



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE GUAYAQUIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE UNA
ESTRUCTURA DE HORMIGÓN ARMADO MEDIANTE EL
USO DE DISIPADORES BRB.**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniero Civil

AUTOR: MELANIE DAYANARA SOLÓRZANO ROBLES

TUTOR: ING. LEONARDO ECHEVERRIA FABRE, DBA

Guayaquil-Ecuador

2025

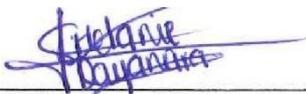
**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Yo, Melanie Dayanara Solórzano Robles con documento de identificación N° 0951498864 manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Guayaquil, 17 de enero del año 2025

Atentamente



Melanie Dayanara Solórzano Robles

0951498864

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, Melanie Dayanara Solórzano Robles con documento de identificación No. 0951498864, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del proyecto técnico: “Análisis del comportamiento sísmico de una estructura de hormigón armado mediante el uso de disipadores BRB”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Civil, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 17 de enero del año 2025

Atentamente,



Melanie Dayanara Solórzano Robles

0951498864

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Ing. Leonardo Javier Echeverria Fabre, DBA. con documento de identificación N° 0902190883, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE UNA ESTRUCTURA DE HORMIGÓN ARMADO MEDIANTE EL USO DE DISIPADORES BRB, realizado por Melanie Dayanara Solórzano Robles con documento de identificación N° 0951498864, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción del Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 17 de enero del año 2025

Atentamente,



Ing. Leonardo Echeverria Fabre, DBA.

0902190883

Dedicatoria

Agradezco profundamente a Dios, quien ha sido mi sostén y fundamento en todo el proceso de mi vida y en cada etapa de esta investigación.

Expreso mi más sincero reconocimiento a mis padres, Graciela y Félix, quienes han sido mi principal fuente de inspiración, apoyo y orientación, guiándome y motivándome constantemente para superar los desafíos y alcanzar mis objetivos.

También quiero expresar mi gratitud a mi tía Victoria, quien ha sido una figura clave en este proceso, ofreciéndome valiosas sugerencias y apoyo emocional en momentos críticos.

A mi hermano y mis sobrinas, quienes han sido mi principal motivación para perseverar y demostrar que, con perseverancia y dedicación, se pueden alcanzar grandes logros.

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mi enamorado Kennig Lozada quien ha estado en todo este proceso y trayecto siendo una motivación y alguien muy importante en esta nueva etapa.

El apoyo incondicional de mi familia ha sido fundamental en todo este trayecto, lleno de alegrías, desafíos y triunfos.

La gracia de Dios y el respaldo de todos aquellos que han acompañado este proceso han sido indispensables para la realización de esta tesis.

Por tanto, dedico este trabajo a cada uno de ustedes, incluyendo a mi tutor y familiares, como expresión de mi más profunda gratitud y reconocimiento por su presencia y contribución, dejando una huella imborrable en este logro

Melanie Dayanara Solórzano Robles

AGRADECIMIENTOS

En esta travesía académica, quiero expresar mi más sincero reconocimiento a todos quienes han contribuido de manera inexplicable en la realización de esta investigación.

A mis padres, Graciela y Félix, mi gratitud infinita por su apoyo incondicional y constante a lo largo de este proceso. Su amor, sacrificio y dedicación han sido la base fundamental sobre la cual he construido mi camino hacia el éxito.

También quiero expresar mi agradecimiento a mi tía Victoria, mi hermano Jonathan y mis sobrinas Amberly, Kaetlyn y Lindsay, por su compañía y apoyo emocional a lo largo de mi trayecto vital. Su cariño y motivación han sido esenciales para mi crecimiento personal y académico.

Quiero extender mi reconocimiento al Ingeniero Leonardo Echeverría, quien ha sido una guía experta y una fuente de inspiración durante todo el proceso de titulación. Su dedicación, orientación y ayuda han sido fundamentales en mi desarrollo académico y profesional.

A cada uno de mis docentes a lo largo de la carrera, les agradezco por la enseñanza, conocimiento y orientación que me han brindado. Su legado ha dejado una huella imborrable en mi camino hacia la excelencia.

Este logro no habría sido posible sin el respaldo y contribución de cada uno de ustedes. Les expreso mi más profundo agradecimiento por ser parte esencial en este capítulo de mi vida.

Melanie Dayanara Solórzano Robles

Resumen

En el presente trabajo de titulación, se aborda el análisis del comportamiento sísmico de una estructura de hormigón armado equipada con disipadores BRB (Buckling Restrained Braces) en la ciudad de Guayaquil, Ecuador. El principal objetivo es evaluar la eficiencia de estos dispositivos en la reducción de las deformaciones y fuerzas sísmicas en la estructura, y determinar su impacto en la seguridad y resistencia sísmica de la misma.

Se utilizará un enfoque numérico para simular el comportamiento de la estructura bajo diferentes condiciones sísmicas, empleando software de modelación estructural especializado ETABS. Los resultados obtenidos permitirán analizar la respuesta sísmica de la estructura en términos de desplazamientos, fuerzas y deformaciones, y valorar la efectividad de los disipadores BRB en la reducción de los daños sísmicos.

El estudio se enfocará en la evaluación de la capacidad de la estructura para resistir fuerzas sísmicas, considerando los coeficientes de rigidez y amortiguamiento. Se analizarán los resultados en función de las normas y regulaciones vigentes, como la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-15) y la Norma ASCE-7-16, para garantizar la seguridad y el desempeño óptimo de la estructura.

Los resultados de este estudio serán de gran utilidad para los ingenieros civiles y arquitectos que diseñan y construyen edificios en zonas sísmicas, ya que proporcionarán información valiosa sobre la eficacia de los disipadores BRB en la reducción de los daños sísmicos. Además, se espera que los resultados favorezcan a mejorar la seguridad y resistencia sísmica de las estructuras en la ciudad de Guayaquil, y a reducir el riesgo de daños y pérdidas humanas en caso de un sismo.

Palabras Claves: Comportamiento sísmico, Disipadores BRB, Hormigón armado, Seguridad sísmica, Resistencia sísmica.

Abstract

In this degree work, the analysis of the seismic behavior of a reinforced concrete structure equipped with BRB (Buckling Restrained Braces) dissipators in the city of Guayaquil, Ecuador, is addressed. The main objective is to evaluate the efficiency of these devices in the reduction of deformations and seismic forces in the structure, and to determine their impact on the safety and seismic resistance of the structure.

A numerical approach will be used to simulate the behavior of the structure under different seismic conditions, using specialized structural modeling software ETABS. The results obtained will allow analyzing the seismic response of the structure in terms of displacements, forces and deformations, and assessing the effectiveness of the BRB dissipators in reducing seismic damage.

The study will focus on the evaluation of the capacity of the structure to resist seismic forces, considering the stiffness and damping coefficients. The results will be analyzed in terms of current standards and regulations, such as the Ecuadorian Construction Standard (NEC-15) and ASCE-7-16, to ensure the safety and optimum performance of the structure.

The results of this study will be of great use to civil engineers and architects who design and construct buildings in seismic zones, as they will provide valuable information on the effectiveness of BRB dissipators in reducing seismic damage. In addition, the results are expected to improve the safety and seismic resistance of structures in the city of Guayaquil, and to reduce the risk of damage and human losses in the event of an earthquake.

Keywords: Seismic behavior, BRB dissipators, Reinforced concrete, Seismic safety, Seismic resistance.

Contenido

1	Titulo	1
2	Problema de Estudio	1
3	Justificación	2
4	Objetivos.....	3
4.1	Objetivo General	3
4.2	Objetivo Especifico.....	3
5	Marco Hipotético O Preguntas De Investigación	4
6	Marco Teórico.....	4
6.1	Características del Hormigón	4
6.1.1	Calidad del Material y sus Propiedades.....	5
6.2	Acero de Refuerzo	5
6.2.1	Tipos de Acero de Refuerzo y sus Características	6
6.2.2	Curva de Esfuerzo-Deformación del Acero de Refuerzo.....	6
6.3	Relación Agua-Cemento	7
6.3.1	Importancia de la relación Agua-Cemento en el Hormigón.....	8
6.3.2	Efectos de la Relación Agua-Cemento en las Propiedades del Hormigón	9
6.4	Estructuras y su Conformación	9
6.4.1	Definición y Clasificación de Estructuras	10
6.4.2	Componentes y Elementos que Conforman una Estructura.....	10
6.5	Riesgo Sísmico.....	11
6.6	Sismo y Tipos de Ondas Sísmicas	13
6.7	Componentes de un Sismo	16
6.8	Origen y Evolución del Diseño Sismorresistente	17
6.9	Origen y Evolución de los Disipadores Sísmicos	18
6.10	Diseño Sismorresistente	20
6.11	Objetivo de Desempeño	20
6.12	Sistema de Disipación Sísmica.....	21
6.13	Sistema de Protección Sísmica.....	22
6.14	Tipos de Protección Sísmica	23
6.14.1	Sistemas Pasivos.	23
6.14.2	Sistemas Activos.	25
6.14.3	Tecnologías de Protección Sísmica	25
6.14.4	Beneficios de la Protección Sísmica.....	26
6.15	Disipación de Energía en Edificaciones	26
6.16	Análisis de Desempeño Estructural de Hormigón Armado	27
6.17	Disipadores BRB	28

6.18	Normativas y Regulaciones en Ecuador	32
6.19	Requisitos Sísmicos en Ecuador.....	35
6.19.1	Requisitos de Diseño Estructural.....	36
6.19.2	Análisis de Carga Sísmica	36
6.20	Análisis de la Eficacia de los Disipadores BRB	36
6.21	Estudios de Caso	37
6.22	Diseño Sísmico de Estructuras	37
6.23	La Importancia del Diseño Sísmico	38
6.24	Análisis de la Eficacia de los Disipadores en Diferentes Estructuras de Hormigón Armado	38
6.25	Efectividad en Ecuador	39
6.26	Análisis de la Interacción Entre los Disipadores BRB y Otros Sistemas de Protección Sísmica	40
6.27	Evaluación de la Eficiencia Energética de los Disipadores BRB	41
6.28	Análisis de la Atribución de la Frecuencia y la Amplitud del Terremoto en la Eficacia de los Disipadores BRB	42
6.29	Evaluación de la Fiabilidad y Confiabilidad de los Disipadores BRB.....	42
6.30	Evaluación de la Eficacia de los Disipadores BRB en Estructuras con Diferentes Niveles de Diseño Sísmico	43
6.31	Evaluación de la Eficacia de los Disipadores BRB en Estructuras con Diferentes Tipos De Cargas	44
6.31.1	Niveles de Diseño Sísmico.....	44
6.31.2	Eficacia de los Disipadores BRB.....	45
6.32	Análisis de la Influencia de la Frecuencia y la Amplitud del Terremoto en la Eficacia de los Disipadores BRB	45
6.32.1	Frecuencia del Terremoto	45
6.32.2	Amplitud del Terremoto	46
7	Marco Metodológico.....	46
7.1	Ubicación Geográfica de la Estructura.....	46
7.2	Procedimiento	47
7.2.1	Generalidades de la Estructura	48
7.3	Modelado de la Estructura.....	50
7.3.1	Propiedad Estructural de los Materiales	58
7.4	Análisis Dinámico de la Estructura	59
7.4.1	Carga Viva.....	59
7.4.2	Carga Muerta.....	60
7.4.3	Carga sísmica	60
7.4.4	Combinación de carga.....	62
7.4.5	Espectro de Respuesta de Diseño	62
7.5	Derivas.....	63

7.6	Periodo de la estructura.....	64
8	Análisis y Diseño.....	67
8.1	Primer Prediseño.....	67
8.1.1	Losa.....	68
8.1.2	Columnas.....	70
8.1.3	Datos Generales de la Columna.....	74
8.1.4	Entre piso 2-3.....	76
8.2	Primer Calculo Sísmico.....	80
8.2.1	Revisión de Cortante Basal.....	80
8.2.2	En el eje X.....	80
8.2.3	En el eje Y.....	82
8.3	Sismo Corregido.....	83
8.3.1	Verificación de Cortante Basal.....	83
8.4	Derivas.....	84
8.5	Torsión.....	85
8.6	Verificación de la Distorsión.....	86
8.7	Índice de Inestabilidad Q.....	87
8.8	Análisis por Resistencia.....	88
8.9	Derivas con Amortiguador BRB.....	89
9	Conclusiones.....	95
10	Recomendaciones.....	97
11	Anexos.....	98
12	Bibliografía.....	107

INDICE DE FIGURA

Figura 1	12
Mapa de aceleraciones producidas en el sismo del 16 de abril de 2016.....	12
Figura 2	15
Propagación de Ondas Sísmicas	15
Figura 3	16
Generación de Ondas Sísmicas	16
Figura 4	17
Hipocentro y epicentro de un terremoto	17
Figura 5	23
Comparación del comportamiento de una estructura sin disipadores y con disipadores de energía Fuente: CDT-CCHC (2011).	23
Figura 6	24
Técnica de control pasivo con disipadores de energía	24
Figura 7	25
Sistema de control activo	25
Figura 8	29
Riostra de pandeo restringido (diagonal simple)	29
Figura 9	31
Disipadores BRB instalado en una estructura.....	31
Figura 10	32
Disipadores BRB con riostras de acero restringido	32
Figura 11	33
Coefficientes de irregularidades en planta	33
Figura 12	34
Coefficientes de irregularidades en elevación.....	34
Figura 13	46
Ubicación geográfica de la estructura.....	46
Figura 14	49
Vista planta baja.....	49
Figura 15	49
Vista planta tipo	49
Figura 16	50
Vista lateral de la estructura.....	50
Figura 17	51

Vista de la estructura en planta en el eje X-Y	51
Figura 18	51
Vista de la estructura en planta en el eje X-Z	51
Figura 19	53
Vista en 3d de la edificación final de la Estructura sin disipadores sísmicos en ETABS	53
Figura 20	54
Propiedades de las columnas y vigas en ETABS	54
Figura 21	55
Modelado de las columnas en ETABS.....	55
Figura 22	56
Modelado de las vigas en ETABS.....	56
Figura 23	57
Aplicación de vigas y columnas	57
Figura 24	57
Modelado de las Losas en ETABS.....	57
Figura 25	58
Inercia efectiva en el modelado estructural de las columnas de análisis	58
Figura 26	59
Agrietar las vigas en el modelo.....	59
Figura 27	60
Peso de edificación en Carga Muerta.....	60
Figura 28	61
Fuerza sísmica en la estructura en la dirección X.....	61
Figura 29	61
Definición de los Factores en X.....	61
Figura 30	65
Coefficientes Sísmico en X.....	65
Figura 31	66
Coefficientes Sísmico en Y	66
Figura 32	67
Vista frontal de edificación	67
Figura 33	67
Vista Frontal Estructural	67
Figura 34	68
Vista Frontal en 3d de la Edificación.....	68

Figura 35	73
Varillado de Columnas	73
Figura 36	73
Prediseño de Columna	73
Figura 37	80
Carga por Sismo del Cortante Basal por la NEC-15	80
Figura 38	81
Cortante Basal en X resultados ETABS	81
Figura 39	83
Cortante Basal en X resultados ETABS	83
Figura 40	84
Derivas máximas de piso en X	84
Figura 41	85
Derivas máximas de piso en X	85
Figura 42	87
Índice de Inestabilidad por la Norma NEC-15	87
Figura 43	88
Análisis por resistencia de la edificación	88
Figura 44	89
Diseño de la Edificación con Disipadores BRB	89
Figura 45	90
Diseño de la Edificación en 3D con Disipadores BRB	90
Figura 46	90
Estructura en el eje X mediante el uso de disipadores BRB	90
Figura 47	91
Estructura en el eje Y mediante el uso de disipadores BRB	91

INDICE DE TABLA

Tabla 1.....	52
Alturas entre pisos de la edificación	52
Tabla 2.....	62
Combinación básica de Carga.....	62
Tabla 3.....	64
Tabla de periodo de estructura	64
Tabla 4.....	65
Tabla de coeficiente para modelo ETABS sismo en X	65
Tabla 5.....	66
Tabla de coeficiente para modelo ETABS sismo en Y	66
Tabla 6.....	69
Cálculo de losas	69
Tabla 7.....	71
Cálculo de Columnas	71
Tabla 8.....	72
Cálculo de Columnas de Volado	72
Tabla 9.....	76
Cálculo de Columnas	76
Tabla 10.....	77
Secciones de los pisos 2 y 3 en el eje X.....	77
Tabla 11	78
Secciones de los pisos 2 y 3 en el eje Y	78
Tabla 12.....	79
Separaciones de los estribos.....	79
Tabla 13.....	81
Cortante Basal en X cálculos mediante Excel	81
Tabla 14.....	82
Cortante Basal en Y cálculos mediante Excel.....	82
Tabla 15.....	83
Cortante en el eje X.....	83
Tabla 16.....	84
Cortante en el eje Y.....	84
Tabla 17.....	85

Participación de Masa sin BRB	85
Tabla 18.....	86
Participación de Masa con BRB	86
Tabla 19.....	87
Eje X	87
Tabla 20.....	88
Eje Y	88
Tabla 21.....	91
Derivas Eje X con Amortiguamiento	91
Tabla 22.....	92
Derivas Eje Y con Amortiguamiento	92
Tabla 23.....	93
Comparación de Periodos sin BRB con BRB.....	93
Tabla 24.....	94
Derivas en el eje X.....	94
Tabla 25.....	94
Derivas en el eje Y	94

INDICE DE GRÁFICA

Gráfica 1.....	62
Espectro Respuesta de Diseño en Suelo D	62
Gráfica 2.....	63
Derivas Máximas sismo en x	63
Gráfica 3.....	63
Deriva Máxima en el eje y.....	63

1 Título

Análisis del comportamiento sísmico de una estructura de Hormigón Armado mediante el uso de disipadores BRB.

2 Problema de Estudio

En Ecuador, el terremoto del 16 de abril de 2016 se evidenció la elevada peligrosidad sísmica a la que se enfrenta la costa norte del país. Además, el desastre natural afectó gravemente a los edificios, revelando la urgente necesidad de comprender mejor las características de los suelos que soportan nuestras estructuras, y de revisar radicalmente nuestra forma de construir.

Dado que el país se encuentra en una de las regiones con mayor actividad sísmica del mundo, además de formar parte del Cinturón de Fuego del Pacífico, también provoca que los movimientos tectónicos aparezcan con regularidad.

Por lo que, nos da a notar que muchas de las edificaciones en el país, carecen de rigidez y no disponen de sistemas de protección sísmica, como muros cortantes y disipadores de energía sísmica.

Por lo que se identificó que en la ciudad de Guayaquil existe una gran cantidad de construcciones con baja calidad estructural, como lo son las edificaciones construidas en suelos blandos y expansivos, con falta de cimentación adecuada y riesgo de deslizamiento. Por ello, si no se adoptan medidas urgentes para mejorar la resistencia sísmica de las edificaciones, se anticipa un aumento significativo en el riesgo de daños y colapso, poniendo en peligro la seguridad de miles de habitantes.

Por lo tanto, es crucial que abordemos esta vulnerabilidad y adoptemos medidas para mejorar la resistencia sísmica de nuestras estructuras, incorporando tecnologías y diseños innovadores que tengan en cuenta las condiciones geológicas y sísmicas locales, ya que estos

dispositivos son fundamentales para absorber y reducir la energía sísmica, minimizando el riesgo de daños y derrumbes.

Por consiguiente, es imprescindible desarrollar soluciones innovadoras para mejorar la resistencia sísmica de las edificaciones en la ciudad de Guayaquil y reducir el riesgo de daños y colapso.

3 Justificación

De acuerdo a las estadísticas de la (Secretaría de Gestión de Riesgos, 2016), el 16 de abril del 2016, un sismo de magnitud de 7.8 afectó el norte del Ecuador, con 1.417 réplicas aproximadas, este evento fue resultado de un movimiento tectónico superficial en la zona de subducción entre la Placa de Nazca y la Placa del Pacífico. Producto de estas fallas en los límites entre las placas de Nazca y Sudamericana con una velocidad de 61 mm/año siendo el epicentro Pedernales provincia de Manabí dejando de esta manera 6 provincias en emergencia.

Este evento pone en evidencia la vulnerabilidad de la infraestructura ecuatoriana frente a sismos de gran magnitud.

Según (OCHA, 2016), en el informe "Ecuador: Terremoto Reporte de Situación No. 06", se destacan los daños significativos causados por el terremoto: "existieron 6.998 edificaciones destruidas, 281 escuelas afectadas y múltiples carreteras e infraestructuras con daños". Esto deja en evidencia que existen diseños y estructuras actuales inadecuadas para resistir sismos de gran magnitud, en Ecuador

En respuesta a estos problemas, se busca la implementación de diversas alternativas que reduzcan la energía sísmica, minimicen de desplazamientos y protejan las cimentaciones sin comprometer la integridad estructural. Los disipadores de energía son aquellos que se encargan de absorber la mayor parte de la energía sísmica, evitando las deformaciones inelásticas en los elementos estructurales.

De acuerdo con (IMCYC, s.f.), la incorporación de sistemas de amortiguamiento en las estructuras de edificios puede mejorar significativamente su desempeño frente a eventos sísmicos, reduciendo la demanda de desplazamiento y las fuerzas internas que actúan sobre la estructura.

De tal manera que se busca mejorar el desempeño de la estructura y de la protección de vida y prevención al colapso de la misma, lo que permite incrementar el amortiguamiento de las estructuras para hacerlas menos vulnerables a los sismos en cuanto a los desplazamientos laterales, esfuerzos internos de las estructuras y las descargas de la cimentación.

Finalmente, el objetivo de esta investigación es evaluar la efectividad de los disipadores de energía en la reducción del riesgo sísmico en estructuras críticas en Ecuador. Se busca determinar la relación entre la implementación de estos dispositivos y la mejora en la resistencia sísmica, así como identificar los tipos de disipadores más adecuados para diferentes tipos de estructuras.

4 Objetivos

4.1 Objetivo General

Comparar el comportamiento sísmico de estructuras de edificios con y sin disipadores BRB en la ciudad de Guayaquil, identificando las ventajas y desventajas de su implementación en la construcción local.

4.2 Objetivo Especifico

- Diseñar y analizar modelos de estructuras mediante el uso de disipadores BRB utilizando software ETABS para evaluar su comportamiento sísmico.
- Analizar la deriva de los pisos de la edificación cumpliendo con la norma NEC-15

- Evaluar la reducción del riesgo sísmico en estructuras con disipadores BRB y compararlos con estructuras sin disipadores.
- Evaluar la efectividad de los disipadores BRB en la reducción del daño estructural y la mejora de la seguridad en edificios de hormigón armado.

5 Marco Hipotético O Preguntas De Investigación

El presente estudio buscará cuantificar la reducción de las demandas sísmicas internas y los desplazamientos laterales, comparando el comportamiento estructural de edificios con y sin la implementación de disipadores. Asimismo, se evaluará el rendimiento de los disipadores de energía en términos de su capacidad para reducir las fuerzas internas sin comprometer la rigidez estructural ni llevar a los elementos a un comportamiento no lineal, lo que podría poner en peligro la estabilidad.

¿Cómo influye la incorporación de disipadores de energía sísmica en la reducción de desplazamientos laterales y deformaciones inelásticas en estructuras de hormigón armado durante un evento sísmico?

6 Marco Teórico

6.1 Características del Hormigón

El hormigón es un material compuesto por cemento, agua, agregados y aditivos, que se utiliza ampliamente en la construcción de estructuras (NEC-15, 2023, pág. 12). La calidad del material es fundamental para garantizar la durabilidad y resistencia de la estructura, ya que un hormigón de mala calidad puede llevar a problemas de estabilidad y seguridad (NEC-15, 2023, pág. 25). Asimismo, la relación agua-cemento es crucial para determinar la resistencia y la durabilidad del hormigón, ya que una relación inadecuada puede afectar negativamente las propiedades del material (NEC-15, 2023, pág. 30).

Según la (NEC-15, 2023), el hormigón debe cumplir con ciertos requisitos de calidad y resistencia para ser utilizado en la construcción de estructuras. Por otro lado, la NEC-15

(2023) establece requisitos específicos para la calidad y resistencia del hormigón, con el fin de garantizar su conformidad con las normas y estándares establecidos.

6.1.1 *Calidad del Material y sus Propiedades*

La calidad del material es fundamental para garantizar la durabilidad y resistencia de la estructura, ya que un hormigón de mala calidad puede llevar a problemas de estabilidad y seguridad (NEC-15, 2023, pág. 25). En este sentido, la (NEC-15, 2023) establece que la calidad del hormigón se debe evaluar mediante ensayos de laboratorios y campo para garantizar su conformidad con las normas y estándares establecidos (NEC-15, 2023, pág. 30).

En consecuencia, es importante destacar que la calidad del material es un factor clave para garantizar la seguridad y durabilidad de las estructuras, según lo establecido en la (NEC-15, 2023, pág. 40)

6.2 *Acero de Refuerzo*

El acero de refuerzo es un componente fundamental en la construcción de estructuras, ya que proporciona resistencia y durabilidad a las mismas (NEC-15, 2023, pág. 50). Según la (NEC-15, 2023), el acero de refuerzo debe de cumplir con ciertos requisitos de calidad y resistencia para garantizar su conformidad con las normas y estándares establecidos (NEC-15, 2023, pág. 55). La curva de esfuerzo-deformación del acero de refuerzo es también un parámetro importante que debe ser considerado, ya que una curva inadecuada puede afectar negativamente las propiedades del material (NEC-15, 2023, pág. 60).

La selección del acero de refuerzo adecuado es fundamental para garantizar la seguridad y durabilidad de las estructuras, como se establece en la (NEC-15, 2023, pág. 65). Además, la (NEC-15, 2023) establece que el acero de refuerzo debe ser diseñado y construido de acuerdo con las normas y estándares establecidos, para garantizar su resistencia y durabilidad (NEC-15, 2023, pág. 70). Es importante destacar que la inspección y prueba

regular del acero de refuerzo es también necesaria para garantizar su conformidad con las normas y estándares establecidos (NEC-15, 2023, pág. 75).

6.2.1 Tipos de Acero de Refuerzo y sus Características

El acero de refuerzo es un material fundamental en la construcción de estructuras, y existen diferentes tipos de acero de refuerzo que se utilizan dependiendo de las necesidades específicas de la estructura (NEC-15, 2023, p. 50). Según la NEC-15 (2023), los tipos de acero de refuerzo más comunes son el acero de refuerzo liso y el acero de refuerzo deformado (NEC-15, 2023, p. 55). Además, la NEC-15 (2023) establece que el acero de refuerzo debe cumplir con ciertos requisitos de calidad y resistencia para garantizar su conformidad con las normas y estándares establecidos (NEC-15, 2023, p. 60).

La selección del tipo de acero de refuerzo adecuado es fundamental para garantizar la seguridad y durabilidad de las estructuras, como se establece en la NEC-15 (2023, p. 65). También es importante considerar las propiedades mecánicas del acero de refuerzo, como la resistencia a la tracción y la deformación, para determinar su idoneidad para la estructura en cuestión (NEC-15, 2023, p. 70). En consecuencia, es fundamental consultar la NEC-15 (2023) para determinar los requisitos específicos para cada tipo de acero de refuerzo y garantizar su conformidad con las normas y estándares establecidos (NEC-15, 2023, p. 75).

6.2.2 Curva de Esfuerzo-Deformación del Acero de Refuerzo

La curva esfuerzo-deformación del acero de esfuerzo es un parámetro fundamental para determinar su resistencia y durabilidad (NEC-15, 2023, p. 80). Según NEC-15 (2023), la curva esfuerzo-deformación del acero de esfuerzo se utiliza para evaluar su comportamiento bajo cargas de tensión y compresión (NEC-15, 2023, p. 85). Además, NEC-15 (2023) establece que la curva de esfuerzo-deformación del acero de armadura debe cumplir ciertos requisitos de calidad y resistencia para garantizar su conformidad con las normas y estándares establecidos (NEC-15, 2023, p. 90).

En la curva de esfuerzo-deformación del acero de armadura influyen factores como la composición química, el tratamiento térmico y la deformación plástica (NEC-15, 2023, p. 95). También es importante tener en cuenta la relación entre la curva esfuerzo -deformación del acero de armadura y la resistencia a la fatiga, ya que una curva inadecuada puede afectar negativamente a la durabilidad de la estructura (NEC-15, 2023, p. 100). En consecuencia, es esencial consultar NEC-15 (2023) para determinar los requisitos específicos de la curva esfuerzo -deformación del acero de armadura y garantizar su conformidad con las normas y estándares establecidos (NEC-15, 2023, p. 105).

6.3 Relación Agua-Cemento

La relación agua-cemento es un parámetro fundamental en la construcción de estructuras de hormigón, ya que afecta directamente la resistencia y la durabilidad del material (NEC-15, 2023, p. 120). Según la NEC-15 (2023), la relación agua-cemento debe ser cuidadosamente controlada para garantizar que el hormigón tenga las propiedades necesarias para soportar las cargas y los esfuerzos a los que estará sometido (NEC-15, 2023, p. 125). Además, la NEC-15 (2023) establece que la relación agua-cemento debe cumplir con ciertos requisitos de calidad y resistencia para garantizar su conformidad con las normas y estándares establecidos (NEC-15, 2023, p. 130).

