIONES.- El ensayo se realizó con las muestras proveídas por el solicitante.



CONSULTORIAS, ESTUDIOS Y CAPACITACIONES EN INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN
MARCIAL S. CANCADA HANCO
INGENIERO CIVIL - OP. 168808
JEFE DE LABORATORIO



CECIC Laboratorio y capacitaciones



APVU – Mz "II", lote 4. San Juan
Ref. a tres cuadras del GOREPA



990270829 / 963600813



990270829 / 963600813



Capacitaciones.ccic@gmail.com

CONSULTORIAS, ESTUDIOS Y CAPACITACIONES EN INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN

OCEDA J & G CORPORATION SOCIEDAD ANONIMA CERRADA - RUC 20600166051



LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y CONTROL DE CALIDAD

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

ASTM D-3080 / NTP 339 171

Solicitante : Bach. ATENCIO MONGE CARLOS ALBERTO
 Obra/Proyecto : "MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL EN MODELO COMPUTACIONAL DEL PABELLÓN DE LA FACULTAD DE DERECHO DE LA UNDAC IMPLEMENTANDO DISIPADORES DE ENERGÍA SHEAR LINK - PASCO 2024"
 Ubicación : Yanacancha - Pasco - Pasco
 Fecha de Ensayo : 11/10/2024
 Fecha de Emisión : 13/10/2024
 Muestra : C-3, E-4
 N° Registro : S1 - 23 - 101 - 06

Sondaje : C-3, E-4
 Muestra : M1

Estado : Remoldeado

Velocidad : 0.05 mm/min
 Clasificación SUCS : GC - GM

ESPECIMEN 1

Altura : 23.9 mm
 Diámetro : 61.2 mm
 Carga : 15.00 kg
 D. Seca : 1.71 gr/cm³
 Humedad : 16.20 %
 Est. Normal : 0.50 kg/cm²
 Est. Corte : 0.28 kg/cm²

ESPECIMEN 2

Altura : 23.9 mm
 Lado : 61.2 mm
 Carga : 30.00 kg
 D. Seca : 1.71 gr/cm³
 Humedad : 16.20 %
 Est. Normal : 1.00 kg/cm²
 Est. Corte : 0.53 kg/cm²

ESPECIMEN 3

Altura : 23.9 mm
 Lado : 61.2 mm
 Carga : 60.00 kg
 D. Seca : 1.71 gr/cm³
 Humedad : 16.20 %
 Est. Normal : 2.00 kg/cm²
 Est. Corte : 1.05 kg/cm²

Desp. lateral (mm)	Esfuerzo de Corte (kg/cm ²)	Esfuerzo Normalizado (t/s)
0.00	0.000	0.00
0.03	0.009	0.02
0.06	0.025	0.05
0.12	0.035	0.07
0.18	0.049	0.10
0.30	0.065	0.13
0.45	0.080	0.16
0.60	0.090	0.18
0.75	0.101	0.20
0.90	0.116	0.23
1.05	0.130	0.25
1.20	0.140	0.27
1.50	0.160	0.31
1.80	0.175	0.34
2.10	0.196	0.38
2.40	0.202	0.40
2.70	0.207	0.41
3.00	0.210	0.41
3.60	0.228	0.45
4.20	0.236	0.46
4.80	0.241	0.47
5.40	0.251	0.49
6.00	0.256	0.50
6.60	0.256	0.50
7.20	0.259	0.51
7.80	0.263	0.52
8.40	0.265	0.52
9.00	0.273	0.53
9.60	0.281	0.55
10.20	0.281	0.55

Desp. lateral (mm)	Esfuerzo de Corte (kg/cm ²)	Esfuerzo Normalizado (t/s)
0.00	0.00	0.00
0.03	0.01	0.01
0.06	0.03	0.03
0.12	0.04	0.04
0.18	0.06	0.06
0.30	0.08	0.08
0.45	0.11	0.11
0.60	0.13	0.12
0.75	0.15	0.14
0.90	0.18	0.17
1.05	0.19	0.19
1.20	0.22	0.21
1.50	0.26	0.25
1.80	0.31	0.30
2.10	0.35	0.34
2.40	0.37	0.37
2.70	0.40	0.39
3.00	0.42	0.41
3.60	0.46	0.45
4.20	0.48	0.47
4.80	0.50	0.49
5.40	0.51	0.50
6.00	0.51	0.50
6.60	0.51	0.50
7.20	0.51	0.50
7.80	0.52	0.51
8.40	0.53	0.51
9.00	0.53	0.52
9.60	0.53	0.52
10.20	0.535	0.52

