



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Mejora en la Respuesta Sísmica de una Estructura Autoconstruida mediante la
Aplicación de Disipadores de Energía Metálicos en el Distrito de Villa el Salvador,
2019

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniera Civil

AUTORA:

Ccayahuallpa Ramirez, Llerly Elizabeth (ORCID: 0000-0002-4001-5544)

ASESOR:

Mg. Tacza Zevallos, John Nelinho (ORCID 0000-0002-1763-9375)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Diseño Sísmico y Estructural

LIMA – PERÚ

2019

Dedicatoria

Dedico esta investigación a mis padres Alfredo Ccayahuallpa Huillca y Elizabeth Gloria Ramírez Astuhuaman por brindarme su apoyo incondicional.

A mis abuelos y tíos por alentarme en el transcurso de mi carrera universitaria.

Agradecimiento

Agradezco a Dios por guiarme en mi camino para cumplir mis objetivos, por bendecirme con la hermosa familia que tengo.

A mis padres por no abandonarme en esta lucha diaria de ser un profesional.

A mi asesor de tesis Mg. Ing. John Nelinho Tacza Zevallos, por brindarme su apoyo, experiencia y sugerencias para realizar mi tesis.

Página del Jurado

Declaratoria de autenticidad

Yo, Ccayahualpa Ramírez Llerly Elizabeth, con DNI N° 70090496, a efecto de cumplir con las disposiciones vigentes consideradas en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería Civil, declaro bajo juramento que toda la documentación que acompaño es veraz y auténtica.

Así mismo, declaro bajo juramento que los datos e información que se presenta en la tesis son auténticos y veraces.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión, tanto de los documentos como de la información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas de la Universidad César Vallejo.

Lima, 02 julio del 2019

Ccayahualpa Ramírez Llerly Elizabeth
DNI: 70090496

Presentación

Señores miembros del jurado:

En cumplimiento del Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Cesar Vallejo, se presenta ante ustedes la tesis titulada: "Mejora en la Respuesta Sísmica de una Estructura Autoconstruida mediante la Aplicación de Disipadores de Energía Metálicos en el Distrito de Villa el Salvador, 2019", con la finalidad de obtener el título profesional de Ingeniería Civil.

Agradezco por los aportes y sugerencias brindadas al largo del desarrollo del presente estudio y de esta manera realizar una investigación más eficiente. El trabajo mencionado determina mejora de la respuesta sísmica de una estructura autoconstruida mediante la aplicación de disipadores de energía metálicos.



Llerly Elizabeth Ccayahuallpa Ramírez
DNI: 70090496

Índice

Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento.....	iii
Página del Jurado.....	iv
Declaratoria de autenticidad	v
Presentación.....	vi
Índice.....	vii
Índice de figuras	viii
Índice de tablas	xii
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT	xiv
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MÉTODO	16
2.1. Diseño de la investigación.....	16
2.2. Variables.....	17
2.3. Operacionalización de las variables	18
2.4. Población y muestra	18
2.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	20
2.6. Métodos y análisis de Datos	22
2.7. Aspectos éticos	22
III. RESULTADOS	23
IV. DISCUSIÓN.....	65
V. CONCLUSIONES.....	67
VI. RECOMENDACIONES	68
VII. REFERENCIAS.....	69
VIII. ANEXOS	74
Anexo 1: Matriz de consistencia	74
Anexo 2: Panel fotográfico.....	75
Anexo 3: Informe de la microzonificación del distrito de Villa el Salvador.....	77
Anexo 4: Ensayo de testigos diamantinos	78
Anexo 5: Planos estructurales	79
Anexo 6: Hoja de cálculo	87

Índice de figuras

Figura 1. Configuración típica de un disipador SLB en arreglo Chevron.....	3
Figura 2. Detalle de la instalación de un disipador metálico SLB, en la torre Ixtapa (México).	3
Figura 3. Disipador metálico colocado en arreglo Chevron en el hotel Ceibo Dorado, después de la ocurrencia del sismo de Ecuador del 2016.	4
Figura 4. Disipador de energía rotacional basado en la fricción de metales.	5
Figura 5. Disposición de los disipadores rotacionales de fricción.	5
Figura 6. Disipadores de energía metálicos de múltiples hojas.....	6
Figura 7. Comportamiento cíclico y monotónico de disipadores metálicos de varias ventanas.	6
Figura 8. Disipadores metálicos instalados en pórticos de acero estructural.	7
Figura 9. Mapa de zonificación sísmica del Perú.....	8
Figura 10. Enfoque del diseño tradicional basado en el daño estructural.	9
Figura 11. Distribución de la energía sísmica en un edificio 10	10
Figura 12. Distribución de la energía sísmica en un edificio con disipadores.	10
Figura 13. Geometría de los disipadores metálicos. a) Viga a torsión b) Viga a Flexión c) Placas en U	12
Figura 14. Aplicación clásica con diagonales metálicos.	13
Figura 15. Aplicación mediante muros desacoplados.	13
Figura 16. Edificación de cinco de niveles de pórticos de concreto armado, ubicada en Villa El Salvador.	19
Figura 17. Imagen exterior del edificio de pórticos de 4 pisos en Villa el Salvador.....	23
Figura 18. Ubicación espacial de la estructura elegida para el estudio.	24
Figura 19. Plano de Ubicación del edificio en Villa el Salvador.	24
Figura 20. Imagen interior del segundo piso del edificio.	26
Figura 21. Imagen interior del tercer piso del edificio.	26
Figura 22. Ubicación de puntos y extracción de muestra de columnas para el ensayo de Diamantina.	27
Figura 23. Imagen de una muestra de concreto para el ensayo de Diamantina.....	27
Figura 24. Mapa de peligro sísmico del Perú.	29
Figura 25. Plano de microzonificación sísmica del distrito de Villa el Salvador.....	30
Figura 26. Definición de las propiedades del concreto $f'_c=175 \text{ kg/cm}^2$	31

Figura 27. Secciones transversales típica de columnas.	32
Figura 28. Sección transversal típica de viga peraltada.....	32
Figura 29. Vista en planta del primer encofrado de la estructura.....	33
Figura 30. Vista tridimensional del edificio analizado.....	33
Figura 31. Cargas muertas y vivas aplicadas en la azotea de la estructura.	34
Figura 32. Primera (1.1 s) y segunda (0.34 s) formas de modo de la estructura analizada. 35	
Figura 33. Tercera (0.30 s) y cuarta (0.20 s) formas de modo de la estructura analizada... 35	
Figura 34. Espectro de aceleraciones característico de la edificación analizada y del lugar de emplazamiento.....	36
Figura 35. Espectro de desplazamientos característico de la edificación analizada y del lugar de emplazamiento.	37
Figura 36. Máximos desplazamientos de los centros de masas de entrepiso debidos a los sismos X e Y.....	38
Figura 37. Máximos desplazamientos entrepiso debidos a los sismos X e Y.	39
Figura 38. Máximas distorsiones de entrepiso debidos a los sismos X e Y.....	39
Figura 39. Máximas fuerzas cortantes debido al sismo en dirección X e Y.....	40
Figura 40. Secciones transversales típicas de columnas y vigas presentes en la estructura.43	
Figura 41. Modelamiento de la columna típica y diagrama momento curvatura.	43
Figura 42. Modelamiento de viga peraltada y diagrama momento curvatura.	43
Figura 43. Modelamiento de viga chata y diagrama momento curvatura.	44
Figura 44. Generación de las rotulas plásticas asociadas a las columnas típicas.	44
Figura 45. Generación de las rotulas plásticas asociadas a las vigas peraltadas típicas.....	45
Figura 46. Generación de las rotulas plásticas asociadas a las vigas chatas.	45
Figura 47. Curva de capacidad característica de la estructura analizada.....	46
Figura 48. Determinación de las zonas de desempeño de la estructura analizada.	46
Figura 49. Determinación del punto de desempeño de la estructura existente.....	47
Figura 50. Registro de aceleración del sismo de 1974, componente EW.	47
Figura 51. Registro de aceleración del sismo de 1974, componente NS.....	48
Figura 52. Espectro de aceleraciones del sismo de 1974, componentes EW y NS.	48
Figura 53. Registro de aceleración del sismo de Arequipa, componente EW.....	48
Figura 54. Registro de aceleración del sismo de Arequipa, componente NS.....	49
Figura 55. Espectro de aceleraciones del sismo de Arequipa, componentes EW y NS.	49
Figura 56. Registro de aceleración del sismo de ICA del 2007, componente EW.....	49

Figura 57. Registro de aceleración del sismo de ICA del 2007, componente NS.....	50
Figura 58. Espectros de aceleración de las componentes NS, EW, del sismo de Ica del 2007.	50
Figura 59. Curva de probabilidad anual de excedencia de aceleración del suelo en la zona de interés.	51
Figura 60. Espectros de Peligro uniforme para la zona de estudio y con tiempo de retorno de $T_r=475$ años, $T_r=1000$ años y $T_r=2475$ años.	51
Figura 61. Relación de magnitud de aceleración entre el espectro de la norma E.030 del 2003, E.030 del 2016 y registros sísmicos naturales.	52
Figura 62. Escalamiento del registro sísmico de Arequipa 2001, mediante el método SRSS.	53
Figura 63. Escalamiento del registro sísmico de Pisco 2007, mediante el método SRSS...	53
Figura 64. Escalamiento del registro sísmico de 1974, mediante el método SRSS.	54
Figura 65. Modelo tridimensional de la estructura reforzada con disipadores metálicos. ..	55
Figura 66. Sección transversal de la columna típica.	55
Figura 67. Sección transversal de los arriostres metálicos.	56
Figura 68. Sección transversal de los disipadores metálicos.	56
Figura 69. Distribución de fuerzas cortantes en los elementos estructurales E1y.....	57
Figura 70. Distribución de fuerzas cortantes en dirección E5y.....	58
Figura 71. Distribución de fuerzas cortantes en el eje E8y.	58
Figura 72. Distribución de fuerzas cortantes en el eje E2x	59
Figura 73. Distribución de fuerzas cortantes en el eje E4x.	59
Figura 74. Primera ($T_1=0.286$ s) y segunda ($T_2=0.256$ s) formas de modo de la estructura analizada.	61
Figura 75. Tercera ($T_3=0.151$ s) y cuarta ($T_4=0.104$ s) formas de modo de la estructura analizada.	61
Figura 76. Quinta ($T_5=0.101$ s) y sexta ($T_6=0.100$ s) formas de modo de la estructura analizada.	62
Figura 77. Máximos desplazamientos laterales debidos al sismo X.	62
Figura 78. Máximos desplazamientos laterales en dirección Y.	63
Figura 79. Máximas distorsiones laterales debidas al sismo en X.	63
Figura 80. Máximas distorsiones laterales debidas al sismo en X.	63
Figura 81. Máximas fuerzas cortantes de entrepiso debido al sismo en X.....	64

Figura 82. Máximas fuerzas cortantes de entrepiso debido al sismo en Y.....	64
Figura 83. Gimnasio - Localización	75
Figura 84. Vigas del Segundo Piso y Último Piso	75
Figura 85. Identificación de columnas	75
Figura 86. Distancia entre columnas del 3er piso.....	76
Figura 87. Mediciones	76

Índice de tablas

Tabla 1. Operacionalización de las variables	18
Tabla 2. Resultados del ensayo de resistencia a la compresión uniaxial en testigos diamantinos.....	27
Tabla 3. Parámetros sísmicos	31
Tabla 4. Máximos desplazamientos laterales del centro de masas debido al sismo en X e Y.	38
Tabla 5. Máximas distorsiones laterales debidas a los sismos en direcciones X e Y.....	40
Tabla 6. Determinación de los desplazamientos relativos de los centros de masa de cada nivel.	41
Tabla 7. Determinación de las rigideces de entrepiso, en direcciones x e y.	41
Tabla 8. Evaluación de la irregularidad de rigidez, de acuerdo con la norma E030 (2018).	41
Tabla 9. Evaluación de irregularidades de masa.	42
Tabla 10. Evaluación de irregularidad torsional.....	42
Tabla 11. Características geométricas y mecánicas de dispositivos metálicos.	60

RESUMEN

La búsqueda de nuevos métodos que permitan mitigar el impacto de un sismo en una estructura deficiente dentro de la ingeniería estructural y sísmica. En especial en uno de los países con mayor peligro sísmico del mundo, como es el Perú. Al mismo tiempo uno de los países con mayores fallas en la construcción de viviendas, tal como ha revelado CAPECO y SENCICO.

En este sentido se evalúa la factibilidad técnica de los disipadores de energía metálicos, como un medio para lograr una mejora en la respuesta sísmica de una estructura autoconstruida. El diseño fue experimental, pues se ha realizado el estudio de una estructura en dos casos, siendo el primer caso, el estudio de la estructura en su estado actual, mientras que el segundo caso es la evaluación de la estructura reforzada con disipadores de energía sísmica. Los estudios analíticos fueron llevados a cabo usando el ETABS, software de análisis no lineal.

La estructura examinada es deficiente en muchos aspectos, siendo algunos de los más importantes la falta de rigidez lateral. Además, se puede decir que la aplicación de los dispositivos de disipación ha logrado mejorar de manera sustancial la respuesta sísmica, ayudando en todos los casos a liberar de responsabilidad sísmica a las columnas y vigas.

Palabras claves: Respuesta sísmica, deficiencia estructural, características mecánicas.

ABSTRACT

The search for new methods that mitigate the impact of an earthquake on a deficient structure within structural and seismic engineering. Especially in one of the countries with the greatest seismic danger in the world, such as Peru. At the same time one of the countries with major failures in the construction of houses, as revealed by CAPECO and SENCICO.

In this sense, the technical feasibility of metallic energy sinks is evaluated to achieve an improvement in the seismic response of a self-constructed structure. The design was experimental, since the study of a structure has been carried out in two cases, the first case being the study of the structure in its current state, while the second case is the evaluation of the structure reinforced with seismic energy dissipators. Analytical studies were carried out using the ETABS, nonlinear analysis software.

The structure examined is deficient in many aspects, with some of the most important being the lack of lateral stiffness. In addition, it can be said that the application of the dissipation devices has been able to substantially improve the seismic response, helping in all cases to release seismic responsibility to the columns and beams.

Keywords: Seismic response, structural deficiency, mechanical characteristics.

I. INTRODUCCIÓN

Realidad problemática.

El Perú está ubicado en el área sísmica denominada como “Cinturón de fuego del pacífico”. Esta zona presenta la interacción de placas más extensa del mundo. La placa de Nazca se introduce debajo de la placa sudamericana a una razón de 2 cm por año. Esta interacción conlleva acumulación de energía potencial, la que puede ser liberada de manera aleatoria en determinados lugares y momentos.

La repentina salida de energía reservada en ciertas regiones de la corteza terrestre conlleva a la generación y propagación de ondas mecánicas. Dichas ondas se desplazan a través del medio hasta alcanzar la superficie terrestre con cierta cantidad de energía final. La energía es medida a menudo de forma indirecta en términos de aceleración lateral del terreno. Son estas aceleraciones las que interaccionan directamente con las estructuras construidas por el hombre, esta acción ocasiona desastres para las estructuras presentes en el lugar. Las experiencias ocurridas en el extranjero y en el país, son muestra de la magnitud de daño que puede ocasionar estos fenómenos.

Numerosas experiencias, tanto nacionales como internacionales, revelan que a menudo las estructuras construidas no son adecuadas a la hora de interactuar con los niveles de aceleración inducidos por un sismo. Por ejemplo, en el sismo de Spitak-Armenia en el año 1988, considerado por el profesor Vitelmo Vertero, como uno de los sismos de mayor repercusión de la historia de la humanidad. De acuerdo con fuentes oficiales, en términos materiales, este sismo provocó la pérdida de 416 establecimientos de salud, 391 bibliotecas, 349 entidades culturales y 230 industrias. En el caso peruano, los sismos de mayor intensidad y más recientes fueron los sismos de Arequipa en el 2001 y Pisco en el 2007. Estos sismos dejaron 17500 viviendas destruidas, por lo que se observa que hasta la actualidad muchas construcciones en el país son susceptibles de daños severos ante la acción de un eventual sismo.

Es importante recordar que de acuerdo con los datos del instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), el 70%, de las viviendas construidas en Lima son informales y no cuentan con planos, ni con la supervisión de un profesional calificado durante la construcción. Este tipo de viviendas tienen una probabilidad de colapso muy elevada ante un evento sísmico. Prueba de ello es lo sucedido en los terremotos de Arequipa y Pisco.

De acuerdo con estos datos, se observa que en la actualidad el problema de las edificaciones vulnerables por efecto de los sismos es aún un problema abierto, por lo que este trabajo de investigación se propone el uso de técnicas que permitan la mitigación de la vulnerabilidad sísmica de estructuras. Una revisión de la literatura técnica disponible en bases de datos científicas nos permite encontrar una serie de alternativas, llamadas en la actualidad sistemas de protección sísmica, donde se encuentran disponibles los conocidos aisladores y disipadores sísmicos; sin embargo, pese al éxito alcanzado por estos métodos, continúan siendo alternativas costosas y por tanto de aplicación muy limitada. Centra su dedicación en la reducción de la vulnerabilidad de viviendas por el uso de disipadores de energía metálicos. Eligiéndose estos dispositivos porque en investigaciones previas, como las de Bozzo et. al (2010), han mostrado tener un comportamiento cíclico estable, a la vez que sus costos son de alrededor de un 5% de los costos de soluciones más tradicionales como los disipadores de fluido viscoso.

Trabajos Previos

En los últimos 40 años y con mayor progreso en los últimos 20, se ha venido estudiando los sistemas de protección con resultados bastante prometedores para la mitigación de la vulnerabilidad sísmica. Es así como muchos investigadores de diferentes nacionalidades han presentado diversos estudios experimentales sobre disipadores y amortiguadores que funcionan bastante bien en edificaciones diseñadas con pórticos de concreto armado y estructuras metálicas. Aquí presentamos algunos estudios:

Trabajos Previos Nacionales

Para Carpio (2017, p. 134) en su estudio titulado: “Análisis Comparativo de una Edificación Aporticada con y sin Aislación Sísmica Mediante El Método Estático No Lineal-Caso Hospital Pichanaqui, Junín 2017”. Tuvo el objetivo de realizar una prueba sísmica en edificaciones a porticadas implementando aislación sísmica por el método estático no lineal, en la que enseñó la capacidad de aislación y la disipación de energía tuvieron un resultado positivo por lo que llegó a un gran desempeño sísmico.

Huapaya (2011, p.122) en el estudio: “Evaluación de los indicadores de comportamiento sísmico de edificios con sistema aporticado a través del método estático no lineal”, tiene el objetivo de ver el desempeño de la edificación ya que pretende una prueba estática no lineal para dar a conocer la resistencia y ductilidad de la estructura aporticado de

concreto armado. En la cual llega a la conclusión que el indicador de sobre resistencia es único de la estructura ya que si mejora el valor mejora así mismo la ductilidad, por la disminución por la razón de una ecuación polinómica.

Hernández (2016) En el estudio titulado: “Comportamiento sísmico de edificios aislados en la base en distintas etapas del proceso constructivo”, en la ciudad de Lima, el objetivo es analizar el comportamiento sísmico en las edificaciones con bases aisladas, en la cual se determinó cual es la mayor influencia en el desempeño. También cual es el análisis modal espectral a los edificios completos y bajo construcción. Se observó que los edificios aislados en la base están protegidos en su construcción. Se concluyó que la mejora es considerable cerca o más del 20%.

En el año 2018, cuatro investigadores italianos y un peruano (Ing. Luis Miguel Bozzo) publicaron un estudio denominado “*Caracterización experimental y analítica de eslabones de corte de acero para la disipación sísmica*”. quien desarrollo una serie de dispositivos metálicos basados en la fluencia de los metales.

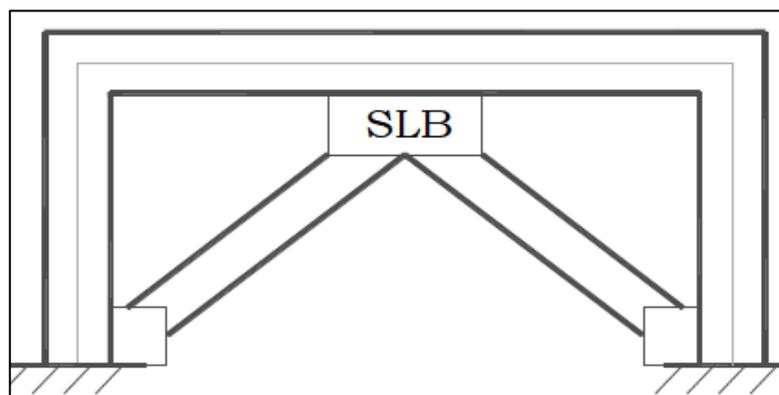


Figura 1. Configuración típica de un disipador SLB en arreglo Chevron.
Fuente: Bozzo (2018)



Figura 2. Detalle de la instalación de un disipador metálico SLB, en la torre Ixtapa (México).
Fuente: Bozzo (2018)

Los dispositivos de Bozzo son piezas de metal, con forma rectangular, que se colocan en las estructuras de tal forma que queden sometidos a esfuerzos de corte puro. Tales dispositivos tienen la función de fluir ante determinados niveles de carga lateral, con lo que es posible disipar grandes cantidades de energía en cada ciclo de histéresis.



*Figura 3. Disipador metálico colocado en arreglo Chevron en el hotel Ceibo Dorado, después de la ocurrencia del sismo de Ecuador del 2016.
Fuente: Bozzo (2018)*

Las disposiciones más usuales para la colocación de este tipo de dispositivos incluyen la forma Chevron, mediante perfiles de acero, como los mostrados en las Figura 2 y Figura 3. Tal disposición deja al dispositivo en un estado de corte puro, al mismo estilo de lo que pasas en un pórtico de acero con arriostramiento concéntrico. Entonces, las capacidades de disipación de energía de esta pieza metálica consisten su capacidad de fluir antes de se produzca algún tipo de falla indeseable como el pandeo local o global.

Trabajos Previos Internacionales

(Muad MULLA, 2014) realizaron una serie de investigaciones acerca del performance técnico y económico de un dispositivo de disipación de energía metálico, tal investigación fue titulada “Investigación experimental y numérica de amortiguadores de fricción rotacional con unidades múltiples en marcos de acero sujetos a excitación lateral”.

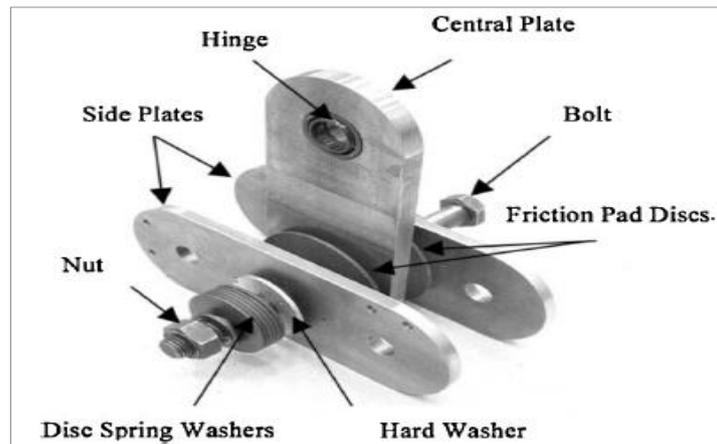


Figura 4. Disipador de energía rotacional basado en la fricción de metales.
Fuente: Muad Mualla (2014).

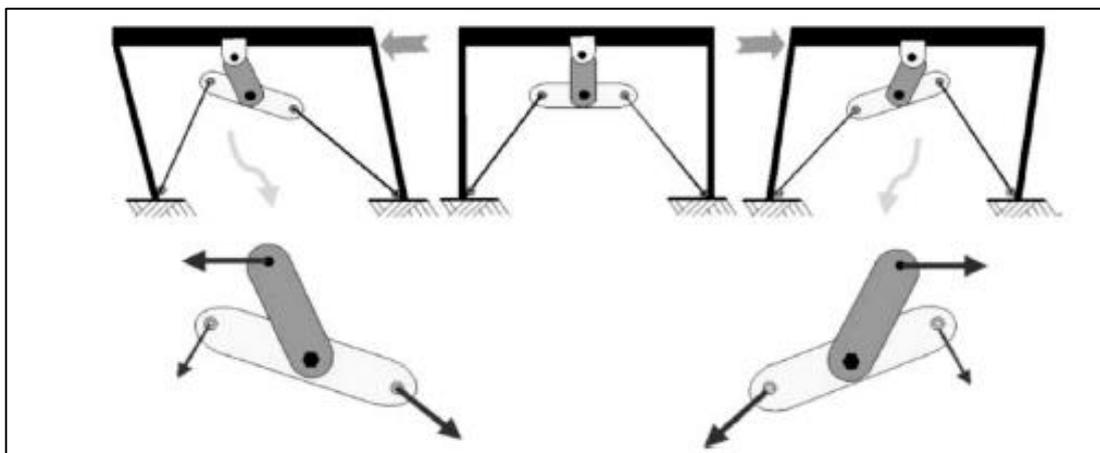


Figura 5. Disposición de los disipadores rotacionales de fricción.
Fuente: Muad Mualla (2014).

Los disipadores de energía presentados por Muad Mualla son disipadores metálicos que basan su funcionamiento en la fricción de sus superficies. Además, se puede decir que se tratan de disipadores metálicos rotacionales. Estos dispositivos se utilizan tanto en el diseño de nuevos edificios como en el reforzamiento estructural de edificios ya construidos.

Chang-Hwan et al. (2016), propusieron modificaciones a un disipador de energía metálico basado en la fluencia de metales. La investigación se tituló “*Amortiguador de tira en forma de reloj de arena (HSD) sometido a cargas monótonas y cíclicas*”. En este estudio se propuso un amortiguador con tiras no uniformes para mejorar el amortiguador de ranura convencional.

A diferencia de los típicos disipadores metálicos basados en una única placa de metal, este disipador basa su funcionamiento en una serie de cuerpos metálicos que forman una especie de tiras, se observa en la figura a continuación.

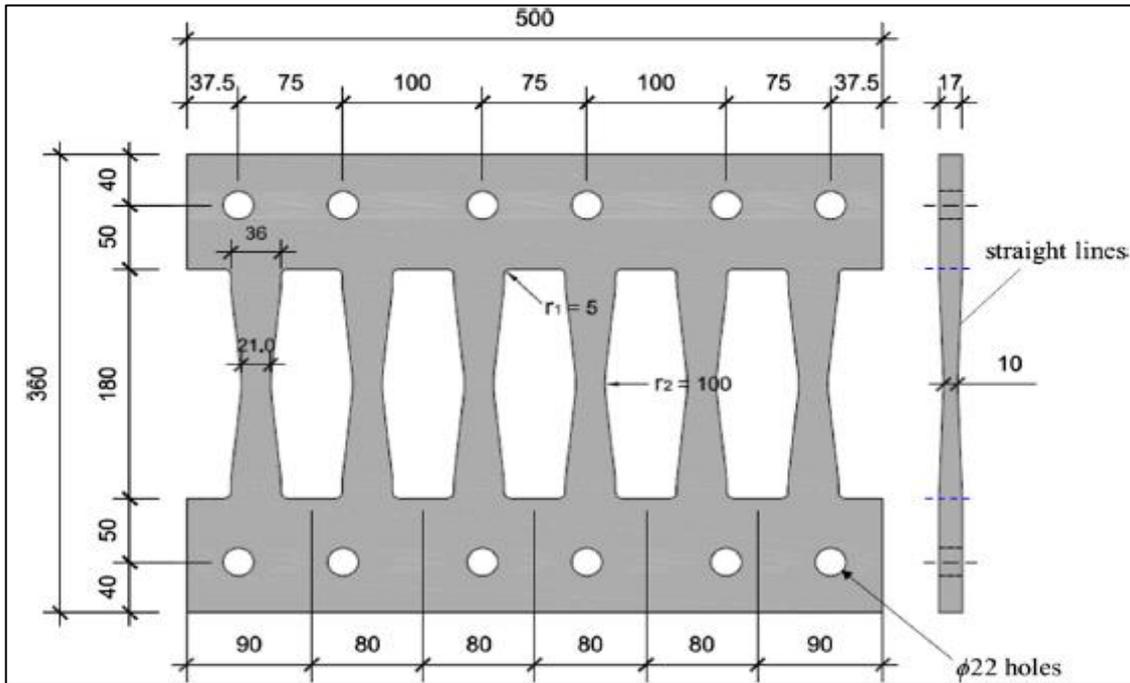


Figura 6. Disipadores de energía metálicos de múltiples hojas.
Fuente: Chang Wang et. al (2016).

Al igual que los clásicos disipadores metálicos, esta basa su funcionamiento la fluencia de metales, por lo que, una vez ocurrido el evento sísmico, es de esperarse que este dispositivo quede severamente dañado y deba reemplazarse. Un dispositivo disipador metálico se observa en la figura. Como se puede ver, su funcionamiento se basa en el daño del alma, formada por una serie de tiras metálicas.

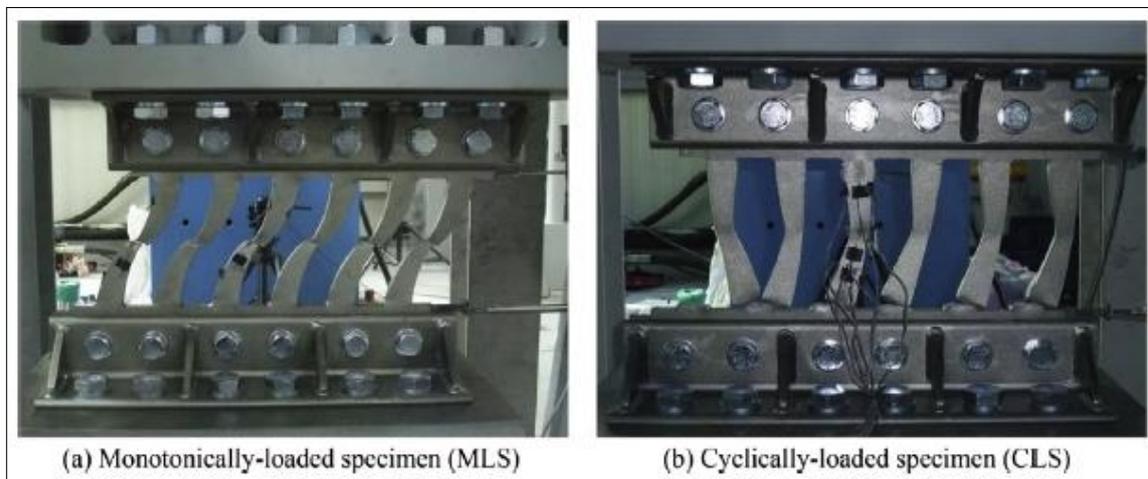


Figura 7. Comportamiento cíclico y monótonico de disipadores metálicos de varias ventanas.
Fuente: Chang Wang et. al (2016).

Hsieh-Lung y Hendra (2017), realizaron el estudio de sistemas de disipación innovadores, orientadas especialmente a estructuras de acero flexibles, tales como pórticos de acero. Tal investigación se publicó con el nombre de “Mejora del rendimiento sísmico de estructuras enmarcadas en amortiguadores curvos de acero”.

El método implementado por Hsu y sus colegas consistió en un rigidizar una estructura de pórticos de acero mediante un dispositivo metálico curvo, tal dispositivo va colocado entre las vigas y columnas que tiene la figura 8. Este dispositivo tiene la función de enfrentar la rigidez de la estructura de manera notable, sin necesidad de obstruir los vanos de la estructura. Tal característica la hace sumamente eficiente al ser comparadas con otras alternativas tales como disipadores de fluido viscoso que requieren de grandes extensiones para su instalación, y que por tanto provocan un perjuicio arquitectónico.

Una segunda función de gran importancia es que cuando las fuerzas sísmicas actúen, gran parte de las fuerzas cortantes serán absorbidas por estos dispositivos, logrando que mucha de la energía sísmica ingresada al sistema se pierda en forma de calor, y así el sistema resistente a las cargas de gravedad, vigas y columnas, puede mantenerse intacta después de la ocurrencia de un sismo de gran magnitud.

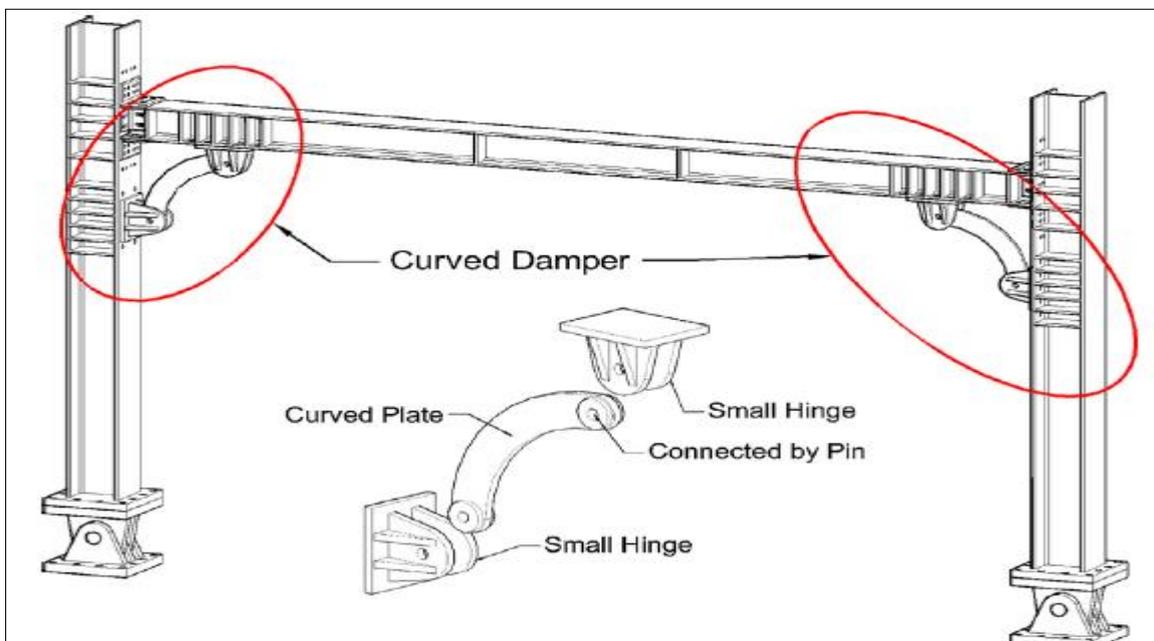


Figura 8. Disipadores metálicos instalados en pórticos de acero estructural.
Fuente: Hsieh-Lung y Hendra (2017)

La forma circular del dispositivo permite que la disipación ocurra por medio de un mecanismo que hace fuerza y compresión al mismo tiempo, en buena cuenta, se inducen

grandes esfuerzos de flexión en la pieza y esto permite que se disipe grandes cantidades de energía.

Teorías relacionadas al tema

Peligro y microzonificación sísmicos

De acuerdo con información de investigaciones científicas, el Perú forma parte de los países que están en el “Cinturón de fuego del Pacífico” tiene el 75% de volcanes activos e inactivos del planeta, pues es una zona extensa de subducción, la más grande de todo el mundo. Históricamente, han ocurrido aproximadamente el 80% de los terremotos de gran magnitud y han ocasionado daños y pérdidas personales como materiales. Por ello, en ingeniería, se viene estudiando y trabajando en la prevención y reducción de daños y pérdidas como consecuencia de los sismos.

También es la probabilidad de sismos en un área en un tiempo determinado. Según la Norma Técnica E.030 el Diseño Sismorresistente del Perú tiene cuatro zonas sísmicas.