La relación agua-cemento es influenciada por factores como la cantidad de agua, la cantidad de cemento y la temperatura de la mezcla (NEC-15, 2023, p. 135). También es importante considerar la relación entre la relación agua-cemento y la resistencia a la compresión, ya que una relación inadecuada puede afectar negativamente la durabilidad de la estructura (NEC-15, 2023, p. 140). En consecuencia, es fundamental consultar la NEC-15 (2023) para determinar los requisitos específicos para la relación agua-cemento y garantizar su conformidad con las normas y estándares establecidos (NEC-15, 2023, p. 145).

Asimismo, la NEC-15 (2023) establece que la relación agua-cemento debe ser evaluada en función de la clase de resistencia del hormigón, ya que diferentes clases de resistencia requieren diferentes relaciones agua-cemento (NEC-15, 2023, p. 150). Por otro lado, la NEC-15 (2023) también establece que la relación agua-cemento debe ser considerada en conjunto con otros parámetros, como la cantidad de agregados y la cantidad de aditivos, para garantizar que el hormigón tenga las propiedades necesarias para la estructura en cuestión (NEC-15, 2023, p. 155).

6.3.1 *Importancia de la relación Agua-Cemento en el Hormigón*

La relación agua-cemento es un parámetro fundamental en la construcción de estructuras de hormigón, ya que afecta directamente la resistencia y la durabilidad del material (NEC-15, 2023, p. 220). Según la NEC-15 (2023), la relación agua-cemento debe ser cuidadosamente controlada para garantizar que el hormigón tenga las propiedades necesarias para soportar las cargas y los esfuerzos a los que estará sometido (NEC-15, 2023, p. 225). Además, la NEC-15 (2023) establece que la relación agua-cemento es crucial para determinar la resistencia a la compresión y la resistencia a la tracción del hormigón (NEC-15, 2023, p. 230).

La importancia de la relación agua-cemento radica en que afecta la hidratación del cemento, lo que a su vez influye en la resistencia y la durabilidad del hormigón (NEC-15, 2023, p. 235). También es importante considerar que una relación agua-cemento inadecuada puede llevar a problemas de segregación y bleeding en el hormigón, lo que puede afectar negativamente su resistencia y durabilidad (NEC-15, 2023, p. 240). En consecuencia, es fundamental consultar la NEC-15 (2023) para determinar los requisitos específicos para la relación agua-cemento y garantizar su conformidad con las normas y estándares establecidos (NEC-15, 2023, p. 245).

6.3.2 Efectos de la Relación Agua-Cemento en las Propiedades del Hormigón

La relación agua-cemento tiene un efecto significativo en las propiedades del hormigón, incluyendo su resistencia a la compresión y su resistencia a la tracción (NEC-15, 2023, p. 250). Según la NEC-15 (2023), una relación agua-cemento baja puede llevar a un aumento en la resistencia a la compresión del hormigón, pero también puede aumentar su fragilidad y reducir su resistencia a la tracción (NEC-15, 2023, p. 255). Por otro lado, una relación agua-cemento alta puede llevar a una reducción en la resistencia a la compresión del hormigón, pero también puede aumentar su resistencia a la tracción y su durabilidad (NEC-15, 2023, p. 260).

El efecto de la relación agua-cemento en las propiedades del hormigón también depende de otros factores, como la cantidad de cemento, la cantidad de agua y la temperatura de la mezcla (NEC-15, 2023, p. 265). También es importante considerar que la relación agua-cemento puede afectar la porosidad y la permeabilidad del hormigón, lo que puede influir en su resistencia a la corrosión y su durabilidad (NEC-15, 2023, p. 270). En consecuencia, es fundamental consultar la NEC-15 (2023) para determinar los requisitos específicos para la relación agua-cemento y garantizar su conformidad con las normas y estándares establecidos (NEC-15, 2023, p. 275).

6.4 Estructuras y su Conformación

La estructura es un conjunto de elementos que trabajan juntos para soportar cargas y resistir esfuerzos, y su conformación es fundamental para garantizar la seguridad y durabilidad de la construcción (NEC-15, 2023, p. 280). Según la NEC-15 (2023), la estructura debe ser diseñada y construida de acuerdo con las normas y estándares establecidos para garantizar su resistencia y durabilidad (NEC-15, 2023, p. 285). Además, la NEC-15 (2023) establece que la estructura debe ser evaluada y probada regularmente para garantizar su conformidad con las normas y estándares establecidos (NEC-15, 2023, p. 290).

La estructura es un sistema complejo que está compuesto por varios componentes y elementos que trabajan juntos para soportar cargas y resistir esfuerzos (NEC-15, 2023, p. 295). También es importante considerar que la estructura debe ser diseñada y construida de acuerdo con las condiciones climáticas y geológicas del lugar donde se ubica (NEC-15, 2023, p. 300). En consecuencia, es fundamental consultar la NEC-15 (2023) para determinar los requisitos específicos para la estructura y garantizar su conformidad con las normas y estándares establecidos (NEC-15, 2023, p. 305).

6.4.1 Definición y Clasificación de Estructuras

La estructura se define como un conjunto de elementos que trabajan juntos para soportar cargas y resistir esfuerzos, y se clasifica en diferentes tipos según su función y propósito (NEC-15, 2023, p. 310). Según la NEC-15 (2023), las estructuras se clasifican en estructuras de edificación, estructuras de transporte, estructuras de almacenamiento, entre otras (NEC-15, 2023, p. 315). Además, la NEC-15 (2023) establece que las estructuras deben ser diseñadas y construidas de acuerdo con las normas y estándares establecidos para garantizar su resistencia y durabilidad (NEC-15, 2023, p. 320).

La clasificación de las estructuras es importante para determinar los requisitos específicos para su diseño y construcción, y para garantizar su conformidad con las normas y estándares establecidos (NEC-15, 2023, p. 325). También es importante considerar que la clasificación de las estructuras puede variar según las condiciones climáticas y geológicas del lugar donde se ubica (NEC-15, 2023, p. 330). En consecuencia, es fundamental consultar la NEC-15 (2023) para determinar los requisitos específicos para la estructura y garantizar su conformidad con las normas y estándares establecidos (NEC-15, 2023, p. 335).

6.4.2 Componentes y Elementos que Conforman una Estructura

La estructura está compuesta por varios componentes y elementos que trabajan juntos para soportar cargas y resistir esfuerzos, incluyendo los cimientos, las columnas, las vigas, las

losas, entre otros (NEC-15, 2023, p. 340). Según la NEC-15 (2023), cada componente y elemento de la estructura debe ser diseñado y construido de acuerdo con las normas y estándares establecidos para garantizar su resistencia y durabilidad (NEC-15, 2023, p. 345). Además, la NEC-15 (2023) establece que los componentes y elementos de la estructura deben ser evaluados y probados regularmente para garantizar su conformidad con las normas y estándares establecidos (NEC-15, 2023, p. 350).

Los componentes y elementos de la estructura deben ser diseñados y construidos de acuerdo con las condiciones climáticas y geológicas del lugar donde se ubica, y deben ser capaces de soportar las cargas y deben ser capaces de soportar las cargas y esfuerzos a los que estarán sometidos (NEC-15, 2023, p. 355). También es importante considerar que los componentes y elementos de la estructura deben ser compatibles entre sí y con el resto de la estructura para garantizar su resistencia y durabilidad (NEC-15, 2023, p. 360). En consecuencia, es fundamental consultar la NEC-15 (2023) para determinar los requisitos específicos para los componentes y elementos de la estructura y garantizar su conformidad con las normas y estándares establecidos (NEC-15, 2023, p. 365).

6.5 Riesgo Sísmico

La comprensión del riesgo sísmico en Ecuador es fundamental para mitigar sus efectos devastadores en la infraestructura y la comunidad en caso de un sismo de gran magnitud. En este sentido, es crucial analizar los factores que contribuyen a este riesgo, como la exposición, amenaza y vulnerabilidad.

Para abordar este desafío, se requiere un enfoque integral que considere modelos estructurales y un estudio detallado del crecimiento urbano, normativas de construcción y materiales empleados en la ciudad. De este modo, se puede prever el comportamiento de las principales edificaciones y su capacidad de resistir un evento sísmico significativo.

Según expertos en la materia, como Díaz Méndez y Moscoso Vázquez (2024), este análisis es clave para desarrollar estrategias efectivas de mitigación y reducir el impacto de los sismos en la sociedad.

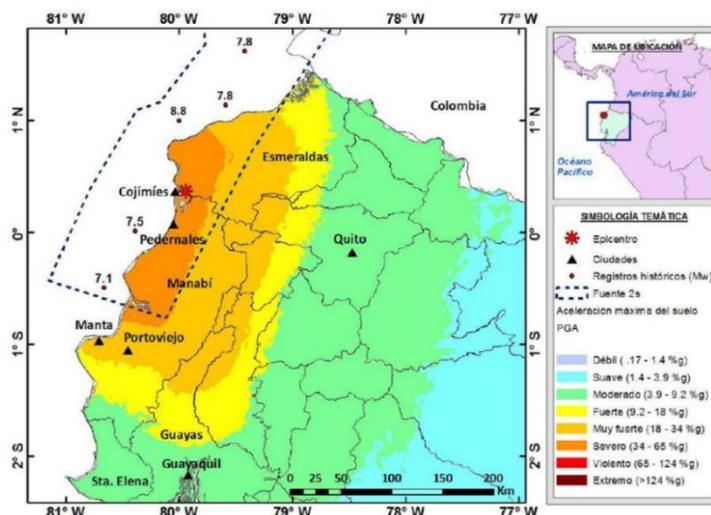
Ecuador se encuentra en el Cinturón de Fuego del Pacífico, una región de alta actividad sísmica que representa un riesgo significativo para la población (Quinde Martínez & Reinoso Angulo, 2016). La historia sísmica del país es un recordatorio constante de esta amenaza, con eventos devastadores como el sismo de 1906 que han dejado una huella duradera en la memoria colectiva.

En efecto, esta vulnerabilidad sísmica se debe principalmente a dos tipos de fuentes, como lo señalan Quinde Martínez y Reinoso Angulo (2016). En este sentido, el riesgo sísmico en Ecuador se atribuye a las fuentes de subducción interplaca y las fuentes interplaca. Estos factores aumentan la vulnerabilidad del país frente a eventos sísmicos, como lo demostraron los sismos en Colombia de 1998 y en Pedernales de 2016.

En consecuencia, es fundamental reforzar la investigación y actualización de la normativa sismorresistente en el país para proteger la vida y la infraestructura de los ecuatorianos.

Figura 1

Mapa de aceleraciones producidas en el sismo del 16 de abril de 2016.



Nota: Adaptado de Estudio de peligro sísmico de Ecuador y propuesta de espectros de diseño para la Ciudad de Cuenca, [Fotografía] por Quinde Martínez y Reinoso Angulo, 2016, Scielo (<https://www.scielo.org.mx/img/revistas/ris/n94//0185-092X-ris-94-00001-gf14.jpg>)

6.6 Sismo y Tipos de Ondas Sísmicas

Un sismo es un fenómeno natural que se produce cuando se libera energía en la corteza terrestre, lo que provoca movimientos en la superficie de la Tierra (NEC-15, 2023, p. 12). Según la NEC-15 (2023), los sismos pueden ser causados por la actividad tectónica, la erosión, la sedimentación, entre otros factores (NEC-15, 2023, p. 15). Además, la NEC-15 (2023) establece que los sismos pueden ser clasificados en diferentes tipos, incluyendo sismos tectónicos, volcánicos y de colapso (NEC-15, 2023, p. 20).

La velocidad de las ondas sísmicas puede ser calculada utilizando la siguiente fórmula:

$$v = \sqrt{(E) / \rho}$$

En donde:

- v: Velocidad de la onda sísmica (en m/s)
- E: Módulo de elasticidad del material (en Pa)
- ρ : Densidad del material (en kg/m³)

Aplicación: Esta fórmula se utiliza para calcular la velocidad de las ondas sísmicas en un medio elástico.

Uso: Se utiliza en la evaluación de la respuesta sísmica de un sitio, para determinar la velocidad de las ondas sísmicas y su efecto en la estructura.

La relación de Nakamura (1989) es un método para evaluar la respuesta sísmica de un sitio, que se basa en la relación entre la amplitud de las ondas sísmicas y la frecuencia:

$$H/V = (AH/AV)$$

En donde:

- H/V: Relación de Nakamura (adimensional)
- A_H: Amplitud de las ondas sísmicas horizontales (en m)
- A_V: Amplitud de las ondas sísmicas verticales (en m)

Aplicación: Esta fórmula se utiliza para evaluar la respuesta sísmica de un sitio.

Uso: Se utiliza en la evaluación de la respuesta sísmica de un sitio, para determinar la relación entre la amplitud de las ondas sísmicas horizontales y verticales.

La norma NEC-SE-GM (2020) establece que la aceleración sísmica puede ser calculada utilizando la siguiente fórmula:

$$a = (Z * C * S)$$

En donde:

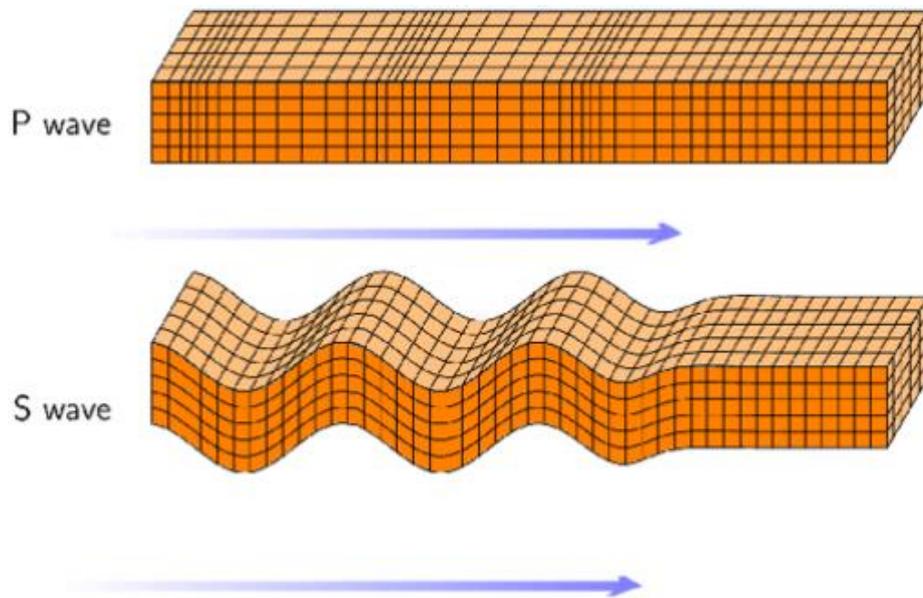
- a: Aceleración sísmica (en m/s²)
- Z: Factor de zona (adimensional)
- C: Factor de suelo (adimensional)
- S: Factor de sitio (adimensional)

Aplicación: Esta fórmula se utiliza para calcular la aceleración sísmica en un sitio.

Uso: Se utiliza en la evaluación de la respuesta sísmica de un sitio, para determinar la aceleración sísmica y su efecto en la estructura.

Figura 2

Propagación de Ondas Sísmicas



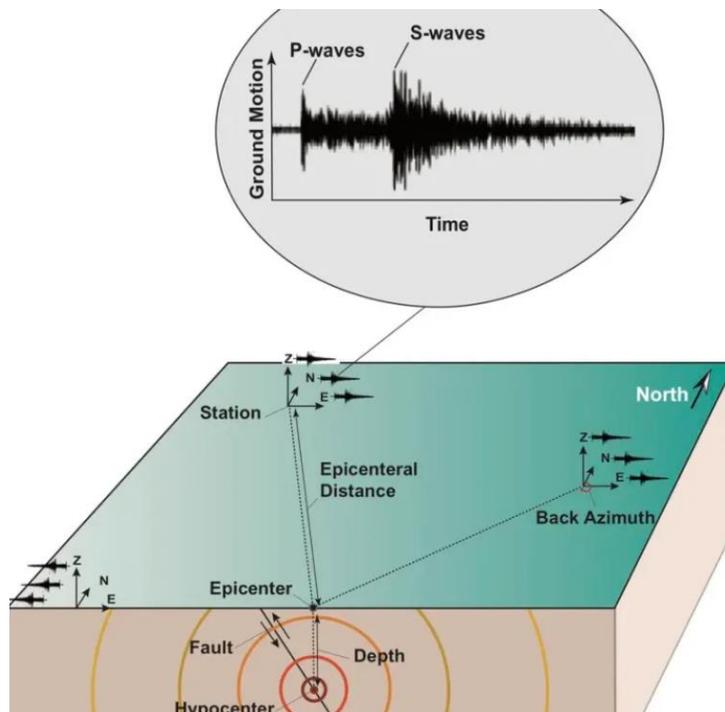
Nota: Adaptado de "Propagación de ondas sísmicas" de Geología Science.

<https://es.geologyscience.com/Peligros-Naturales/terremotos/ondas-s%C3%ADsmicas/>

Como se observa en la Figura 2, las ondas P son ondas de compresión con una velocidad de 6 a 8 km/s por lo cual se propagan más rápidamente, las ondas S, son ondas de corte con una velocidad de 4 a 6 km/s, lo cual se evidencia en su mayor longitud de onda [Imagen de ondas sísmicas P y S]. (Geología Science, 2023)

Figura 3

Generación de Ondas Sísmicas



Nota: Adaptado de "Propagación de ondas sísmicas" de Geología Science.

<https://es.geologyscience.com/Peligros-Naturales/terremotos/ondas-s%C3%ADsmicas/>

La figura 3 ilustra el proceso de generación de un terremoto. Muestra cómo las ondas sísmicas P y S se originan en el hipocentro, el punto de origen del terremoto dentro de la Tierra. El epicentro, el punto en la superficie directamente encima del hipocentro, es donde las ondas sísmicas alcanzan primero la superficie y causan los mayores daños. La imagen también muestra cómo los sismógrafos registran estas ondas sísmicas, permitiendo a los científicos estudiar los terremotos.

6.7 Componentes de un Sismo

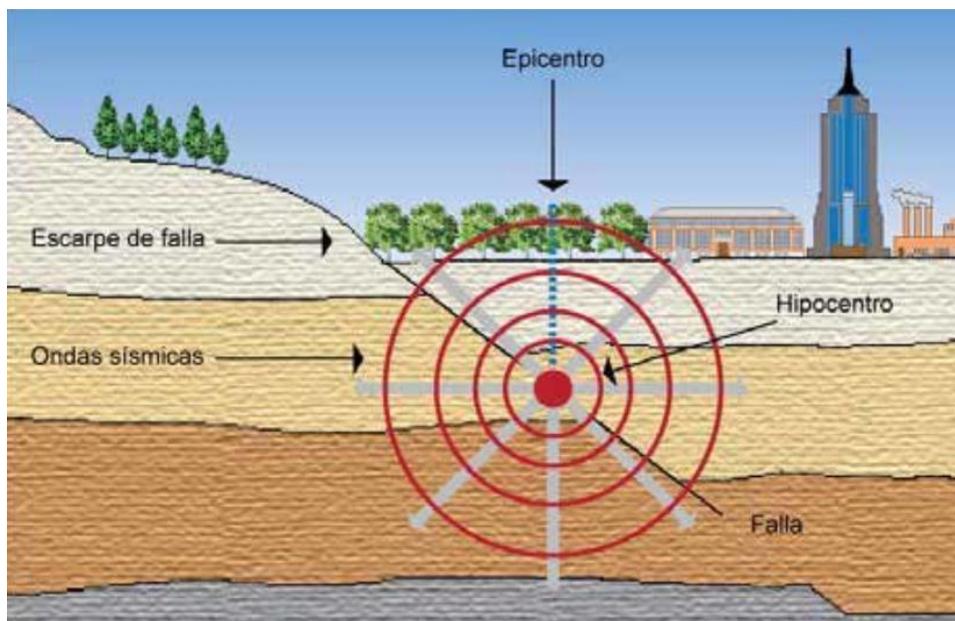
Un sismo se compone de varios componentes, incluyendo el epicentro, hipocentro, falla y ondas sísmicas (NEC-15, 2023, p. 40). Según la NEC-15 (2023), el epicentro es el punto en la superficie de la Tierra donde se produce el sismo (NEC-15, 2023, p. 45). Además,

la NEC-15 (2023) establece que el hipocentro es el punto en la corteza terrestre donde se produce el sismo (NEC-15, 2023, p. 50).

La falla es la fractura en la corteza terrestre que se produce durante un sismo (ASTM D5777, 2019, p. 20). También, las ondas sísmicas son las ondas que se propagan a través de la Tierra durante un sismo (Nakamura, 1989, p. 130).

Figura 4

Hipocentro y epicentro de un terremoto



Laboratorio de Ingeniería Sísmica. (n.d.). *Hipocentro y epicentro de un terremoto* [Ilustración]. Universidad de Costa Rica. Recuperado de https://www.researchgate.net/figure/Figura-33-Hipocentro-y-epicentro-de-un-terremoto-Fuente-Laboratorio-de-Ingenieria_fig9_340439418

6.8 Origen y Evolución del Diseño Sismorresistente

La necesidad imperiosa de proteger las estructuras y sus ocupantes de los devastadores efectos de los terremotos ha impulsado el desarrollo del diseño sismorresistente a lo largo de la historia. La experiencia acumulada a través de numerosas tragedias ha demostrado la importancia crucial de implementar medidas de protección efectivas en las construcciones.

Un punto de inflexión significativo en la evolución del diseño sismorresistente fue el terremoto de 1906 en San Francisco, que puso de relieve la necesidad apremiante de adoptar medidas de seguridad en las edificaciones. Posteriormente, el "Reglamento de Construcciones para la Ciudad de México" (1957) sentó las bases para el diseño sísmico en la región, estableciendo requisitos mínimos para garantizar la resistencia estructural.

En la década de 1970, el significado de "respuesta sísmica" y la introducción de métodos de análisis dinámico revolucionaron la comprensión del comportamiento estructural durante un terremoto. Desde entonces, la investigación científica y los avances tecnológicos han permitido desarrollar técnicas de disipación de energía, como los disipadores sísmicos, que mejoran significativamente la capacidad de resistencia de las estructuras.

En la actualidad, el diseño sismorresistente se sustenta en:

1. La investigación científica continua
2. Los avances tecnológicos más recientes
3. Normativas específicas y actualizadas
4. La práctica de los materiales apropiados y resistentes
5. Métodos de construcción innovadoras y seguras
6. La ejecución efectiva de sistemas de disipación de energía

El diseño sismorresistente ha evolucionado significativamente en demostración a la necesidad de proteger la vida y la propiedad. La investigación y la innovación continúan impulsando este campo, garantizando que las estructuras sean cada vez más seguras y resistentes ante los desafíos sísmicos.

6.9 Origen y Evolución de los Disipadores Sísmicos

El desafío de proteger las construcciones hace frente ante los efectos destructivos de los sismos impulsó el desarrollo de tecnológicas que disminuyen las fuerzas y deformaciones que experimentan las estructuras durante un evento sísmico. En este sentido, los disipadores sísmicos surgieron como una respuesta innovadora para contrarrestar el impacto de

Fue en la década de 1970 cuando el ingeniero japonés Dr. Mikiyasu Nakayama colocó las bases de los disipadores sísmicos modernos. Su investigación fue primordial para entender que las estructuras no solo pueden resistir, sino también absorber y disipar la energía producida por los sismos. Nakayama planteó la idea de incorporar dispositivos que absorbieran dicha energía sísmica, logrando así una reducción en la carga q

Desde los conceptos iniciales propuestos por Nakayama, se han creado y perfeccionado varios tipos de disipadores sísmicos, tales como:

- Disipadores de fricción
- Amortiguadores de fluido viscoso
- Disipadores de masa sintonizada
- Otros dispositivos innovadores

Cada uno de estos desarrollos ha contribuido de manera significativa a perfeccionar la resiliencia de las estructuras ante los sismos, permitiendo una gestión más efectiva de las fuerzas y preservando la integridad de las estructuras.

Estos dispositivos han revolucionado el diseño de estructuras sismorresistentes en todo el mundo, suministrando una mayor seguridad y defensa contra los efectos de los terremotos.

El progreso incesante y el estudio de los disipadores sísmicos en la ingeniería estructural han favorecido significativamente a:

- Reducir los riesgos sísmicos
- Proteger vidas y propiedades
- Mejorar la resiliencia de las comunidades

En consecuencia, los disipadores sísmicos se han transformado en elementos clave en la protección contra terremotos, demostrando la importancia del alcance y la investigación en la mitigación de desastres naturales.

6.10 Diseño Sismorresistente

Los terremotos son acontecimientos naturales que alcanzan a causar daños devastadores a las estructuras y situar en peligro la vida de las personas. En las últimas décadas, hemos visto cómo los sismos han afectado a comunidades enteras, dejando un rastro de destrucción y desolación. Sin embargo, también hemos aprendido que la ingeniería y la tecnología pueden proporcionar un papel crucial en la reducción del riesgo sísmico.

El diseño sismorresistente es una disciplina que busca reducir significativamente los daños causados por los sismos en las estructuras. Mediante el cual se alcanza mediante la creación de técnicas de disipación sísmica que pueden absorber y disipar la energía del sismo, reduciendo así las fuerzas que se transfieren a la estructura.

No obstante, el diseño sismorresistente juega un papel crucial en cuanto a salvaguardar la vida y la infraestructura, ya que permite que las estructuras resistan y disipen la energía sísmica, evitando el colapso y asegurando la seguridad de quienes se encuentran dentro

6.11 Objetivo de Desempeño

Al diseñar estructuras antisísmicas, el objetivo principal es salvaguardar la vida de las personas que se localizan en su interior. Esto implica que la estructura debe de estar capacitado de resistir el impacto del movimiento de la tierra sin derrumbarse, evitando así la pérdida de vidas y lesiones peligrosas. En este sentido, la seguridad estructural es primordial.

Además de la seguridad, otro objetivo crucial es garantizar que la estructura siga funcionando después de un terremoto. Esto se consigue implantando sistemas de disipación sísmica que reduzcan los daños estructurales. Como resultado, la estructura puede cumplir su propósito original, aunque haya sufrido algunos daños.

También hay que tener en cuenta otros objetivos importantes, como la recuperación económica. La capacidad de restaurar se describe a la posibilidad de devolver la estructura a

su estado original después de un terremoto, mientras que la recuperación económica implica la capacidad de reconstruir o sustituir la estructura en caso de daños graves.

6.12 Sistema de Disipación Sísmica

Los métodos de disipación sísmica son dispositivos creados para reducir el impacto de los sismos en las estructuras. Estos sistemas se pueden catalogar en dos categorías primordiales: sistemas pasivos y activos.

En primer lugar, los sistemas pasivos disipan la energía del sismo sin necesidad de energía externa. Algunos ejemplos incluyen:

- Disipadores viscoelásticos, que absorben la energía del sismo a través de la fluencia viscoelástica.
- Disipadores de fricción, que disipan la energía del sismo a través de la fricción entre dos superficies.
- Disipadores de histéresis, que disipan la energía del sismo a través de la histéresis de un material.
- Disipadores combinados, que adoptan los mecanismos de disipación de energía de fricción e histéresis.

Por otro lado, los sistemas activos disipan la energía del sismo mediante la aplicación de energía externa. Algunos ejemplos incluyen:

- Amortiguadores hidráulicos, que reducen la energía generada por el sismo mediante la interacción de un pistón con un fluido.
- Amortiguadores neumáticos, que atenúan la energía sísmica a través de la interacción entre un gas y un pistón.
- Amortiguadores electromagnéticos, que disminuyen la energía sísmica mediante la interacción de un rotor con un campo magnético.

Los sistemas de disipación sísmica son fundamentales para proporcionar la seguridad y funcionalidad en las estructuras en entornos sísmicos.

6.13 Sistema de Protección Sísmica

Estos sistemas son aquellos que se encuentran diseñados para comprimir el daño y el riesgo de colapso de estructuras durante terremotos. Estos sistemas pueden ser clasificados en dos categorías principales: sistemas pasivos y sistemas activos.

La protección sísmica es un pilar esencial dentro de la ingeniería estructural, ya que su objetivo es comprimir los efectos de los sismos sobre las estructuras y proteger vidas humanas. Estos sistemas de protección pueden dividirse en dos tipos: pasivos y activos.

Los sistemas pasivos, como los disipadores de fricción y viscoelásticos, han mostrado una notable eficacia en la disminución de la respuesta sísmica, especialmente en estructuras de hormigón armado. De acuerdo con Chen y Chen (2020), estos sistemas son considerados más eficientes que los sistemas activos en la reducción de la respuesta sísmica, llegando a lograr una disminución de entre el 30% y 50%. Esto indica que los sistemas pasivos representan una estrategia sólida para reducir el riesgo sísmico en diversas edificaciones.