Desp. lateral (mm)	Esfuerzo de Corte (kg/cm ²)	Esfuerzo Normalizado (t/s)
0.00	0.00	0.00
0.03	0.02	0.01
0.06	0.06	0.03
0.12	0.08	0.04
0.18	0.10	0.05
0.30	0.14	0.07
0.45	0.19	0.10
0.60	0.23	0.11
0.75	0.27	0.13
0.90	0.33	0.16
1.05	0.35	0.17
1.20	0.41	0.20
1.50	0.49	0.24
1.80	0.56	0.27
2.10	0.63	0.31
2.40	0.70	0.34
2.70	0.76	0.37
3.00	0.81	0.40
3.60	0.89	0.44
4.20	0.94	0.46
4.80	0.97	0.47
5.40	1.00	0.49
6.00	0.99	0.49
6.60	1.00	0.49
7.20	1.01	0.50
7.80	1.03	0.51
8.40	1.04	0.51
9.00	1.05	0.51
9.60	1.05	0.51
10.20	1.053	0.52

OBSERVACIONES:

El ensayo se realizó con el material remoldeado pasante el tamiz # 4



CONSULTORIAS, ESTUDIOS Y CAPACITACIONES EN INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN

MARCELO S. CANCASA
 INGENIERO CIVIL, CIP 168608
 JEFE DE LABORATORIO



CECIC Laboratorio y capacitaciones



APVU - Mz "II", lote 4. San Juan
 Ref. a tres cuadras del GOREPA



990270829 / 963600813



990270829 / 963600813



Capacitaciones.ccic@gmail.com

CONSULTORIAS, ESTUDIOS Y CAPACITACIONES EN INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN

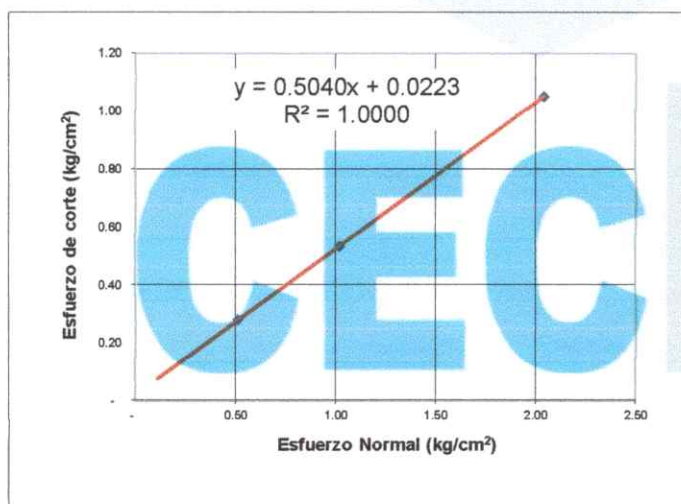
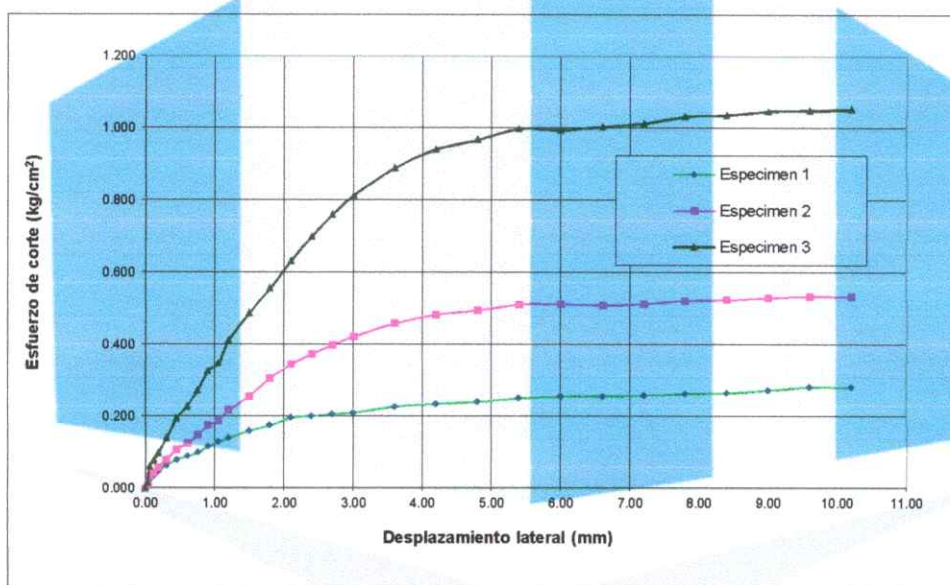
OCEDA J & G CORPORATION SOCIEDAD ANONIMA CERRADA - RUC 20600166051

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y CONTROL DE CALIDAD

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

ASTM D-3080 / NTP 339.171

Solicitante : Bach. ATENCIO MONGE CARLOS ALBERTO
Obra/Proyecto : "MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL EN MODELO COMPUTACIONAL DEL PABELLÓN DE LA FACULTAD DE DERECHO DE LA UNDAC IMPLEMENTANDO DISIPADORES DE ENERGÍA SHEAR LINK - PASCO 2024"
Ubicación : Yanacancha - Pasco - Pasco
Fecha de Ensayo : 11/10/2024
Fecha de Emisión : 13/10/2024
Muestra : C-3; E-4
Nº Registro : S1 - 23 - 101 - 07



Resultados:

Cohesión (c): 0.02 kg/cm²

Ang. Fricción (φ): 26.75 °

OBSERVACIONES:

- Las muestras fueron remoldeadas al 90 % de la MDS.



