

UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES

Facultad de Ingeniería

Escuela Profesional de Ingeniería Civil



UPLA
UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES

TESIS

**APLICACIÓN DE LA TEORÍA DEL CAOS EN EL
DISEÑO SÍSMICO DE EDIFICACIONES, 2023**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL EN:

INGENIERO CIVIL

PRESENTADO POR:

Bach. Arias Yauri Tito

ASESOR:

Mg. Meza Terbullino Giancarlo Fernando

Línea de Investigación Institucional:

Nuevas Tecnologías y Procesos

HUANCAYO – PERÚ

2023

HOJA DE CONFORMIDAD DE LOS JURADOS

Dr. Rubén Darío Tapia Silguera

Presidente

Jurado

Jurado

Jurado

Mg. Leonel Untiveros Peñaloza

Secretario Docente

Dedicatoria

Dedico el presente tesis de investigación principalmente a mis padres, ya que gracias a su apoyo, sacrificio y amor, han sido la fuerza fundamental detrás de cada paso que he dado en mi educación. A mis familiares y amigos, por sus risas, motivación y colaboración han convertido este camino en una experiencia inolvidable. A mis profesores, cuya sabiduría y guía han iluminado mi camino hacia el conocimiento. Y, sobre todo está dedicado a todos aquellos que han sido parte fundamental en mi trayectoria, porque, como un puente bien construido, su apoyo ha sido la base de mi éxito.

Agradecimiento

Definitivamente, expresar mi más profundo agradecimiento hacia la casa superior Universidad Peruana Los Andes por haberme brindado la oportunidad de realizar esta investigación, así también como a la Facultad de Ingeniería y la Carrera Profesional de Ingeniería Civil por su constante apoyo y recursos para llevar a cabo este trabajo.

Agradezco especialmente a mi asesor, Mg. Meza Terbullino Giancarlo Fernando, cuya orientación experta y compromiso fueron fundamentales para el desarrollo y éxito de este proyecto. Gracias a su dedicación y conocimientos que han sido una inspiración y un faro en cada etapa de esta investigación.

A mis padres, por su apoyo y amor incondicional, sus constantes alientos a lo largo de mi formación académico, fueron mi mejor motivación para no dejar de esforzarme a lo largo de mi camino académico.

A todos mis profesores, compañeros de estudio y colegas, les agradezco por brindarme una educación de calidad y por inspirarme a explorar nuevas áreas dentro de esta disciplina fascinante.

Por último, dedico un agradecimiento especial a todos aquellos que, de una manera u otra, contribuyeron a esta investigación. Sus aportes, comentarios y ánimos han sido esenciales en este proceso.

Este logro no habría sido posible sin la colaboración y el respaldo de todos ustedes. Agradezco sinceramente su contribución a este proyecto y a mi crecimiento académico y profesional.

Arias Yauri Tito

CONSTANCIA DE SIMILITUD



NUEVOS TIEMPOS
NUEVOS DESAFÍOS
NUEVOS COMPROMISOS

CONSTANCIA DE SIMILITUD

N ° 0285 - FI -2024

La Oficina de Propiedad Intelectual y Publicaciones, hace constar mediante la presente, que la **Tesis**; titulada:

APLICACIÓN DE LA TEORÍA DEL CAOS EN EL DISEÑO SÍSMICO DE EDIFICACIONES, 2023

Con la siguiente información:

Con Autor(es) : **Bach. TITO ARIAS YAURI**

Facultad : **INGENIERÍA**

Escuela Académica : **INGENIERÍA CIVIL**

Asesor(a) : **Mg. MEZA TERBULLINO GIANCARLO FERNANDO**

Fue analizado con fecha **16/08/2024**; con **119 págs.**; con el software de prevención de plagio (Turnitin); y con la siguiente configuración:

Excluye Bibliografía.

X

Excluye citas.

X

Excluye Cadenas hasta 20 palabras.

X

Otro criterio (especificar)

El documento presenta un porcentaje de similitud de **24** %.

En tal sentido, de acuerdo a los criterios de porcentajes establecidos en el artículo N°15 del Reglamento de uso de Software de Prevención de Plagio Versión 2.0. Se declara, que el trabajo de investigación: **Si contiene un porcentaje aceptable de similitud.**

Observaciones:

En señal de conformidad y verificación se firma y sella la presente constancia.

Huancayo, 16 de Agosto del 2024.



MTRA. LIZET DORIELA MANTARI MINCAMI
JEFA
Oficina de Propiedad Intelectual y Publicaciones

Contenido

Dedicatoria.....	iv
Agradecimiento	v
CONSTANCIA DE SIMILITUD.....	vi
Contenido.....	vii
Contenido de Tablas	xi
Contenido de Figuras.....	xii
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT.....	xvi
INTRODUCCION.....	xvii
CAPÍTULO I.....	19
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	19
1.1. Descripción de la realidad problemática	19
1.2. Delimitación del problema	21
1.2.1. Delimitación temporal.....	21
1.2.2. Delimitación espacial.....	21
1.2.3. Delimitación conceptual	22
1.3. Formulación del problema.....	22
1.3.1. Problema General.....	22
1.3.2. Problema (s) Especifico (s).....	22
1.4. Justificación	22
1.4.1. Social	22
1.4.2. Teórica.....	23
1.4.3. Metodológica.....	23
1.5. Objetivos	23
1.5.1. Objetivo General	23
1.5.2. Objetivo(s) Específico(s).....	23
CAPÍTULO II	25
MARCO TEÓRICO	25
2.1. Antecedentes (nacionales e internacionales).....	25
2.2. Bases Teóricas o Científicas	30
2.3. Términos básicos	46
CAPÍTULO III.....	47
HIPÓTESIS	47

3.1.	Hipótesis General	47
3.2.	Hipótesis Específica (s).....	47
3.3.	Variables (definición conceptual y operacional)	47
CAPÍTULO IV		51
METODOLOGÍA		51
4.1.	Método de Investigación	51
4.2.	Tipo de Investigación	51
4.3.	Nivel de Investigación.....	51
4.4.	Diseño de la Investigación	53
4.5.	Población y muestra	53
4.6.	Técnicas e Instrumentos de recolección de datos	54
4.7.	Técnicas de procesamiento y análisis de datos	55
4.8.	Aspectos éticos de la Investigación	55
CAPÍTULO V.....		57
RESULTADOS.....		57
5.1.	Descripción de resultados	57
5.1.1.	Descripción de la estructura	58
5.1.2.	Criterios de estructuración:.....	58
5.1.3.	Dimensionamiento de elementos estructurales	59
5.1.3.1.	<i>Losas aligeradas:</i>	59
5.1.3.2.	<i>Vigas</i>	59
5.1.3.3.	<i>Columnas</i>	59
5.1.4.	Cargas de diseño	59
5.1.5.	Materiales.....	60
5.1.5.1.	<i>Concreto:</i>	60
5.1.5.2.	<i>Acero:</i>	60
5.1.6.	Parámetros sísmicos	60
5.1.6.1.	<i>Zonificación (Z):</i>	60
5.1.7.	Parámetros de sitio (tp, tl y s):.....	61
5.1.8.	Factor de amplificación sísmica (C):.....	62
5.1.9.	Categoría de la edificación y factor de uso (U):.....	62
5.1.10.	Categorías y sistemas estructurales:	63
5.2.	Diseño de la estructura estándar utilizando el software ETABS versión 18.02.	63
5.2.1.	Estructura convencional – Análisis estático.....	68
5.2.1.1.	<i>Altura total de la edificación</i>	68
5.2.1.2.	<i>Peso total de la edificación</i>	68

5.2.1.3.	<i>Zonificación E-0.30 2018 (ART. 10)</i>	68
5.2.1.4.	<i>Condiciones Geotécnicas: E-0.30 2018 (ART. 12)</i>	68
5.2.1.5.	<i>Categoría Del Edificio E-030 2018 (ART. 15)</i>	68
5.2.1.6.	<i>Sistema Estructural E-030 2018 (ART. 18.2)</i>	68
5.2.1.7.	<i>Factores de Irregularidad E-030 2018 (ART. 20)</i>	69
5.2.1.8.	<i>Coeficiente de reducción de las fuerzas sísmicas E-030 2018 (ART. 22)</i>	69
5.2.1.9.	<i>Periodo fundamental de vibración E-030 2018 USANDO ETABS</i>	69
5.2.1.10.	<i>Exponente relacionado con periodo fundamental E-030 2018 (Art. 28.3)</i> ..	69
5.2.1.11.	<i>Factor de amplificación sísmica: E-030 2018 (Art. 14)</i>	70
5.2.2.	Consolidación de datos:	70
5.2.3.	Resultados del ETABS	71
5.2.4.	Distribución de las fuerzas sísmicas en altura e-030	71
5.2.5.	Análisis dinámico	73
5.2.6.	Cálculo del espectro de sismo de diseño	74
5.2.7.	Desplazamientos laterales relativos admisibles: E-030 2018 (ART. 32)	74
5.2.8.	Datos obtenidos eje X e Y	74
5.2.9.	Espectros de diseño	75
5.2.10.	Verificaciones según norma E-0.30	76
5.2.11.	Verificación de participación modal	77
5.2.12.	Control de desplazamientos laterales	77
5.3.	Aisladores Elastoméricos	78
5.3.1.	Parámetros para el diseño los aisladores elastoméricos lrb y hdrb:	79
5.3.1.1.	<i>Datos obtenidos en base fija</i>	79
5.4.	Diseño del aislador lrb (lead rubber bearing) – núcleo de plomo	83
5.4.1.	Espesor de la goma:	84
5.4.2.	Diámetro del aislador	85
5.4.3.	Diámetro del núcleo de plomo (DI):	85
	$D/6 < D_i < D/3$	
	$D_i = 11 \text{ cm}$	85
5.4.4.	Área del aislador:	85
5.4.5.	Área de la goma (Agoma):	86
	$Agoma = \pi (D_e)^2 / 4$	
	$Agoma = 0.32 \text{ m}^2$	86
5.4.6.	Propiedades histeréticas del aislador lrb:	86

5.5. Diseño del aislador hdrb (high damping rubber bearing) – alto amortiguamiento	89
5.5.1. Periodo objetivo	90
5.5.2. Amortiguamiento objetivo	90
5.5.3. Cálculo de rigidez del sistema de aislamiento (KAis):	90
5.5.4. Cálculo de rigidez promedio	91
5.5.5. Número de aisladores:	91
5.5.6. Aceleración sísmica	91
5.5.7. Cálculo de la aceleración sísmica (SaM):	92
5.5.8. Desplazamiento máximo lateral (DM):	92
5.6. Propiedades histeréticas del aislador HDRB:	93
5.6.1. Rigidez de postfluencia:	93
5.6.2. Rigidez inicial	93
5.6.3. Fuerza de histéresis	93
5.6.4. Desplazamiento de fluencia	93
5.6.5. Fuerza de fluencia	93
5.6.6. Rigidez efectiva	94
5.6.7. Energía disipada:	94
5.6.8. Amortiguamiento efectivo:	94
5.6.9. Coeficiente de amortiguamiento horizontal	94
5.6.10. Modelamiento de la estructura con aisladores lrb y hdrb en ETABS	95
5.7. Consolidación de los resultados	98
5.7.1. Periodos y Frecuencias Modales	98
5.7.2. Resumen de periodos	99
5.7.3. Control de derivas	99
5.7.4. Resumen de derivas:	101
5.7.5. DESPLAZAMIENTOS	101
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	103
CONCLUSIONES	106
RECOMENDACIONES	107
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	108
ANEXOS	112
MATRIZ DE CONSISTENCIA	113
MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES	115
FICHA DE RECOLECCION DE DATOS	117
CAPACITACIÓN Y ADIESTRAMIENTO EN EDIFICACIONES CON AISLAMIENTO	119

Contenido de Tablas

Tabla 1 Estado límite para diseño sísmico	44
Tabla 2 Perfiles del suelo.....	61
Tabla 3 Factores de Suelo “S”.....	61
Tabla 4 Periodos	61
Tabla 8 Factor de Amplificación Sísmica	62
Tabla 6 Categoría de las edificaciones y Factor	62
Tabla 7 Sistemas Estructurales	63
Tabla 8 Periodos y frecuencias	69
Tabla 9 Fuerzas Cortantes	71
Tabla 10 Dirección Eje X–X	71
Tabla 11 Dirección Eje Y–Y	72
Tabla 12 – Modos.....	73
Tabla 13 Espectro de Diseño	75
Tabla 14 – Cortante sísmico	76
Tabla 15 – Participación modal	77
Tabla 16 – Límites para la distorsión de entrecaposo	77
Tabla 17 – Factor de amortiguamiento.....	81

Contenido de Figuras

Figura 1. Movimiento de placas y generación de sismos. Mecanismos de subducción .	31
Figura 2 Demanda Sísmica.....	32
Figura 3 Matriz de desempeño	36
Figura 4 Flujo de fuerza en la estructura debido a la vibración	37
Figura 5 Falla de columna con escaso refuerzo transversal	38
Figura 6 Falla por escasez de anclaje del refuerzo de la columna en su conexión con el sistema de piso.....	38
Figura 7 Falla de un edificio a base de losas planas por punzonamiento de losa.....	39
Figura 8 Volteo de un edificio por falla de cimentación	40
Figura 9 Falla de columna por efecto de cortante y torsión producida por excentricidad de la viga longitudinal	40
Figura 10 Daño en edificio por vibración torsional.....	41
Figura 11 Falla debido a golpeo entre edificios adyacentes	41
Figura 12 Falla por cortante en columna corta.	42
Figura 13 Daños en elementos de fachada por movimientos laterales excesivos del edificio.....	42
Figura 14 Proceso general para seleccionar una muestra	54
Figura 15 Vista elevación principal.....	57
Figura 16 Especificaciones técnicas	58
Figura 17 Dimensionamiento losas aligeradas	59
Figura 18 Mapa de zonificación sísmica	60
Figura 19 Apertura del programa	64
Figura 20 Definición de materiales, secciones y de diafragmas.....	64
Figura 21 Asignación de elementos estructurales	64
Figura 22 Asignación de diafragmas	65
Figura 23 Espectro de diseño I	65
Figura 24 Espectro de diseño II.....	65

Figura 25 Patrones de carga – I	66
Figura 26 Espectro de cargas – II	66
Figura 27 Losa Aligerada	66
Figura 28 Restricciones	67
Figura 29 Vista de planta.....	67
Figura 30 Vista en 3 – D.....	67
Figura 31 Gráfico de fuerzas en la base	71
Figura 32 Fuerzas laterales por piso – Fuerzas Cortantes por piso	72
Figura 33 Fuerzas en la base.....	72
Figura 34 Fuerzas laterales por piso – Fuerzas Cortantes por piso	72
Figura 35 Periodo	80
Figura 36 – Número de dispositivos.....	82
Figura 37 – Aislador LRB	84
Figura 38 – Láminas de goma	85
Figura 39 – Propiedades histeréticos	86
Figura 40 – Rigidez efectiva LRB.....	87
Figura 41 – Fuerza de fluencia LRB	88
Figura 42 Curva Histerética – LRB.....	89
Figura 43 – Aislador HDRB.....	90
Figura 44 Número de dispositivos – II	91
Figura 45 – Fuerza de fluencia HDRB	93
Figura 46 Curva Histerética – HDRB.....	95
Figura 47 Piso del sistema de aislamiento.....	95
Figura 48 Altura de piso técnico.....	95
Figura 49 Vista en elevación del piso técnico	96
Figura 50 Aislador LRB –Ruber Isolator	96
Figura 51 Aislador HDRB – High Damping Rubber Isolator	96

Figura 52 Parámetros.....	97
Figura 53 Colocación de los aisladores	97
Figura 54 Colocación de los aisladores	97
Figura 55 Desplazamiento base fija.....	101
Figura 56 Desplazamiento base aislada - LRB.....	102
Figura 57 Desplazamiento base aislada – HDRB.....	102

RESUMEN

El estudio titulado “Aplicación de la teoría del caos en el diseño sísmico de edificaciones” tiene como objetivo evaluar el impacto de la teoría del caos en el diseño sísmico de dos tipos de estructuras: una convencional y otra equipada con aisladores elastoméricos. Este análisis se lleva a cabo mediante un enfoque que incluye tanto análisis estáticos como dinámicos modales espectrales. La estructura convencional estudiada es un edificio de seis pisos destinado a viviendas, con un apartamento por planta y una superficie total de proyecto de 160 m². Su sistema estructural comprende pórticos, columnas, losas aligeradas, vigas, zapatas continuas y vigas de cimentación, diseñadas principalmente para evitar asentamientos irregulares a gran escala. En esta investigación se compararon dos tipos de aisladores elastoméricos: los cojinetes de caucho de plomo (LRB) y los cojinetes de caucho de alta amortiguación (HDRB). Los LRB son ampliamente utilizados tanto en el país como en el extranjero debido a su gran flexibilidad lateral y rigidez, lo que resulta en un comportamiento sísmico altamente efectivo. Por otro lado, los HDRB son aisladores elastoméricos de alta amortiguación que utilizan caucho modificado para alcanzar una tasa de amortiguación objetivo del 8% al 16%, según los principios de aislamiento sísmico, lo que prolonga el período de reducción de la demanda. En conclusión, este estudio busca explorar cómo la teoría del caos puede influir en el diseño sísmico de estructuras, considerando diferentes tipos de aisladores elastoméricos y su impacto en la resistencia sísmica de las edificaciones.

Palabras clave: Teoría del caos, estructura, aisladores, sismorresistente.

ABSTRACT

The study titled “Application of chaos theory in the seismic design of buildings” aims to evaluate the impact of chaos theory in the seismic design of two types of structures: one conventional and the other equipped with elastomeric isolators. This analysis is carried out using an approach that includes both static and dynamic modal spectral analyses. The conventional structure studied is a six-story building intended for housing, with one apartment per floor and a total project area of 160 m². Its structural system includes frames, columns, lightened slabs, beams, continuous footings and foundation beams, designed mainly to avoid large-scale irregular settlements. In this research, two types of elastomeric isolators are compared: lead rubber bearings (LRB) and high damping rubber bearings (HDRB). LRBs are widely used both at home and abroad due to their great lateral flexibility and rigidity, resulting in highly effective seismic performance. On the other hand, HDRBs are high-damping elastomeric isolators that use modified rubber to achieve a target damping rate of 8% to 16%, based on seismic isolation principles, thereby prolonging the demand reduction period. In conclusion, this study seeks to explore how chaos theory can influence the seismic design of structures, considering different types of elastomeric isolators and their impact on the seismic resistance of buildings.

Keywords: Chaos theory, structure, insulators, earthquake resistance.

INTRODUCCION

El diseño sísmico de edificaciones es una disciplina crucial en la ingeniería civil, especialmente en regiones propensas a la actividad sísmica. En la búsqueda constante de mejorar las técnicas y metodologías empleadas en este campo, la aplicación de la teoría del caos ha emergido como un enfoque prometedor para comprender y mitigar los efectos de los terremotos en las estructuras.

En el año 2023, se llevó a cabo un estudio significativo titulado “Aplicación de la Teoría del Caos en el Diseño Sísmico de Edificaciones”, el cual se desarrolló en varios capítulos que abordaron diferentes aspectos del tema. En el Capítulo I, se planteó el problema central que motivó la investigación, identificando las deficiencias en los métodos convencionales de diseño sísmico y la necesidad de explorar nuevas aproximaciones.

En el Capítulo II, se estableció el marco teórico que fundamentó el estudio, explorando los conceptos clave de la teoría del caos y su relevancia en el contexto del diseño sísmico. Se revisaron investigaciones previas, teorías y modelos relacionados con la aplicación de esta teoría en ingeniería civil y sísmica.

El Capítulo III se centró en la formulación de hipótesis y la operacionalización de variables, definiendo las suposiciones subyacentes al estudio y describiendo cómo se tradujeron en prácticas metodológicas concretas. Se delinearon los pasos metodológicos para llevar a cabo el estudio y se establecieron los criterios de evaluación.

En el Capítulo IV se presentaron los resultados obtenidos a través de la aplicación de la teoría del caos en el diseño sísmico de edificaciones. Estos resultados fueron objeto de discusión en el mismo capítulo, donde se analizaron sus implicaciones, limitaciones y posibles áreas de desarrollo futuro.

Finalmente, en las conclusiones se sintetizaron los hallazgos del estudio, destacando sus contribuciones al campo del diseño sísmico y señalando posibles direcciones para investigaciones futuras. Se ofrecieron recomendaciones prácticas basadas en los resultados y se proporcionaron referencias bibliográficas para aquellos interesados en profundizar en el tema.

Este estudio representa un paso significativo hacia el avance del conocimiento en el diseño sísmico de edificaciones, ofreciendo una perspectiva innovadora y promisoría mediante la aplicación de la teoría del caos. Sus hallazgos tienen el potencial de impactar

positivamente en la resiliencia de las estructuras frente a eventos sísmicos, contribuyendo así a la seguridad y bienestar de las comunidades vulnerables a este tipo de desastres naturales.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la realidad problemática

La teoría del caos, es un campo del área de matemáticas que se ocupa de sistemas dinámicos, sensibles a toda condición inicial.

Aunque comúnmente no se aplican directamente al diseño sísmico de edificios en ingeniería civil, existe ciertos conceptos que relacionan la teoría del caos, con situaciones importantes, como son: el análisis de resultados, estructura y predicción del comportamiento sísmico. Asimismo, podemos relacionarlos con algunos conceptos:

No linealidad: La teoría del caos, se desarrolla de forma principal con sistemas no lineales, porque las estructuras sísmicas de manera inherente son no lineales, ocasionado por las fuerzas sísmicas y deformaciones estructurales. Un resultado no lineal, puede conllevar a fenómenos impredecibles y/o caóticos.

Fractales: Los fractales tienen aplicaciones potenciales para describir la geometría de estructuras sísmicas, enfocado en la distribución de fuerzas, deformaciones en cualquier escala.

Sensibilidad a las condiciones iniciales: En un diseño sísmico, cualquier condición inicial sensible, implica variaciones en propiedades de materiales, ubicación geográfica, geología, afectando de manera significativa al resultado de una

estructura diseñada frente a un sismo. Es decir, en condiciones iniciales las más pequeñas variaciones, conllevan a resultados diferentes.

Comportamiento dinámico: En un diseño sísmico, conocer el comportamiento dinámico de estructuras es crucial, a fin de evaluar su capacidad de resistencia ante las fuerzas sísmicas.

Sin embargo, la teoría del caos no es utilizada de manera directa frente a un diseño sísmico convencional, pero los conceptos y herramientas procedentes de esta teoría, son útiles a fin de comprender de una mejor manera el comportamiento sísmico de estructuras, ayudando a mejorar diferentes métodos de análisis y diseños.

Es importante mencionar que un diseño sísmico se basa en códigos y regulaciones de construcción específicos, centrados en la seguridad y capacidad de resistir fuerzas sísmicas. Perú está ubicado en el Cinturón de Fuego del Pacífico, una zona donde las placas se frotan constantemente entre sí. “Han pasado más de 200 años desde el último gran terremoto que azotó la capital de Perú.” Según el Instituto Peruano de Geofísica (IGP), dada la tranquilidad de los sismos de los últimos años, existe una alta posibilidad de que ocurra un gran terremoto con una magnitud de aproximadamente 8 MW.

Los últimos sismos que ocurrieron en nuestro país en 2001 y 2007 demostraron que las personas resultaban heridas y muertas simplemente por el colapso de estructuras, malas construcciones y edificios informales.

Cuando se trata de edificios informales, “Esta cifra es alarmante. En el área metropolitana de Lima el 70% de viviendas y edificios se construyen de manera informal y si hablamos de nivel nacional esta proporción se eleva al 80%” (CAPECO, 2018).

La autoconstrucción de estos edificios informales, por una creencia errónea de economía.” utiliza materiales inferiores y al mismo tiempo reemplaza materiales que no están diseñados para soportar cargas, por ejemplo, los ladrillos de pandereta.” Los ladrillos de pandereta se utilizan para muros de carga y solo deben usarse para tabiques o tabiques.

Actualmente, se estima que sólo el 20% de las personas en nuestro país cuentan con una vivienda formal, a pesar de vivir en un país propenso a desastres naturales como

terremotos y deslizamientos de tierra. Es importante prestar atención a los edificios con menos recursos, que son los más vulnerables a terremotos de gran escala, sobre todo si no hay un diseño o no se tienen en cuenta las mínimas preocupaciones durante la construcción.

Por lo tanto, proponemos comparar el comportamiento sísmico de una estructura convencional diseñada con base en la RNE (Ley Nacional de Normas de Edificación) y una estructura que utiliza dos tipos de materiales aislantes elastoméricos, frente a la teoría del caos. Una de las formas de mejorar el comportamiento sísmico de las estructuras es utilizar dispositivos de aislamiento sísmico. Los aisladores aportan una gran flexibilidad estructural al variar su período natural. En este sentido, el siguiente estudio propone considerar dispositivos de aislamiento sísmico en diferentes tipos de estructuras. Para ello se utiliza el software ETABS para realizar el modelado de la estructura a estudiar.

1.2. Delimitación del problema

1.2.1. Delimitación temporal

La delimitación temporal de la aplicación de la teoría del caos en el diseño sísmico de edificaciones se concentra específicamente en el año 2023. Durante este periodo, se consideró los avances más recientes en la investigación y aplicación de la teoría del caos en el ámbito del diseño estructural para la resistencia sísmica. Los desarrollos tecnológicos y las metodologías emergentes en este campo específico durante el año 2023 serán fundamentales para la comprensión y aplicación práctica de la teoría del caos en el diseño sísmico de edificaciones.

1.2.2. Delimitación espacial

La delimitación espacial se centra en las áreas geográficas donde se están llevando a cabo proyectos significativos relacionados con la aplicación de la teoría del caos en el diseño sísmico de edificaciones en 2023. Esto incluye a regiones propensas a actividad sísmica y donde la innovación en ingeniería estructural es una prioridad. Las aplicaciones específicas podrían variar, pero la delimitación espacial se enfoca en aquellos lugares donde la sismicidad es una preocupación clave.

1.2.3. Delimitación conceptual

Desde un punto de vista conceptual, la delimitación se centró en la aplicación específica de la teoría del caos en el diseño sísmico de edificaciones. Esto implicaba considerar cómo los principios teóricos del caos, que abordan la complejidad y la no linealidad de los sistemas, se traducían en enfoques prácticos para mejorar la capacidad de las edificaciones para resistir y responder a eventos sísmicos. La delimitación conceptual también abordó la integración de la teoría del caos en los marcos normativos y en las prácticas de diseño convencionales, proporcionando un marco más amplio para la comprensión de su aplicación en el año 2023.

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema General

¿Cuál será el resultado al aplicar teoría del caos en un diseño sísmico de estructura convencional y otra con aisladores elastoméricos?

1.3.2. Problema (s) Especifico (s)

- ¿Cómo será el análisis estático o de fuerzas estáticas equivalentes para una estructura convencional?
- ¿Cómo será el análisis estático o de fuerzas estáticas equivalentes para una estructura con aisladores elastoméricos?
- ¿Cómo será el análisis dinámico para una estructura convencional?
- ¿Cómo será el análisis dinámico para una estructura con aisladores elastoméricos?

1.4. Justificación

1.4.1. Social

Desde una perspectiva práctica, la aplicación de la teoría del caos en el diseño sísmico de edificaciones en 2023 respondió a la necesidad de desarrollar estructuras más seguras y adaptables a las condiciones sísmicas. La complejidad inherente de los sistemas estructurales demandaba enfoques prácticos que fueran más allá de los modelos lineales tradicionales. La teoría

del caos permitió considerar la variabilidad y la sensibilidad a las condiciones iniciales, lo que resultó crucial para diseñar edificaciones que pudieran resistir y recuperarse eficazmente de eventos sísmicos.

1.4.2. Teórica

Desde un punto de vista teórico, la aplicación de la teoría del caos en el diseño sísmico de edificaciones en 2023 se fundamentó en la comprensión avanzada de los fenómenos dinámicos y complejos que ocurren durante un terremoto. La teoría del caos proporcionó un marco conceptual para abordar la naturaleza no lineal y altamente impredecible de los movimientos sísmicos. Al integrar esta teoría, se buscó mejorar la capacidad de predicción y comprensión de las respuestas estructurales, permitiendo un diseño más eficiente y resiliente ante eventos sísmicos.