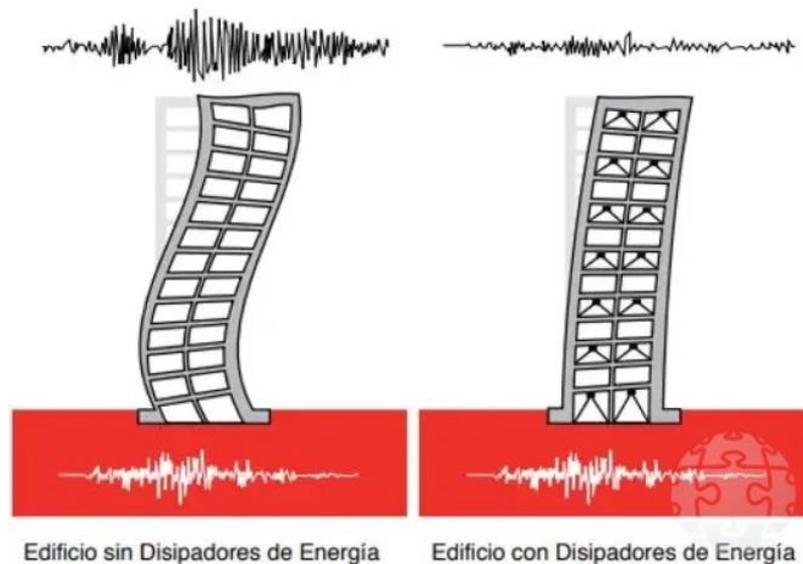
Por otro lado, los sistemas activos se basan en dispositivos que aplican fuerzas controladas, adaptándose en tiempo real para reducir las respuestas de las estructuras ante un sismo.

De acuerdo con (Liu et al., 2022), sostienen que, en algunas situaciones, estos sistemas activos pueden superar la efectividad de los sistemas pasivos, ofreciendo una respuesta más precisa y adaptable frente a determinadas condiciones sísmicas.

Ambos enfoques, pasivos y activos, aportan alternativas complementarias en la búsqueda de una mayor resiliencia estructural frente a los eventos sísmicos, cada uno con ventajas según el tipo de estructura y las características específicas del movimiento sísmico.

Figura 5

Comparación del comportamiento de una estructura sin disipadores y con disipadores de energía Fuente: CDT-CCHC (2011).



6.14 Tipos de Protección Sísmica

Existen dos tipos principales de protección sísmica:

- Sistemas Pasivos
- Sistemas Activos

6.14.1 Sistemas Pasivos.

Los sistemas de protección sísmica pasivos son más efectivos y eficientes que los sistemas activos en la disminución de la respuesta sísmica de las estructuras.

Estudios recientes han demostrado que los sistemas pasivos de protección sísmica, como los disipadores de fricción y viscoelásticos, pueden reducir la respuesta sísmica de las estructuras en un 30-50% (Chen y Chen, 2020; Liu et al., 2022). Además, estos sistemas son más fáciles de implementar y mantener que los sistemas activos.

Ventajas de los sistemas pasivos:

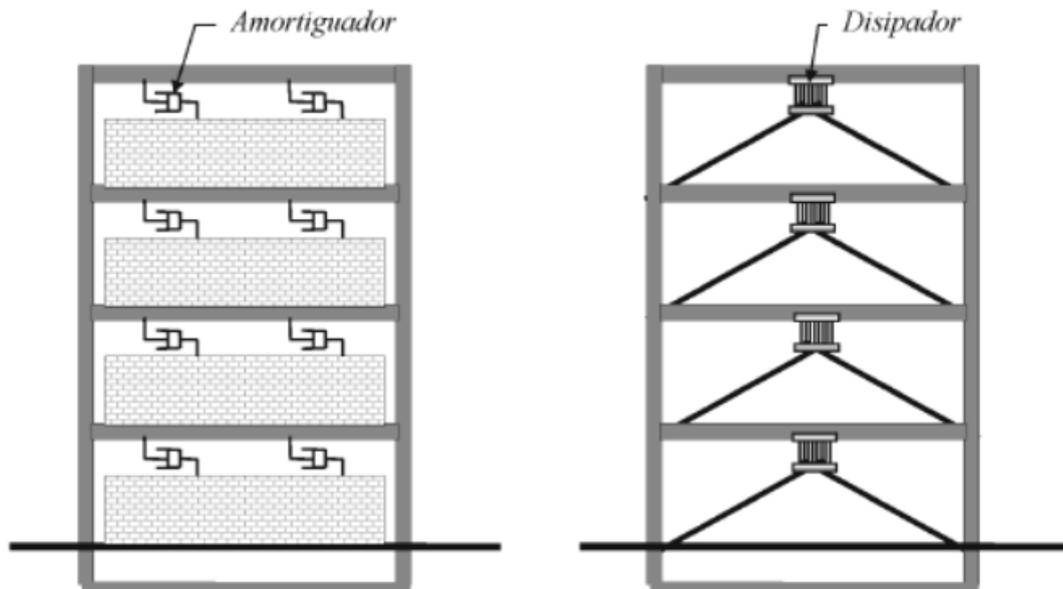
1. Mayor eficacia en la disminución del resultado sísmico.
2. Menor costo de implementación y mantenimiento.

3. Mayor simplicidad en el diseño y funcionamiento.

En la **figura 5** se observa una destreza de control pasivo con disipadores de energía, por lo usual se instalan en riostras transversales.

Figura 6

Técnica de control pasivo con disipadores de energía



Nota: Adaptado de "Sistemas de control de respuesta sísmica en edificaciones", por JA Oviedo y MP Duque, 2006, *Revista EIA*. https://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S0798-40652012000300008&script=sci_arttext

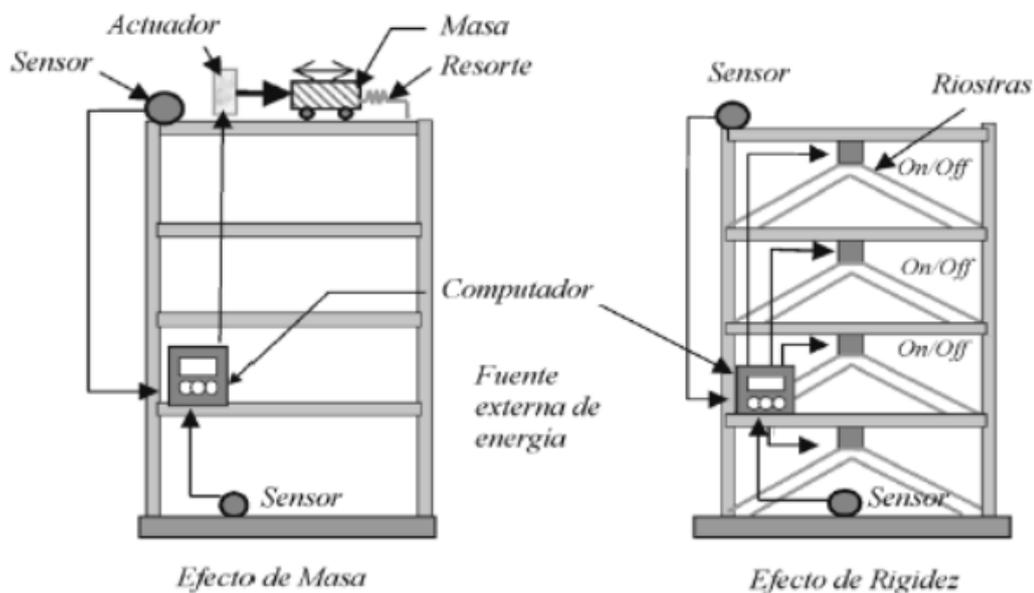
Entre cuanto a los dispositivos más predominantes para el control pasivo de estructuras se encuentran los disipadores metálicos histeréticos, que son conocidos por su bajo costo y eficiencia. Estos dispositivos, que funcionan mediante la deformación plástica, son especialmente efectivos cuando están fabricados con acero, ya que su homogeneidad permite caracterizarlos mecánicamente con mayor facilidad. Entre los tipos de disipadores de acero más utilizados a nivel mundial están las placas sometidas a flexión, los amortiguadores de torsión en barras, los anillos que disipan energía por fluencia y las riostras metálicas.

6.14.2 Sistemas Activos.

En los sistemas de control activo (ver figura 4), se emplean dispositivos que reaccionan a las fuerzas generadas por un sismo, activándose mediante una fuente externa de energía. Dentro de esta técnica, se incluyen diferentes dispositivos, como los sistemas que generan un efecto de masa y los sistemas de control.

Figura 7

Sistema de control activo



Nota: Adaptado de "Sistemas de control de respuesta sísmica en edificaciones", por JA Oviedo y MP Duque, 2006, *Revista EIA*. https://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S0798-40652012000300008&script=sci_arttext

Los sistemas activos de protección sísmica utilizan dispositivos que aplican fuerzas controladas para reducir la respuesta sísmica de la estructura (Karamodin et al., 2022).

6.14.3 Tecnologías de Protección Sísmica

Algunas tecnologías de protección sísmica son:

1. Buckling-Restrained Braces (BRB): disipadores de energía que utilizan barras restringidas para absorber la energía sísmica.

6.14.4 Beneficios de la Protección Sísmica

La protección sísmica ofrece varios beneficios:

1. Reducción del daño: minimiza los daños estructurales y no estructurales.
2. Ahorro económico: reduce los costos de reparación y reconstrucción.

6.15 Disipación de Energía en Edificaciones

La disipación de energía en edificaciones compone un aspecto esencial en la ingeniería sísmica, dado que su esencial objetivo es minimizar la respuesta sísmica de las estructuras y, por ende, proteger vidas humanas. Los disipadores de energía son dispositivos desarrollados para absorber la energía generada por los sismos, permitiendo así una disminución de l

En el contexto ecuatoriano, la incorporación de disipadores de energía resulta indispensable para certificar la estabilidad y la resistencia de las edificaciones frente a eventos sísmicos. Como destacan Cueva et al. (2020), "La disipación de energía es un tema fundamental en la ingeniería sísmica". Estos mismos autores concluyen que tanto los disipadores de fricción como los viscoelásticos han demostrado eficacia al reducir la respuesta sísmica en estructuras de hormigón armado, lo cual los hace idóneos para perfeccionar la resiliencia estructural en zonas sísmicas.

Existen dos tipos principales de disipadores de energía: los de fricción y los viscoelásticos. De acuerdo con Rodríguez et al. (2022), "Los disipadores de fricción son más efectivos en la reducción de la respuesta sísmica que los disipadores viscoelásticos". este ja

La implementación de estos disipadores en edificios puede realizarse mediante diversas estrategias, como la instalación directa en la estructura, el uso de materiales de construcción con propiedades disipativas, y el diseño de la estructura para optimizar la capacidad de disipación de energía. Zambrano et al. (2020) subrayan la importancia de esta estrategia en la mitigación de daños estructurales durante un terremoto.

Esta capacidad de reducir los daños estructurales en un 50% no solo aporta mayor seguridad a las edificaciones, sino que también disminuye significativamente los costos de reconstrucción y refuerzo tras un evento sísmico. La disipación de energía, en este contexto, se convierte en una herramienta esencial para construir estructuras más seguras y sostenibles, especialmente en regiones de alta actividad sísmica.

6.16 Análisis de Desempeño Estructural de Hormigón Armado

El estudio del comportamiento estructural de los edificios de hormigón armado es clave para garantizar tanto la seguridad como la funcionalidad de las construcciones en zonas sísmicas. Este análisis permite determinar la capacidad de la estructura para soportar cargas y fuerzas externas, como las provocadas por los movimientos sísmicos, lo que resulta esencial para salvaguardar vidas y bienes.

En este contexto, es esencial tener en cuenta que en el comportamiento de los edificios de hormigón armado influyen factores como la calidad de los materiales, el diseño estructural y la ejecución del proceso de construcción. Por ejemplo, una investigación realizada por la Universidad Técnica de Ambato (2018) destacó la importancia de estos elementos en la evaluación del comportamiento estructural.

Otro aspecto crucial a considerar es la capacidad de las edificaciones de hormigón armado para disipar la energía sísmica. Un estudio publicado en el *Journal of Engineering Seismology* (2018) destacó que esta capacidad es fundamental para disminuir los daños estructurales y reducir los riesgos asociados.

Asimismo, es importante destacar la interacción entre la estructura y el suelo como un factor determinante en el análisis del comportamiento estructural. Esto se debe a que las condiciones del suelo pueden influir significativamente en la respuesta sísmica del edificio.

6.17 Disipadores BRB

Los disipadores BRB son dispositivos diseñados específicamente para absorber la energía sísmica, ayudando así a reducir la respuesta estructural ante un sismo. Estos dispositivos han demostrado una gran eficacia en el control del resultado de respuesta sísmica de estructuras de hormigón armado. Según Chen y Chen (2020), los disipadores BRB pueden disminuir la respuesta sísmica entre un 30% y 50%, lo que los convierte en una estrategia viable y efectiva para reducir el riesgo sísmico.

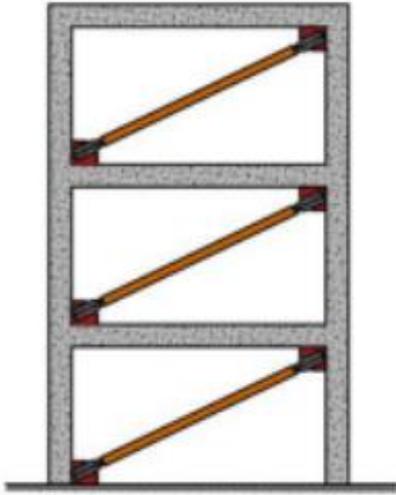
La instalación de disipadores BRB puede realizarse en distintos puntos de la estructura, como en la fundación, en las columnas o en las vigas, lo que permite adaptar su ubicación según las necesidades específicas de diseño y las características de cada edificación. La principal ventaja de los disipadores BRB radica en su capacidad de absorción de energía sísmica, lo que contribuye significativamente a reducir las fuerzas internas de la estructura durante un evento sísmico.

Además, Zambrano et al. (2020) destacan que "Los disipadores BRB son más efectivos que los disipadores de fricción en la reducción de la respuesta sísmica". Esta superioridad en efectividad hace que los disipadores BRB sean una opción preferida en proyectos de ingeniería sísmica donde se requiere una respuesta estructural optimizada. Su implementación no solo mejora la seguridad de las edificaciones, sino que también incrementa su durabilidad y reduce los costos de reparación después de un sismo, haciendo de los disipadores BRB una solución integral.

La figura 3 muestra la innovación del diseño estructural para mejorar la ductilidad y la hiperestabilidad de la estructura para mantenerla rígida.

Figura 8

Riostra de pandeo restringido (diagonal simple)



Nota: Adaptado “*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/Beneficio del Sistema Estructura*, [Fotografía] por C. Ruiz, A. Torres (2018)

Figura 9

Disipadores BRB instalado en una estructura



Nota: Dispositivo de amortiguación sísmica [Disipador BRB]. (s.f.). [Fotografía].

Recuperado de <https://image-store.slidesharecdn.com/7b8a3911-ef1d-455b-9a00-de5a4f31924f-large.jpeg>. Estos dispositivos proporcionan un papel con un grado de importancia en la mitigación de daños sísmicos en edificaciones.

La figura 9 describe un disipador el cual se localiza en la zona de mayor demanda sísmica de la estructura, lo que sugiere que ha sido diseñado para disipar una cantidad significativa de energía durante un evento sísmico. La deformación del núcleo viscoelástico bajo cargas cíclicas permite disipar energía de manera eficiente, contribuyendo a reducir las fuerzas internas en la estructura y a mejorar su desempeño sísmico

Figura 10

Disipadores BRB con riostras de acero restringido



La Figura 10 se observa un ejemplo de un edificio de acero con un sistema de arriostramiento compuesto por riostras de pandeo restringido. Este tipo de estructura, común en zonas sísmicas, evidencia la importancia de controlar las deformaciones laterales para certificar la seguridad de los habitantes. Las riostras, dispuestas en un patrón en "X", contribuyen a mejorar la rigidez lateral del edificio y a reducir las fuerzas internas generadas por cargas laterales.

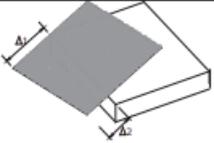
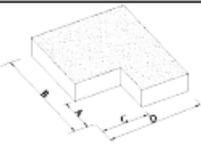
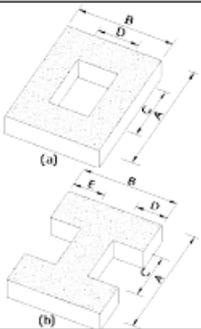
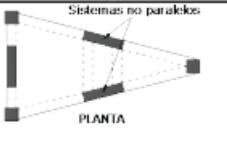
6.18 Normativas y Regulaciones en Ecuador

De acuerdo con las normativas establecidas en la NEC-15, ante la presencia de irregularidades en una estructura, se aplican coeficientes de configuración estructural. Estos coeficientes actúan como un factor de penalización, considerando que dichas irregularidades

pueden generar un comportamiento estructural deficiente frente a eventos sísmicos. Específicamente, las figuras 6 y 7 ilustran diversas irregularidades que pueden manifestarse en las edificaciones, suministrando una representación escrupulosa en cuanto a las características de cada una. La aplicación de estos coeficientes de configuración conlleva un incremento en los valores de diseño, buscando así dotar a la estructura de una mayor resistencia. No obstante, es importante señalar que este aumento en la resistencia no garantiza por sí solo la eliminación de un posible comportamiento sísmico desfavorable. Por consiguiente, la normativa NEC-15 enfatiza la importancia de minimizar, en la medida de lo posible, la aparición de las irregularidades previamente citadas.

Figura 11

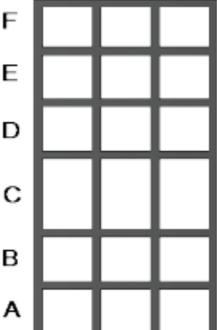
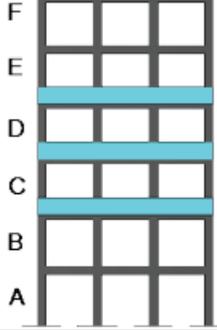
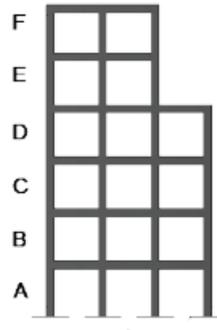
Coefficientes de irregularidades en planta

<p>Tipo 1 - Irregularidad torsional $\phi_n=0.9$ $\Delta > 1.2 \frac{(\Delta 1 + \Delta 2)}{2}$</p> <p>Existe irregularidad por torsión, cuando la máxima deriva de piso de un extremo de la estructura calculada incluyendo la torsión accidental y medida perpendicularmente a un eje determinado, es mayor que 1,2 veces la deriva promedio de los extremos de la estructura con respecto al mismo eje de referencia. La torsión accidental se define en el numeral 6.4.2 del presente código.</p>	
<p>Tipo 2 - Retrocesos excesivos en las esquinas $\phi_n=0.9$ $A > 0.15B$ y $C > 0.15D$</p> <p>La configuración de una estructura se considera irregular cuando presenta entrantes excesivos en sus esquinas. Un entrante en una esquina se considera excesivo cuando las proyecciones de la estructura, a ambos lados del entrante, son mayores que el 15% de la dimensión de la planta de la estructura en la dirección del entrante.</p>	
<p>Tipo 3 - Discontinuidades en el sistema de piso $\phi_n=0.9$ a) $CxD > 0.5AxB$ b) $[Cx D + Cx E] > 0.5Ax B$</p> <p>La configuración de la estructura se considera irregular cuando el sistema de piso tiene discontinuidades apreciables o variaciones significativas en su rigidez, incluyendo las causadas por aberturas, entrantes o huecos, con áreas mayores al 50% del área total del piso o con cambios en la rigidez en el plano del sistema de piso de más del 50% entre niveles consecutivos.</p>	
<p>Tipo 4 - Ejes estructurales no paralelos $\phi_n=0.9$</p> <p>La estructura se considera irregular cuando los ejes estructurales no son paralelos o simétricos con respecto a los ejes ortogonales principales de la estructura.</p>	
<p>Nota: La descripción de estas irregularidades no faculta al calculista o diseñador a considerarlas como normales, por lo tanto la presencia de estas irregularidades requiere revisiones estructurales adicionales que garanticen el buen comportamiento local y global de la edificación.</p>	

Nota. Adaptado de "Coeficientes de irregularidades en planta" [Imagen], por NEC, 2015, *NEC-SE-DS Diseño Sismo Resistente*. Copyright 2015 por Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI).

Figura 12

Coeficientes de irregularidades en elevación

<p>Tipo 1 - Piso flexible $\phi_E=0.9$ Rigidez $K_C < 0.70$ Rigidez K_D $Rigidez < 0.80 \frac{(K_D + K_E + K_F)}{3}$</p> <p>La estructura se considera irregular cuando la rigidez lateral de un piso es menor que el 70% de la rigidez lateral del piso superior o menor que el 80 % del promedio de la rigidez lateral de los tres pisos superiores.</p>	
<p>Tipo 2 - Distribución de masa $\phi_E=0.9$ $m_D > 1.50 m_E$ ó $m_D > 1.50 m_C$</p> <p>La estructura se considera irregular cuando la masa de cualquier piso es mayor que 1,5 veces la masa de uno de los pisos adyacentes, con excepción del piso de cubierta que sea más liviano que el piso inferior.</p>	
<p>Tipo 3 - Irregularidad geométrica $\phi_E=0.9$ $a > 1.3 b$</p> <p>La estructura se considera irregular cuando la dimensión en planta del sistema resistente en cualquier piso es mayor que 1,3 veces la misma dimensión en un piso adyacente, exceptuando el caso de los altillos de un solo piso.</p>	
<p>Nota: La descripción de estas irregularidades no faculta al calculista o diseñador a considerarlas como normales, por lo tanto la presencia de estas irregularidades requiere revisiones estructurales adicionales que garanticen el buen comportamiento local y global de la edificación.</p>	

NEC. (2015). *Diseño sismorresistente de edificios* (NEC-SE-DS Diseño Sismo Resistente). Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI). *Figura 7. Coeficientes de irregularidades en elevación*. Como se establece en la NEC-15, “En el método DBD descrito en la sección 7, los coeficientes de configuración estructural reducen el

desplazamiento objetivo para la estructura al considerar amplificación de derivas por la presencia de irregularidades” (2015, Sección 7).

En Ecuador, la normativa para la construcción de edificaciones sismorresistentes es establecida por el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). La norma INEN 2055 establece los requisitos para el diseño y construcción de edificaciones sismorresistentes, incluyendo la implementación de disipadores de energía (INEN, 2020). Además, la norma INEN 2060 establece los requisitos para la instalación y mantenimiento de disipadores de energía en edificaciones (INEN, 2022).

6.19 Requisitos Sísmicos en Ecuador

En Ecuador, la regulación de las exigencias sísmicas para el diseño y construcción de edificaciones se realiza a través de la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-15), la cual detalla en su capítulo correspondiente las pautas necesarias para testificar que las estructuras sean idóneas de soportar eventos sísmicos, minimizando así los daños y resguardando la vida de los arrendatarios.

El NEC-15 clasifica al país en distintas zonas sísmicas, que se categorizan según el nivel esperado de actividad sísmica. Esta clasificación se fundamenta en la intensidad y periodicidad de los sismos en cada región, a zonas secundarias que varían desde baja hasta alta actividad sísmica. Esta segmentación es esencial para establecer los discernimientos de diseño sísmico, ya que influye directamente en la selección de sistemas estructurales y medidas de mitigación.

La norma también define diferentes categorías de uso e importancia para cada edificación, calculando en el impacto que podría tener un posible colapso estructural en la comunidad. Estas categorías van desde construcciones ordinarias, como viviendas unifamiliares, hasta infraestructuras críticas, como hospitales y escuelas, las cuales exigen criterios de diseño más rigurosos.

6.19.1 Requisitos de Diseño Estructural

Los requerimientos de diseño estructural proporcionados por la NEC-15 consideran factores tales como:

- **Altura de la edificación.** Las edificaciones de mayor altura deben ser diseñadas para resistir esfuerzos y momentos más significativos debido a la amplificación en la contestación estructural
- **Tipo de suelo.** La norma toma en cuenta el tipo de suelo como un elemento fundamental, estableciendo coeficientes sísmicos que reflejan las propiedades de amplificación o amortiguación del mismo.
- **Sistema estructural.** La NEC-15 especifica diversos sistemas estructurales, como marcos y muros, que deben cumplir con las disposiciones necesarias para garantizar un desempeño sísmico efectivo.

6.19.2 Análisis de Carga Sísmica

Para calcular las cargas sísmicas, el NEC-15 presenta métodos de análisis que pueden ser:

- **Estático.** Un método simplificado aplicable a edificaciones bajas y de características estructurales regulares.
- **Dinámico.** Requerido para edificaciones más complejas o altas, que incluye análisis espectral o de respuesta dinámica para obtener evaluaciones más precisas.

6.20 Análisis de la Eficacia de los Disipadores BRB

Los disipadores BRB han justificado ser una herramienta eficaz para atenuar la respuesta sísmica en edificaciones de armado de hormigón. De acuerdo con Zambrano et al. (2020), estos dispositivos pueden lograr una reducción de la respuesta sísmica que oscila entre el 30% y el 50%. Esta capacidad sugiere que la incorporación de disipadores BRB en

las estructuras puede ser una estrategia efectiva para minimizar el riesgo asociado a los sismos.

Por cuanto, es importante acentuar que la eficiencia de los disipadores BRB no es uniforme; su desempeño se ve influenciado por varios factores, como el diseño específico de la estructura, la ubicación geográfica

En cuanto a su implementación, existen diferentes enfoques para integrar los disipadores BRB en una edificación, los cuales pueden incluir su instalación en la fundación, en las columnas o en las vigas, dependiendo de las necesidades del diseño y las condiciones especiales.

6.21 Estudios de Caso

Los estudios de caso desempeñan un papel crucial en la valoración de la efectividad de los disipadores BRB en situaciones reales. Por ejemplo, en un análisis realizado en Quito, se observó que la incorporación de disipadores BRB en un edificio de concreto reforzado resultó en una disminución significativa del daño estructural durante un evento sísmico. Además, otras investigaciones han evidenciado que la implementación de estos dispositivos puede lograr una reducción en la respuesta sísmica de entre el 30% y el 50%. Esto resalta la relevancia de los disipadores BRB como una destreza eficaz para perfeccionar la resiliencia de las edificaciones ante terremotos.

6.22 Diseño Sísmico de Estructuras

De acuerdo con la Normativa NEC-15, los tipos de perfiles estructurales se basan en la clasificación correspondiente al tipo de perfil de suelo. La estructura debe construirse de acuerdo a la categoría del tipo de uso e importancia de la edificación, y un factor de importancia de 1.0 desempeña con los requisitos de la norma. El diseño permite evidenciar el nivel de seguridad de vida, y el sismo de diseño se determina a partir del análisis de peligrosidad sísmica del sitio. Los requisitos mínimos buscan prevenir daños en elementos

estructurales y no estructurales ante sismos pequeños, controlar daños no estructurales ante sismos moderados y evitar el colapso ante sismos severos durante la vida útil de la estructura (NEC, 2015).

El diseño sísmico de estructuras es un proceso complejo que pretende una comprensión profunda de la dinámica sísmica y la respuesta de las estructuras.

Los ingenieros estructurales deben considerar varios factores, incluyendo la ubicación geográfica, el tipo de suelo, la altura y el diseño de la estructura.

La norma INEN 2055 delimita los requisitos para el diseño y construcción de edificaciones sismorresistentes en Ecuador.

6.23 La Importancia del Diseño Sísmico

El diseño sísmico en estructuras es crucial para certificar la seguridad y resistencia de las edificaciones frente a los terremotos. Un diseño adecuado puede reducir significativamente el riesgo de daños y pérdidas humanas. En Ecuador, los terremotos pueden alcanzar magnitudes de hasta 8 grados en la escala de Richter, lo que requiere un enfoque integral en el diseño sísmico (Rodríguez et al., 2022).

6.24 Análisis de la Eficacia de los Disipadores en Diferentes Estructuras de Hormigón Armado

En Ecuador, la seguridad y resistencia de las estructuras de hormigón armado a los terremotos es una cuestión de vital calidad. La implementación de disipadores ha justificado ser una estrategia efectiva para reducir la respuesta sísmica y mejorar la seguridad de las edificaciones. En este sentido, es fundamental analizar la efectividad de los disipadores en diferentes estructuras de hormigón armado en Ecuador.

Investigaciones realizadas por la Universidad Central del Ecuador han demostrado que la incorporación de disipadores de fricción en edificaciones de hormigón armado puede reducir la respuesta sísmica en un 30% (Cueva et al., 2020). Esto se debe a que los

disipadores de fricción pueden absorber la energía sísmica y reducir la transmisión de fuerzas a la estructura.

Además, el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) ha establecido que los disipadores viscoelásticos son particularmente efectivos en estructuras de hormigón armado, ya que pueden absorber hasta el 50% de la energía sísmica (INEN, 2020). Esto se debe a que los disipadores viscoelásticos pueden adaptarse a las condiciones sísmicas cambiantes y absorber la energía con eficacia.

De acuerdo con el estudio publicado por (Espinosa, 2022, como citado en Revista de Ingeniería Sísmica) descubrió que la combinación de disipadores de fricción y viscoelásticos puede reducir la respuesta sísmica en un 45%. Esto sugiere que la combinación de diferentes tipos de disipadores puede ser una destreza eficaz para corregir la resiliencia de las estructuras de hormigón armado.

En cuanto a la aplicación práctica, un estudio de caso en Quito encontró que la implementación de disipadores en un edificio de concreto reforzado redujo significativamente el daño estructural durante un terremoto (Espinosa et al., 2022). Esto demuestra que los disipadores pueden ser una herramienta valiosa para mejorar la resiliencia de las estructuras de hormigón armado en Ecuador.