CONSULTORIAS, ESTUDIOS Y CAPACITACIONES
EN INGENIERIA Y CONSTRUCCION
Miguel S. CANCADA MANCCO
INGENIERO CIVIL - CIP 168808
JEFE DE LABORATORIO



CECIC Laboratorio y capacitaciones



APVU – Mz "II", lote 4. San Juan
Ref. a tres cuadras del GOREPA



990270829 / 963600813



990270829 / 963600813



Capacitaciones.ccic@gmail.com



LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y CONTROL DE CALIDAD

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

ASTM D-3080 / NTP 339.171

Solicitante : Bach. ATENCIO MONGE CARLOS ALBERTO
Obra/Proyecto : "MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL EN MODELO COMPUTACIONAL DEL PABELLÓN DE LA FACULTAD DE DERECHO DE LA UNDAC IMPLEMENTANDO DISIPADORES DE ENERGÍA SHEAR LINK - PASCO 2024"
Ubicación : Yanacancha - Pasco - Pasco
Fecha de Ensayo : 11/10/2024
Fecha de Emisión : 12/10/2024
Muestra : C-3; E-4
N° Registro : S1 - 23 - 101 - 08

Estado : Remoldeado (material < Tamiz N°4)
Muestra : C-3; E-4

	Especimen N°01	Especimen N°02	Especimen N°03
Diámetro del anillo (cm)	6.12	6.12	6.12
Altura inicial de la muestra (cm)	2.39	2.39	2.39
Densidad húmeda inicial (gr/cm3)	1.989	1.989	1.989
Densidad seca inicial (gr/cm3)	1.712	1.712	1.712
Contenido de humedad inicial (%)	16.20	16.20	16.20
Altura final de la muestra (cm)	2.28	2.27	2.25
Densidad húmeda final (gr/cm3)	2.193	2.197	2.202
Densidad seca final (gr/cm3)	1.726	1.738	1.754
Contenido de humedad final (%)	27.05	26.42	25.55
Esfuerzo normal (kg/cm2)	0.50	1.00	2.00
Esfuerzo de corte máximo (kg/cm2)	0.281	0.535	1.053
Ángulo de fricción interna (°)	26.75		
Cohesión (kg/cm2)	0.02		



CECIC Laboratorio y capacitaciones



APVU – Mz "II", lote 4. San Juan
Ref. a tres cuadradas del GOREPA



990270829 / 963600813



990270829 / 963600813



Capacitaciones.ccic@gmail.com

CONSULTORIAS, ESTUDIOS Y CAPACITACIONES EN INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN

OCEDA J & G CORPORATION SOCIEDAD ANONIMA CERRADA - RUC 20600166051



LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y CONTROL DE CALIDAD

CONTENIDO DE HUMEDAD DELSUELO

NTP 339.127 / ASTM D 2216

Solicitante : Bach. ATENCIO MONGE CARLOS ALBERTO
Obra/Proyecto : "MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL EN MODELO COMPUTACIONAL DEL PABELLÓN DE LA FACULTAD DE DERECHO DE LA UNDAC IMPLEMENTANDO DISIPADORES DE ENERGÍA SHEAR LINK - PASCO 2024"
Ubicación : Yanacancha - Pasco - Pasco
Fecha de Ensayo : 08/10/2024
Fecha de Emisión : 13/10/2024
Muestra : C-3; E-4
N° Registro : S9 - 23 - 101 -09

		UND	M - 1	M - 2
Peso de la muestra húmeda + Tara		gr	580.48	577.31
Peso de la muestra seca + Tara		gr	531.12	526.95
Peso de la tara		gr	75.21	70.98
Masa de la muestra humedad	W	gr	505.27	506.33
Masa de la muestra seca en gramos	D	gr	455.91	455.97
Contenido de humedad	(W-D)/D		10.83%	11.04%
Promedio			10.94%	