1.4.3. Metodológica

Desde una perspectiva metodológica, la aplicación de la teoría del caos implicó la incorporación de herramientas matemáticas y computacionales avanzadas para analizar la dinámica no lineal de las estructuras ante movimientos sísmicos. Métodos numéricos y simulaciones computacionales se convirtieron en elementos fundamentales para modelar la complejidad inherente a los sistemas caóticos. La metodología abordó la necesidad de considerar factores no lineales en la respuesta estructural, permitiendo un diseño más preciso y realista de las edificaciones sísmicamente resistentes.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General

Evaluar la teoría del caos en un diseño sísmico de estructura convencional y otra con aisladores elastoméricos.

1.5.2. Objetivo(s) Específico(s)

- Realizar el análisis estático o de fuerzas estáticas equivalentes para una estructura convencional.

- Realizar el análisis estático o de fuerzas estáticas equivalentes para una estructura con aisladores elastoméricos.
- Realizar el análisis dinámico para una estructura convencional.
- Realizar el análisis dinámico para una estructura con aisladores elastoméricos.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes (nacionales e internacionales)

En lo nacional

Según (Ramirez Díaz, 2020) en su tesis “*Diseño sismorresistente de una edificación de diez pisos ubicado en el jr. Los Próceres cuadra dos Tarapoto–2019*”, presentado en la Universidad Cesar Vallejo, facultad de ingeniería y arquitectura, para obtener el grado de ingeniería civil; siendo el objetivo general diseñar una edificación de diez pisos sismorresistente. El tipo de estudio aplicó un diseño experimental, de tipo pre experimental y las variables utilizadas en el estudio fueron cualitativas. La población de este estudio estuvo conformada por 120 edificios, y la muestra fue un edificio de 10 pisos ubicado, con un área total de 160 metros cuadrados. Se han utilizado las herramientas más importantes como formato de cálculo estructural, hoja de cálculo sísmico, cuaderno de campo, formato de medidor, plan de seguridad definido, también se determinó el cálculo sísmico mediante el programa Cypecad, también se compararon capacidades y se propusieron necesidades. en la especificación E.030 también se evaluó el comportamiento sísmico, se diseñó la distribución ambiental según la especificación E.030 y finalmente se elaboró el presupuesto final en conjunto con el programa Cypecad para construir un proyecto. Concluyendo que el análisis de materiales, el análisis de capacidad de resistencia, cálculos antisísmicos, diseño de distribución y una buena elaboración del presupuesto ayuda de manera eficaz la realización de un diseño sismorresistente de una edificación.

Según (Cano Bonilla, 2019) en su tesis *“Diseño sísmico y estructural del edificio multifamiliar Las Flores en la urbanización el Ingeniero III, Pimentel – Chiclayo – Lambayeque”*, presentada a la Universidad Cesar Vallejo, facultad de ingeniería, a fin de obtener el título profesional de ingeniero civil, sostuvo como objetivo principal elaborar un diseño sísmico y estructural del edificio multifamiliar – Las Flores urbanización el Ingeniero III, Pimentel – Chiclayo – Lambayeque. La metodología utilizada fue cuantitativa y se desarrolló en tres fases básicas: recopilación y análisis de inteligencia, reconocimiento de campo y análisis de impacto. Se realizó un estudio topográfico del sitio para obtener los datos necesarios para el desarrollo. Durante el levantamiento topográfico se determinó que el terreno debía planificarse a una altura de 23,40 m, lo cual fue el resultado del levantamiento 1,49 kg/cm². Lo que importa es el tipo de suelo y el diseño recomendado. Dado que la planta se tiene en cuenta en el dimensionamiento preliminar y el cálculo de todos los elementos estructurales, plomería, equipos eléctricos y costos del proyecto, se puede concluir que el diseño arquitectónico tiene un impacto directo en la planificación general del edificio. Las normas nacionales de construcción establecen que el desplazamiento mínimo de las estructuras debe ser inferior a 0,007 para el concreto armado e inferior a 0,005 para albañería. Estos fueron confirmados modelando con SAP2000. Ningún elemento es más importante que otro a la hora de desarrollar un diseño estructural. Las normas disponibles de RNE se aplican al diseño de todos los elementos estructurales, ya que cada elemento realiza una tarea específica, asegurando así el correcto funcionamiento de la estructura. Los presupuestos de desempeño y mano de obra deben basarse en las especificaciones de CAPECO. Los costos iniciales del servicio varían dependiendo de dónde se encuentre el servicio. También debe considerar si los costos enumerados requieren construcción. De lo contrario, deberá agregar el costo del envío terrestre.

Según (Enriquez Porras, 2018) en su tesis *“Evaluación de la vulnerabilidad sísmica del edificio de ingeniería de la universidad señor de Sipán, actualizada a la norma E-030 2016”*, presentado en la Universidad Señor de Sipán, facultad de ingeniería, arquitectura y urbanismo, para optar el título profesional ingeniero civil; el objetivo general fue realizar la evaluación de vulnerabilidad sísmica del Edificio de Ingeniería de Universidad Señor de Sipán frente a la presencia de sismo severo.

Debido a la naturaleza del estudio, este estudio cumple con los requisitos metodológicos de un estudio cuantitativo cuasiexperimental. La población y muestra fueron las estructuras del edificio de ingeniería de la Universidad. De los resultados obtenidos se puede concluir que los bloques 1, 2 y 3 del edificio, analizados mediante el método FEMA 154, tienen probabilidad de sufrir daños nivel 3. La Probabilidad de Daños Clase 1, basada en la Escala Macro sísmica europea corresponde a la Probabilidad de Daños Clase 1, para los bloques que componen el ascensor. Porque no cumple con los estándares actuales de diseño sísmico con el número limitado de muestras utilizadas en las pruebas con núcleos de diamante. De estos, los bloques estudiados carecen de los mismos defectos y se puede decir que están presentes. Está prohibido el uso de muebles y equipos que no estén laminados y fijados a vidrios externos, paredes, pisos y otros elementos estructurales que no estén diseñados para resistir la deformación causada por los terremotos, y al mismo tiempo obstruyan las salidas y protejan la seguridad humana, con alto riesgo de pérdida de propiedad y un riesgo moderado de pérdida de funcionalidad.

Según (Casana Marino, 2018) en su tesis “*Desempeño Sísmico de un Edificio de 14 pisos con Disipadores de Energía en la ciudad de Tumbes – 2018*”, presentada a la Universidad Privada del Norte, para optar el título profesional de: Ingeniero Civil; cuyo objetivo general fue determinar el desempeño sísmico de un edificio de 14 pisos, implementando Disipadores de Energía en Tumbes. El estudio fue descriptivo y la población participante fue el hotel 4 estrellas de la ciudad de Tumbes. Luego de realizar análisis, optimización y refuerzo sísmico estructural en dos edificaciones con trampas de líquidos viscosos, se pueden extraer las siguientes conclusiones: Mantener los tres primeros niveles lo más abiertos posible es fundamental cuando se trata de hoteles. El edificio tiene buen comportamiento (elasticidad lineal) ya que cumple con los requisitos de la norma E-030. Como se muestra en el programa ETABS, los desplazamientos están en el rango inelástico de hasta 0,007, pero dado que el edificio del hotel fue evaluado bajo terremotos severos en el análisis de este estudio (historia temporal dinámica). Según el análisis elástico no lineal, cuando ocurre un terremoto severo, en un edificio convencional sin disipador de calor, la fuerza sísmica es absorbida por los muros y columnas de carga, pero en un edificio con disipador de calor, la fuerza sísmica es absorbido por

los muros de carga y columnas. Se determinó que un dissipador de líquido viscoso (Chevon) no cambia el período o frecuencia natural de vibración y mantiene estables estos valores. En el diagrama de histéresis, todos los dissipadores de calor tienen un comportamiento fuerza–desplazamiento basado en una curva en espiral paralela al eje transversal (azul) tanto en el eje X como en el Y, lo que contribuye significativamente a reducir la amortiguación y la deriva de estructura. Esto lo confirman las tensiones de tracción y compresión que se presentan en las respectivas direcciones axiales.

Según (Alvarez Vargas, 2017) en su investigación *“Análisis y diseño de dissipadores sísmicos de fluido viscoso para control de la respuesta sísmica de edificaciones en Huancayo 2017”*, presentado en la Universidad Nacional del Centro del Perú, facultad de ingeniería civil, para optar el título de ingeniero civil. El principal objetivo de este estudio fue determinar cómo afecta la instalación de dissipadores de fluidos viscosos en el control de la respuesta sísmica de las edificaciones. Para ello se realizaron estudios de todas las variables que intervienen en su desarrollo, así como la determinación de sistema estructural, evaluación de irregularidades (planta y alzado), la adquisición de registros sísmicos adaptados a las condiciones locales, el escalamiento de terremotos, etc. Para ello se desarrolló un modelo matemático del edificio en el software ETABS v16 (versión de prueba de 30 días). El método utilizado para lograr nuestro objetivo fue analítico y descriptivo, involucrando el análisis de documentos específicos del edificio (planos (incluidos estudios de suelo)) y la estructura que rodea la estructura, fue una observación directa de las áreas críticas (grietas y fisuras). Para determinar el sistema y las irregularidades, adquirimos registros de terremotos (PEER) de acuerdo con los lineamientos de nuestra norma de seguridad sísmica E030–2016 y utilizamos la base de datos de movimiento del suelo y las normas que la controlan. Para determinar los parámetros específicos del dissipador de calor, se utilizan las normas ASCE _7–10, específicamente Fema 273 y Visión 2000 (SEAOC). Finalmente, se concluyó que los dissipadores de calor reducen significativamente la distorsión del entrepiso de los diferentes edificios, La disposición diagonal era ideal para reforzar edificios porque los valores reglamentarios no diferían significativamente de otras disposiciones y resultaba ventajosa en términos de economía y facilidad de instalación.

En lo internacional

Según (Niño Castaño, 2023) en su investigación *“Nuevo enfoque de diseño sísmico para edificaciones en muros de concreto reforzado utilizando aislamiento en base.”*, presentada a la Universidad Nacional de Colombia, como requisito parcial para optar al título de: Magíster en Ingeniería Civil – Estructuras; el objetivo principal de esta investigación fue evaluar el comportamiento estructural de edificaciones con muros de concreto, reforzado bajo un enfoque de diseño sísmico y orientado a utilización de aislamiento en la base. Los conocimientos obtenidos de los estudios de estructuras posteriores a un terremoto, especialmente donde se han producido fallas y colapsos, son fundamentales para actualizar los requisitos de diseño sísmico en diversos marcos regulatorios en todo el mundo. Cada falla, tanto a nivel de elementos como a nivel de la unidad estructural global, ayuda a identificar partes adicionales que deben actualizarse, a fin de mejorar la respuesta de la estructura a limitaciones que está sometida. El análisis dinámico no lineal concluyó que el rendimiento de todas las estructuras de cimientos fijos se encuentra en un nivel seguro y que el nivel de rendimiento de los pisos 8 y 16 de la estructura separada de los cimientos es completamente funcional. En otras palabras, el rendimiento de la estructura aislada es mucho mejor que el de la estructura de base fija.

Según (Ruiz Carrillo & Torres Reino, 2018) en su investigación *“Análisis comparativo del comportamiento sísmico dinámico de estructuras esenciales con aisladores de base del tipo elastomérico con núcleo de plomo IRB y disipadores tipo contraventeos restringidos al pandeo BRB, y su incidencia en la relación costo/beneficio del sistema estructural”*, presentado en la Universidad Técnica de Ambato, previo a la obtención del título de ingeniero civil, donde sostuvo como objetivo general fue estudiar el comportamiento dinámico de la estructura cuando se utiliza un aislador sin base, cuando se utiliza un aislador a base de elastómero con núcleo de plomo LRB y cuando se utiliza un disipador de energía doblado limitado a pandeo BRB. En el presente trabajo de investigación se ha realizado una comparación del comportamiento estructural de un sistema convencional aislado en cimentación y mediante dispositivos de amortiguación mediante juntas en un edificio hospitalario de 7 plantas compuesto por dos bloques de 7738,12 m² y 9975,43 m² respectivamente. La estructura está ubicada en la ciudad de Manta y

está clasificada como importante según el código de construcción de Ecuador. Se utilizó un método de historia temporal no lineal para evaluar el desempeño de cada sistema estructural propuesto. Para ello fue necesario utilizar registros sísmicos que representen aceleraciones al sitio de inyección de la estructura estudiada. Para el diseño de elementos estructurales y sistemas sísmicos se utilizó el Código Ecuatoriano de Construcción (NEC 2015), la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles (ASCE 7–16, ASCE 41–13) y el Instituto Americano de Construcción en Acero (AISC 341–16). Se obtuvo resultados de desplazamiento, deriva, energía del sistema, agitación y nivel de rendimiento se recopilaron por el software ETABS 2016. La investigación concluye que se ha comprobado que, instalando sistemas de protección sísmica en estructuras de tipo esencial, es posible reducir las secciones de los elementos estructurales, consiguiendo así un ahorro inicial, ínfimo, de alrededor del 8%, que por tanto se compensa con mayores niveles de comportamiento sísmico de operaciones, protegiendo la vida de los ocupantes y el equipo hospitalario de daños para un funcionamiento óptimo después de un evento sísmico.

2.2. Bases Teóricas o Científicas

Teoría del Caos

El caos es un tipo de orden sin periodicidad, y es un fenómeno dinámico que se produce cuando algo cambia. La arquitectura utiliza formas naturales para crear y experimentar con obras complejas. Puede utilizarse desde ideas momentáneas hasta pliegues y fractales (Gutierrez & Garcia, 2012).

Por citar un ejemplo, tenemos el Museo Judío de Berlín 1988–1999, construido por el arquitecto Daniel Libeskind, quien supo integrar este concepto, consta de 3 partes: “el museo, la ausencia de los desaparecidos y torre del Holocausto, también presenta la penetración de la luz a través de los pliegues de la pared, el espacio creado entre la línea de puntos que se puede mover y la línea recta que crea un vacío invisible.”

2.2.1. Diseño Sistimico de Edificaciones

2.2.1.1 Sismología – Causas y efectos de los sismos

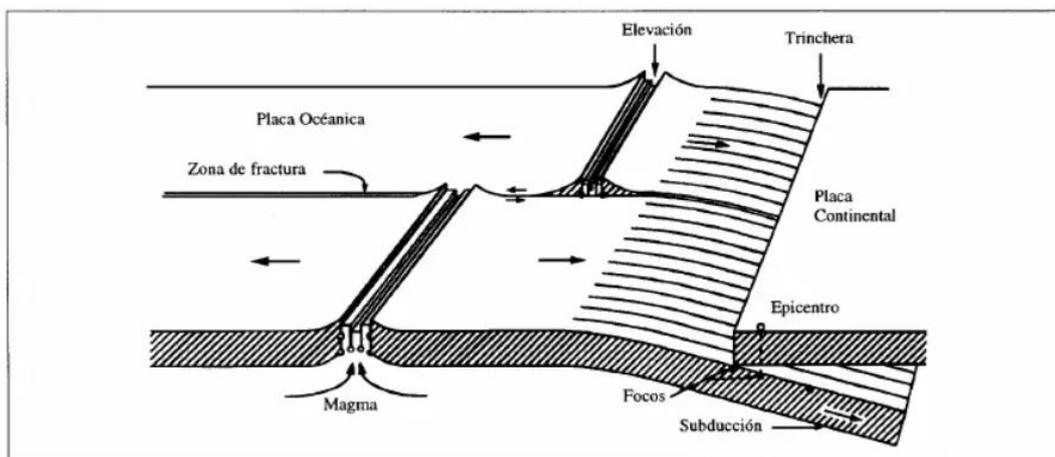
“Los terremotos, sismos o temblores son vibraciones en la corteza terrestre provocadas por diversos fenómenos como la actividad volcánica”. El colapso del

techo de una cueva subterránea o incluso una explosión (Núñez, Ruiz, & Cortés, 2021). Sin embargo, los terremotos más graves y desde el punto de vista técnico los más importantes son los provocados por movimientos tectónicos, provocados por el movimiento brusco de grandes placas que dividen la corteza terrestre.

Según (Luévanos Rojas, 2011) la presión creada en la corteza terrestre por el flujo de magma desde el interior de la Tierra supera la fricción en contacto con los bordes de las placas, lo que lleva a una reducción de la tensión y a la liberación de grandes cantidades de energía almacenada en las rocas. La energía es liberada en forma de ondas vibratorias, que se propagan a largas distancias a través de las rocas de la corteza terrestre. Las vibraciones de la corteza terrestre pueden poner en peligro los edificios construidos sobre ella debido al movimiento de sus cimientos (Bazán & Meli, 2020). El movimiento vibratorio de la masa del edificio crea fuerzas de inercia que generan tensiones en los elementos del edificio, que pueden provocar fallos.

Además de las vibraciones, existen otros efectos sísmicos que afectan estructuras, especialmente los relacionados con fallas del terreno, fenómenos de licuefacción, deslizamientos de tierra y aberturas de grietas en el terreno (Surichaqui, Quispe, & Palomino, 2021).

Figura 1. Movimiento de placas y generación de sismos. Mecanismos de subducción

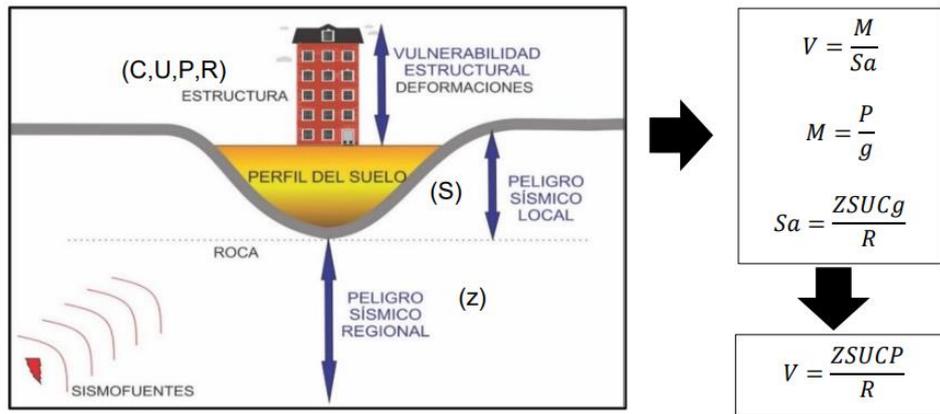


Nota: Basado en Diseño sísmico de edificios (Bazán & Meli, 2020)

2.2.1.2 Demanda Sísmica

Para (Bazán & Meli, 2020) las demandas sísmicas están relacionadas con los riesgos que plantean las edificaciones ubicadas en zonas sísmicas. Esto significa que la demanda sísmica está relacionada con las fuerzas de corte de la base sísmica debido al peligro sísmico y la debilidad de la estructura.

Figura 2 Demanda Sísmica



Nota: Basado en Diseño sísmico de edificios (Bazán & Meli, 2020)

Existe dos pasos para cuantificar el riesgo sísmico. El primero es evaluar el movimiento sísmico máximo (nivel de amenaza en términos de probabilidades) y el segundo es expresar los requisitos sísmicos a través de un espectro de demanda.

2.2.1.3 Peligro Sísmico

Como menciona (Auerschb, Romero, & Galvín, 2014) el peligro sísmico o la amenaza sísmica, es una característica inherente de un lugar en particular, que se puede evaluar, pero no se puede cambiar. Se define como la probabilidad de que ocurra un movimiento sísmico en un lugar determinado. El peligro de terremotos está relacionado con las zonas sísmicas y las condiciones locales del suelo, que dependen de las características estratigráficas y/o topográficas.

Es decir, depende de características de ingeniería sísmica de la zona, las condiciones geotécnicas y topográficas del lugar (Quintanilla Herrera, 2018). El riesgo de terremotos aumenta cuando hay proximidad a la fuente del terremoto, condiciones del suelo desfavorables o terreno irregular como depresiones y/o montañas.

La determinación del origen sismogénica se basa en las características de la estructura tectónica del lugar y el grupo de epicentros de sismos. Todo estudio geológico e historia de la actividad sísmica identifican zonas sismogénicas, o zonas donde existen fallas activas, alguna ruptura genera sismos (Bazán & Meli, 2020).

El movimiento sísmico ocurre no sólo en la zona sísmica, sino en cualquier zona lo suficientemente cercana como para que lleguen ondas sísmicas de gran amplitud. Por lo tanto, el peligro sísmico se refiere al grado en que un lugar está expuesto a

movimientos sísmicos en comparación con la intensidad máxima que puede ocurrir en ese lugar.

2.2.1.4 Caracterización de la acción sísmica sobre las edificaciones

(Nieto, Rivero, & Lobo, 2009) nos dice que la actividad sísmica se puede caracterizar de tres formas diferentes en función de los efectos que provoca en los edificios:

- Espectro de respuesta elástica
- Espectro de entrada de energía
- A través de acelerogramas

De estos tres métodos para caracterizar los efectos de la acción sísmica en los edificios, se puede decir que el último es el más objetivo, ya que se basa en el registro de la aceleración real del suelo causada por sismos que ya han ocurrido en el lugar.

Proporcionar un diagrama de acelerogramas permite realizar cálculos dinámicos directos integrando la aceleración del suelo durante la duración del evento (Aguilar, Cagua G., & Barbat, 2023).

La ventaja de este tipo de caracterización de la aceleración es que se puede conocer la respuesta dinámica exacta de los elementos y/o sistemas elastoplásticos integrados o asociados a un edificio. “La desventaja de este método es que la información computacional precisa producida por el proceso de cálculo dinámico directo por integración, depende en gran medida de la cantidad y calidad de los registros sísmicos disponibles para el cálculo.”

La Zona 3 tiene el segundo mayor riesgo sísmico después de la costa peruana, pero hay una gran diferencia en este sentido (Hernández Ramírez & Tena Colunga, 2018). Esto genera preocupación sobre si es posible desarrollar metodologías para realizar cálculos dinámicos directos y obtener registros sísmicos de aceleración del suelo de calidad y cantidad suficiente para reflejar con la mayor precisión posible la respuesta sísmica de los edificios.

Esto crea fuerzas de inercia, que ponen en peligro a la seguridad de la estructura. “Aunque se trata de un problema dinámico y su enfoque teórico, la irregularidad de los movimientos del suelo y la complejidad del sistema formado por el edificio dificultan su análisis dentro del marco del diseño”. Lo que requiere una simplificación significativa.

(Genatios & Lafuente, 2016) indica que el movimiento del suelo consta de vibración horizontal y vibración vertical. Como ya se mencionó, el primero es generalmente más importante y es el único considerado en este enfoque preliminar.

La flexibilidad de la estructura bajo la acción de fuerzas de inercia provoca vibraciones diferentes a las del propio suelo. “Las fuerzas introducidas en una estructura dependen no sólo de la fuerza del movimiento del suelo, sino también principalmente de las propiedades de la estructura misma.” Por otro lado, la fuerza es proporcional a la masa del edificio y es función de varias propiedades dinámicas que determinan los modos vibratorios.

Se puede obtener una estimación aproximada de la respuesta sísmica de una estructura examinando un modelo simple (Valerio Zacarias, 2015). “El modelo es un sistema de un grado de libertad que consta de una masa concentrada y un elemento de resistencia con rigidez lateral y amortiguación especificadas.”

El movimiento del suelo aumenta considerablemente por la vibración de la estructura, por lo que la aceleración generada dentro de la estructura es muchas veces la aceleración del suelo. El grado de refuerzo depende de la amortiguación inherente del edificio y de la relación entre el período de la estructura y el período dominante del suelo (Arellano & Cavallin, 2018).

Por lo tanto, las estructuras rígidas y pesadas son más susceptibles a movimientos rápidos del suelo, principalmente debido a olas de período corto. Un movimiento del suelo más lento y períodos más largos dan como resultado estructuras más altas y flexibles que amplifican las vibraciones, generan mayores aceleraciones y generan mayores fuerzas de inercia.

Las fuerzas de inercia generadas por las vibraciones donde se ubican las masas de los edificios se transmiten al interior de la estructura a través de caminos que dependen de la configuración de la estructura. “Estas fuerzas pueden crear tensiones y deformaciones que ponen en peligro la estabilidad de la estructura.”

2.2.1.5 Control de la repuesta sísmica en edificaciones

Las técnicas convencionales requeridas por la normativa vigente para mitigar y/o controlar la respuesta de los edificios ante los sismos se basan en una combinación

de rigidez, resistencia y capacidad de disipación de energía en las regiones inelásticas de la estructura, con la ductilidad como requisito previo (Oviedo & Duque, 2009).

De lo mencionado debemos de exhibir que el disección y proyecto de una edificación, está bruscamente inteligencia relacionada con un temblor de proyecto que a su oportunidad se rige por un tiempo de retorno y una probabilidad de excedencia.

“En nuestra normativa sismorresistente vigente (E030–2016), el sismo de diseño ha sido definido como el evento que produce la máxima aceleración horizontal tal que la probabilidad de que sea superada en un período de 50 años es del 10%.”

(San Bartolome & Quiun, 2004) menciona que actualmente, en todo el mundo se están desarrollando diversos métodos de diseño para mejorar el comportamiento de los edificios frente a cargas sísmicas. El método más aceptado y popular es el “Diseño por Desempeño”, uno de los principales desarrolladores e impulsores de la Sociedad de Ingenieros.

La base de esta propuesta se sustenta en tres conceptos desarrollados por la Organización de California (SEAOC) a través de su Comité Visión 2000.

- El nivel de demanda del sismo.
- El nivel de comportamiento sísmico del edificio.
- El nivel de importancia de edificación.

Cada concepto está vinculado globalmente a través de la matriz de desempeño presentadas por el comité Visión 2000.

2.2.1.6 Nivel de la importancia de la edificación

El comité VISIÓN 2000 normalmente clasifica los edificios en tres grupos (Maza Rubina, 2020):

Edificaciones Esenciales. Cosas que no deben dejar de funcionar después de que ocurre un terremoto. Este grupo incluye hospitales, departamentos de bomberos, departamentos de policía, etc.

Edificaciones de Seguridad Crítica. Contiene sustancias peligrosas que son perjudiciales para las personas. Aquí hay plantas industriales y centrales nucleares.

Edificaciones Comunes. Este grupo incluye todos los edificios que no se han registrado antes, como edificios residenciales, oficinas y hoteles.

Estos tres conceptos están vinculados por la matriz de desempeño propuesta por el comité Visión 2000.

Figura 3 Matriz de desempeño

		Nivel de desempeño de la Edificación			
		Totalmente Operacional	Operacional	Resguardo de vida	Cerca al Colapso
Nivel de Demanda Sísmica	Sismos Frecuentes (43 años)	Edificaciones comunes	Edificaciones esenciales	Edificaciones de seguridad Crítica	Edificaciones de seguridad Crítica
	Sismos Ocasionales (72 años)	Edificaciones esenciales	Edificaciones comunes	Edificaciones de seguridad Crítica	Edificaciones de seguridad Crítica
	Sismos Raros (475 años)	Edificaciones de seguridad Crítica	Edificaciones esenciales	Edificaciones comunes	Edificaciones de seguridad Crítica
	Sismos muy Raros (970 Años)	Edificaciones de seguridad Crítica	Edificaciones de seguridad Crítica	Edificaciones esenciales	Edificaciones comunes

Edificaciones comunes
 Edificaciones esenciales
 Edificaciones de seguridad Crítica

Nota: Basado en SEAOC– Comité Visión 2000 (Maza Rubina, 2020)

2.2.1.7 Daños estructurales más comunes

Para (Carrillo, 2008) el factor más influyente a la hora de establecer el diseño sísmico actual de los edificios es la experiencia de observar el comportamiento de varios tipos de estructuras durante grandes sismos.