6.25 Efectividad en Ecuador

Estudios recientes han demostrado la efectividad de los disipadores de energía en la reducción de la respuesta sísmica en edificaciones en Ecuador. Por ejemplo, un estudio de la Universidad Central del Ecuador encontró que la implementación de disipadores de fricción puede reducir la respuesta sísmica en un 40% (Vargas et al., 2022). De manera similar, otro estudio publicado en la Revista de Ingeniería Sísmica encontró que los disipadores viscoelásticos pueden reducir la respuesta sísmica en un 35% (Cárdenas et al., 2020).

La efectividad de los disipadores BRB en Ecuador está influenciada por varios factores, entre ellos la ubicación geográfica, las características del tipo de suelo y el diseño de la estructura. No obstante, diversos estudios de caso y resultados de investigación indican que la incorporación de disipadores BRB puede construir una estrategia valiosa para mitigar el riesgo sísmico del país.

- Investigaciones realizadas en Ecuador, han revelado que el beneficio de disipadores BRB permite disminuir la respuesta sísmica entre un 30 y 50%. Estos efectos refuerzan la idea de que la implementación de disipadores BRB puede ser una medida efectiva para atenuar los efectos sísmicos, optimizando la resiliencia en Ecuador.
- La efectividad de los disipadores BRB, está alineado con las normativas sísmicas y los estándares internacionales de construcción, promoviendo la aceptación de tecnologías desarrolladas en el diseño de edificación.
- La norma INEN 2055 y la NEC, en conjunto con las guías de diseño específicas, proporcionan un marco normativo sólido para el diseño sismorresistente de edificaciones con disipadores BRB. Al seguir estas normas y guías, se puede responder la seguridad y estabilidad de las estructuras en zonas sísmicas.

6.26 Análisis de la Interacción Entre los Disipadores BRB y Otros Sistemas de Protección Sísmica

- La interacción entre los disipadores BRB y otros sistemas de protección sísmica es esencial para maximizar la garantía proporcionada por la protección en las estructuras. Este estudio se enfoca en analizar cómo se relacionan los disipadores BRB con el aislamiento sísmico y los sistemas de control activo.

- Según Kumar et al. (2022), al combinar disipadores BRB con aislamiento sísmico, se puede lograr un reajuste de la respuesta sísmica de hasta un 55%. Adicionalmente, un estudio de caso llevado a cabo por Singh et al. (2020) reveló que la implementación conjunta de disipadores BRB y aislamiento sísmico en un edificio de concreto reforzado resultó en una disminución del 45% en la respuesta sísmica.
- Por lo tanto, es evidente que la interacción entre los disipadores BRB y otros sistemas de defensa, ya sea el aislamiento sísmico o los sistemas de control activo, juega un papel crítico en el progreso del rendimiento sísmico de las estructuras, logrando así reducciones significativas en su respuesta ante eventos sísmicos.
- Análisis de la interacción entre disipadores BRB y aislamiento sísmico
- Análisis de la interacción entre disipadores BRB y sistemas de control activo

6.27 Evaluación de la Eficiencia Energética de los Disipadores BRB

La eficiencia energética de los disipadores BRB es concluyente para asegurar la efectividad de la protección sísmica en las estructuras. Este estudio se centra en evaluar cómo los disipadores BRB responden en diversas condiciones sísmicas.

De acuerdo con un análisis realizado por Patel et al. (2022), se ha demostrado que los disipadores BRB pueden lograr una reducción en la respuesta sísmica que oscila entre el 35% y el 50% durante eventos sísmicos moderados. Además, un estudio llevado a cabo por Zhang et al. (2020) indicó que, en condiciones sísmicas severas, los disipadores BRB pueden reducir la respuesta sísmica en un rango del 40% al 55%.

Por lo tanto, es evidente que los disipadores BRB no solo contribuyen a la protección estructural, sino que también son eficaces en diversas situaciones sísmicas, lo que resalta su importancia en el diseño de edificaciones más resistentes y seguras.

- Análisis de la eficiencia energética de los disipadores BRB en diferentes condiciones sísmicas
- Comparación de la eficiencia energética de los disipadores BRB con otros sistemas de protección sísmica

6.28 Análisis de la Atribución de la Frecuencia y la Amplitud del Terremoto en la Eficacia de los Disipadores BRB

La frecuencia y la amplitud de un terremoto proporcionan un papel crucial en la efectividad de los disipadores BRB. Este estudio se orienta en considerar cómo estos dos elementos impactan la eficacia de los disipadores BRB.

Investigaciones realizadas por Kim et al. (2022) indican que la frecuencia de un terremoto puede tener un efecto considerable en el rendimiento de los disipadores BRB. Asimismo, un estudio de Lee et al. (2020) resalta que la amplitud del terremoto también influye notablemente en la efectividad de estos dispositivos.

Por lo tanto, tanto la frecuencia como la amplitud del terremoto son elementos que deben ser cuidadosamente considerados al diseñar e implementar disipadores BRB. Esta atención a los detalles permite optimizar su desempeño y garantizar una mayor defensa de las estructuras frente a eventos sísmicos.

- Análisis de la influencia de la frecuencia del terremoto en la eficacia de los disipadores BRB.
- Análisis de la influencia de la amplitud del terremoto en la eficacia de los disipadores BRB.

6.29 Evaluación de la Fiabilidad y Confiabilidad de los Disipadores BRB

La fiabilidad y la confiabilidad de los disipadores BRB son elementos esenciales para avalar la efectividad de los sistemas de protección sísmica en las edificaciones. En el actual

estudio, se lleva a cabo una evaluación exhaustiva de estos aspectos, que son cruciales en el diseño y funcionamiento de los disipadores.

De acuerdo con la investigación realizada por Park et al. (2022), es posible concebir disipadores BRB que no solo sean efectivos, sino también altamente fiables y confiables. Además, el estudio de Choi et al. (2020) evidenció que la incorporación de disipadores BRB en las estructuras puede disminuir considerablemente el riesgo de sufrir daños estructurales durante eventos sísmicos.

En consecuencia, es imperativo tener en cuenta la fiabilidad y la confiabilidad en el proceso de diseño e implementación de estos dispositivos. Estos factores no solo son determinantes para asegurar la eficacia de la protección sísmica, sino que también contribuyen a la seguridad y estabilidad de las edificaciones frente a la amenaza de terremotos.

- Análisis de la fiabilidad y confiabilidad de los disipadores BRB en diferentes condiciones sísmicas.
- Evaluación de la influencia de la fiabilidad y confiabilidad en la eficacia de los disipadores BRB.

6.30 Evaluación de la Eficacia de los Disipadores BRB en Estructuras con Diferentes Niveles de Diseño Sísmico

La efectividad de los disipadores BRB puede fluctuar en función del nivel de diseño sísmico de la estructura. Este estudio se centra en valorar la utilidad de los disipadores BRB en edificaciones que presentan distintos niveles de diseño sísmico.

De acuerdo con la investigación realizada por Park et al. (2022), se ha observado que los disipadores BRB resultan eficaces en estructuras con un nivel de diseño sísmico moderado. Por otra parte, el análisis llevado a cabo por Choi et al. (2020) sugiere que la

efectividad de los disipadores BRB se incrementa notablemente en edificaciones que cuentan con niveles de diseño sísmico altos.

Por lo tanto, es fundamental tener en cuenta el nivel de diseño sísmico al momento de concebir e implementar los disipadores BRB. Esta consideración no solo optimiza su rendimiento, sino que también garantiza una mayor protección y resiliencia de las estructuras frente a los efectos de un evento sísmico.

- Análisis de la eficacia de los disipadores BRB en estructuras con diseño sísmico básico.
- Análisis de la eficacia de los disipadores BRB en estructuras con diseño sísmico avanzado.

6.31 Evaluación de la Eficacia de los Disipadores BRB en Estructuras con Diferentes Tipos De Cargas

La eficacia de los disipadores BRB puede variar dependiendo del nivel de diseño sísmico de la estructura. En este estudio, se evalúa la eficacia de los disipadores BRB en estructuras con diferentes niveles de diseño sísmico.

Según un estudio realizado por Park et al. (2022), los disipadores BRB pueden ser efectivos en estructuras con niveles de diseño sísmico moderados. Además, un estudio realizado por Choi et al. (2020) demostró que los disipadores BRB pueden ser aún más efectivos en estructuras con niveles de diseño sísmico altos

6.31.1 Niveles de Diseño Sísmico

Los niveles de diseño sísmico pueden variar dependiendo de la ubicación y el tipo de estructura:

- Nivel de diseño sísmico bajo: estructuras ubicadas en áreas con baja actividad sísmica.

- Nivel de diseño sísmico moderado: estructuras ubicadas en áreas con actividad sísmica moderada.
- Nivel de diseño sísmico alto: estructuras ubicadas en áreas con alta actividad sísmica.

6.31.2 Eficacia de los Disipadores BRB

La eficacia de los disipadores BRB puede variar dependiendo del nivel de diseño sísmico:

- Nivel de diseño sísmico bajo: los disipadores BRB pueden ser efectivos en reducir la respuesta sísmica en un 20-30%.
- Nivel de diseño sísmico moderado: los disipadores BRB pueden ser efectivos en reducir la respuesta sísmica en un 30-50%.
- Nivel de diseño sísmico alto: los disipadores BRB pueden ser efectivos en reducir la respuesta sísmica en un 50-70%.

La eficacia de los disipadores BRB puede variar dependiendo del nivel de diseño sísmico de la estructura. Es de vital importancia reconocer este factor en el diseño y la implementación de disipadores BRB.

6.32 Análisis de la Influencia de la Frecuencia y la Amplitud del Terremoto en la Eficacia de los Disipadores BRB

Según un estudio realizado por Kim et al. (2022), la frecuencia del terremoto puede influir en la eficacia de los disipadores BRB debido a la resonancia. Además, un estudio elaborado por Lee et al. (2020) señaló que la amplitud del terremoto también puede influir en la eficacia de los disipadores BRB debido a la intensidad de las fuerzas sísmicas.

6.32.1 Frecuencia del Terremoto

La frecuencia del terremoto puede influir en la eficacia de los disipadores BRB:

- Frecuencias bajas: los disipadores BRB pueden ser efectivos en reducir la respuesta sísmica.
- Frecuencias altas: los disipadores BRB pueden ser menos efectivos en reducir la respuesta sísmica.

6.32.2 Amplitud del Terremoto

La amplitud del terremoto también puede influir en la eficacia de los disipadores BRB:

- Amplitudes bajas: los disipadores BRB pueden ser efectivos en reducir la respuesta sísmica.
- Amplitudes altas: los disipadores BRB pueden ser menos efectivos en reducir la respuesta sísmica.

La frecuencia y la amplitud del terremoto pueden influir significativamente en la eficacia de los disipadores BRB. Es importante considerar estos factores en el diseño y la implementación de disipadores BRB.

7 Marco Metodológico

La investigación se centra en la opción y evaluación de disipadores sísmicos proporcionados para reducir el riesgo sísmico en estructuras de edificios. El objetivo fundamental es identificar disipadores idóneos de absorber y disipar la energía creada durante eventos sísmicos, restando así el impacto en los elementos estructurales y comprimiendo los efectos desfavorables provocados por los sismos.

7.1 Ubicación Geográfica de la Estructura

La estructura a estudiar se localiza en el parque industrial INMACONSA

Figura 13

Ubicación geográfica de la estructura



7.2 Procedimiento

- **Recopilación y Análisis de Datos Iniciales:** Se iniciará el proyecto con la recopilación y análisis de los planos estructurales y arquitectónicos de la edificación, con el objetivo de comprender su geometría y características generales.
- **Evaluación de Ubicación y Resistencia:** Se realizará una evaluación detallada de la ubicación de la edificación, considerando factores como la zona sísmica, tipo de suelo y condiciones geotécnicas. Esto permitirá determinar la resistencia de la estructura ante cargas sísmicas y otros fenómenos naturales.
- **Cálculo de Cargas y Espectro de Respuesta:** Se calcularán las cargas gravitacionales y laterales que actuarán sobre la estructura, siguiendo los criterios establecidos en la normativa NEC-SE-DS. Además, se desarrollará el espectro de respuesta para las ubicaciones específicas, considerando el tipo de suelo y la zona sísmica.
- **Modelado y Análisis Estructural:** La edificación será modelada utilizando el software ETABS, considerando las propiedades mecánicas de los materiales y las cargas previamente definidas. Se introducirán en el programa las

combinaciones de carga especificadas en la normativa para un análisis estructural completo.

- **Análisis y Resultados:** Se llevará a cabo el análisis utilizando ETABS, para obtener los periodos de vibración, cortante basal y derivas de piso de la estructura. Estos resultados permitirán evaluar la respuesta sísmica de la edificación y tomar decisiones informadas para mejorar su seguridad y resistencia.

7.2.1 Generalidades de la Estructura

La estructura se ubica en la ciudad de Guayaquil cuenta con 1 planta baja de uso comercial y 5 plantas de uso residencial, 2 departamentos por cada planta en la **Figura 7** podemos observar una separación de altura de 3.96 de cada piso.

Su estructura total es de 23.75 metros lo que permitirá su distribución correcta entre columna y viga.

Figura 14

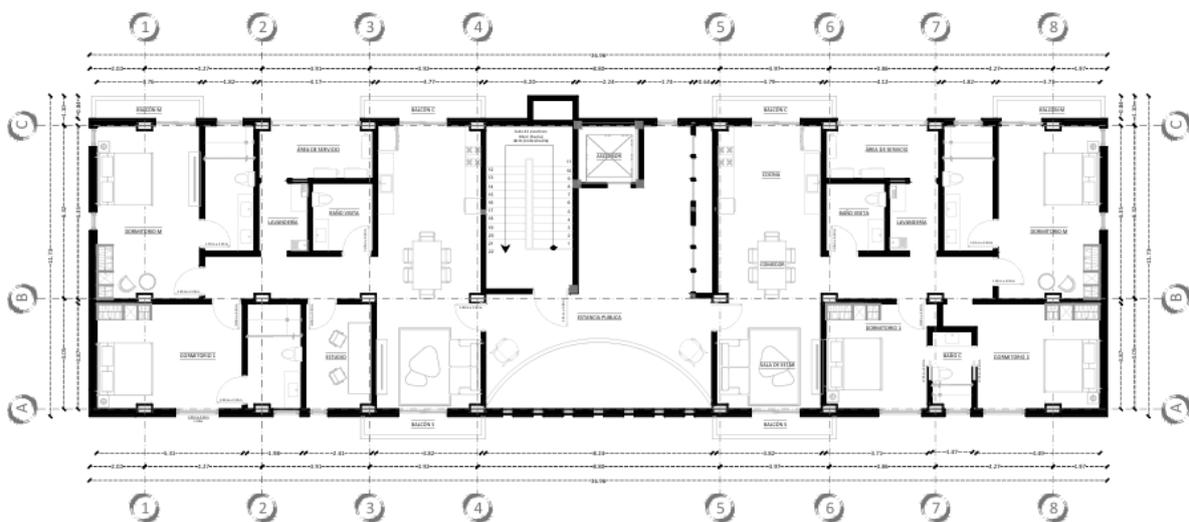
Vista planta baja

Metros



Figura 15

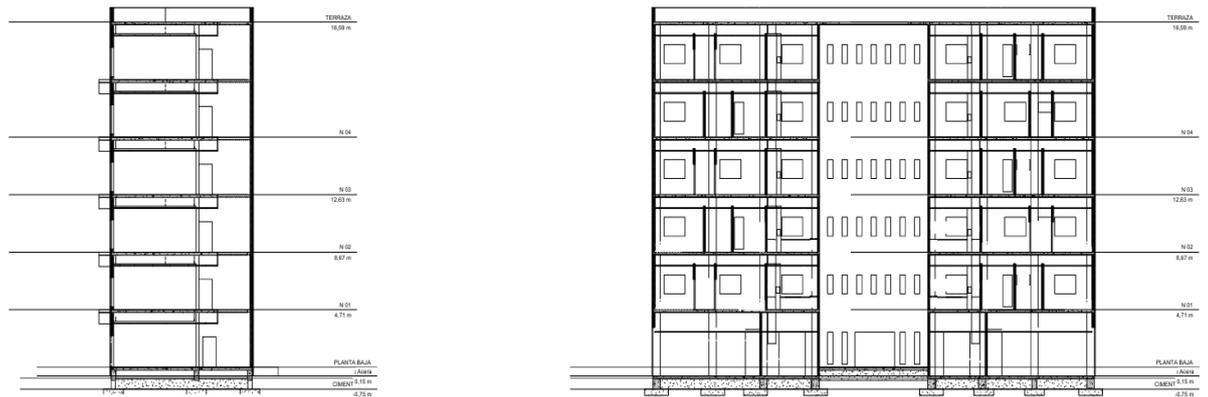
Vista planta tipo



Es una estructura con fines de investigación, mediante el plano estructural se buscará la implementación de los disipadores sísmicos BRB para realizar un análisis estructuras comparativo de la estructura ante un modelo sísmico

Figura 16

Vista lateral de la estructura



7.3 Modelado de la Estructura

La estructura conserva seis niveles, cuenta con una forma rectangular con una largo de 36.96 metros, un ancho 11.73 metros, entreplantas de 3.96 metros de altura con un área de 402.471 m². En la **Figura 16**, se observa la distribución de la estructura, con sus respectivas y en la **Tabla 1** se observan las medidas para la modelación y realizar el análisis.

Figura 17

Vista de la estructura en planta en el eje X-Y

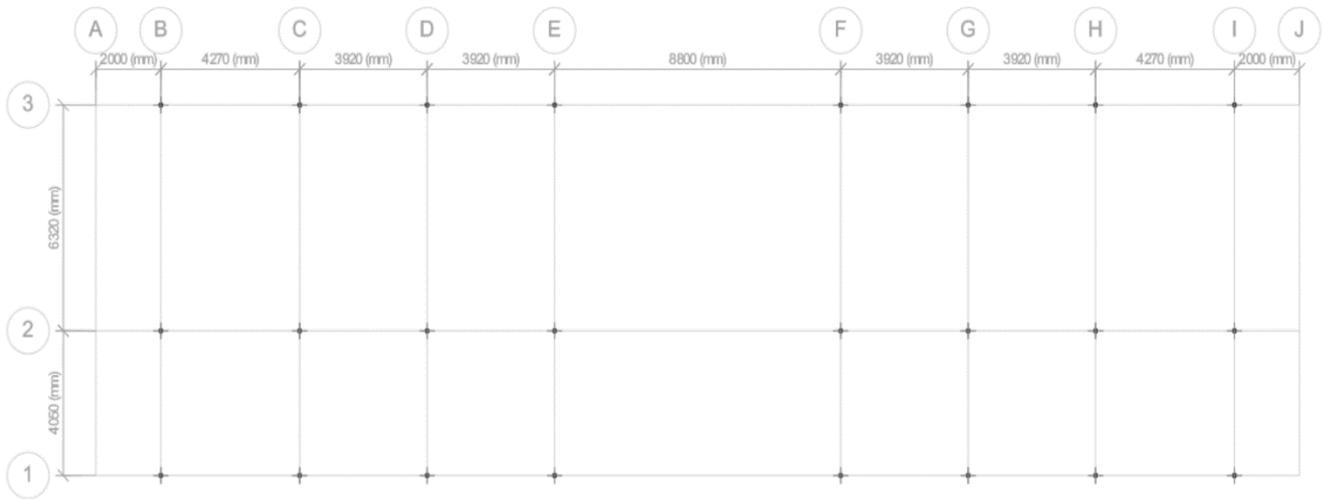


Figura 18

Vista de la estructura en planta en el eje X-Z

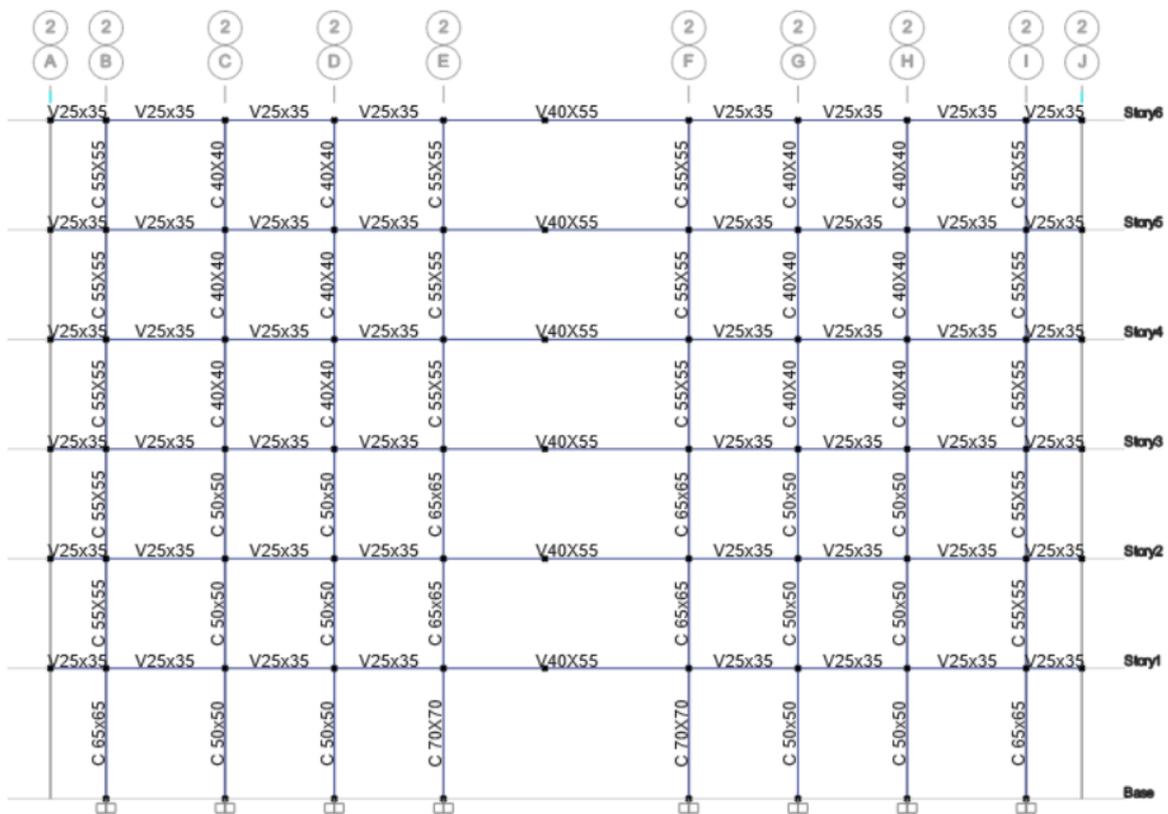


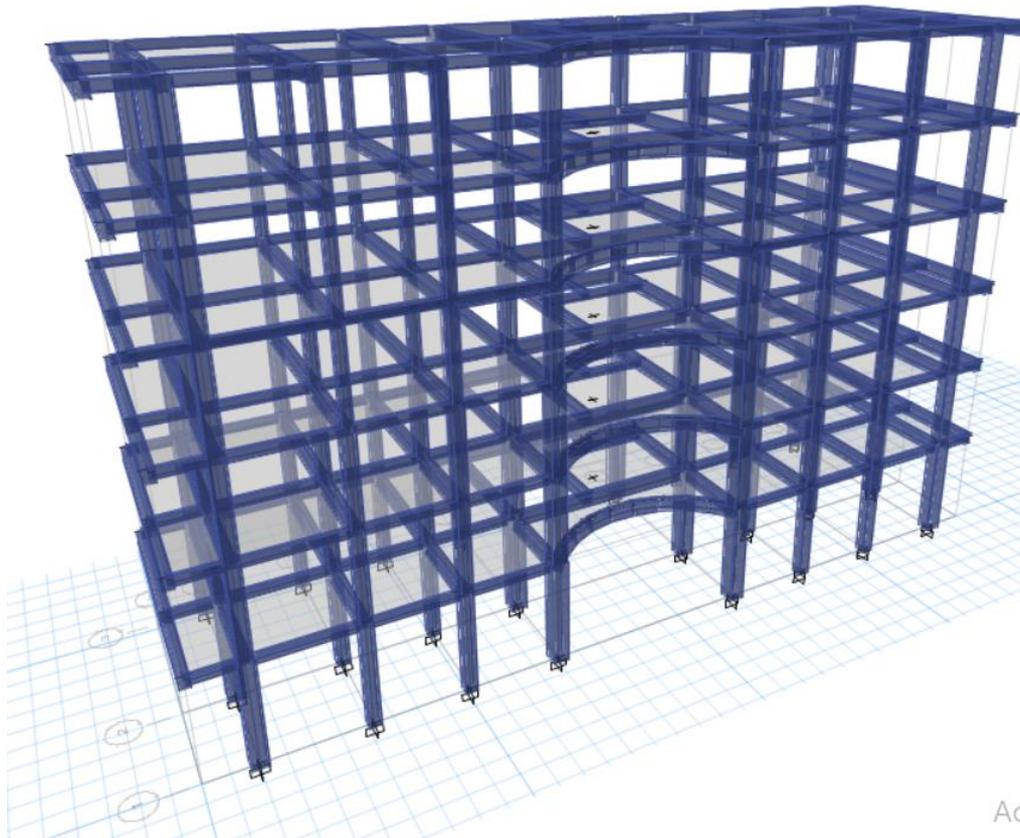
Tabla 1

Alturas entre pisos de la edificación

Pisos	Alturas cm	Elevaciones cm
Piso 6	396	2451
Piso 5	396	2055
Piso 4	396	1559
Piso 3	396	1263
Piso 2	396	857
Piso 1	471	471
Base		0

Figura 19

Vista en 3d de la edificación final de la Estructura sin disipadores sísmicos en ETABS