CECIC



CECIC Laboratorio y capacitaciones



APVU – Mz "II", lote 4. San Juan
Ref. a tres cuerdas del GOREPA



990270829 / 963600813



990270829 / 963600813



Capacitaciones.ccic@gmail.com

CONSULTORIAS, ESTUDIOS Y CAPACITACIONES EN INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN

OCEDA J & G CORPORATION SOCIEDAD ANONIMA CERRADA - RUC 20600166051



LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y CONTROL DE CALIDAD

DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE CARGA

Solicitante : Bach. ATENCIO MONGE CARLOS ALBERTO
 Obra/Proyecto : "MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL EN MODELO COMPUTACIONAL DEL PABELLÓN DE LA FACULTAD DE DERECHO DE LA UNDAC IMPLEMENTANDO DISIPADORES DE ENERGÍA SHEAR LINK - PASCO 2024"
 Ubicación : Yanacancha - Pasco - Pasco
 Fecha de Ensayo : 12/10/2024
 Fecha de Emisión : 12/10/2024
 Muestra : C-3; E-4
 N° Registro : S1 - 23 - 101 - 09

CÁLCULO DE CAPACIDAD DE CARGA - RNE (2018)

Ángulo de fricción $\phi = 26.75$
 Cohesión $C = 0.02 \text{ kg/cm}^2$ (Ensayo de corte directo)
 Tipo de suelo
 Ángulo de fricción $\phi = 26.75$ (RNE E.050, Art.20, inciso 20.3)
 Cohesión $C = 0.02 \text{ kg/cm}^2$ (RNE E.050, Art.20, inciso 20.3)
 Tipos de falla
 Ángulo de fricción $\phi = 26.75$
 Cohesión $C = 0.02 \text{ kg/cm}^2$
 Corte general (suelos densos)
 Ángulo de fricción $\phi = 26.75$
 Cohesión $C = 0.02 \text{ kg/cm}^2$
 Peso unitario del suelo sobre el nivel de fundación $\gamma = 1.15 \text{ g/cm}^3$
 Peso unitario del suelo bajo el nivel de fundación $\gamma = 1.99 \text{ g/cm}^3$
 Profundidad de cimentación $D_f =$
 Profundidad de napa freática (NF) $NF = 0.00 \text{ m}$
 Factor de seguridad $FS = 3.00$ (RNE E.050, Art.21, inciso 21.1)

$$q_{ult} = cN_c s_c i_c + \gamma_1 D_f N_q i_q + 0.5 \gamma_2 B N_\gamma s_\gamma i_\gamma$$

Terzaghi (1943) - RNE (2018)

FACTORES DE CAPACIDAD DE CARGA		
Nc	Nq	N γ
23.50	12.85	9.07

Terzaghi RNE(2018)

ÁNGULO DE INCLINACIÓN (α)
0.00

FACTORES DE INCLINACIÓN		
i_c	i_q	i_γ
1.00	1.00	1.00

FACTORES DE FORMA	
Sc	S γ
1.20	0.80

$$N_q = e^{(\pi \tan \phi') \tan^2 \left(45 + \frac{\phi'}{2} \right)}$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi'$$

$$N_\gamma = (N_q - 1) \tan(1.4 \phi')$$

$$S_c = 1 + 0.2 \frac{B}{L}$$

$$i_c = i_q = \left(1 - \frac{\alpha^\circ}{90^\circ} \right)^2$$

$$S_\gamma = 1 - 0.2 \frac{B}{L}$$

$$i_\gamma = \left(1 - \frac{\alpha^\circ}{\phi^\circ} \right)^2$$

B_ancho (m)	1.20		1.40		1.60		1.80	
L_largo (m)	1.20		1.40		1.60		1.80	
Profundidad (m)	Qult (Kg/cm2)	Qadm (kg/cm2)	Qult (Kg/cm2)	Qadm (kg/cm2)	Qult (Kg/cm2)	Qadm (kg/cm2)	Qult (Kg/cm2)	Qadm (kg/cm2)
1.20	3.20	1.07	3.35	1.12	3.49	1.16	3.64	1.21
1.30	3.35	1.12	3.50	1.17	3.64	1.21	3.78	1.26
1.40	3.50	1.17	3.64	1.21	3.79	1.26	3.93	1.31
1.50	3.65	1.22	3.79	1.26	3.94	1.31	4.08	1.36
1.60	3.79	1.26	3.94	1.31	4.08	1.36	4.23	1.41

OBSERVACIONES:

* Los ensayos se desarrollarán con las muestras identificadas en el estudio.

* Las dimensiones, profundidad y tipo de cimentación consideradas en la presente fueron ideadas para la determinación de la capacidad admisible, por lo que el proyectista podría tomar sus propias decisiones.