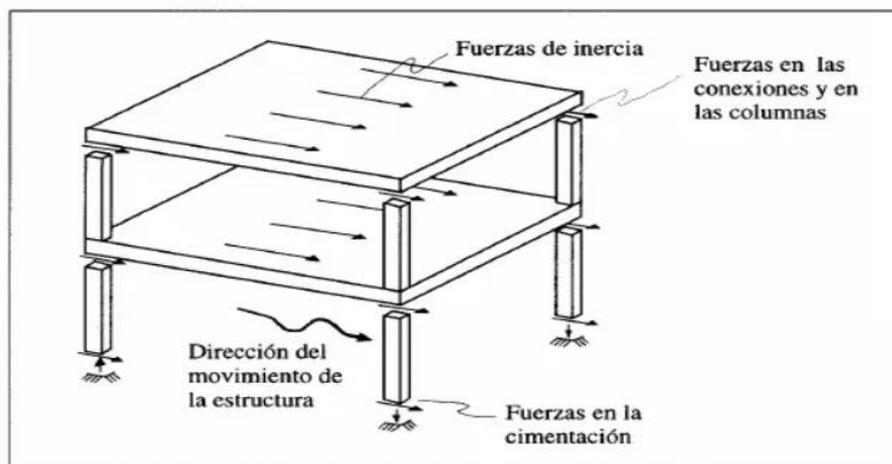
La identificación de las características que provocaron la falla (o, por el contrario, el buen funcionamiento), así como el análisis de los tipos de daños y sus causas, han contribuido en gran medida a la comprensión del comportamiento sísmico de estructuras.

Existe una gran cantidad de literatura sobre este tema y los grandes terremotos han sido objeto de extensas investigaciones para explicar el comportamiento observado de las estructuras (Bojorquez Mora, 2009). Estos acontecimientos tienden a repetir lecciones, dejando algunos patrones consistentes.

El propósito aquí no es proporcionar una descripción exhaustiva de los tipos de defectos, sino más bien resaltar algunos aspectos básicos a través de algunos ejemplos ilustrativos relacionados con los tipos estructurales más comunes de los edificios modernos. La causa más común del colapso de un edificio es la insuficiente capacidad de carga lateral de los elementos de soporte verticales (columnas o paredes) de la estructura.

Como se muestra en la imagen siguiente, el flujo de fuerzas de inercia desde la parte superior hasta los cimientos crea fuerzas de corte que aumentan hacia los pisos inferiores de la estructura, que los miembros verticales deben soportar. (Bazán & Meli, 2020) Un requisito básico para una resistencia sísmica adecuada es la presencia de suficiente área de sección transversal de pared o columna para soportar las fuerzas de corte.

Figura 4 Flujo de fuerza en la estructura debido a la vibración



Nota: Basado en Introducción a la sismología y a la ingeniería sísmica (Bazán & Meli, 2020)

Como menciona (Pupo & Recarey, 2010) la resistencia no es el único factor importante para un correcto comportamiento sísmico. La ductilidad es una propiedad que evita que los edificios colapsen. Detallar las secciones para evitar fallas frágiles y garantizar la deformabilidad es un aspecto fundamental del diseño.

La siguiente figura muestra la falla de una columna de concreto cuando la cantidad y distribución del refuerzo es completamente inadecuada, especialmente en lo que respecta al refuerzo transversal (estribos). La mayoría de fallas observadas en

estructuras de concreto son causadas por un detalle insuficiente de las barras de refuerzo.

Figura 5 Falla de columna con escaso refuerzo transversal



Nota: Basado en Introducción a la sismología y a la ingeniería sísmica (Bazán & Meli, 2020)

Las conexiones entre elementos estructurales responsables de resistir las fuerzas sísmicas, son un área crítica para la estabilidad estructural. En ellos se producen con frecuencia altas concentraciones y condiciones de tensión complejas, provocando muchas averías. Particularmente importantes son las conexiones entre paredes y techos en estructuras de paneles, y entre vigas y soportes en estructuras de marco (Moncayo Theurer, Vargas Jiménez, Santos Baquerizo, Gonzales, & Barzola Zambrano, 2017).

La siguiente imagen muestra una unión viga–columna del concreto. Estas áreas deben protegerse con especial cuidado porque suelen ser vulnerables a fallos.

Figura 6 Falla por escasez de anclaje del refuerzo de la columna en su conexión con el sistema de piso



Nota: Basado en Introducción a la sismología y a la ingeniería sísmica (Bazán & Meli, 2020)

Un ejemplo dramático de una conexión fallida es un edificio con una losa plana (apoyada directamente sobre columnas sin vigas). Los altos esfuerzos cortantes en la losa alrededor de las columnas pueden provocar una falla por punzonamiento, lo que hace que el sistema de piso quede sin soporte y el piso colapse por completo, dejando solo las columnas, como la figura siguiente.

Figura 7 Falla de un edificio a base de losas planas por punzonamiento de losa



Nota: Basado en Introducción a la sismología y a la ingeniería sísmica (Bazán & Meli, 2020)

(Ramirez Gonzales, 2022) hace mención que la conexión de una estructura a sus cimientos y al suelo es un aspecto fundamental de la estabilidad de un edificio. Aunque el colapso de edificios debido a terremotos es poco común, puede ocurrir en

estructuras largas y estrechas. La siguiente imagen muestra un edificio derrumbado con pilotes arrancados del suelo.

Figura 8 Volteo de un edificio por falla de cimentación



Nota: Basado en Introducción a la sismología y a la ingeniería sísmica (Bazán & Meli, 2020)

La configuración inadecuada de un sistema estructural puede dar como resultado respuestas estructurales o de flujo de fuerzas desfavorables, lo que lleva a concentraciones de tensiones y fallas localizadas. El caso de la siguiente figura muestra que una viga que es muy excéntrica con respecto al eje de la columna transfiere altas fuerzas cortantes y momentos de torsión a la viga transversal sobre la que descansa.

Figura 9 Falla de columna por efecto de cortante y torsión producida por excentricidad de la viga longitudinal



Nota: Basado en Introducción a la sismología y a la ingeniería sísmica (Bazán & Meli, 2020)

Por otro lado, la distribución plana asimétrica de los elementos de resistencia provoca vibraciones de torsión en la estructura, lo que genera grandes fuerzas sobre algunos elementos circundantes. Hay muchos casos en los que las fallas son causadas, al menos parcialmente, por torsión, como se muestra en la siguiente figura (Bazán & Meli, 2020).

Figura 10 Daño en edificio por vibración torsional



Nota: Basado en Introducción a la sismología y a la ingeniería sísmica (Bazán & Meli, 2020)

Una condición a menudo ignorada que causa graves daños a las edificaciones sobre terreno blando, es el impacto entre edificios adyacentes que vibran de manera diferente y la falta de suficiente espacio libre entre edificios. La siguiente ilustración muestra un caso especialmente grave de este tipo de daños.

Figura 11 Falla debido a golpeo entre edificios adyacentes



Nota: Basado en Introducción a la sismología y a la ingeniería sísmica (Bazán & Meli, 2020)

(Velarde Cruz, Bojórquez Mora, & Bojórquez Mora, 2022) expresa que la interacción entre elementos no estructurales como tabiques de ladrillo y columnas de

armazón de concreto crea una concentración de fuerzas de corte en los extremos libres de las columnas (columnas cortas o columnas fijas) que tienden a fallar y destruirse por fragilidad cortante.

Figura 12 Falla por cortante en columna corta.



Nota: Basado en Introducción a la sismología y a la ingeniería sísmica (Bazán & Meli, 2020)

En última instancia, la planificación sísmica no debe limitarse a proteger las estructuras del colapso, sino que, al menos en caso de un terremoto moderado, se deben evitar daños en elementos no portantes como elementos divisorios y de fachada, revestimientos, etc. (Bazán & Meli, 2020) . El siguiente diagrama muestra un ejemplo de este tipo de daño. Esto representa la mayor parte del daño económico causado por los terremotos, especialmente en los países desarrollados.

Figura 13 Daños en elementos de fachada por movimientos laterales excesivos del edificio



Nota: Basado en Introducción a la sismología y a la ingeniería sísmica (Bazán & Meli, 2020)

2.2.2. Criterios de diseño sísmico

2.2.2.1 Objetivos del diseño sísmico

El diseño de estructuras sísmicas es diferente al de otras contramedidas. La peculiaridad del problema de los terremotos reside no sólo en la complejidad de respuesta estructural a efectos dinámicos de un sismo, sino sobre todo en lo impredecible que es el fenómeno y en la extraordinaria intensidad que alcanzan sus efectos, lo que se relaciona con la probabilidad de que estos se produzcan. La probabilidad de ocurrencia durante la vida esperada de la estructura es muy baja (Bojorquez Mora, 2009).

Por lo tanto, mientras que en el diseño de otros efectos se tiene cuidado de garantizar que el comportamiento de la estructura se mantenga dentro de un rango lineal y no se dañe incluso en los valores máximos que las fuerzas actuantes pueden alcanzar, en el diseño sísmico se reconoce. Esto generalmente no es económico diseñar un edificio para que mantenga un comportamiento lineal durante un sismo planificado.

Para (Ramírez Díaz, 2020) el problema se formula sistemáticamente como un problema de optimización, en el que se debe sopesar una inversión inteligente en seguridad estructural, frente a la posibilidad de posibles daños.

La mayoría de los códigos de diseño sísmico modernos especifican como objetivo evitar el colapso y, al mismo tiempo, tolerar los daños en caso de sismos muy severos que puedan ocurrir durante la vida útil de la estructura. Por otro lado, durante este período es más probable que se produzcan sismos moderados para evitar cualquier tipo de daño (Quintanilla Herrera, 2018).

Más formalmente, estos objetivos se pueden formular utilizando los siguientes estados límite:

- a) Condiciones límite de operación que no superen deformaciones que causen pánico en los ocupantes, no afecten el funcionamiento de equipos y sistemas, ni dañen elementos no estructurales.

- b) Condiciones críticas de integridad estructural donde pueden ocurrir daños no estructurales y daños estructurales menores, incluyendo grietas en la estructura, pero no se ha alcanzado la capacidad de carga de elementos estructurales.
- c) Estado Límite de supervivencia en el que pueden ocurrir daños estructurales significativos, posiblemente más allá de lo que puede repararse económicamente, pero se mantiene la estabilidad general de estructura y se evita el colapso.

Generalmente, se puede establecer como objetivo de diseño sísmico:

- i. Asegúrese de que no se excedan las condiciones límite de operación en caso de sismos moderados, que pueden ocurrir varias veces durante la vida útil de una estructura.
- ii. El límite de integridad estructural, no se excede para sismos severos que poseen una probabilidad significativa de ocurrir durante la vida útil de una estructura.
- iii. No se debe superar el estado límite existente, ni siquiera en el caso de sismos inusuales con una probabilidad de ocurrencia muy baja.

(Velarde Cruz, Bojórquez Mora, & Bojórquez Mora, 2022) “argumenta que estas probabilidades se pueden procesar en forma de períodos de retorno.” La siguiente tabla proporciona una descripción general de este enfoque e indica el período de devolución permitido en cada uno de los tres casos.

Los reglamentos generalmente no proporcionan un método claro para lograr estos objetivos y necesariamente requieren análisis para tres niveles de sismicidad. Intentan satisfacerlos indirectamente, quizás a través de un conjunto de requisitos que conduzcan a ello.

Tabla 1 Estado límite para diseño sísmico

<i>Estado límite</i>	<i>Intensidad sísmica</i>	<i>Periodo de retorno, años</i>
Servicio	Moderada	20-30
Integridad estructural	Severa	50-100
Supervivencia	Extraordinaria	500-1000

Nota: Basado en Diseño sísmico de edificios (Bazán & Meli, 2020)

2.2.2.2 Aspectos principales del diseño sísmico

Los objetivos anteriores no pueden lograrse simplemente diseñando estructuras que resistan diversas fuerzas laterales, aunque ésta es una parte importante del proceso. La estructura debe ser capaz de disipar la energía introducida por el movimiento del suelo de la forma más eficiente posible (Bazán & Meli, 2020).

En pocas palabras, “Adecuación al propósito significa que la estructura tiene suficiente rigidez para limitar el desplazamiento lateral y proporcionar propiedades dinámicas que eviten una amplificación excesiva de la vibración.” Tiene suficiente resistencia a cargas laterales para absorber las fuerzas de inercia provocadas por las vibraciones (Oviedo & Duque, 2009). Al impartir ductilidad, tiene una alta capacidad para disipar energía mediante deformación inelástica.

El diseño sísmico de la estructura, involucra las etapas siguientes:

- a) Selección de un sistema estructural adecuado.

El sistema estructural, debe ser capaz de absorber y disipar la energía introducida por un sismo sin provocar efectos especialmente adversos como concentración o amplificación dinámica. El éxito de su diseño depende en gran medida de la idoneidad de su sistema.

- b) El análisis sísmico.

Esta norma define las acciones sísmicas para las cuales se debe calcular la respuesta de las estructuras y proporciona una variedad de métodos de análisis avanzados. En lugar de refinar el análisis, se debe prestar atención a determinar el modelo analítico más representativo de la estructura real. Actualmente existen programas informáticos potentes y fáciles de usar que simplifican enormemente el problema.

c) Dimensionamiento de secciones.

Los métodos de diseño de secciones y elementos estructurales, no difieren significativamente de los de otras actuaciones, con excepción del método de diseño por capacidad.

d) Detallado de la estructura.

Para que una estructura exhiba un comportamiento dúctil, los elementos y conexiones deben diseñarse cuidadosamente para proporcionar una alta capacidad de deformación antes del colapso. Los requisitos a este respecto son particularmente estrictos para las estructuras de concreto, lo que da lugar a cambios significativos en la cantidad y distribución de las barras de refuerzo en comparación con la práctica tradicional en zonas sísmicas.

2.3. Términos básicos

Teoría del caos

La teoría del caos en la ingeniería civil, hace referencia a la aplicación de principios de sistemas dinámicos y de fenómenos que pueden presentarse antes de las edificaciones (Niño Castaño, 2023).

Diseño sísmico

Este es un método alternativo para analizar y diseñar estructuras basado en requisitos sísmicos (Bazán & Meli, 2020).

Edificaciones

El término edificio se refiere a todas las estructuras diseñadas, planificadas y ejecutadas por personas dentro de un espacio específico (Casana Marino, 2018).

CAPÍTULO III

HIPÓTESIS

3.1. Hipótesis General

Conocer la teoría del caos en un diseño sísmico de estructura convencional y otra con aisladores elastoméricos contribuye a la prevención en la construcción.

3.2. Hipótesis Específica (s)

- El análisis estático o de fuerzas estáticas equivalentes para una estructura convencional contribuye a una mejor construcción en ingeniería civil.
- El análisis estático o de fuerzas estáticas equivalentes para una estructura con aisladores elastoméricos contribuye a una mejor construcción en ingeniería civil.
- El análisis dinámico para una estructura convencional contribuye a una mejor construcción en ingeniería civil.
- El análisis dinámico para una estructura con aisladores elastoméricos contribuye a una mejor construcción en ingeniería civil.

3.3. Variables (definición conceptual y operacional)

– V.I. Teoría del Caos

La Teoría del Caos es un campo interdisciplinario de estudio que se originó en las ciencias físicas y matemáticas, pero que ha encontrado aplicaciones en diversas disciplinas, como la meteorología, la biología, la economía, y la ingeniería, entre otras.

– **V.D. Diseño Sísmico**

El diseño sísmico es un conjunto de técnicas y principios utilizados en ingeniería civil para diseñar estructuras que puedan resistir y mitigar los efectos de los terremotos. Este proceso implica considerar las fuerzas dinámicas generadas por el movimiento del suelo durante un sismo y diseñar edificaciones y estructuras que puedan soportar estas fuerzas sin sufrir daños catastróficos. El objetivo del diseño sísmico es garantizar la seguridad de las personas y proteger la integridad de las estructuras frente a eventos sísmicos.

VARIABLE INDEPENDIENTE (X): Teoría del Caos

DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA
<p>La Teoría del Caos proporciona un marco conceptual para entender y modelar sistemas complejos y dinámicos, destacando la importancia de la no linealidad y la sensibilidad a las condiciones iniciales en la evolución de estos sistemas a lo largo del tiempo.</p>	<p>La Teoría del Caos implica la aplicación de métodos matemáticos y computacionales específicos para modelar, analizar y comprender sistemas dinámicos no lineales, centrándose en conceptos como sensibilidad a las condiciones iniciales, atractores y patrones fractales.</p>	<p>Análisis estático o de fuerzas estáticas equivalentes</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Periodos de vibración - Cortante basal - Fuerza Cortante 	<p>Intervalo</p>
		<p>Análisis dinámicos Modal Espectral</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Modos y periodos de vibración - Derivas - Aceleraciones - Cortante Basal 	

VARIABLE DEPENDIENTE (Y): Diseño Sísmico

DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA
<p>El diseño sísmico es una disciplina de la ingeniería estructural que se centra en desarrollar estructuras capaces de resistir y soportar las fuerzas generadas por movimientos sísmicos, también conocidos como terremotos</p>	<p>El diseño sísmico se lleva a cabo mediante una serie de operaciones que involucran desde la evaluación de riesgos sísmicos hasta la implementación de estrategias de construcción que aseguren la resistencia y seguridad de las estructuras durante eventos sísmicos.</p>	<p>Criterios de estructuración</p> <p>Modelamiento estructural</p> <p>Análisis sísmico según E.030</p>	<p>–Cargas y parámetros de diseño</p> <p>–Estructuración y dimensionamiento de elementos estructurales</p> <p>–Procedimiento de análisis</p> <p>–Análisis con base fija</p> <p>–Resultados del análisis estático</p> <p>–Resultados del análisis dinámico Modal Espectral</p>	<p>Intervalo</p>

CAPÍTULO IV METODOLOGÍA

4.1. Método de Investigación

El método científico donde se enfatiza un enfoque sistemático y organizado que fue utilizado por los científicos para investigar y comprender fenómenos naturales o problemas específicos. No hubo un único autor atribuido al método científico, ya que evolucionó a lo largo del tiempo y fue influenciado por numerosos pensadores y científicos, entre ellos Karl Popper.

4.2. Tipo de Investigación

Esta investigación fue de carácter aplicado. Según Borja (2012, p. 10), para que la investigación sea aplicada, debe abordar problemas reales y ser comprendida, capacitada y solucionada. “Este tipo de investigación se basa en la adaptación inmediata del problema antes de procesar el conocimiento de los valores universales.”

Esta actividad de investigación se aplicó para buscar e integrar conocimientos y buscar la aplicación de los conocimientos obtenidos, con el objetivo de utilizarlos para mejorar el patrimonio cultural y científico.

4.3. Nivel de Investigación

El nivel exploratorio en investigación se conceptualizó como una fase inicial y fundamental en la indagación científica, donde el investigador buscaba obtener una comprensión preliminar y general de un fenómeno o problema particular. Esta fase

se caracterizaba por la búsqueda de información, la identificación de patrones, la formulación de hipótesis iniciales y la generación de nuevas ideas. La exploración se realizaba sin un marco teórico definido de antemano, lo que permitía que emergieran nuevas perspectivas y enfoques. Consideremos algunas características clave del nivel exploratorio:

1) Indagación Inicial:

En este nivel, el investigador está en una etapa temprana de la investigación, y su objetivo principal es familiarizarse con el tema de estudio. No busca probar hipótesis específicas, sino más bien explorar ideas y generar preguntas de investigación.

2) Flexibilidad Metodológica:

La metodología exploratoria es flexible y adaptativa. Puede incluir métodos cualitativos, como entrevistas abiertas, observación participante o revisión bibliográfica extensa, que permiten capturar la complejidad y diversidad del fenómeno en estudio.

3) Generación de Hipótesis Tentativas:

Durante la fase exploratoria, se pueden formular hipótesis tentativas basadas en observaciones preliminares. Estas hipótesis actúan como guías para investigaciones más profundas en fases posteriores del proceso científico.

4) Identificación de Patrones y Tendencias:

Se realiza un análisis inicial para identificar patrones, tendencias o relaciones que puedan existir en los datos o en la literatura existente. Esto contribuye a la formulación de preguntas más específicas y enfocadas.

5) Recopilación de Información:

Se lleva a cabo una amplia recopilación de información. Los investigadores exploratorios buscan comprender la extensión y variedad de la literatura existente y las experiencias previas para orientar su enfoque y definir su marco conceptual.

6) Exploración de Nuevos Temas o Áreas:

Este nivel permite a los investigadores explorar áreas emergentes o temas poco estudiados, proporcionando una base para investigaciones futuras más detalladas.

7) Contribución a la Definición del Problema:

La investigación exploratoria contribuye a la definición más clara del problema de investigación al identificar aspectos clave, lagunas en el conocimiento y posibles enfoques para futuras investigaciones.

4.4. Diseño de la Investigación

El diseño de este estudio fue no experimental. Según Hernández Sampieri (2018), “se trató de una investigación que se realizó sin manipulación deliberada de variables.” Por lo tanto, fueron conceptos que no cambiaron intencionalmente la variable independiente para ver su efecto sobre otras variables (p. 174).

El estudio fue no experimental y transversal, ya que la recopilación de datos se llevó a cabo después de que se realizaron el análisis y el modelado en el software ETABS. De manera similar, el estudio se volvió transversal, correlacional-causal, ya que produjo asociaciones entre dos o más categorías, conceptos o múltiples variables. En un momento determinado.

4.5. Población y muestra

Población

Consistió en un conjunto de elementos con características comunes que fueron analizados por los investigadores. Estos fueron los mismos elementos que pudieron generalizarse a partir de observaciones de muestras. En nuestro estudio, la población estuvo conformada por dos estructuras investigadas: una estructura convencional y una estructura con dos tipos de dispositivos de aisladores sísmicos.

Muestra

Según Hernández Sampieri, una muestra es un subconjunto de una población o universo de interés para el cual se recopilan datos relevantes y debe ser representativa de esa población (p. 196).

Los elementos estructurales de los edificios investigados se utilizaron como muestras para los trabajos de investigación.

Figura 14 Proceso general para seleccionar una muestra



Nota: Basado en Metodología para la investigación.

Muestreo: Según Hernández Sampieri la pregunta central es: ¿de qué o de quién se recogen las notas (personas u otros seres vivos, objetos, acontecimientos, grupos de investigación) ?, y esto depende de cómo se aborde el problema, el alcance del estudio y su diseño. (2018, p. 197).

En nuestro trabajo el muestreo, fue no es probabilística porque la selección de elementos dependió de las características del estudio más que de la probabilidad.

Unidad de análisis: Según Hernández Sampieri (2018) Es la unidad donde se extrae el dato o información final. A menudo, pero no siempre, son los mismos (p. 198).

En nuestra investigación, las unidades de análisis fueron estructuras convencionales y estructuras que utilizan aisladores elastoméricos.

4.6. Técnicas e Instrumentos de recolección de datos

La técnica

La técnica de recolección de datos de este estudio fue recopilar información a través de libros, videos, cursos de capacitación, revistas y sitios web sobre el diseño de estructuras con dispositivos de aislamiento sísmico con el fin de obtener información completa sobre el tema de investigación.

Instrumento

En este estudio los instrumentos aplicados fueron las Normas Técnicas Peruanas (NTP), software ETABS, normas ASCE 7-16 y hojas de recolección de datos.

4.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Primero se realizó el diseño de una estructura convencional sin aislamiento elastomérico, se modeló la estructura en el software ETABS y se obtuvieron análisis dinámicos y estáticos.

Segundo se llevó a cabo el diseño de dos aisladores elastoméricos según la norma E0.31 (sísmica) y la norma ASCE 7-16.

Finalmente se realizó el modelado de la estructura con dos aisladores elastoméricos según la norma E0.31 (sísmica) y la norma ASCE 7-16, y se obtuvieron los resultados de los análisis dinámicos y estáticos. Posteriormente, se compararon las estructuras y resultados anteriores para determinar qué estructura presentaba un mejor comportamiento sísmico y qué tipo de dispositivo de aislamiento sísmico ofrecía un mejor rendimiento.

4.8. Aspectos éticos de la Investigación

Para ello citamos a Aliaga (2017, p. 53), quien nos dice que los aspectos éticos de la investigación debes poseer los siguientes procedimientos fundamentales:

- a) El respeto a la persona ya la personalidad, principio que se extiende a la dignidad e intimidad de la persona, sus creencias religiosas, tendencias políticas, prácticas derivadas de los lazos culturales de la colectividad y la autodeterminación.
- b) Mostrar buena voluntad personal.
- c) La equidad rige las relaciones entre las agencias relevantes y los investigadores y participantes en la investigación.
- d) la proporcionalidad y razonabilidad de evaluar la idoneidad de la investigación.
- e) No mencionados con la intención de evitar riesgos o daños a los participantes o incluso a los investigadores.

f) Se proporciona honestidad en las comunicaciones transparentes entre las partes involucradas en la investigación.

g) no realizar estudios que afecten negativamente la calidad de vida. Seguridad y protección de la población vulnerable y dependiente.

En este proyecto de investigación, se toman en consideración los principios básicos mencionados, ya que son guiados por expertos en el campo y se implementan sobre la base de las referencias y normas que lo acompañan en la construcción de nación. Por ello, el Código Ético es importante para no infringir sus derechos de autor.

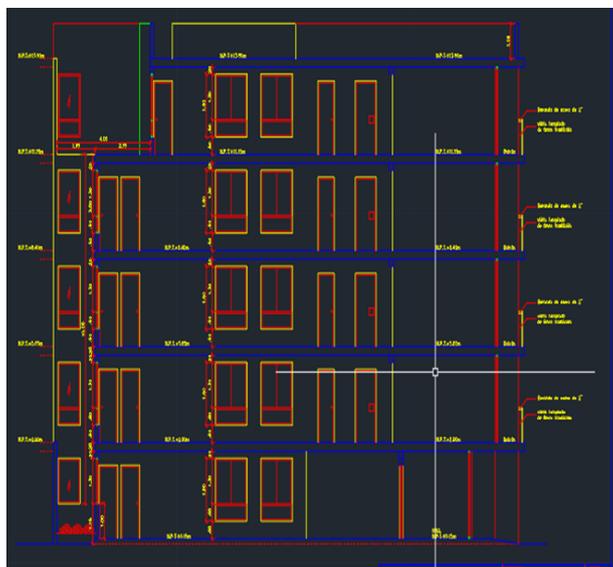
CAPÍTULO V RESULTADOS

5.1. Descripción de resultados

Propuesta de un proyecto, que es una edificación de seis plantas compuesto por un departamento en cada piso, con un área de proyecto de 160 metros cuadrados, y el proyecto fue desarrollado sobre la base de R.N.E. Se tomó en consideración la norma de carga vigente E-0.20, piso/cimentación E-0.50, diseño sísmico E-0.30 y de concreto armado E-0.60.

Este proyecto se desarrolló sobre la base del anteproyecto arquitectónico aprobado correspondiente al edificio en cuestión.

Figura 15 Vista elevación principal



Nota: Propuesta “Edificio residencial”

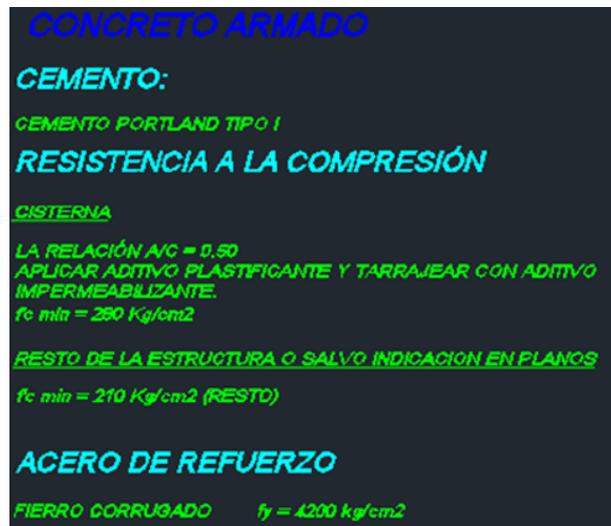
5.1.1. Descripción de la estructura

De acuerdo con el Reglamento Nacional de Edificaciones – RNE, Título 11– Obras de Construcción; todo proyecto, desde sus estructuras e instalaciones han de ser desarrolladas por especialistas en diseños de estructuras, así como fue desarrollado este proyecto.

Para determinar el esfuerzo de cada elemento estructural se tuvieron en cuenta las normas proporcionadas por R.N.E. y dichas normas fueron E0,20 y E0,30.

El edificio para este proyecto está construido de concreto armado. El falso techo está formado por un techo ligero y paneles macizos de 20 cm de espesor que forman una membrana rígida.