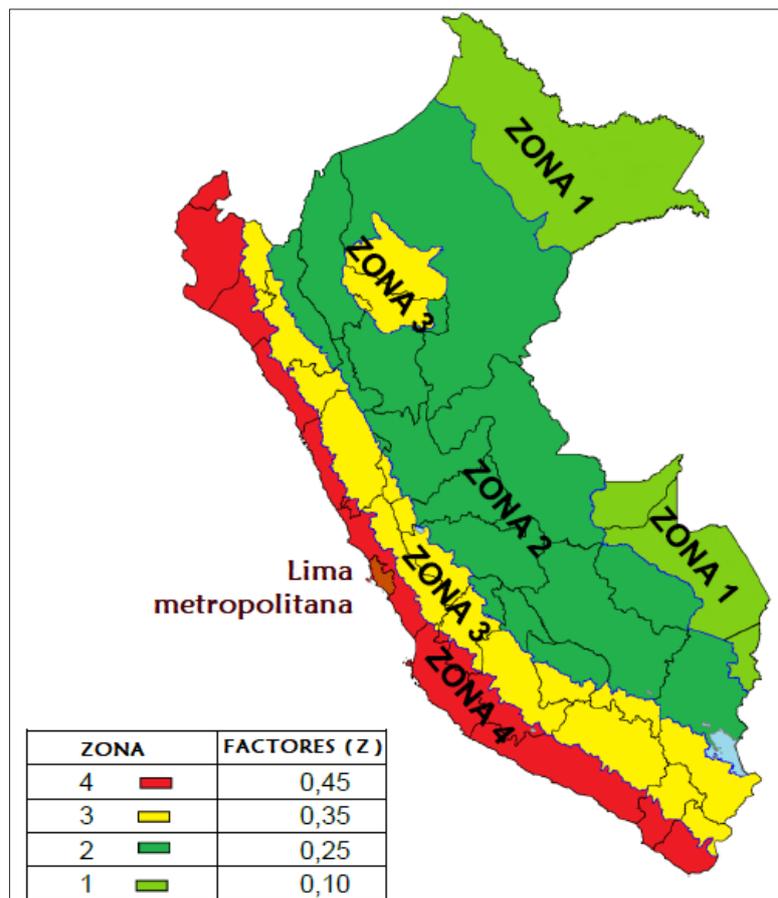


Figura 9. Mapa de zonificación sísmica del Perú
Fuente: Norma peruana de diseño sísmico (E030).

En Lima Metropolitana en su totalidad se encuentra en la Zona 4 (color rojo), en consecuencia, Villa el Salvador también. El factor de zona es $Z = 0.45$, el cual se expresa con una probabilidad del 10% si se pasa más de 50 años (E.030).

Estudios del Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI 2016), afirman que una de las zonas de mayor peligro es la costa central del Perú, que abarca las regiones de Ica, Lima y Ancash. Estos estudios advierten que de liberarse la energía sísmica que se viene acumulando desde el año 1746, podría desencadenar un gran terremoto de grado 8.5 a 8.8Mw (magnitud de momento). Asimismo, de acuerdo con la metodología basada en cálculos estadísticos y utilizando un catálogo sísmico homogéneo propuestos por Wiemer y Zúñiga en 1994, y posteriormente Condori y Tavera en 2012, afirman que existe una probabilidad mayor de 70% de ocurrir un sismo en los próximos 75 años.

Enfoque de diseño tradicional

Hasta ahora el diseño de estructuras acepta que durante la acción de un sismo de gran magnitud los elementos verticales serán dañados de manera segura, por lo que se puede decir que el enfoque de diseño tradicional estaba basado en el daño del sistema estructural.

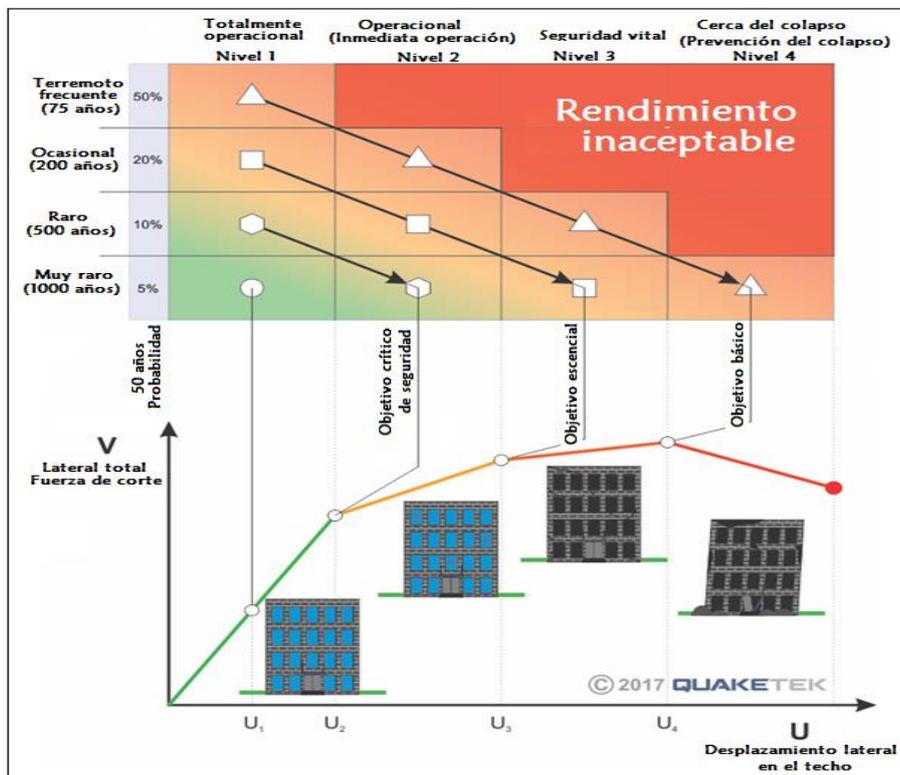


Figura 10. Enfoque del diseño tradicional basado en el daño estructural.
Fuente: Quaketek, 2017.

Enfoque de diseño alternativo

El enfoque de diseño alternativo busca que el daño no se centre en los elementos estructurales que además deben resistir el peso de los pisos, sino que el daño por consecuencia de un sismo se centre en ciertos elementos colocados estratégicamente.

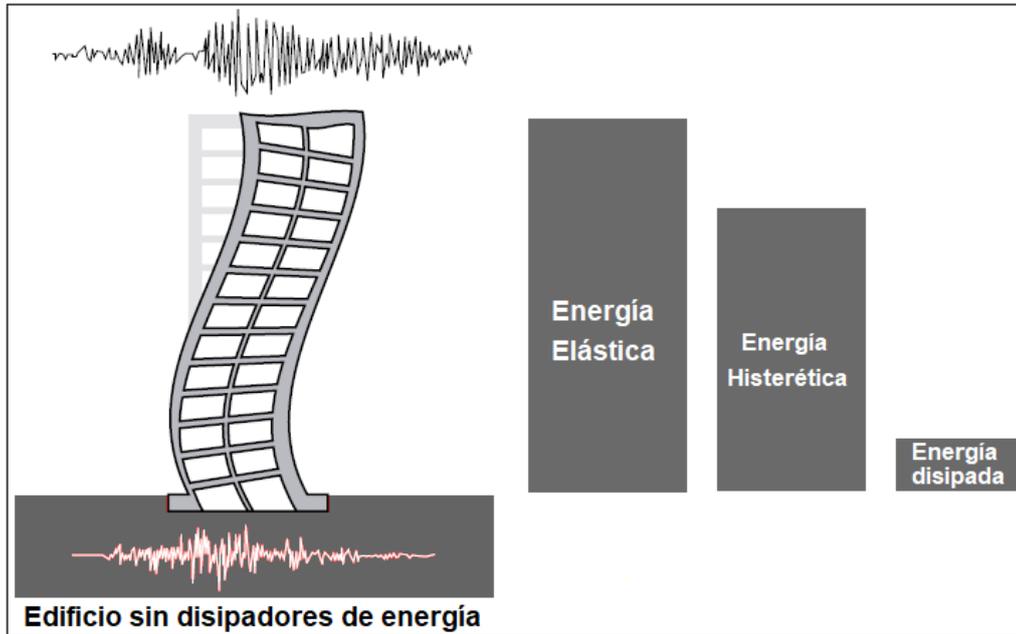


Figura 11. Distribución de la energía sísmica en un edificio
Fuente: Adaptado de Luis Bozzo Estructuras y proyectos (2018)

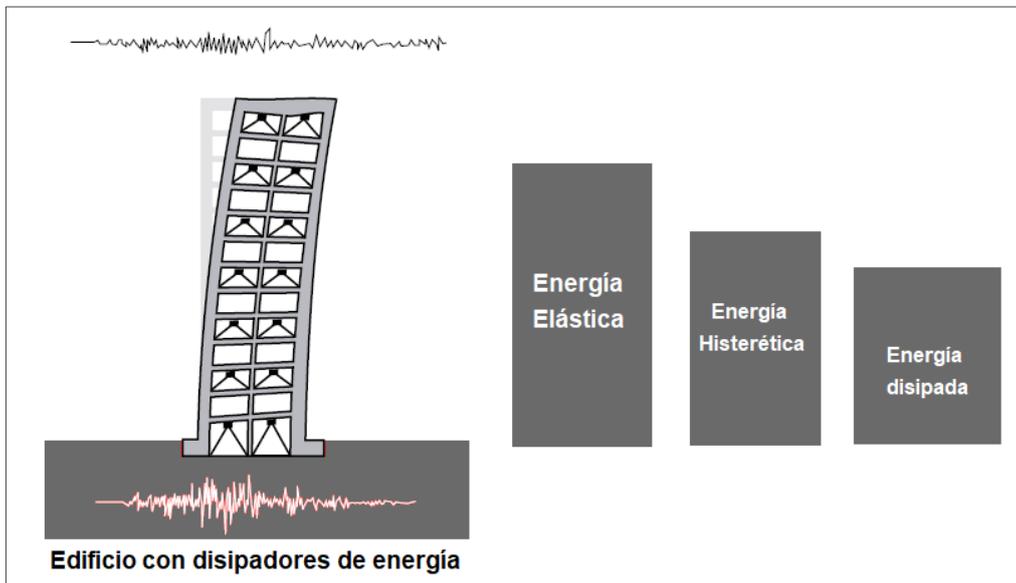


Figura 12. Distribución de la energía sísmica en un edificio con disipadores.
Fuente: Adaptado de Luis Bozzo Estructuras y proyectos (2018)

Si se observa tal hecho en términos de balance energético se podrá observar que cuando no existe tales dispositivos, toda la energía del sismo se concentra en los elementos estructurales, inevitablemente. Mientras que, si se tienen estos dispositivos, gran parte

de la energía sísmica se centra en ellos, liberando de responsabilidad sísmica a las vigas y las columnas.

Disipadores pasivos histeréticos de energía sísmica

Se denominan disipadores pasivos histeréticos, a aquellos elementos que disipan la energía mediante la deformación plástica del acero, cuyo funcionamiento depende del desplazamiento de la estructura.

Comportamiento mecánico de los disipadores metálicos

Los elementos de disipación de energía son un conjunto de dispositivos pasivos colocados de tal forma que permiten absorber gran cantidad de energía durante el movimiento sísmico. Su funcionamiento usualmente se basa en el desplazamiento relativo originada por la acción de fuerzas inerciales inducidas durante la acción del sismo. A estos disipadores metálicos también se les conoce como disipadores histeréticos.

Estos dispositivos incluyen materiales y otros componentes necesarios para ensamblar y dar consistencia al elemento. Estos materiales son para desplazamiento o la velocidad, o ambos al mismo tiempo.

El acero, principal componente del dispositivo metálico, debe ser ensayado y analizado a compresión y tracción, ello, cuando el modo de falla esté asociado a esfuerzos axiales. Asimismo, si el modo de falla es por cortante, flexión o torsión, se debe analizar para obtener el comportamiento histerético. Una vez fabricados estos dispositivos, es indispensable realizar ensayos para poder validar su comportamiento histerético.

Disipadores histerético con base en la fluencia de metales

Entre los disipadores de energía más conocidos están los disipadores metálicos, los que usualmente son fabricados de acero. Se aprovecha la característica de la fluencia de este material, teniendo en cuenta que esta propiedad no es exclusiva del acero. Generalmente este tipo de disipadores aprovechan el movimiento del sismo inducido a la estructura, trabajando por medio de los desplazamientos relativos de entrepiso.

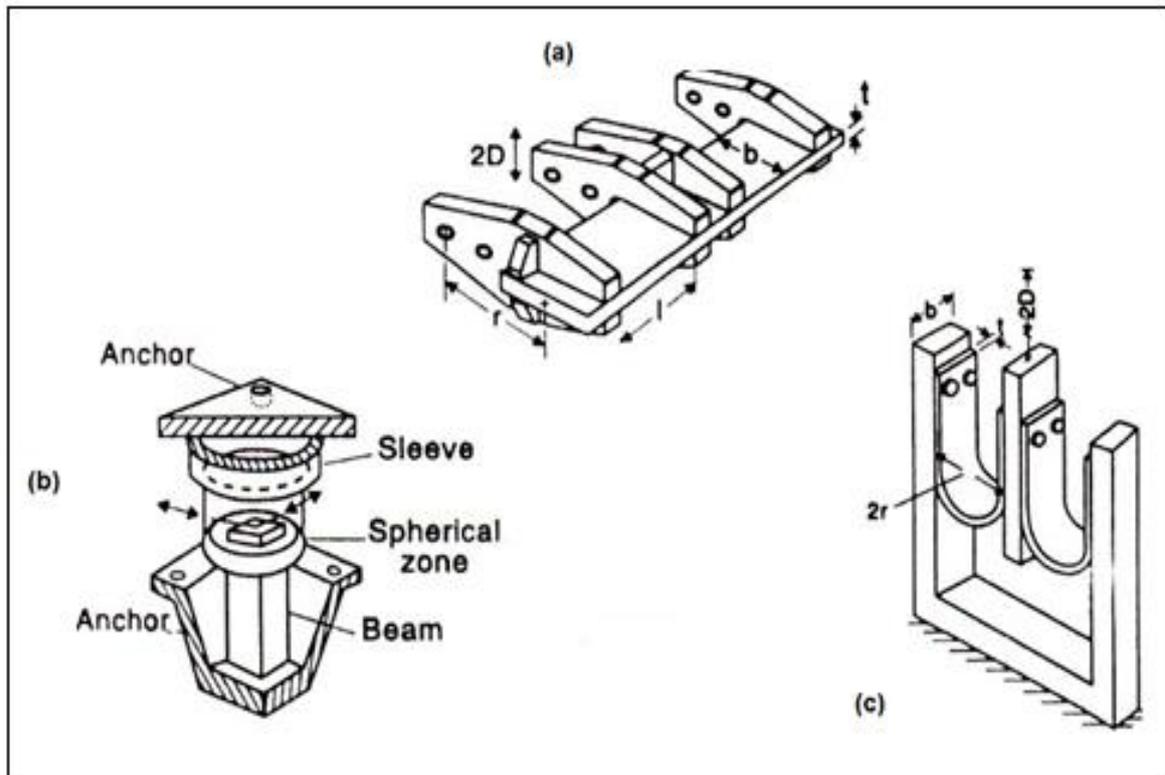


Figura 13. Geometría de los disipadores metálicos. a) Viga a torsión b) Viga a Flexión c) Placas en U
Fuente: Adaptado de Luis Bozzo Estructuras y proyectos (2018)

Configuración de disipadores pasivos de energía sísmica

Configuración mediante diagonales Chevron

Este es uno de los sistemas no lineales más conocidos y clásicos, cuya aplicación es en forma horizontal sobre dos diagonales metálicas que se entrecruzan en forma de uve invertida. Se coloca paralelo al entrepiso y logra contener muy buena capacidad del disipador para reducir los desplazamientos laterales de la estructura.

El refuerzo de tubo metálico tiene conexión directa con la estructura en la parte inferior y cuenta con un apoyo para el disipador en la intersección superior, ello, a la altura del punto medio de la viga del pórtico. Desde luego, la resistencia mecánica de los diagonales de acero es mucho mayor a la del disipador metálico.

Para configurar el refuerzo diagonal del tubo metálico se debe estimar la carga axial máxima. Generalmente el diseño del tubo de acero tiene forma cuadrada que soporta la carga axial de compresión.

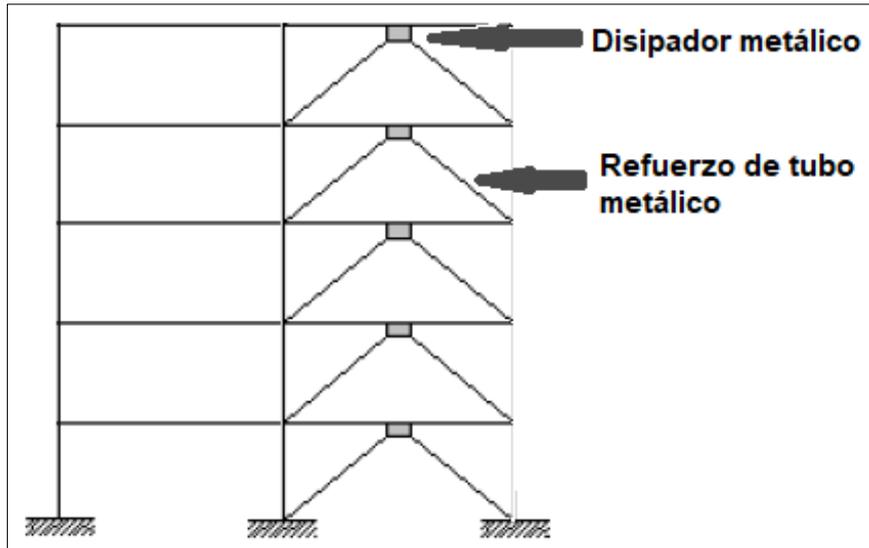


Figura 14. Aplicación clásica con diagonales metálicas.
 Fuente: Adaptado de Luis Bozzo Estructuras y proyectos (2018)

Configuración mediante muros desacoplados

Esta configuración es otra forma de aplicación de los sistemas no lineales de disipación de energía. Permite transferir los esfuerzos cortantes sísmicos sin la carga axial, pues se colocan en muros discontinuos o desacoplados al pórtico.

Este sistema tiene una combinación interesante de disipación sísmica entre el disipador metálico, el pórtico y el muro discontinuo. En este caso, el disipador brinda ductilidad mediante la fluencia del acero. Por su parte, el pórtico proporciona flexibilidad y el muro discontinuo brinda la rigidez necesaria para el buen funcionamiento ante demanda sísmica de la estructura. Es decir, forman un sistema triangular de ductilidad, flexibilidad y rigidez.

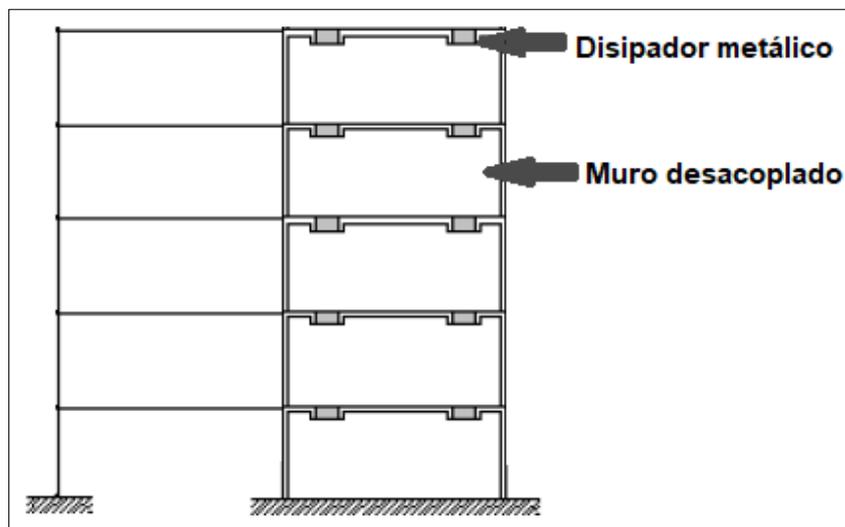


Figura 15. Aplicación mediante muros desacoplados.
 Fuente: Adaptado de Luis Bozzo Estructuras y proyectos (2018)

Formulación del problema

Problema general

¿Qué mejoras en la respuesta sísmica de una estructura autoconstruida se pueden lograr mediante la aplicación de dispositivos de disipación de energía metálicos?

Problemas específicos

¿Qué deficiencias estructurales presenta la vivienda autoconstruida elegida para el estudio?

¿Qué características mecánicas presentan los dispositivos metálicos de disipación de energía?

¿Cuál es la respuesta sísmica tiene la estructura reforzada con los disipadores de energía metálicos?

Justificación

Justificación práctica

Esta investigación se propone plantear una solución práctica y económica, que pueda ser implementada en una vivienda autoconstruida y que permita la mejora de su respuesta sísmica ante un eventual evento sísmico.

Justificación teórica

La extendida a práctica de la autoconstrucción dentro de nuestro país, nos ha lleva a una situación de gran peligro, ya que, por lo general, estas estructuras no satisfacen ningunos de los requisitos mínimos establecidos por las diferentes normativas peruanas, tanto en calidad de los materiales como en la cantidad requerida.

Se determina las deficiencias que presenta una vivienda típica construida en Villa el Salvador. La finalidad de determinar el nivel preciso de riesgo que presentan estas edificaciones ante un eventual terremoto, cuantificar la clase de daño estructural y la forma de fallo que se presenten en dichas estructuras.

Justificación Metodológica

Se generará un conjunto de técnicas metodológicas útiles para la implementación de dispositivos de energía en estructuras autoconstruidas y poder mitigar el efecto de los sismos.

Hipótesis

Hipótesis General

La aplicación de disipadores metálicos de energía en la estructura analizada permitirá la mejora de la respuesta sísmica.

Hipótesis Específicas

La estructura analizada es una vivienda autoconstruida, por lo que se espera que tenga un comportamiento sísmico deficiente y proclive al colapso ante la ocurrencia de un sismo raro.

Los dispositivos metálicos poseen resistencias y ductilidades adecuadas para el fin que se persigue.

La estructura reforzada usando disipadores metálicos de energía presenta una respuesta sísmica adecuada y acorde con lo establecido en la norma E030.

Objetivos

Objetivo General

Mejora de la respuesta sísmica de una estructura autoconstruida mediante la aplicación de disipadores de energía metálicos.

Objetivos Específicos

Determinar las deficiencias estructurales presentes en la estructura de estudio.

Establecer las propiedades mecánicas de los disipadores metálicos de energía.

Determinar la respuesta sísmica de la armazón reforzada con disipadores de energía metálicos.

II. MÉTODO

2.1. Diseño de la investigación

Hernández, Fernández y Baptista (2014), nos dice que es el establecimiento de un proceso claro y realizable que sirva como un medio para la demostración de la validez o no de la hipótesis planteada. En este sentido, según el mismo autor, existen esencialmente dos tipos de diseño de investigación, los experimentales y los no experimentales.

En la presente investigación realizaremos un diseño:

Experimental:

De acuerdo con Hernández et al. (2014), nos dice que un diseño es experimental si conlleva el manejo de la variable independiente para medir el efecto en la variable dependiente.

Enfoque de investigación

Según Hernández et al. (2014), encontramos dos tipos de enfoques, el cuantitativo y cualitativo. Por lo que el enfoque cuantitativo estudia variables medibles.

De acuerdo con el estudio se aplicará el ENFOQUE CUANTITATIVO por la hipótesis planteada que dice que la aplicación de los disipadores de energía metálicos permitirá la mejora de la respuesta sísmica de una estructura autoconstruida. Por tanto, el diseño de la investigación debe estar enfocada a generar una secuencia lógica de pasos que nos brinde información cuantitativa de los efectos de la aplicación de los disipadores metálicos en una estructura autoconstruida.

Tipo de investigación

Según Hernández et al. (2014) menciona que es un enfoque estratégico o general, coherente con sentido práctico a las actividades que se emprenda para buscar respuesta al objetivo planteado y al problema.

Aplicada

El proyecto se interesa en el aumento de la respuesta sísmica de la vivienda autoconstruida por la aplicación de disipadores de energía metálicos. Transforma los conocimientos científicos en tecnología.

Nivel de investigación

Investigación Descriptiva

De acuerdo con Hernández et al. (2014, p.60). estos permiten registrar y analizar el fenómeno y especifica propiedades de cualquier fenómeno que sea examinado.

2.2. Variables

Variable independiente (X)

Hernández et. al (2014), sustenta que la variable independiente tiene características susceptibles de ser medida y que es manipulada deliberadamente por el investigador dentro de un escenario dado. También será manejada para poder medir sus efectos en la variable dependiente. Con los objetivos propuestos, la variable es los dispositivos de disipación de energía. Se puede escribir:

X=Disipadores de energía metálicos.

Variable dependiente (Y)

Hernández et. al (2014), sustenta que la variable dependiente es aquella característica de la que se busca saber cuándo se hace una investigación. Es usual que este valor presente cambios cuando se manipula la variable independiente.

De acuerdo con el estudio propuesto, se pretende aumentar la respuesta sísmica de edificaciones. Por tanto, en el presente estudio se considera que la variable dependiente será la respuesta sísmica de la edificación analizada. Se puede escribir:

Y = Respuesta sísmica de la edificación.

La variable propuesta será caracterizada mediante tres dimensiones, las que será, los máximos desplazamientos laterales, las máximas distorsiones laterales de entrepiso y las máximas aceleraciones.

2.3. Operacionalización de las variables

Tabla 1. Operacionalización de las variables

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensión	Indicador	Instrumento	Escala de Medición
Disipador de energía metálico (Bozzo et. al, 2015)	Dispositivo metálico fabricado de acero dúctil que tiene la función de absorber las fuerzas cortantes ingresadas por el sismo. (Bozzo et. al, 2015)	Elemento mecánico que tiene una rigidez elástica, fuerzas de fluencia y rigidez post fluencia, bien definidas.	Rigidez elástica	Rigidez elástica	Cálculo	t/m
			Fuerza de fluencia	Fuerza de fluencia	Cálculo	t
			Rigidez post fluencia	Rigidez post fluencia	Cálculo	t/m
Respuesta sísmica (Barbat et. al, 2010)	Forma como la estructura responde ante la acción de fuerzas laterales inducidas por la acción de un sismo. (Barbat et. al, 2010)	Forma en que la estructura responde en términos de desplazamientos, distorsiones y aceleraciones laterales.	Máximos desplazamientos laterales	Máximos desplazamientos laterales	ETABS	m
			Máximas distorsiones laterales	Máximas distorsiones laterales	ETABS	m/m
			Máximas aceleraciones de entrepiso	Máximas aceleraciones de entrepiso	ETABS	m/s ²

Fuente: Elaboración propia.

2.4. Población y muestra

Población

De acuerdo con Hernández et. al (2014), la población es el conjunto de unidades con unas características específicas, las que generalmente son establecidas por el investigador. Dentro de este contexto, la población puede ser un conjunto unitario, o un conjunto con cientos de elementos, de los que se desea obtener información adecuada.

El comportamiento de un caso de estudio, en este caso, una vivienda autoconstruida de cuatro niveles. Por tanto, el universo del presente estudio es unitario.



Figura 16. Edificación de cinco de niveles de pórticos de concreto armado, ubicada en Villa El Salvador.

Fuente: Elaboración propia.

La edificación analizada es de un edificio de pórticos de concreto armado de cinco niveles, como se puede observar en la Figura 16. Esta construcción fue escogida por su configuración estructural, y las dimensiones de los materiales resistentes a cargas laterales, se prevé que no cumple con la rigidez exigida por el reglamento peruano de diseño sísmico. Este hecho, provocará que las máximas distorsiones inducidas por la acción de un sismo superen los máximos requeridos por el reglamento de diseño E030, por lo que es de esperarse que esta estructura sufra de daño severo, incluso el colapso, sino se toman medidas preventivas.

Muestra

Según Hernández et. al (2014), puntualiza que es un subconjunto de la población de estudio, elegida de manera probabilística o no probabilística. La muestra a veces coincide con la población de estudio, por lo que un muestreo probabilístico y uno no probabilístico tienen el mismo efecto.

Debido a que la población o el universo del presente estudio es unitario, la muestra elegida coincidirá con el universo establecido.

2.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Técnicas de recolección de datos

Rojas Gutiérrez (2004), nos dice que son aquellas técnicas en las cuales consiste en recolectar información, en las cuales se tiene que describir, definir y justificar. (p.128)

La recolección de datos se desarrollará en tres partes. La primera es el recojo de datos de las características geométricas de la edificación existente; el segundo paso será la recolección de información de las propiedades de los materiales instalados y finalmente; el estudio de las propiedades del suelo circundante.

Par el recojo de las características geométricas de la edificación se hará una visita presencial a la edificación considerada, de la que primero se tomarán una serie de fotografías, usando cámaras de alta resolución o cámaras de celular con una resolución aceptable. Acto seguido se procederán a identificar los tipos de columnas existentes dentro de la edificación, así como los tipos de vigas presentes. Además, se registrarán las construcciones estructurales. Posteriormente se medirán las distancias existentes entre los elementos verticales y la altura de los entresijos. Es importante aclarar que también se deben medir las dimensiones de las losas.

El segundo estudio consistirá en elegir al azar tres columnas del primer piso, y una en el segundo piso. Las columnas elegidas serán sometidas a una extracción de testigos diamantinos para poder determinar las características de los materiales colocados, en especial, la resistencia a la compresión. Las extracciones de testigos diamantinos caen dentro de los estudios destructivos que nos permitirán determinar la calidad del concreto instalado en la estructura. En cuanto al estudio de los reforzamientos existentes, este se hará mediante el estudio de los planos de estructuras a los que se han tenido acceso.

Instrumentos de recolección de datos

Hernández et. al (2014), sustenta que los instrumentos de recolección de datos son objetos desarrollados para la medición de alguna variable de interés.

Los instrumentos usados para cada uno de los casos de estudio considerados anteriormente serán descritos de manera resumida a continuación, y manteniendo el orden en el que fueron descritas las técnicas de trabajo a emplearse.

Para la medida de las características geométricas de la estructura analizada, se usará una wincha metálica de 15m. Estas medidas serán posteriormente registradas en unos cuadernos de trabajo. Finalmente, para la traducción de esta información en planos, se usará el software de dibujo asistido AutoCAD.

Para el caso del estudio de los materiales, se usarán testigos diamantinos. Debido al alto costo de estos equipos, no se comprará, sino que se alquilará a una empresa constructora especialista en estudios estructurales.

Finalmente, para el procesado de la información proveniente de las calicatas del suelo, se enviarán al laboratorio de mecánica de suelos de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI).

Validez

Hernández et. al (2014) afirma que la validez de un instrumento es una característica del instrumento que realmente mide lo que pretende medir.

La validez de un instrumento de investigación es la propiedad que nos dice que tal instrumento realmente mide la variable que nos interesa. En el presente caso de estudio, todas las herramientas y equipos usados para la medición de las variables de interés son ampliamente usados dentro de la práctica de la ingeniería civil, por lo que su validez en la aplicación de este trabajo está asegurada.

Confiabilidad

Hernández et. al (2014), sostiene que la confianza es la propiedad de un instrumento que nos garantiza que mediciones repetidas a una variable de interés bajo más mismas condiciones deberían ofrecer resultados dentro de un cierto margen de permisibilidad.

La mayor parte de los instrumentos usados son de uso cotidiano en ingeniería civil y que en general su confianza está garantizada por la marca de uso. Algunos ejemplos de este tipo de instrumentos son, por ejemplo, la wincha metálica.

En el caso de los testigos diamantinos, la confianza de este equipo está garantizada por la empresa que realiza el servicio de ingeniería. Para ello, se adjuntarán los certificados de calibración correspondientes.

2.6. Métodos y análisis de Datos

Según Hernández et al. (2014), nos dice que la data encontrada de cada uno de los estudios propuestos será analizada mediante la aplicación del análisis gráfico, es decir, se graficarán los datos obtenidos en uno y otro caso para poder comparar los cambios producidos por la manipulación de la variable independiente.

2.7. Aspectos éticos

Como parte del desarrollo ético de la universidad, la presente investigación le brindará el crédito que le corresponde a cada uno de los autores de los que esta publicación se haya nutrido, citándolas acorde con el sistema de citas ISO P690.

III. RESULTADOS

Se ha elegido el estudio de una construcción de pórticos de concreto armado de cinco niveles. La citada estructura se encuentra en operación hace aproximadamente una década.



Figura 17. Imagen exterior del edificio de pórticos de 4 pisos en Villa el Salvador.
Fuente: Trabajo propio.

El edificio consta de 4 pisos más la azotea, con plantas rectangulares de 8.5 m de ancho por 18.5 m de largo, techado con un área aproximada de 160 m² por piso. Está ubicado en una esquina por lo cual dos de sus lados limitan con vecinos, las alturas de piso a techo varían desde 2.50 m hasta 3.00 m.

3.1. Aspectos generales del edificio en estudio

3.1.1. Ubicación

El edificio elegido está en el Sector 2, grupo 12 Villa El Salvador.



Figura 18. Ubicación espacial de la estructura elegida para el estudio.
Fuente: Trabajo propio.

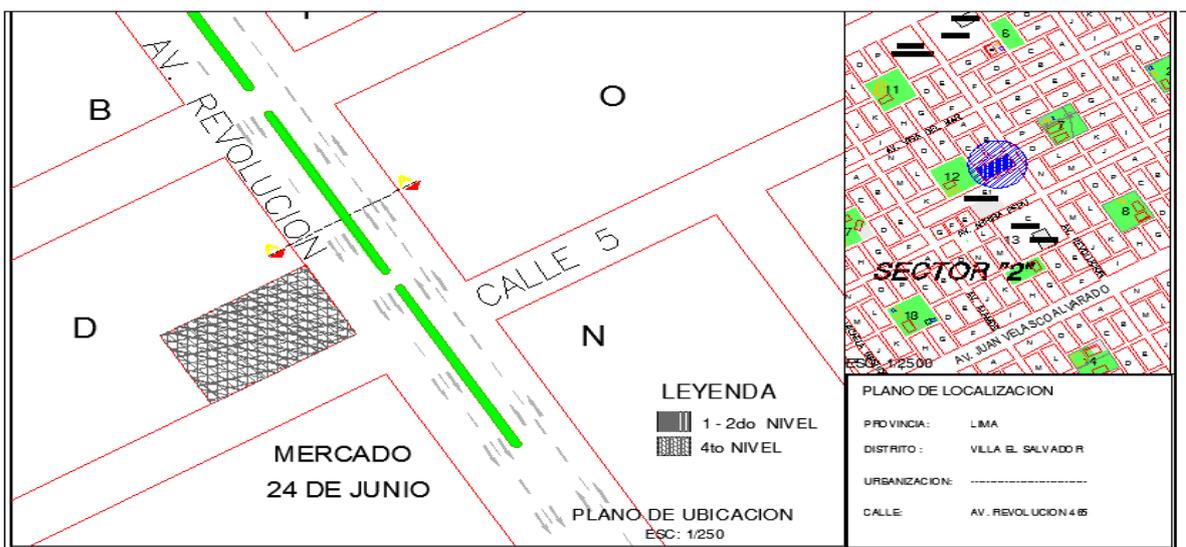


Figura 19. Plano de Ubicación del edificio en Villa el Salvador.
Fuente: Elaboración propia.

3.1.2. Sistema estructural

De acuerdo con el reconocimiento realizado in situ, la estructura analizada tiene como sistema resistente a una construcción de columnas y vigas de concreto armado, es decir, un sistema de pórticos de concreto armado. Las alturas de entrepiso son variables en sus dimensiones, es así como, en el primer piso la altura libre es de 3.00m, el segundo tiene 2.50m, el tercero es de 2.90m y el cuarto piso es de 2.65m.

Además, de la inspección realizada se pudo apreciar 20 columnas presentes en la edificación, las que se extendían desde el primer piso hasta el último piso. En cuanto a sus dimensiones, se puede comentar que estas tuvieron secciones cuadradas de 30cm de lado.

En este punto resulta interesante comentar que cuando se comparan las dimensiones de las columnas evaluadas con las correspondientes de otros proyectos de pórticos de concreto armado, correctamente diseñados, se nota que las primeras presentan una deficiencia considerable en dimensiones, ya que se ha visto que edificios de cinco niveles con pórticos de concreto armado, tiene dimensiones que rondan los 60 cm de lado. Este es un indicador claro de que la estructura de estudio puede ser altamente vulnerable.