CECIC Laboratorio y capacitaciones



APVU - Mz "II", lote 4. San Juan
 Ref. a tres cuerdas del GOREPA



990270829 / 963600813



990270829 / 963600813



Capacitaciones.cic@gmail.com

CONSULTORIAS, ESTUDIOS Y CAPACITACIONES EN INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN

OCEDA J & G CORPORATION SOCIEDAD ANONIMA CERRADA - RUC 20600166051

ANEXO N°02: PANEL FOTOGRAFICO

CALICATA N°01

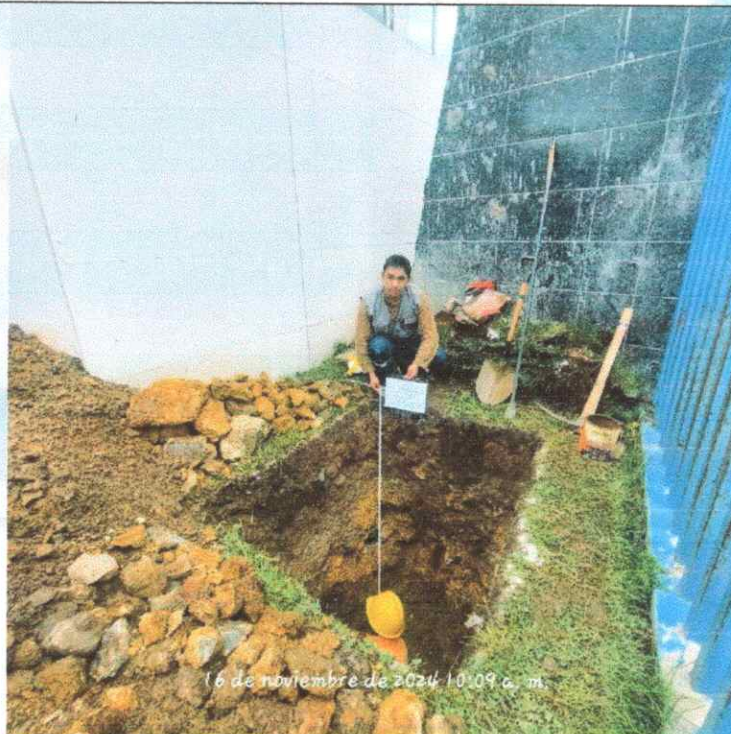


Imagen N°01: Exploración de calicata

CALICATA N°02

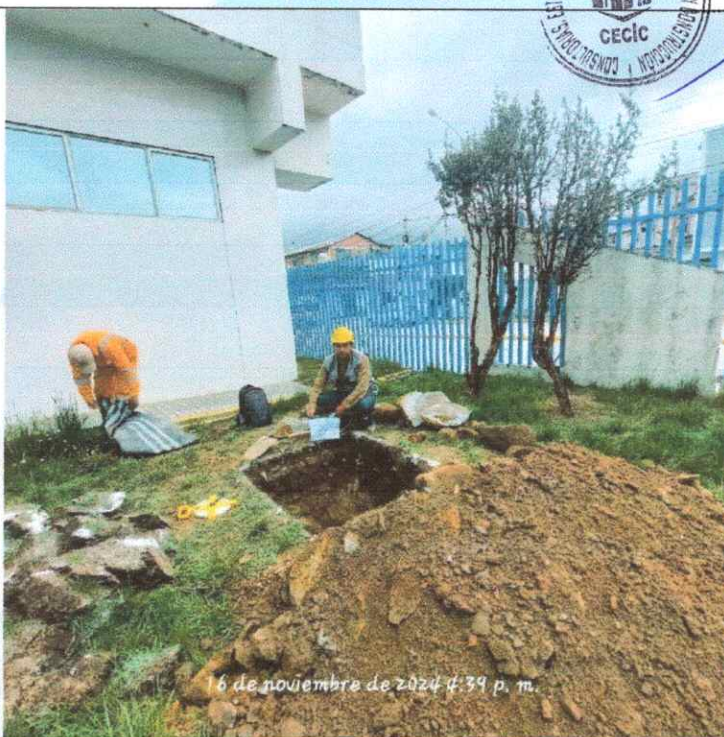


Imagen N°02: Exploración de calicata



CONSULTORIAS, ESTUDIOS Y CAPACITACIONES EN INGENIERIA Y CONSTRUCCION

Marcelo S. CARRERA HERNANDEZ
INGENIERO CIVIL - RUP 10008
LABORATORIO



CECIC Laboratorio y capacitaciones



APVU – Mz "II", lote 4. San Juan
Ref. a tres cuadras del GOREPA



990270829 / 963600813



990270829 / 963600813



Capacitaciones.cic@gmail.com

CONSULTORIAS, ESTUDIOS Y CAPACITACIONES EN INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN

OCEDA J & G CORPORATION SOCIEDAD ANONIMA CERRADA - RUC 20600166051

CALICATA N°03



Imagen N°03: Exploración de calicata

CALICATA N°03



Imagen N°03: Exploración de calicata



CECIC Laboratorio y capacitaciones



APVU – Mz “II”, lote 4. San Juan
Ref. a tres cuadras del GOREPA



990270829 / 963600813



990270829 / 963600813



Capitaciones.cic@gmail.com

ANEXO B

5. TABLA DE SELECCIÓN DE DISIPADORES: Los disipadores sísmicos SLB de cuarta generación presentan la siguiente tabla de **capacidades nominales**:

Dispositivo	K1 (KN/cm)	K2 (KN/cm)	Dy (mm)	Fy (KN)	Fmax (KN)	Kp (KN/cm)	Kr (KN/cm)
SLB4 10_5	2026.65	21.62	0.749	151.79	250	96	480
SLB4 10_6	2163.53	22.9	0.742	160.54	265.78	142	710
SLB4 15_5	2472.6	24.68	0.72	177.92	293.72	142	1420
SLB4 15_6	2761.73	26.96	0.706	195.09	320.62	143	1430
SLB4 15_7	3021.88	28.76	0.697	210.76	345.09	143	1430
SLB4 20_6	3361	33.09	0.687	230.93	381.61	158	2370
SLB4 20_7	3700.15	35.28	0.673	248.98	410.7	158	2370
SLB4 25_6	4260.81	42.53	0.654	278.74	468.98	305	4575
SLB4 25_7	4767.68	46.51	0.638	304.31	521.31	306	4590
SLB4 25_8	5238.65	50.43	0.626	327.73	552.76	307	4605
SLB4 30_7	5785.96	57.25	0.619	358.28	611.14	308	6120
SLB4 30_8	6419.52	62.36	0.608	390.28	665.17	308	6160
SLB4 30_9	6994.22	66.79	0.601	420.37	716.61	360	7200
SLB4 30_10	7535.22	70.9	0.596	449.29	764.52	362	7240
SLB4 40_7	7797.49	78.07	0.596	464.68	807.56	541	16230
SLB4 40_8	8718.88	86.41	0.588	512.48	890.2	543	16290
SLB4 40_9	9580.18	93.66	0.582	557.71	966.6	545	16350
SLB4 40_10	10439.63	101.2	0.576	601.31	1043.2	548	16440
SLB4 40_11	11253.53	109.93	0.571	643.06	1117.73	645	19350
SLB4 40_12	12033.64	115.64	0.57	685.73	1191.3	650	19500
SLB4 50_9	12289.99	120.57	0.578	709.95	1236.23	941	37640
SLB4 50_10	13421.6	130.96	0.572	768.2	1340.09	1228	49120
SLB4 50_11	14537.41	141.39	0.569	827.48	1443.52	1232	49280
SLB4 50_12	15599.37	150.54	0.567	884.08	1517.2	1238	49620
SLB4 60_5	8891.13	91.74	0.598	531.45	932.94	792	3960
SLB4 60_6	10457.28	106.25	0.586	613.19	1078.09	936	6180
SLB4 60_7	11684.45	117.43	0.582	693.62	1210.65	1237	7350
SLB4 60_12	19029.28	185.88	0.562	1065.32	1868.98	1574	78700
SLB4 65_11	19829.08	194.6	0.562	1113.76	1957.04	1597	87835
SLB4 65_12	21326.7	209.74	0.56	1194.73	2103.54	1604	88220
SLB4 65_13	22913.27	224.65	0.558	1275.15	2245.6	1613	8715
SLB4 65_14	24379.36	235.06	0.556	1356.52	2382.04	1607	88385
SLB4 65_15	25869.86	249.17	0.554	1433.77	2519.93	2091	115005
SLB4 65_16	27301.55	261.77	0.553	1513.67	2654.93	1630	116545
SLB4 65_18	28739.17	286.67	0.554	1671.12	2912.47	2119	116545
SLB4 65_20	32951.18	306.65	0.553	1822.6	3157.88	2175	119625