Figura 16 Especificaciones técnicas



Nota: Propuesta “Edificio residencial”

5.1.2. Criterios de estructuración:

Se seleccionó un sistema compuesto por una estructura de concreto armado y muros de mampostería según la nomenclatura del código de diseño sísmico vigente E-030-2018. Como dirección eligió un pórtico y un sistema de muros de mampostería.

Las columnas de pórtico brindan resistencia a cargas verticales convencionales con poco efecto de flexión sobre la estructura y están diseñadas para este propósito (compresión por flexión) teniendo en cuenta los requisitos de ductilidad y los mecanismos de falla esperados. En todos los casos se utilizó concreto con $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$.

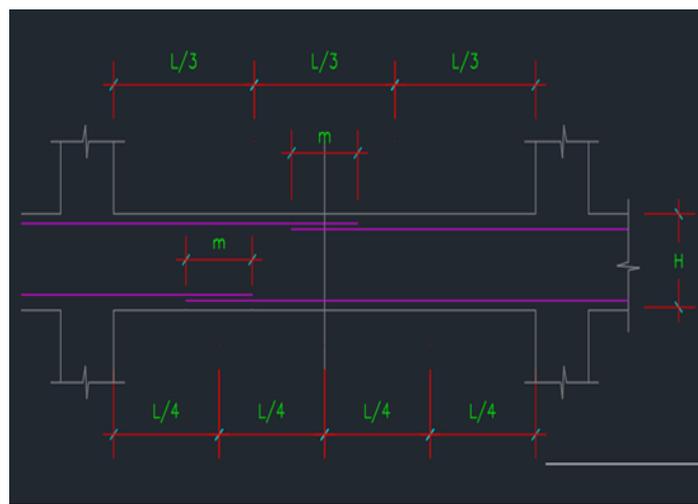
Para ejecutar el modelo se utilizó el programa ETABS, para el análisis estructural, como para el diseño de vigas y columnas. Para el diseño de los paneles se utilizó una hoja de cálculo Excel.

5.1.3. Dimensionamiento de elementos estructurales

5.1.3.1. Losas aligeradas:

Las losas de los techos aligerados están diseñadas para funcionar en la dirección de menor luz disponible (L).

Figura 17 Dimensionamiento losas aligeradas



Nota: Propuesta “Edificio residencial”

5.1.3.2. Vigas

Las vigas principales, que sostienen las cargas más críticas del techo, tienen una longitud estimada en los planos. Por motivos arquitectónicos, se requiere que las dimensiones de las vigas de cimentación sean reforzadas y fortalecidas en consecuencia.

5.1.3.3. Columnas

Se han considerado las siguientes sobrecargas de diseño según los criterios de carga del R.N.E., teniendo en cuenta:

5.1.4. Cargas de diseño

El peso propio de elementos estructurales se calcula utilizando ETABS y la carga muerta se mide en función del peso de los techos y tabiques livianos para determinar el peso total del edificio.

5.1.5. Materiales

Los materiales utilizados en el diseño y análisis de la estructura son:

5.1.5.1. Concreto:

$$E_c = 217000 \text{ kg/cm}^2$$

$$f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2 \quad \gamma_c = 2.40 \text{ t/m}^3$$

5.1.5.2. Acero:

$$F_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$$

$$E_a = 2000000 \text{ kg/cm}^2$$

5.1.6. Parámetros sísmicos

5.1.6.1. Zonificación (Z):

El país está dividido en cuatro zonas según las características generales del movimiento sísmico y la información sobre nuevas deformaciones de la corteza terrestre. Las cuatro zonas mencionadas son:

Figura 18 Mapa de zonificación sísmica



Nota: Basado en Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento (Norma E-0.30 Diseño Sismorresistente, 2016)

La tabla estándar E-0.30 se utiliza para clasificar las formas del suelo.

Tabla 2 Perfiles del suelo

CLASIFICACIÓN DE LOS PERFILES DE SUELO			
Perfil	V_s	\bar{N}_{60}	\bar{s}_u
S ₀	> 1500 m/s	-	-
S ₁	500 m/s a 1500 m/s	> 50	>100 kPa
S ₂	180 m/s a 500 m/s	15 a 50	50 kPa a 100 kPa
S ₃	< 180 m/s	< 15	25 kPa a 50 kPa
S ₄	Clasificación basada en el EMS		

Nota: Basado en Norma E3:30

5.1.7. Parámetros de sitio (tp, tl y s):

Se considera el tipo de perfil que mejor describe la situación local. Se utilizan los valores especificados en la norma E-0.30 Diseño sismorresistente, determinados en la siguiente tabla:

Tabla 3 Factores de Suelo "S"

FACTOR DE SUELO "S"				
ZONA \ SUELO	S ₀	S ₁	S ₂	S ₃
	Z ₄	0,80	1,00	1,05
Z ₃	0,80	1,00	1,15	1,20
Z ₂	0,80	1,00	1,20	1,40
Z ₁	0,80	1,00	1,80	2,00

Nota: Basado en Norma E-0.30

Tabla 4 Periodos

Tabla N° 4 PERÍODOS "T _P " Y "T _L "				
	Perfil de suelo			
	S ₀	S ₁	S ₂	S ₃
T _P (s)	0,3	0,4	0,6	1,0
T _L (s)	3,0	2,5	2,0	1,6

Nota: Basado en Norma E-0.30

Dónde:

T_p: Periodo que define la plataforma del espectro.

S: Factor de amplificación de suelo

En nuestro caso, según la tabla, los parámetros del suelo encontrados en obra son:

$$T_P = 0.40, T_L = 2.5 \text{ y } S = 1.00$$

5.1.8. Factor de amplificación sísmica (C):

Dependiendo de las características del sitio se determina el factor de amplificación sísmica (C).

Tabla 5 Factor de Amplificación Sísmica

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

Nota: Basado en Norma E-0.30

Este coeficiente, se interpreta como el factor de amplificación de aceleración estructural en comparación con la aceleración del suelo. En nuestro caso, C se calcula con análisis estático.

5.1.9. Categoría de la edificación y factor de uso (U):

Cada estructura debe clasificarse según las categorías que se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 6 Categoría de las edificaciones y Factor

CATEGORÍA DE LAS EDIFICACIONES Y FACTOR "U"		
CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN	FACTOR U
	A1: Establecimientos del sector salud (públicos y privados) del segundo y tercer nivel, según lo normado por el Ministerio de Salud.	Ver nota 1
A Edificaciones Esenciales	A2: Edificaciones esenciales para el manejo de las emergencias, el funcionamiento del gobierno y en general aquellas edificaciones que puedan servir de refugio después de un desastre. Se incluyen las siguientes edificaciones: - Establecimientos de salud no comprendidos en la categoría A1. - Puertos, aeropuertos, estaciones ferroviarias de pasajeros, sistemas masivos de transporte, locales municipales, centrales de comunicaciones. - Estaciones de bomberos, cuarteles de las fuerzas armadas y policía. - Instalaciones de generación y transformación de electricidad, reservorios y plantas de tratamiento de agua. - Instituciones educativas, institutos superiores tecnológicos y universidades. - Edificaciones cuyo colapso puede representar un riesgo adicional, tales como grandes hornos, fábricas y depósitos de materiales inflamables o tóxicos. - Edificios que almacenen archivos e información esencial del Estado.	1,5
	B Edificaciones Importantes	Edificaciones donde se reúnen gran cantidad de personas tales como cines, teatros, estadios, coliseos, centros comerciales, terminales de buses de pasajeros, establecimientos penitenciarios, o que guardan patrimonios valiosos como museos y bibliotecas. También se consideran depósitos de granos y otros almacenes importantes para el abastecimiento.
C Edificaciones Comunes	Edificaciones comunes tales como: viviendas, oficinas, hoteles, restaurantes, depósitos e instalaciones industriales cuya falla no acarree peligros adicionales de incendios o fugas de contaminantes.	1,0
D Edificaciones Temporales	Construcciones provisionales para depósitos, casetas y otras similares.	Ver nota 2

Nota: Basado en Norma E-0.30

En nuestro caso nuestra categoría es TIPO C, porque es para edificaciones convencionales.

5.1.10. Categorías y sistemas estructurales:

Los coeficientes de atenuación de la fuerza sísmica (R_0) se utilizan según la clasificación del edificio.

Tabla 7 Sistemas Estructurales

SISTEMAS ESTRUCTURALES	
Sistema Estructural	Coficiente Básico de Reducción R_0 (*)
Acero:	
Pórticos Especiales Resistentes a Momentos (SMF)	8
Pórticos Intermedios Resistentes a Momentos (IMF)	7
Pórticos Ordinarios Resistentes a Momentos (OMF)	6
Pórticos Especiales Concéntricamente Arriostrados (SCBF)	8
Pórticos Ordinarios Concéntricamente Arriostrados (OCBF)	6
Pórticos Excéntricamente Arriostrados (EBF)	8
Concreto Armado:	
Pórticos	8
Dual	7
De muros estructurales	6
Muros de ductilidad limitada	4
Albanilería Armada o Confinada.	3
Madera (Por esfuerzos admisibles)	7

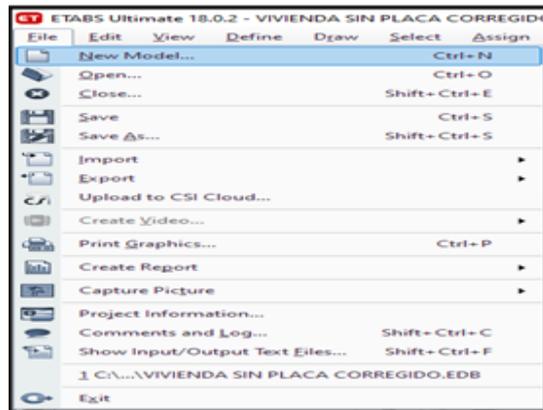
Nota: Basado en Norma E-0.30

En las direcciones X-X, “el sistema se encuentra integrado por sistemas de pórticos de concreto armado, a lo cual se empleará un factor de reducción para las fuerzas sísmicas $R_x = 8.0$. En las direcciones Y-Y, el sistema será integrado por unos sistemas de pórticos de concreto armado y de muros de albañilería, empleándose un factor de reducción de fuerzas sísmicas $R_y = 8.0$ respectivamente.”

5.2. Diseño de la estructura estándar utilizando el software ETABS versión 18.02.

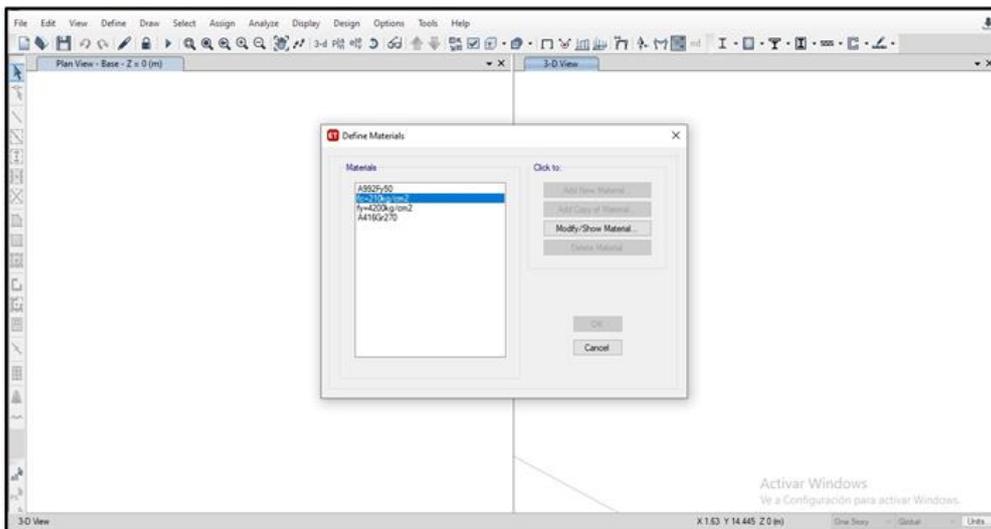
Etabs, es un software de diseño para análisis estructural y dimensionamiento de elementos estructurales, que ofrece modelado y visualización de objetos 3D, capacidades de análisis lineal y no lineal, herramientas que cubren una amplia gama de materiales e iluminación para gráficos, informes y diseños. Un esquema que facilita la comprensión del análisis y resultados.

Figura 19 Apertura del programa



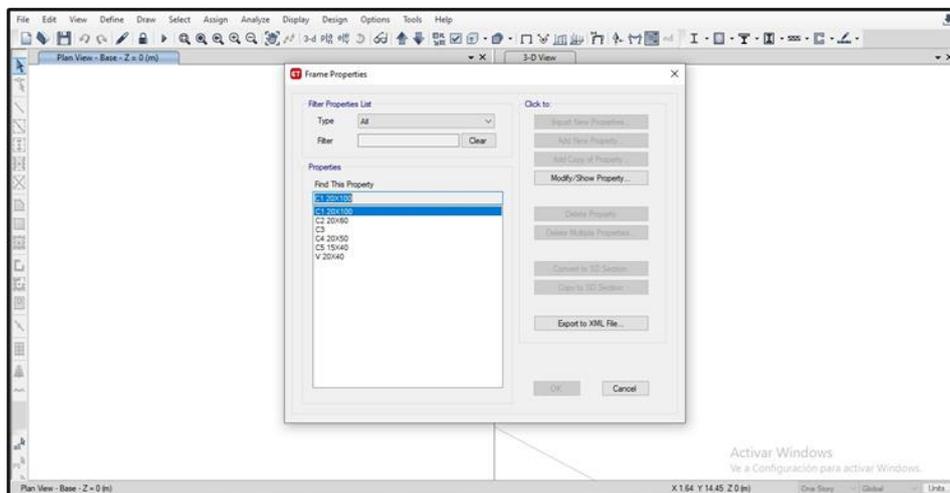
Nota: Estructuración de la información

Figura 20 Definición de materiales, secciones y de diafragmas



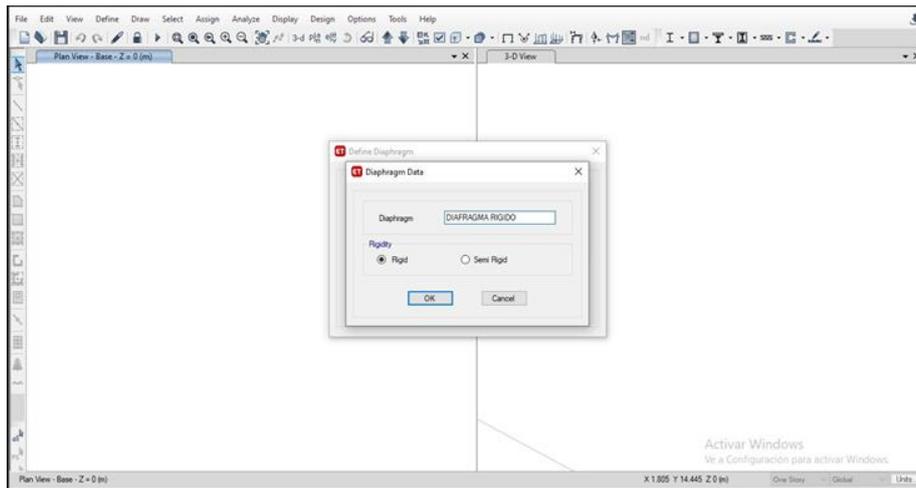
Nota: Estructuración de la información

Figura 21 Asignación de elementos estructurales



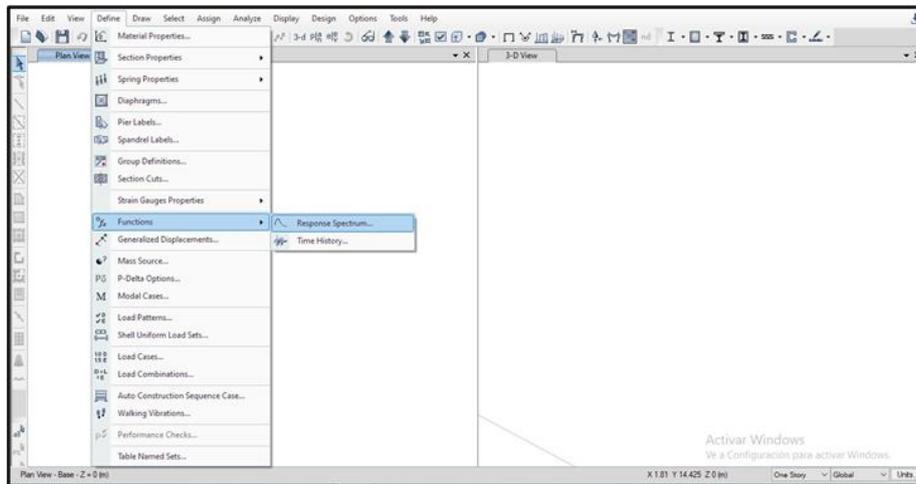
Nota: Estructuración de la información

Figura 22 Asignación de diafragmas



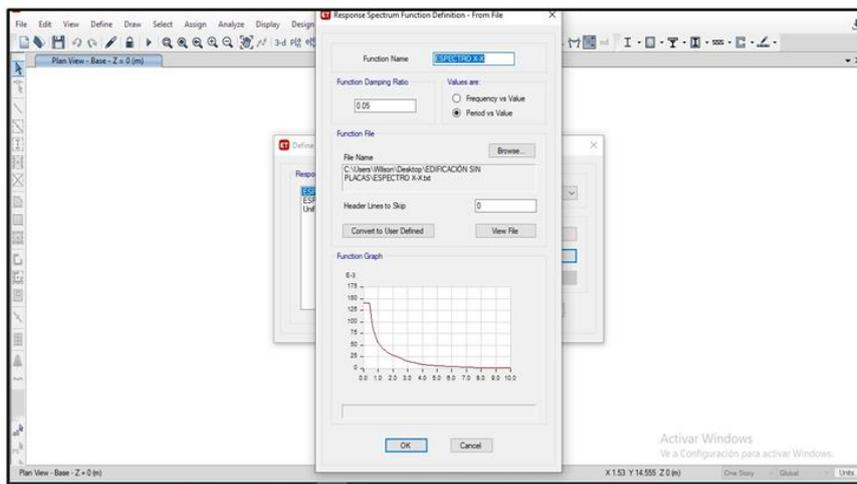
Nota: Estructuración de la información

Figura 23 Espectro de diseño I



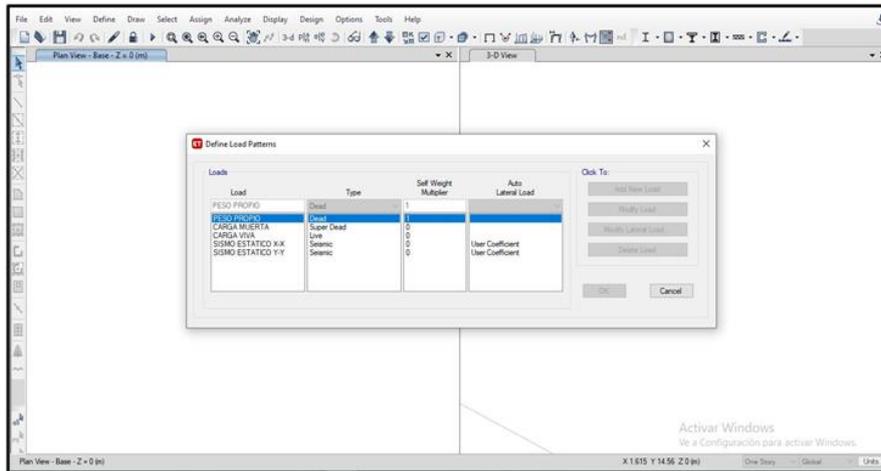
Nota: Estructuración de la información

Figura 24 Espectro de diseño II



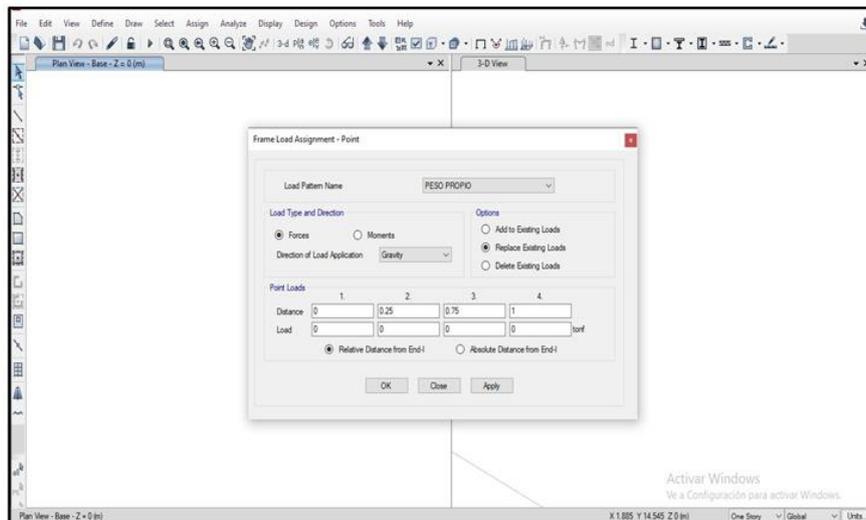
Nota: Estructuración de la información

Figura 25 Patrones de carga – I



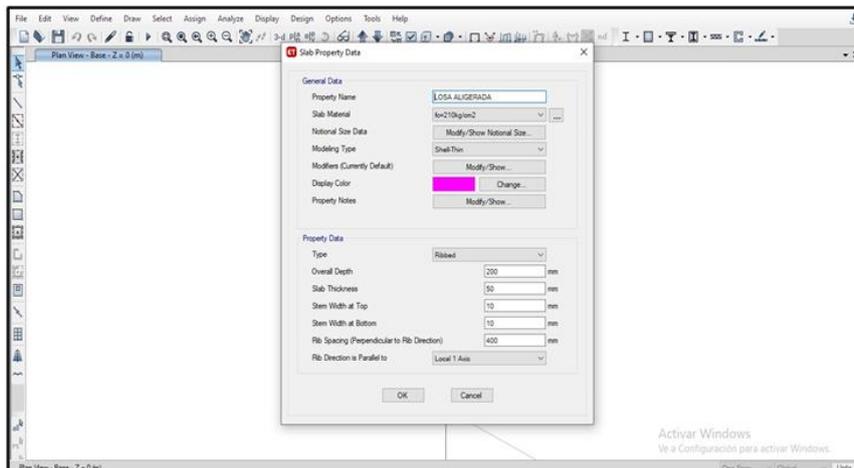
Nota: Estructuración de la información

Figura 26 Espectro de cargas – II



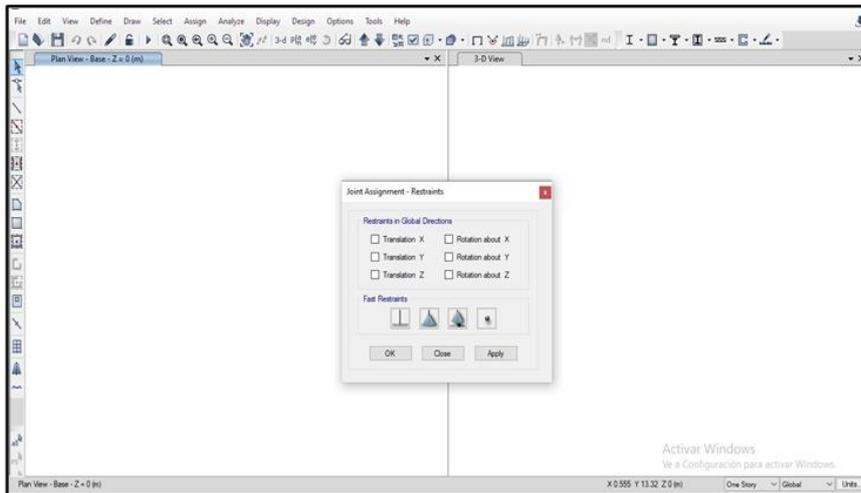
Nota: Estructuración de la información

Figura 27 Losa Aligerada



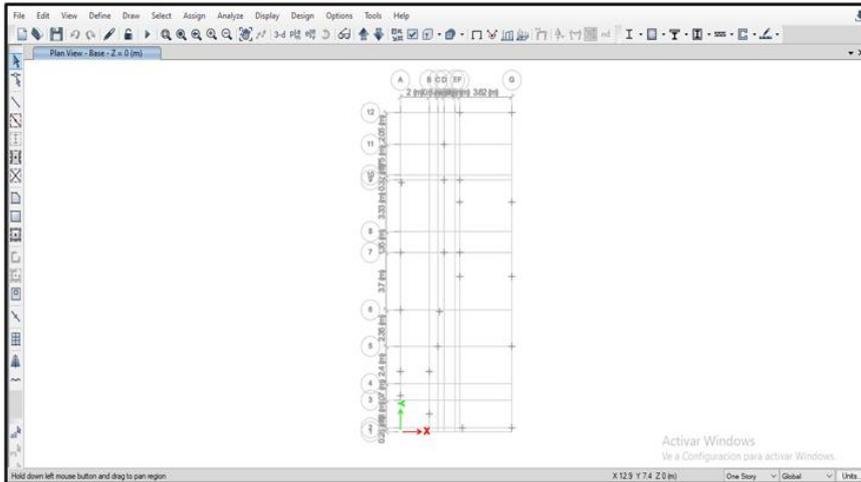
Nota: Estructuración de la información

Figura 28 Restricciones



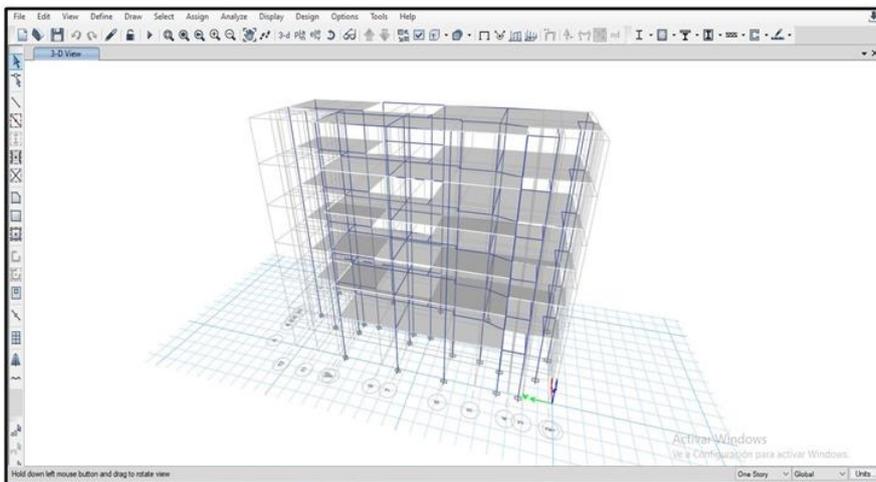
Nota: Estructuración de la información

Figura 29 Vista de planta



Nota: Estructuración de la información

Figura 30 Vista en 3 – D



Nota: Estructuración de la información

5.2.1. Estructura convencional – Análisis estático

5.2.1.1. Altura total de la edificación

h_n = 17.55m

5.2.1.2. Peso total de la edificación

	Peso (ton)
Piso 6	135.65
Piso 5	157.16
Piso 4	157.16
Piso 3	157.16
Piso 2	157.16
Piso 1	164.24
	928.52

P = 928.52 TN

5.2.1.3. Zonificación E-0.30 2018 (ART. 10)

Zona Sísmica = 4

Zona (Z) = 0.45 g

5.2.1.4. Condiciones Geotécnicas: E-0.30 2018 (ART. 12)

PERFIL DEL SUELO TIPO = S1

FACTOR DE SUELO (S) = 1.00

PERIODO CORTO (T_p) = 0.40

PERIODO LARGO (T_L) = 2.50

5.2.1.5. Categoría Del Edificio E-030 2018 (ART. 15)

CATEGORIA DEL EDIFICIO = COMÚN

TIPO DE EDIFICACIÓN (U) = 1.00

5.2.1.6. Sistema Estructural E-030 2018 (ART. 18.2)

SISTEMA ESTRUCTURAL EJE X PÓRTICOS

COEFICIENTE DE REDUCCIÓN (R_o) EJE X= 8.00

SISTEMA ESTRUCTURAL EJE Y PÓRTICOS

COEFICIENTE DE REDUCCIÓN (R_o) EJE X= 8.00

5.2.1.7. Factores de Irregularidad E-030 2018 (ART. 20)

IRREGULARIDAD EN ALTURA EJE X =	No irregular
IRREGULARIDAD (I _a) EJE X =	1.00
IRREGULARIDAD EN ALTURA EJE Y =	No irregular
IRREGULARIDAD (I _a) EJE Y =	1.00
IRREGULARIDAD EN PLANTA EJE X =	Esquinas entrantes
IRREGULARIDAD (I _p) EJE X =	0.90
IRREGULARIDAD EN PLANTA EJE Y =	Esquinas entrantes
IRREGULARIDAD (I _p) EJE Y =	0.90