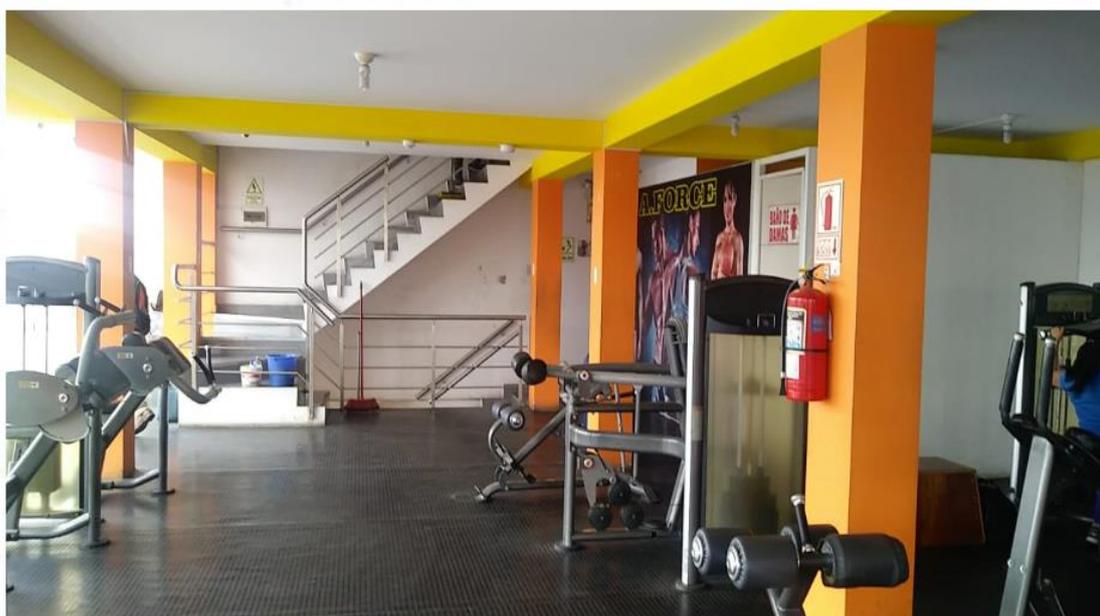
Además, la evacuación de las columnas ha mostrado que solo existen vigas peraltadas en una sección, mientras que la otra dirección las vigas existentes son chatas, esto se deduce pues no sobresalen de la losa de concreto armado aligerado. Como el lector podrá apreciar, este tipo de diseños están basados exclusivamente en cargas gravitacionales y por tanto no consideran la acción de las fuerzas sísmicas, las que además se caracterizan por la inversión de esfuerzos. Este es otro indicador claro de que estamos ante una estructura muy vulnerable.

3.1.3. Diagnóstico estructural y ensayos pertinentes

La inspección visual ha permitido recopilar información pertinente acerca del sistema estructural, el que está conformado por las vigas y columnas de concreto armado, así como la losa aligerada.



*Figura 20. Imagen interior del segundo piso del edificio.
Fuente: Elaboración propia, febrero de 2019.*



*Figura 21. Imagen interior del tercer piso del edificio.
Fuente: Elaboración propia, febrero 2019.*

Como se ha mencionado en la sección anterior, lo más llamativo de la evaluación sísmica fue que las columnas presentaban una sección a priori insuficiente, mientras que las vigas de concreto armado eran peraltadas solo en una dirección, una característica clara que nos indica que no se han tomado en cuenta criterios de diseño sísmico en la concepción de esta estructura.



Figura 22. Ubicación de puntos y extracción de muestra de columnas para el ensayo de Diamantina.

Fuente: Elaboración propia, febrero de 2019.



Figura 23. Imagen de una muestra de concreto para el ensayo de Diamantina.

Fuente: Elaboración propia, febrero de 2019.

Finalmente, para conocer las características de los materiales que componen esta estructura, se realizaron pruebas en testigos diamantinos extraídos de las columnas y vigas existentes. Los resultados obtenidos de la realización de tal conjunto de ensayos se tienen en la Tabla 2.

Tabla 2. Resultados del ensayo de resistencia a la compresión uniaxial en testigos diamantinos.

Muestra N°	Elemento	Nivel	Diámetro (in)	Resistencia obtenida (kgcm ²)
1	Columna	1	3	195
2	Columna	1	3	150
3	Viga	1	3	190
4	Columna	2	3	167
Promedio				175.2

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede ver de la tabla anterior, los resultados han tenido un nivel de variabilidad considerable, siendo 150 kg/cm², la resistencia a la compresión mínima obtenida y 195 kg/cm² la resistencia a la compresión máxima obtenida de los ensayos. Además, se ha podido ver que la resistencia media a la compresión fue de 175 kg/cm².

3.1.4. Propiedades de los materiales

A modo de resumen de las características de los materiales conseguidos a través de los ensayos.

- Resistencia a la compresión de concreto: $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$
- Módulo de elasticidad del concreto: $E_c = 220000 \text{ kg/cm}^2$
- Peso específico del concreto: $\gamma = 2400 \text{ kg/m}^3$
- Coeficiente de Poisson: $\nu = 0.15$
- Esfuerzo de fluencia del acero: $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$
- Módulo de elasticidad del acero: $E_s = 2000000 \text{ kg/cm}^2$.

3.1.5. Evaluación sísmica del edificio sin disipadores

En esta sección se establecerán las medidas dinámicas de la estructura analizada, teniendo en cuenta el marco normativo dado por el reglamento peruano de diseño sísmico, específicamente la norma E030. Tales parámetros nos permitirán determinar, en esencia, la demanda sísmica asociado al nivel de peligro sísmico contemplado en la citada normativa.

a) Zonificación (Factor de Zona)

El factor de zona es un parámetro asociado a los niveles de aceleración esperados en determinados lugares. De acuerdo con las normativas vigentes, el Perú está dividido en cuatro zonas de peligro creciente. El caso más desfavorable se da en todos los lugares del Perú situados en la costa. Tal es el caso del departamento de Lima, tal como se puede apreciar en el siguiente mapa.

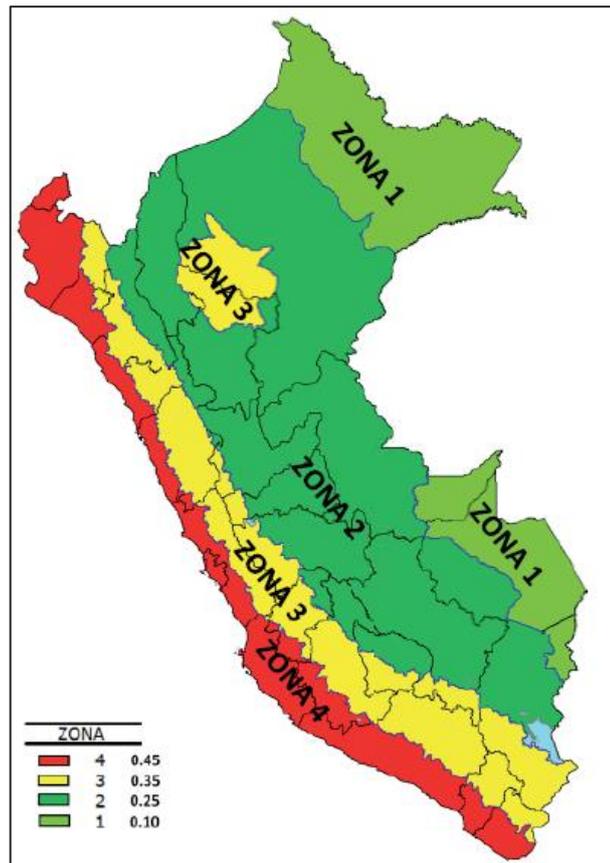


Figura 24. Mapa de peligro sísmico del Perú.
Fuente: Norma peruana de diseño sísmico (E030).

De acuerdo con este gráfico, el distrito de Villa el salvador se encuentra ubicado en las de las zonas de mayor sismicidad del Perú, que tiene un factor de zona $Z=0.45$.

b) Parámetros de sitio (S, TP y TL)

El factor de suelo y periodos asociados son uno de los parámetros sísmicos de más relevancia, pues toman en cuenta las partes dinámicas del suelo de fundación. De acuerdo con la actual normativa, existente cuatro denominaciones del suelo, llamados Roca dura, suelo muy rígido, suelos intermedios, suelo blando y suelos con condiciones excepcionales.

c) Factor de amplificación sísmica (C)

Es un parámetro que cuantifica el efecto que tiene las propiedades dinámicas del suelo, la estructura y su combinación. Para esto, la norma sísmica vigente plantea el uso de tres ecuaciones, que nos muestran la variación del coeficiente de amplificaciones sísmica.

$$T < T_P$$

$$C = 2,5$$

$$T_P < T < T_L$$

$$C = 2,5 \cdot \left(\frac{T_P}{T}\right)$$

$$T > T_L$$

$$C = 2,5 \cdot \left(\frac{T_P \cdot T_L}{T^2}\right)$$

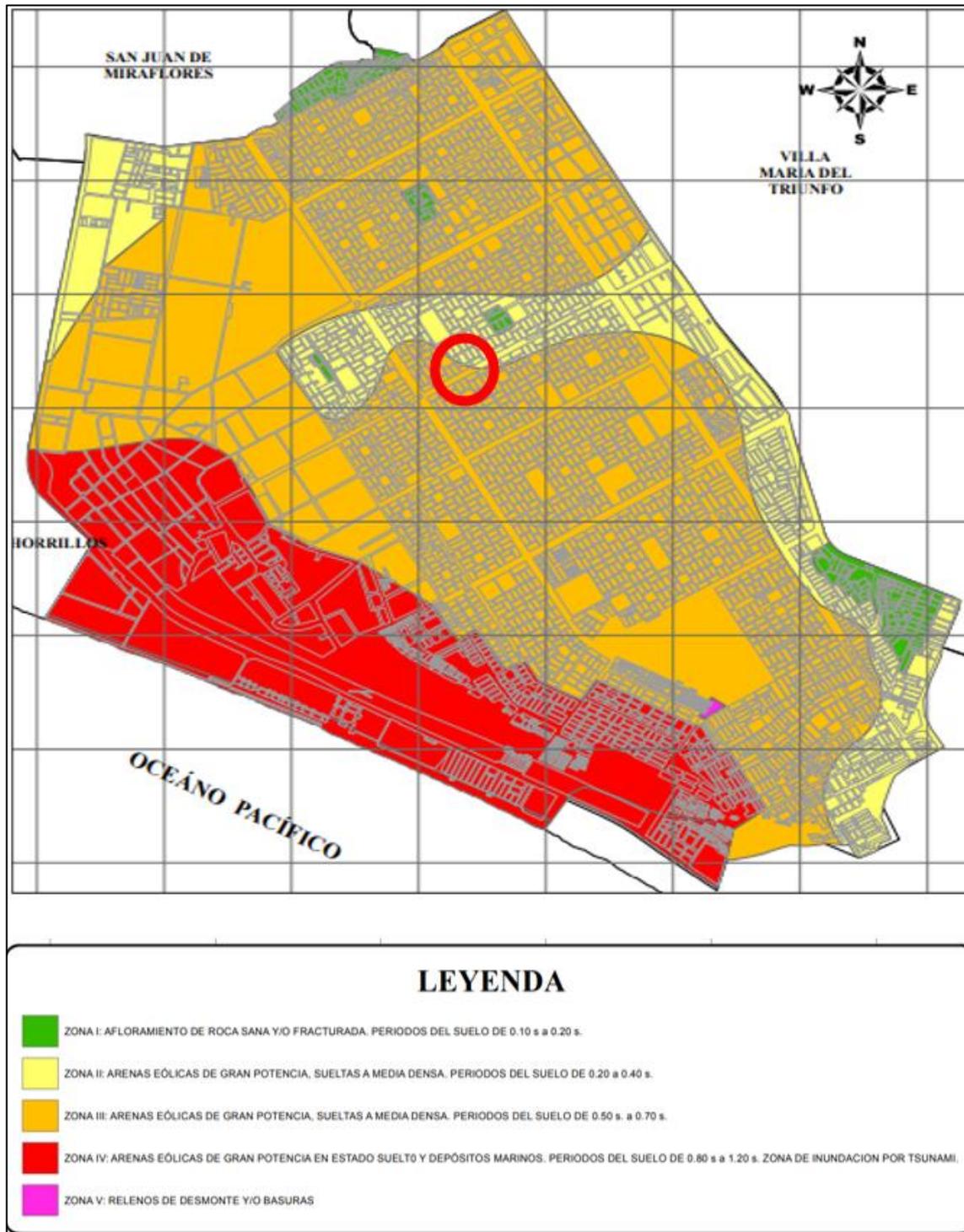


Figura 25. Plano de microzonificación sísmica del distrito de Villa el Salvador.
Fuente: Centro Peruano Japonés de Investigaciones sísmicas y Mitigación de Desastres.

Finalmente, a manera de resumen se muestran los parámetros sísmicos establecidos para el edificio analizado.

Tabla 3. Parámetros sísmicos

Parámetros sísmicos (Norma técnica E.030)		
Z	0,45	Factor Zona (Z4)
U	1,30	Factor Uso (Comercio)
C	2,50	Factor de amplificación sísmica
S	1,05	Factor de suelo (S2 y Z4)

Fuente: Norma técnica E.030, Trabajo propio.

3.2. Modelado de la estructura en ETABS

El primer paso es la definición de los materiales en la construcción de la estructura. En el caso analizado, los materiales implicados fueron el concreto y el acero estructural.

Conviene aclarar que para el modelamiento de la estructura analizada se usará el software de análisis y diseño estructural Etabs, por lo que en el desarrollo del presente informe se presentará ampliamente la interfaz gráfica de este software.

Figura 26. Definición de las propiedades del concreto $f'c=175$ kg/cm².
Fuente: Elaboración propia.

Según las pruebas de diamantina (Anexo 03) se ha determinado que la resistencia existente del concreto colocado en la estructura es de $f'c=175$ kg/cm². Además, con fines de

modelamiento conviene determinar la rigidez de los materiales implicados. En el caso del concreto, y por el reglamento de diseño en concreto armado, el módulo de elasticidad puede ser estimado con la expresión a continuación:

$$E = 15000\sqrt{f_c} \text{ kg/cm}^2$$

En la estructura conviene definir las secciones típicas de los elementos estructurales. En el caso analizado las columnas fueron típicas, con secciones de 25cm x 30cm, mientras que las vigas tuvieron secciones de 25cm x 40cm, en el caso de vigas peraltadas, mientras que en el caso de vigas chatas estas fueron de 25cm x 30cm.



Figura 27. Secciones transversales típica de columnas.
Fuente: Elaboración propia.



Figura 28. Sección transversal típica de viga peraltada.
Fuente: Elaboración propia.

Asimismo, de los planos estructurales levantados en campo, se puede determinar que el encofrado del primer piso difiere ligeramente del encontrado de los pisos superiores, en la que se observa en las siguientes figuras.

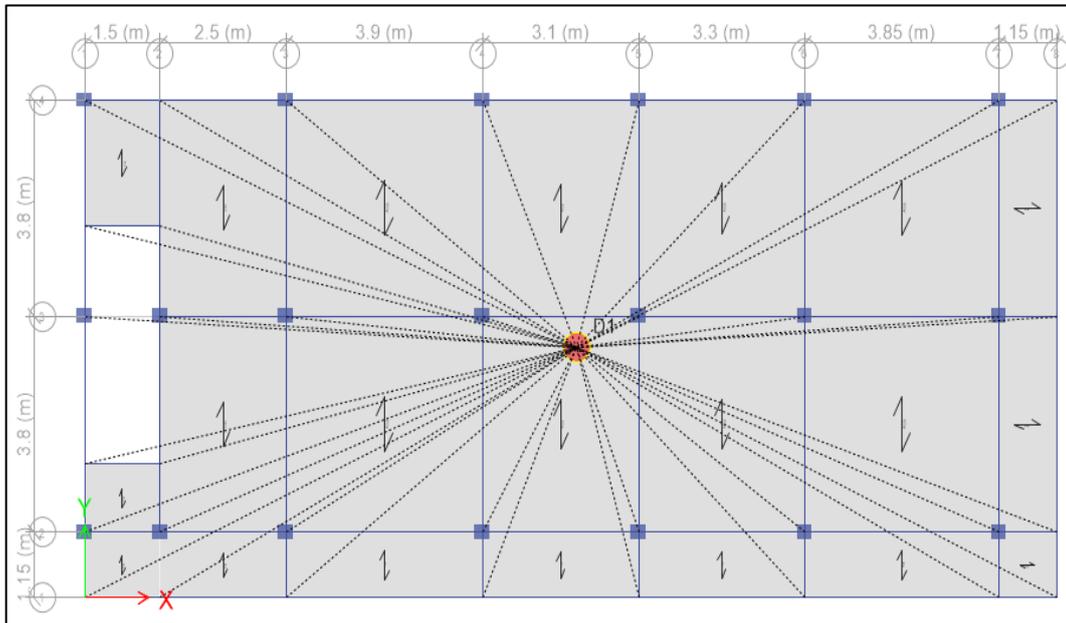


Figura 29. Vista en planta del primer encofrado de la estructura.
Fuente: Elaboración propia.

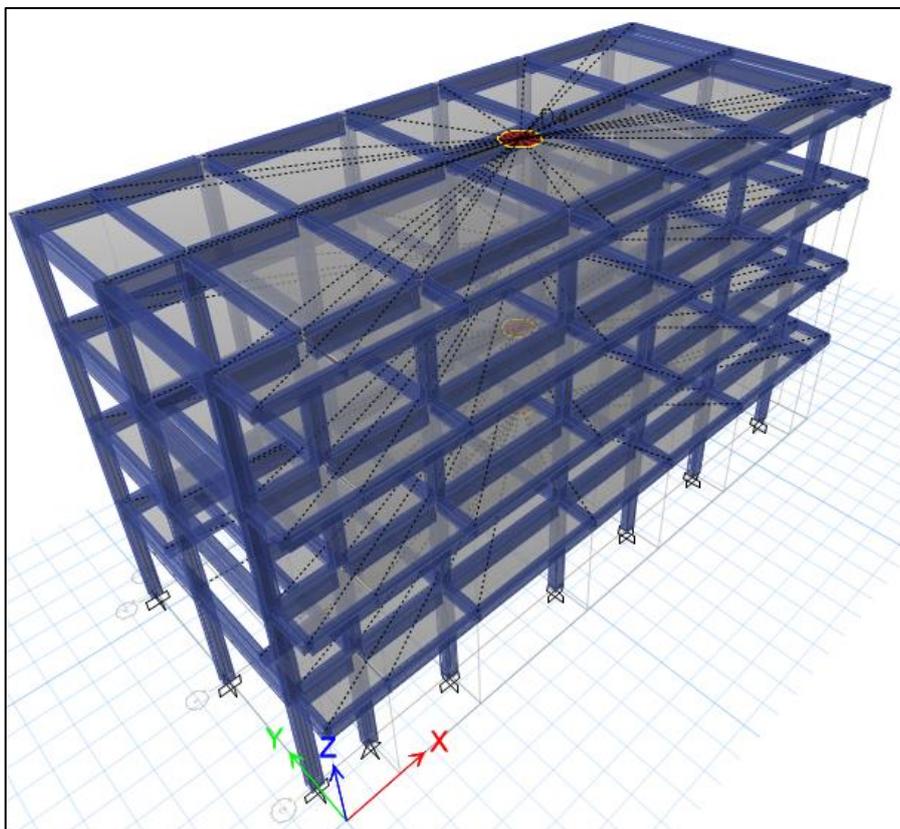


Figura 30. Vista tridimensional del edificio analizado.
Fuente: Elaboración propia.

La primera parte del modelado de la estructura implica definición de los materiales y las secciones transversales de los elementos estructurales, tales como, columnas, vigas, muros, losas entre otros elementos. Las vistas en planta y tridimensional del modelo realizado se muestra en la Figura 29 y Figura 30.

Unas ves definidas los elementos mencionados deben definirse las cargas gravitacionales implicadas en el estudio. Tales cargas incluyen las cargas muertas y las cargas vivas. Conviene aclarar que el peso propio de la estructura es una carga de que el software considerado incluye de manera automática en el caso de cargas muertas, por tanto, en este programa conviene introducir la carga de debido a acabados y otras consideraciones de forma manual.

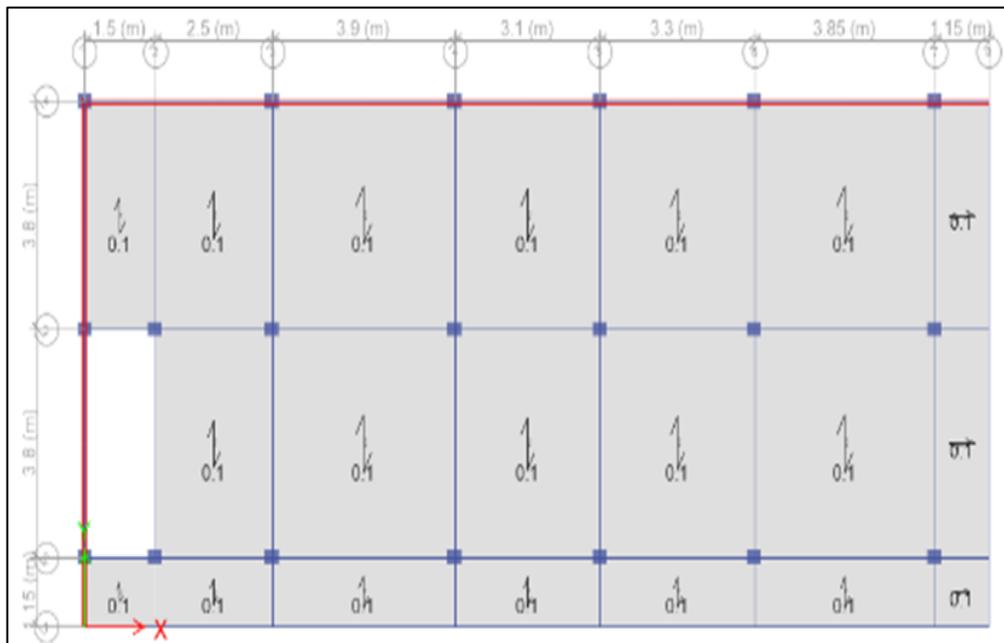


Figura 31. Cargas muertas y vivas aplicadas en la azotea de la estructura.
Fuente: Elaboración propia.

Así mismo, se tiene las cargas vivas por lo establecido en la norma peruana de cargas (E020). De acuerdo con este documento, en estructuras que sirven de comercio o desarrollan actividades comerciales con gran concurrencia de personas, la sobrecarga mínima a considerar es de 400 kg/m^2 . Si las azoteas no tienen un uso especificado, se pueden considerar valores de sobrecarga de 100 kg/m^2 .

3.3. Análisis modal

El análisis modal es una técnica numérica orientada a la determinación de los autovalores del sistema característico asociada a las ecuaciones diferenciales del movimiento. En un

sentido matemático consiste la determinación de las soluciones no triviales del sistema homogéneo. En un sentido físico, tales autovalores representan los periodos asociados a las formas de vibrar de la estructura.

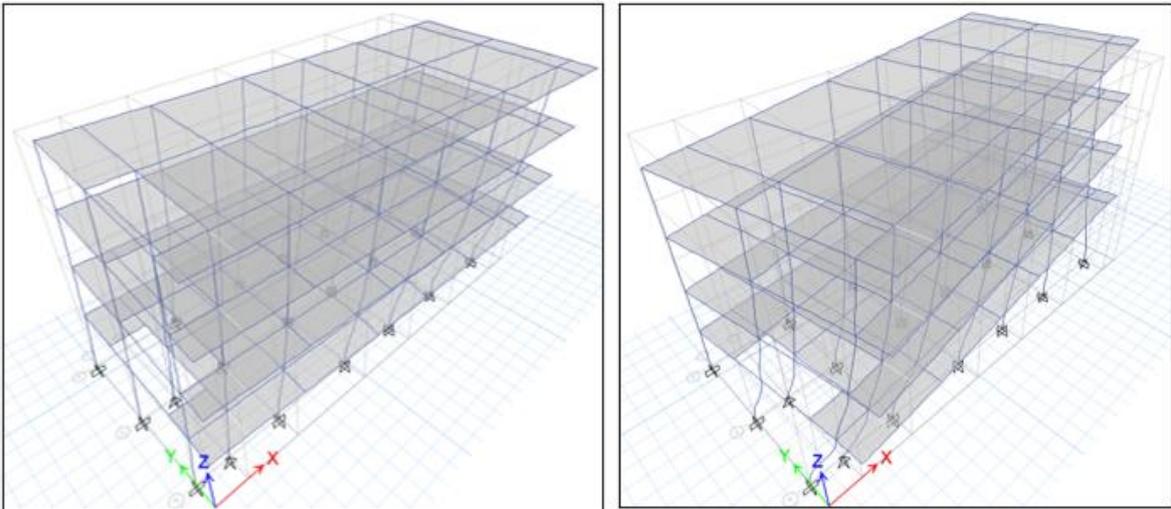


Figura 32. Primera (1.1 s) y segunda (0.34 s) formas de modo de la estructura analizada.
Fuente: Elaboración propia.

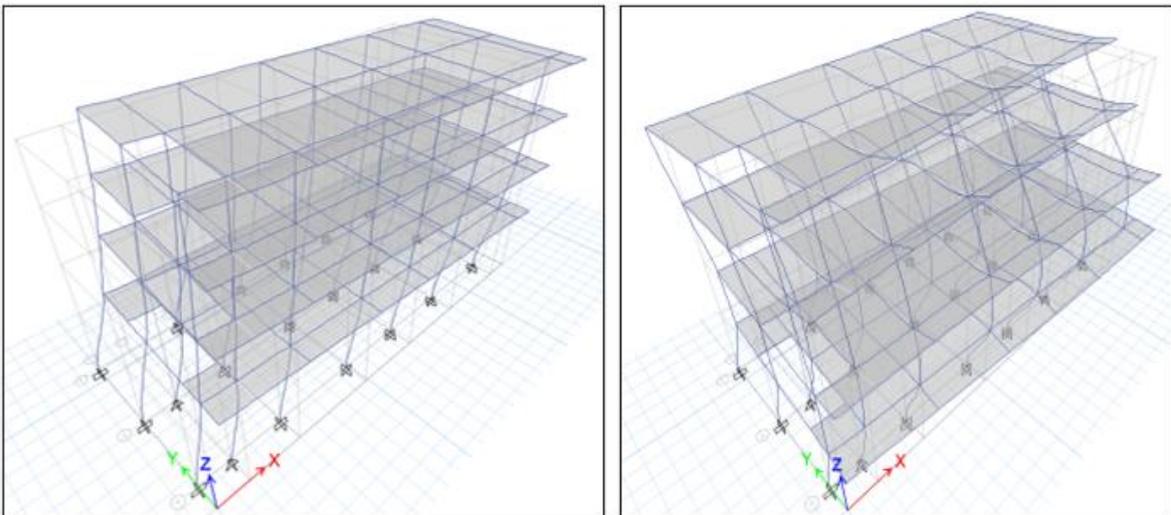


Figura 33. Tercera (0.30 s) y cuarta (0.20 s) formas de modo de la estructura analizada.
Fuente: Elaboración propia.

En el caso analizado se han determinado quince formas de modo de la estructura, la elección de este número tuvo como base el hecho de que por lo menos se necesitan considerar tres grados de libertad por piso, y considerando que se tienen cinco niveles, da como resultado un total de 15 grados de libertad. Además, conviene aclarar que, por motivos de presentación, solo se están considerando las cuatro primeras formas de modo obtenidas, las que se muestran en las figuras presentadas líneas arriba.

De esta figura se puede comentar que la primera forma de modo es esencialmente traslacional, con un periodo asociado de 1.1s. Además, de acuerdo con la regla práctica de la ingeniería estructural que versa que, si una estructura tiene una rigidez adecuada, el periodo fundamental de la estructura debe estar cerca un décimo del número de pisos, es decir:

$$T=0.1n$$

Considerando que la estructura tuvo cuatro niveles, se tiene que el periodo de la estructura debería estar cerca de los 0.4s; sin embargo, como se puede apreciar del periodo asociado en la primera forma de modo, el periodo obtenido del análisis es casi el triple de este valor, dándonos esto una idea de la poca flexibilidad del pórtico analizado.

3.4. Cálculo de la demanda sísmica

Es una cuantificación de los efectos de un sismo sobre determinado lugar de la corteza terrestre. En la actualidad existen esencialmente dos maneras de cuantificar la demanda sísmica, por el uso de espectros de aceleraciones y mediante el uso de registros de aceleración.

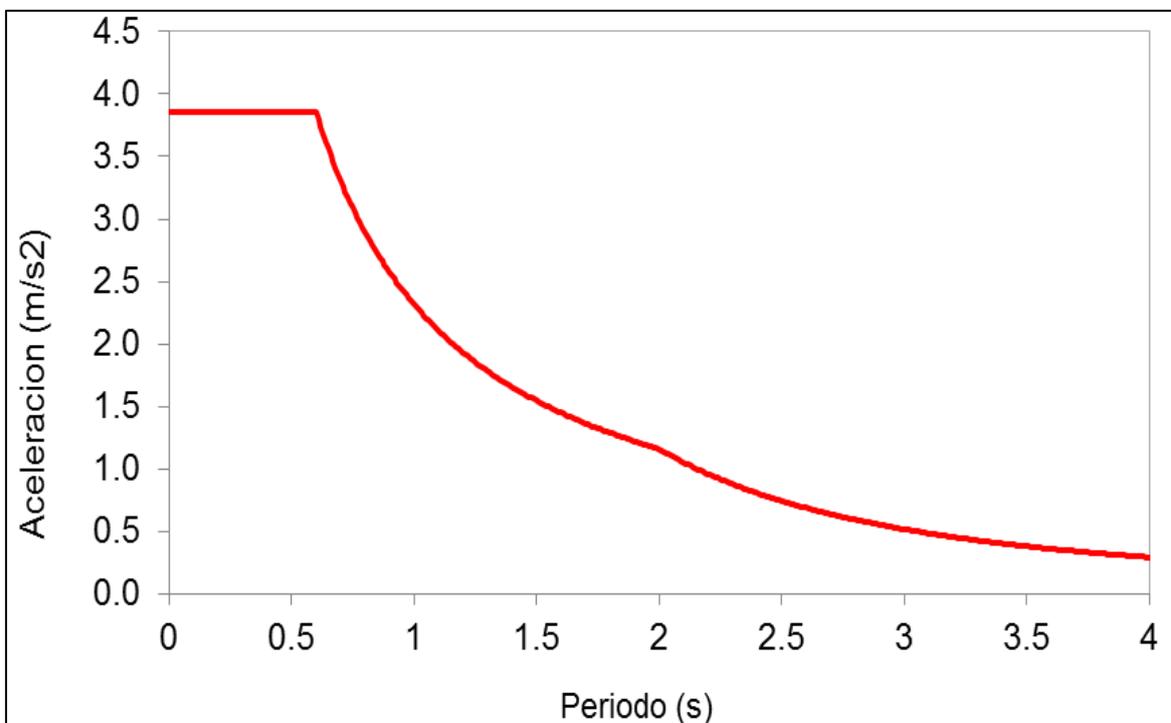


Figura 34. Espectro de aceleraciones característico de la edificación analizada y del lugar de emplazamiento.
Fuente: Elaboración propia.

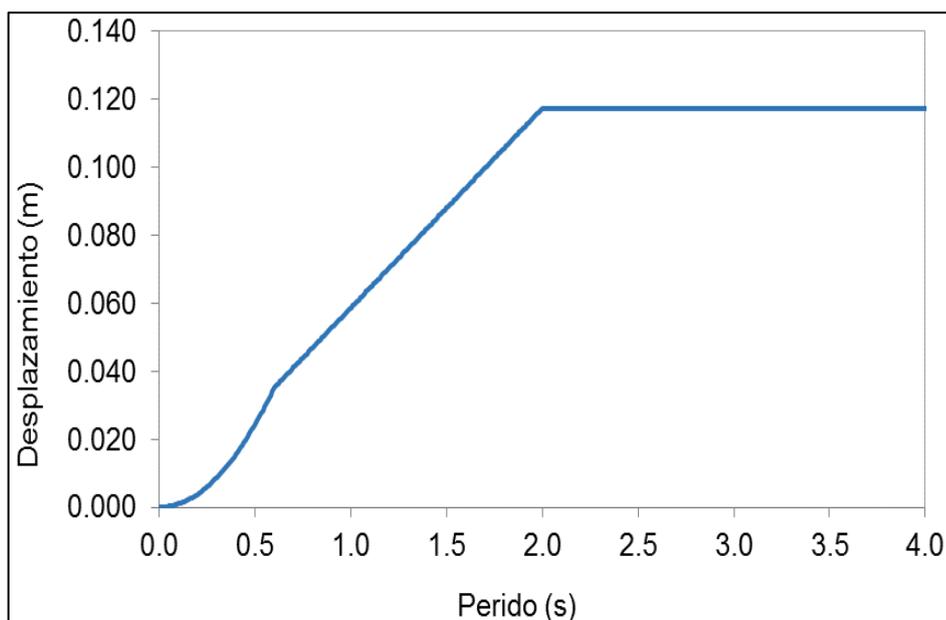


Figura 35. Espectro de desplazamientos característico de la edificación analizada y del lugar de emplazamiento.

Fuente: Elaboración propia.

En el contexto de la norma peruana se debe comentar que la cuantificación de la demanda sísmica se hace mediante la conformación de un conjunto de parámetros, mismos que están catalogados dentro de la citada normativa. El resultado de este proceso es la obtención de un espectro de aceleraciones, tal como se tiene en la Figura 34.

Un espectro de aceleraciones es un gráfico bidimensional que nos muestra la relación que existe entre los niveles de aceleraciones máximos esperados en un oscilador de un grado de libertad, en función de su periodo fundamental. Es decir, si conocemos el periodo de oscilador de un grado de libertad, puede predecir cuál es la aceleración máxima esperada por este oscilador.

3.5. Respuesta sísmica

La respuesta sísmica es un conjunto de parámetros obtenidos de la estructura cuando este es sometido a algún tipo de demanda sísmica. En este trabajo de investigación se han considerado tres tipos, máximos desplazamientos laterales, máximas distorsiones laterales y máximas fuerzas cortantes.

3.5.1. Máximos desplazamientos del centro de masa

Los máximos desplazamientos del centro de masas de todos los pisos son un parámetro muy importante para el cálculo de las irregularidades de la estructura. Los máximos

desplazamientos de los centros de masas de los entresijos considerados en este trabajo de investigación se tienen en la figura 36.

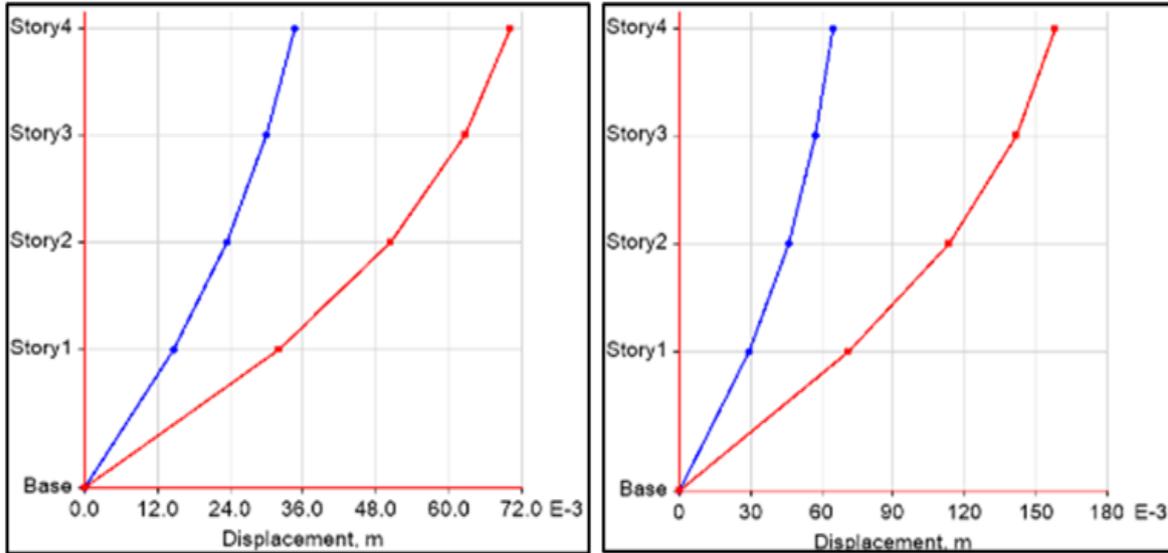


Figura 36. Máximos desplazamientos de los centros de masas de entresijo debidos a los sismos X e Y.
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4. Máximos desplazamientos laterales del centro de masas debido al sismo en X e Y.