Matriz de Consistencia de la Investigación

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA
Problema general: ¿De qué manera la implementación de disipadores de energía Shear Link mejora la capacidad estructural del pabellón de la facultad de Derecho de la UNDAC, Pasco 2024? Problemas específicos: - ¿En qué medida la implementación de disipadores de energía tipo Shear Link incide en la variación de las derivas y los desplazamientos del pabellón de la facultad de Derecho de la UNDAC? - ¿En qué medida la implementación de disipadores de energía tipo Shear Link influye en la variación de la cortante basal del pabellón de la facultad de Derecho de la UNDAC? - ¿En qué medida la implementación de disipadores de energía tipo	Objetivo general: Describir de qué manera la implementación de disipadores de energía Shear Link mejora la capacidad estructural del pabellón de la facultad de Derecho de la UNDAC, Pasco 2024. Objetivos específicos: - Determinar la variación de las derivas y los desplazamientos del pabellón de la facultad de Derecho de la UNDAC como resultado de la implementación de disipadores de energía tipo Shear Link. - Evaluar la variación de la cortante basal del pabellón de la facultad de Derecho de la UNDAC como resultado de la implementación de disipadores de energía tipo Shear Link. - Cuantificar el incremento de la capacidad de disipación de energía sísmica del	Hipótesis general: La implementación de disipadores de energía tipo Shear Link asocia a una mejor condición de la capacidad estructural del pabellón de la Facultad de Derecho de la UNDAC, incidiendo en variaciones favorables de las derivas y desplazamientos, la cortante basal, la disipación de energía sísmica, la rigidez, el amortiguamiento equivalente y la ductilidad del sistema estructural. Hipótesis específicos: - La implementación de disipadores de energía tipo Shear Link se asocia a una disminución de las derivas máximas y de los desplazamientos laterales del pabellón de la Facultad de Derecho de la UNDAC, en comparación con la condición estructural sin disipadores, Pasco 2024. - La implementación de disipadores de energía tipo Shear Link se relaciona con una variación en la cortante basal del pabellón de la Facultad de Derecho de la UNDAC, generado por la redistribución de fuerzas sísmicas	Variable Dependiente: Capacidad estructural Variable Independiente: Implementación de Disipadores de Energía Shear Link	Tipo de investigación - De acuerdo con la finalidad de la investigación: Aplicada básica; de acuerdo con el enfoque de la investigación: cuantitativa. Nivel de investigación - Descriptivo: Describe y cuantifica el comportamiento sísmico del pabellón de la Facultad de Derecho de la UNDAC antes y después de la implementación de disipadores de energía Shear Link, a partir de componentes estructurales medibles como derivas, desplazamientos, cortante basal, rigidez, amortiguamiento equivalente, ductilidad, energía disipada y la velocidad pico de la partícula, sin intervenir físicamente la estructura ni controlar experimentalmente las

Shear Link incrementa la capacidad de disipación de energía sísmica del pabellón de la facultad de Derecho de la UNDAC? - ¿En qué medida la implementación de disipadores de energía tipo Shear Link afecta la rigidez, amortiguamiento y ductilidad del pabellón de la facultad de Derecho de la UNDAC? - ¿En qué medida la implementación de disipadores de energía tipo Shear Link influye en la velocidad pico de vibración (PPV) estimada del pabellón de la Facultad de Derecho de la UNDAC frente a vibraciones inducidas por voladuras mineras?	pabellón de la facultad de Derecho de la UNDAC como resultado de la implementación de disipadores de energía tipo Shear Link. - Analizar la afectación de la rigidez, amortiguamiento y ductilidad del pabellón de la facultad de Derecho de la UNDAC como resultado de la implementación de disipadores de energía tipo Shear Link. - Determinar la variación de la velocidad pico de vibración (PPV) estimada del pabellón de la Facultad de Derecho de la UNDAC implementando disipadores de energía tipo Shear Link frente a vibraciones inducidas por voladuras mineras.	del sistema estructural, Pasco 2024. - La implementación de disipadores de energía tipo Shear Link se asocia a un incremento de la capacidad de disipación de energía sísmica del pabellón de la Facultad de Derecho de la UNDAC, evidenciado mediante el análisis del balance energético del sistema estructural, Pasco 2024. - La implementación de disipadores de energía tipo Shear Link se relaciona con variaciones en la rigidez global, el amortiguamiento equivalente y la ductilidad estructural del pabellón de la Facultad de Derecho de la UNDAC, manteniendo los elementos principales dentro de rangos de desempeño aceptables, Pasco 2024. - La implementación de disipadores de energía tipo Shear Link reduce la velocidad pico de vibración (PPV) estimada del pabellón de la Facultad de Derecho de la UNDAC frente a vibraciones inducidas por voladuras mineras.	condiciones reales del sistema. Métodos de investigación - Descriptivo Diseño de investigación - No experimental, transversal descriptivo debido a que las variables no son manipuladas directamente en un entorno real, asimismo, en la investigación no existe control experimental, aleatorización ni grupos de control reales. Población - Edificaciones consideradas como esenciales, de acuerdo con la tabla n.º5 de la Norma Peruana E030. Diseño sismorresistente, ubicadas en el distrito de Yanacancha. Muestra - Edificio del pabellón de la facultad de Derecho de la UNDAC, ubicado en la ciudad universitaria, distrito de Yanacancha, Pasco.
---	---	---	--



Universidad Nacional
Daniel Alcides Carrión
Creada por Ley 15527
promulgada el 23 de abril de 1965
LICENCIADA

VICERRECTORADO
ACADÉMICO

DECANATO DE LA FACULTAD
DE DERECHO Y CIENCIAS
POLÍTICAS



Firmado digitalmente por
CCALLOHUANCA QUITO Miguel
Angel FAU 20154605046 soft
Cargo: Decano
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 29.04.2025 13:49:46 -05:00