5.2.1.8. Coeficiente de reducción de las fuerzas sísmicas E-030 2018 (ART. 22)

$$R = R_0 \cdot I_a \cdot I_p$$

COEFICIENTE DE REDUCCIÓN (R_x) = 7.2

COEFICIENTE DE REDUCCIÓN (R_y) = 7.2

5.2.1.9. Periodo fundamental de vibración E-030 2018 USANDO ETABS

Tabla 8 Periodos y frecuencias

Case	Mode	Period sec	Frequency cyc/sec	CircFreq rad/sec	Eigenvalue rad ² /sec ²
Modal	1	0.665	1.503	9.4453	89.213
Modal	2	0.539	1.856	11.6592	135.9368
Modal	3	0.507	1.974	12.404	153.8603
Modal	4	0.205	4.869	30.5921	935.8795
Modal	5	0.164	6.087	38.2461	1462.7679
Modal	6	0.154	6.494	40.8061	1665.1402
Modal	7	0.109	9.19	57.7443	3334.4048
Modal	8	0.086	11.692	73.4625	5396.741
Modal	9	0.079	12.662	79.5608	6329.919
Modal	10	0.07	14.285	89.7579	8056.4792
Modal	11	0.055	18.275	114.8223	13184.1674
Modal	12	0.05	19.931	125.2298	15682.5127
Modal	13	0.05	20.144	126.5694	16019.8031
Modal	14	0.041	24.59	154.505	23871.7802
Modal	15	0.04	25.156	158.0585	24982.5
Modal	16	0.039	25.747	161.7709	26169.8154

Nota: Estructuración de la información

PERIODO INTERMEDIO (T_x) = 0.665Seg

PERIODO INTERMEDIO (T_y) = 0.539Seg

5.2.1.10. Exponente relacionado con periodo fundamental E-030 2018 (Art. 28.3)

- a) Para T menor o igual a 0,5 segundos: k = 1,0.
- b) Para T mayor que 0,5 segundos: k = (0,75 + 0,5 T) ≤ 2,0.

$$K_x = 1.08$$

$$K_y = 1.02$$

5.2.1.11. Factor de amplificación sísmica: E-030 2018 (Art. 14)

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

$$C_x = 1.50$$

$$C_y = 1.86$$

El valor de c/r no se considera < que: E-030 2018 (Art. 28.2.2)

$$\frac{C}{R} \geq 0,11$$

$$C_x/R_x = 0.21$$

$$C_y/R_y = 0.26$$

5.2.2. Consolidación de datos:

EJE X

Z =	0.45
U =	1.00
C =	1.50
S =	1.00
R =	7.20

EJE Y

Z =	0.45
U =	1.00
C =	1.86
S =	1.00
R =	7.20

Determinación de cortante basal E-030 2018 (Art. 28.2.1)

$$V = \frac{Z \cdot U \cdot C \cdot S}{R} \cdot P$$

$$V_x = 137.447 \text{ TN}$$

$$V_y = 152.337 \text{ TN}$$

5.2.3. Resultados del ETABS

Tabla 9 Fuerzas Cortantes

	Ecc Ratio	Top Story	Bottom Story	Ecc Overwrite Story	Ecc Overwrite Diaphragm	Ecc Overwrite Length m	C	K	Weight Used tonf	Base Shear tonf
	0.05	Story6	Base				0.14803	1.0825	928.51684	137.4483
	0.05	Story6	Base				0.16406	1.02	928.51684	152.3325

Nota: Estructuración de la información

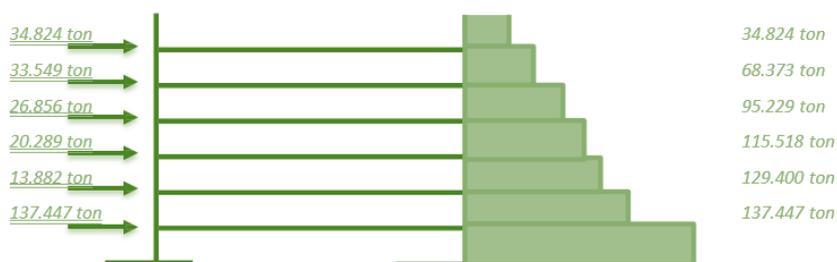
5.2.4. Distribución de las fuerzas sísmicas en altura e-030

Tabla 10 Dirección Eje X-X

	Peso (ton)	h (m)	Pi [(hi)] ^{^k}	ai	Fi
Piso 6	135.65	17.55	3015.43	0.253	34.824
Piso 5	157.16	14.80	2905.03	0.244	33.549
Piso 4	157.16	12.05	2325.47	0.195	26.856
Piso 3	157.16	9.30	1756.81	0.148	20.289
Piso 2	157.16	6.55	1202.05	0.101	13.882
Piso 1	164.24	3.80	696.78	0.059	8.047
Σ = Peso edif.	928.53	=	11901.57	1.000	137.447
				Valor Ok!	

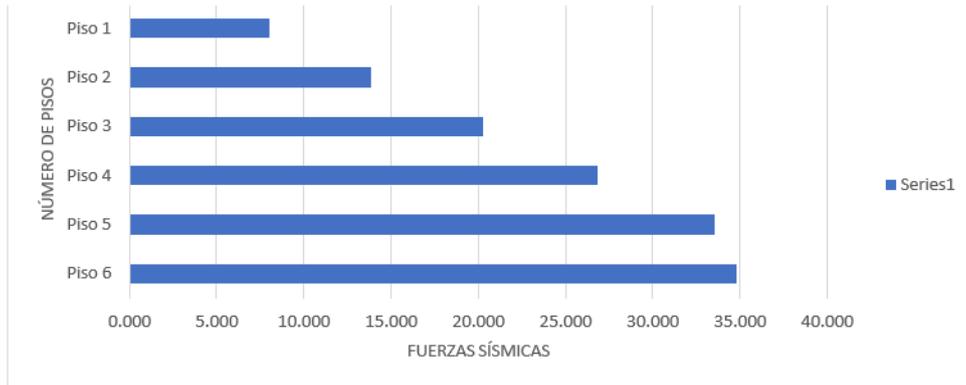
Nota: Estructuración de la información

Figura 31 Gráfico de fuerzas en la base



Nota: Estructuración de la información

Figura 32 Fuerzas laterales por piso – Fuerzas Cortantes por piso



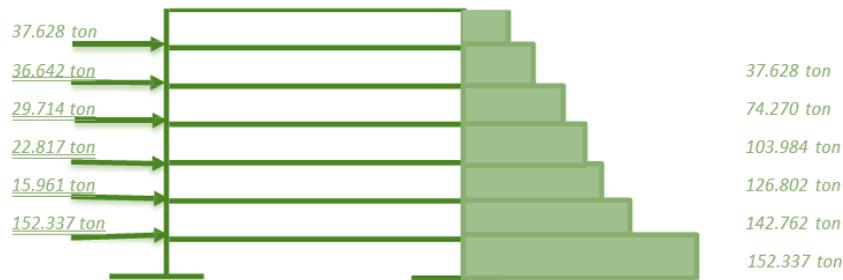
Nota: Estructuración de la información

Tabla 11 Dirección Eje Y–Y

	Peso (ton)	h (m)	$P_i [(h_i)]^{k}$	α_i	F_i
Piso 6	135.65	17.55	2517.45	0.247	37.628
Piso 5	157.16	14.80	2451.45	0.241	36.642
Piso 4	157.16	12.05	1987.96	0.195	29.714
Piso 3	157.16	9.30	1526.55	0.150	22.817
Piso 2	157.16	6.55	1067.82	0.105	15.961
Piso 1	164.24	3.80	640.57	0.063	9.575
$\Sigma = \text{Peso edif.}$	928.53	$\Sigma = P_i [(h_i)]^{k}$	10191.81	1.000	152.337
				Valor Ok!	

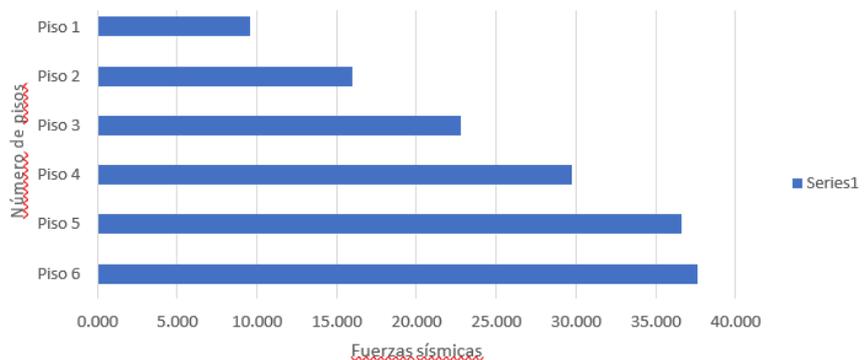
Nota: Estructuración de la información

Figura 33 Fuerzas en la base



Nota: Estructuración de la información

Figura 34 Fuerzas laterales por piso – Fuerzas Cortantes por piso



Nota: Estructuración de la información

Interpretación

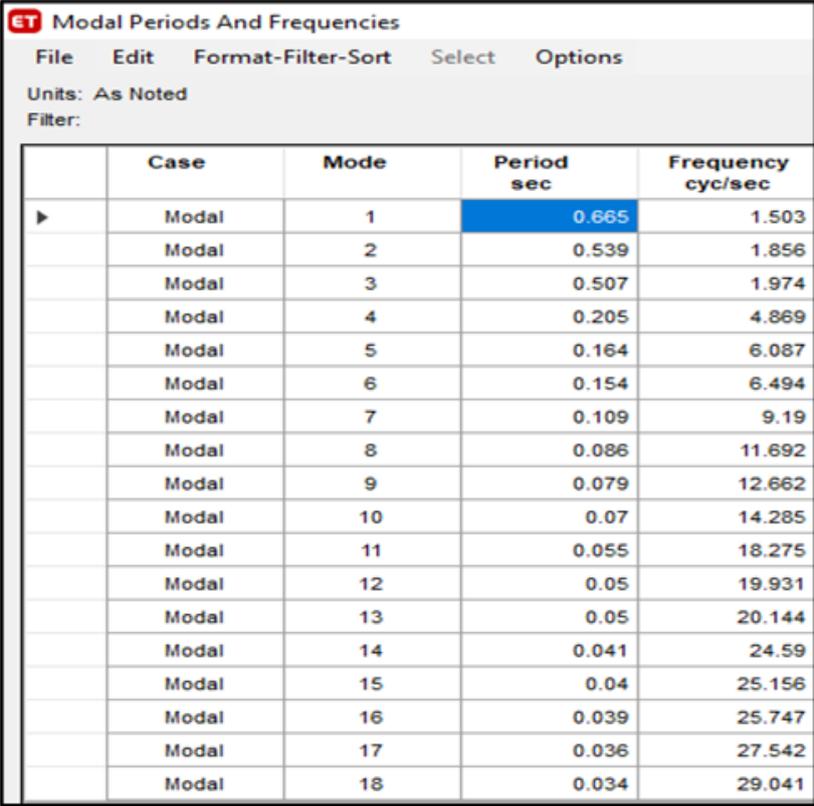
En este análisis de fuerzas estáticas o equivalentes, las fuerzas cortantes básicas distribuidas en cada nivel del edificio se determinaron según las tablas y diagramas presentados. Este período se determinó a partir del modelado del programa ETABS. Sustituya estos datos en una tabla para obtener “C” (factor de amplificación sísmico) y obtener el factor inelástico ($ZUCS/R$). Puede insertar esto en ETABS para obtener el corte fundamental en el eje X o extraerlo en el eje Y.

Según la actual norma E-0.30 2018, este empuje estático está determinado a cumplir los siguientes requisitos: El empuje dinámico no debe ser inferior al 80% del empuje estático para edificios regulares y al 90% para edificios irregulares.

5.2.5. Análisis dinámico

Según la norma E-0.30, cualquier estructura se puede diseñar utilizando los resultados de un análisis dinámico de combinaciones modales espectrales.

Tabla 12 – Modos



The image shows a screenshot of the ETABS software interface, specifically the 'Modal Periods And Frequencies' window. The window has a menu bar with 'File', 'Edit', 'Format-Filter-Sort', 'Select', and 'Options'. Below the menu bar, it says 'Units: As Noted' and 'Filter:'. The main content is a table with 5 columns: 'Case', 'Mode', 'Period sec', and 'Frequency cyc/sec'. The table lists 18 modal cases, each with a period and frequency value. The first row is highlighted in blue.

Case	Mode	Period sec	Frequency cyc/sec
Modal	1	0.665	1.503
Modal	2	0.539	1.856
Modal	3	0.507	1.974
Modal	4	0.205	4.869
Modal	5	0.164	6.087
Modal	6	0.154	6.494
Modal	7	0.109	9.19
Modal	8	0.086	11.692
Modal	9	0.079	12.662
Modal	10	0.07	14.285
Modal	11	0.055	18.275
Modal	12	0.05	19.931
Modal	13	0.05	20.144
Modal	14	0.041	24.59
Modal	15	0.04	25.156
Modal	16	0.039	25.747
Modal	17	0.036	27.542
Modal	18	0.034	29.041

Nota: Estructuración de la información

5.2.6. Cálculo del espectro de sismo de diseño

$$\frac{Z \cdot U \cdot C \cdot S}{R}$$

Resultado = 0.164

5.2.7. Desplazamientos laterales relativos admisibles: E-030 2018 (ART. 32)

MATERIAL PREDOMINANTE = CONCRETO ARMADO

$$(\Delta_l / h_{ei})_{(x)} = 0.007$$

MATERIAL PREDOMINANTE = CONCRETO ARMADO

$$(\Delta_l / h_{ei})_{(y)} = 0.007$$

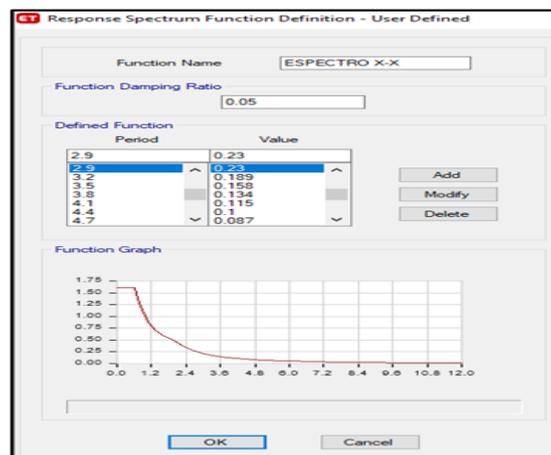
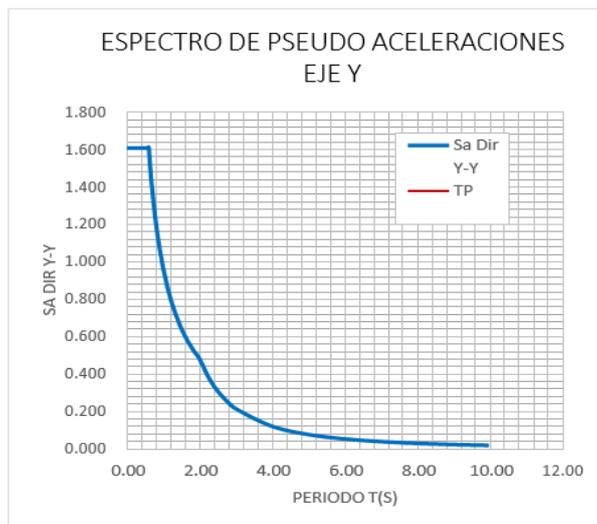
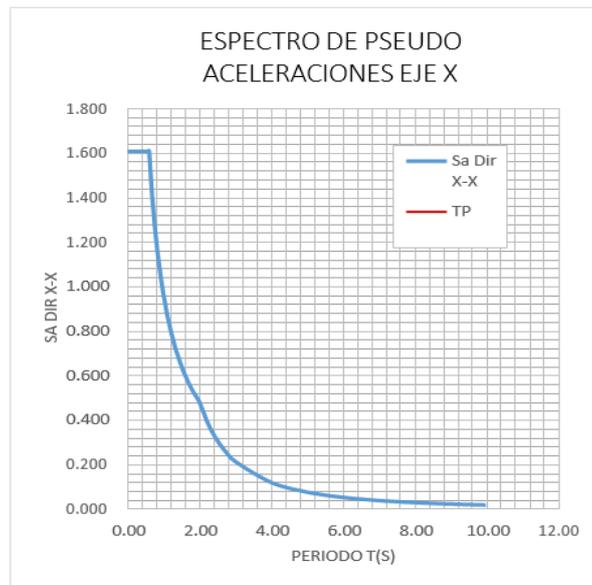
5.2.8. Datos obtenidos eje X e Y

C	T	Sa Dir X-X	Sa Dir Y-Y
2.50	0.00	1.609	1.609
2.50	0.02	1.609	1.609
2.50	0.04	1.609	1.609
2.50	0.06	1.609	1.609
2.50	0.08	1.609	1.609
2.50	0.10	1.609	1.609
2.50	0.12	1.609	1.609
2.50	0.14	1.609	1.609
2.50	0.16	1.609	1.609
2.50	0.18	1.609	1.609
2.50	0.20	1.609	1.609
2.50	0.25	1.609	1.609
2.50	0.30	1.609	1.609
2.50	0.35	1.609	1.609
2.50	0.40	1.609	1.609
2.50	0.45	1.609	1.609
2.50	0.50	1.609	1.609
2.50	0.55	1.609	1.609
2.50	0.60	1.609	1.609
2.31	0.65	1.486	1.486
2.14	0.70	1.380	1.380
2.00	0.75	1.288	1.288
1.88	0.80	1.207	1.207
1.76	0.85	1.136	1.136
1.67	0.90	1.073	1.073
1.58	0.95	1.016	1.016
1.50	1.00	0.966	0.966
1.36	1.10	0.878	0.878
1.25	1.20	0.805	0.805
1.15	1.30	0.743	0.743
1.07	1.40	0.690	0.690
1.00	1.50	0.644	0.644
0.94	1.60	0.604	0.604
0.88	1.70	0.568	0.568
0.83	1.80	0.536	0.536
0.79	1.90	0.508	0.508
0.75	2.00	0.483	0.483
0.59	2.25	0.382	0.382
0.48	2.50	0.309	0.309
0.40	2.75	0.255	0.255
0.33	3.00	0.215	0.215
0.19	4.00	0.121	0.121
0.12	5.00	0.077	0.077
0.08	6.00	0.054	0.054
0.06	7.00	0.039	0.039
0.05	8.00	0.030	0.030
0.04	9.00	0.024	0.024
0.03	10.00	0.019	0.019

Zona	Z 4	Z = 0.45
Categoría	C	U = 1.00
Suelo	S 1	S = 1.00
Tp (s)	0.4	C = 1.50
Tl (s)	2.5	R = 7.20
T (s)	0.665	
Ro	8.000	
lp	0.900	
la	1.000	

5.2.9. Espectros de diseño

Tabla 13 Espectro de Diseño



Nota: Estructuración de la información

Tabla 14 – Cortante sísmico

Output Case	Case Type	Step Type	Step Number	Step Label	FX tonf	FY tonf	FZ tonf	MX tonf-m
PESO PROPIO	LinStatic				0	0	489.3628	4982.9005
CARGA MUERTA	LinStatic				0	0	423.6188	4031.9634
CARGA VIVA	LinStatic				0	0	147.0899	1399.9873
SISMO ESTatico X-X	LinStatic				-137.4483	0	0	0
SISMO ESTatico Y-Y	LinStatic				0	-152.3325	0	1913.9362
Sismo Dinamico X	LinRespSpec	Max			99.809	23.1778	0	281.2696
Sismo Dinamico Y	LinRespSpec	Max			23.1778	121.1868	0	1488.0884
CARGA VIVA TECHO	LinStatic				0	0	17.6508	167.9985
SISMO ESTatico X - INE...	LinStatic				-841.1839	0	0	0
SISMO ESTatico Y - INE...	LinStatic				0	-932.2747	0	11713.2895
Sismo Dinamico X - INEL...	LinRespSpec	Max			718.6252	166.8804	0	2025.1408
Sismo Dinamico Y - INEL...	LinRespSpec	Max			166.8804	872.5452	0	10714.2363
PESO SIMICO EXCEL	Combination				0	0	954.1668	9406.8603

Nota: Estructuración de la información

$$VD_x = 99.809 \text{ TN}$$

$$VD_y = 121.1868 \text{ TN}$$

5.2.10. Verificaciones según norma E-0.30

Dirección de análisis en X

$$V_{\text{Basal}} = V_{S_xE} = 137.447 \text{ ton}$$

$$90\% \quad V_{S_xD} = 99.809$$

$$90\% \quad V_{S_xE} = 123.702 \text{ ton}$$

Fuerza Cortante Min: $V_{S_xD} \geq 90\% V_{S_xE}$
 Fuerza Cortante Minima: No Cumple hay que Escalar

$$\text{Factor Escala} = 1.24$$

$$V_{\text{total}} = V_{S_xD} \text{ Esc} = 123.863 \text{ ton}$$

$$\text{Porcentaje} = 0.901 \text{ ton}$$

Fuerza Cortante Minima: Cumple

Dirección de análisis en Y:

$$V_{\text{Basal}} = V_{S_yE} = 152.337 \text{ ton}$$

$$90\% \quad V_{S_yD} = 121.1868$$

$$90\% \quad V_{S_yE} = 137.103 \text{ ton}$$

Fza Cortante Min: $V_{S_yD} \geq 90\% V_{S_yE} ???$
 Fuerza Cortante Minima: No Cumple hay que Escalar

$$\text{Factor Escala} = 1.14$$

$$V_{\text{total}} = V_{S_yD} \text{ Esc} = 138.274 \text{ ton}$$

$$\text{Porcentaje} = 0.908 \text{ ton}$$

Fuerza Cortante Minima: Cumple

Interpretación

El cortante dinámico se incrementa para cumplir los requisitos mínimos de la norma y los resultados obtenidos se ajustan proporcionalmente. Para cada dirección de la estructura, el esfuerzo cortante del primer entrepiso deberá ser al

menos el 90% del esfuerzo cortante estático previamente calculado y cumplir con los criterios que especifican los parámetros de los artículos 26.4 a 26.4.1.

5.2.11. Verificación de participación modal

Tabla 15 – Participación modal

Case	ItemType	Item	Static %	Dynamic %
Modal	Acceleration	UX	100	99.94
Modal	Acceleration	UY	100	99.93
Modal	Acceleration	UZ	0	0

Case	ItemType	Item	Static %	Dynamic %	
Modal	Acceleration	UX	100	99.94	CUMPLE
Modal	Acceleration	UY	100	99.93	CUMPLE
Modal	Acceleration	UZ	0	0	

Nota: Estructuración de la información

Interpretación:

Considerando los tres primeros modos principales en la dirección de análisis, la suma de las masas efectivas supera el 90% de la masa total, tal y como especifica la norma en el artículo 26.1. Por tanto, la prueba modal de participación es correcta. Estos modos de vibración, se determinan mediante un proceso de análisis que tiene en cuenta las características de rigidez y distribución de masa adecuadas.

5.2.12. Control de desplazamientos laterales

Tabla 16 – Límites para la distorsión de entrepiso

Artículo 29.-Desplazamientos Laterales Relativos Admisibles

El máximo desplazamiento relativo de entrepiso, calculado según el artículo 28, no excede la fracción de la altura de entrepiso (distorsión) que se indica en la Tabla N° 11.

Tabla N° 11 LÍMITES PARA LA DISTORSIÓN DEL ENTREPISO	
Material Predominante	(Δ_i / h_{ei})
Concreto Armado	0,007
Acero	0,010
Albañilería	0,005
Madera	0,010
Edificios de concreto armado con muros de ductilidad limitada	0,005

Nota: Los límites de la distorsión (deriva) para estructuras de uso industrial son establecidos por el proyectista, pero en ningún caso exceden el doble de los valores de esta Tabla.

Nota: Basado en Norma E-0.30

EJE X:

Story	Output Case	Case Type	Step Type	Direction	Drift	
Piso 6	Deriva	Combination	Max	X	0.006831	CUMPLE
Piso 5	Deriva	Combination	Max	X	0.005411	CUMPLE
Piso 4	Deriva	Combination	Max	X	0.004265	CUMPLE
Piso 3	Deriva	Combination	Max	X	0.004143	CUMPLE
Piso 2	Deriva	Combination	Max	X	0.003092	CUMPLE
Piso 1	Deriva	Combination	Max	X	0.001703	CUMPLE

EJE Y:

Story	Output Case	Case Type	Step Type	Direction	Drift	
Piso 6	Deriva	Combination	Max	Y	0.00329	CUMPLE
Piso 5	Deriva	Combination	Max	Y	0.00475	CUMPLE
Piso 4	Deriva	Combination	Max	Y	0.00614	CUMPLE
Piso 3	Deriva	Combination	Max	Y	0.00675	CUMPLE
Piso 2	Deriva	Combination	Max	Y	0.00662	CUMPLE
Piso 1	Deriva	Combination	Max	Y	0.00593	CUMPLE

Interpretación:

Todos los entrepisos deben cumplir con el desplazamiento relativo máximo permisible del entrepiso en ambas direcciones con respecto al material principal de concreto armado, según lo especificado en el artículo 28: “Determinación de los desplazamientos laterales”, se determina que las limitaciones a la deformación de los entrepisos (0.007) son obediente.

5.3. Aisladores Elastoméricos

Un aislador es un elemento altamente flexible que se fija a los cimientos de una estructura y la aísla de los movimientos del suelo y la protege de los efectos destructivos de sismos. La rigidez se puede reducir incorporando aisladores a la estructura, y el período de vibración de una estructura aislada es tres veces mayor que el de una estructura sin aislamiento.

La flexibilidad de las capas de acero y caucho permite que el aislamiento se deforme de lado a lado durante un sismo, separando y absorbiendo la energía generada por el sismo dentro de la estructura y disipándola.

Principios de estructuración

- Ampliar el plazo, el período de aislamiento deberá ser tres veces mayor al período fijado.

- Disminuir la aceleración entre etapas: $A_c > A_i$.
- El suelo técnico debe tener una altura mínima de 1,50 metros para que podamos inspeccionar o sustituir aisladores tras un evento sísmico.
- La fuerza constante para diseñar un sistema de aislamiento (V_b) debe de ser mayor a la fuerza cortante de diseñar la superestructura.
- La fuerza de recuperación del dispositivo, debe ser mayor a 2,5 veces al peso de la edificación.
- Los desplazamientos observados en subestructuras aisladas no son desplazamientos del edificio sino del aislamiento de elastómero.
- Mejora las propiedades de amortiguación, dado que una mayor amortiguación reduce la aceleración y reduce el daño al contenido de la estructura.
- No aplique fuerza de tracción al aislamiento sísmico.
- Obtener una reducción de tensiones estructurales, fuerzas y deformaciones.
- Separe la estructura de la interfaz de aislamiento.