Ac

Figura 20

Propiedades de las columnas y vigas en ETABS

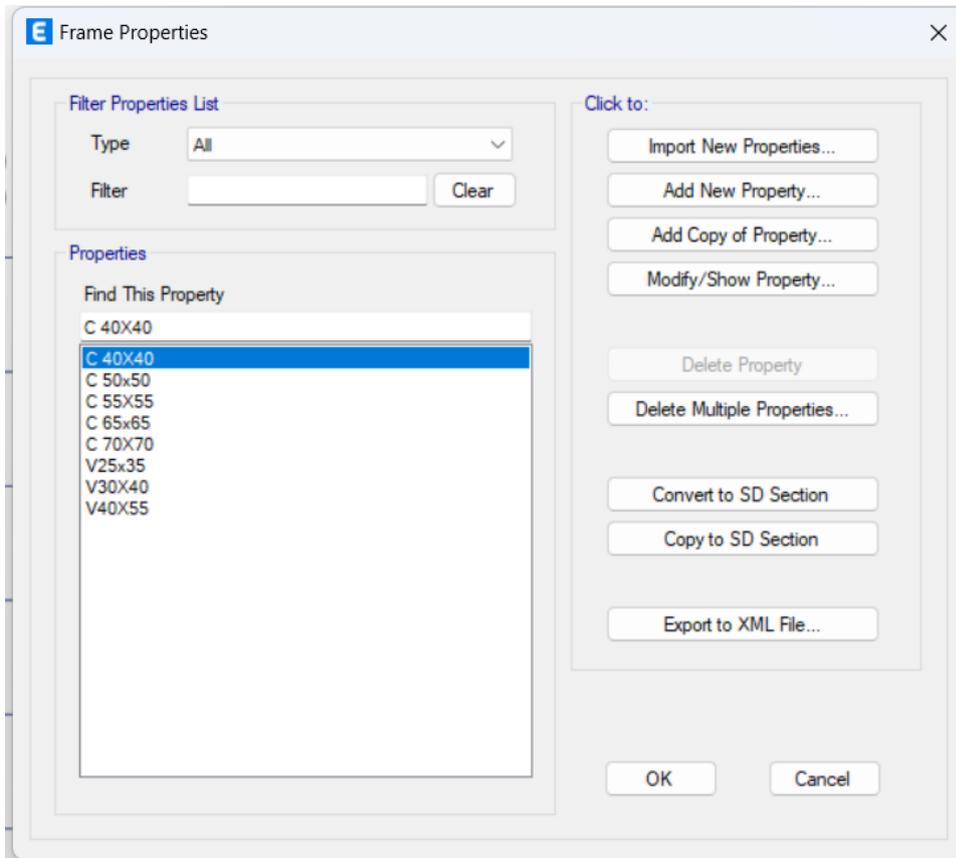


Figura 21

Modelado de las columnas en ETABS

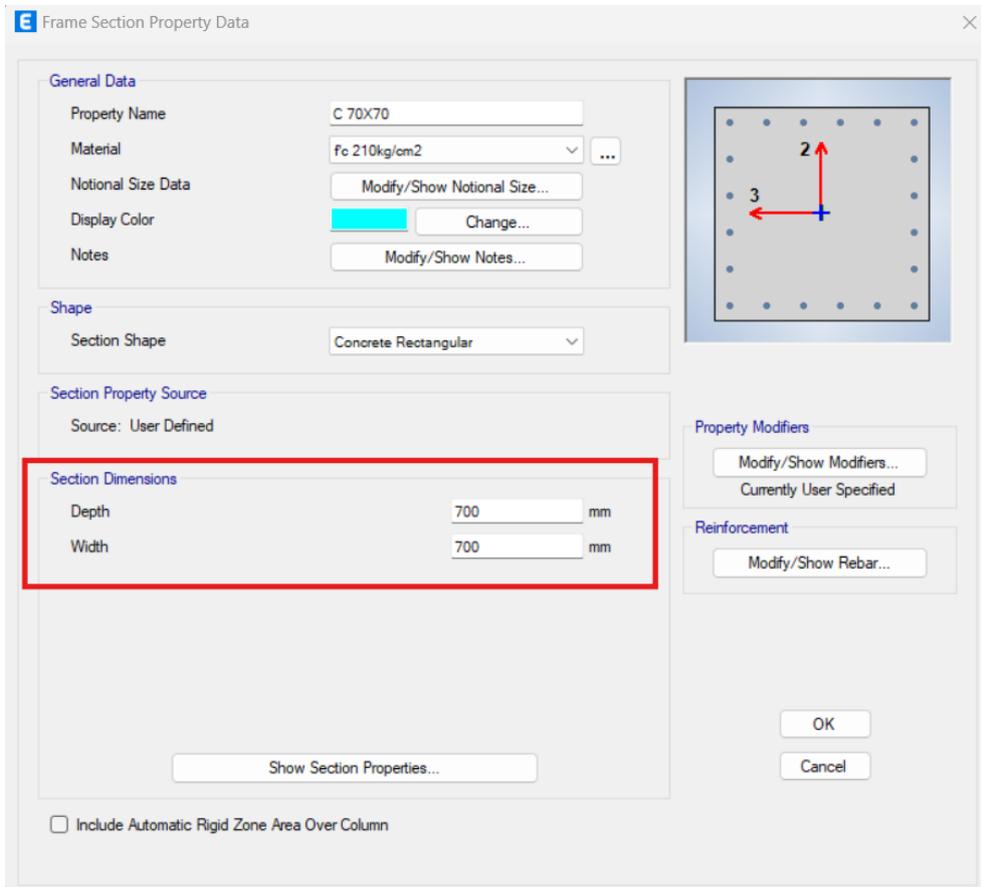


Figura 22

Modelado de las vigas en ETABS

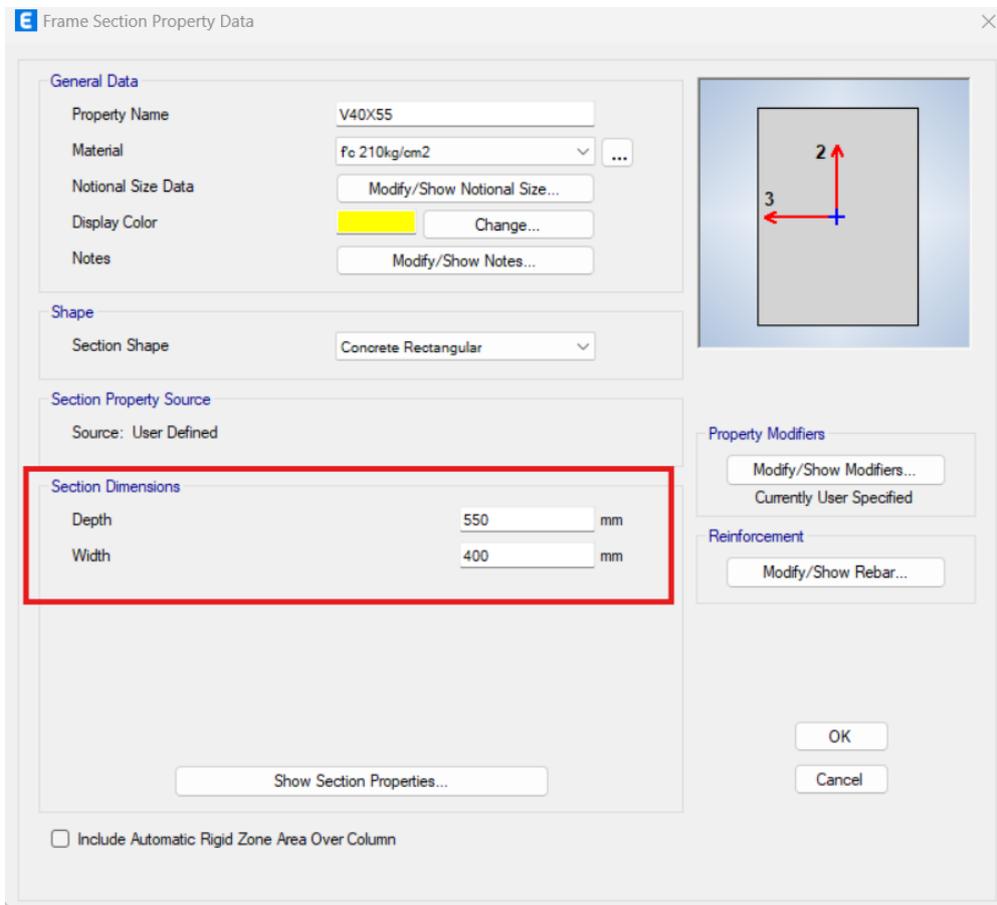


Figura 23

Aplicación de vigas y columnas

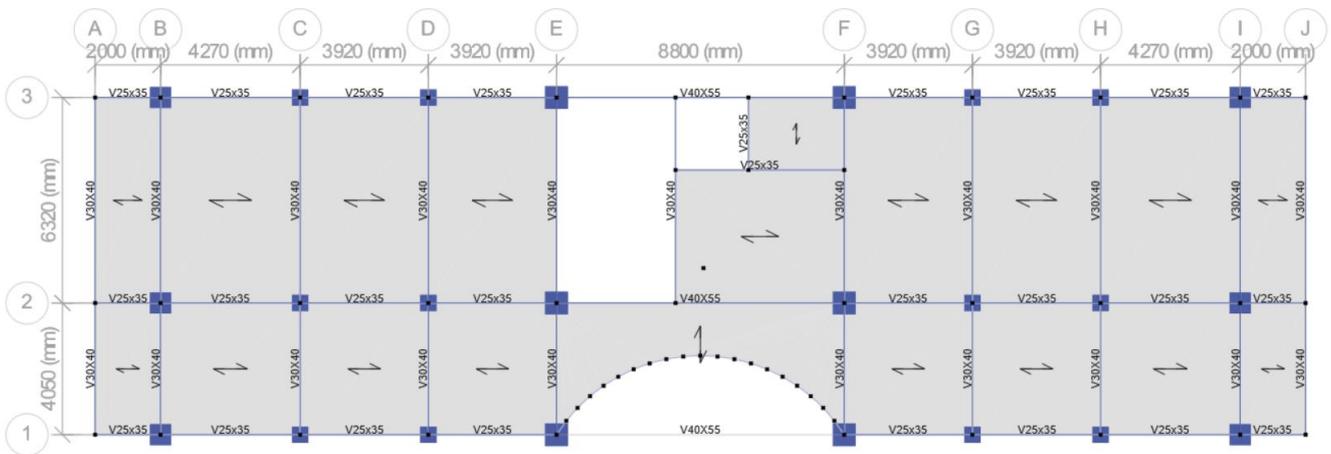
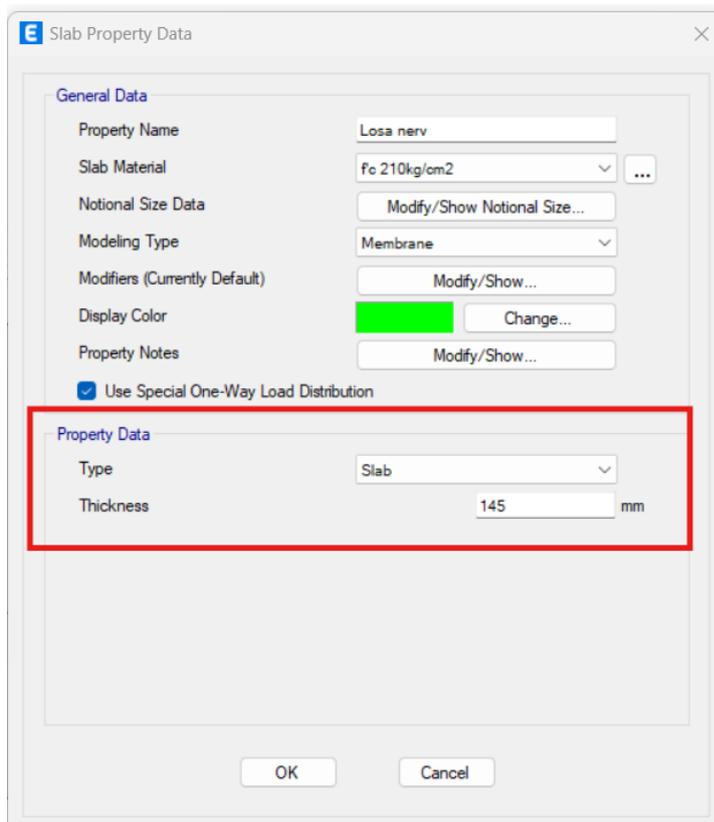


Figura 24

Modelado de las Losas en ETABS



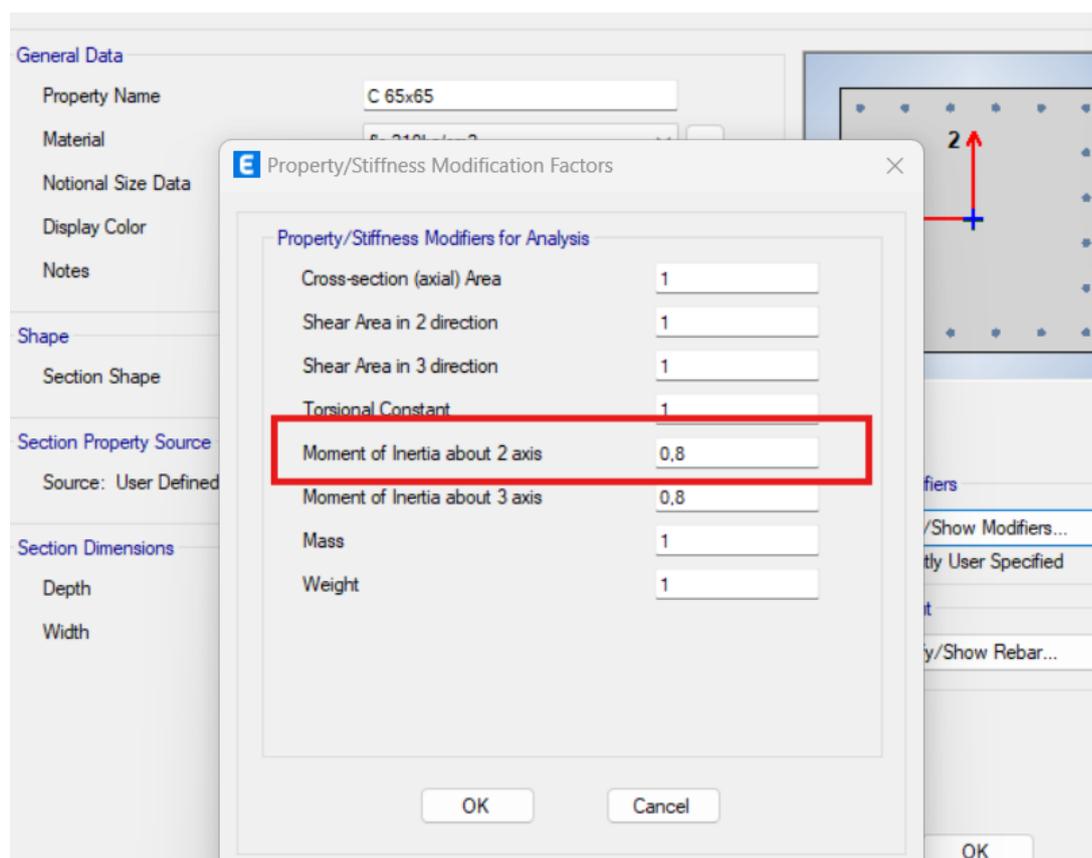
7.3.1 Propiedad Estructural de los Materiales

7.3.1.1 Concreto

Se ofrece un ejemplo de construcción con un valor de 210 kgf/cm². La norma (NEC 15 HM, 2014) define que el hormigón debe tener una resistencia mínima a la compresión de f' de al menos 210 kgf/cm². Aquí, E_c representa el módulo de elasticidad del hormigón [GPa], E_a es el módulo de elasticidad del árido [GPa], y f' es la resistencia a compresión del hormigón [MPa].

Figura 25

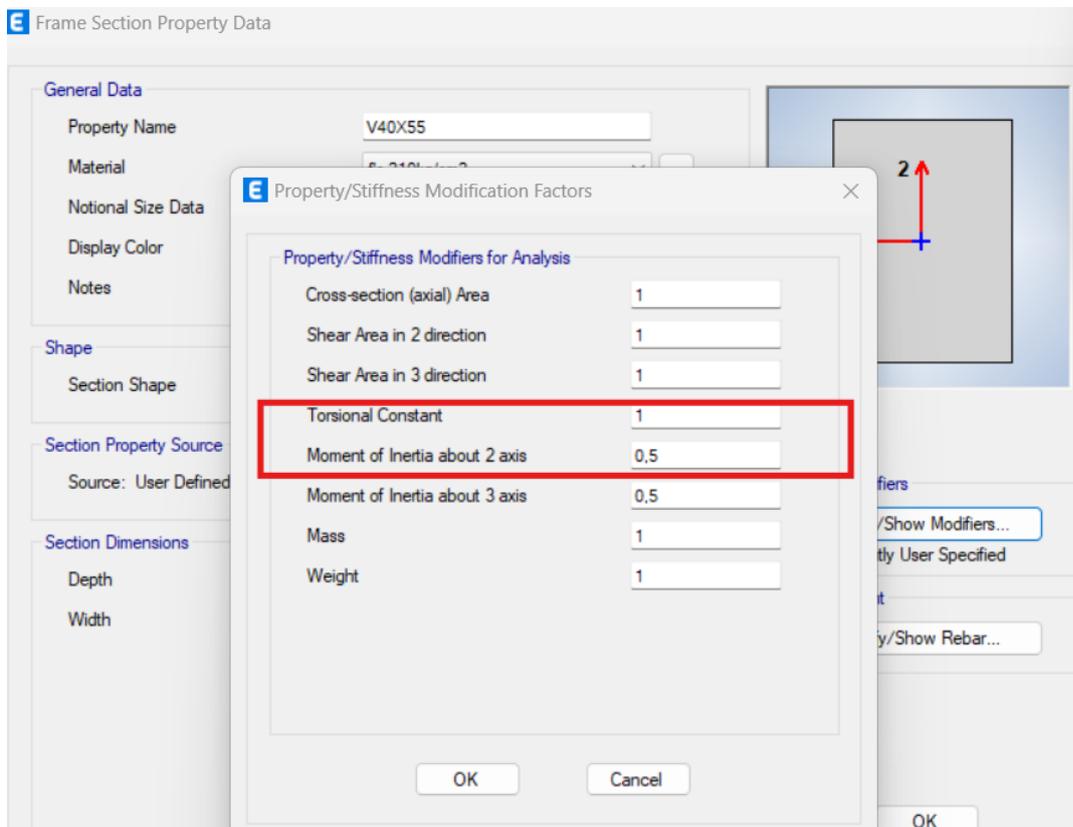
Inercia efectiva en el modelado estructural de las columnas de análisis



Se utilizó un factor de momento de inercia de 0.8 para asegurar un análisis preciso y reflejar el comportamiento real de la estructura. Esto admite observar cómo se desempeñaría la estructura ante un evento sísmico.

Figura 26

Agrietar las vigas en el modelo



Tras asignar las propiedades y dimensiones a la estructura, en la Figura 13 se muestra el modelo estructural preparado para llevar a cabo el análisis dinámico correspondiente. Este modelo permite visualizar y evaluar el comportamiento del edificio bajo las condiciones de carga y las acciones sísmicas previstas, facilitando una comprensión detallada de su respuesta estructural.

7.4 Análisis Dinámico de la Estructura

Fuerzas actuantes

7.4.1 Carga Viva

La Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-15-CG, 2014) proporciona lineamientos precisos para determinar las cargas vivas en edificios destinados a diferentes usos. En el caso de establecimientos hoteleros, el Capítulo 4, Sección 4.2 de esta normativa específica los valores de carga de ocupación que deben considerarse en el diseño estructural.

Estas cargas, que representan las fuerzas variables ejercidas sobre la estructura durante su funcionamiento, son primordiales para garantizar la seguridad y durabilidad de la edificación.

7.4.2 Carga Muerta

La carga muerta, correspondiente al peso propio de los elementos constructivos, es una carga estática que actúa de manera permanente sobre la estructura. Esta carga, que depende de la densidad y geometría de los materiales (albañilería, revestimientos, instalaciones), se ha cuantificado en la **Figura 28** para los fines de este análisis.

Figura 27

Peso de edificación en Carga Muerta

Output Case	Case Type	FX tonf	FY tonf	FZ tonf	MX tonf-m	MY tonf-m	MZ tonf-m	X m	Y m
Dead	LinStatic	0	0	2171.6294	11222.6689	-45411.9711	0	0	0

7.4.3 Carga sísmica

Durante un sismo, las estructuras experimentan aceleraciones horizontales que inducen fuerzas inerciales en su masa. Estas fuerzas, que se acumulan a lo largo de los pisos, generan un esfuerzo cortante basal. Este esfuerzo, conocido como cortante de base sísmico, representa la fuerza total que el suelo debe resistir para mantener la estabilidad de la estructura.

El valor de este cortante se determina multiplicando la carga efectiva por un coeficiente sísmico que depende de las características del sitio y de la estructura. Para estimar el sismo de diseño de la estructura, se ha utilizado el valor de espectro de respuesta elástica correspondiente a la Figura 29.

Figura 28

Fuerza sísmica en la estructura en la dirección X

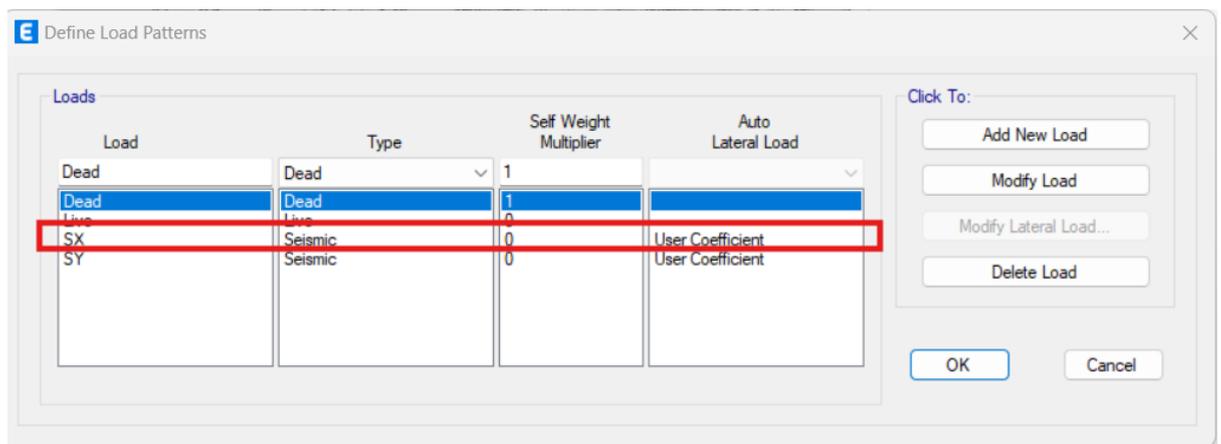
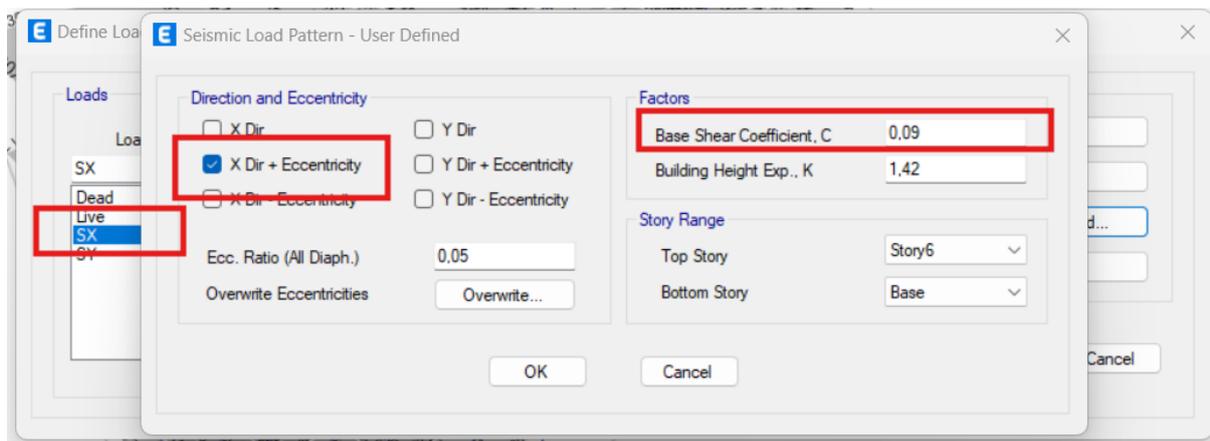


Figura 29

Definición de los Factores en X



7.4.4 Combinación de carga

Tabla 2

Combinación básica de Carga

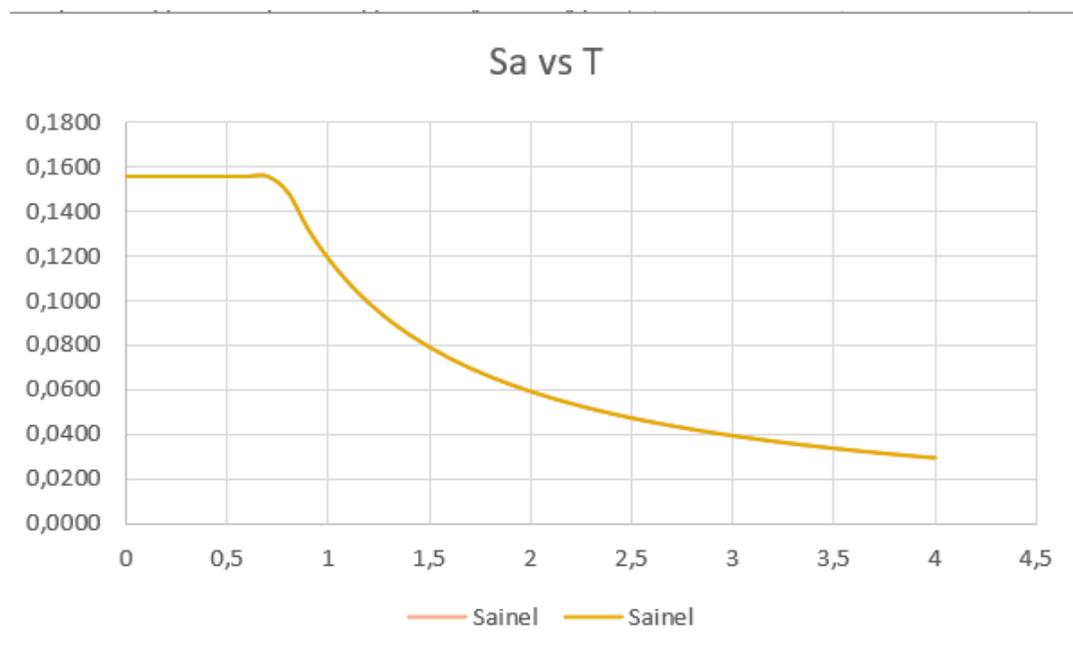
Combinación 1	$1.4 D$
Combinación 2	$1.2 D + 1.6 L + 0.5 \max[Lr; S; R]$
Combinación 3	$1.2 D + 1.6 \max[Lr; S; R] + \max[L; 0.5W]$
Combinación 4	$1.2 D + 1.0 W + 1.0L + 0.5 \max[Lr; S; R]$
Combinación 5	$0.9 D + 1.0 W$
Combinación 6	$1.2 D + 1.0 E_v + 1.0 E_h + 1.0L + 0.2 S$
Combinación 7	$0.9 D - 1.0 E_v + 1.0 E_h$

Fuente: Norma NEC-15

7.4.5 Espectro de Respuesta de Diseño

Gráfica 1

Espectro Respuesta de Diseño en Suelo D



El espectro de respuesta de diseño es una herramienta fundamental en la ingeniería sísmica que nos permite estimar la respuesta máxima que una estructura permite experimentar ante un sismo. En otras palabras, es una representación gráfica de las

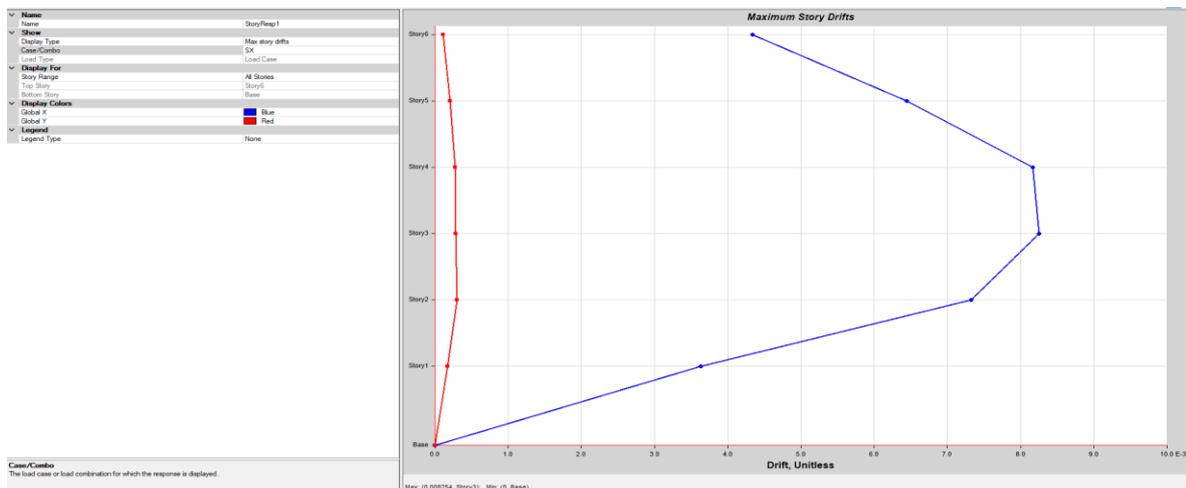
aceleraciones máximas que un oscilador simple con diferentes períodos puede experimentar bajo una excitación sísmica dada.

7.5 Derivas

$$\Delta_{max} = \Delta_{piso} \times R \times 0,75$$

Gráfica 2

Derivas Máximas sismo en x

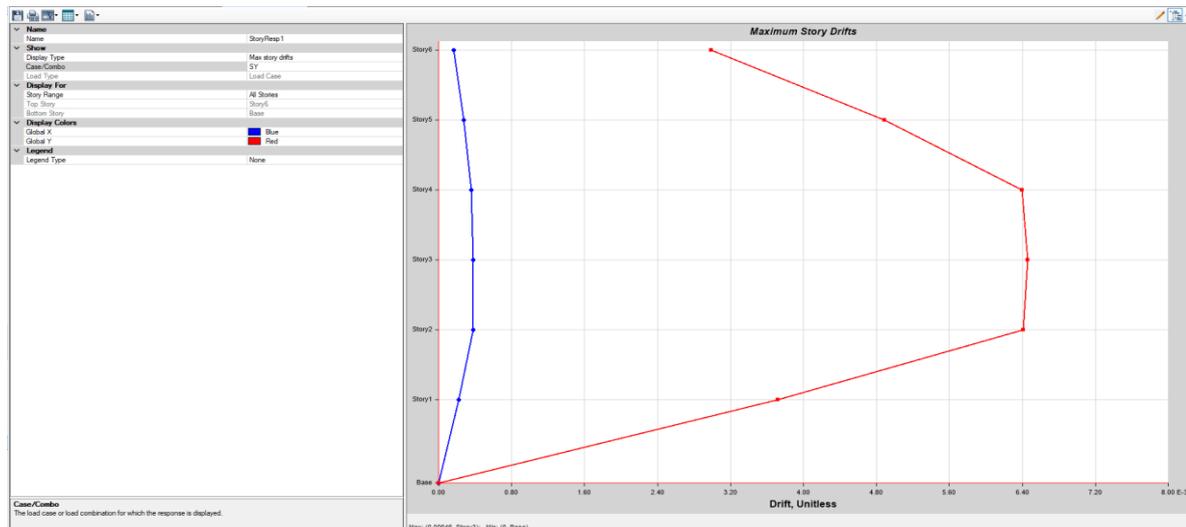


Eje X

$$\Delta_{max} = 0,008254 \times 8 \times 0,75 = 0,0286 = 4.95\%$$

Gráfica 3

Deriva Máxima en el eje y



$$\Delta_{max} = 0,00646 \times 8 \times 0,75 = 0,03876 = 3.876\%$$

7.6 Periodo de la estructura

$$T = C_t h_n^\alpha$$

Donde:

C_t : Coeficiente que depende del tipo de edificio

h_n : Altura máxima de la edificación de n pisos, medida desde a base de la estructura, en metros.

T : Periodo de vibración

Conforme a la NEC-15, se ha considerado un sistema estructural simplificado, compuesto por pórticos especiales de hormigón armado sin elementos de rigidez adicionales. Esta elección se basa en la Tabla 3.