"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para mujeres y hombres"
"Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana"

Yanacancha, 29 de Abril del 2025

CARTA N° 000019-2025-UNDAC/DFDCP

Señor(es)

ATENCIO MONGE CARLOS ALBERTO

AA.HH. José Carlos Mariátegui Mz.24-Lt.1CSector2- Simón Bolívar - Pasco - Pasco,PASCO-
PASCO-SIMON BOLIVAR

Presente. -

Asunto: SE REMITE RESPUESTA A LA SOLICITUD DE AUTORIZACION PARA EXTRACCION DE
TESTIGOS DE CONCRETO EN EL PABELLON DE LA FACULTAD DE DERECHO DE LA
UNDAC

Referencia: PROVEIDO 001790-2025-UNDAC/R (28ABR2025)

De mi consideración.

Es grato dirigirme a usted para saludarlo cordialmente, mediante la presente y en atención a la
su petición se comunica que lo solicitado no es procedente en razón de que se puede dañar nuestra
infraestructura.

Hago propicia la oportunidad para expresarle mi especial consideración y estima personal.

Atentamente,

Documento Firmado Digitalmente
MIGUEL ANGEL CCALLOHUANCA QUITO
Decano
DECANATO DE LA FACULTAD DE DERECHO Y
CIENCIAS POLÍTICAS

MCQ/aaq

cc.:

Se adjunta:

✓

Edificio Estatal N° 4, Parque Universitario,
Yanacancha - San Juan Pampa.
Portal Institucional: <https://undac.edu.pe>
Gov.pe: <https://www.gob.pe/undac>
Mesa de Partes Virtual:
<https://digital.undac.edu.pe/mpv/inicio.do>

Esta es una copia auténtica imprimible de un documento digital archivado en la
Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, aplicando lo dispuesto por el Art. 25
de D.S. 070-2013-PCM y la Tercera Disposición Complementaria Final del D.S.
026-2016-PCM. Su autenticidad e integridad pueden ser contrastadas a través de
la siguiente dirección web: <https://digital.undac.edu.pe/verifica/inicio.do> e
ingresando la siguiente clave: **DYWJLPJ**



Universidad Nacional
Daniel Alcides Carrión
Creada por Ley 15527
promulgada el 23 de abril de 1965
LICENCIADA

VICERRECTORADO
ACADÉMICO

DECANATO DE LA FACULTAD
DE DERECHO Y CIENCIAS
POLÍTICAS



Firmado digitalmente por
CCALLOHUÁNCA QUITO Miguel
Angel FAU 20154605046 soft
Cargo: Decano
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 29.04.2025 13:50:44 -05:00

"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para mujeres y hombres"
"Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana"

Yanacancha, 29 de Abril del 2025

CARTA N° 000020-2025-UNDAC/DFDCP

Señor(es)

ATENCIO MONGE CARLOS ALBERTO

AA.HH. José Carlos Mariátegui Mz.24-Lt.1CSector2- Simón Bolívar - Pasco - Pasco,PASCO-
PASCO-SIMON BOLIVAR

Presente. -

Asunto: SE REMITE RESPUESTA A LO SOLICITADO SOBRE LA AUTORIZACION PARA LA
EJECUCION DEL ENSAYO DE ESCLEROMETRIA EN EL PABELLON DE LA FACULTAD
DE DERECHO DE LA UNDAC

Referencia: PROVEIDO 001789-2025-UNDAC/R (28ABR2025)

De mi consideración.

Es grato dirigirme a usted para saludarlo cordialmente, mediante la presente y en atención a la
su petición se comunica que lo solicitado no es procedente en razón de que se puede dañar nuestra
infraestructura.

Hago propicia la oportunidad para expresarle mi especial consideración y estima personal.

Atentamente,

Documento Firmado Digitalmente

MIGUEL ANGEL CCALLOHUÁNCA QUITO

Decano

DECANATO DE LA FACULTAD DE DERECHO Y
CIENCIAS POLÍTICAS

MCQ/aaq

cc.:

Se adjunta:

✓

Edificio Estatal N° 4, Parque Universitario,
Yanacancha - San Juan Pampa.
Portal Institucional: <https://undac.edu.pe>
Gov.pe: <https://www.gob.pe/undac>
Mesa de Partes Virtual:
<https://digital.undac.edu.pe/mpv/inicio.do>

Esta es una copia auténtica imprimible de un documento digital archivado en la
Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, aplicando lo dispuesto por el Art. 25
de D.S. 070-2013-PCM y la Tercera Disposición Complementaria Final del D.S.
026-2016-PCM. Su autenticidad e integridad pueden ser contrastadas a través de
la siguiente dirección web: <https://digital.undac.edu.pe/verifica/inicio.do> e
ingresando la siguiente clave: **VHISESF**