5.3.1. Parámetros para el diseño los aisladores elastoméricos lrb y hdrb:

5.3.1.1. Datos obtenidos en base fija

Los datos se extraen de edificios o estructuras convencionales previamente modeladas en el programa ETABS.

a. Periodos:

$$T_{fx} = 0.670 \text{ s} \dots 85 \%$$

$$T_{fy} = 0.539 \text{ s} \dots 86 \%$$

$$T_{rz} = 0.507 \text{ s} \dots 85 \%$$

b. Masas:

Masa b = masa del sistema del aislamiento

$$\text{Masa 1} = 16.748 \text{ tf}^*\text{s}^2/\text{m}$$

$$\text{Masa 2} = 16.025 \text{ tf}^*\text{s}^2/\text{m}$$

$$\text{Masa 3} = 16.025 \text{ tf} \cdot \text{s}^2/\text{m}$$

$$\text{Masa 4} = 16.025 \text{ tf} \cdot \text{s}^2/\text{m}$$

$$\text{Masa 5} = 16.025 \text{ tf} \cdot \text{s}^2/\text{m}$$

$$\text{Masa 6} = 13.840 \text{ tf} \cdot \text{s}^2/\text{m}$$

c. Calculando la masa sísmica de la superestructura (ms):

$$4 (16.025) + 16.748 + 13.840 = 94.688 \text{ tf} \cdot \text{s}^2 / \text{m}$$

d. Masa total (m):

$$\text{Masa b+ (ms)} = 94.688 + 16.748 = 111.436 \text{ tf} \cdot \text{s}^2 / \text{m}$$

e. Base aislada

Según norma E0.31 “Aislamiento Sísmico”, Artículo N.º 17:

Figura 35 Periodo

17.5 El periodo efectivo de la estructura aislada correspondiente al desplazamiento traslacional, T_M , debe ser mayor que tres veces el periodo elástico de la estructura por encima del sistema de aislamiento sísmico, considerada con base fija.
--

Nota: Basado en Norma E-0.31

f. Periodo objetivo:

$$T_M = 0.670 (3) = 2.01 = 2.10 \text{ sg.}$$

g. Amortiguamiento objetivo

Por proceso iterativo tenemos un amortiguamiento objetivo de = 14%

$$B_{\text{obj}} = 14\%$$

Tabla 17 – Factor de amortiguamiento

Tabla N° 5 Factor de amortiguamiento B_M	
Amortiguamiento Efectivo, β_M (En porcentaje del amortiguamiento crítico) a,b	Factor B_M
≤ 2	0,8
5	1,0
10	1,2
20	1,5
30	1,7
≥ 40	1,9

Nota: Basado en Norma E0.31

Para una atenuación objetivo del 14%, el factor $B_M = 1,36$

h. Cálculo de rigidez del sistema de aislamiento (k_{ais}):

$$K_{Ais} = \frac{4\pi^2}{T_{Ais}^2} M$$

Dónde:

K_{Ais} = Rigidez del sistema de aislamiento

T_{Ais} = Periodo aislado

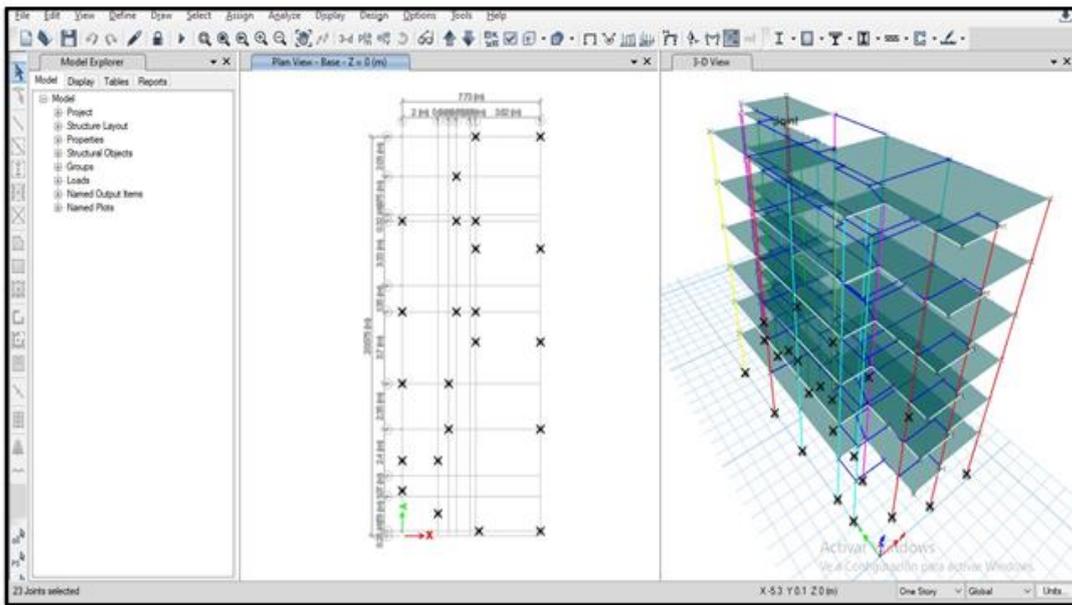
M = masa total Entonces

$$K_{Ais} = 997.61 \text{ tf/m}$$

i. Cálculo de rigidez promedio

El K promedio es la rigidez del aislamiento entre varios dispositivos colocados en base de la estructura.

Figura 36 – Número de dispositivos



Nota: Estructuración de la información

j. Número de aisladores: 23

$$K_{\text{promedio}} = K_{\text{Ais}} / 23$$

$$K_{\text{promedio}} = 43.37 \text{ tf/m}$$

k. Aceleración sísmica: Se define según la norma E0.31.

El parámetro C es definido por las siguientes ecuaciones:		
$T < 0,2 T_P$	→	$C = 1 + 7,5 \cdot \left(\frac{T}{T_P}\right)$
$0,2 T_P < T < T_P$	→	$C = 2,5$
$T_P < T < T_L$	→	$C = 2,5 \cdot \left(\frac{T_P}{T}\right)$
$T > T_L$	→	$C = 2,5 \cdot \left(\frac{T_P \cdot T_L}{T^2}\right)$

Cálculo de C:

$$T_P = 0.40, T_L = 2.5 \text{ y } S = 1.00$$

$$\longrightarrow C(t) = 0.48$$

Cálculo de la aceleración sísmica (SaM):

$$S_{aM} = 1.5 \cdot 0.45 \cdot 0.48 \cdot 1$$

$$S_{aM} = 0.32 \text{ g}$$

l. Desplazamiento máximo lateral (DM):

$$D_M = \frac{S_{aM} T_M^2}{4 \pi^2 B_M}$$

Donde:

SaM = Aceleración sísmica

TM = Periodo

BM = Factor para amortiguamiento

DM = 25.86 cm

m. Desplazamiento total máximo (DTM):

Nota: El desplazamiento total (D_{TM}) no será menor que $1.15 D_M$

$$\Rightarrow 1.15 \cdot 25.86 = 29.74 \text{ cm}$$

$$> D_{TM} = 29.74 \text{ cm}$$

5.4. Diseño del aislador lrb (lead rubber bearing) – núcleo de plomo

Este tipo de aislamiento elastomérico, también conocido como caucho con núcleo de plomo, tiene un núcleo de plomo colocado en el centro del aislamiento, lo que ayuda a aumentar los niveles de amortiguación hasta en un 30%. Se utilizan especialmente para flexibilizar los sistemas de aislamiento.

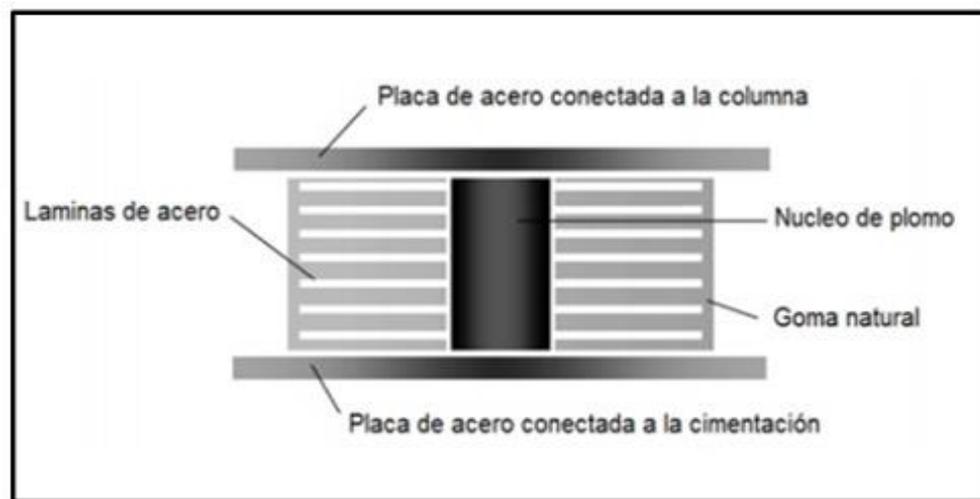
El proceso de fabricación de aisladores se realiza mediante un proceso llamado vulcanización, el cual se realiza a altas temperaturas. Una capa de caucho y una capa de respaldo de acero están conectadas para crear un dispositivo con excelente flexibilidad y rigidez lateral.

Principios de diseño del aislador LRB

– Según la norma ASCE 7– 16 recomendable que el diámetro del núcleo de plomo este de 1/6 a 1/3 del diámetro del aislador.

- Debe existir un equilibrio entre el diámetro de aislador y el diámetro de núcleo de plomo.
- LRB tiene una curva bilineal en el modelo de histéresis
- El peso total es el peso de estructura más el peso de sistema de aislamiento.
- Asimismo, el diámetro del aislante es al menos 3,5 veces la suma de espesores de las gomas: $D_o/Tr > 3,5$.

Figura 37 – Aislador LRB



Nota: Basado en FIP Industriale

Datos obtenidos:

DTM = 29.74 cm

DM = 25.86 cm

Cantidad de láminas de goma: 15

Espesor de una sola goma: 8mm

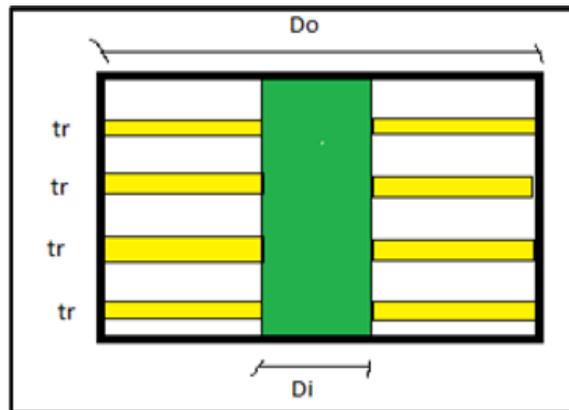
Pserv = 212.10

Pmax = 365.00

5.4.1. Espesor de la goma:

Recomendable que el espesor de goma sea mayor al espesor de placa shin.

Figura 38 – Láminas de goma



Nota: Estructuración de la información

$Tr = 8 \text{ mm}$ (Espesor de una sola goma)

$N = 15$ (Cantidad de láminas de goma)

Entonces:

$Tr = \text{Espesor total de goma}$

$Tr = 8 \text{ mm} \times 15 = 12 \text{ cm}$

5.4.2. Diámetro del aislador

$$D_o > 1.5 * DTM$$

$$D_o > 1.5 * 29.74$$

$$D_o > 45 \text{ cm}$$

$$D_o = 55 \text{ cm}$$

5.4.3. Diámetro del núcleo de plomo (D_i):

$$D/6 < D_i < D/3$$

$$D_i = 11 \text{ cm}$$

5.4.4. Área del aislador:

$$\text{Área} = \pi \cdot r^2 = \pi \cdot \frac{D^2}{4}$$

$$A = \pi * (55 \wedge 2) / 4$$

$$A = 0.24 \text{ m}^2$$

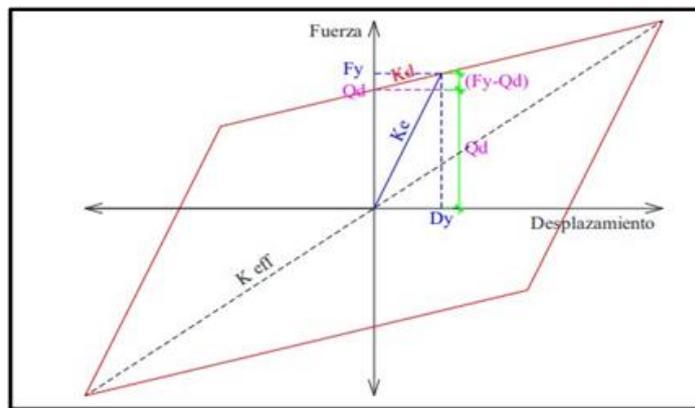
5.4.5. Área de la goma (Agoma):

$$A_{goma} = \pi (D_e \wedge 2) / 4$$

$$A_{goma} = 0.32 \text{ m}^2$$

5.4.6. Propiedades histeréticas del aislador lrb:

Figura 39 – Propiedades histeréticos



Nota: Estructuración de la información

Donde:

Ke: Rigidez Inicial

Kd: Rigidez de postfluencia

Fy: Fuerza de fluencia

Qd: Fuerza de Histéresis

Keff: Rigidez Efectiva

- a. Rigidez inicial

$$K_e = 10 * K_d$$

$$K_e = 1407.29 \text{ tn/m}$$

- a. Rigidez de postfluencia

$$K_d = \frac{G A_{goma}}{T_r}$$

$$K_d = 140.73 \text{ tn/m}$$

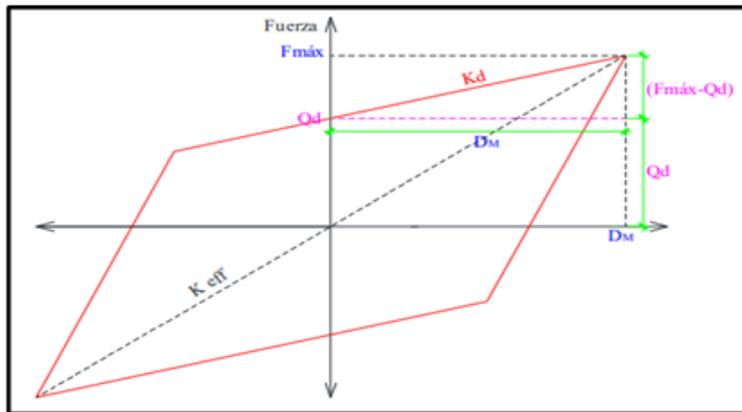
b. Rigidez de histéresis

$$Q_d = \sigma_y * A_p$$

$$Q_d = 8.2 \text{ tn}$$

a. Rigidez efectiva

Figura 40 – Rigidez efectiva LRB



Nota: Estructuración de la información

$$k_{eff} = \frac{|F^+| + |F^-|}{|\Delta^+| + |\Delta^-|} = \frac{2 * F_{max}}{2 * D_M} = \frac{Q_d + (K_d * D_M)}{D_M}$$

$$K_{eff} = 141.05 \text{ tn/m}$$

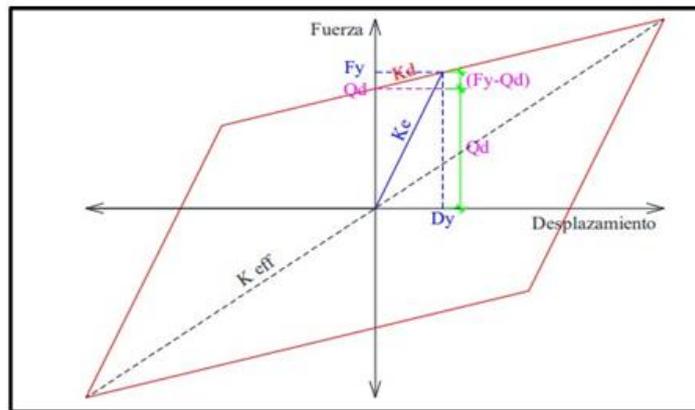
a. Energía disipada

$$EDC = 4 * Q_d * (D_M - D_Y)$$

$$EDC = 4.36 \text{ tn/m}$$

b. Fuerza de fluencia

Figura 41 – Fuerza de fluencia LRB



Nota: Estructuración de la información

$$F_y = \frac{Q_d * K_e}{K_e - K_d}$$

$$F_y = 9.12 \text{ tn}$$

c. Desplazamiento de fluencia:

$$D_y = \frac{F_y}{K_e}$$

$$D_y = 0.00648 \text{ m}$$

d. Frecuencia angular

$$\omega = \frac{2\pi}{T_{\text{real}}}$$

$$\omega = 9.38 \text{ rad/seg}$$

e. Amortiguamiento efectivo

$$\beta_{\text{eff}} = \frac{1}{2\pi} \left(\frac{EDC}{K_{\text{eff}} * D_M^2} \right)$$

$$\beta_{\text{eff}} = 23.99 \%$$

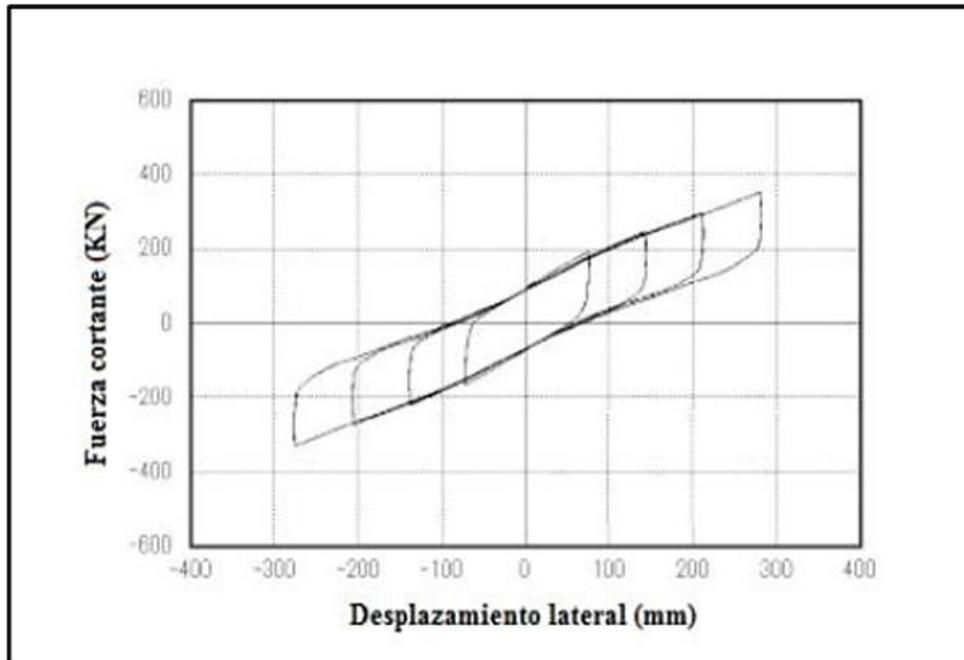
f. Coeficiente de amortiguamiento horizontal

$$C = \frac{EDC * T}{2\pi^2 * D_M^2}$$

$$C_x = 209.916 \text{ tn. s/m}$$

$$C_y = 237.329 \text{ tn. s/m}$$

Figura 42 Curva Histerética – LRB



Nota: Estructuración de la información

5.5. Diseño del aislador hdrb (high damping rubber bearing) – alto amortiguamiento

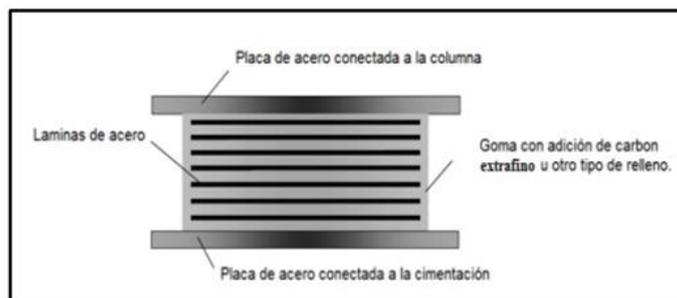
Los aisladores HDRB “Son un tipo de aislador elastomérico que agrega elementos como carbono, resina o aceite a la placa de elastómero”. Para aumentar la amortiguación del caucho y hacerlo más sensible a los cambios de temperatura y frecuencia que los aisladores LRB.

El caucho generalmente se modifica con ferrita, lo que provoca un fenómeno llamado “raspado” en el que las propiedades mecánicas se deterioran temporalmente debido a operaciones repetidas. Además, “ofrecen buena rigidez al inicio del ciclo de carga, combinan flexibilidad y disipación de energía en un solo elemento y se caracterizan por una fabricación relativamente sencilla.”

PRINCIPIOS DE DISEÑO DEL AISLADOR HDRB

- Presentan una amortiguación que oscila entre un 8% a 16%.
- El peso total será el peso de sistema de aislamiento más el peso de la estructura.
- La base aislada tendrá un periodo de tres veces al periodo de base fija
- La conducta histerético será elastoplástico.

Figura 43 – Aislador HDRB



Nota: Estructuración de la información

5.5.1. Periodo objetivo

$$T_M = 0.670 \times 3 = 2.01 = 3.30 \text{ sg}$$

5.5.2. Amortiguamiento objetivo

Por proceso iterativo tenemos un amortiguamiento objetivo de = 15%

$$B_{obj} = 15\%$$

Amortiguamiento Efectivo, β_M (En porcentaje del amortiguamiento crítico) a,b	Factor B_M
≤ 2	0,8
5	1,0
10	1,2
20	1,5
30	1,7
≥ 40	1,9

Para un amortiguamiento objetivo de 15 % obtenemos un factor $B_M = 1.40$

5.5.3. Cálculo de rigidez del sistema de aislamiento (K_{Ais}):

$$K_{Ais} = \frac{4\pi^2}{T_{AIS}^2} M$$

Dónde:

K_{Ais} = Rigidez del sistema de aislamiento

T_{Ais} = Periodo aislado

M = masa total Entonces $K_{Ais} = 403.98 \text{tf/m}$

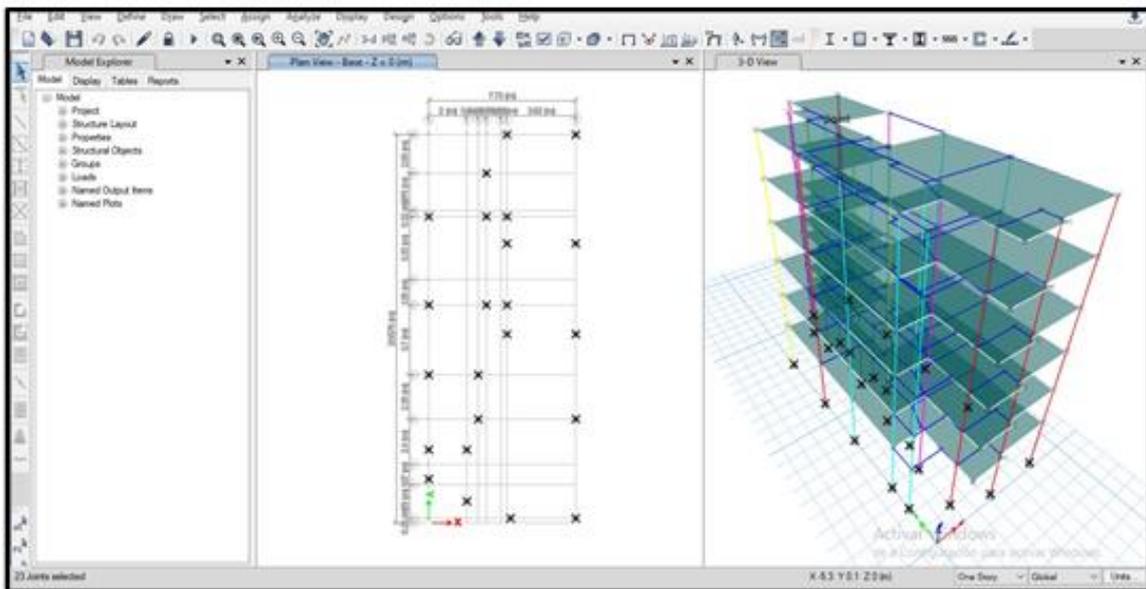
Entonces:

$$K_{Ais} = 403.98 \text{ tf/m}$$

5.5.4. Cálculo de rigidez promedio

El K promedio es la rigidez del aislamiento, entre varios dispositivos colocados en la base de estructura.

Figura 44 Número de dispositivos – II



Nota: Estructuración de la información

5.5.5. Número de aisladores:

$$K_{\text{promedio}} = K_{Ais} / 23$$

$$K_{\text{promedio}} = 17.56 \text{ tf/m}$$

5.5.6. Aceleración sísmica

Se define según la norma E0.31.