Nivel	Sismo X		Sismo Y	
	U _x m	U _y m	U _x M	U _y m
Story4	0.035	0.070	0.065	0.158
Story3	0.030	0.063	0.057	0.142
Story2	0.023	0.050	0.046	0.114
Story1	0.015	0.032	0.029	0.071

Fuente: Elaboración propia.

3.5.2. Máximos desplazamientos de entresijo

Los máximos desplazamientos de entresijo de una estructura son los máximos desplazamientos encontrados de todos los puntos que constituyen el entresijo de una estructura. En el caso analizado, los máximos desplazamientos encontrados se muestran en las siguientes figuras.

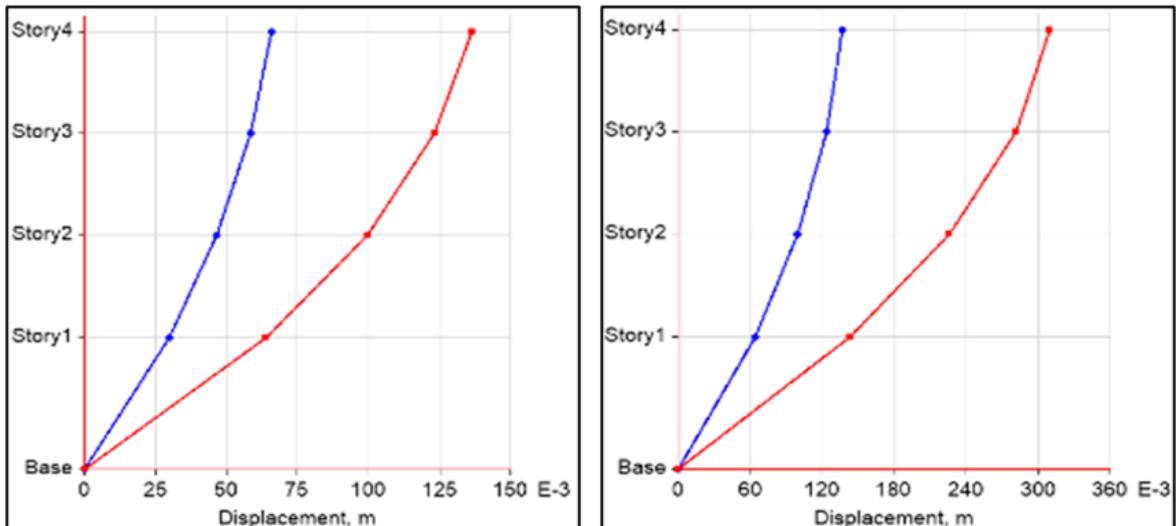


Figura 37. Máximos desplazamientos entrepiso debidos a los sismos X e Y.
Fuente: Elaboración propia.

Se observa el máximo desplazamiento lateral en dirección x fue de 130 mm, en vez del máximo desplazamiento lateral debido al sismo en dirección y, fue de 300 mm. Estos resultados nos dan una idea de la flexibilidad de la estructura.

3.5.3. Máximas distorsiones de entrepiso

Las máximas distorsiones de entrepiso son magnitudes que miden las deformaciones de entrepiso obtenidos a partir de los máximos desplazamientos laterales. En el caso analizado se puede observar que los máximos valores de distorsiones laterales tuvieron valores de 18/1000 y 40/1000, en direcciones x e y, respectivamente.

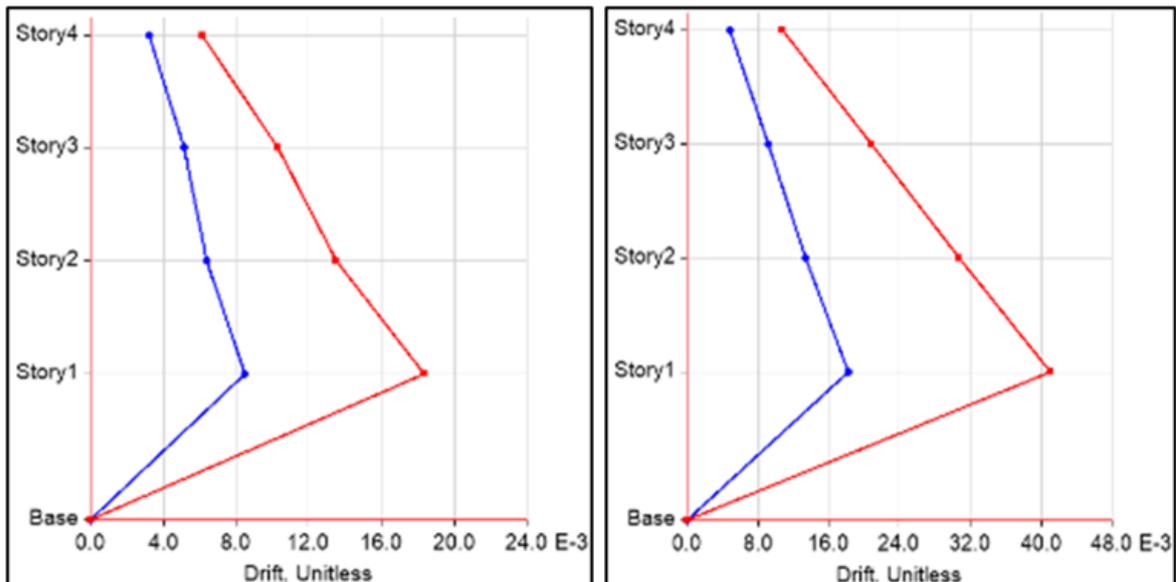


Figura 38. Máximas distorsiones de entrepiso debidos a los sismos X e Y.
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5. Máximas distorsiones laterales debidas a los sismos en direcciones X e Y

Nivel	Sx		Sy	
	x	y	x	y
Story4	0.003	0.006	0.005	0.011
Story3	0.005	0.010	0.009	0.021
Story2	0.006	0.014	0.013	0.031
Story1	0.009	0.018	0.018	0.041

Fuente: Elaboración propia.

3.5.4. Máximas fuerzas cortantes

Las fuerzas de corte en una estructura son una consecuencia de las fuerzas de inercia inducidas por la acción de un sismo. Es un parámetro importante dentro del análisis, pues además de permitirnos saber las fuerzas cortantes actuantes sobre cada uno de los elementos verticales resistentes, nos permite tener una idea de las fuerzas cortantes esperadas durante el evento sísmico considerado.

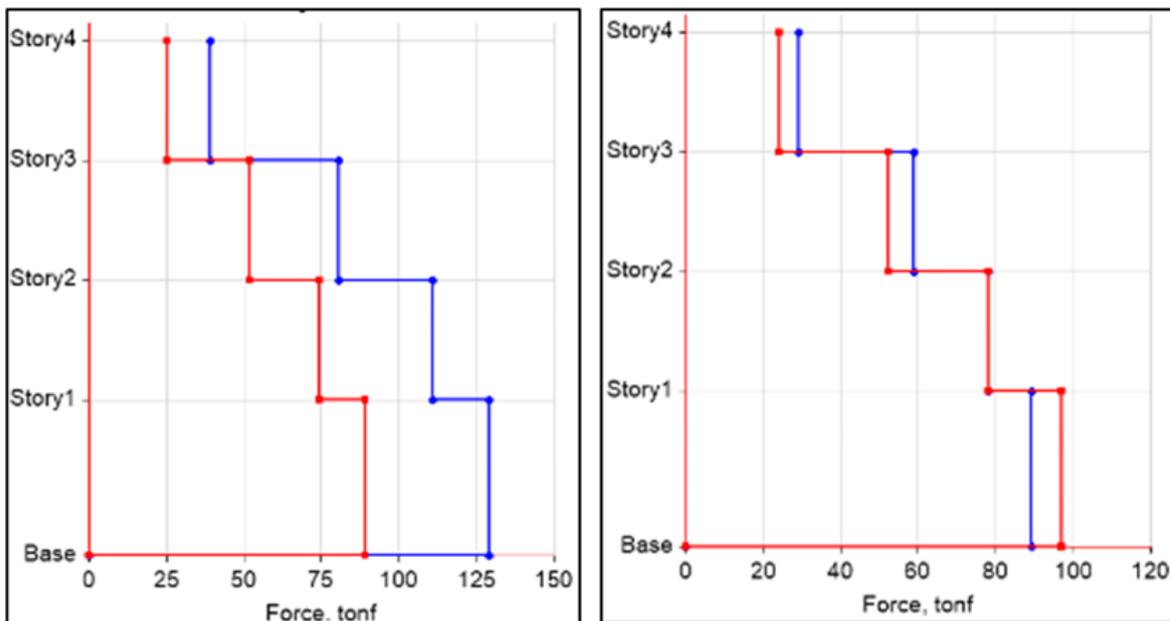


Figura 39. Máximas fuerzas cortantes debido al sismo en dirección X e Y.

Fuente: Elaboración propia.

En el presente caso, las fuerzas cortantes dinámicas se han graficado de manera ordenada y claro, y se ha presentado en la figura 39. Como se puede de estos gráficos, se espera que la fuerza cortante en la estructura sea de aproximadamente 125 t, en x, mientras que este valor podría ser de 100 t, en dirección y.

3.6. Evaluación de irregularidades

Tabla 6. Determinación de los desplazamientos relativos de los centros de masa de cada nivel.

Nivel	Sx		Sx		Sx		Sx	
	UX	UY	UX	UY	dX	dY	dX	Dy
	m	m	m	m	m	m	m	M
Story4	0.012	0.023	0.022	0.053	0.002	0.002	0.003	0.006
Story3	0.010	0.021	0.019	0.047	0.002	0.004	0.004	0.009
Story2	0.008	0.017	0.015	0.038	0.003	0.006	0.005	0.014
Story1	0.005	0.011	0.010	0.024	0.005	0.011	0.01	0.024

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7. Determinación de las rigideces de entrepiso, en direcciones x e y.

Nivel	Sx	Sy	Sx	Sy	Sx	Sy
	V(t)	V(t)	Drx(m)	Dry(m)	Kx(t/m)	Kx(t/m)
Story4	39.0	29.3	0.002	0.006	19493.2	4881.9
Story3	80.7	58.8	0.002	0.009	40373.8	6538.1
Story2	110.8	78.2	0.003	0.014	36936.9	5583.3
Story1	129.0	89.2	0.005	0.024	25807.5	3715.5

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8. Evaluación de la irregularidad de rigidez, de acuerdo con la norma E030 (2018).

Nivel	Sx	Sy	Sx	Sy	Observación
	Kx(t/m)	Kx(t/m)	Ki/Ki+1	Ki/Ki+1	
Story4	19493.2	4881.9			
Story3	40373.8	6538.1	2.1	1.3	Ok
Story2	36936.9	5583.3	0.9	0.9	Ok
Story1	25807.5	3715.5	0.56	0.67	Mal

Fuente: Elaboración propia.

Irregularidad en altura, específicamente irregularidad extrema de rigidez. Con el reglamento de diseño sísmico, el factor de castigo asociado a este tipo de irregularidad es de: $I_a = 0.50$

Tabla 9. Evaluación de irregularidades de masa.

Story	Ux	Uy	Uz	mi/mi+1		
	tonf-s ² /m	tonf-s ² /m	tonf-s ² /m	Ux	Uy	Uz
Story4	11.5	11.5	11.5			
Story3	15.1	15.1	15.1	1.3	1.3	1.3
Story2	15.1	15.1	15.1	1.0	1.0	1.0
Story1	15.4	15.4	15.4	1.0	1.0	1.0

Fuente: Elaboración propia.

De la Tabla 8, se concluye que no existe irregularidad de masa.

Tabla 10. Evaluación de irregularidad torsional.

Nivel	DCM (m)	Dmax (m)	DrCM (m)	Drmax (m)	Drmax/DrCM
Story4	0.071	0.130	0.006	0.005	0.8
Story3	0.065	0.125	0.015	0.025	1.7
Story2	0.050	0.100	0.020	0.035	1.8
Story1	0.030	0.065	0.030	0.065	2.2

Fuente: Elaboración propia.

De los resultados presentados en la Tabla N° 09 se puede ver que la relación existente entre los desplazamientos máximos relativos y los desplazamientos relativos de los centros de masa, supera ampliamente el umbral máximo considerado en la norma de diseño sísmico, de 1.5; por tanto, se concluye que existe irregularidad torsional extrema, es decir:

$$I_p = 0.60$$

3.7. Análisis Estático no lineal

Es una técnica de análisis que permite evaluar el desempeño no lineal de una estructura cualquiera. Este análisis nos permite estimar resistencias laterales probables y capacidades de deformación. Es importante aclarar que los típicos análisis de estructuras basados en teorías lineales no son capaces de realizar estas estas predicciones, ya que no existen límites de resistencia definidos.

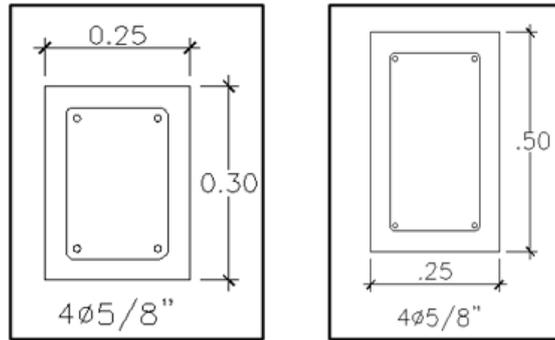


Figura 40. Secciones transversales típicas de columnas y vigas presentes en la estructura.

Fuente: Elaboración propia.

Un estudio apropiado de análisis estático no lineal da inicio con la evaluación de las características no lineales de los elementos estructurales, en este caso, las columnas y las vigas que forma parte del sistema resistente.

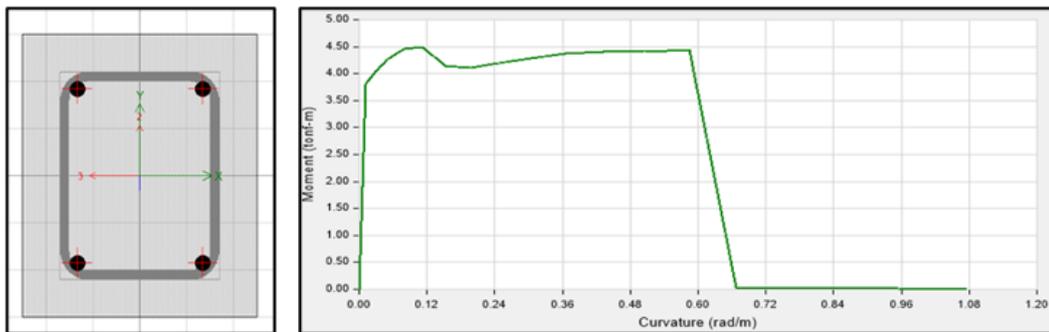


Figura 41. Modelamiento de la columna típica y diagrama momento curvatura.

Fuente: Elaboración propia.

El primer paso consiste en estudiar las secciones de concretos presentes en los análisis, esto implica, concreto y acero colocado en las secciones estructurales. Como segundo paso se deben construir curvas que relacionan las tensiones externas y las deformaciones asociadas. Con columnas y vigas, estos diagramas reciben el nombre de diagramas momento curvatura. En el caso analizado se muestran los diagramas momento curvatura de las columnas, vigas peraltadas y chatas.

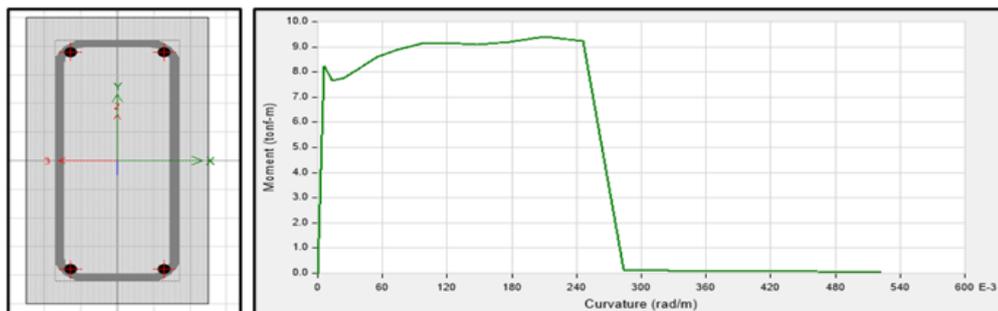


Figura 42. Modelamiento de viga peraltada y diagrama momento curvatura.

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede apreciar de los gráficos presentados existen claras diferencias entre las secciones estudiadas, no solo por los tamaños de las secciones, sino también por la cantidad de acero colocadas en cada una de estas.

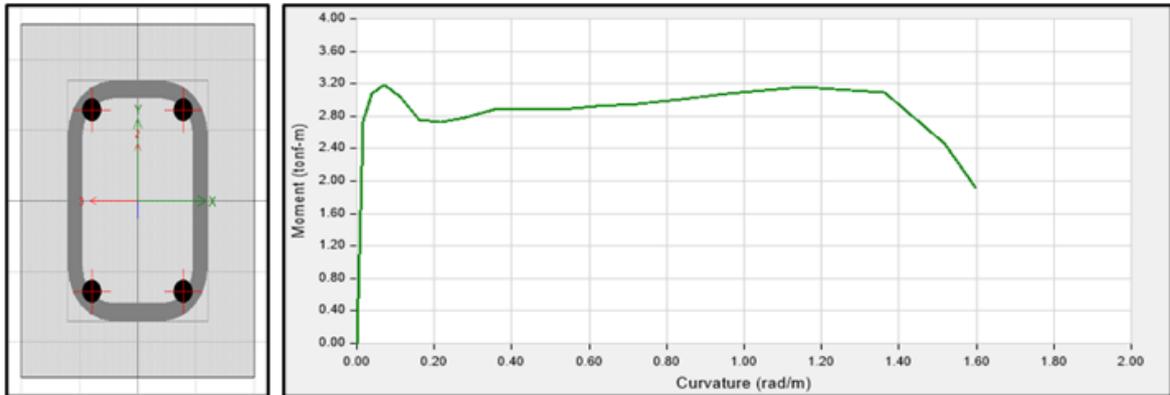


Figura 43. Modelamiento de viga chata y diagrama momento curvatura.
Fuente: Elaboración propia.

The screenshot shows the 'Displacement Control Parameters' dialog box. It contains a table with the following data:

Point	Moment/SF	Curvature/SF
E-	-0.2	-0.025
D-	-0.2	-0.015
C-	-1.1	-0.015
B-	-1	0
A	0	0
B	1	0
C	1.1	0.015
D	0.2	0.015
E	0.2	0.025

Other parameters shown in the interface include:

- Type:** Moment - Curvature (selected), Hinge Length: 0.30 m.
- Hysteresis Type and Parameters:** Hysteresis: Kinematic.
- Load Carrying Capacity Beyond Point E:** Drops To Zero (selected).
- Scaling for Moment and Curvature:** Use Yield Moment (unchecked), Use Yield Curvature (unchecked).
- Acceptance Criteria (Plastic Curvature/SF):** Immediate Occupancy (0.003), Life Safety (0.012), Collapse Prevention (0.015).

Figura 44. Generación de las rotulas plásticas asociadas a las columnas típicas.
Fuente: Elaboración propia.

Displacement Control Parameters

Point	Moment/SF	Curvature/SF
E-	-0.2	-0.025
D-	-0.2	-0.015
C-	-1.1	-0.015
B-	-1	0
A	0	0
B	1	0
C	1.1	0.015
D	0.2	0.015
E	0.2	0.025

Symmetric

Type

Moment - Rotation

Moment - Curvature

Hinge Length m

Relative Length

Hysteresis Type and Parameters

Hysteresis

No Parameters Are Required For This Hysteresis Type

Load Carrying Capacity Beyond Point E

Drops To Zero

Is Extrapolated

Scaling for Moment and Curvature

Use Yield Moment

Moment SF Positive Negative tonf-m

Use Yield Curvature (Steel Objects Only)

Curvature SF Positive Negative 1/m

Acceptance Criteria (Plastic Curvature/SF)

Immediate Occupancy

Positive Negative

Life Safety

Positive Negative

Collapse Prevention

Positive Negative

Show Acceptance Criteria on Plot

OK Cancel

Figura 45. Generación de las rotulas plásticas asociadas a las vigas peraltadas típicas.
Fuente: Elaboración propia.

Displacement Control Parameters

Point	Moment/SF	Curvature/SF
E-	-0.2	-0.025
D-	-0.2	-0.015
C-	-1.1	-0.015
B-	-1	0
A	0	0
B	1	0
C	1.1	0.015
D	0.2	0.015
E	0.2	0.025

Symmetric

Type

Moment - Rotation

Moment - Curvature

Hinge Length m

Relative Length

Hysteresis Type and Parameters

Hysteresis

No Parameters Are Required For This Hysteresis Type

Load Carrying Capacity Beyond Point E

Drops To Zero

Is Extrapolated

Scaling for Moment and Curvature

Use Yield Moment

Moment SF Positive Negative tonf-m

Use Yield Curvature (Steel Objects Only)

Curvature SF Positive Negative 1/m

Acceptance Criteria (Plastic Curvature/SF)

Immediate Occupancy

Positive Negative

Life Safety

Positive Negative

Collapse Prevention

Positive Negative

Show Acceptance Criteria on Plot

OK Cancel

Figura 46. Generación de las rotulas plásticas asociadas a las vigas chatas.
Fuente: Elaboración propia.

Es una función que relaciona la fuerza lateral total implementada a la estructura y los desplazamientos asociados a esas cargas. Permite estimar el comportamiento de una estructura por la aplicación de cargas laterales.

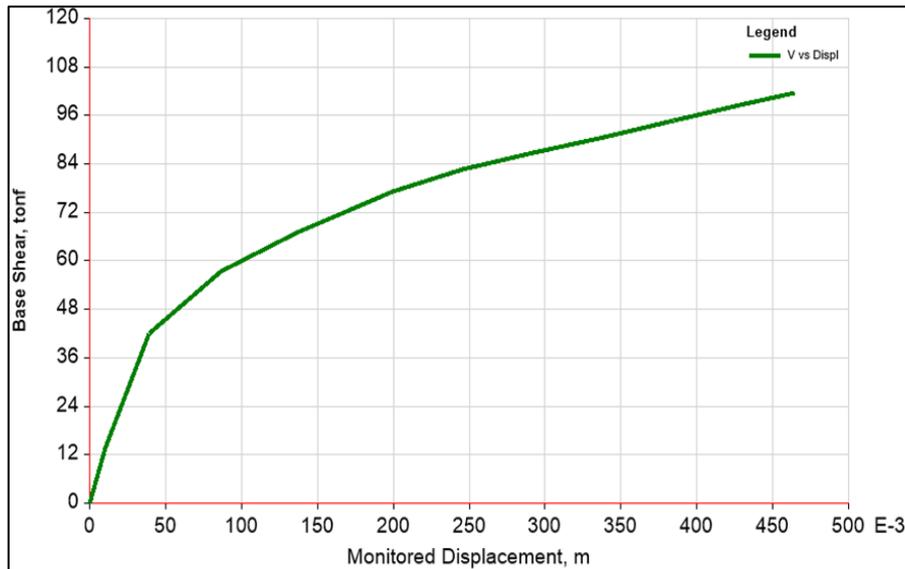


Figura 47. Curva de capacidad característica de la estructura analizada.
Fuente: Elaboración propia.

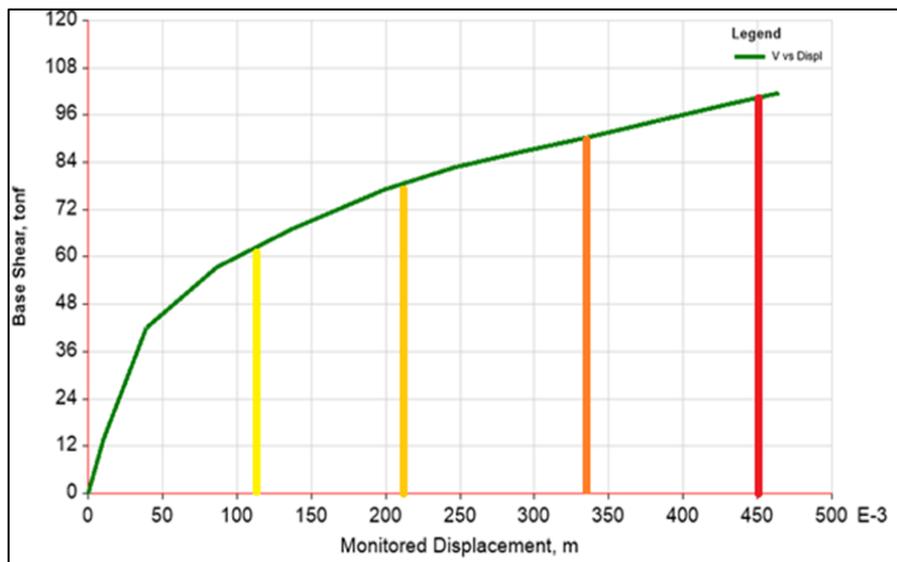


Figura 48. Determinación de las zonas de desempeño de la estructura analizada.
Fuente: Elaboración propia.

Con el Federal Emergency Management Agency FEMA P58, es posible asociar niveles de desempeño estructural con un punto conocido como punto de comportamiento estructural. El punto de comportamiento estructural se da por la intersección de la curva de capacidad de la estructura y la demanda sísmica. Este punto se interpreta teóricamente como aquel nivel al que una estructura es llevada por la acción de un determinado sismo.

En este sentido, en la Figura 48 se tiene la curva de capacidad de la estructura estudiada y las zonas que definen las etapas de comportamiento sísmico conocidos como: operacional, seguridad de vida, y prevención de colapso.

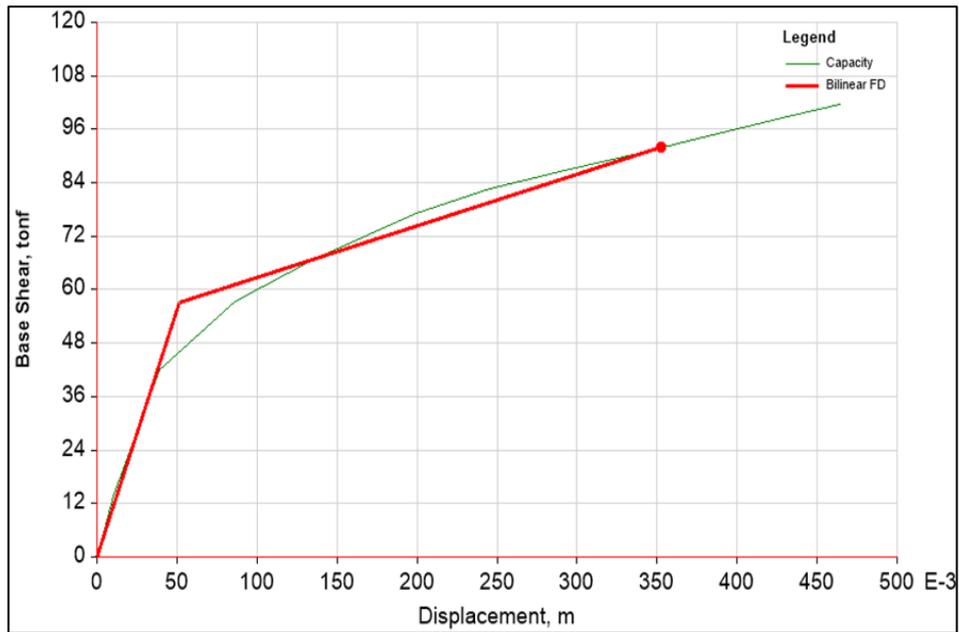


Figura 49. Determinación del punto de desempeño de la estructura existente.
Fuente: Elaboración propia.

Conviene recordar, además, que la norma peruana de diseño sísmico dice que para sismos raros las edificaciones deberán tener un desempeño sísmico equivalente a seguridad de vida; mientras que el caso en estudio y debido a la curva de capacidad se puede establecer que el nivel de comportamiento actual fue de prevención de destrucción, por lo que se recomienda el reforzamiento con alguna técnica apropiada.

3.8. Diseño de los disipadores metálicos

3.8.1. Registros sísmicos para el análisis

- Registro sísmico de Lima, octubre de 1974

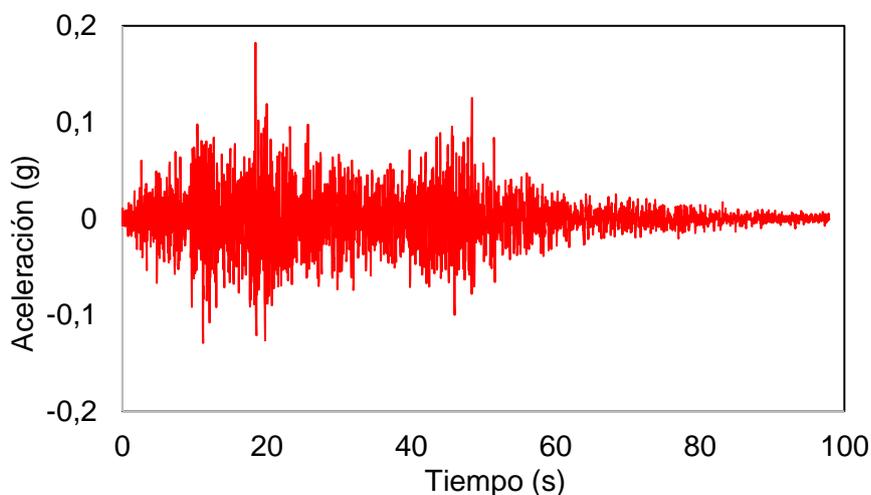


Figura 50. Registro de aceleración del sismo de 1974, componente EW.

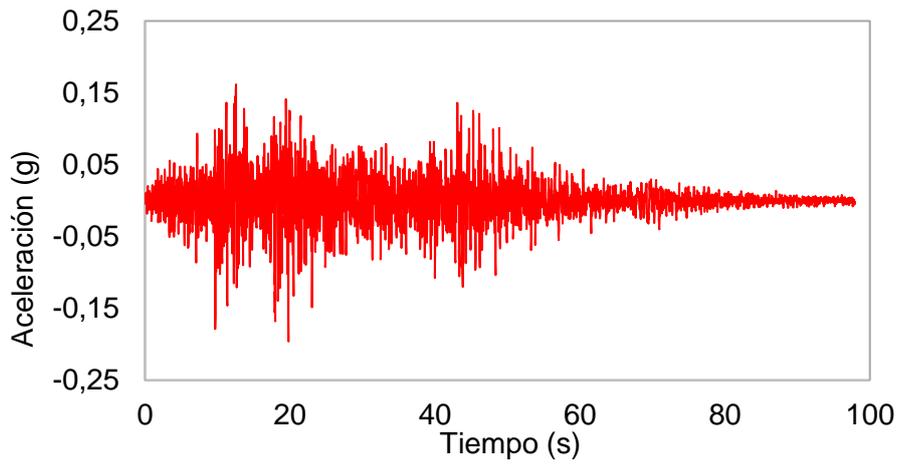


Figura 51. Registro de aceleración del sismo de 1974, componente NS.

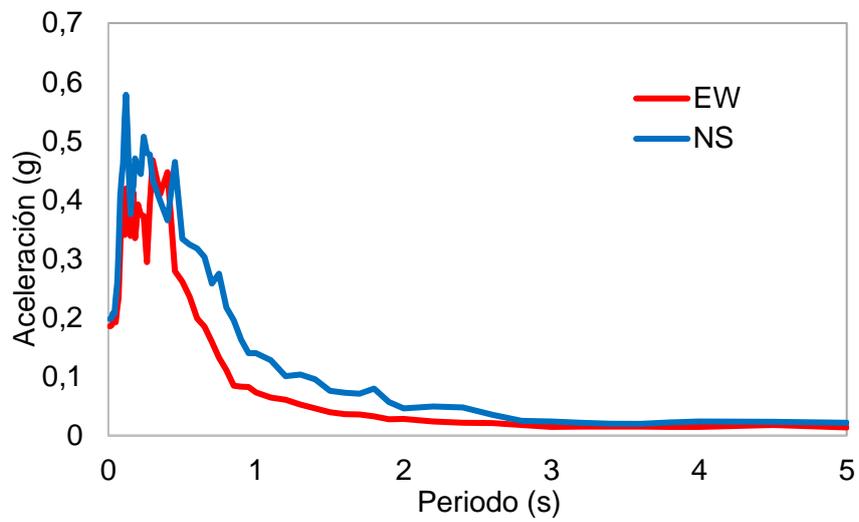


Figura 52. Espectro de aceleraciones del sismo de 1974, componentes EW y NS.

- **Registro sísmico de Atico, Arequipa 2001**

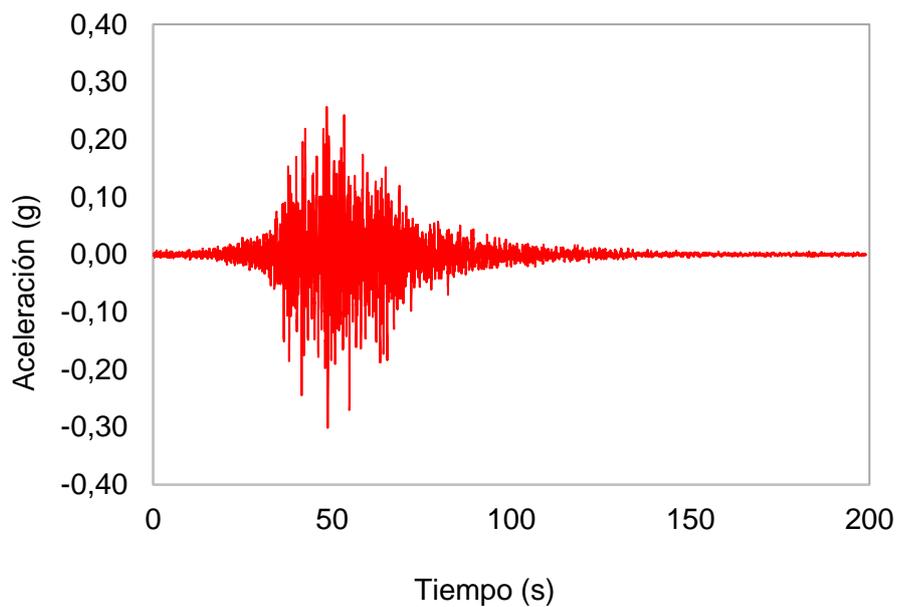


Figura 53. Registro de aceleración del sismo de Arequipa, componente EW.

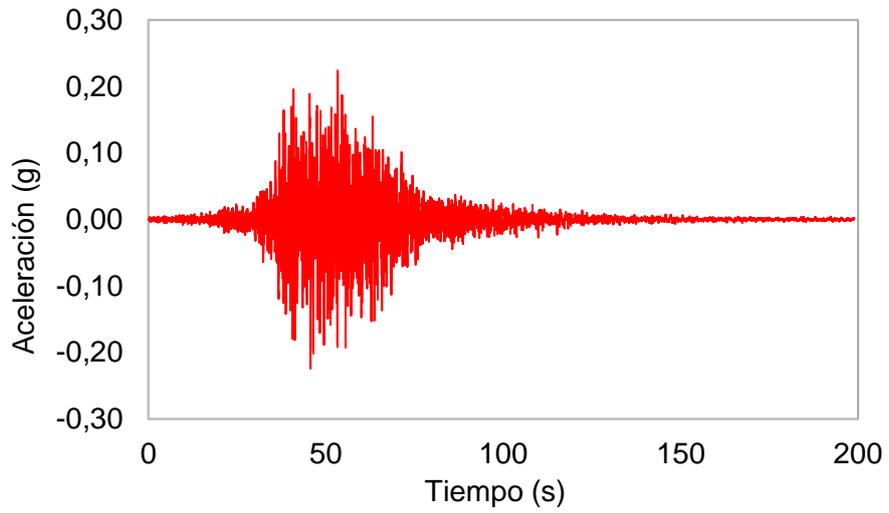


Figura 54. Registro de aceleración del sismo de Arequipa, componente NS.