Tabla 3

Tabla de periodo de estructura

Tipo de estructura	C_t	α
Estructura de acero		
Sin arriostramientos	0.072	0.8
Con arriostramientos	0.073	0.75
Pórticos especiales de hormigón armado		
Sin muros estructurales ni diagonales rigidizadores	0.055	0.9
Con muros estructurales o diagonales y para otras estructuras basadas en muros estructurales y mampostería estructural	0.055	0.75

Nota. Fuente: Norma Ecuatoriana de la construcción (NEC-15)

Los análisis sísmicos realizados en el modelo estructural revelaron una distribución de fuerzas sísmicas coherente con la geometría y las características del edificio. Los coeficientes sísmicos en el eje X, presentados en la Figura 31, coinciden con los valores calculados y detallados en la Tabla 4, lo cual confirma la validez de los resultados obtenidos.

Figura 30

Coeficientes Sísmico en X

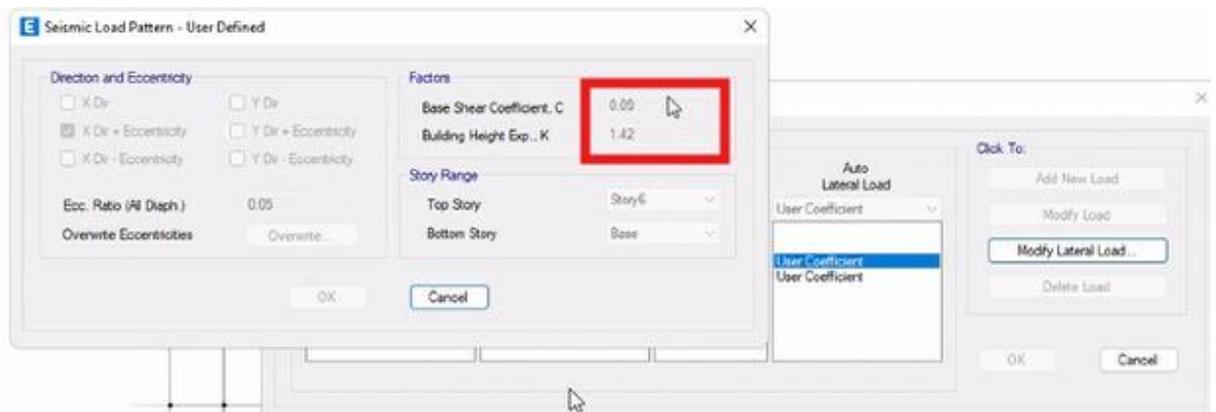


Tabla 4

Tabla de coeficiente para modelo ETABS sismo en X

Treal X	1.337 seg
Suelo Tipo	D
Sa	0.59 g
Coef	0.09
K	1.42

Los análisis sísmicos realizados en el modelo estructural revelaron una distribución de fuerzas sísmicas coherente con la geometría y las características del edificio. Los coeficientes sísmicos en el eje Y, presentados en la Figura 32, coinciden con los valores calculados y detallados en la Tabla 5, con un valor de coeficiente de 0.13y K 1.23 lo cual confirma la validez de los resultados obtenidos.

Figura 31

Coeficientes Sísmico en Y

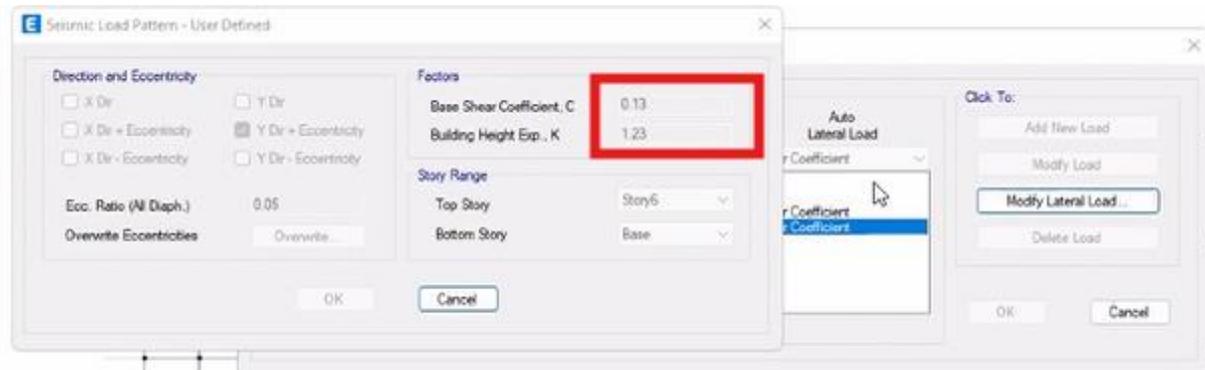


Tabla 5

Tabla de coeficiente para modelo ETABS sismo en Y

Treal X	0.97 seg
Suelo Tipo	D
Sa	0.85 g
Coef	0.13
K	1.23

8 Análisis y Diseño

8.1 Primer Prediseño

Figura 32

Vista frontal de edificación

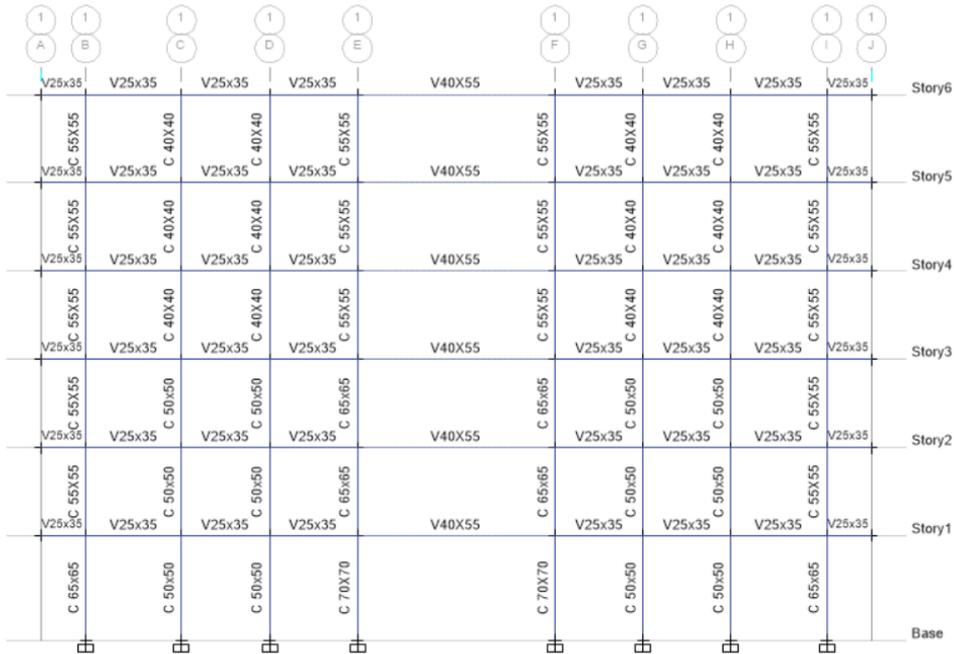


Figura 33

Vista Frontal Estructural

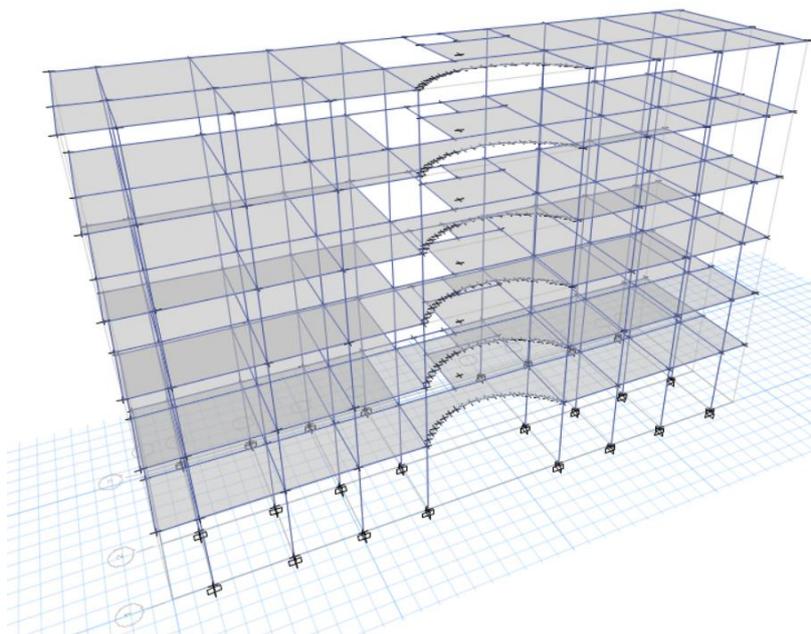
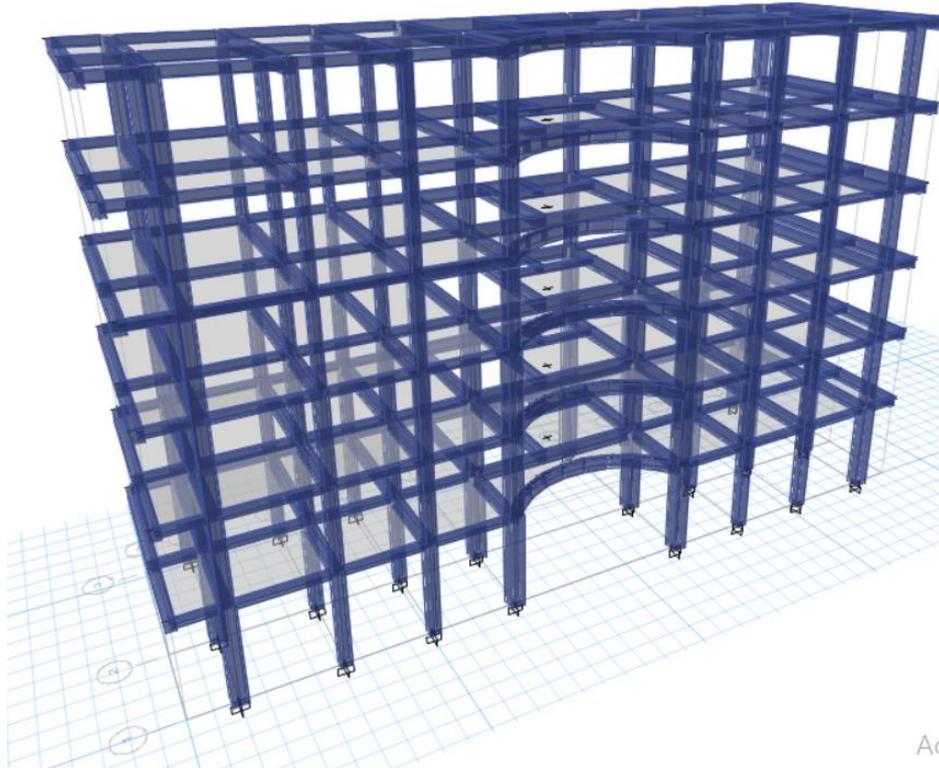


Figura 34

Vista Frontal en 3d de la Edificación



8.1.1 Losa

Para cubrir los vanos de 4.27 m, se optó por una losa aligerada unidireccional con una altura total de 20 cm, compuesta por una carpeta de compresión de 5 cm y nervios de 15 cm de altura. Esta solución estructural se ajusta a los requerimientos establecidos en la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-15, específicamente en lo referente al diseño de losas aligeradas y al dimensionamiento de elementos estructurales de concreto reforzado.

Tabla 6

Cálculo de losas

Datos Losa Nervada			LOSA ALIVIANADA						
Ht	20	cm		Area (cm2)	y (cm)	Ay (cm3)	lo (cm4)	d2 (cm2)	ltotal (cm4)
tc	5	cm	1	150	7.5	1125	2813	39.06	8672
bn	10	cm	2	150	7.5	1125	2813	39.06	8672
ba	40	cm	3	500	17.5	8750	1042	14.06	8073
LOSA MACIZA				800		11000			25417
Lmax	3.60	m		cg	13.75	cm			
hmin	10.8	cm							
lmin	10498	cm4							
							Altura losa macisa (cm)		14.50
							Luz maxima (m)		4.83

Con el objetivo de garantizar la capacidad portante y deformabilidad de las losas en los tramos de 6.32 m y 8.80 m, se ha determinado la necesidad de incorporar vigas secundarias. Esta decisión se fundamenta en las recomendaciones del American Concrete Institute (ACI), las cuales establecen límites claros para las luces máximas permitidas en las losas, considerando factores como el espesor de la losa, el tipo de carga y las condiciones de apoyo.

Al exceder estos límites recomendados en los tramos mencionados, se podrían generar deflexiones excesivas, fisuraciones prematuras e incluso el colapso de la losa, lo cual compromete la seguridad y durabilidad de la estructura. La incorporación de vigas secundarias permite reducir las luces efectivas de las losas, incrementando su rigidez y capacidad de carga, y asegurando así un comportamiento estructural adecuado.

Es importante destacar que, si bien el edificio es de uso residencial y no se destinará a almacenamiento, las normas de diseño exigen que todas las estructuras se proyecten para resistir las cargas máximas esperadas, incluyendo cargas vivas, muertas y cargas accidentales. En este sentido, el cumplimiento de las recomendaciones del ACI garantiza que la estructura sea idónea de soportar de forma segura todas las cargas que pueda estar sometida durante su vida útil.

8.1.2 Columnas

8.1.2.1 Primer Entrepiso

En el primer entrepiso, el tramo de 8 metros experimenta los momentos flectores máximos, los cuales alcanzan aproximadamente 59 ton·m. Para resistir estas solicitaciones, se propone el uso de columnas de sección cuadrada de 70 cm x 70 cm.

El refuerzo longitudinal de estas columnas se conformará con 6 varillas de acero de 18 mm de diámetro por cada cara, lo que resulta en un total de 20 barras y un área de acero de 50.87 cm². Esta disposición proporciona una cuantía de acero del 1.04%, la cual se encuentra dentro de los límites establecidos en la norma NEC-15.

Para garantizar una adecuada confinación del núcleo de concreto y una eficiente distribución de los esfuerzos cortantes, se emplearán estribos de diámetro 10 mm, espaciados cada 10 cm a lo largo de toda la longitud de la columna.

Tabla 7

Cálculo de Columnas

DATOS ARQUITECTONICOS			CALCULOS		
L1	8.80	m	At	32.98	m2
L2	3.92	m	Cu	6.38	T/m2
L3	6.32	m	Pu	297.21	Ton
L4	4.05	m	Ag requerido	3895.26	cm2
Cm1	0.62	T/m2	DATOS DE COLUMNA		
Cv1	0.2	T/m2	ancho	70	cm
PISOS	6	u	profundidad	70	cm
Cm2	0.62	T/m2	var ancho	6	u
Cv2	0.25	T/m2	var prof	6	u
PISOS	0	u	Ø long	18	mm
Cm3	0.62	T/m2	Øesq	18	mm
Cv3	0.48	T/m2	Øestribo	10	mm
PISOS	0	u	rec	3.00	cm
Cm4	0.52	T/m2	num var	20.00	u
Cv4	0.35	T/m2	bc	64.00	cm
PISOS	0	u	Ac	4096	cm2
He	3.96	m	Ag real	4900	cm2
Fm	1.2		As total	50.87	cm2
MATERIALES			p cuantia	1.04%	OK
fc	210	kg/cm2	S ancho	10	cm
Fy	4200	kg/cm2	S prof	10	cm
			CORTANTE		
			lo	70	cm
			S lo	10	cm
			S centro	11	cm
			Ash	2.88	cm2
			# vinchas	4	u
			CAPACIDAD		
			Mr	93.19	Ton-m
			Pnu max	1079.22	Ton
			Pr	297.21	Ton
			DUCTIL		
			DEMANDA DE COLUMNA		
			Tipo	INTERIOR	
			Mu estimado	20.80	Ton-m
			Mu ETABS	58.75	Ton-m
			Mu diseño	58.75	Ton-m
			D/C	0.63	

Para resistir las solicitaciones en los ejes exteriores del entrepiso, se proponen columnas de sección cuadrada de 65 cm x 65 cm. Estas columnas estarán armadas con 6 varillas de acero de 18 mm de diámetro por cada cara, lo que resulta en un total de 20 barras y un área de acero de 50.87 cm². Esta configuración proporciona una cuantía del 1.20% los estribos tendrán espaciados de 9cm a lo largo de toda su longitud.

Tabla 8

Cálculo de Columnas de Volado

DATOS ARQUITECTONICOS			CALCULOS			
L1	2.00	m	At	16.25	m2	
L2	4.27	m	Cu	6.38	T/m2	
L3	6.32	m	Pu	146.50	Ton	
L4	4.05	m	Ag requerido	1920.07	cm2	
Cm1	0.62	T/m2	DATOS DE COLUMNA			
Cv1	0.2	T/m2	ancho	65	cm	
PISOS	6	u	profundidad	65	cm	
Cm2	0.62	T/m2	var ancho	6	u	
Cv2	0.25	T/m2	var prof	6	u	
PISOS	0	u	Ø long	18	mm	
Cm3	0.62	T/m2	Øesq	18	mm	
Cv3	0.48	T/m2	Øestribo	10	mm	
PISOS	0	u	rec	3.00	cm	
Cm4	0.52	T/m2	num var	20.00	u	
Cv4	0.35	T/m2	bc	59.00	cm	
PISOS	0	u	Ac	3481	cm2	
He	3.96	m	Ag real	4225	cm2	OK
Fm	1.2		As total	50.87	cm2	
MATERIALES			ρ cuantia	1.20%	OK	
fc	210	kg/cm2	S ancho	9	cm	OK
Fy	4200	kg/cm2	S prof	9	cm	OK
			CORTANTE			
			lo	66	cm	
			S Lo	10	cm	
			S centro	11	cm	
			Ash	2.66	cm2	
			# vinchas	3	u	
			CAPACIDAD			
			Mr	74.93	Ton-m	
			Pnu max	958.73	Ton	
			Pr	146.50	Ton	
			DUCTIL			
			DEMANDA DE COLUMNA			
			Tipo	EXT		
			Mu estimado	17.14	Ton-m	
			Mu ETABS	40.97	Ton-m	
			Mu diseño	40.97	Ton-m	
			D/C	0.55		

Figura 35

Varillado de Columnas

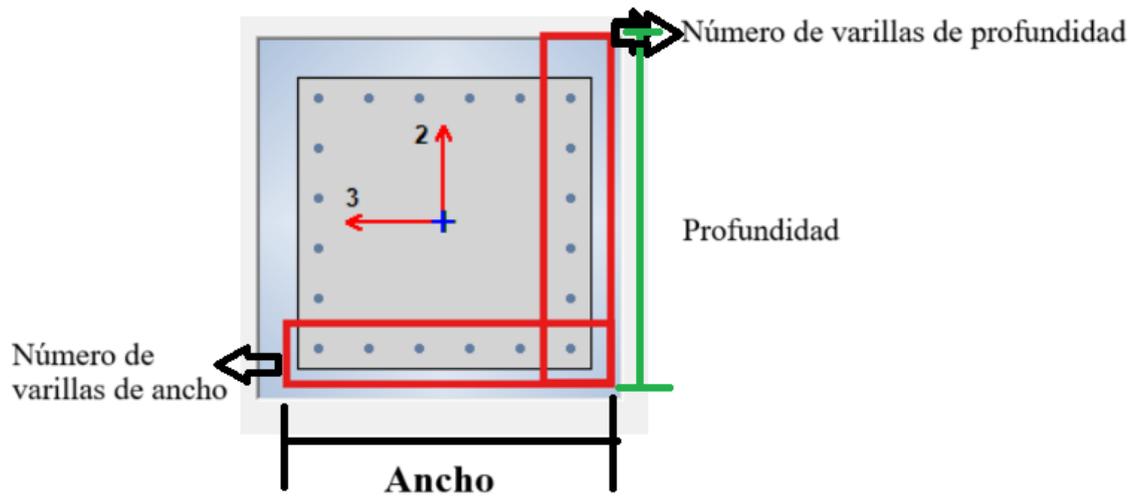
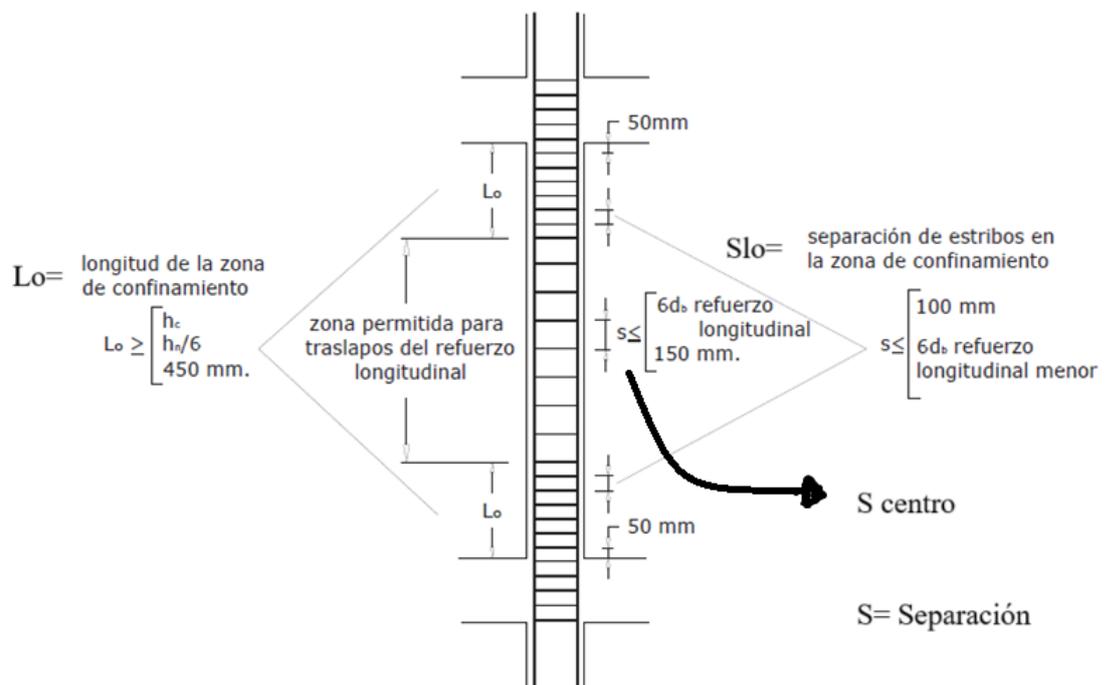


Figura 36

Prediseño de Columna



8.1.3 Datos Generales de la Columna

8.1.3.1 Dimensiones:

- **Profundidad y ancho:** Indican las dimensiones de la sección transversal de la columna en centímetros.
- **Var long:** Diámetro de las varillas longitudinales (refuerzo principal) en milímetros.
- **Var esq:** Diámetro de las varillas de esquina, si las hay (generalmente igual al diámetro de las varillas longitudinales).
- **Ø estribo:** Diámetro de los estribos (refuerzo transversal) en milímetros.
- **rec:** Recubrimiento del acero, es decir, la distancia entre la superficie del acero y la superficie exterior del concreto, en centímetros.

8.1.3.2 Refuerzo:

- **num var:** Número total de varillas en la sección.
- **bc:** Ancho de la columna en centímetros.
- **Ac:** Área de concreto de la sección en centímetros cuadrados.
- **Ag real:** Área bruta de la sección en centímetros cuadrados.
- **As total:** Área total de acero en centímetros cuadrados.
- **p cuantía:** Porcentaje de acero respecto al área de concreto.
- **S ancho:** Espaciamiento de los estribos en la dirección del ancho de la columna en centímetros.
- **S prof:** Espaciamiento de los estribos en la dirección de la profundidad de la columna en centímetros.

8.1.3.3 Cálculos de Cortante

- **lo:** Longitud de la zona de influencia para el cálculo del cortante en centímetros.

- **S Lo:** Corresponde al espaciamiento de los estribos en la zona de mayor demanda de cortante, generalmente cerca de las conexiones viga-columna.
- **S centro:** Espaciamiento de los estribos en la zona central de la columna en centímetros, donde los esfuerzos de los cortantes son menores.

Los valores de S Lo y S centro indican que hay tres zonas de diferente espaciamiento de estribos a lo largo de la altura de la columna. Esto es común en zonas donde se esperan mayores esfuerzos cortantes, como en las cercanías de las conexiones viga-columna.

- **Ash:** Representa el área de acero de los estribos en un tramo específico de la columna en cm^2 . Este valor es importante para verificar si el refuerzo transversal es suficiente para resistir los esfuerzos cortantes.
- **# vinchas:** Número de estribos en un determinado tramo de la columna.

8.1.3.4 Capacidad de la Columna

- **Mr:** Momento resistente de la sección en ton-m.
- **Pnu max:** Carga axial máxima que puede resistir la columna en toneladas.
- **Pr:** Carga axial de diseño en toneladas.

8.1.3.5 Demanda de la Columna

- **Mu estimado:** Momento flector estimado en la columna en ton-m.
- **Mu ETABS:** Momento flector obtenido del análisis estructural con el software ETABS en ton-m.
- **Mu diseño:** Momento flector de diseño a utilizar en los cálculos en ton-m.
- **D/C:** Relación entre la demanda (momento flector de diseño) y la capacidad (momento resistente) de la columna. Este valor debe ser menor a 1 para asegurar que la columna sea segura.

Debido a la geometría irregular de estas columnas, se generan altos esfuerzos internos, incluyendo momentos flectores y torsionantes.

El resto de las columnas, con una sección cuadrada de 50 cm x 50 cm, estarán armadas con 5 varillas de 16 mm por cada cara, lo que resulta en un total de 16 varillas de 16mm y un área de acero de 32.15 cm². Los estribos, con un espaciamiento de 10 cm, garantizarán una adecuada confinación del núcleo de concreto.

Tabla 9

Cálculo de Columnas

DATOS ARQUITECTÓNICOS		
L1	4,27	m
L2	3,92	m
L3	6,32	m
L4	4,05	m
Cm1	0,62	T/m2
Cv1	0,2	T/m2
PISOS	6	u
Cm2	0,62	T/m2
Cv2	0,25	T/m2
PISOS	0	u
Cm3	0,62	T/m2
Cv3	0,48	T/m2
PISOS	0	u
Cm4	0,52	T/m2
Cv4	0,35	T/m2
PISOS	0	u
He	3,96	m
Fm	1,15	
MATERIALES		
fc	210	kg/cm2
Fy	4200	kg/cm2

CÁLCULOS		
At	21,23	m2
Cu	6,38	T/m2
Pu	183,39	Ton
Ag requerida	2403,53	cm2
DATOS DE COLUMNA		
ancho	50	cm
profundidad	50	cm
var ancho	5	u
var prof	5	u
∅ long	16	mm
∅esq	16	mm
∅ estribo	10	mm
rec	3,00	cm
num var	16,00	u
bc	44,00	cm
Ac	1936	cm2
Ag real	2500	cm2 OK
As total	32,15	cm2
ρ cuantía	1,29%	OK
S ancho	9	cm OK
S prof	9	cm OK
CORTANTE		
lo	66	cm
S Lo	10	cm
S centro	10	cm
Ash	1,90	cm2
# vinchas	2	u

8.1.4 Entre piso 2-3

En el tramo de 8 metros, se emplearán columnas de sección cuadrada con dimensiones de 65 cm x 65 cm. Estas columnas se encontrarán reforzadas con un total de 20

varillas de acero de 18 mm de diámetro, distribuidas de manera uniforme en las cuatro caras de la sección. Dicha configuración proporciona un área de acero total de 50.87 cm².

Para garantizar una adecuada confinación del concreto y una eficiente distribución de los esfuerzos cortantes, se utilizarán estribos con un espaciamiento constante de 10 cm a lo largo de toda la longitud de la columna. El empleo de estribos con este espaciamiento asegura una adecuada resistencia a los esfuerzos cortantes, que son particularmente importantes en zonas de concentración de esfuerzos como las bases de las columnas y las conexiones viga-columna.

Tabla 10

Secciones de los pisos 2 y 3 en el eje X

DATOS ARQUITECTONICOS			CALCULOS		
L1	8.80	m	At	32.98	m2
L2	3.92	m	Cu	5.32	T/m2
L3	6.32	m	Pu	247.67	Ton
L4	4.05	m	Ag requerido	3246.05	cm2
Cm1	0.62	T/m2	DATOS DE COLUMNA		
Cv1	0.2	T/m2	ancho	65	cm
PISOS	5	u	profundidad	65	cm
Cm2	0	T/m2	var ancho	6	u
Cv2	0	T/m2	var prof	6	u
PISOS	0	u	Ø long	18	mm
Cm3	0	T/m2	Øesq	18	mm
Cv3	0	T/m2	Øestribo	10	mm
PISOS	0	u	rec	3.00	cm
Cm4	0	T/m2	num var	20.00	u
Cv4	0	T/m2	bc	59.00	cm
PISOS	0	u	Ac	3481	cm2
He	3.96	m	Ag real	4225	cm2 OK
Fm	1.2		As total	50.87	cm2
MATERIALES			ρ cuantía	1.20%	OK
fc	210	kg/cm2	S ancho	9	cm OK
Fy	4200	kg/cm2	S prof	9	cm OK
			CORTANTE		
			lo	66	cm
			S lo	10	cm
			S centro	11	cm
			Ash	2.66	cm2
			# vinchas	3	u
			CAPACIDAD		
			Mr	74.93	Ton-m
			Pnu max	958.73	Ton
			Pr	247.67	Ton
			DUCTIL		
			DEMANDA DE COLUMNA		
			Tipo	INTERIOR	
			Mu estimado	16.10	Ton-m
			Mu ETABS	40.91	Ton-m
			Mu diseño	40.91	Ton-m
			D/C	0.55	

En el eje Y, las columnas exteriores presentarán una sección cuadrada de 55 cm x 55 cm. Estas columnas estarán reforzadas con 6 varillas de 18 mm de diámetro en cada cara, lo que equivale a un total de 16 varillas y un área de acero de 32.15 cm², resultando en una cuantía del 1.06%. Para garantizar una adecuada confinación del concreto y una distribución eficiente de los esfuerzos cortantes, se emplearán estribos con un espaciamiento de 10 cm a lo largo de toda la longitud de la columna.