El parámetro C es definido por las siguientes ecuaciones:		
$T < 0,2 T_P$	→	$C = 1 + 7,5 \cdot \left(\frac{T}{T_P}\right)$
$0,2 T_P < T < T_P$	→	$C = 2,5$
$T_P < T < T_L$	→	$C = 2,5 \cdot \left(\frac{T_P}{T}\right)$
$T > T_L$	→	$C = 2,5 \cdot \left(\frac{T_P \cdot T_L}{T^2}\right)$

Cálculo de C:

$$T_P = 0.40, T_L = 2.5 \text{ y } S = 1.00$$

$$\longrightarrow C(t) = 0.23$$

5.5.7. Cálculo de la aceleración sísmica (SaM):

$$S_{aM} = 1.5 \cdot 0.45 \cdot 0.23 \cdot 1$$

$$S_{aM} = 0.16 \text{ g}$$

5.5.8. Desplazamiento máximo lateral (DM):

$$D_M = \frac{S_{aM} T_M^2}{4 \pi^2 B_M}$$

Dónde:

SaM = Aceleración sísmica

TM = Periodo

BM = Factor para amortiguamiento

$$DM = 31.52 \text{ cm}$$

Desplazamiento total máximo (DTM):

Nota: El desplazamiento total (D_{TM}) no será menor que $1.15 D_M$

$$1.15 \cdot 31.52 = 36.25 \text{ cm}$$

$$DTM = 36.25 \text{ cm}$$

5.6. Propiedades histeréticas del aislador HDRB:

5.6.1. Rigidez de postfluencia:

$$K_d = \frac{G * A_e}{hc} \quad K_d = 29.87 \text{ tn / m}$$

5.6.2. Rigidez inicial

$$K_e = 10 * K_d \quad K_e = 298.67 \text{ tn / m}$$

5.6.3. Fuerza de histéresis

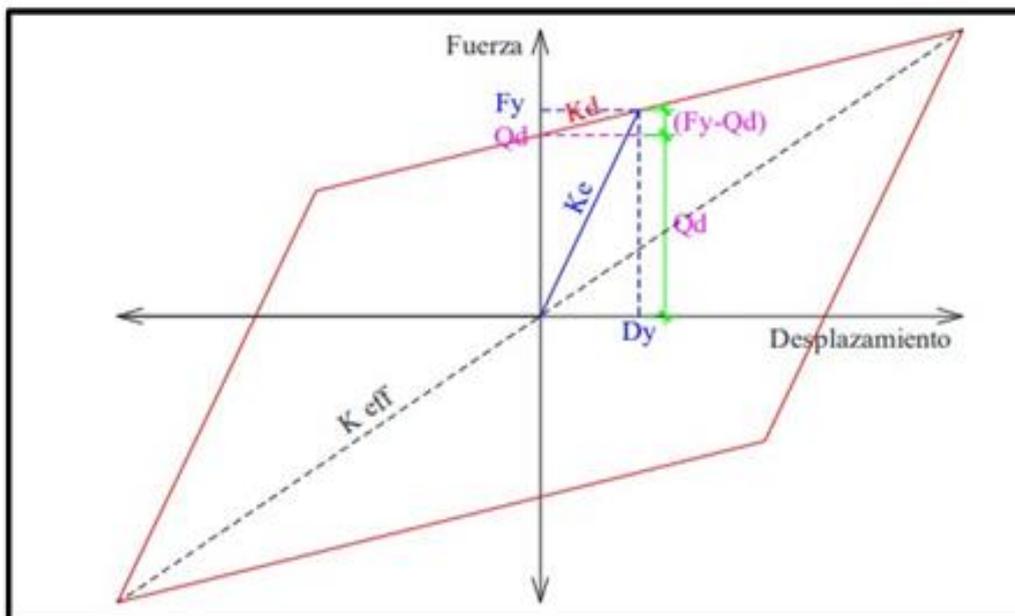
$$Q_d = \sigma_y * A_p \quad Q_d = 76.80 \text{ tn}$$

5.6.4. Desplazamiento de fluencia

$$D_y = 0,1 * t_r \quad D_y = 0.027 \text{ m}$$

5.6.5. Fuerza de fluencia

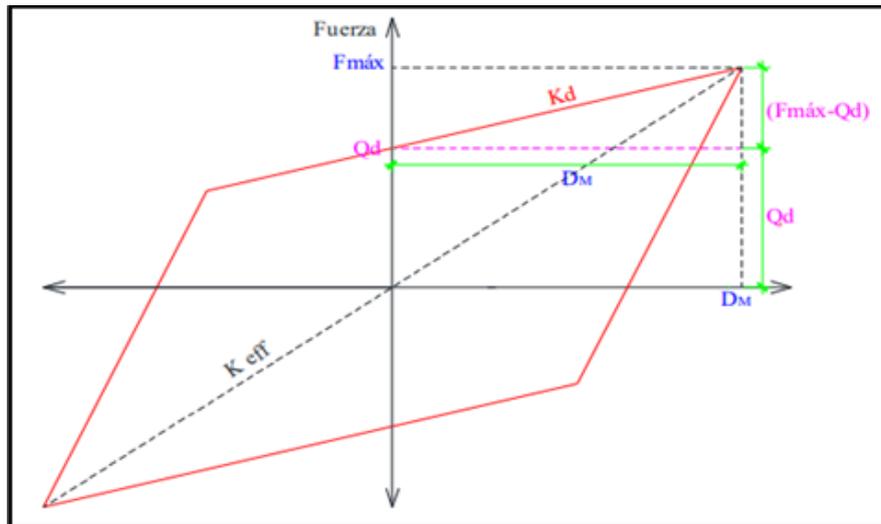
Figura 45 – Fuerza de fluencia HDRB



Nota: Estructuración de la información

5.6.6. Rigidez efectiva

Figura 34. Rigidez efectiva HDRB



Nota: Estructuración de la información

$$k_{eff} = \frac{|F^+| + |F^-|}{|\Delta^+| + |\Delta^-|} = \frac{2 * F_{max}}{2 * D_M} = \frac{Q_d + (K_d * D_M)}{D_M}$$

$$K_{eff} = 106.67 \text{ tn/m}$$

5.6.7. Energía disipada:

$$EDC = 4 * Q_d * (D_M - D_Y)$$

$$EDC = 72.14 \text{ tn.m}$$

5.6.8. Amortiguamiento efectivo:

$$\beta_{eff} = \frac{1}{2\pi} \left(\frac{EDC}{K_{eff} * D_M^2} \right)$$

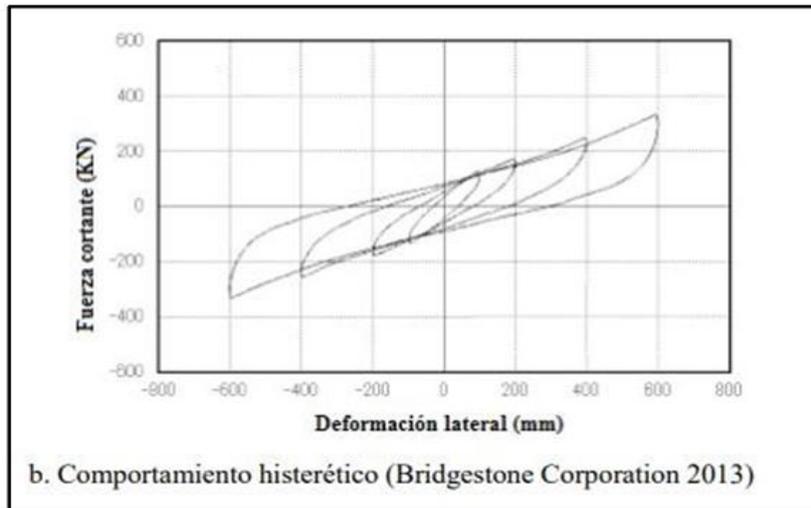
$$\beta_{eff} = 13 \%$$

5.6.9. Coeficiente de amortiguamiento horizontal

$$C = \frac{EDC * T}{2\pi^2 * D_M^2}$$

$$C_x = 359.66 \text{ tn. s/m} \quad C_y = 88.87 \text{ tn. s/m}$$

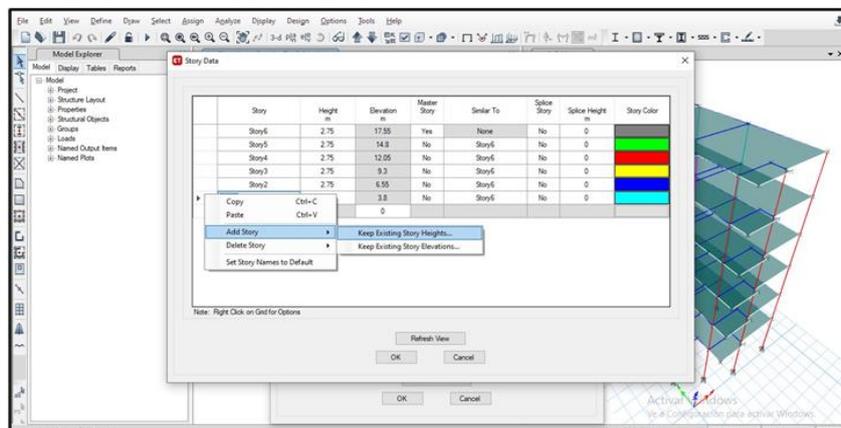
Figura 46 Curva Histerética – HDRB



Nota: Basado en FIP Industriale

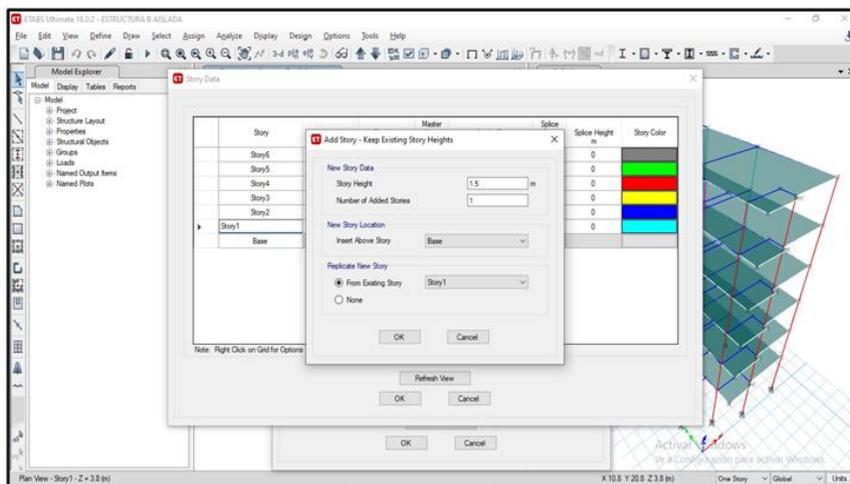
5.6.10. Modelamiento de la estructura con aisladores lrb y hdrb en ETABS

Figura 47 Piso del sistema de aislamiento



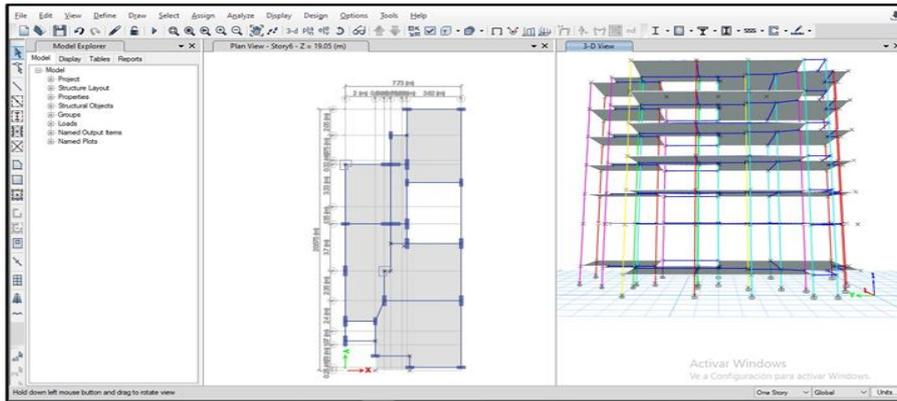
Nota: Estructuración de la información

Figura 48 Altura de piso técnico



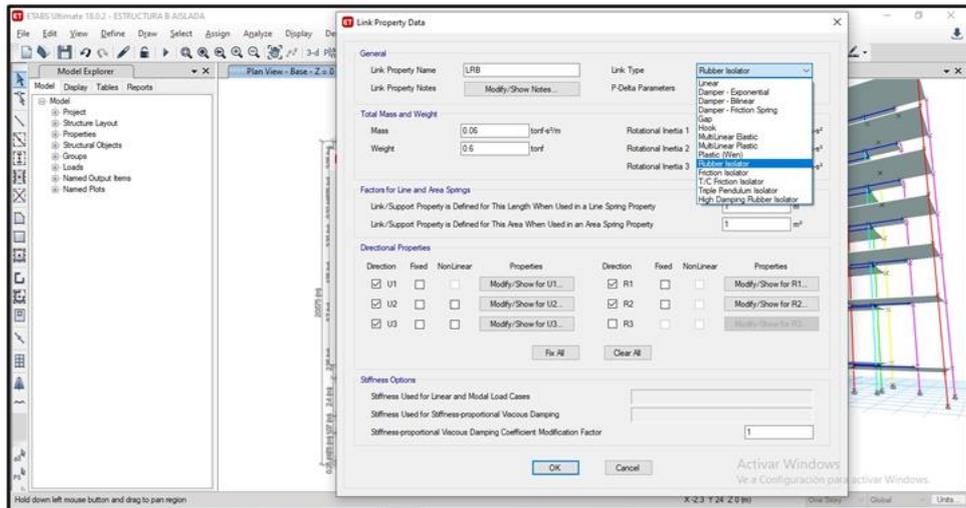
Nota: Estructuración de la información

Figura 49 Vista en elevación del piso técnico



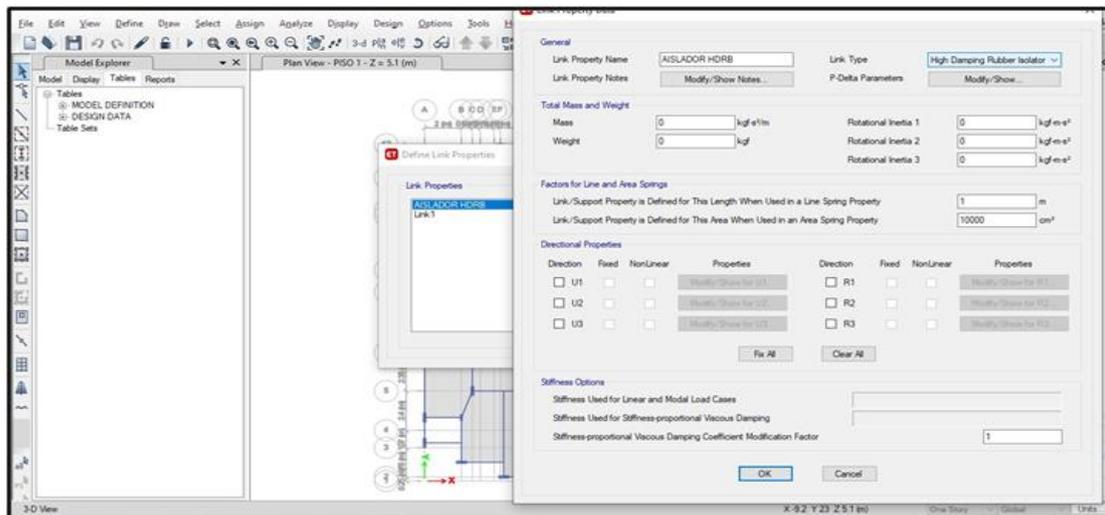
Nota: Estructuración de la información

Figura 50 Aislador LRB –Ruber Isolator



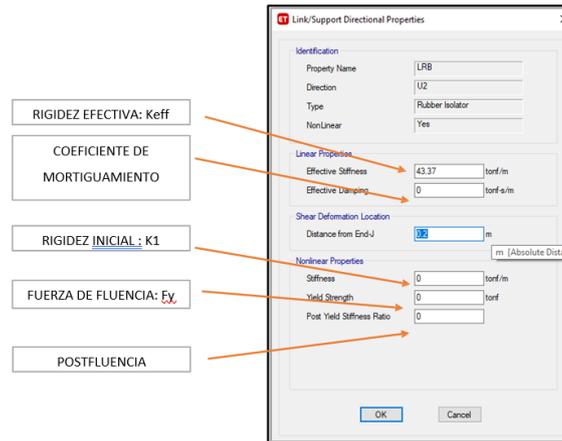
Nota: Estructuración de la información

Figura 51 Aislador HDRB – High Damping Rubber Isolator



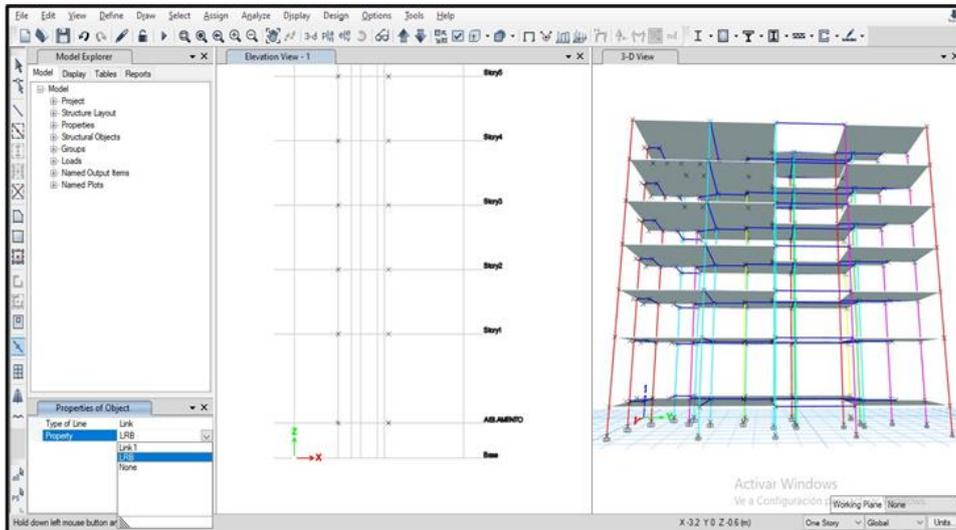
Nota: Estructuración de la información

Figura 52 Parámetros



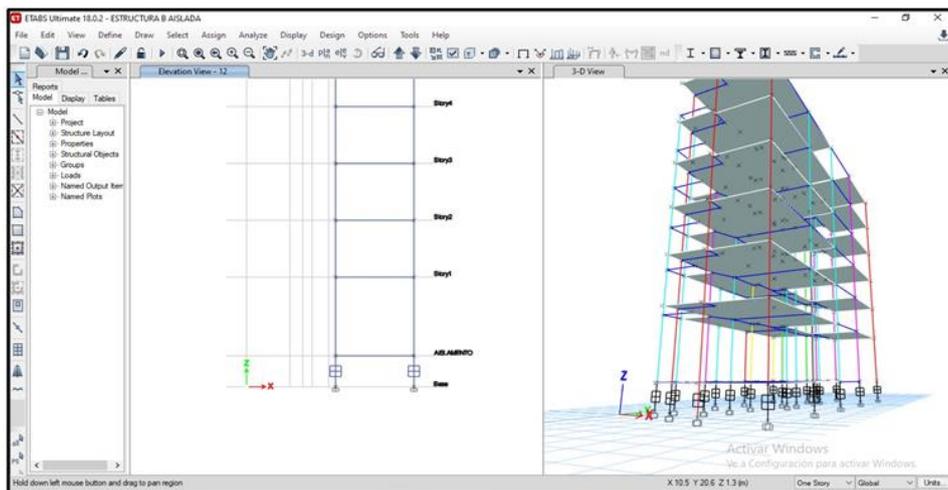
Nota: Estructuración de la información

Figura 53 Colocación de los aisladores



Nota: Estructuración de la información

Figura 54 Colocación de los aisladores



Nota: Estructuración de la información

5.7. Consolidación de los resultados

5.7.1. Periodos y Frecuencias Modales

- Estructura base fija

	Case	Mode	Period sec	Frequency cyc/sec	CircFreq rad/sec	Eigenvalue rad ² /sec ²
▶	Modal	1	0.665	1.503	9.4458	89.2232
	Modal	2	0.539	1.856	11.6601	135.9589
	Modal	3	0.507	1.974	12.405	153.8837
	Modal	4	0.205	4.871	30.6081	936.8556
	Modal	5	0.164	6.092	38.2761	1465.0631
	Modal	6	0.154	6.499	40.8351	1667.5044
	Modal	7	0.109	9.204	57.8328	3344.6354
	Modal	8	0.085	11.72	73.6373	5422.4556
	Modal	9	0.079	12.69	79.7362	6357.8682
	Modal	10	0.07	14.337	90.0828	8114.9197
	Modal	11	0.054	18.376	115.4614	13331.3304
	Modal	12	0.05	20.099	126.2846	15947.8086

- Estructura base aislada – LRB

	Case	Mode	Period sec	Frequency cyc/sec	CircFreq rad/sec	Eigenvalue rad ² /sec ²
▶	Modal RITZ	1	2.201	0.454	2.8552	8.1522
	Modal RITZ	2	2.128	0.47	2.9522	8.7156
	Modal RITZ	3	1.783	0.561	3.5244	12.4214
	Modal RITZ	4	0.294	3.399	21.3538	455.9848
	Modal RITZ	5	0.163	6.127	38.4951	1481.8729
	Modal RITZ	6	0.003	339.975	2136.1268	4563037.7071
	Modal RITZ	7	0.002	470.415	2955.7042	8736187.3945
	Modal RITZ	8	0.0002788	3586.573	22535.1021	507830827
	Modal RITZ	9	7.897E-05	12663.65	79568.0579	6331075844
	Modal RITZ	10	3.873E-05	25816.757	162211.4698	26312560943
	Modal RITZ	11	7.767E-06	128744.104	808923.0602	654400000000
	Modal RITZ	12	0	849779.906	5339324.6213	28510000000...

- Estructura base aislada – HBRD

	Case	Mode	Period sec	Frequency cyc/sec	CircFreq rad/sec	Eigenvalue rad ² /sec ²
▶	Modal RITZ	1	2.201	0.454	2.8552	8.1522
	Modal RITZ	2	2.128	0.47	2.9522	8.7156
	Modal RITZ	3	1.783	0.561	3.5244	12.4214
	Modal RITZ	4	0.294	3.399	21.3538	455.9848
	Modal RITZ	5	0.163	6.127	38.4951	1481.8729
	Modal RITZ	6	0.003	339.975	2136.1268	4563037.7071
	Modal RITZ	7	0.002	470.415	2955.7042	8736187.3945
	Modal RITZ	8	0.0002788	3586.573	22535.1021	507830827
	Modal RITZ	9	7.897E-05	12663.65	79568.0579	6331075844
	Modal RITZ	10	3.873E-05	25816.757	162211.4698	26312560943
	Modal RITZ	11	7.767E-06	128744.104	808923.0602	654400000000
	Modal RITZ	12	0	849779.906	5339324.6213	28510000000...

5.7.2. Resumen de periodos

CLASE	ESTRUCTURA CONVENCIONAL	ESTRUCTURA CON AISLADORES LRB	ESTRUCTURA CON AISLADORES HDRB
Modal 1	0.665 s	2.201 s	3.381 s
Modal 2	0.539 s	2.128 s	3.239 s
Modal 3	0.507 s	1.783 s	3.004 s

Interpretación: Las estructuras que contienen aisladores tienen un período mayor que las estructuras convencionales. Esto se debe a que el período de la estructura aislada siempre debe ser al menos tres veces el período de la estructura convencional. La ampliación del plazo reduce la demanda sísmica, la aceleración y el desplazamiento respetando los parámetros especificados en las normas.

5.7.3. Control de derivas

- Estructura base fija

Story	Output Case	Case Type	Step Type	Direction	Drift
Piso 6	Deriva	Combination	Max	X	0.006831
Piso 5	Deriva	Combination	Max	X	0.005411
Piso 4	Deriva	Combination	Max	X	0.004265
Piso 3	Deriva	Combination	Max	X	0.004143
Piso 2	Deriva	Combination	Max	X	0.003092
Piso 1	Deriva	Combination	Max	X	0.001703

MAX X =0.006831

Story	Output Case	Case Type	Step Type	Direction	Drift
Piso 6	Deriva	Combination	Max	Y	0.00329
Piso 5	Deriva	Combination	Max	Y	0.00475
Piso 4	Deriva	Combination	Max	Y	0.00614
Piso 3	Deriva	Combination	Max	Y	0.00675
Piso 2	Deriva	Combination	Max	Y	0.00662
Piso 1	Deriva	Combination	Max	Y	0.00593

MAX Y =0.006750

- Estructura base aislada – LRB

Story	Output Case	Case Type	Step Type	Direction	Drift
Piso 6	Deriva	Combination	Max	X	0.001011
Piso 5	Deriva	Combination	Max	X	0.001504
Piso 4	Deriva	Combination	Max	X	0.001973
Piso 3	Deriva	Combination	Max	X	0.002332
Piso 2	Deriva	Combination	Max	X	0.002512
Piso 1	Deriva	Combination	Max	X	0.001695

MAX X =0.002512

Story	Output Case	Case Type	Step Type	Direction	Drift
Piso 6	Deriva	Combination	Max	Y	0.00287
Piso 5	Deriva	Combination	Max	Y	0.00315
Piso 4	Deriva	Combination	Max	Y	0.00468
Piso 3	Deriva	Combination	Max	Y	0.00527
Piso 2	Deriva	Combination	Max	Y	0.00623
Piso 1	Deriva	Combination	Max	Y	0.00472

MAX Y = 0.00623

- Estructura base aislada – HDRB

Story	Output Case	Case Type	Step Type	Direction	Drift
Piso 6	Deriva	Combination	Max	X	0.00014
Piso 5	Deriva	Combination	Max	X	0.00021
Piso 4	Deriva	Combination	Max	X	0.00034
Piso 3	Deriva	Combination	Max	X	0.00212
Piso 2	Deriva	Combination	Max	X	0.00234
Piso 1	Deriva	Combination	Max	X	0.00132

MAX X =0.00234

Story	Output Case	Case Type	Step Type	Direction	Drift
Piso 6	Deriva	Combination	Max	Y	0.00022
Piso 5	Deriva	Combination	Max	Y	0.00053
Piso 4	Deriva	Combination	Max	Y	0.00072
Piso 3	Deriva	Combination	Max	Y	0.00378
Piso 2	Deriva	Combination	Max	Y	0.00362
Piso 1	Deriva	Combination	Max	Y	0.00173

MAX Y =0.00378

5.7.4. Resumen de derivas:

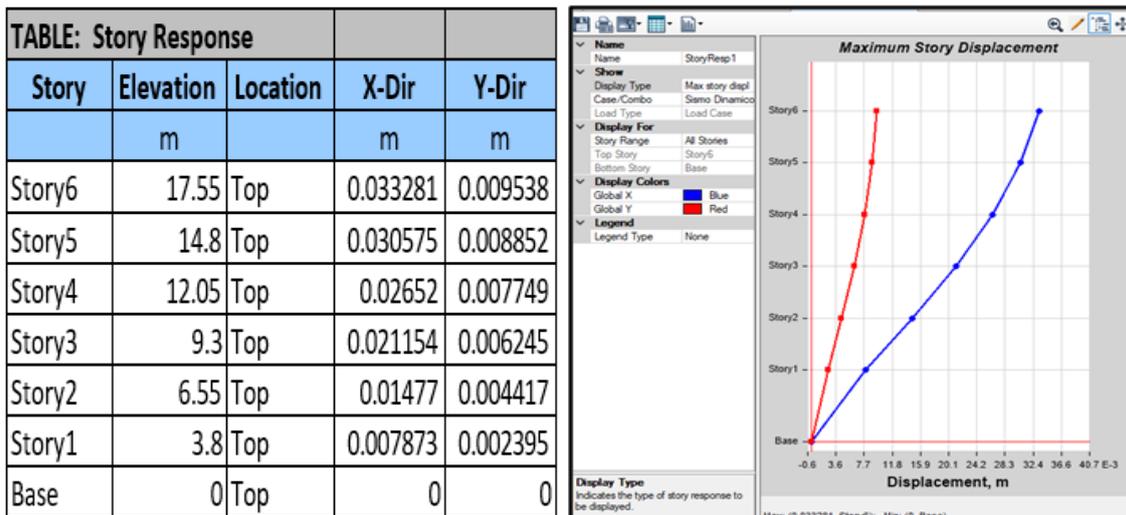
MAX DRIFT	ESTRUCTURA CONVENCIONAL	ESTRUCTURA CON AISLADORES LRB	ESTRUCTURA CON AISLADORES HDRB
EJE X	0.006831	0.002512	0.00234
EJE Y	0.006750	0.00623	0.00378

Interpretación: La deriva podría reducirse mediante el uso de un aislante de elastómero en una estructura convencional. Lo más importante es que el uso de aisladores HDRB (High Damping Rubber) da como resultado una estructura que cumple con los límites establecidos en el artículo 29 de la norma E0.30. Una mejor resistencia sísmica proporciona resistencia a las vibraciones y reduce los daños estructurales y sustanciales durante los eventos sísmicos.

5.7.5. DESPLAZAMIENTOS

- Estructura base fija

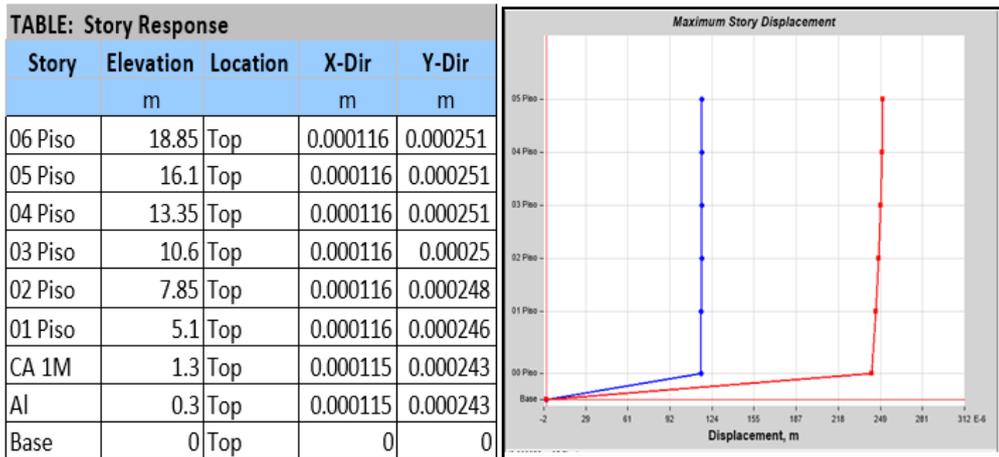
FIGURA 55 DESPLAZAMIENTO BASE FIJA



Nota: Consolidación de los datos

- Estructura base aislada – LRB

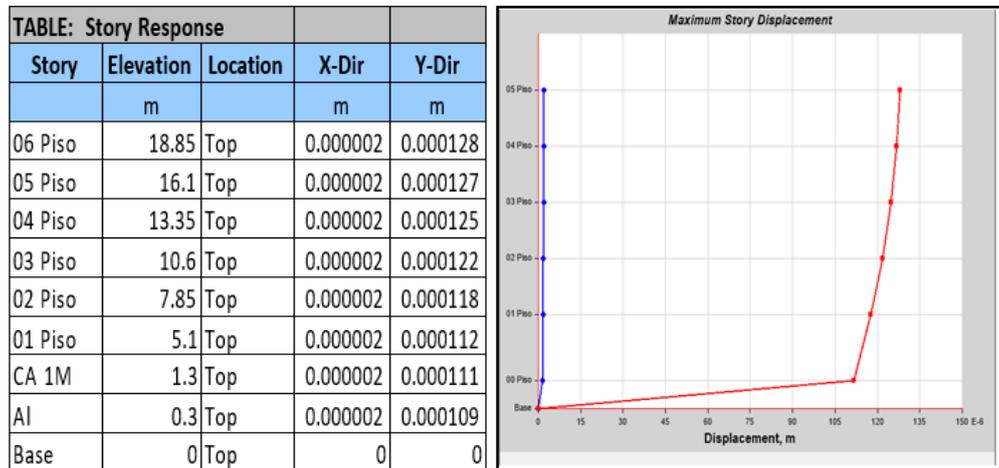
FIGURA 56 DESPLAZAMIENTO BASE AISLADA - LRB



Nota: Consolidación de los datos

- Estructura base aislada – HDRB

FIGURA 57 DESPLAZAMIENTO BASE AISLADA – HDRB



Nota: Consolidación de los datos

Interpretación: En una estructura convencional, en la parte superior del edificio el desplazamiento máximo es mayor respecto al aislamiento elastomérico. Los desplazamientos se producen en la base de la estructura, es decir, en la parte superior del edificio. El mayor porcentaje de desplazamiento se produce en el aislamiento, y la superestructura actúa como un solo bloque, reduciendo el riesgo de daños a elementos estructurales y no estructurales.