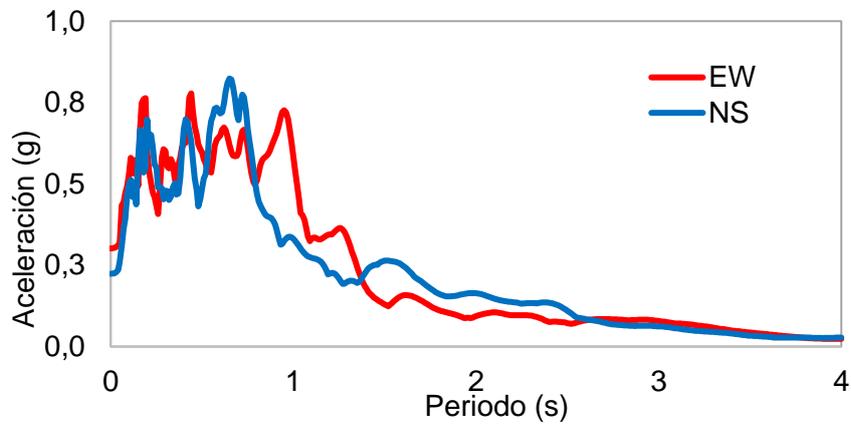


Figura 55. Espectro de aceleraciones del sismo de Arequipa, componentes EW y NS.

- **Registro sísmico de Pisco, Ica 2007**

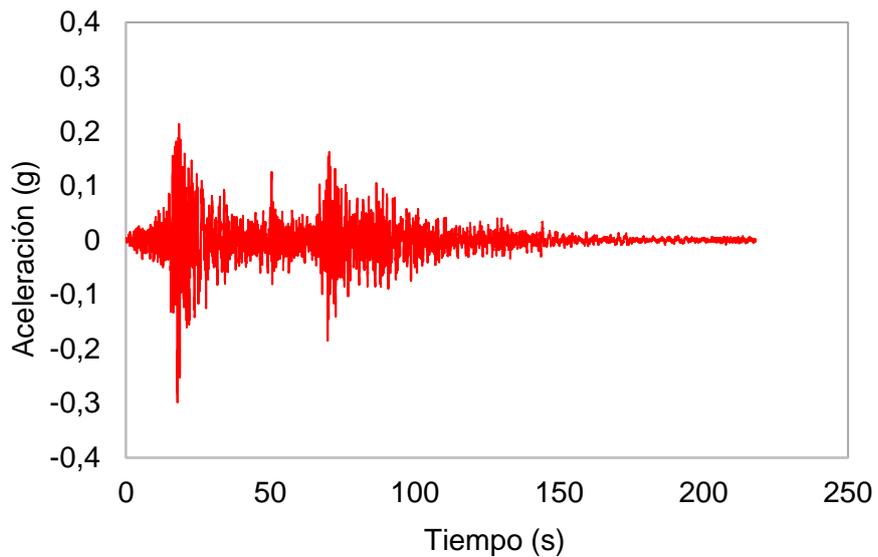


Figura 56. Registro de aceleración del sismo de ICA del 2007, componente EW.

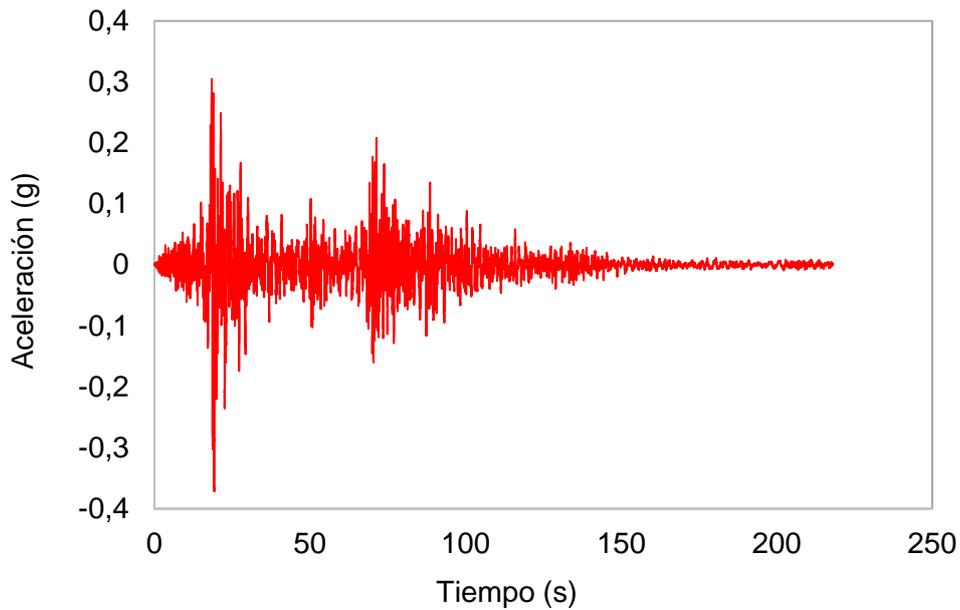


Figura 57. Registro de aceleración del sismo de ICA del 2007, componente NS.

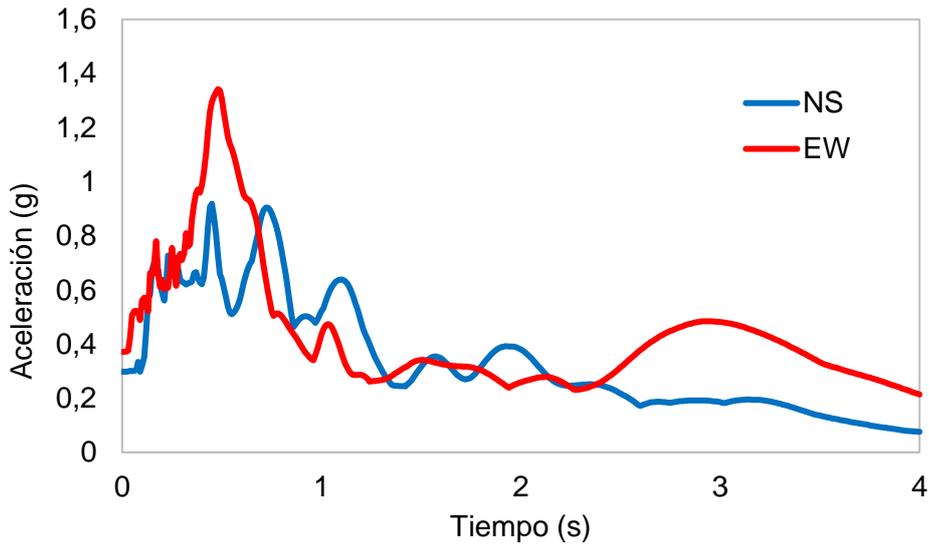


Figura 58. Espectros de aceleración de las componentes NS, EW, del sismo de Ica del 2007.

3.8.2. Niveles de peligro

Los niveles de peligro de un lugar dado hacen referencia a la probabilidad de que las aceleraciones inducidas en el suelo por un evento sísmico excedan de cierto valor prefijado. En la Figura 59, se tiene la curva de peligro asociada a la zona de estudio. Este gráfico nos brinda información valiosa acerca de lo que se puede esperar en el lugar, en términos de aceleraciones laterales. Cabe resaltar que esta curva fue obtenida del aplicativo web disponible en la página de SENCICO, y desarrollado por el Dr. Zeón Bardales y Alva Hurtado.

Si deseáramos conocer cuál es la probabilidad de que la aceleración lateral inducida por un sismo en la zona de estudio supere los 0.10g (100 gals aproximadamente), bastaría con ingresar al gráfico mostrado y evaluar que ordenada le corresponde, que en este caso sería 10%; mientras que en el caso que se desee saber cuál es la probabilidad anual que se exceda una aceleración de 0.40 g, de gráfico tendríamos que sería de 0.30%.

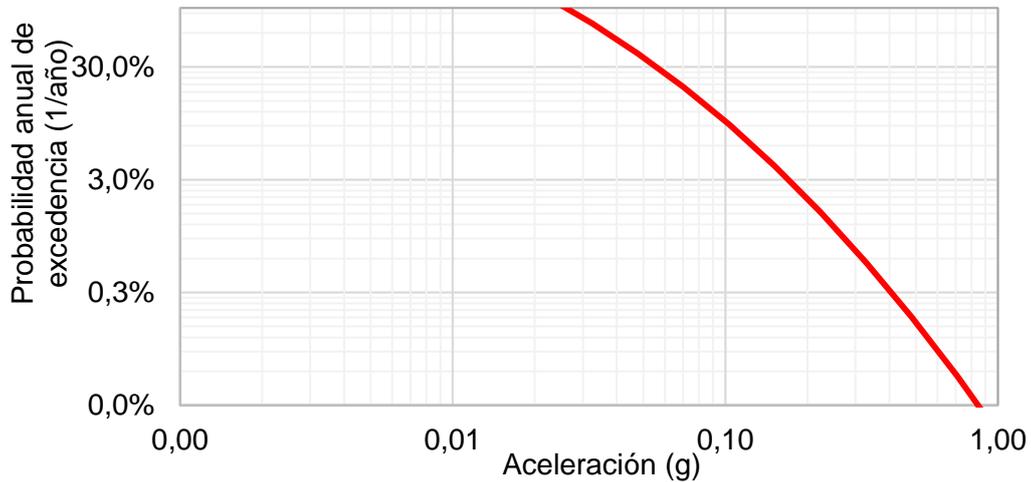


Figura 59. Curva de probabilidad anual de excedencia de aceleración del suelo en la zona de interés.

3.8.3. Espectro de peligro uniforme

Es aquel gráfico obtenido de una curva de probabilidad anual de excedencia, como la aceleración esperada para una estructura con periodo T, es decir, es una función que vincula la aceleración esperada en función del periodo de una estructura, además se debe tener en cuenta que todos los puntos de este gráfico tienen el mismo nivel de peligro. En la que se presentan tres curvas de peligro uniforme, obtenidas para tres niveles de peligro específicos, tales como $Tr=475$ años, $Tr=1000$ años y $Tr=2475$ años.

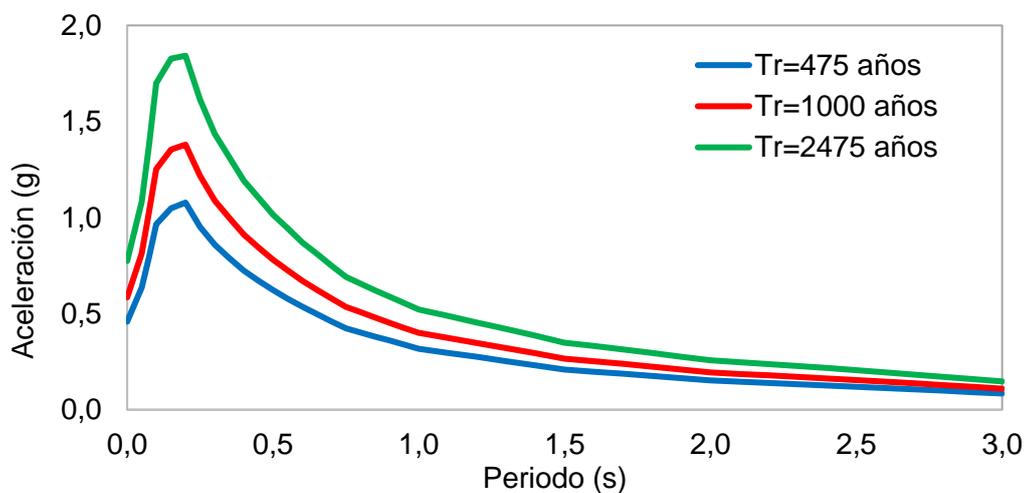


Figura 60. Espectros de Peligro uniforme para la zona de estudio y con tiempo de retorno de $Tr=475$ años, $Tr=1000$ años y $Tr=2475$ años.

3.8.4. Escalamiento de los registros sísmicos

Es un proceso matemático que tiene como finalidad incrementar la magnitud de aceleración de estos, bajo la aplicación de ciertos criterios. Usualmente, este proceso se hace con la finalidad de poder llevar el registro analizado a un nuevo nivel de peligro sísmico, ya que, por lo general, los registros sísmicos naturales son inferiores a los deseados para alcanzar algún nivel de peligro específico.

Tales niveles de peligro son usualmente dados en términos de tiempo de retorno, tales como $Tr=475$ años, $Tr=1000$ años y $Tr=2475$ años, como se tiene en la Figura 60.

En el caso de la norma peruana, el espectro de diseño dado en él se ha construido considerando un tiempo de retorno de 475 años, por lo que, si se desea examinar el desempeño sísmico de una edificación diseñada por la aplicación de la norma E.030 (2016), los registros sísmicos deben ser ajustados, de tal manera que el nivel de peligro sísmico de los registros usados, sean comparables con el espectro de diseño del reglamento peruano E.030.

Con la finalidad de poder observar de figura la relación del espectro de respuesta de los datos mencionados, con relación al espectro de diseño dados por la norma E.030, estos se han graficado simultáneamente en la Figura 61. De este gráfico se puede apreciar claramente que los espectros de repuesta de los registros naturales son en general de menor magnitud que los correspondientes en el caso de los espectros de diseño, esto es porque los espectros de diseño se han construido tomando como base, valores estadísticos.

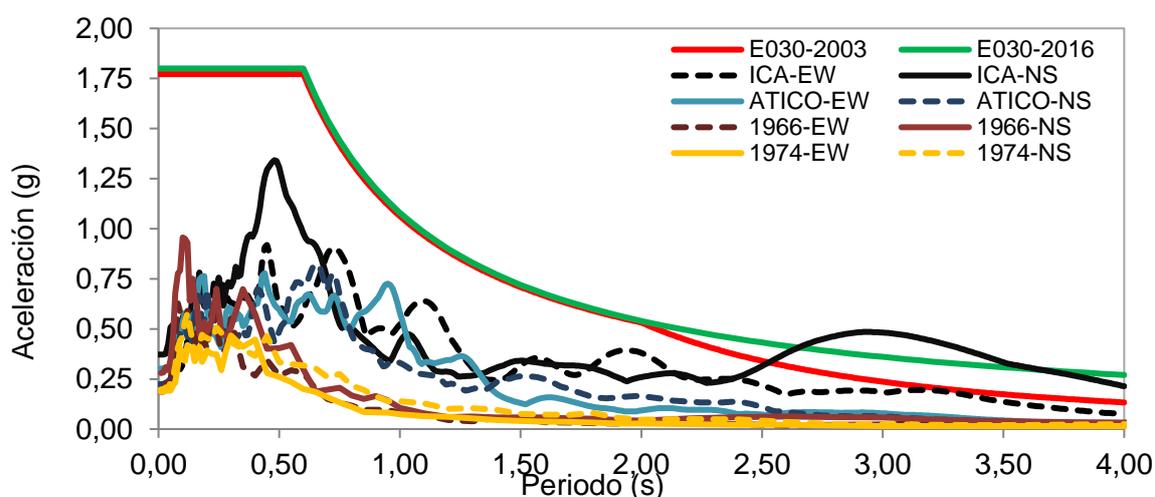


Figura 61. Relación de magnitud de aceleración entre el espectro de la norma E.030 del 2003, E.030 del 2016 y registros sísmicos naturales.

Fuente: Elaboración propia

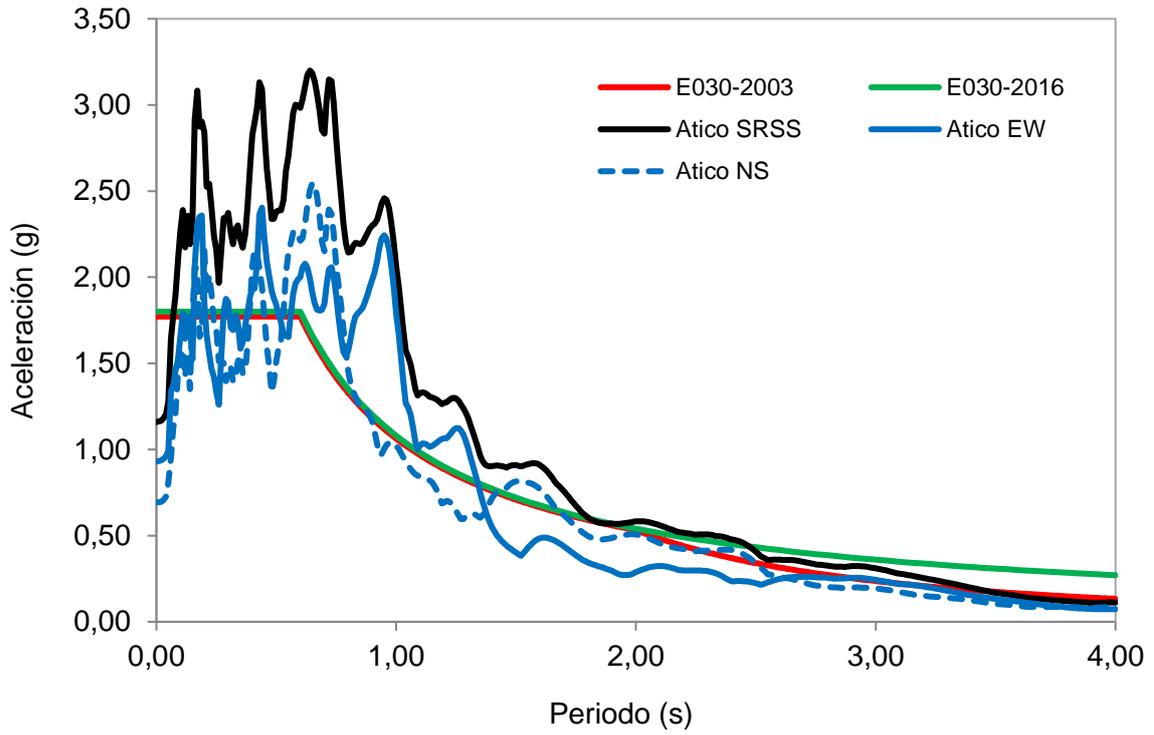


Figura 62. Escalamiento del registro sísmico de Arequipa 2001, mediante el método SRSS.
Fuente: Elaboración propia.

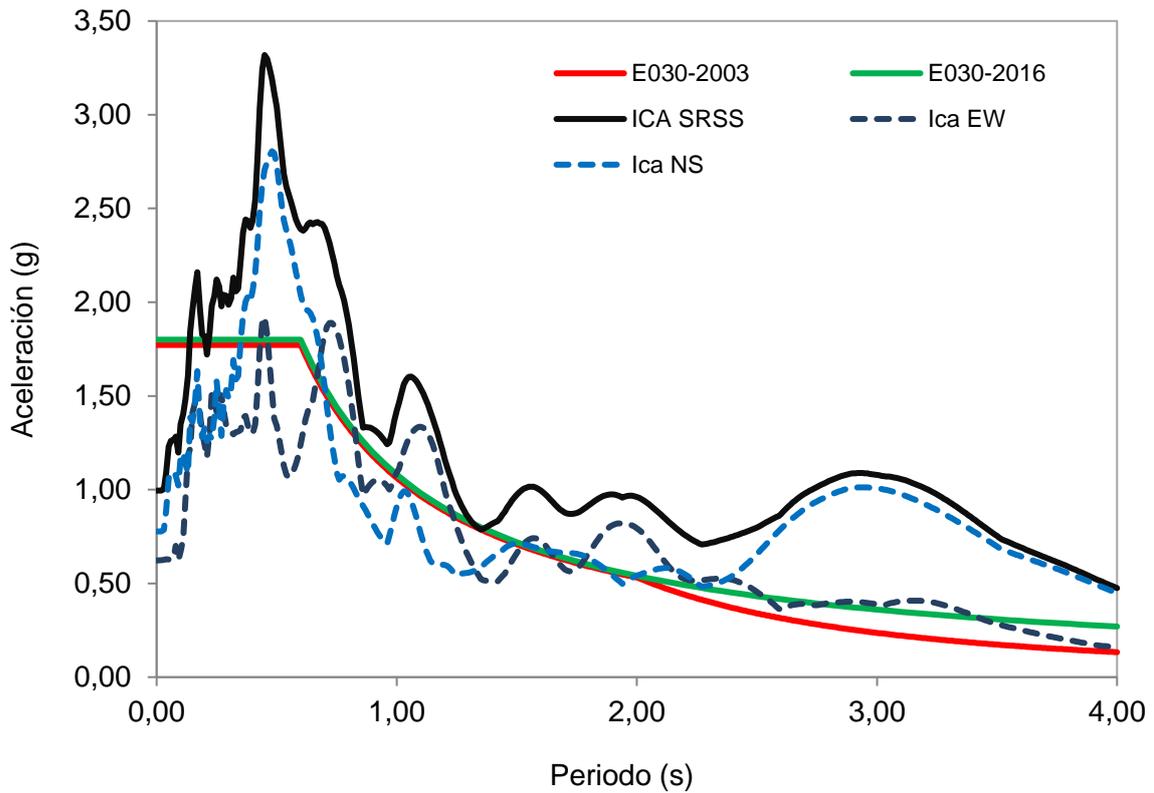


Figura 63. Escalamiento del registro sísmico de Pisco 2007, mediante el método SRSS.
Fuente: Elaboración propia.

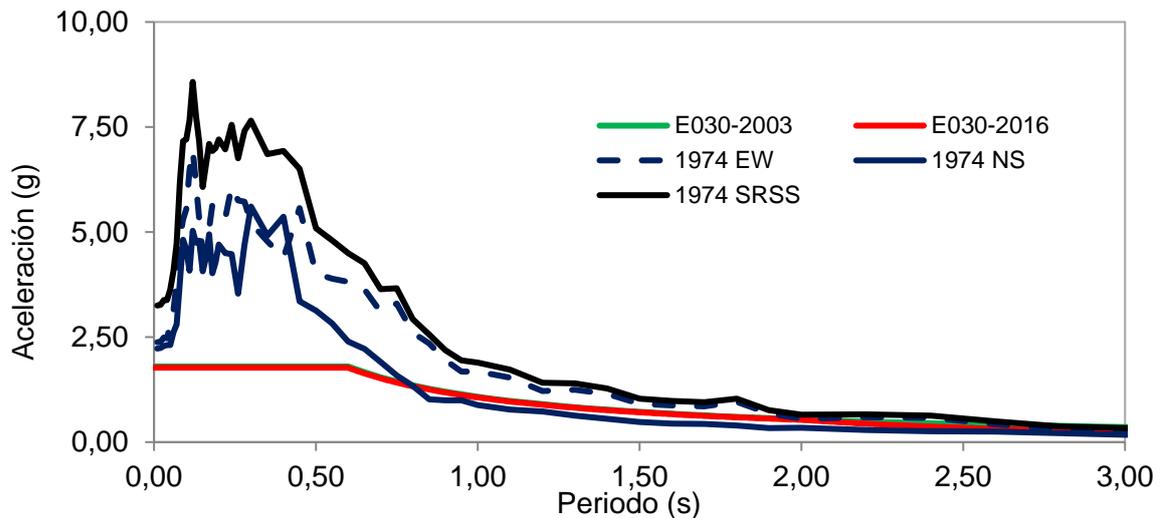


Figura 64. Escalamiento del registro sísmico de 1974, mediante el método SRSS.
Fuente: Elaboración propia.

Los espectros de diseño mostrados en la se ha construido para un tiempo de retorno de $Tr=2475$ años, el cual se pueden obtener a partir del espectro de diseño construido con $U=1$, y luego ser multiplicado por un factor de amplificación $Fa=1.5$, para finalmente obtener lo mostrado en la Figura 64.

Además, de acuerdo con la norma E.030, los registros sísmicos pueden ser escalados usando el método de la raíz cuadrada de los cuadrados de las componentes de los espectros de respuesta (SRSS). Según este método, el espectro debe ser escalado mediante un escalar, de tal manera que dentro del intervalo de periodos que va desde $0.2T$ hasta $1.5 T$, en donde T es el periodo de la estructura, todas las abscisas del espectro escalado superen el espectro de diseño objetivo.

De lo mencionado en líneas anteriores, se ha procedido a escalar los registros sísmicos presentados, de tal manera que los espectros correspondientes superen las abscisas del espectro de diseño obtenido mediante la norma de diseño, dentro del rango de periodos que van desde los 0.40 s hasta 3.15 s. Los resultados conseguidos para el caso del sismo de Pisco del 2007 se tienen en la Figura 64, mientras que los datos encontrados en el caso del sismo de Arequipa y del año 1974, se muestran en Figura 64.

3.8.5. Ubicación de los disipadores metálicos en el edificio

Los disipadores de energía SLB son piezas de metal adosadas en diversas partes de la estructura, de tal forma que permiten contener la energía sísmica ingresada al sistema a través de un sismo de gran magnitud. Además, en la actualidad existen numerosas formas y

configuraciones para su correcta instalación en la estructura. La más aceptada es la disposición chevron, mostrada en la Figura 66, ya que, aunque interrumpe los vanos donde se las coloca, esta interrupción es parcial, pudiendo ser usadas aun como fuentes de iluminación natural, hecho que es gran valor en el diseño arquitectónico.

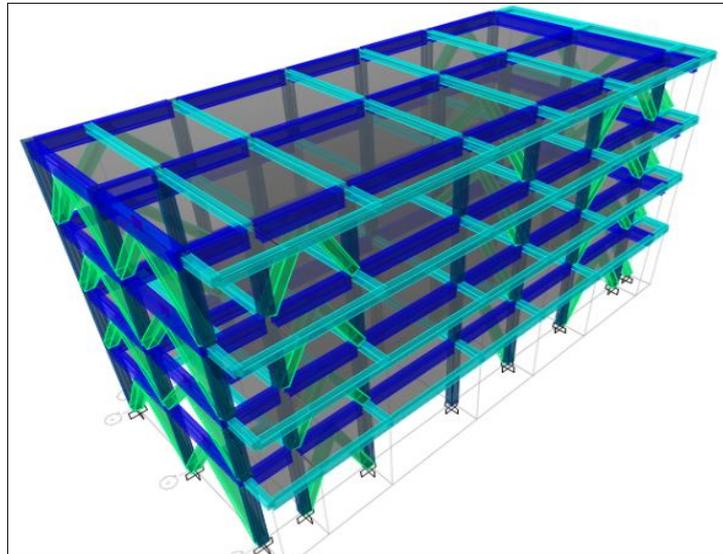


Figura 65. Modelo tridimensional de la estructura reforzada con disipadores metálicos.
Fuente: Elaboración propia.

Sobre la colocación de los dispositivos de disipación, se decidió colocar en las esquinas de la estructura analizada, ello, con la finalidad de minimizar el comportamiento torsional de la misma. Además, se ha elegido el uso de arriostres de acero dispuestos con un arreglo Chevron, de tal manera que sean los disipadores de energía los que absorban la mayor parte de la energía sísmica ingresada al edificio durante el movimiento sísmico.

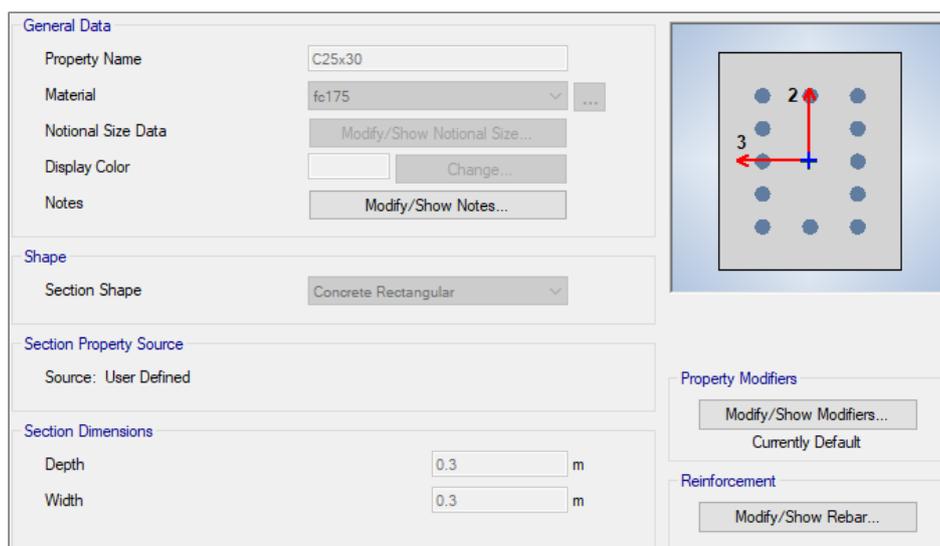


Figura 66. Sección transversal de la columna típica.
Fuente: Elaboración propia.

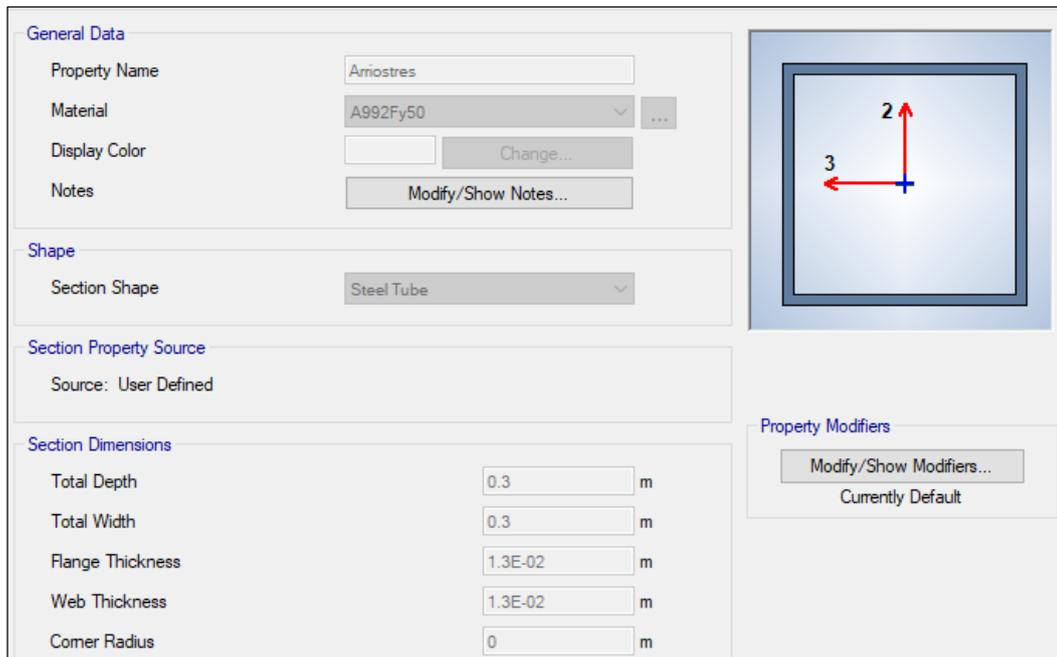


Figura 67. Sección transversal de los arriostres metálicos.
Fuente: Elaboración propia.

Con fines de análisis y diseño, se han considerado las columnas y vigas para las secciones transversales; además, se tienen las secciones transversales de los elementos de disipación de energía, tal como se tiene en la Figura 66, y las secciones transversales de los arriostres de acero, como se tiene en la Figura 67.



Figura 68. Sección transversal de los disipadores metálicos.
Fuente: Elaboración propia.

Una vez finalizado el modelo tridimensional de la estructura conteniendo los disipadores metálicos de energía, se procede a la realización de la prueba sísmica de la estructura

implementada. Los resultados más sobresalientes se muestran en las siguientes figuras, las que son descritas en esta misma sección.

En la Figura 69 un pórtico en la dirección Y de la estructura analizada, específicamente en el eje E1. Este gráfico tiene la colocación de fuerzas cortantes en la estructura por el sismo ocurrido en la dirección Y. Como se puede apreciar de esta imagen, las máximas fuerzas cortantes se han concentrado en los dispositivos metálicos.

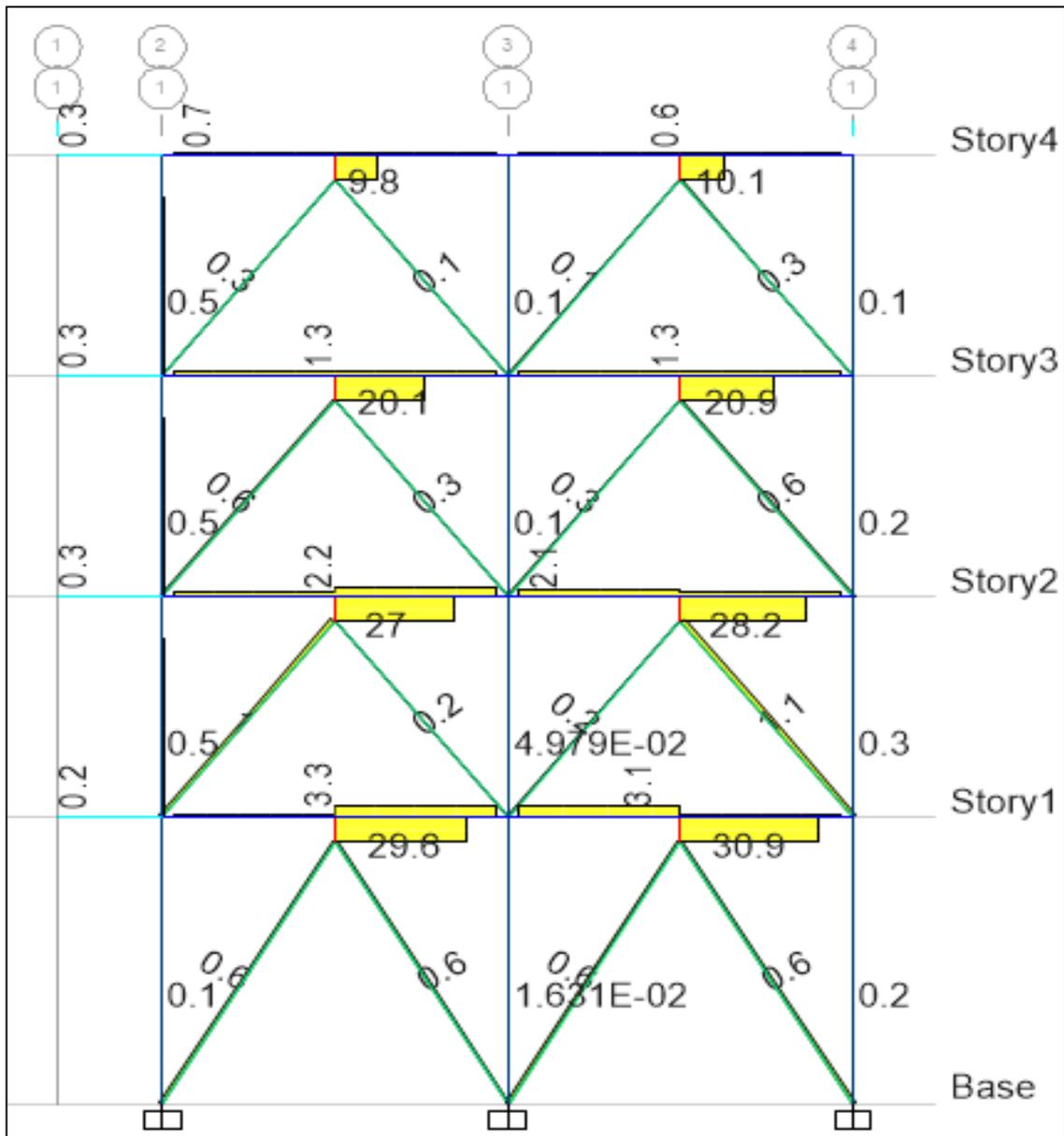


Figura 69. Distribución de fuerzas cortantes en los elementos estructurales E1.
Fuente: Elaboración propia.