Tabla 11

Secciones de los pisos 2 y 3 en el eje Y

DATOS ARQUITECTÓNICOS		
L1	2,00	m
L2	4,27	m
L3	6,32	m
L4	4,05	m
Cm1	0,62	T/m2
Cv1	0,2	T/m2
PISOS	6	u
Cm2	0,62	T/m2
Cv2	0,25	T/m2
PISOS	0	u
Cm3	0,62	T/m2
Cv3	0,48	T/m2
PISOS	0	u
Cm4	0,52	T/m2
Cv4	0,35	T/m2
PISOS	0	u
He	3,96	m
Fm	1,2	
MATERIALES		
fc	210	kg/cm2
Fy	4200	kg/cm2

CÁLCULOS		
At	16,25	m2
Cu	6,38	T/m2
Pu	146,50	Ton
Ag requerida	1920,07	cm2
DATOS DE COLUMNA		
ancho	65	cm
profundidad	65	cm
var ancho	6	u
var prof	6	u
∅ long	18	mm
∅esq	18	mm
∅estribo	10	mm
rec	3,00	cm
num var	20,00	u
bc	59,00	cm
Ac	3481	cm2
Ag real	4225	cm2
AS total	50,87	cm2
ρ cuantía	1,20%	
S ancho	9	cm
S prof	9	cm
CORTANTE		
lo	66	cm
S lo	10	cm
S centro	11	cm
Ash	2,66	cm2
# vinchas	3	u
CAPACIDAD		
Mr	74,93	Ton-m
Pnu max	958,73	Ton

En estas columnas, se generan altos esfuerzos debido a su geometría irregular, por lo que se producen torciones.

Para el resto de columnas, tenemos columnas de 40x40 cm armadas con 4 varillas de 14 mm por cada cara, dando un total de 16 varillas de 16 mm y un área de acero de 32.15 cm² suficiente para resistir las cargas de servicio a las que están sometidas.

Los estribos estarán separados cada 8 cm en toda su longitud

Tabla 12

Separaciones de los estribos

DATOS ARQUITECTÓNICOS		
L1	4,27	m
L2	3,92	m
L3	6,32	m
L4	4,05	m
Cm1	0,62	T/m2
Cv1	0,2	T/m2
PISOS	6	u
Cm2	0,62	T/m2
Cv2	0,25	T/m2
PISOS	0	u
Cm3	0,62	T/m2
Cv3	0,48	T/m2
PISOS	0	u
Cm4	0,52	T/m2
Cv4	0,35	T/m2
PISOS	0	u
He	3,96	m
Fm	1,15	
MATERIALES		
fc	210	kg/cm2
Fy	4200	kg/cm2

CÁLCULOS		
At	21,23	m2
Cu	6,38	T/m2
Pu	183,39	Ton
Ag requerida	2403,53	cm2
DATOS DE COLUMNA		
ancho	50	cm
profundidad	50	cm
var ancho	5	u
var prof	5	u
∅ long	16	mm
∅esq	16	mm
∅estribo	10	mm
rec	3,00	cm
num var	16,00	u
bc	44,00	cm
Ac	1936	cm2
Ag real	2500	cm2
As total	32,15	cm2
ρ cuantía	1,29%	
S ancho	9	cm
S prof	9	cm
CORTANTE		
lo	66	cm
S Lo	10	cm
S centro	10	cm
Ash	1,90	cm2
# vinchas	2	u
CAPACIDAD		
Mr	32,99	Ton-m
Pnu max	575,56	Ton

8.2 Primer Calculo Sísmico

8.2.1 Revisión de Cortante Basal

$$V = \frac{IS_a(T_a)}{R\phi_p\phi_E} W$$

Figura 37

Carga por Sismo del Cortante Basal por la NEC-15

El cortante basal total de diseño V , a nivel de cargas últimas, aplicado a una estructura en una dirección especificada, se determinará mediante las expresiones:

$$V = \frac{IS_a(T_a)}{R\phi_p\phi_E} W$$

Dónde

$S_a(T_a)$	Espectro de diseño en aceleración; véase en la sección [3.3.2]
ϕ_p y ϕ_E	Coefficientes de configuración en planta y elevación; véase en la sección [5.3]
I	Coefficiente de importancia; se determina en la sección [4.1]
R	Factor de reducción de resistencia sísmica; véase en la sección [6.3.4]
V	Cortante basal total de diseño
W	Carga sísmica reactiva; véase en la sección [6.1.7]
T_a	Período de vibración; véase en la sección [6.3.3]

Nota: Norma Ecuatoriana de la Construcción Nec-15

$$F_{cX} = 0,80 \times \left(\frac{V_x \text{ Estático}}{V_x \text{ Dinámico}} \right)$$

8.2.2 En el eje X

La verificación mediante el software de análisis estructural corroboró los cálculos manuales realizados en Excel, en la Tabla 12 obteniendo un cortante basal en el eje X de 190,6564 Ton, como se muestra en la Figura 41. Este resultado confirma la precisión del modelo numérico y la validez del factor de corrección F_c igual a 1

Tabla 13

Cortante Basal en X cálculos mediante Excel

DATOS			
I	1.00		
ØP	0.90		
ØE	0.90		
R	8.00		
Z	0.50		
n	1.80		
Suelo	C	D	E
Fa	1.18	1.12	0.85
Fd	1.06	1.11	1.50
Fs	1.23	1.40	2.00
r	1.00	1.00	1.05
Tc	0.61	0.76	1.94
Sa	0.50	0.59	0.77
fc	210	kg/cm2	

Ct	0.055	
h	24.51	m
α	0.75	
T1	0.61	seg
Treal X	1.337	seg
Suelo Tipo	D	
Sa	0.59	g
Coef	0.09	
K	1.42	
Wr	2128	Ton
CHEQUEO CORTANTE BASAL		
V min	194	Ton
V _{Ep}	187.4896	Ton
Fc	1.00	
Coef rec.	0.09	
CHEQUEO CORTANTE BASAL		
V min	155	Ton
V _{ed} in X	135	Ton
Fc	1.15	

Figura 38

Cortante Basal en X resultados ETABS

Output Case	Case Type	FX tonf	FY tonf	FZ tonf	MX tonf-m	MY tonf-m	MZ tonf-m	X m	Y m
SX	LnStatic	-110.856	0	0	0	-3522.7921	1076.2767	0	0
SY	LnStatic		-275.9925	0	4970.9549	0	-5627.028	0	0

8.2.3 En el eje Y

La verificación mediante el software de análisis estructural corroboró los cálculos manuales realizados en Excel, en la Tabla 13 obteniendo un cortante basal en el eje Y de 270.8183 Ton, como se muestra en la Figura 42. Este resultado confirma la precisión del modelo numérico y la validez del factor de corrección F_c igual a 1

Tabla 14

Cortante Basal en Y cálculos mediante Excel

DATOS						
I	1.00			Ct	0.055	
ØP	0.90			h	24.51	m
ØE	0.90			α	0.75	
R	8.00			T1	0.61	seg
Z	0.50			Treal X	0.97	seg
n	1.80			Suelo Tipo	D	
Suelo	C	D	E	Sa	0.85	g
Fa	1.18	1.12	0.85	Coef	0.13	
Fd	1.06	1.11	1.50	K	1.24	
Fs	1.23	1.40	2.00	Wr	2128	Ton
r	1.00	1.00	1.05	CHEQUEO CORTANTE BASAL		
Tc	0.61	0.76	1.94	V min	281	Ton
Sa	0.72	0.85	0.77	V _{Ep}	270.8183	Ton
				Fc	1.00	
fc	210	kg/cm2		Coef rec.	0.13	
				CHEQUEO CORTANTE BASAL		
				V min	225	Ton
				V _{ed} in Y	183	Ton
				Fc	1.23	

Figura 39

Cortante Basal en X resultados ETABS

Output Case	Case Type	FX tonf	FY tonf	FZ tonf	NX tonf-m	MY tonf-m	MZ tonf-m	X m	Y m
SK	LnStatic	-190.854	0	0	0	-3522.7621	1076.2767	0	0
SV	LnStatic	0	-275.3925	0	4970.9549	0	-5627.928	0	0

8.3 Sismo Corregido

8.3.1 Verificación de Cortante Basal

Tabla 15

Cortante en el eje X

DATOS			
I	1,00		
ØP	0,90		
ØE	0,90		
R	8,00		
Z	0,50		
n	1,80		
Suelo	C	D	E
Fa	1,18	1,12	0,85
Fd	1,06	1,11	1,50
Fs	1,23	1,40	2,00
r	1,00	1,00	1,05
Tc	0,61	0,76	1,94
Sa	0,50	0,59	0,77
fc	210	kg/cm2	

Ct	0,055	
h	24,51	m
α	0,75	
T1	0,61	seg
Treal X	1,337	seg
Suelo Tipo	D	
Sa	0,59	g
Coef	0,09	
K	1,42	
Wr	2172	Ton
CHEQUEO CORTANTE BASAL		
V min	198	Ton
VEp	190,6564	Ton
Fc	1,00	
Coef rec.	0,09	
CHEQUEO CORTANTE BASAL		
V min	159	Ton
Vedín X	160	Ton
Fc	1,00	

Tabla 16

Cortante en el eje Y

DATOS			
l	1,00		
ØP	0,90		
ØE	0,90		
R	8,00		
Z	0,50		
n	1,80		
Suelo	C	D	E
Fa	1,18	1,12	0,85
Fd	1,06	1,11	1,50
Fs	1,23	1,40	2,00
r	1,00	1,00	1,05
Tc	0,61	0,76	1,94
Sa	0,65	0,77	0,77
fc	210	kg/cm2	

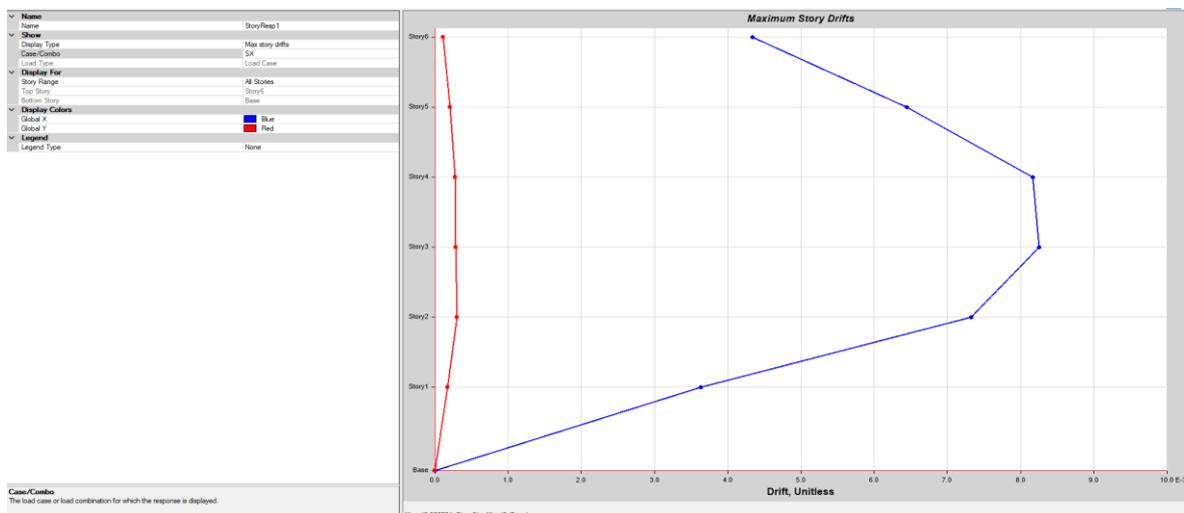
Ct	0,055	
h	24,51	m
α	0,75	
T1	0,61	seg
Treal X	1,07	seg
Suelo	D	
Tipo	D	
Sa	0,77	g
Coef	0,12	
K	1,29	
Wr	2172	Ton
CHEQUEO CORTANTE BASAL		
V min	258	Ton
VEp	275,3925	Ton
Fc	1,00	
Coef rec.	0,12	
CHEQUEO CORTANTE BASAL		
V min	206	Ton
Vedin Y	238	Ton
Fc	1,00	

8.4 Derivas

$$\Delta_{max} = \Delta_{piso} \times R \times 0,75$$

Figura 40

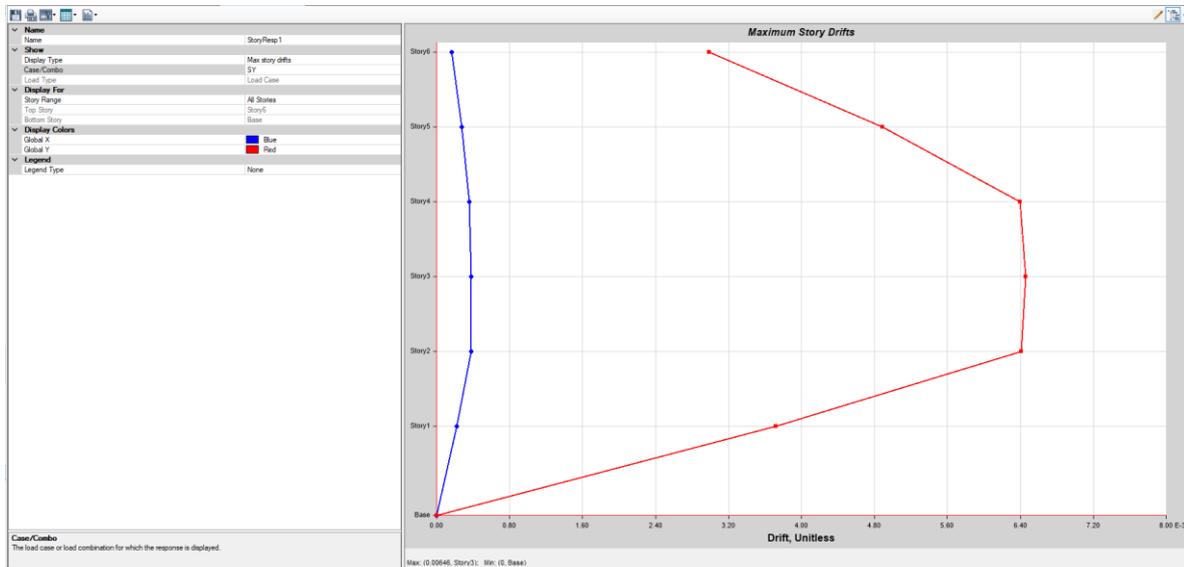
Derivas máximas de piso en X



$$\Delta_{max} = 0,008254 \times 8 \times 0,75 = 0,0286 = 4.95\%$$

Figura 41

Derivas máximas de piso en X



$$\Delta_{max} = 0,00646 \times 8 \times 0,75 = 0,03876 = 3.876\%$$

8.5 Torsión

Tabla 17

Participación de Masa sin BRB

Case	Mode	Period sec	UX	UY	UZ	Sum UX	Sum UY	Sum UZ	RX	RY	RZ	TORSION	
Modal	1	1,504	0,7869	0	0	0,7869	0	0	0	0,2494	1,94E-05	0,24941936	0,01%
Modal	2	1,098	5,47E-06	0,0458	0	0,7869	0,0458	0	0,013	7,54E-06	0,765	0,778007541	98,33%
Modal	3	1,077	0	0,7615	0	0,7869	0,8073	0	0,2148	0	0,046	0,2608	17,64%
Modal	4	0,475	0,1206	0	0	0,9075	0,8073	0	0	0,5072	5,02E-06		
Modal	5	0,364	9,03E-06	0,0279	0	0,9075	0,8352	0	0,13	2,35E-05	0,0894		
Modal	6	0,36	1,77E-06	0,093	0	0,9075	0,9282	0	0,4336	4,02E-06	0,0269		
Modal	7	0,248	0,0489	0	0	0,9563	0,9282	0	0	0,0979	6,15E-06		
Modal	8	0,202	2,40E-05	0,0068	0	0,9564	0,935	0	0,0146	4,38E-05	0,0317		
Modal	9	0,199	4,09E-06	0,0307	0	0,9564	0,9657	0	0,0652	7,30E-06	0,0071		
Modal	10	0,154	0,0259	0	0	0,9822	0,9657	0	7,10E-07	0,0916	4,85E-05		
Modal	11	0,135	0,0001	0,0037	0	0,9823	0,9693	0	0,0153	0,0002	0,0172		
Modal	12	0,134	1,19E-05	0,0173	0	0,9823	0,9866	0	0,0724	3,95E-05	0,0036		
Modal	13	0,108	0,0101	1,25E-06	0	0,9924	0,9866	0	3,77E-06	0,0297	0,0002		
Modal	14	0,102	4,80E-05	0,0064	0	0,9925	0,9931	0	0,0191	0,0001	0,001		
Modal	15	0,101	0,0002	0,001	0	0,9927	0,994	0	0,0029	0,0006	0,0068		
Modal	16	0,083	0,0017	0,0001	0	0,9944	0,9941	0	0,0002	0,0053	0,0039		
Modal	17	0,08	0,0056	0,0002	0	0,9999	0,9943	0	0,0005	0,0175	0,0012		
Modal	18	0,079	0,0001	0,0057	0	1	1	0	0,0184	0,0002	0,0001		
Modal	19	0,004	0	0	0	1	1	0	0	0	0		
Modal	20	0,004	0	0	0	1	1	0	0	0	0		
Modal	21	0,004	0	0	0	1	1	0	0	0	0		
Modal	22	0,004	0	0	0	1	1	0	0	0	0		
Modal	23	0,004	0	0	0	1	1	0	0	0	0		
Modal	24	0,004	0	0	0	1	1	0	0	0	0		
Modal	25	0,002	0	0	0	1	1	0	0	0	0		
Modal	26	0,002	0	0	0	1	1	0	0	0	0		
Modal	27	0,002	0	0	0	1	1	0	0	0	0		
Modal	28	0,002	0	0	0	1	1	0	0	0	0		
Modal	29	0,002	0	0	0	1	1	0	0	0	0		
Modal	30	0,002	0	0	0	1	1	0	0	0	0		

Tabla 18

Participación de Masa con BRB

Case	Mode	Period	UX	UY	UZ	Sum UX	Sum UY	Sum UZ	RX	RY	RZ	TORSION	
		sec											
Modal	1	1,191	0,7923	0	0	0,7923	0	0	0	0,2461	0,0004	0,2465	0,16%
Modal	2	1,076	7,93E-07	0,8092	0	0,7923	0,8092	0	0,227	0	0,0004	0,2274	0,18%
Modal	3	0,907	0,0006	0,0004	0	0,7929	0,8096	0	0,0001	0,0001	0,8201	0,8203	99,98%
Modal	4	0,424	0,1292	0	0	0,922	0,8096	0	0	0,4925	1,73E-05		
Modal	5	0,382	0	0,12	0	0,922	0,9296	0	0,5453	0	0,0001		
Modal	6	0,336	3,54E-06	0,0001	0	0,922	0,9297	0	0,0005	1,16E-05	0,1167		
Modal	7	0,232	0,046	0	0	0,968	0,9297	0	0	0,1474	0		
Modal	8	0,214	0	0,04	0	0,968	0,9697	0	0,1114	0	4,61E-05		
Modal	9	0,191	9,73E-06	4,83E-05	0	0,968	0,9697	0	0,0001	3,41E-06	0,0381		
Modal	10	0,149	0,0184	0	0	0,9864	0,9697	0	2,01E-06	0,0676	9,25E-06		
Modal	11	0,143	9,53E-07	0,0172	0	0,9864	0,9869	0	0,0721	3,37E-06	2,32E-05		
Modal	12	0,131	3,87E-05	3,09E-05	0	0,9864	0,9869	0	0,0001	0,0001	0,0137		
Modal	13	0,107	3,42E-06	0,0078	0	0,9864	0,9948	0	0,0248	1,14E-05	1,16E-05		
Modal	14	0,105	0,0084	4,48E-06	0	0,9949	0,9948	0	1,42E-05	0,0281	4,49E-05		
Modal	15	0,097	0,0001	1,17E-05	0	0,9949	0,9948	0	3,71E-05	0,0003	0,0068		
Modal	16	0,082	1,46E-06	0,0052	0	0,9949	1	0	0,0183	5,28E-06	1,32E-05		
Modal	17	0,079	0,0047	5,30E-06	0	0,9997	1	0	1,87E-05	0,0168	0,0002		
Modal	18	0,077	0,0003	1,63E-05	0	1	1	0	0,0001	0,0011	0,0035		
Modal	19	0,004	0	0	0	1	1	0	0	0	0		
Modal	20	0,004	0	0	0	1	1	0	0	0	0		
Modal	21	0,004	0	0	0	1	1	0	0	0	0		
Modal	22	0,004	0	0	0	1	1	0	0	0	0		
Modal	23	0,004	0	0	0	1	1	0	0	0	0		
Modal	24	0,004	0	0	0	1	1	0	0	0	0		
Modal	25	0,002	0	0	0	1	1	0	0	0	0		
Modal	26	0,002	0	0	0	1	1	0	0	0	0		
Modal	27	0,002	0	0	0	1	1	0	0	0	0		
Modal	28	0,002	0	0	0	1	1	0	0	0	0		
Modal	29	0,002	0	0	0	1	1	0	0	0	0		
Modal	30	0,002	0	0	0	1	1	0	0	0	0		

La implementación de BRB en la estructura tuvo un impacto significativo en su comportamiento dinámico. Los análisis modales revelaron que la incorporación de estos dispositivos permitió modificar los modos de vibración de la estructura, logrando que los dos primeros modos correspondieran a traslaciones y el tercero a una rotación torsional. Este comportamiento es deseable, ya que favorece la disipación de energía en los modos de mayor demanda sísmica y reduce la probabilidad de daño en elementos estructurales.

8.6 Verificación de la Distorsión

Según la NEC-SE-DS, cuando una estructura presenta irregularidades en su planta, es necesario considerar un incremento en la torsión accidental. Este incremento se logra mediante un factor de amplificación que se calcula en función de los desplazamientos de la estructura. De esta manera, se asegura que la estructura pueda resistir las fuerzas torsionales adicionales generadas por estas irregularidades (NEC-15, 2023).

$$A_x = \left(\frac{\delta_{max}}{1.2\delta_{prom}} \right)^2$$

Dónde:

A_x : Factor de amplificación torsional

δ_{prom} : Promedio de desplazamiento de los puntos de las estructuras en el nivel x

δ_{max} : Valor del desplazamiento máximo en el nivel x

8.7 Índice de Inestabilidad Q

Figura 42

Índice de Inestabilidad por la Norma NEC-15

El índice de estabilidad Q_i , para el piso i y en la dirección bajo estudio, puede calcularse por medio de la ecuación:

$$Q_i = \frac{P_i \Delta_i}{V_i h_i}$$

Dónde:

Q_i Índice de estabilidad del piso i, es la relación entre el momento de segundo orden y el momento de primer orden.

P_i Suma de la carga vertical total sin mayorar, incluyendo el peso muerto y la sobrecarga por carga viva, del piso i y de todos los pisos localizados sobre el piso i

Δ_i Deriva del piso i calculada en el centro de masas del piso.

V_i Cortante sísmico del piso i

h_i Altura del piso i considerado

Se debe cumplir $Q_i \leq 0.30$.

Nota: De acuerdo al índice de inestabilidad de la normativa NEC-15

Tabla 19

Eje X

PISOS	P	Δ_i	V_i	H_i	Q	Fm
6	417,87	0,09	-58,37309	3,96	0,16	1,191
5	835,73	0,08	107,54573	3,96	0,16	1,185
4	1253,60	0,07	143,82951	3,96	0,14	1,168
3	1687,48	0,05	168,98935	3,96	0,12	1,134
2	2121,37	0,03	184,09076	3,96	0,08	
1	2580,68	0,01	190,65638	4,71	0,03	

Tabla 20

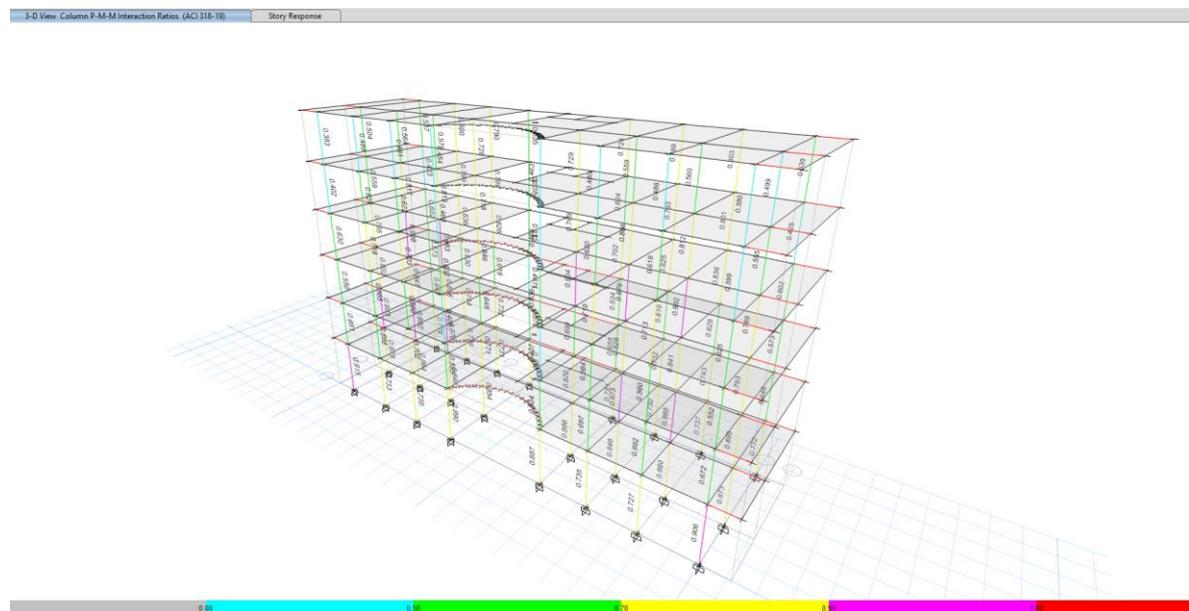
Eje Y

PISOS	P	Δ_i	V_i	Hi	Q	Fm
6	417,87	0,06	-78,7189	3,96	0,08	
5	835,73	0,05	-147,2884	3,96	0,08	
4	1253,60	0,04	-199,9851	3,96	0,07	
3	1687,48	0,03	-238,4693	3,96	0,06	
2	2121,37	0,02	-263,2798	3,96	0,04	
1	2580,68	0,01	-275,3925	4,71	0,02	

8.8 Análisis por Resistencia

Figura 43

Análisis por resistencia de la edificación



El análisis estructural por resistencia indica que las dimensiones de los elementos estructurales cumplen con los requisitos establecidos en NEC-15, garantizando así la capacidad portante de la estructura. Sin embargo, el análisis modal reveló desplazamientos laterales superiores a los límites permitidos por la normativa. Con el fin de mejorar el

desempeño sísmico de la estructura y reducir estas deformaciones, se ha optado por incorporar dispositivos de disipación de energía tipo BRB.