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Discusión 1

A partir de los resultados obtenidos se determinaron los períodos de la estructura convencional y de la estructura de cimentación aislada. El diseño se realizó según la norma E0.31 de “aislamiento sísmico”. La norma especifica que el período de la cimentación aislada debe ser al menos tres veces el período de la cimentación fija, generalmente considerados los tres primeros modos de construcción. Donde se encuentra la mayor proporción de características estructurales, uno de los principios de aislamiento sísmico según ASCE 7 - 16 y la norma E 0.31 “Aislamiento sísmico”, el período se incrementa o se extiende hasta llegar a reducir la estructura.

Según (Ramírez Díaz, 2020) en su tesis *“Diseño sismorresistente de una edificación de diez pisos ubicado en el jr. Los Próceres cuadra dos Tarapoto-2019”*, al comparar sus propios edificios de departamentos, como se muestra en esta edificación multifamiliar, el período de la forma de vibración se divide en los primeros tres modos (1, 2, 3). La frecuencia del edificio aumentó a medida que pasaban los modos de vibración, lo que llevó a concluir que los dos sistemas considerados tenían un comportamiento sísmico suficiente.

Por lo tanto, los resultados del análisis y el método de análisis de la estructura estudiada son los mismos que los del análisis realizado en este estudio, y se considera que se han alcanzado los parámetros.

Discusión 2

Las regulaciones de deriva se implementaron adecuadamente con base en el estándar Artículo 29 de E0.30 “Diseño sismorresistente”. Utilizando las tablas proporcionadas en la norma, fue posible verificar los límites de deformación para materiales comunes. El valor límite para el concreto armado es 0,007. Por lo tanto, se determinaron las distancias del entrepiso de acuerdo a los cálculos realizados, para finalmente comparar con las distancias de la estructura con sistema de aislamiento sísmico. La distancia de una estructura aislada es menor que la de una estructura tradicional y siempre se comprueba si la distancia es la correcta.

Según (Enriquez Porras, 2018) en su tesis *“Evaluación de la vulnerabilidad sísmica del edificio de ingeniería de la universidad señor de Sipán, actualizada a la norma E-030”*

2016”, comparó la respuesta sísmica de una estructura con base fija y una estructura con base aislada, utilizando cuatro tipos de materiales aislantes sísmicos, obtuvo que la deriva del piso de la edificación fija se reduce en un 74% al usar HDBR y LRB, 84% al usar RNC, por lo tanto se concluye que el tipo de aislamiento más adecuado para uso efectivo en la edificación será Roll-N-Cage, ya que reduce el piso superior aceleración en un 92%, desplazamiento estructural en un 86% y corte de base en un 84%.

Como muestra el análisis realizado en este estudio, la deriva se reduce significativamente respecto a la deriva de la estructura sin sistema de aislamiento, por lo que el cálculo y diseño de la estructura fue correcto y se logró el objetivo propuesto.

Discusión 3:

Los resultados de desplazamiento muestran que al reducir el desplazamiento del entrepiso también se reduce la deformación de las columnas y vigas, lo que reduce el daño a los elementos estructurales. Los resultados demostraron que el desplazamiento se reduce significativamente cuando se utiliza un aislante de elastómero, porque la estructura comienza a funcionar como un solo bloque o componente y la energía sísmica es separada y disipada por el dispositivo.

Según (Cano Bonilla, 2019) en su tesis *“Diseño sísmico y estructural del edificio multifamiliar Las Flores en la urbanización el Ingeniero III, Pimentel - Chiclayo - Lambayeque”*, realizó un modelado y comparación de dos estructuras: una con un sistema de aislamiento y otra con dos sistemas. Concluyeron que los edificios con aislamiento tenían mayores desplazamientos relativos. Con los cambios de aislamiento y estos niveles más altos hay una reducción importante entre ellos, pero en edificios con sistemas dobles los desplazamientos de la parte de cimentación no son grandes, pero los desplazamientos relativos sí son altos. Además, debido al desplazamiento máximo reducido en comparación con el sistema con aislamiento, concluyeron que el sistema con aislamiento tiene desplazamientos horizontales más bajos en comparación con el entrepiso, lo que resulta en un mejor desempeño del edificio. Modelar una estructura con aislamiento básico resultó en más tiempo observado dentro del edificio, menores aceleraciones y, como resultado, menos movimiento del suelo.

Por lo tanto, ambos resultados son muy similares y logran el objetivo propuesto.

Discusión 4:

Uno de los principios de construcción es que las fuerzas cortantes para construir el sistema de aislamiento sean mayores que las fuerzas cortantes de la estructura de la superestructura. Por lo tanto, las fuerzas cortantes en estructuras se calculan convencionalmente mediante análisis estático o análisis dinámico espectromodal estático equivalente. El capítulo 26 de la norma E0.30 "Diseño sismorresistente" enumera consideraciones para poder realizar análisis y cálculos de corte adecuados.

Según (Ruiz Carrillo & Torres Reino, 2018) en su investigación "*Análisis comparativo del comportamiento sísmico dinámico de estructuras esenciales con aisladores de base del tipo elastomérico con núcleo de plomo IRB y disipadores tipo contraventeos restringidos al pandeo BRB, y su incidencia en la relación costo/beneficio del sistema estructural*", analizó y comparó el comportamiento sísmico de dos tipos de estructuras con sistemas de aislamiento sísmico y amortiguadores sísmicos, y encontró que los sistemas de control sísmico distorsionan el período de construcción de las edificaciones. Por tanto, la rigidez no se ve afectada. Por otro lado, los edificios con aislamiento tienen valores periódicos más altos que los edificios sin aislamiento. Esto se debe a que el sistema de aislamiento hace que los cimientos del edificio sean más flexibles y reduce la aceleración sísmica. Por lo tanto, se concluyó que es apropiado el uso de diferentes dispositivos y viscosidades de fluidos. El sistema de amortiguación da como resultado el mismo modelado estructural, pero no produce resultados diferentes en deriva, corte fundamental o desplazamiento lateral siempre que se mantenga la capacidad de carga del amortiguador.

Por lo que se determina que los cálculos y diseño de la estructura fueron correctos y se lograron los objetivos propuestos.

CONCLUSIONES

Se deduce que en el diseño de estructuras con bases aisladas es necesario extender los ciclos para permitir que la estructura reduzca su deformación y la fuerza aplicada sobre ella. Las estructuras con cimentaciones aisladas se diseñan con una rigidez lateral reducida, lo que implica alargar o aumentar las etapas de diseño, a diferencia de las estructuras convencionales que se diseñan para tener una rigidez significativa.

Asimismo, se concluye que las estructuras que emplean aislamiento elastomérico experimentan una notable reducción en la deriva y mejoran su comportamiento sísmico durante los terremotos. Esta disminución en la deriva se logra mediante el uso de dispositivos de aislamiento sísmico, como los dispositivos de aislamiento de base de respuesta dinámica (HDRB), que funcionan como cuerpos rígidos.

Se puede inferir también que el aislamiento elastomérico reduce de manera significativa los desplazamientos dentro de la estructura, lo que a su vez minimiza los daños en los elementos estructurales del edificio, como vigas y columnas. Esto se logra al hacer que la superestructura se comporte como un único cuerpo y al aislar las partes del edificio con materiales elastoméricos para resistir las fuerzas sísmicas deformantes, absorbiendo así la energía generada por los sismos y mitigando sus efectos.

Por último, se evidencia que los sistemas de aislamiento sísmico, especialmente los aisladores elastoméricos, logran un rendimiento sísmico notablemente superior en comparación con los sistemas tradicionales de base fija. Este mejor rendimiento sísmico no solo reduce los costos de reparación de los elementos estructurales y no estructurales, sino que también disminuye el tiempo de inactividad de los edificios y previene pérdidas humanas.

RECOMENDACIONES

El período de las estructuras convencionales debe ser tres veces menor que el período establecido al diseñar el aislador, evitando así exageraciones. Por lo tanto, se recomienda un período de 1,5 segundos o menos.

Es fundamental utilizar correctamente el programa ETABS al modelar estructuras convencionales para prevenir accidentes en futuros proyectos de investigación. En la actualidad, varios programas de modelado estructural ofrecen cursos de diseño para facilitar este proceso.

Para calcular las propiedades de los aisladores elastoméricos, es recomendable consultar las normas pertinentes, como los estándares E0.30, E0.31 y ASCE 7-16. Se debe saber interpretar las tablas y gráficos presentes en estas normativas.

En proyectos futuros, se aconseja verificar la confiabilidad y la garantía del fabricante de los aisladores, así como su experiencia en proyectos similares y los profesionales con los que colabora. Por lo general, es el fabricante quien diseña el tipo de dispositivo de aislamiento sísmico. Como ingenieros computacionales, proporcionamos parámetros previamente calculados, pero también podemos diseñar aisladores y ofrecer este diseño para su comparación por parte de los fabricantes.

Para los aisladores de plomo y caucho (LRB), se recomienda que el diámetro del aislador sea al menos 3,5 veces mayor que el espesor total del caucho, manteniendo un equilibrio entre el diámetro del aislador y el del caucho.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguiar, R., Cagua G., B., & Barbat, A. (Enero - Abril de 2023). Ingeniería de estructuras. *Revista Internacional de Ingenierías en Estructuras*, 28(1), 50 - 62. Recuperado el 09 de 11 de 2023, de <https://journal.espe.edu.ec/ojs/index.php/riie/index>
- Alvarez Vargas, C. F. (2017). *Análisis y diseño de disipadores sísmicos de fluido viscoso para control de la respuesta sísmica de edificaciones en Huancayo 2017*. Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú. Recuperado el 28 de 10 de 2023
- Arellano, M., & Cavallin, J. (Enero - Abril de 2018). Estudio del comportamiento dinámico en edificaciones irregulares considerando interacción suelo estructura. *Revista de Investigación Ingeniería a sus alcances*, 2(2), 28 - 36. Recuperado el 02 de 11 de 2023
- Auerschb, L., Romero, A., & Galvín, P. (2014). Respuesta dinámica de edificaciones producida por campos de ondas incidentes considerando la interacción suelo-estructura. *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería*, 30(4), 256 - 263. Recuperado el 30 de 10 de 2023
- Bazán, E., & Meli, R. (2020). *Diseño sísmico de edificios*. México: Limusa Noriega Editores. Recuperado el 28 de 10 de 2023, de https://www.academia.edu/36401028/Diseno_Sismico_de_Edificios_Bazan_y_Meli
- Beltrán Armenta, J. L. (2020). *Revisión De Los Factores Que Influyen En El Desempeño Del Concreto Hidráulico Elaborado Con Adiciones De Plástico Reciclado*. Mexicali, B. C.: Universidad Autónoma De Baja California.
- Bojorquez Mora, E. (2009). Diseño sísmico de estructuras de acero basado en confiabilidad estructural y conceptos de energía. *Revista Ingeniería sísmica*(81), 53 - 79. Recuperado el 07 de 11 de 2023, de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0185-092X2009000200004&script=sci_abstract
- Cano Bonilla, H. L. (2019). *Diseño sísmico y estructural del edificio multifamiliar Las Flores en la urbanización el Ingeniero III, Pimentel - Chiclayo - Lambayeque*. Departamento de Ingeniería. Chiclayo: Universidad César Vallejo. Recuperado el 27 de 10 de 2023, de <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/40635>
- Carrillo, J. (Julio de 2008). Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de estructuras utilizando un diseño por desempeño. *Revista Dyna*(155), 91 - 102. Recuperado el 09 de 11 de 2023, de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/1743/2399>
- Casana Marino, G. M. (2018). *Desempeño Sísmico de un Edificio de 14 pisos con Disipadores de Energía en la ciudad de Tumbes - 2018*. Trujillo: Universidad Privada del Norte.

- Enriquez Porras, J. R. (2018). *Evaluación de la vulnerabilidad sísmica del edificio de ingeniería de la universidad señor de sipán, actualizada a la norma E-030 2016*. Facultad de ingeniería, arquitectura y urbanismo. Pimentela: Universidad Señor de Sipan. Recuperado el 27 de 10 de 2023, de <https://repositorio.uss.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12802/5561/Enriquez%20Porras%20Junior%20Rafael.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Genatios, C., & Lafuente, M. (2016). *Introducción al uso de aisladores y disipadores en estructuras*. (P. Maragno, Ed.) Caracas: Banco de Desarrollo de América Latina - Ingeniería Sísmica. Recuperado el 10 de 11 de 2023
- Gutierrez, J. L., & Garcia, S. (2012). Teoría del caos en la determinación del periodo fundamental de los suelos. *XXVI Reunión Nacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería Geotécnica*, 14(1), 1 - 8. Recuperado el 28 de 10 de 2023, de Teoría del caos en la determinación del periodo fundamental de los suelos: https://www.smig.org.mx/admArticulos/eventos/1_Reunion_Cancun/2_XXVI_Reunion_Nacional/6_Geotecnia_sismica/I5GUCJ_1.pdf
- Hernández Ramírez, H., & Tena Colunga, A. (2018). Evaluación del diseño sísmico resiliente conforme al método de las fuerzas de marcos dúctiles de acero con disipadores de energía histeréticos. *Revista de Ingeniería Sísmica*(98), 47 - 76. Recuperado el 05 de 11 de 2023, de <https://www.scielo.org.mx/pdf/ris/n98/0185-092X-ris-98-45.pdf>
- Luévanos Rojas, A. (2011). Análisis de dos modelos por el método dinámico para el diseño sísmico de edificios. *Revista de Arquitectura e Ingeniería*, 5(3), 3 - 10. Recuperado el 02 de 11 de 2023
- Lugo Mejía, J. E., & Torres Pérez, Y. S. (2019). *Caracterización Del Comportamiento Mecánico Del Concreto Simple Con Adición De Fibras Poliméricas Recicladas Pet*. Bogotá: Universidad Católica De Colombia.
- Maza Rubina, A. (2020). Efectos del disipador sísmico telescópico frente al comportamiento estructural de edificaciones sociales en el distrito de Independencia - Huaraz. *Aporte Santiaguino*, 13(2), 147 - 159. Recuperado el 09 de 11 de 2023, de https://revistas.unasam.edu.pe/index.php/Aporte_Santiaguino/article/view/686/901
- Moncayo Theurer, M., Vargas Jiménez, J., Santos Baquerizo, E., Gonzales, E., & Barzola Zambrano, I. (2017). Parámetros para la construcción de un modelo matemático para simular el comportamiento dinámico del suelo debajo de la universidad de Guayaquil -Ecuador. *21*(1), 31 - 40. doi:<http://orcid.org/0000-0002-8456-1571>
- Nieto, M., Rivero, P., & Lobo, W. (Agosto - Noviembre de 2009). Análisis dinámico lineal de una edificación histórica en San Cristóbal, Estado Táchira. *Ciencia e Ingeniería*, 30(3), 237 - 246. Recuperado el 12 de 11 de 2023, de <https://www.redalyc.org/pdf/5075/507550786008.pdf>
- Niño Castaño, J. A. (2023). *Nuevo enfoque de diseño sísmico para edificaciones en muros de concreto reforzado utilizando aislamiento en base*. Departamento de Ingeniería

- Civil. Manizales: Universidad Nacional de Colombia. Recuperado el 28 de 10 de 2023, de <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/83641/75072050.2023.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Núñez, F., Ruiz, D., & Cortés, J. (2021). Análisis dinámico no lineal de edificios de acero sometidos a sismos. *Revista ingeniería de construcción*, 36(2), 9 - 11. doi:<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732021000200173>
- ONU-PNUMA. (21 de Octubre de 2021). *Informe de la ONU sobre contaminación por plásticos advierte sobre falsas soluciones y confirma la necesidad de una acción mundial urgente*. Obtenido de ONU-Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente : <https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/comunicado-de-prensa/informe-de-la-onu-sobre-contaminacion-por-plasticos>
- Oviedo, J. A., & Duque, M. (2009). Situación de las técnicas de control de respuesta sísmica en Colombia. *Revista EIA*(12), 113 - 124. Recuperado el 08 de 11 de 2023
- Pupo, N., & Recarey, C. (2010). Evaluación del efecto flexor-torsor en edificios altos con la utilización del método de distribución de fuerzas horizontales: PPG Modificado. *Revista de la Construcción*, 9(1), 3 - 12. Recuperado el 07 de 11 de 2023, de https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-915X20100001000006&script=sci_abstract
- Quintanilla Herrera, R. E. (14 de Mayo de 2018). *Diseño Sísmico*. Recuperado el 28 de 10 de 2023, de *Diseño Sísmico*: <https://es.scribd.com/document/545118374/CLASE-2-DS>
- Ramírez Díaz, L. M. (2020). *Diseño sismorresistente de una edificación de diez pisos ubicado en el jr. Los Próceres cuadra dos Tarapoto-2019*. Facultad de ingeniería y arquitectura. Tarapoto: Universidad César Vallejo. Recuperado el 28 de 10 de 2023, de https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/47115/B_Ramirez_DLM-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Ramírez Gonzales, R. M. (2022). *Comparación entre metodologías de las normas E.030 y ASCE 7-16 para la obtención de aceleraciones en los diafragmas de edificaciones en el Perú*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú. Recuperado el 06 de 11 de 2023, de <https://repositorio.pucp.edu.pe/index/handle/123456789/183404>
- Ruiz Carrillo, C. N., & Torres Reino, A. I. (2018). *Análisis comparativo del comportamiento sísmico dinámico de estructuras esenciales con aisladores de base del tipo elastomérico con núcleo de plomo lrb y disipadores tipo contraventeos restringidos al pandeo brb, y su incidencia en la relación costo/benef*. Departamento de Ingeniería Civil. Ambato: Universidad Técnica de Ambato. Recuperado el 05 de 11 de 2023, de <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/29198>
- San Bartolome, Á., & Quiun, D. (2004). Propuesta normativa para el diseño sísmico de edificaciones de mampostería confinada. *Boletín Técnico*, 42(2), 40 - 57.

Recuperado el 08 de 11 de 2023, de Boletín Técnico:
https://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S0376-723X2004000200003&script=sci_abstract

- Sánchez, H., & Reyes, C. (2017). *Metodología y Diseños de la Investigación Científica* (Quinta ed.). Lima-Perú: Bussiness Support Aneth.
- Surichaqui, M., Quispe, H., & Palomino, H. (2021). Dinámica estructural en Ingeniería Civil. *Revista Científica Ciencias Ingenieriles*, 1(1), 13 - 19. doi:<https://doi.org/10.54943/ricci.v1i1.201>
- Tamayo y Tamayo, M. (2012). *El proceso de la investigación científica*. México: Limusa.
- Valerio Zacarias, J. J. (2015). *Análisis comparativo de un edificio fijo en la base VS un edificio aislado utilizando 4 tipos de aisladores sismicos*. Barcelona: Escola de Camins. Recuperado el 06 de 11 de 2023, de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/80231/TFM-Jacob%20Valerio.pdf>
- Velarde Cruz, F., Bojórquez Mora, J., & Bojórquez Mora, E. (2022). Confiabilidad estructural de edificios de concreto reforzado y sistema dual. *Revista de Ingeniería Sísmica*(107), 74 - 90. doi:<https://doi.org/10.18867/ris.107.626>.
- Villarreal García, G. A., & Toro Tipán, E. A. (2019). *Análisis Comparativo De Las Propiedades Fisico-Mecánicas De Un Hormigón Alivianado Con Poliestireno Expandido Con Relacion A Un Hormigón De Peso Normal*. Quito: Pontificia Universidad Católica Del Ecuador.

ANEXOS

MATRIZ DE CONSISTENCIA

Título: APLICACIÓN DE LA TEORÍA DEL CAOS EN EL DISEÑO SÍSMICO DE EDIFICACIONES, 2023

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES / DIMENSIONES	METODOLOGÍA
General	General	General	V.I. Teoría del Caos	Métodos de estudio Científico
¿Cuál será el resultado al aplicar teoría del caos en un diseño sísmico de estructura convencional y otra con aisladores elastoméricos?	Evaluar la teoría del caos en un diseño sísmico de estructura convencional y otra con aisladores elastoméricos.	Conocer la teoría del caos en un diseño sísmico de estructura convencional y otra con aisladores elastoméricos contribuye a la prevención en la construcción.	Dimensiones – Análisis estático o de fuerzas estáticas equivalentes	Tipo de estudio Aplicada
Específicos	Específicos	Específicos	– Análisis dinámicos Modal Espectral	Nivel de estudio Exploratorio
– ¿Cómo será el análisis estático o de fuerzas estáticas equivalentes para una estructura convencional? – ¿Cómo será el análisis estático o de fuerzas estáticas equivalentes para una estructura con aisladores elastoméricos? – ¿Cómo será el análisis dinámico para una estructura convencional? – ¿Cómo será el análisis dinámico para una estructura con aisladores elastoméricos?	– Realizar el análisis estático o de fuerzas estáticas equivalentes para una estructura convencional. – Realizar el análisis estático o de fuerzas estáticas equivalentes para una estructura con aisladores elastoméricos. – Realizar el análisis dinámico para una estructura convencional. – Realizar el análisis dinámico para una estructura con aisladores elastoméricos.	– El análisis estático o de fuerzas estáticas equivalentes para una estructura convencional contribuye a una mejor construcción en ingeniería civil. – El análisis estático o de fuerzas estáticas equivalentes para una estructura con aisladores elastoméricos contribuye a una mejor construcción en ingeniería civil. – El análisis dinámico para una estructura convencional contribuye a una mejor construcción en ingeniería civil.	V.D. Diseño Sísmicos Dimensiones – Criterios de estructuración – Modelamiento estructural – Análisis sísmico según E.030	Diseño de estudio No experimental Población Dos estructuras investigadas Muestra Una estructura convencional y una estructura con dos tipos de dispositivos de aisladores sísmico. Técnicas Revisión bibliográfica Procedimiento

		<p>– El análisis dinámico para una estructura con aisladores elastoméricos contribuye a una mejor construcción en ingeniería civil.</p>		<p>Análisis según etapas de 3 estadios</p>
--	--	---	--	--

MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

VARIABLE INDEPENDIENTE (X): Teoría del Caos

DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA
<p>La Teoría del Caos proporciona un marco conceptual para entender y modelar sistemas complejos y dinámicos, destacando la importancia de la no linealidad y la sensibilidad a las condiciones iniciales en la evolución de estos sistemas a lo largo del tiempo.</p>	<p>La Teoría del Caos implica la aplicación de métodos matemáticos y computacionales específicos para modelar, analizar y comprender sistemas dinámicos no lineales, centrándose en conceptos como sensibilidad a las condiciones iniciales, atractores y patrones fractales.</p>	<p>Análisis estático o de fuerzas estáticas equivalentes</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Periodos de vibración - Cortante basal - Fuerza Cortante 	<p>Intervalo</p>
		<p>Análisis dinámicos Modal Espectral</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Modos y periodos de vibración - Derivas - Aceleraciones - Cortante Basal 	

VARIABLE DEPENDIENTE (Y): Diseño Sísmico

DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA
<p>El diseño sísmico es una disciplina de la ingeniería estructural que se centra en desarrollar estructuras capaces de resistir y soportar las fuerzas generadas por movimientos sísmicos, también conocidos como terremotos</p>	<p>El diseño sísmico se lleva a cabo mediante una serie de operaciones que involucran desde la evaluación de riesgos sísmicos hasta la implementación de estrategias de construcción que aseguren la resistencia y seguridad de las estructuras durante eventos sísmicos.</p>	<p>Criterios de estructuración</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Cargas y parámetros de diseño - Estructuración y dimensionamiento de elementos estructurales 	<p>Intervalo</p>
		<p>Modelamiento estructural</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Procedimiento de análisis - Análisis con base fija 	
		<p>Análisis sísmico según E-030</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Resultados del análisis estático - Resultados del análisis dinámico Modal Espectral 	

FICHA DE RECOLECCION DE DATOS

PERIODOS

CLASE	ESTRUCTURA CONVENCIONAL	ESTRUCTURA CON AISLADORES LRB	ESTRUCTURA CON AISLADORES HDRB
Modal 1	0.665 s	2.201 s	3.381 s
Modal 2	0.539 s	2.128 s	3.239 s
Modal 3	0.507 s	1.783 s	3.004 s

CONTROL DE DERIVAS:

DERIVAS MÁXIMAS – ESTRUCTURA CONVENCIONAL

Story	Output Case	Case Type	Step Type	Direction	Drift
Piso 6	Deriva	Combination	Max	X	0.006831

Story	Output Case	Case Type	Step Type	Direction	Drift
Piso 3	Deriva	Combination	Max	Y	0.00675

DERIVAS MÁXIMAS - ESTRUCTURA BASE AISLADA – LRB

Story	Output Case	Case Type	Step Type	Direction	Drift
Piso 2	Deriva	Combination	Max	X	0.002512

Story	Output Case	Case Type	Step Type	Direction	Drift
Piso 2	Deriva	Combination	Max	Y	0.00623

DERIVAS MÁXIMAS - ESTRUCTURA BASE AISLADA – HDRB

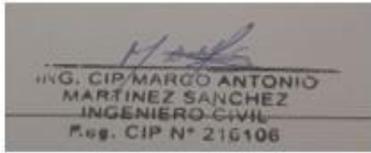
Story	Output Case	Case Type	Step Type	Direction	Drift
Piso 3	Deriva	Combination	Max	X	0.00212

Story	Output Case	Case Type	Step Type	Direction	Drift
Piso 3	Deriva	Combination	Max	Y	0.00378

RESUMEN GENERAL

MAX DRIFT	ESTRUCTURA CONVENCIONAL	ESTRUCTURA CON AISLADORES LRB	ESTRUCTURA CON AISLADORES HDRB
EJE X	0.006831	0.002512	0.00234
EJE Y	0.006750	0.00623	0.00378

FIRMAS:

 <p>ING. CIP/MARCO ANTONIO MARTINEZ SANCHEZ INGENIERO CIVIL Reg. CIP N° 216106</p>		 <p>QUALITAS DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN S.A.C. Percy Salatiel Palacios Loli</p>
Ing. Martínez Sánchez, Marco Antonio	Mg. Ing. Pinto Barrantes, Raúl Antonio	Ing. Palacios Loli, Percy Salatiel

CAPACITACIÓN Y ADIESTRAMIENTO EN EDIFICACIONES CON AISLAMIENTO



CERTIFICADO MANAGEMENT SYSTEM

DNV·GL

MANAGEMENT SYSTEM CERTIFICATE

Certificate No:
19978-2008-AQ-USA-ANAB

Initial certification date:
26 June 2008

Valid:
05 August 2020 - 04 August 2021

This is to certify that the management system of

CSI-Computers and Structures, Inc.
1646 North California Boulevard, Suite 600, Walnut Creek, CA, 94596, USA

has been found to conform to the Quality Management System standard:
ISO 9001:2015

This certificate is valid for the following scope:
**The Development, Support and Licensing of Software Tools for Structural
and Earthquake Engineering.**

Place and date:
Katy, TX, 21 July 2020

For the issuing office:
DNV GL - Business Assurance
1400 Ranallo Drive, Katy, TX, 77449-
5164, USA



Sherif Mekawy
Management Representative

Lack of fulfillment of conditions as set out in the Certification Agreement may render this Certificate invalid.
CONTACT US: DNV GL Business Assurance USA, Inc., 1400 Ranallo Drive, Katy, TX, 77449, USA TEL: +1 281 996 1800 www.dnvgl.com