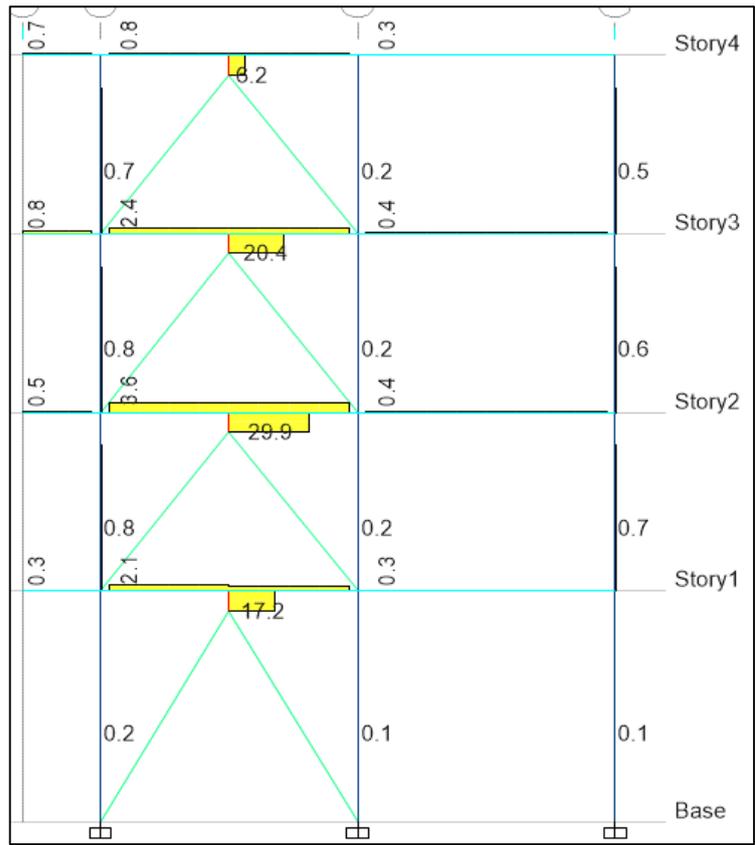


Figura 70. Distribución de fuerzas cortantes en dirección E5y.
Fuente: Elaboración propia.

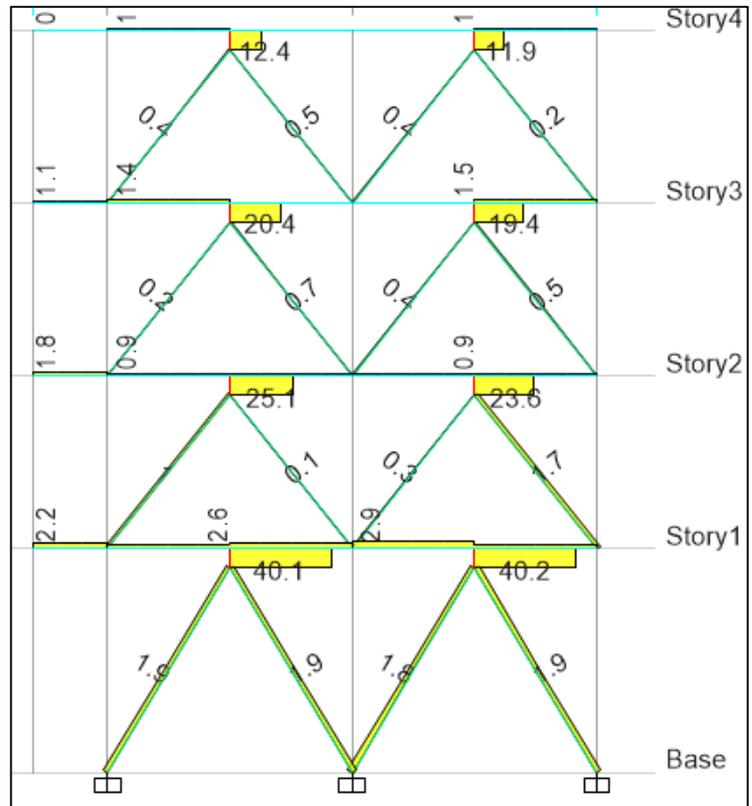


Figura 71. Distribución de fuerzas cortantes en el eje E8y.
Fuente: Elaboración propia.

Estos resultados indican que, ante la acción de un sismo de gran magnitud, ya no serán las columnas las que absorban los elevados niveles de fuerza cortantes a las que, si tenían que hacer frente en el caso de la estructura sin reforzamiento, sino que estos niveles de fuerzas sísmicas se han trasladado hacia los dispositivos de disipación de energía. Este hecho es notable, pues indica que es posible redirigir las fuerzas inducidas por un sismo en ciertos elementos. Estas ideas, pueden ayudar a construir nuevos conceptos de diseño, en la dirección de las más recientes ideas del diseño de estructuras por daño concentrado, aportadas, entre otros, por Wilson (2000).

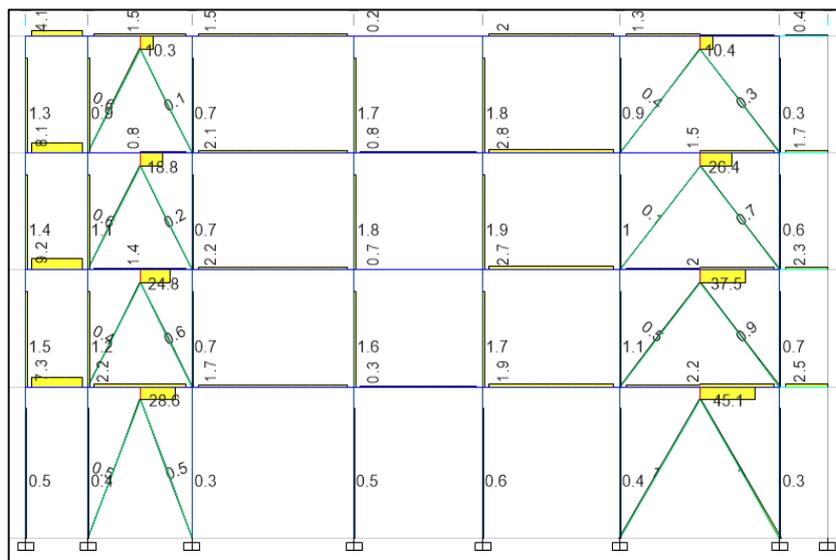


Figura 72. Distribución de fuerzas cortantes en el eje E2x
Fuente: Elaboración propia.

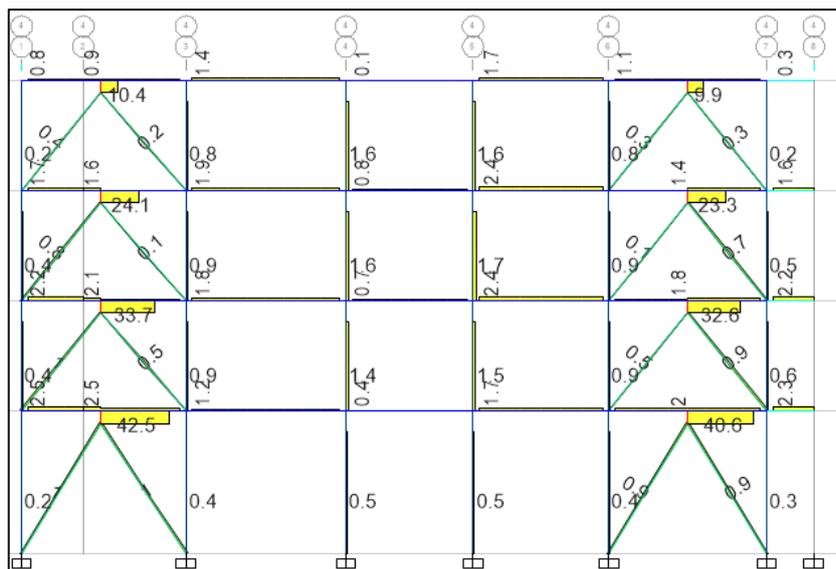


Figura 73. Distribución de fuerzas cortantes en el eje E4x.
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 11. Características geométricas y mecánicas de dispositivos metálicos.

Dispositivo	e	K1 (KN/cm)	K2 (KN/cm)	d y (mm)	ξ_x (kN)	D y (mm)	F_y (kN)	F_{max} (kN)	Da (mm)	Ed (KN.cm)
SL5 2	2	546.1	14.4	0.25	13.65	0.463	25.27	47.32	39.93	54
SL5 3	3	663.5	13.4	0.321	21.3	0.549	36.4	56.59	89.87	69
SL5 4	4	763.8	11.8	0.357	27.27	0.628	47.96	65.26	159.83	84
SL5 5	5	834.3	8.8	0.357	29.78	0.716	59.76	72.93	249.81	97
SL10 2	2	1,273.80	22.1	0.25	31.85	0.437	55.68	89.56	29.81	109
SL10 3	3	1,644.40	21.6	0.277	45.55	0.491	80.67	113.62	67.1	146
SL10 4	4	1,979.10	20.1	0.304	60.16	0.54	106.86	136.91	119.35	182
SL10 5	5	2,216.70	17.4	0.331	73.26	0.6	133	159.27	186.45	216
SL15 2	2	2,285.90	22.4	0.25	57.15	0.567	129.6	163.04	20.29	216
SL15 3	3	2,929.60	23.3	0.268	78.51	0.565	165.55	200.32	45.66	271
SL15 4	4	3,493.50	22.9	0.286	99.91	0.573	200.2	236.3	81.18	325
SL15 5	5	3,856.10	22.3	0.321	123.78	0.618	238.33	271.48	126.85	377
SL20 2	2	2,971.20	24.1	0.25	74.28	0.536	159.18	195.36	15.96	262
SL20 3	3	3,980.00	24.9	0.268	106.66	0.527	209.68	247.72	35.92	339
SL20 4	4	4,719.30	25.8	0.286	134.97	0.553	261	298.88	63.85	414
SL20 5	5	5,262.70	24	0.321	168.93	0.596	313.46	349.12	99.77	489
SL25 2	2	3,660.60	24.3	0.25	91.51	0.514	188.18	224.74	14.44	305
SL25 3	3	4,859.00	25.2	0.268	130.22	0.524	254.52	292.09	32.5	404
SL25 4	4	5,921.30	24.7	0.286	169.35	0.544	321.82	358.05	57.79	501
SL25 5	5	6,613.50	24.5	0.321	212.29	0.588	389.2	423.17	90.3	597
SL30 2	2	4,353.60	24.5	0.25	108.84	0.497	216.56	253.78	13.75	348
SL30 3	3	5,791.00	25.5	0.268	155.2	0.513	297.22	336.02	30.93	468
SL30 4	4	7,129.90	25.4	0.286	203.91	0.531	378.46	416.81	54.99	587
SL30 5	5	7,981.80	25.2	0.321	256.21	0.575	459.17	496.73	85.92	704
SL40 2	2	5,820.40	30.9	0.25	145.51	0.49	285.12	331.02	14.02	455
SL40 3	3	7,778.50	32	0.268	208.46	0.507	394.44	442.74	31.55	619
SL40 4	4	9,621.20	33.1	0.286	275.17	0.523	503.33	553.98	66.9	781
SL40 5	5	10,777.40	31.8	0.321	345.95	0.57	614.29	662.15	104.53	941
SL50 2	2	7,223.60	32.9	0.25	180.59	0.473	342	391.08	13.4	542
SL50 3	3	9,703.10	35.9	0.268	260.04	0.495	480	533.58	30.16	749
SL50 4	4	12,109.30	32.7	0.286	346.33	0.514	622.22	671.76	53.62	954
SL50 5	5	13,566.70	31	0.321	435.49	0.563	764	810.65	83.79	1160

Fuente: Bozzo y Gaxiola (2015).

3.8.6. Características dinámicas de la estructura reforzada

La adición de dispositivos mecánicos en la estructura siempre tendrá un efecto importante las características dinámicas, lo que a su vez se verá reflejado directamente las formas de modo. Además, las características dinámicas, específicamente las formas de modo tendrán

un impacto directo en la respuesta sísmica, por lo que su estudio es fundamental en la predicción e la respuesta sísmica.

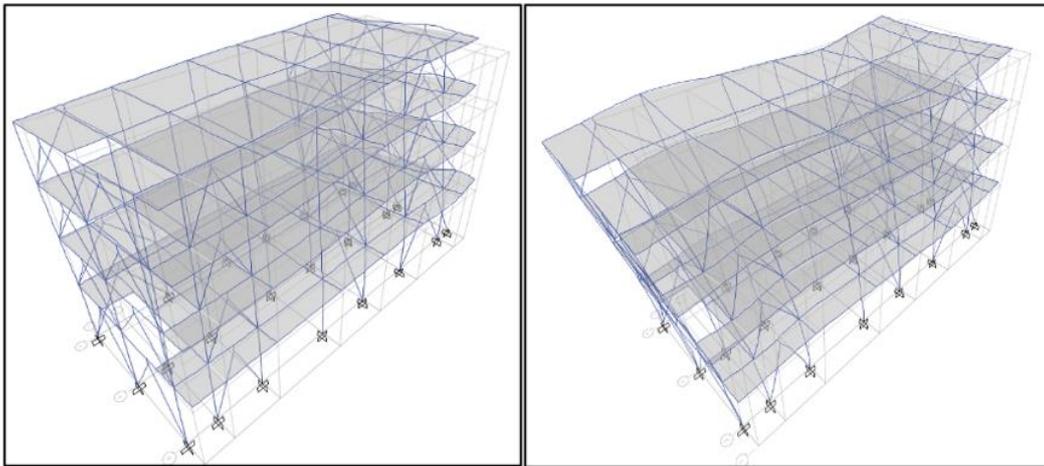


Figura 74. Primera ($T1=0.286$ s) y segunda ($T2=0.256$ s) formas de modo de la estructura analizada.
Fuente: Elaboración propia.

En este sentido, en la Figura 74 se muestran la primera y segunda formas de modo de la estructura reforzada. Como se ve de las figuras mencionadas, tanto la primera como la segunda formas de modo fueron traslacionales. Este hecho representa una mejora sustancial de la encontrada en secciones anteriores para el caso de la estructura sin reforzamiento.

Otro parámetro importante es el periodo asociado a cada una de estas formas modales. De estos resultados se puede observar que ha existido una reducción de la estructura, por lo que se puede decir que la rigidez se ha incrementado de manera considerable.

Comentarios similares puede hacerse con respecto de la tercera y cuarta formas de modo, las que se presentan a continuación.

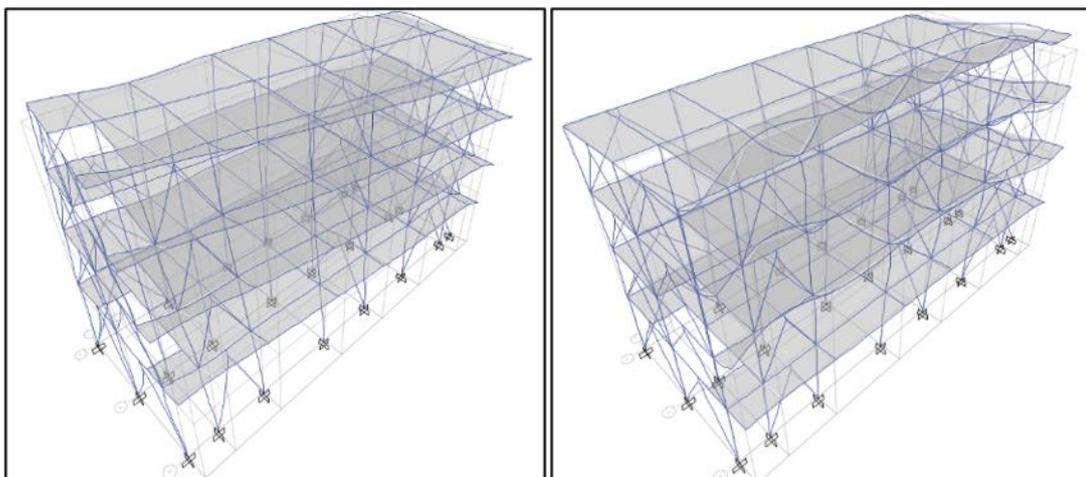


Figura 75. Tercera ($T1=0.151$ s) y cuarta ($T2=0.104$ s) formas de modo de la estructura analizada.
Fuente: Elaboración propia.

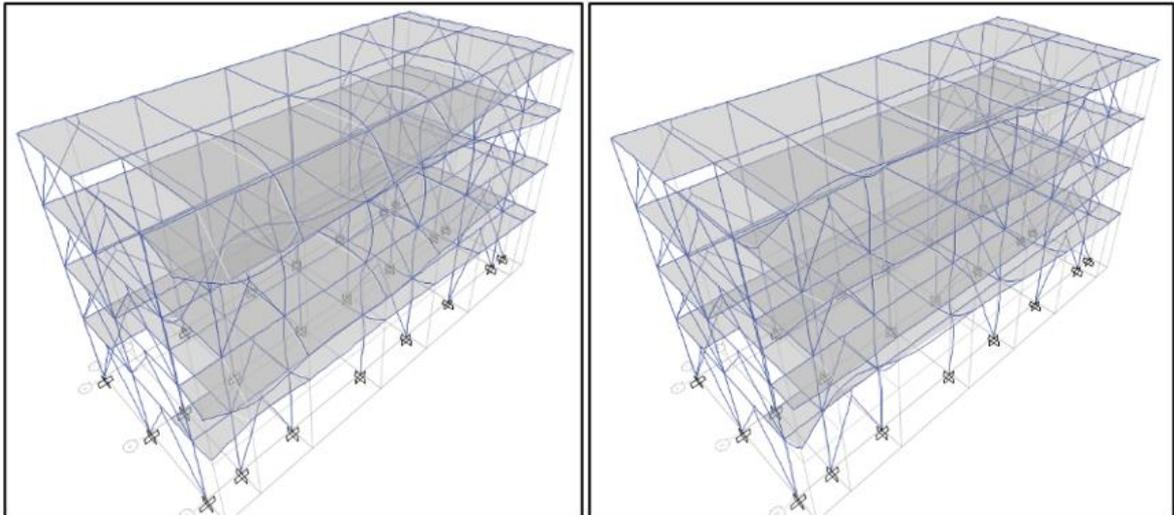


Figura 76. Quinta ($T_5=0.101$ s) y sexta ($T_6=0.100$ s) formas de modo de la estructura analizada.
Fuente: Elaboración propia.

3.8.7. Respuesta sísmica de la estructura reforzada

Las pruebas de la estructura reforzada se muestran a continuación. Es importante mencionar que se han evaluado los parámetros considerados en las secciones anteriores, tales como máximos desplazamientos, máximas distorsiones laterales y máximos niveles de fuerzas cortantes.

Máximos desplazamientos laterales

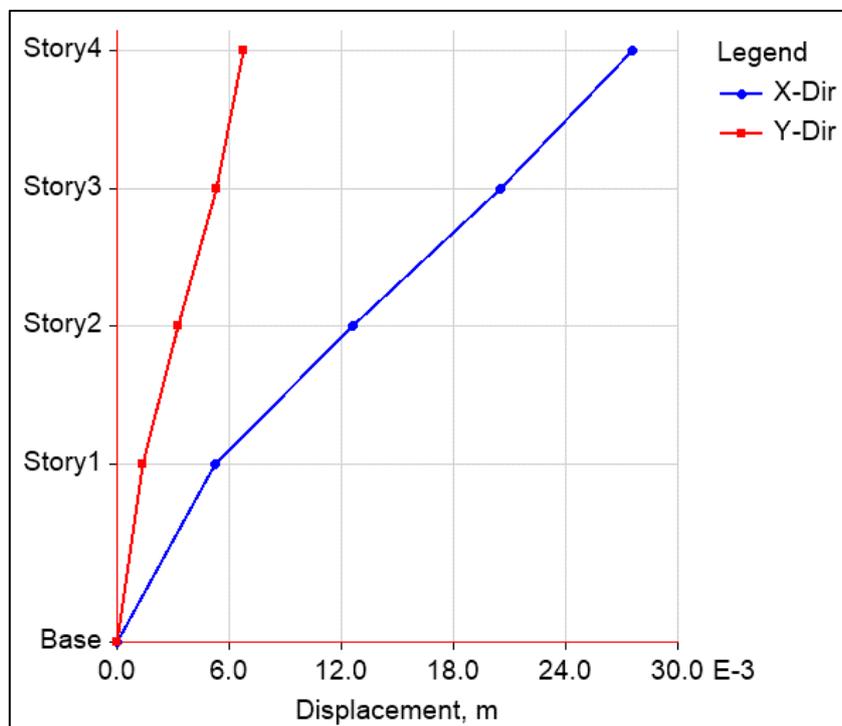


Figura 77. Máximos desplazamientos laterales debidos al sismo X.
Fuente: Elaboración propia.

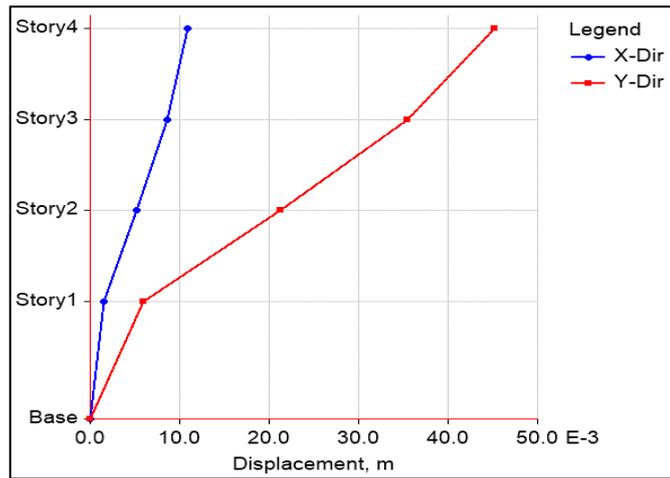


Figura 78. Máximos desplazamientos laterales en dirección Y.
Fuente: Elaboración propia.

Máximas distorsiones laterales

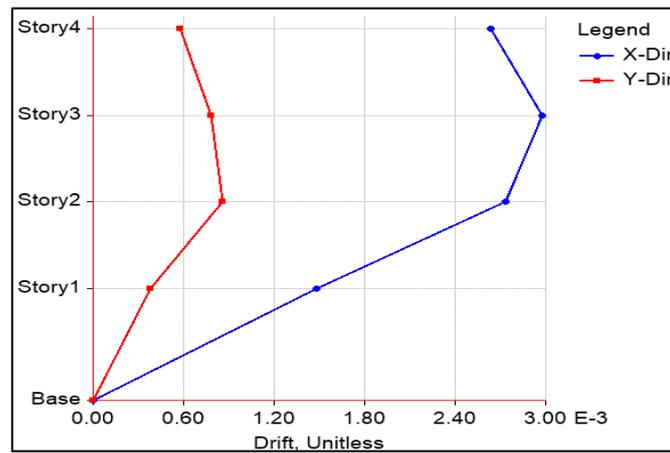


Figura 79. Máximas distorsiones laterales debidas al sismo en X.
Fuente: Elaboración propia.

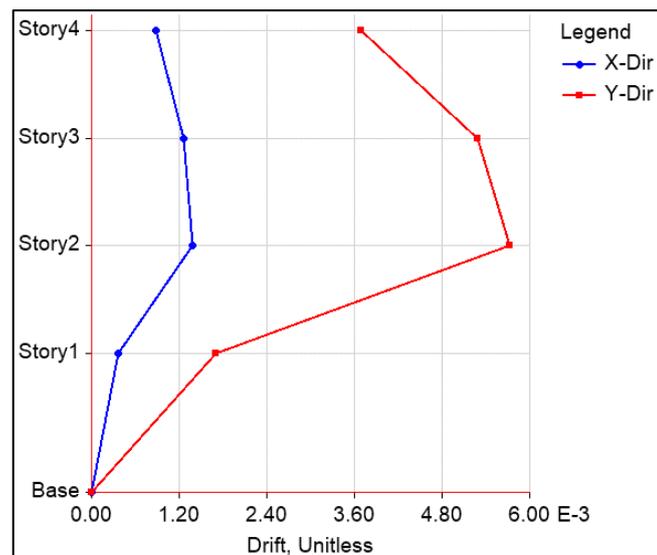


Figura 80. Máximas distorsiones laterales debidas al sismo en Y.
Fuente: Elaboración propia.

Máximas fuerzas cortantes

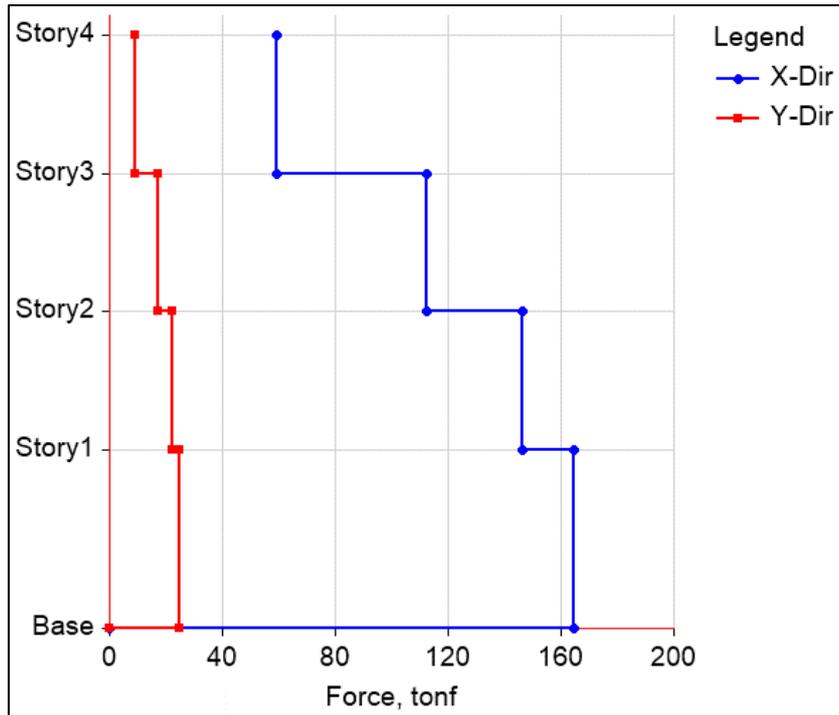


Figura 81. Máximas fuerzas cortantes de entrepiso debido al sismo en X.
Fuente: Elaboración propia.

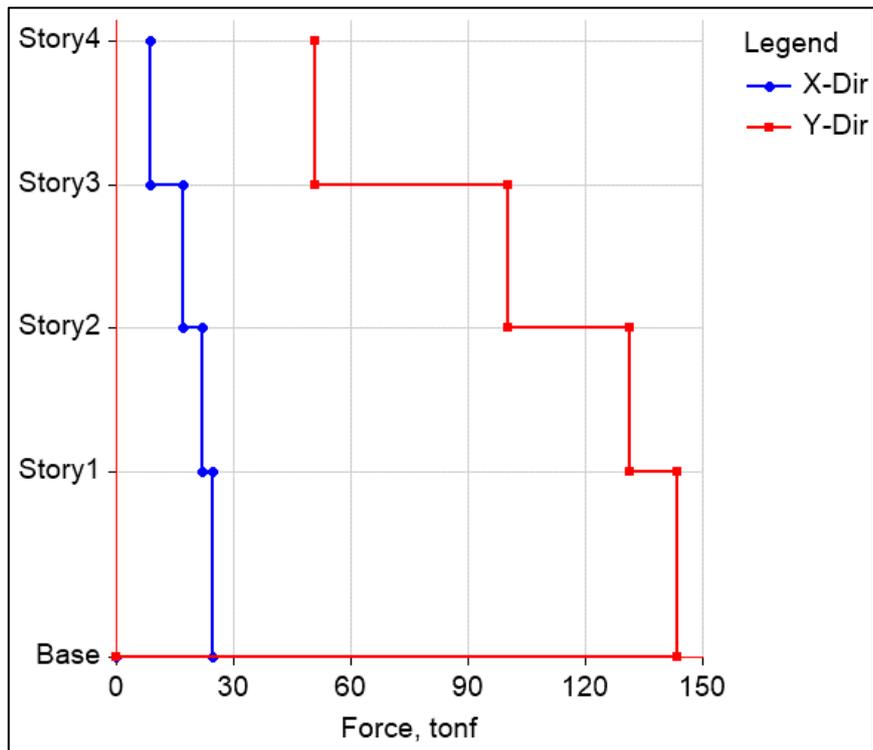


Figura 82. Máximas fuerzas cortantes de entrepiso debido al sismo en Y.
Fuente: Elaboración propia.

IV. DISCUSIÓN

La práctica actual de la ingeniería estructural plantea el uso de disipadores de energía tanto para el caso de estructura nuevas como para el caso de estructuras existentes. De hecho, es en estas últimas donde, a parecer del autor, los dispositivos disipadores de energía toman mayor relevancia, ya que muchas de las estructuras existentes son altamente vulnerables a los efectos de un sismo de gran magnitud, pero, sin embargo, a diferencia de las estructuras nuevas, las medidas correctivas no son fáciles de aplicar y, son demasiado costosas.

Según Bozzo (2018) según su investigación, estas piezas metálicas rectangulares son sometidas a un esfuerzo de corte en la cual disipa grandes cantidades de energía en cada ciclo de histéresis y además estos dispositivos son fáciles de implementar en estructuras ya existentes.

En este sentido, a la fecha existen numerosas técnicas de disipación de energía sísmica, como los más famosos disipadores de fluido viscoso, mismos que aun siendo efectivos, tienen un costo de colocación bastante elevado. En este sentido, los disipadores metálicos basados en la fluencia de los metales resultan de una alternativa útil ya que su colocación en una estructura es económica y a la vez efectiva.

La efectividad de los disipadores metálicos se ha demostrado plenamente en la sección anterior. Especialmente en cuanto a su efectividad para la reducción del movimiento de la estructura máxima. Del análisis de los antecedentes, se ha podido apreciar que efectivamente, las correctas aplicaciones de los dispositivos metálicos en una edificación logran reducciones notables de este parámetro, tal como se ha visto en los trabajos de Muad Mulla et. Al (2014)

Además, Chang Hwan et. al (2016) encontraron que los dispositivos de disipación de energía basados en múltiples tiras metálicas logran disminuir los máximos desplazamientos laterales, haciendo evidente una reducción notable de las fuerzas sísmicas actuantes en la estructura.

En cuanto al estado actual de la estructura analizada se debe mencionar que se realizaron esencialmente dos tipos de análisis, siendo el análisis modal espectral el primero de ellos y el análisis estático no lineal el segundo. El primer análisis ha mostrado que las máximas distorsiones laterales de la estructura superan con facilidad los límites máximos impuestos

por el reglamento de diseño sísmico. Esto demuestra que la estructura tiene una deficiencia de rigidez lateral en la dirección transversal de la estructura, por lo que se anticipa un comportamiento sísmico inadecuado. En cuanto al análisis estático no lineal, este método nos ha mostrado que el punto de desempeño de la estructura se encuentra en una zona de prevención de colapso, por lo que se puede afirmar que la estructura no resiste los sismos, en especial uno consecuente con el nivel de peligro sísmico establecido en el reglamento sísmico peruano.

De estos dos aspectos de debe mencionar que la estructura, tal existe, es será víctima de un sismo de gran magnitud, dejándola severamente dañada, como mínimo. Estos resultados nos obligan a tomar acciones preventivas.

A raíz de los resultados adversos encontrados en la estructura actual, se ha demostrado que los disipadores de energía aumentar la rigidez lateral de estas estructuras en la dirección deficiente, por lo que se puede concluir que el reforzamiento propuestos es práctico y económico, además de ser fácil de instalar, ya que, a diferencia de otros métodos, no requiere la destrucción de las columnas existente.

V. CONCLUSIONES

- La implementación de los disipadores de energía metálicos ha logrado una mejora sustancial de la respuesta estructural.
- Se ha podido observar que la estructura analizada, en su forma actual, presenta una serie de deficiencias. Entre ellas se han observado elementos estructurales muy esbeltos, en especial las columnas de concreto armado y las vigas. Además, el estudio estático no lineal ha mostrado que el comportamiento sísmico no resulta adecuado, mientras que el análisis modal espectral ha mostrado que las máximas derivas de entrepiso, tanto en dirección “x” como “y”, superan largamente las máximas distorsiones permitidas por la norma E030 (2018).
- Los dispositivos de disipación de energía tienen un comportamiento sísmico estable, basado en lasos de histéresis de mediana envergadura, lo que hace que resulten muy efectivos a la hora de disipar grandes cantidades de energía.
- La aplicación de dispositivos de energía metálicos ha logrado concentrar las fuerzas cortantes en estos, por lo que las columnas y vigas se ven liberados al 100% de la demanda sísmica. Además, los análisis sísmicos llevados a cabo han mostrado que la respuesta sísmica ha tenido una mejora notable al ser comparada con la respuesta sísmica antes del reforzamiento.

VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda la implementación del proyecto en estructuras con deficiencias, tales como máximas distorsiones excedidas.
- Se recomienda la evaluación estructural de las edificaciones con potencial de ser reforzadas mediante la aplicación de disipadores de energía.
- Se recomienda que los dispositivos disipadores de energía se coloquen en estructuras con insuficiente rigidez lateral, ya que como se ha visto a largo de este trabajo, logra incrementar la rigidez lateral.
- Se recomienda la aplicación de disipadores metálicos de energía en estructuras esenciales, tales como hospitales, escuelas, edificios de las fuerzas armadas, entre otros tipos.

VII. REFERENCIAS

1. AGUIAR Falconi, R. Análisis sísmico por desempeño. Centro de Investigaciones Científicas. Escuela Politécnica del Ejército [en línea]. 2015. [Fecha de consulta: 20 de enero de 2020]. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/280627456_Analisis_Sismico_por_Desempeno
2. BOZZO, L., y GAXIOLA, G. El concepto de rígido-flexible-dúctil y las conexiones SLB. Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica. México: Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica [en línea]. 2015. [Fecha de consulta: 15 de diciembre de 2019]. Disponible en https://www.academia.edu/30347209/EL_CONCEPTO_RIGIDO_FLEXIBLE_DUCTIL_Y_LAS_CONEXIONES_SLB
3. CHANG-Hwan, L., JINKYU, K., DO-HYUM, K., Jaeho, R., y YOUNG, J. Numerical and experimental analysis of combined behavior of shear-type friction damper and non-uniform strip for multi-level seismic protection. Engineering Structures [en línea]. Mayo 2016, n° 114. [Fecha de consulta: 10 de octubre de 2019]. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2016.02.007>
4. CHANG-HWAN, L., SEUUNG-HEE, L., DO-HYUM, K., Jintak, O., y YOUNG, J. Hourglass-Shaped strip damper subject to monotonic and cyclic loadings. Engineering Structures [en línea]. Julio 2016, n°119. [Fecha de consulta: 2 de diciembre de 2019]. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2016.04.019>
5. CARPIO Diaz, Bruno. Análisis comparativo de una edificación aporticada con y sin aislación sísmica mediante el Método Estático no Lineal-caso Hospital Pichanaqui, Junín en el 2017. Tesis (Ingeniero Civil). Lima: Universidad César Vallejo, 2017. Disponible en <https://hdl.handle.net/20.500.12692/1385>
6. GAXIOLA, G., Gonzales, H., y BOZZO, L. Proceso de análisis y diseño utilizando disipadores sísmicos tipo SLB. Bozzo Estructuras y proyectos S.L. [en línea]. Enero 2016. [Fecha de consulta: 10 de noviembre de 2019]. Disponible en <http://luisbozzo.com/wp-content/uploads/2018/05/Procedimiento-para-el-dise%C3%B1o-con-SLB-Rev7.pdf>

7. HERNÁNDEZ Morales, Hernán. Comportamiento sísmico de edificios aislados en la base en distintas etapas del proceso constructivo. Tesis (Ingeniero Civil). Lima: Universidad Nacional de Ingeniería, 2016.
8. HERNÁNDEZ Sampieri, Roberto, FERNÁNDEZ Collado, Carlos y BAPTISTA Lucio, María del Pilar. Metodología de la Investigación. 6ta ed. México D.F. s.n., 2014. 634 pp.
9. HSU, H., y HALIM, H. Improving seismic performance of framed structures with curved steel dampers. *Engineering Structures* [en línea]. Enero 2017. [Fecha de consulta: 12 de noviembre de 2019]. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2016.09.063>
10. HURTADO, F., y BOZZO, L. Numerical and experimental analysis of a shear-link energy dissipator for seismic protection of buildings. 14th World conference on earthquake engineering [en línea]. Octubre 2008. [Fecha de consulta: 22 de setiembre de 2019]. Disponible en <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.554.4703&rep=rep1&type=pdf>
11. HUAPAYA Huertas, Raúl. Evaluación de los indicadores de comportamiento sísmico de edificios con sistema aporticado a través del método estático no lineal. Tesis (Ingeniero Civil). Lima: Universidad Ricardo Palma, 2017.
12. KYUM-WON, M., JI-YOUNG, S., y JINKOO, K. Simple design procedure of a friction damper for reducing seismic responses of a singlestory structures. *Engineering Structures* [en línea]. Noviembre 2010, n°11. [Fecha de consulta: 22 de setiembre de 2019]. Disponible en [10.1016/j.engstruct.2010.07.022](https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2010.07.022)
13. NUZZO, I., LOSANNO, D., CATERINO, N., SERINO, G., y BOZZO Rotondo, L. Experimental and analytical characterization of steel shear links for seismic energy dissipation. *Engineering Structures* [en línea]. Octubre 2018, n°1. [Fecha de consulta: 15 de setiembre de 2019]. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2018.06.005>
14. QUAKETEK. Disipadores Sísmicos. 09 de setiembre de 2018. Disponible en <https://www.quaketek.com/es/>
15. SOONG, T., y DARGUSH, G. *Passive Energy Dissipation Systems in Structural Engineering*. New York: John Wiley & Sons, Ltd., 1997. 368 pp.
16. MINISTERIO de Vivienda (Perú). Norma Técnica E.030 - Diseño Sismorresistente. Lima: 2018.

17. CONSTANTIN, Raluca y BEYER, Katrin. Behaviour of U-shaped RC walls under quasi-static cyclic diagonal loading. *Engineering Structures* [en línea]. Enero 2016. [Fecha de consulta: 5 de setiembre de 2019]. Disponible en [10.1016/j.engstruct.2015.10.018](https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2015.10.018)

18. ESCOLANO-MARGARIT, David, KLENKE, A., PUJOL, S. y BENAVENT-CLIMENT, A. Failure Mechanism of Reinforced Concrete Structural Walls with and without Confinement. *Conference Paper* [en línea]. Setiembre 2012. [Fecha de consulta: 5 de setiembre de 2019]. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/266686702_Failure_Mechanism_of_Reinforced_Concrete_Structural_Walls_with_and_without_Confinement

19. ILGADI, Otman B. Advanced three-dimensional analysis of concrete structures using nonlinear truss models [en línea]. Colorado : Colorado University, 2013. [Fecha de consulta: 22 de diciembre de 2019]. Disponible en https://mountainscholar.org/bitstream/handle/11124/80357/Ilgadi_mines_0052E_10319.pdf?sequence=1

20. SEISMIC Design and Construction Practices for RC Structural Wall Buildings por Leonardo Massone [et al]. *Earthquake Spectra* [en línea]. Junio 2012. [Fecha de consulta: 28 de diciembre de 2019]. Disponible en [10.1193/1.4000046](https://doi.org/10.1193/1.4000046)

21. ANALYSIS of shear-dominated RC columns using the nonlinear truss analogy por Mohammadreza Moharrami [et al]. *Earthquake Engineering Structural Dynamics* [en línea]. Abril 2015, n°5. [Fecha de consulta: 22 de diciembre de 2019]. Disponible en [10.1002/eqe.2480](https://doi.org/10.1002/eqe.2480)

22. ORTIZ, Arcangel. Diseño Sismico de Muros de Concreto Armado. Bases para el diseño por desplazamientos. Tesis (Maestra en Ingeniería). Mexico: Instituto de Ingenieria UNAM, 2014. Disponible en <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/7017/tesis.pdf.pdf?sequence=1>

23. PANAGIOTOU, Mario, CAN GIRGIN Sadik y LU Yuan. Nonlinear Cyclic Truss Model for Reinforced Concrete Walls. *ACI Structural Journal* [en línea]. Octubre 2013. [Fecha de consulta: 22 de noviembre de 2019]. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/274960401_NONLINEAR_CYCLIC_TR

USS_MODEL_FOR_SHEAR-
CRITICAL_REINFORCED_CONCRETE_COLUMNS

24. QUIROZ, Luis, YOSHIHISA, Maruyama y ZAVALA, Carlos. Cyclic behavior of thin RC Peruvian shear walls: Full-scale experimental. *Engineering Structures* [en línea]. Julio 2013, n°53. [Fecha de consulta: 13 de noviembre de 2019]. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2013.02.033>
25. ROCA Loayza, Dandy. Resistencia Probable a flexocompresión de muros estructurales de concreto armado. Tesis (Licenciado en Ingeniería). Lima : Universidad Nacional de Ingeniería, 2015. Disponible en <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/2553>
26. WALLACE, Jhon, MASSONE, Leonardo M. y BONELLI, Patricio. Damage and Implications for Seismic Design of RC Structural Wall Buildings. *Earthquake Spectra* [en línea]. Junio 2012. [Fecha de consulta: 14 de octubre de 2019]. Disponible en <https://doi.org/10.1193/1.4000047>
27. MACRO-MODELING Reinforced Concrete Structural Walls: State of the Art por Wu Yun-Tian [et al]. *Journal of Earthquake Engineering* [en línea]. Noviembre 2015. [Fecha de consulta: 14 de octubre de 2019]. Disponible en <https://doi.org/10.1080/13632469.2016.1174754>
28. YUAN, Lu y PANAGIOTOU, Mario. Three-Dimensional Cyclic Beam-Truss Model for Nonplanar Reinforced Concrete Walls. *Journal of Structural Engineering* [en línea]. Marzo 2014, n°3. [Fecha de consulta: 14 de setiembre de 2019]. Disponible en [10.1061/\(ASCE\)ST.1943-541X.0000852](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0000852)
29. CHOPRA, Anil K. *Dinamica de Estructuras* [en línea]. Mexico : Pearson, 2014. [Fecha de consulta: 14 de diciembre de 2019]. Disponible en https://www.academia.edu/36451323/Dinamica_de_Estructuras_4Ed_Anil_K_Chopra
30. GALVEZ Villacorta, Adolfo. Propuesta del Factor de Reduccion de Fuerza Sismica para sistemas estructurales en Concreto Armado con muros reforzados por barras ductiles y mallas electrosoldadas [en línea]. Lima: PUCP, 2012. [Fecha de consulta: 14 de enero de 2020]. Disponible en

https://www.academia.edu/6829057/PROPUESTA_DEL_FACTOR_DE_REDUCION_DE_FUERZA_SISMICA_PARA_SISTEMAS_ESTRUCTURALES_EN_CONCRETO_ARMADO_CON_MUROS_REFORZADOS_POR_BARRAS_DUCTILES_Y_MALLAS_ELECTROSOLDADAS_Por

31. SEISMIC strengthening of infill walls with perforated steel plates por Aykac, Bengi [et al.]. Engineering Structures [en línea]. Diciembre 2017, n°1. [Fecha de consulta: 20 de enero de 2020]. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2017.09.015>
32. DI LUCCIO, G., MICHEL, L., MARTINELLI, B. Seismic Retrofitting of RC walls externally strengthened by flax-FRP strips. Composites [en línea]. Octubre 2017, n°15. [Fecha de consulta: 20 de febrero de 2020]. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2017.06.017>
33. HUACO Cardenas, Guillermo y JIRSA, J. Performance of masonry wall retrofitted using CFRP sheets and anchors. Santiago de Chile : 16th World Conference on Earthquake Engineering, 16WCEE 2017., 2017.
34. Effect of Corrosion Damage on the Flexural Performance of RC Beams Strengthened with FRCM composites por Mohamed Elghazy [et al.]. Composite Structures [en línea]. Agosto 2017. [Fecha de consulta: 20 de febrero de 2020]. Disponible en [10.1016/j.compstruct.2017.08.069](https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2017.08.069)
35. BASURTO Cartulin, Rosario del Pilar. Vulnerabilidad sísmica y mitigación de desastres en el distrito de San Luis. Tesis (Licenciatura en Ingeniería) Lima : Universidad Ricardo Palma, 2015. Disponible en <http://repositorio.urp.edu.pe/handle/urp/98>
36. Strut-and-tie model for a reinforced concrete wall strengthened with carbon fibre-reinforced polymers por Samiullah Qazi [et al.]. Composite structures [en línea]. Agosto 2015. [Fecha de consulta: 7 de febrero de 2020]. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/269293062_Strut-and-tie_model_for_a_reinforced_concrete_wall_strengthened_with_carbon_fiber-reinforced_polymers

VIII. ANEXOS

Anexo 1: Matriz de consistencia

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES	METODOLOGIA
<p>General</p> <p>¿Qué mejoras en la respuesta sísmica de una estructura autoconstruida pueden lograrse mediante la aplicación de dispositivos de disipación de energía metálicos?</p>	<p>General</p> <p>Mejora de la respuesta sísmica de una vivienda autoconstruida mediante la aplicación de dispositivos de energía metálicos.</p>	<p>General</p> <p>La aplicación de dispositivos metálicos de energía en la estructura autoconstruida permitirá la mejora de la respuesta sísmica.</p>	<p>Disipadores de energía metálicos (Bozzo et. Al, 2015, p.5)</p>	<p>-Rigidez elástica</p> <p>-Fuerza de fluencia</p> <p>-Rigidez posfluencia</p>	<p>Rigidez elástica</p> <p>Fuerza de fluencia</p> <p>Rigidez posfluencia</p>	<p>Tipo de Investigación La presente investigación es de Tipos Aplicada según Roberto Hernández y otros (2015) ya que utiliza los conocimientos científicos modernos o por descubrir.</p> <p>Diseño de la Investigación De acuerdo con Roberto Hernández y otro (2015), nos dice que un diseño es experimental si conlleva la manipulación de la variable independiente con la finalidad de medir su efecto en la variable dependiente.</p> <p>Método de la Investigación El nivel de investigación es Descriptivo según (Sampieri, 1998, p.60). Los estudios descriptivos permiten registrar y analizar como se manifiesta el fenómeno y busca especificar propiedades importantes de cualquier fenómeno que sea sometido a análisis.</p> <p>Población La presente investigación se realizara un estudio unitario en la cual es una vivienda autoconstruida del Villa el Salvador.</p> <p>Muestra Debido a realizar un estudio unitario la muestra es igual que la población. Una vivienda Autoconstruida.</p>
<p>Específicos</p> <p>¿Qué deficiencias estructurales presenta la vivienda autoconstruida elegida para el estudio?</p>	<p>Específicos</p> <p>Determinar las deficiencias estructurales presentes en la estructura de estudio.</p>	<p>Específicos</p> <p>La estructura autoconstruida es una vivienda que se espera que tenga un comportamiento sísmico deficiente y proclive al colapso ante la ocurrencia de un sismo raro.</p>	<p>Respuesta Sísmica (Barbat et. Al, 2010, p.20)</p>	<p>Máximos desplazamientos laterales</p>	<p>Máximos desplazamientos laterales</p>	
<p>¿Qué características mecánicas presentan los dispositivos metálicos de disipación de energía?</p>	<p>Establecer las características mecánicas de los dispositivos metálicos de energía.</p>	<p>Los dispositivos metálicos poseen resistencias y ductilidades adecuadas para el fin que se persigue.</p>		<p>Máximas distorsiones laterales</p>	<p>Máximas distorsiones laterales</p>	
<p>¿Cuál es la respuesta sísmica de la estructura reforzada con los dispositivos de energía metálicos?</p>	<p>Determinar la respuesta sísmica de la estructura reforzada con dispositivos de energía metálicos.</p>	<p>La estructura reforzada usando dispositivos metálicos de energía presenta una respuesta sísmica adecuada y acorde con lo establecido en la norma E030.</p>		<p>Máximas aceleraciones de entrepiso</p>	<p>Máximas aceleraciones de entrepiso</p>	

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 2: Panel fotográfico

a. Localización de la Vivienda



Figura 83. Gimnasio - Localización
Fuente: Elaboración propia.

b. Identificación de las Vigas y sus Secciones



Figura 84. Vigas del Segundo Piso y Último Piso
Fuente: Elaboración propia.

c. Identificación de Columnas

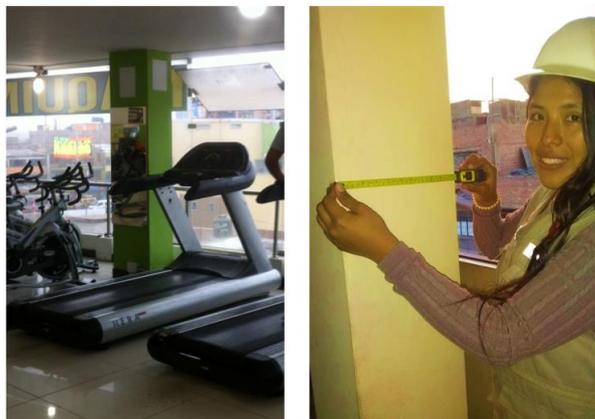


Figura 85. Identificación de columnas
Fuente: Elaboración propia.

d. Distancia entre Columnas



Figura 86. Distancia entre columnas del 3er piso
Fuente: Elaboración propia.

e. Mediciones de la edificación



Figura 87. Mediciones
Fuente: Elaboración propia.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

**CENTRO PERUANO JAPONÉS DE INVESTIGACIONES SÍSMICAS Y
MITIGACIÓN DE DESASTRES**

**CONVENIO ESPECÍFICO DE COOPERACIÓN INTERINSTITUCIONAL ENTRE EL
MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO Y LA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA "ESTUDIO DE MICRO
ZONIFICACIÓN SÍSMICA Y VULNERABILIDAD EN LA CIUDAD DE LIMA"**



INFORME

**MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DEL DISTRITO DE VILLA
EL SALVADOR**

LIMA – Marzo, 2011

EXTRACCIÓN Y ENSAYO DE TESTIGOS DIAMANTINOS

Standard Test Method for Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete

CITEMAC, cuenta con profesionales y equipos especializados para el ensayo de extracción de testigos diamantinos de acuerdo a la normativa ASTM C42 ***Standard Test Method for Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete***, para tal motivo el laboratorio de CITEMAC cuenta con 3 equipos de extracción diamantina Marca Hilti Modelo DD150, DD200 y DD350 con brocas de 2 in, 3 in y 4 in, así como equipos de corte y un laboratorio acondicionado para el cumplimiento estricto de la normativa, el mismo que le brindará la confiabilidad de nuestros ensayos.



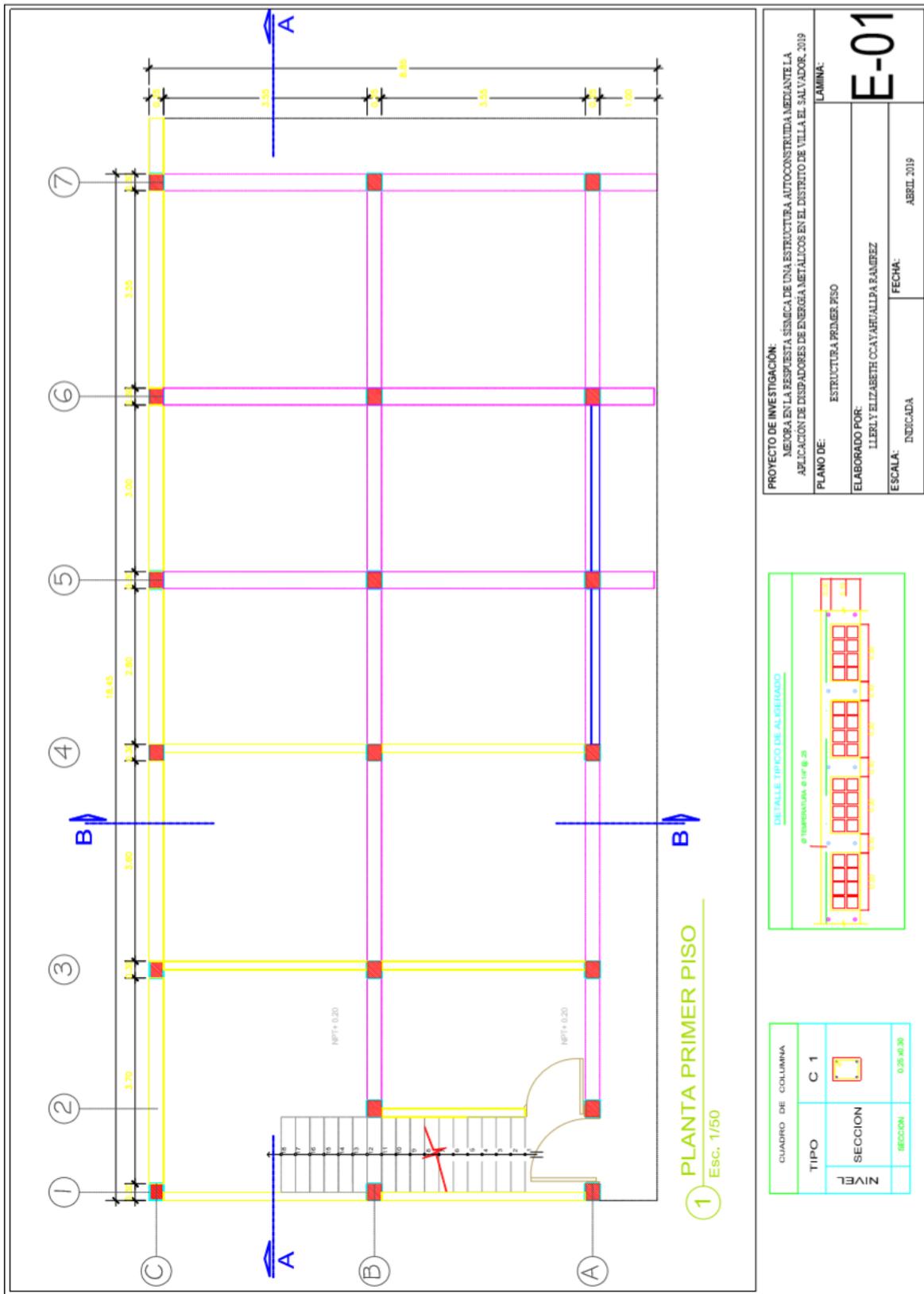
Muestra N°	Elemento	Nivel	Diámetro (in)	Resistencia obtenida (kgcm ²)
1	Columna	1	3	195
2	Columna	1	3	150
3	Viga	1	3	190
4	Columna	2	3	167
Promedio				175.5



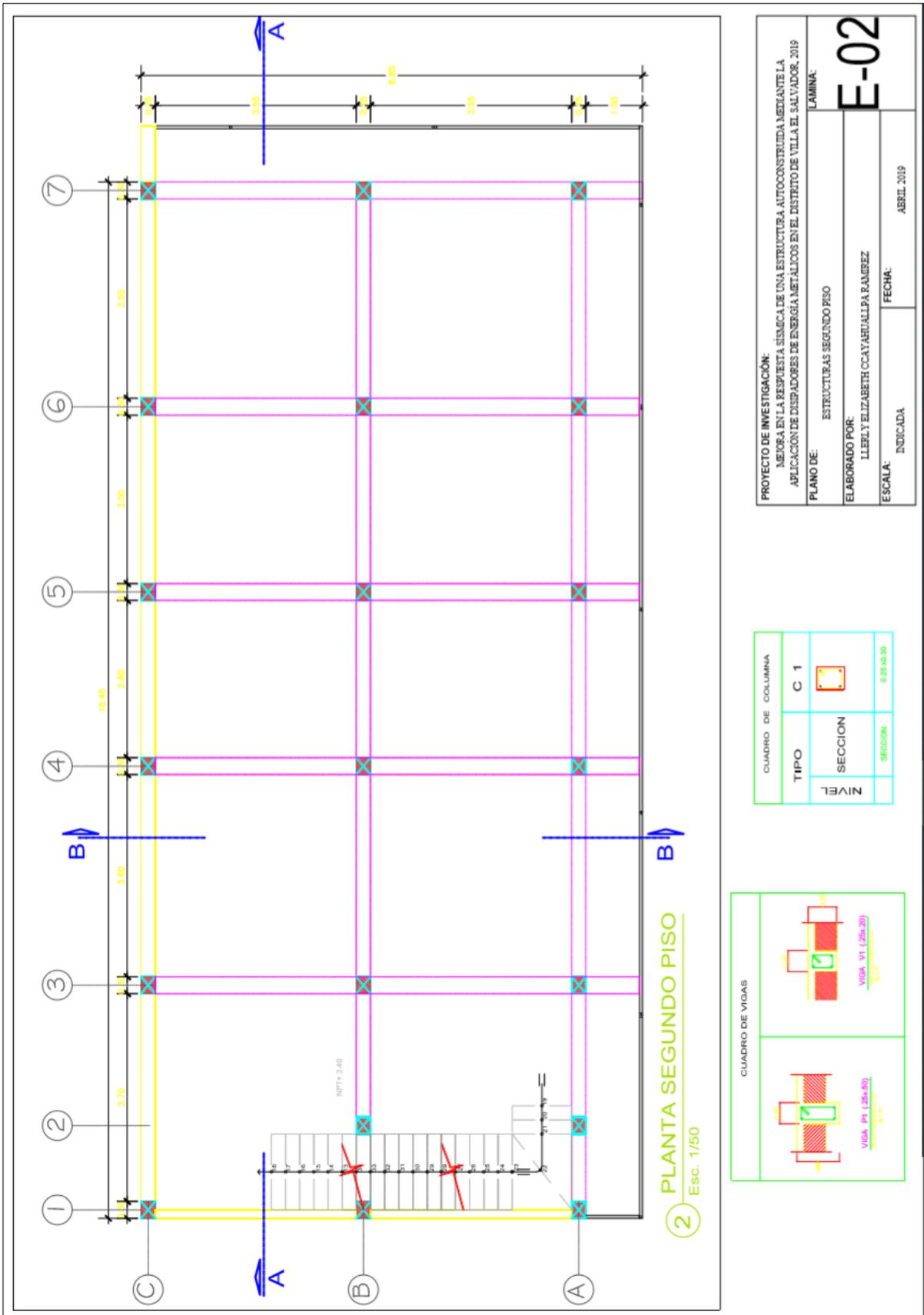
EDWIN JOSÉ ARAUCO ROJAS
GERENTE GENERAL

Anexo 5: Planos estructurales

PLANO ESTRUCTURAL 1er PISO



PLANO ESTRUCTURAL 2do PISO



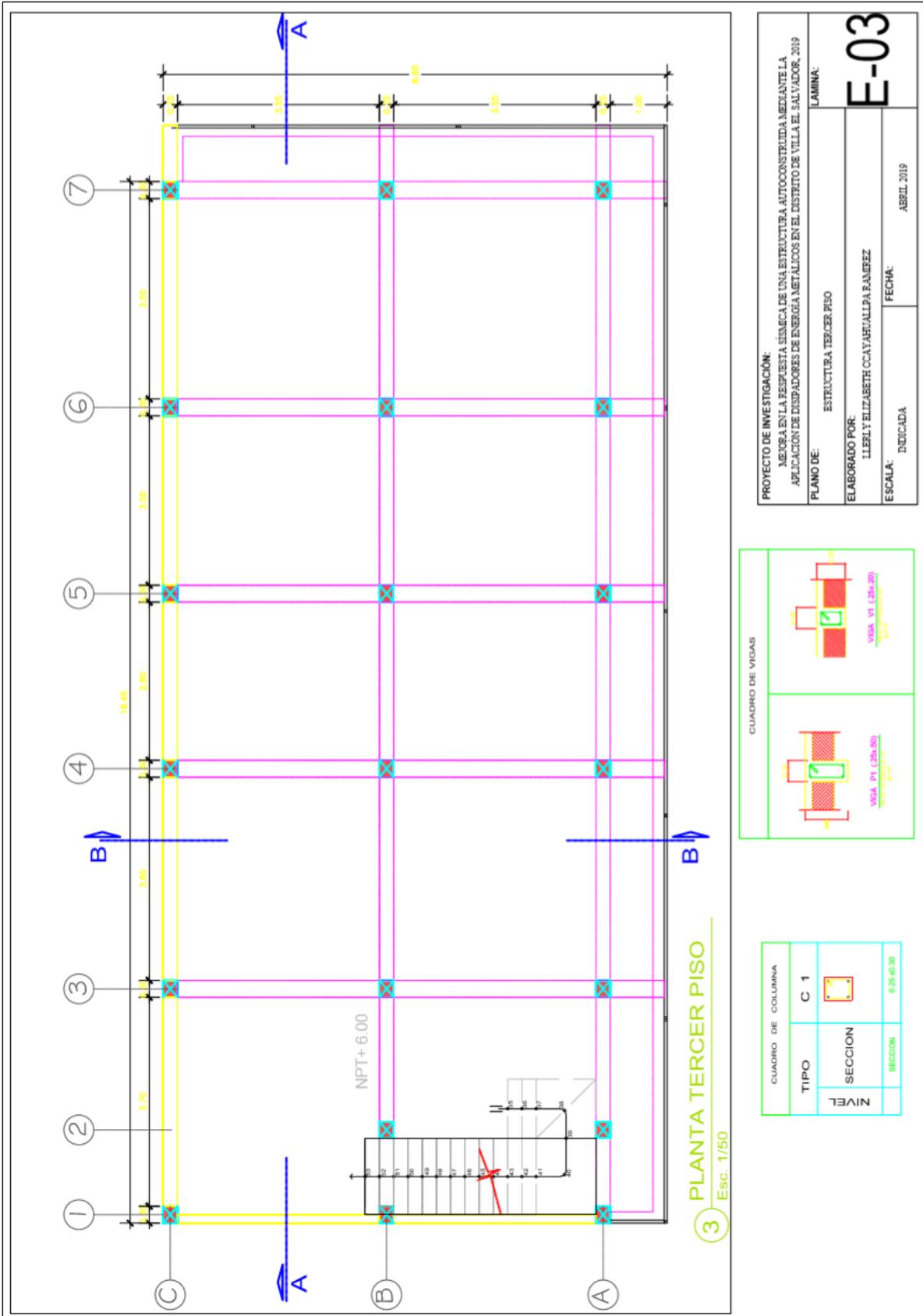
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN: MEJORA EN LA RESPUESTA SISMICA DE UNA ESTRUCTURA AUTOCONSTRUIDA MEDIANTE LA APLICACION DE DISIPADORES DE ENERGIA METALICOS EN EL DISTRITO DE VILLA EL SALVADOR, 2019	
PLANO DE:	ESTRUCTURAS SEGUNDO PISO
ELABORADO POR:	LILEY ELIZABETH OCAYAHUALPA RAMIREZ
ESCALA:	INDICADA
FECHA:	ABRIL 2019

LAMINA:
E-02

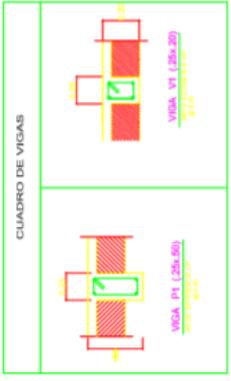
CUADRO DE COLUMNA	
TIPO	C 1
SECCION	
SECCION	0.25 x 0.30

CUADRO DE VIGAS	
	VIGA V1 (25x40) 0.25 x 0.40
	VIGA V2 (25x40) 0.25 x 0.40

PLANO ESTRUCTURAL 3er PISO



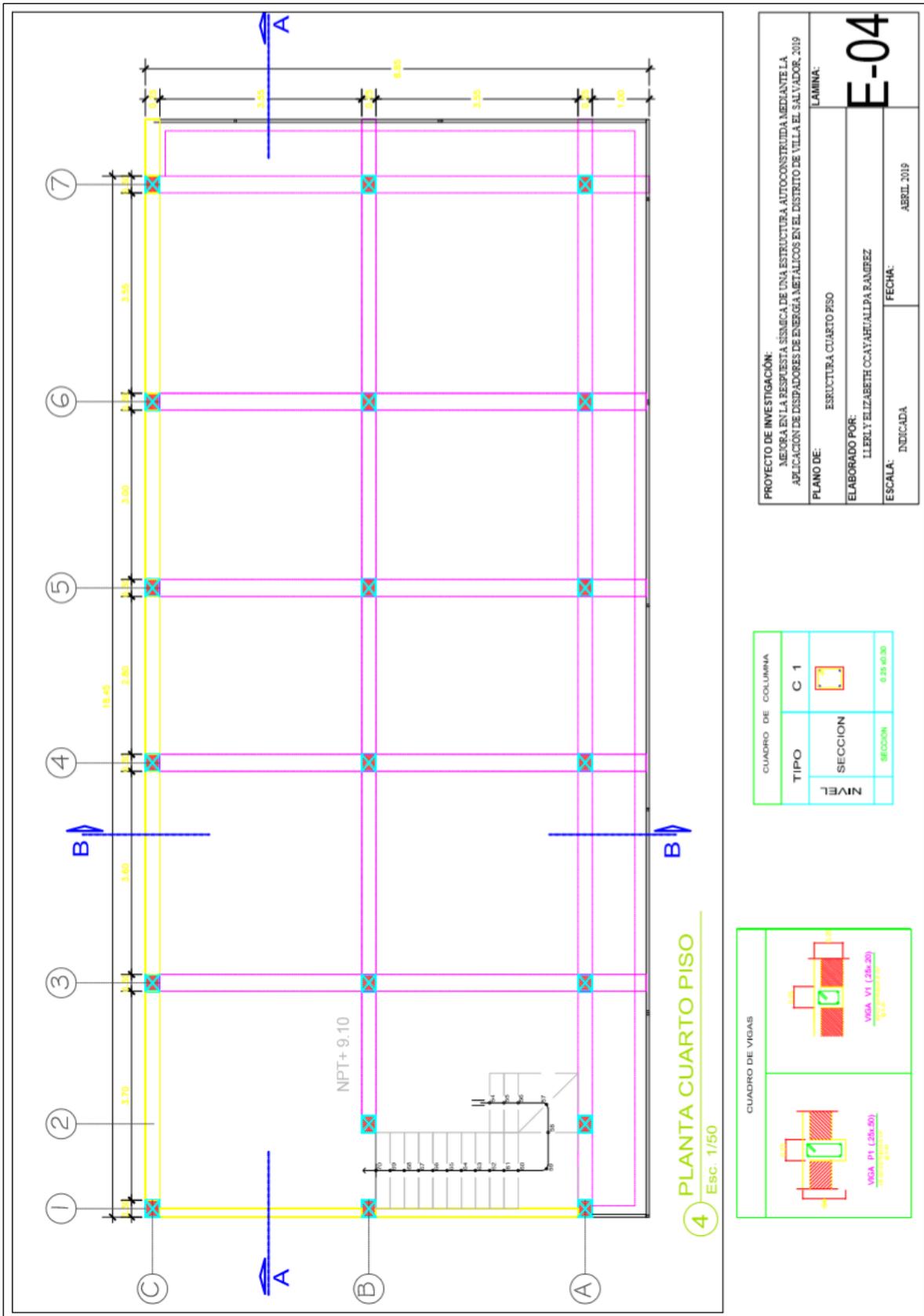
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN: MEJORA EN LA RESPUESTA SÍSMICA DE UNA ESTRUCTURA AUTOCONSTRUIDA MEDIANTE LA APLICACIÓN DE DISIPADORES DE ENERGÍA METÁLICOS EN EL DISTRITO DE VILLA EL SALVADOR, 2019	
PLANO DE: ESTRUCTURA TERCER PISO	LAMINA: E-03
ELABORADO POR: ILLERÍ Y ELIZABETH CCAYAHUALPA RAMÍREZ	FECHA: ABRIL, 2019
ESCALA: INDICADA	



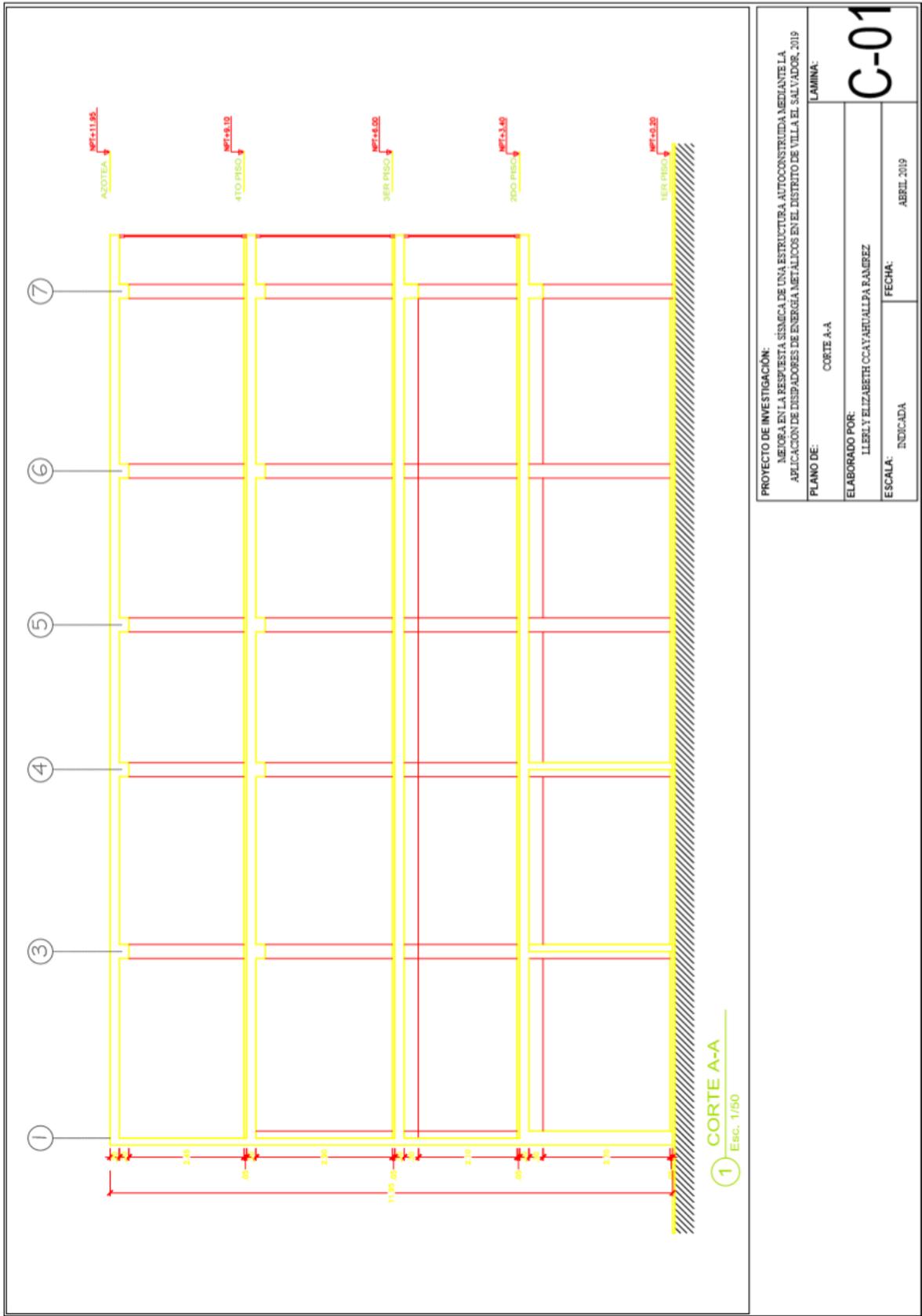
CUADRO DE COLUMNA

TIPO	C 1
SECCION	
SECCION	0.25x0.30

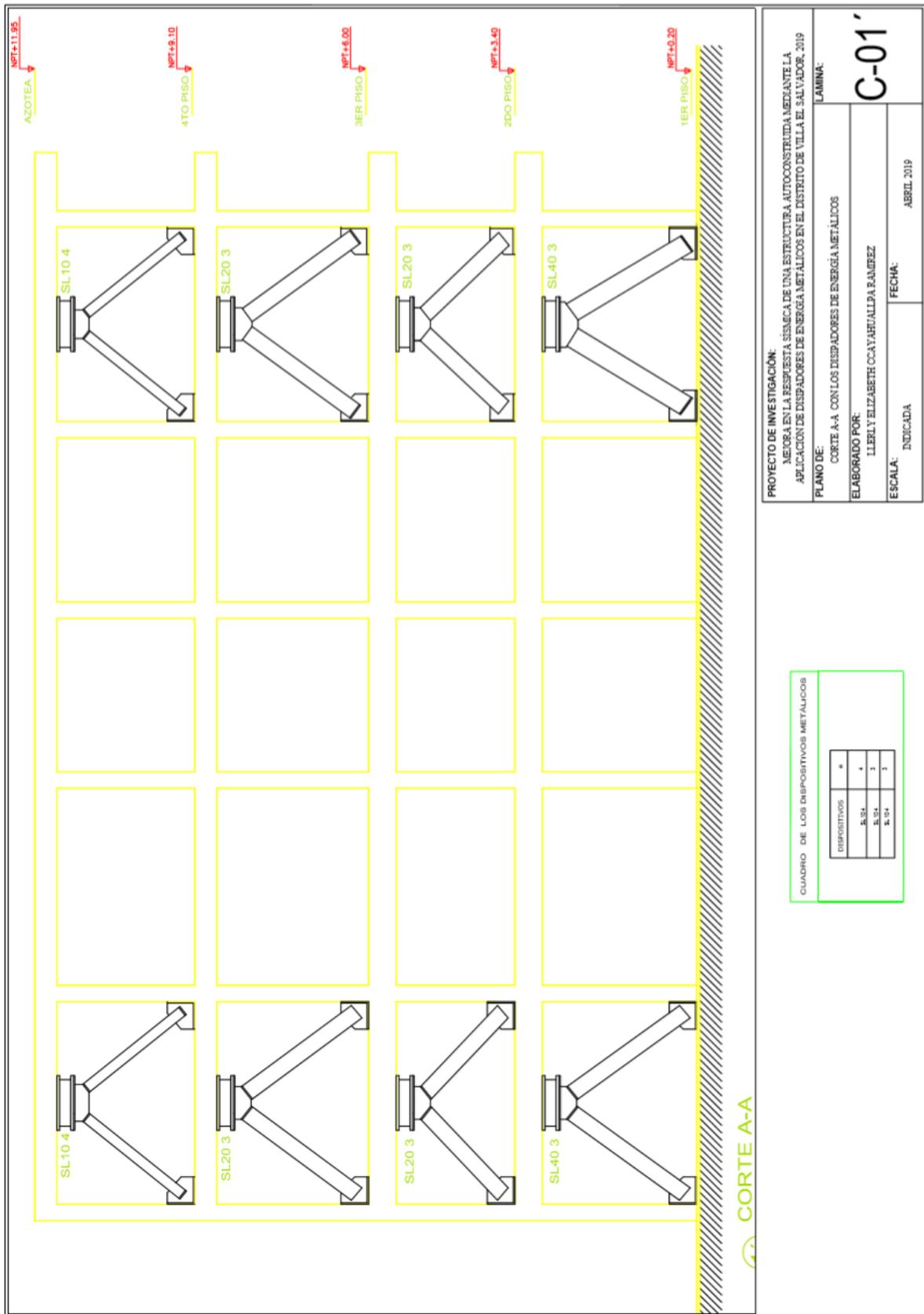
PLANO ESTRUCTURAL 4to PISO



CORTE A-A SIN DISIPADORES DE ENERGÍA METÁLICOS



CORTE A-A CON DISIPADORES DE ENERGÍA METÁLICOS



PROYECTO DE INVESTIGACION:

MEJORA EN LA RESPUESTA SISMICA DE UNA ESTRUCTURA AUTOCONSTRUIDA MEDIANTE LA APLICACION DE DISIPADORES DE ENERGIA METALICOS EN EL DISTRITO DE VILLA EL SALVADOR, 2019

PLANO DE:

CORTE A-A CON LOS DISIPADORES DE ENERGIA METALICOS

ELABORADO POR:

LILLY ELIZABETH CCAVARELLA RAMIREZ

ESCALA:

INDICADA

FECHA:

ABRIL 2019

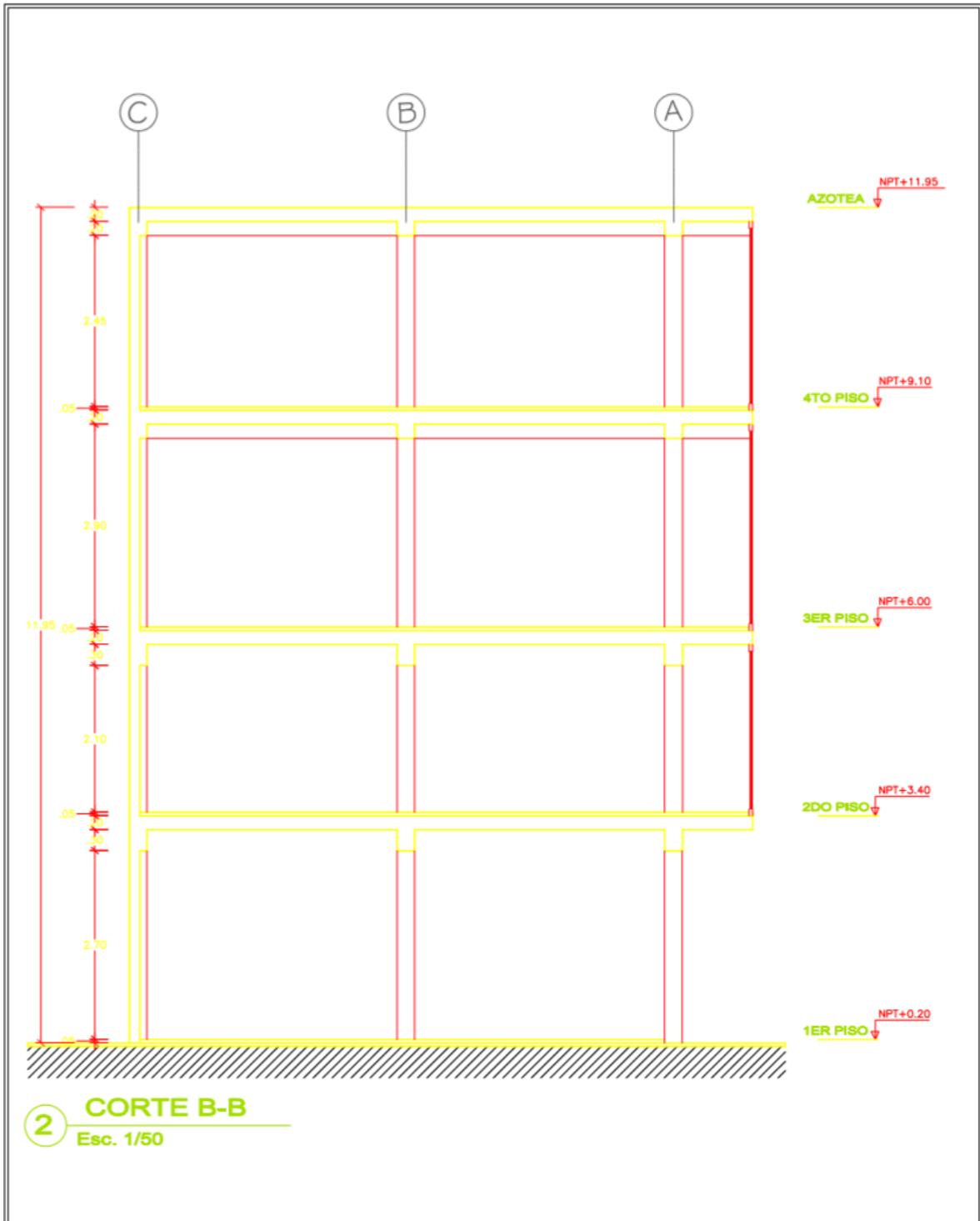
CUADRO DE LOS DISPOSITIVOS METALICOS

DISPOSITIVOS	#
S.L.	4
S.L.	3
S.L.	3

LAMINA:

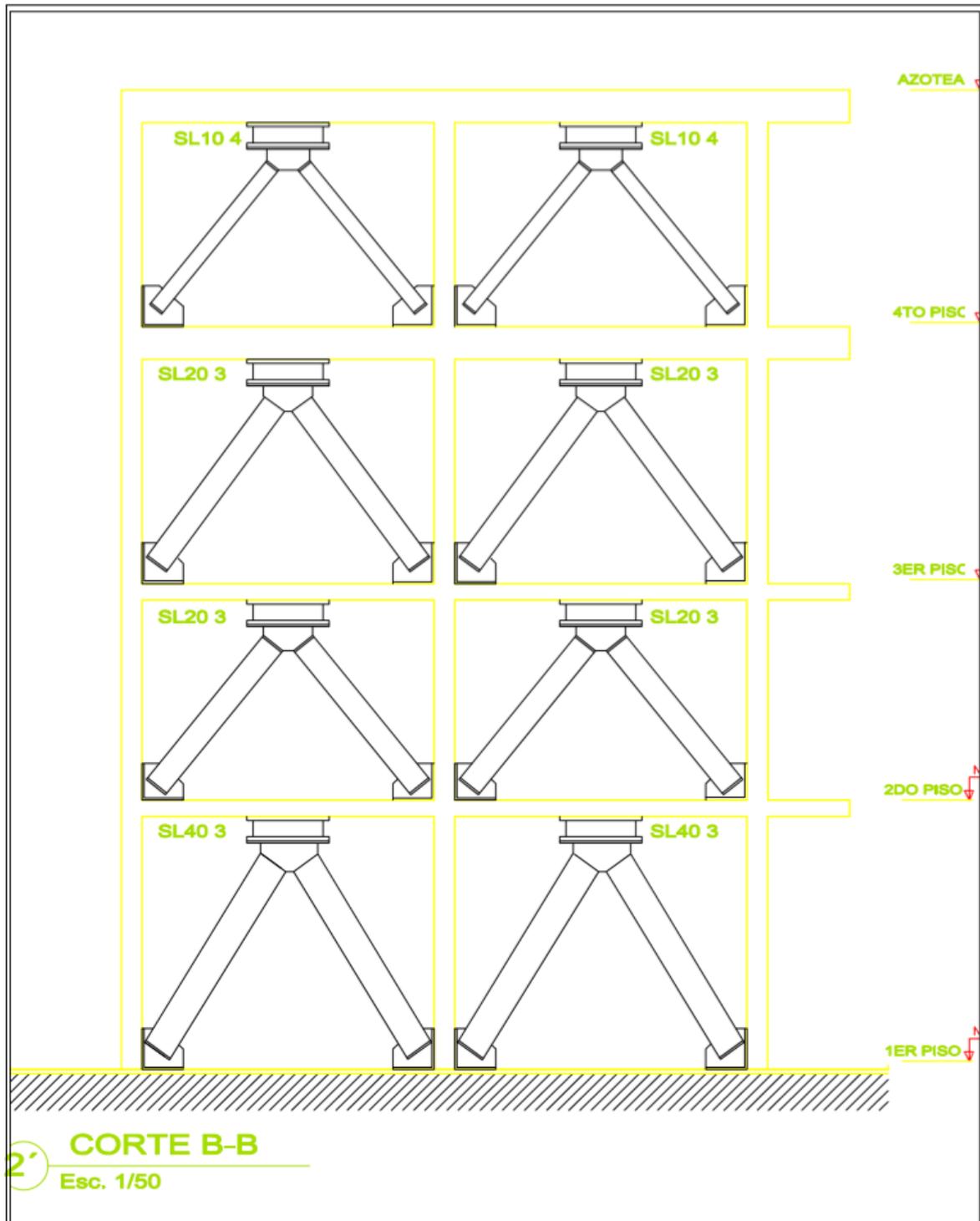
C-01'

CORTE B-B SIN DISIPADORES DE ENERGÍA METÁLICOS



PROYECTO DE INVESTIGACIÓN: MEJORA EN LA RESPUESTA SÍSMICA DE UNA ESTRUCTURA AUTOCONSTRUIDA MEDIANTE LA APLICACIÓN DE DISIPADORES DE ENERGÍA METÁLICOS EN EL DISTRITO DE VILLA EL SALVADOR, 2019	
PLANO DE: CORTE B-B	LAMINA: C-02
ELABORADO POR: LLERLY ELIZABETH CCAYAHUALLPA RAMIREZ	
ESCALA: INDICADA	FECHA: ABRIL 2019

CORTE A-A CON DISIPADORES DE ENERGÍA METÁLICOS



CUADRO DE LOS DISPOSITIVOS METÁLICOS

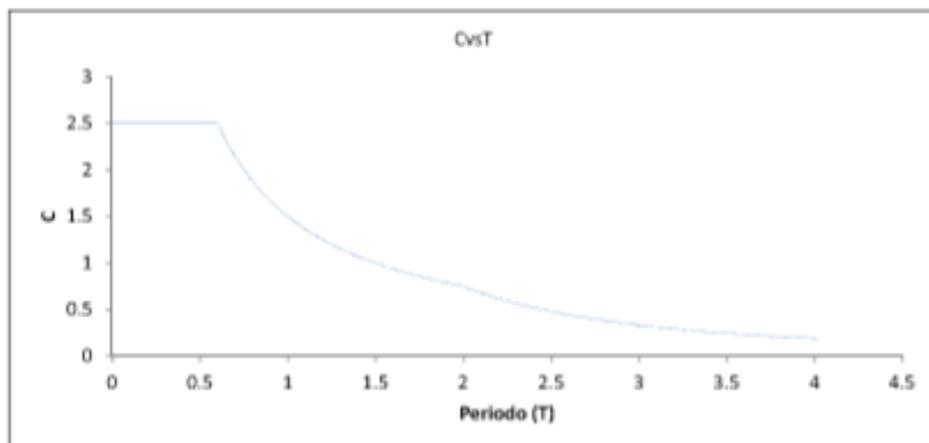
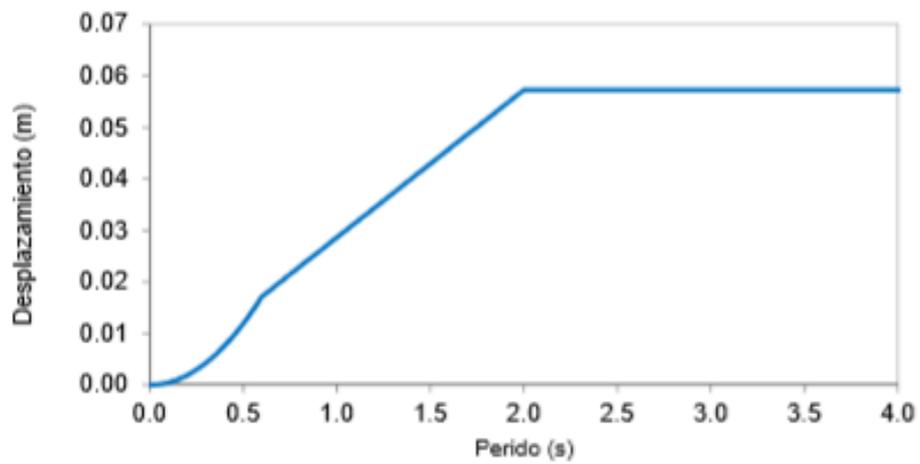
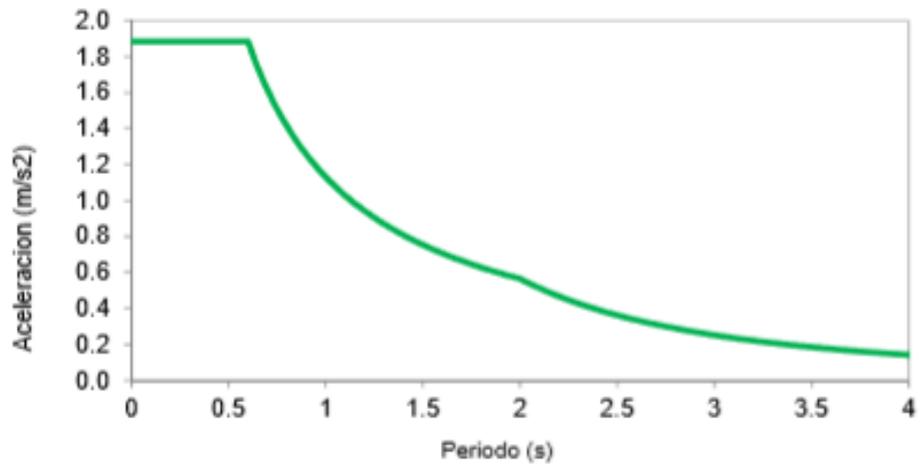
DISPOSITIVOS	#
SL 10 4	4
SL 20 3	2
SL 40 3	2

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN: MEJORA EN LA RESPUESTA SÍSMICA DE UNA ESTRUCTURA AUTOCONSTRUIDA MEDIANTE LA APLICACIÓN DE DISIPADORES DE ENERGÍA METÁLICOS EN EL DISTRITO DE VILLA EL SALVADOR, 2019		LAMINA: C-02'
PLANO DE: CORTE B-B CON LOS DISIPADORES DE ENERGÍA METÁLICOS		
ELABORADO POR: LLERLY ELIZABETH CCAYAHUALPA RAMIREZ		FECHA: JULIO 2019
ESCALA: INDICADA		

Anexo 6: Hoja de cálculo

ESPECTRO DE PSEUDOACELERACIONES, SEGÚN LA NORMA E030

Z	0.45	Factor de zona
S	1.05	Factor de suelo
Tp	0.60	Periodo corto
Tl	2.00	Periodo largo
U	1.30	Factor de uso
Ro	8.00	Factor de reducción basico
Ia	1.00	Irregularidad en altura
Ip	1.00	Irregularidad en planta
R	8.00	Factor de reducción $R=R_o \cdot I_a \cdot I_b$



T	a	d	C
0	1.88306016	0.000	2.5
0.02	1.88306016	0.0000	2.5
0.03	1.88306016	0.0000	2.5
0.04	1.88306016	0.0001	2.5
0.05	1.88306016	0.0001	2.5
0.06	1.88306016	0.0002	2.5
0.07	1.88306016	0.0002	2.5
0.08	1.88306016	0.0003	2.5
0.09	1.88306016	0.0004	2.5
0.1	1.88306016	0.0005	2.5
0.11	1.88306016	0.0006	2.5
0.12	1.88306016	0.0007	2.5
0.13	1.88306016	0.0008	2.5
0.14	1.88306016	0.0009	2.5
0.15	1.88306016	0.0011	2.5
0.16	1.88306016	0.0012	2.5
0.17	1.88306016	0.0014	2.5
0.18	1.88306016	0.0015	2.5
0.19	1.88306016	0.0017	2.5
0.2	1.88306016	0.0019	2.5
0.21	1.88306016	0.0021	2.5
0.22	1.88306016	0.0023	2.50
0.23	1.88306016	0.0025	2.50
0.24	1.88306016	0.0027	2.50
0.25	1.88306016	0.0030	2.50
0.26	1.88306016	0.0032	2.50
0.27	1.88306016	0.0035	2.50
0.28	1.88306016	0.0037	2.50
0.29	1.88306016	0.0040	2.50
0.3	1.88306016	0.0043	2.50
0.31	1.88306016	0.0046	2.50
0.32	1.88306016	0.0049	2.50
0.33	1.88306016	0.0052	2.50
0.34	1.88306016	0.0055	2.50
0.35	1.88306016	0.0058	2.50
0.36	1.88306016	0.0062	2.50
0.37	1.88306016	0.0065	2.50
0.38	1.88306016	0.0069	2.50
0.39	1.88306016	0.0073	2.50
0.4	1.88306016	0.0076	2.50
0.41	1.88306016	0.0080	2.50
0.42	1.88306016	0.0084	2.50
0.43	1.88306016	0.0088	2.50
0.44	1.88306016	0.0092	2.50
0.45	1.88306016	0.0097	2.50

T	a	d	C
0.46	1.88306016	0.0101	2.50
0.47	1.88306016	0.0105	2.50
0.48	1.88306016	0.0110	2.50
0.49	1.88306016	0.0115	2.50
0.5	1.88306016	0.0119	2.50
0.51	1.88306016	0.0124	2.50
0.52	1.88306016	0.0129	2.50
0.53	1.88306016	0.0134	2.50
0.54	1.88306016	0.0139	2.50
0.55	1.88306016	0.0144	2.50
0.56	1.88306016	0.0150	2.50
0.57	1.88306016	0.0155	2.50
0.58	1.88306016	0.0160	2.50
0.59	1.88306016	0.0166	2.50
0.6	1.88306016	0.0172	2.50
0.61	1.85219032	0.0175	2.46
0.62	1.82231628	0.0177	2.42
0.63	1.79339063	0.0180	2.38
0.64	1.7653689	0.0183	2.34
0.65	1.73820938	0.0186	2.31
0.66	1.71187287	0.0189	2.27
0.67	1.68632253	0.0192	2.24
0.68	1.66152367	0.0195	2.21
0.69	1.63744361	0.0197	2.17
0.7	1.61405156	0.0200	2.14
0.71	1.59131844	0.0203	2.11
0.72	1.5692168	0.0206	2.08
0.73	1.54772068	0.0209	2.05
0.74	1.52680553	0.0212	2.03
0.75	1.50644813	0.0215	2.00
0.76	1.48662644	0.0218	1.97
0.77	1.4673196	0.0220	1.95
0.78	1.44850781	0.0223	1.92
0.79	1.43017227	0.0226	1.90
0.8	1.41229512	0.0229	1.88
0.81	1.39485938	0.0232	1.85
0.82	1.37784889	0.0235	1.83
0.83	1.36124831	0.0238	1.81
0.84	1.34504297	0.0240	1.79
0.85	1.32921893	0.0243	1.76
0.86	1.3137629	0.0246	1.74
0.87	1.29866218	0.0249	1.72
0.88	1.28390465	0.0252	1.70
0.89	1.26947876	0.0255	1.69
0.9	1.25537344	0.0258	1.67

T	a	d	C
0.91	1.24157813	0.0260	1.65
0.92	1.22808271	0.0263	1.63
0.93	1.21487752	0.0266	1.61
0.94	1.20195329	0.0269	1.60
0.95	1.18930115	0.0272	1.58
0.96	1.1769126	0.0275	1.56
0.97	1.16477948	0.0278	1.55
0.98	1.15289397	0.0280	1.53
0.99	1.14124858	0.0283	1.52
1	1.12983609	0.0286	1.50
1.01	1.1186496	0.0289	1.49
1.02	1.10768244	0.0292	1.47
1.03	1.09692825	0.0295	1.46
1.04	1.08638086	0.0298	1.44
1.05	1.07603438	0.0301	1.43
1.06	1.06588311	0.0303	1.42
1.07	1.05592158	0.0306	1.40
1.08	1.04614453	0.0309	1.39
1.09	1.03654688	0.0312	1.38
1.1	1.02712372	0.0315	1.36
1.11	1.01787035	0.0318	1.35
1.12	1.00878223	0.0321	1.34
1.13	0.99985495	0.0323	1.33
1.14	0.99108429	0.0326	1.32
1.15	0.98246617	0.0329	1.30
1.16	0.97399663	0.0332	1.29
1.17	0.96567188	0.0335	1.28
1.18	0.95748822	0.0338	1.27
1.19	0.9494421	0.0341	1.26
1.2	0.94153008	0.0343	1.25
1.21	0.93374884	0.0346	1.24
1.22	0.92609516	0.0349	1.23
1.23	0.91856593	0.0352	1.22
1.24	0.91115814	0.0355	1.21
1.25	0.90386888	0.0358	1.20
1.26	0.89669531	0.0361	1.19
1.27	0.88963472	0.0363	1.18
1.28	0.88268445	0.0366	1.17
1.29	0.87584193	0.0369	1.16
1.3	0.86910469	0.0372	1.15
1.31	0.8624703	0.0375	1.15
1.32	0.85593643	0.0378	1.14
1.33	0.84950082	0.0381	1.13
1.34	0.84316126	0.0383	1.12
1.35	0.83691563	0.0386	1.11

T	a	d	C
1.36	0.83076183	0.0389	1.10
1.37	0.82469788	0.0392	1.09
1.38	0.81872181	0.0395	1.09
1.39	0.81283172	0.0398	1.08
1.4	0.80702578	0.0401	1.07
1.41	0.80130219	0.0404	1.06
1.42	0.79565922	0.0406	1.06
1.43	0.79009517	0.0409	1.05
1.44	0.7846084	0.0412	1.04
1.45	0.77919731	0.0415	1.03
1.46	0.77386034	0.0418	1.03
1.47	0.76859598	0.0421	1.02
1.48	0.76340277	0.0424	1.01
1.49	0.75827926	0.0426	1.01
1.5	0.75322406	0.0429	1.00
1.51	0.74823582	0.0432	0.99
1.52	0.74331322	0.0435	0.99
1.53	0.73845496	0.0438	0.98
1.54	0.7336598	0.0441	0.97
1.55	0.72892651	0.0444	0.97
1.56	0.72425391	0.0446	0.96
1.57	0.71964082	0.0449	0.96
1.58	0.71508614	0.0452	0.95
1.59	0.71058874	0.0455	0.94
1.6	0.70614756	0.0458	0.94
1.61	0.70176155	0.0461	0.93
1.62	0.69742969	0.0464	0.93
1.63	0.69315098	0.0466	0.92
1.64	0.68892445	0.0469	0.91
1.65	0.68474915	0.0472	0.91
1.66	0.68062415	0.0475	0.90
1.67	0.67654856	0.0478	0.90
1.68	0.67252148	0.0481	0.89
1.69	0.66854207	0.0484	0.89
1.7	0.66460947	0.0487	0.88
1.71	0.66072286	0.0489	0.88
1.72	0.65688145	0.0492	0.87
1.73	0.65308445	0.0495	0.87
1.74	0.64933109	0.0498	0.86
1.75	0.64562063	0.0501	0.86
1.76	0.64195233	0.0504	0.85
1.77	0.63832548	0.0507	0.85
1.78	0.63473938	0.0509	0.84
1.79	0.63119335	0.0512	0.84
1.8	0.62768672	0.0515	0.83

T	a	d	C
1.81	0.62421884	0.0518	0.83
1.82	0.62078906	0.0521	0.82
1.83	0.61739677	0.0524	0.82
1.84	0.61404136	0.0527	0.82
1.85	0.61072221	0.0529	0.81
1.86	0.60743876	0.0532	0.81
1.87	0.60419042	0.0535	0.80
1.88	0.60097665	0.0538	0.80
1.89	0.59779688	0.0541	0.79
1.9	0.59465058	0.0544	0.79
1.91	0.59153722	0.0547	0.79
1.92	0.5884563	0.0549	0.78
1.93	0.5854073	0.0552	0.78
1.94	0.58238974	0.0555	0.77
1.95	0.57940313	0.0558	0.77
1.96	0.57644699	0.0561	0.77
1.97	0.57352086	0.0564	0.76
1.98	0.57062429	0.0567	0.76
1.99	0.56775683	0.0570	0.75
2	0.56491805	0.0572	0.75
2.01	0.55931095	0.0572	0.74
2.02	0.55378693	0.0572	0.74
2.03	0.54834434	0.0572	0.73
2.04	0.54298159	0.0572	0.72
2.05	0.53769713	0.0572	0.71
2.06	0.53248944	0.0572	0.71
2.07	0.52735704	0.0572	0.70
2.08	0.52229849	0.0572	0.69
2.09	0.51731238	0.0572	0.69
2.1	0.51239732	0.0572	0.68
2.11	0.50755198	0.0572	0.67
2.12	0.50277505	0.0572	0.67
2.13	0.49806524	0.0572	0.66
2.14	0.4934213	0.0572	0.66
2.15	0.48884201	0.0572	0.65
2.16	0.48432617	0.0572	0.64
2.17	0.47987262	0.0572	0.64
2.18	0.47548022	0.0572	0.63
2.19	0.47114785	0.0572	0.63
2.2	0.46687442	0.0572	0.62
2.21	0.46265887	0.0572	0.61
2.22	0.45850016	0.0572	0.61
2.23	0.45439727	0.0572	0.60
2.24	0.45034921	0.0572	0.60
2.25	0.446355	0.0572	0.59

T	a	d	C
2.26	0.44241369	0.0572	0.59
2.27	0.43852436	0.0572	0.58
2.28	0.43468609	0.0572	0.58
2.29	0.430898	0.0572	0.57
2.3	0.4271592	0.0572	0.57
2.31	0.42346886	0.0572	0.56
2.32	0.41982613	0.0572	0.56
2.33	0.41623021	0.0572	0.55
2.34	0.41268029	0.0572	0.55
2.35	0.40917559	0.0572	0.54
2.36	0.40571535	0.0572	0.54
2.37	0.40229881	0.0572	0.53
2.38	0.39892525	0.0572	0.53
2.39	0.39559395	0.0572	0.53
2.4	0.3923042	0.0572	0.52
2.41	0.38905532	0.0572	0.52
2.42	0.38584663	0.0572	0.51
2.43	0.38267747	0.0572	0.51
2.44	0.3795472	0.0572	0.50
2.45	0.37645517	0.0572	0.50
2.46	0.37340078	0.0572	0.50
2.47	0.37038342	0.0572	0.49
2.48	0.36740248	0.0572	0.49
2.49	0.36445738	0.0572	0.48
2.5	0.36154755	0.0572	0.48
2.51	0.35867243	0.0572	0.48
2.52	0.35583147	0.0572	0.47
2.53	0.35302414	0.0572	0.47
2.54	0.35024989	0.0572	0.47
2.55	0.34750822	0.0572	0.46
2.56	0.34479861	0.0572	0.46
2.57	0.34212058	0.0572	0.45
2.58	0.33947362	0.0572	0.45
2.59	0.33685726	0.0572	0.45
2.6	0.33427103	0.0572	0.44
2.61	0.33171448	0.0572	0.44
2.62	0.32918714	0.0572	0.44
2.63	0.32668857	0.0572	0.43
2.64	0.32421835	0.0572	0.43
2.65	0.32177603	0.0572	0.43
2.66	0.31936121	0.0572	0.42
2.67	0.31697347	0.0572	0.42
2.68	0.31461241	0.0572	0.42
2.69	0.31227763	0.0572	0.41
2.7	0.30996875	0.0572	0.41

T	a	d	C
2.71	0.30768538	0.0572	0.41
2.72	0.30542714	0.0572	0.41
2.73	0.30319368	0.0572	0.40
2.74	0.30098463	0.0572	0.40
2.75	0.29879963	0.0572	0.40
2.76	0.29663834	0.0572	0.39
2.77	0.29450041	0.0572	0.39
2.78	0.29238551	0.0572	0.39
2.79	0.29029331	0.0572	0.39
2.8	0.28822349	0.0572	0.38
2.81	0.28617573	0.0572	0.38
2.82	0.28414971	0.0572	0.38
2.83	0.28214514	0.0572	0.37
2.84	0.2801617	0.0572	0.37
2.85	0.2781991	0.0572	0.37
2.86	0.27625705	0.0572	0.37
2.87	0.27433527	0.0572	0.36
2.88	0.27243347	0.0572	0.36
2.89	0.27055138	0.0572	0.36
2.9	0.26868873	0.0572	0.36
2.91	0.26684524	0.0572	0.35
2.92	0.26502066	0.0572	0.35
2.93	0.26321474	0.0572	0.35
2.94	0.2614272	0.0572	0.35
2.95	0.25965782	0.0572	0.34
2.96	0.25790634	0.0572	0.34
2.97	0.25617252	0.0572	0.34
2.98	0.25445613	0.0572	0.34
2.99	0.25275693	0.0572	0.34
3	0.25107469	0.0572	0.33
3.01	0.24940919	0.0572	0.33
3.02	0.24776021	0.0572	0.33
3.03	0.24612752	0.0572	0.33
3.04	0.24451093	0.0572	0.32
3.05	0.24291021	0.0572	0.32
3.06	0.24132515	0.0572	0.32
3.07	0.23975556	0.0572	0.32
3.08	0.23820123	0.0572	0.32
3.09	0.23666197	0.0572	0.31
3.1	0.23513758	0.0572	0.31
3.11	0.23362788	0.0572	0.31
3.12	0.23213266	0.0572	0.31
3.13	0.23065176	0.0572	0.31
3.14	0.22918498	0.0572	0.30
3.15	0.22773214	0.0572	0.30

T	a	d	C
3.16	0.22629308	0.0572	0.30
3.17	0.22486762	0.0572	0.30
3.18	0.22345558	0.0572	0.30
3.19	0.2220568	0.0572	0.29
3.2	0.22067111	0.0572	0.29
3.21	0.21929836	0.0572	0.29
3.22	0.21793837	0.0572	0.29
3.23	0.21659099	0.0572	0.29
3.24	0.21525608	0.0572	0.29
3.25	0.21393346	0.0572	0.28
3.26	0.212623	0.0572	0.28
3.27	0.21132454	0.0572	0.28
3.28	0.21003794	0.0572	0.28
3.29	0.20876306	0.0572	0.28
3.3	0.20749974	0.0572	0.28
3.31	0.20624786	0.0572	0.27
3.32	0.20500727	0.0572	0.27
3.33	0.20377785	0.0572	0.27
3.34	0.20255945	0.0572	0.27
3.35	0.20135194	0.0572	0.27
3.36	0.2001552	0.0572	0.27
3.37	0.1989691	0.0572	0.26
3.38	0.19779351	0.0572	0.26
3.39	0.19662831	0.0572	0.26
3.4	0.19547337	0.0572	0.26
3.41	0.19432858	0.0572	0.26
3.42	0.19319382	0.0572	0.26
3.43	0.19206897	0.0572	0.25
3.44	0.19095391	0.0572	0.25
3.45	0.18984853	0.0572	0.25
3.46	0.18875273	0.0572	0.25
3.47	0.18766639	0.0572	0.25
3.48	0.18658939	0.0572	0.25
3.49	0.18552164	0.0572	0.25
3.5	0.18446304	0.0572	0.24
3.51	0.18341346	0.0572	0.24
3.52	0.18237282	0.0572	0.24
3.53	0.18134101	0.0572	0.24
3.54	0.18031793	0.0572	0.24
3.55	0.17930349	0.0572	0.24
3.56	0.17829758	0.0572	0.24
3.57	0.17730011	0.0572	0.24
3.58	0.17631099	0.0572	0.23
3.59	0.17533013	0.0572	0.23
3.6	0.17435742	0.0572	0.23

T	a	d	C
3.61	0.17339279	0.0572	0.23
3.62	0.17243614	0.0572	0.23
3.63	0.17148739	0.0572	0.23
3.64	0.17054645	0.0572	0.23
3.65	0.16961322	0.0572	0.23
3.66	0.16868764	0.0572	0.22
3.67	0.16776962	0.0572	0.22
3.68	0.16685906	0.0572	0.22
3.69	0.1659559	0.0572	0.22
3.7	0.16506006	0.0572	0.22
3.71	0.16417145	0.0572	0.22
3.72	0.16328999	0.0572	0.22
3.73	0.16241561	0.0572	0.22
3.74	0.16154824	0.0572	0.21
3.75	0.1606878	0.0572	0.21
3.76	0.15983421	0.0572	0.21
3.77	0.15898741	0.0572	0.21
3.78	0.15814732	0.0572	0.21
3.79	0.15731387	0.0572	0.21
3.8	0.15648699	0.0572	0.21
3.81	0.15566662	0.0572	0.21
3.82	0.15485268	0.0572	0.21
3.83	0.1540451	0.0572	0.20
3.84	0.15324383	0.0572	0.20
3.85	0.15244879	0.0572	0.20
3.86	0.15165992	0.0572	0.20
3.87	0.15087716	0.0572	0.20
3.88	0.15010045	0.0572	0.20
3.89	0.14932972	0.0572	0.20
3.9	0.1485649	0.0572	0.20
3.91	0.14780595	0.0572	0.20
3.92	0.1470528	0.0572	0.20
3.93	0.14630539	0.0572	0.19
3.94	0.14556367	0.0572	0.19
3.95	0.14482757	0.0572	0.19
3.96	0.14409704	0.0572	0.19
3.97	0.14337203	0.0572	0.19
3.98	0.14265247	0.0572	0.19
3.99	0.14193832	0.0572	0.19
4	0.14122951	0.0572	0.19
4.01	0.140526	0.0572	0.19