8.9 Derivas con Amortiguador BRB

Figura 44

Diseño de la Edificación con Disipadores BRB

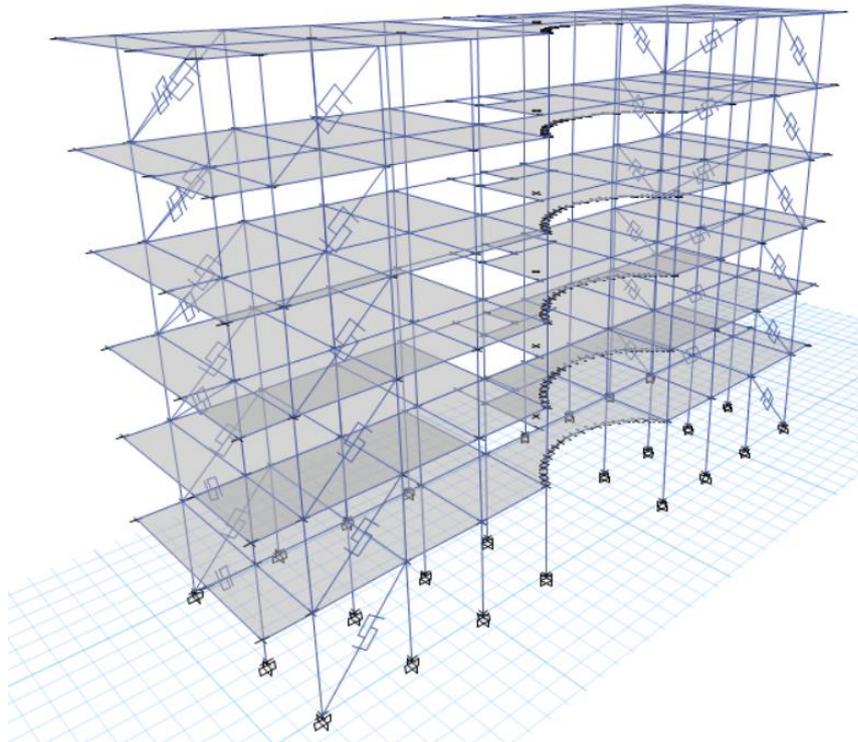
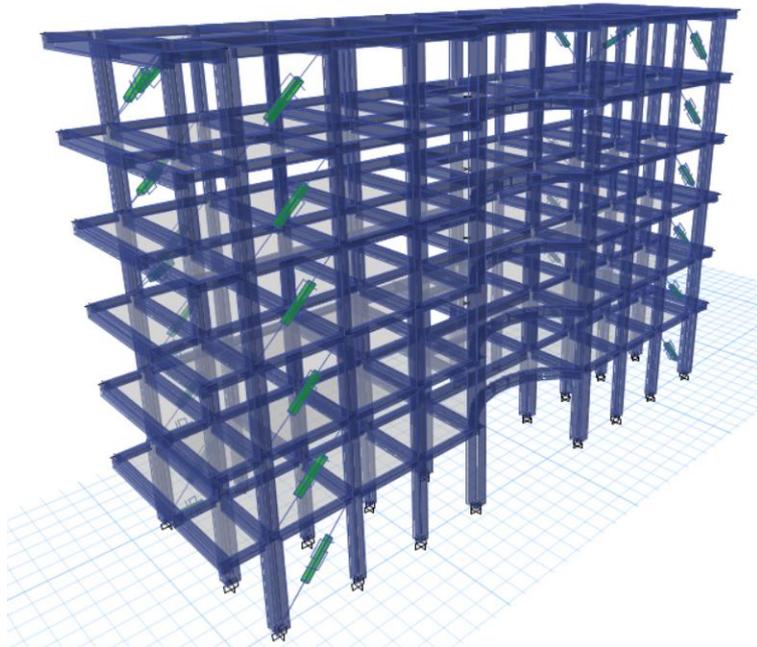


Figura 45

Diseño de la Edificación en 3D con Disipadores BRB



EJE X

Figura 46

Estructura en el eje X mediante el uso de disipadores BRB

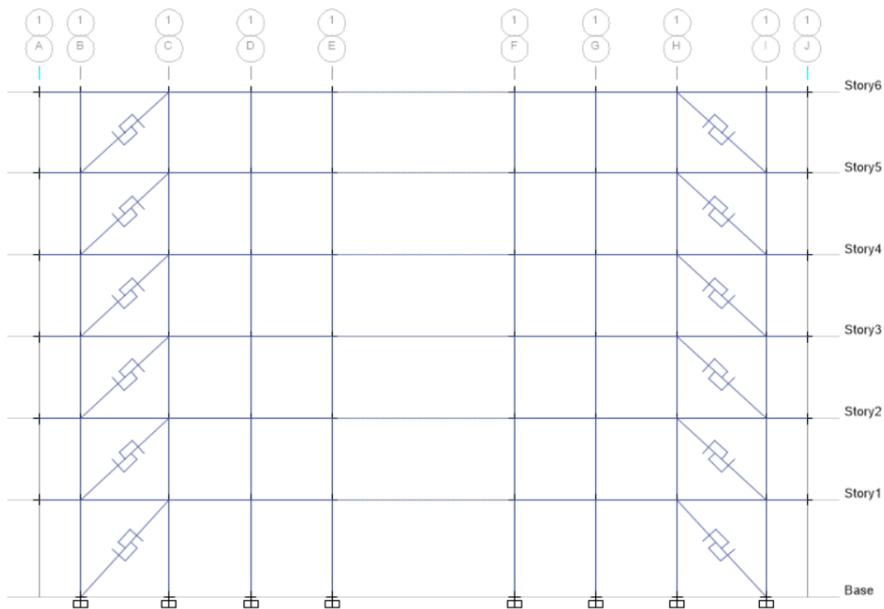


Figura 47

Estructura en el eje Y mediante el uso de disipadores BRB

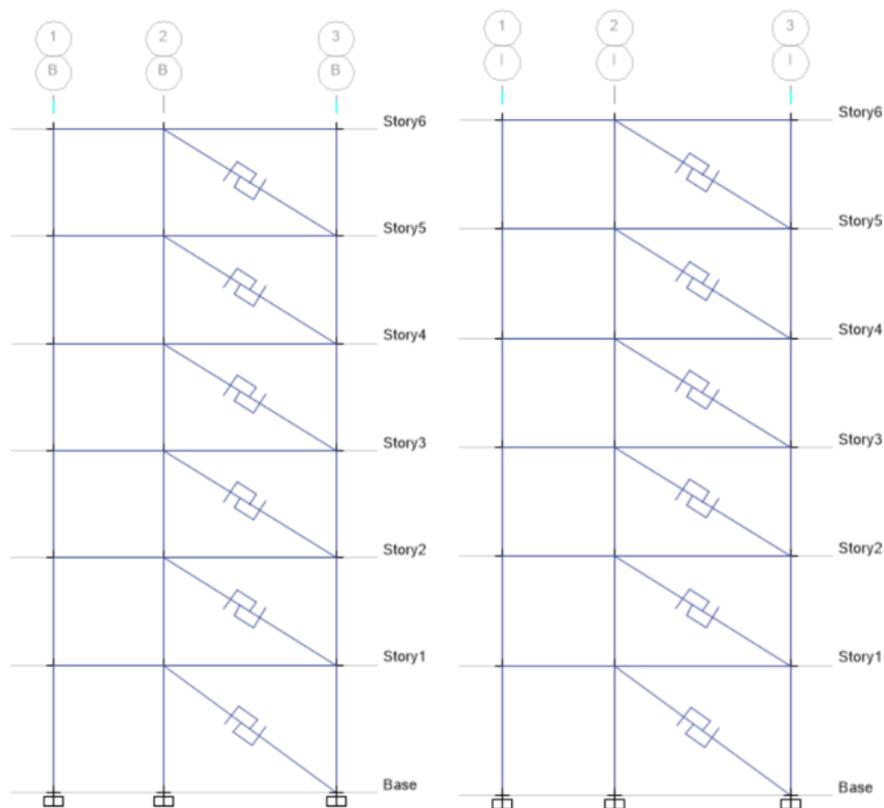


Tabla 21

Derivas Eje X con Amortiguamiento

PISO	Elevación (Cm)	Deriva de piso	Deriva máxima	
Story6	2451	0,00230	1,38%	CUMPLE
Story5	2055	0,00256	1,54%	CUMPLE
Story4	1659	0,00254	1,53%	CUMPLE
Story3	1263	0,00256	1,54%	CUMPLE
Story2	867	0,00257	1,54%	CUMPLE
Story1	471	0,00182	1,09%	CUMPLE

Gráfica 4

Derivas Eje X con Amortiguamiento

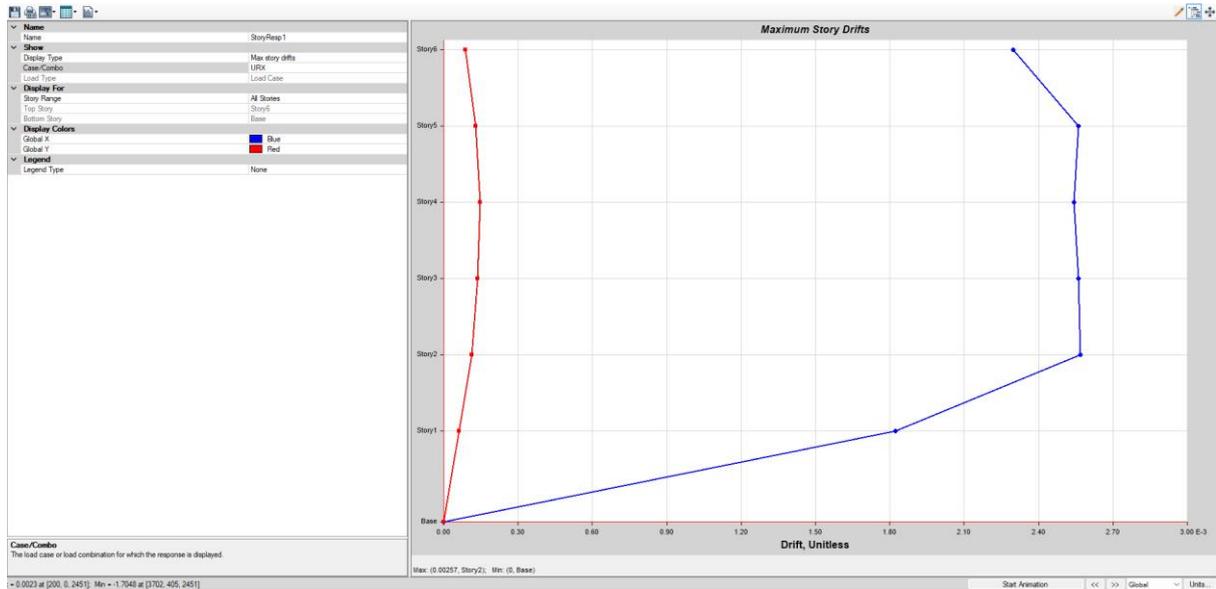


Tabla 22

Derivas Eje Y con Amortiguamiento

PISO	Elevación	Deriva de piso	Deriva máxima	
Story6	2451	0,0016	0,98%	CUMPLE
Story5	2055	0,0023	1,39%	CUMPLE
Story4	1659	0,0025	1,51%	CUMPLE
Story3	1263	0,0026	1,53%	CUMPLE
Story2	867	0,0026	1,59%	CUMPLE
Story1	471	0,0019	1,16%	CUMPLE

Gráfica 5

Derivas Eje Y con Amortiguamiento

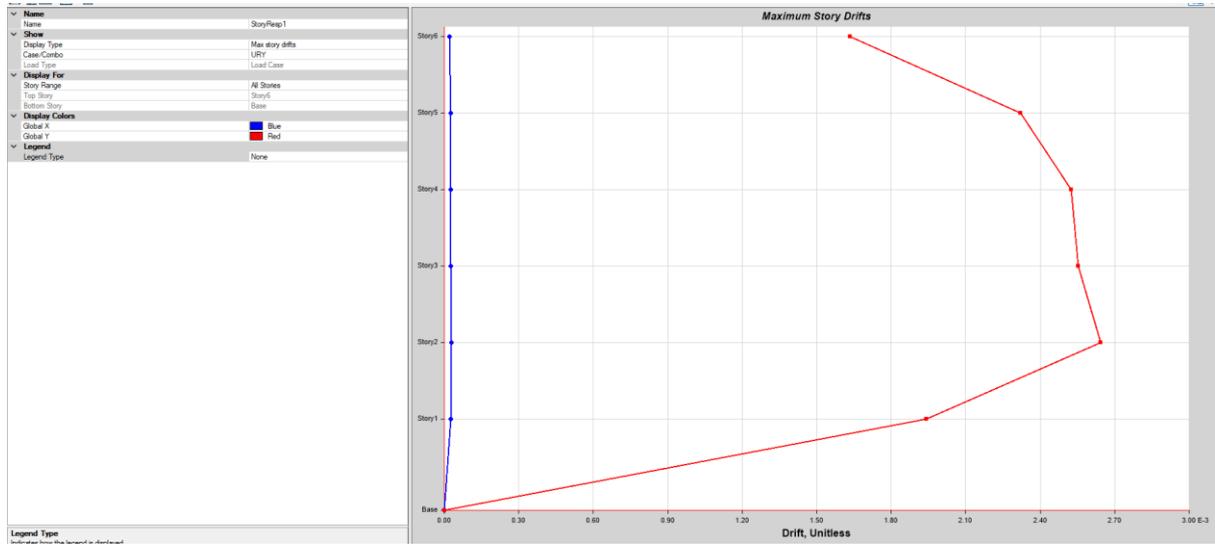


Tabla 23

Comparación de Periodos sin BRB con BRB

Case	Mode	Period (sec)	Period (sec)
		SIN BRB	CON BRB
Modal	1	1,504	1,191
Modal	2	1,098	1,076
Modal	3	1,077	0,907
Modal	4	0,475	0,424
Modal	5	0,364	0,382
Modal	6	0,36	0,336
Modal	7	0,248	0,232
Modal	8	0,202	0,214
Modal	9	0,199	0,191
Modal	10	0,154	0,149
Modal	11	0,135	0,143
Modal	12	0,134	0,131
Modal	13	0,108	0,107
Modal	14	0,102	0,105
Modal	15	0,101	0,097
Modal	16	0,083	0,082
Modal	17	0,08	0,079
Modal	18	0,079	0,077

Tabla 24**Derivas en el eje X**

DERIVAS EJE X						
PISO		Elevación (Cm)	Deriva de piso SIN BRB	Deriva máxima SIN BRB	Deriva de piso CON BRB	Deriva máxima CON BRB
Story6	URX	2451	0,002792	1,68%	0,00230	1,38%
Story5	URX	2055	0,003886	2,33%	0,00256	1,54%
Story4	URX	1659	0,004734	2,84%	0,00254	1,53%
Story3	URX	1263	0,004814	2,89%	0,00256	1,54%
Story2	URX	867	0,004394	2,64%	0,00257	1,54%
Story1	URX	471	0,002246	1,35%	0,00182	1,09%

Tabla 25**Derivas en el eje Y**

DERIVAS EJE Y						
PISO		Elevación (Cm)	Deriva de piso SIN BRB	Deriva máxima SIN BRB	Deriva de piso CON BRB	Deriva máxima CON BRB
Story6	URX	2451	0,001645	0,99%	0,0016	0,98%
Story5	URX	2055	0,002624	1,57%	0,0023	1,39%
Story4	URX	1659	0,003383	2,03%	0,0025	1,51%
Story3	URX	1263	0,003406	2,04%	0,0026	1,53%
Story2	URX	867	0,003446	2,07%	0,0026	1,59%
Story1	URX	471	0,002086	1,25%	0,0019	1,16%

9 Conclusiones

La implementación de disipadores BRB en la estructura de hormigón armado resultó en una reducción significativa de los desplazamientos entre piso y de las fuerzas internas, especialmente en las zonas de mayor vulnerabilidad sísmica. Los análisis numéricos demostraron que los disipadores BRB lograron disipar una gran cantidad de energía sísmica, lo que contribuyó a una disminución del daño estructural y a una mejora en la ductilidad de la estructura.

La implementación de disipadores BRB modificó elocuentemente el comportamiento dinámico de la estructura, reduciendo los períodos de vibración y aumentando el amortiguamiento estructural. Estos cambios se tradujeron en una respuesta sísmica más favorable, con menores aceleraciones y desplazamientos máximos.

Los disipadores BRB indujeron una distribución más uniforme de las deformaciones a lo largo de la altura de la estructura, lo que contribuyó a evitar la concentración de daños en elementos estructurales específicos. Esta característica es esencial para garantizar la integridad de la estructura en caso de un sismo intenso.

Los resultados obtenidos mostraron una sensibilidad de la respuesta estructural a los parámetros de los disipadores BRB, como la rigidez inicial y la fuerza de fluencia. Por lo tanto, es fundamental realizar una selección adecuada de los disipadores y ajustar sus características a las necesidades de cada estructura.

El modelo numérico utilizado en este estudio presenta ciertas simplificaciones, como la idealización de los elementos estructurales y la consideración de una conducta elástico-perfectamente plástico para los disipadores BRB. Estas simplificaciones podrían influir en los resultados alcanzados y subestimar el verdadero desempeño de la estructura.

Estos hallazgos corroboran los resultados de investigaciones previas y confirman la capacidad de los disipadores BRB para disipar energía sísmica y mejorar la ductilidad de las

estructuras. La distribución más uniforme de las deformaciones en la estructura equipada con disipadores BRB sugiere una mayor capacidad de resistir eventos sísmicos de alta intensidad, lo que se traduce en una mayor seguridad para los ocupantes y una reducción del riesgo de colapso.

10 Recomendaciones

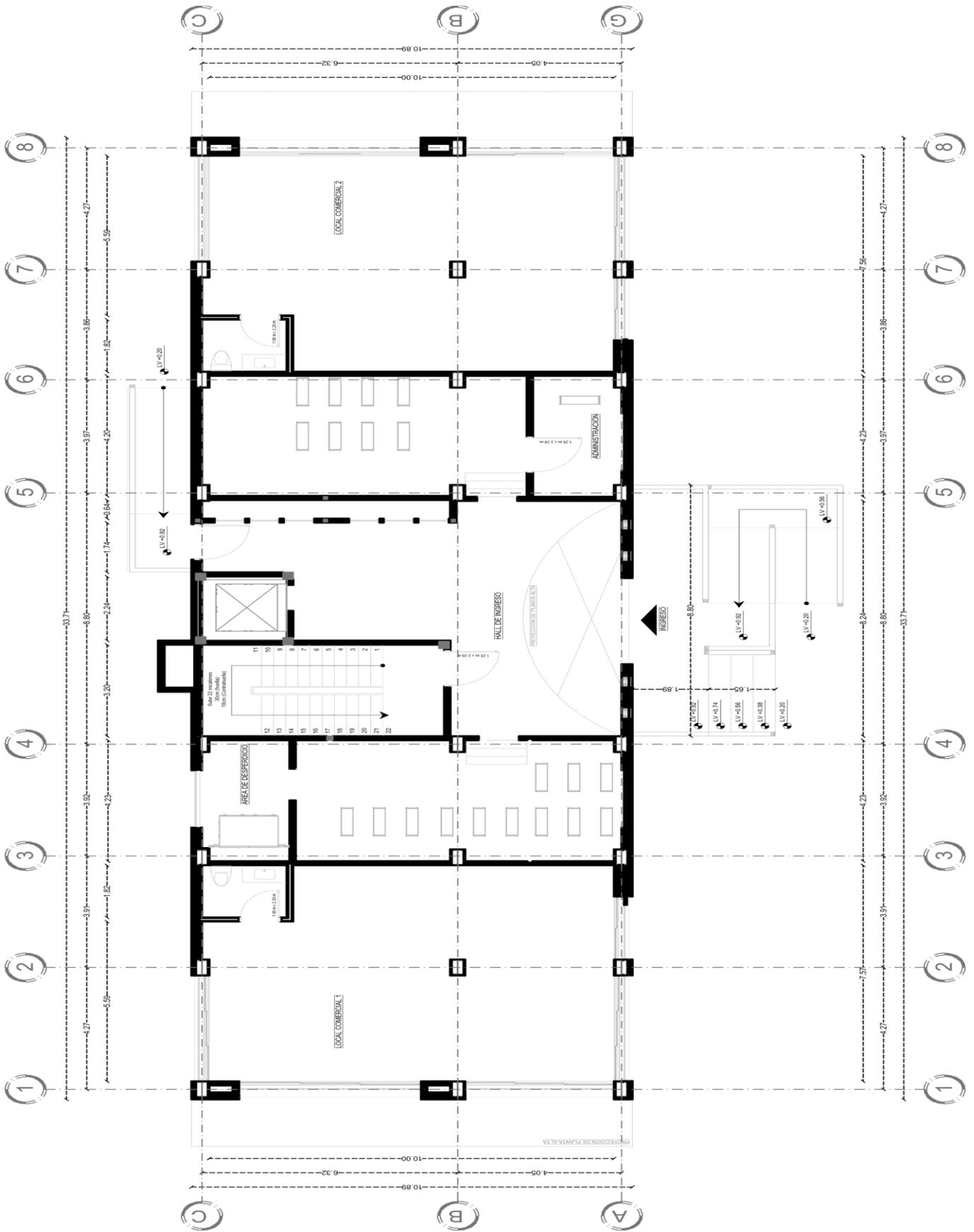
Se recomienda realizar un estudio detallado del emplazamiento donde se va a construir el edificio de hormigón armado, teniendo en cuenta las características geotécnicas, topográficas y climáticas del lugar, así como los criterios de diseño estructural establecidos en la norma NEC-15, con el fin de verificar el cumplimiento de la normativa aplicable y garantizar la seguridad de la buena funcionalidad de la estructura.

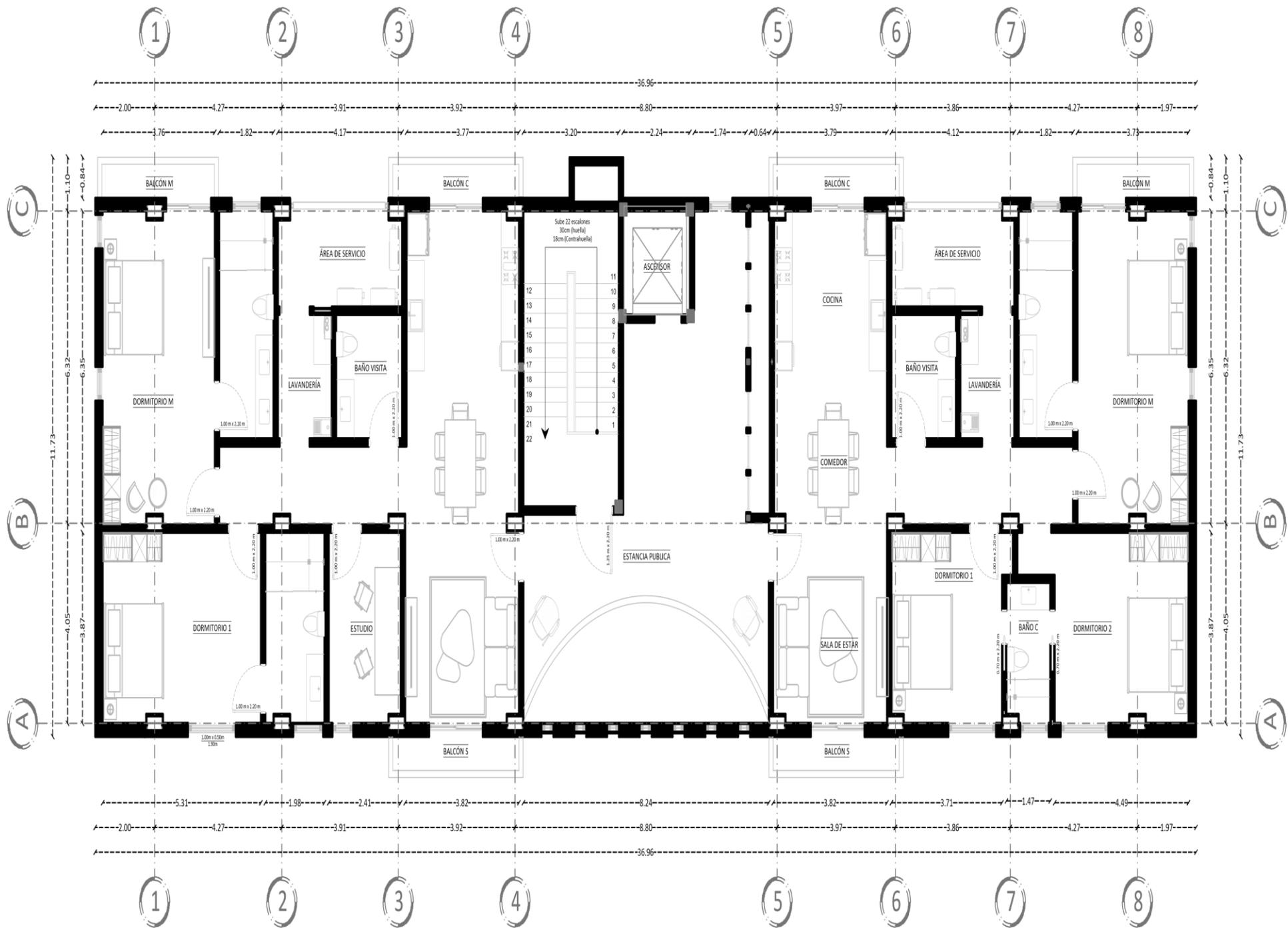
Se recomienda implementar disipadores BRB en la estructura de hormigón armado para perfeccionar su resistencia sísmica y reducir la probabilidad de daños estructurales. Los disipadores BRB deben ser diseñados y dimensionados de acuerdo con las normas y regulaciones vigentes, y deben ser instalados de manera adecuada para garantizar su funcionamiento correcto.

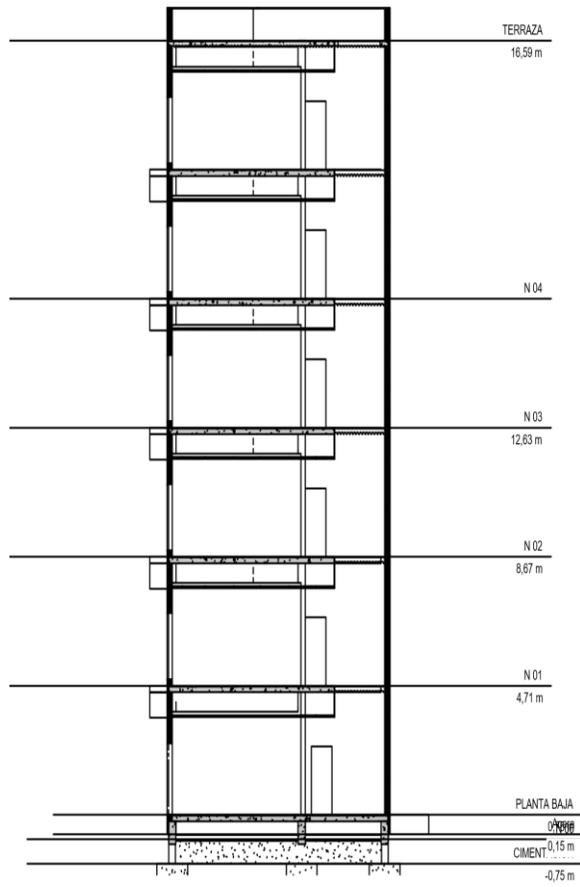
Se recomienda realizar ensayos experimentales a gran escala para validar los resultados alcanzados en los análisis numéricos y evaluar el comportamiento de los disipadores BRB bajo condiciones sísmicas reales.

Es altamente recomendable llevar a cabo inspecciones periódicas para comprobar el estado de los disipadores BRB, asegurando que funcionen adecuadamente para minimizar los daños ocasionados por los sismos. Asimismo, es importante mantener actualizado el plan de emergencia y evacuación. Fomentar la implementación de disipadores sísmicos resulta esencial para reducir los daños estructurales, incrementando así la seguridad de las edificaciones y prolongando su vida útil. Además, el uso de sistemas de disipación sísmica contribuye significativamente a prevenir desastres, evitar pérdidas materiales y proteger la vida humana.

11 Anexos







Datos Losa Nervada		
Ht	20	cm
tc	5	cm
bn	10	cm
ba	40	cm
LOSA MACIZA		
Lmax	4,40	m
hmin	13,2	cm
lmin	19166	cm ⁴

LOSA ALIVIANADA						
	Area (cm ²)	y (cm)	Ay (cm ³)	Io (cm ⁴)	d2 (cm ²)	ltotal (cm ⁴)
1	150	7,5	1125	2813	39,06	8672
2	150	7,5	1125	2813	39,06	8672
3	500	17,5	8750	1042	14,06	8073
	800		11000			25417
	cg	13,75	cm			

25	6,0
20	4,8
15	3,6

Altura losa macisa (cm)	14,50
Luz maxima (m)	4,83

Datos Losa Nervada		
Ht	20	cm
tc	5	cm
bn	10	cm
ba	40	cm
LOSA MACIZA		
Lmax	3,60	m
hmin	10,8	cm
lmin	10498	cm ⁴

LOSA ALIVIANADA						
	Area (cm ²)	y (cm)	Ay (cm ³)	Io (cm ⁴)	d2 (cm ²)	ltotal (cm ⁴)
1	150	7,5	1125	2813	39,06	8672
2	150	7,5	1125	2813	39,06	8672
3	500	17,5	8750	1042	14,06	8073
	800		11000			25417
	cg	13,75	cm			

Altura losa macisa (cm)	14,50
Luz maxima (m)	4,83

peso de losa	350	kg/m ²
instalaciones	50	kg/m ²
enlucidos	40	kg/m ²
paredes	180	kg/m ²
Total	620	kg/m²

DATOS ARQUITECTONICOS		
L1	8,80	m
L2	3,92	m
L3	6,32	m
L4	4,05	m
Cm1	0,62	T/m2
Qv1	0,2	T/m2
PISOS	6	u
Cm2	0,62	T/m2
Qv2	0,25	T/m2
PISOS	0	u
Cm3	0,62	T/m2
Qv3	0,48	T/m2
PISOS	0	u
Cm4	0,52	T/m2
Qv4	0,35	T/m2
PISOS	0	u
He	3,96	m
Fm	1,2	
MATERIALES		
fc	210	kg/cm2
Fy	4200	kg/cm2

CALCULOS		
At	32,98	m2
Cu	6,38	T/m2
Pu	297,21	Ton
Ag _{requerido}	3895,26	cm2
DATOS DE COLUMNA		
ancho	70	cm
profundidad	70	cm
var ancho	6	u
var prof	6	u
Ø long	38	mm
Øesq	38	mm
Øestribo	30	mm
rec	3,00	cm
num var	20,00	u
bc	64,00	cm
Ac	4096	cm2
Ag _{real}	4900	cm2
As _{total}	50,87	cm2
p _{cuantia}	1,04%	
S _{ancho}	30	cm
S _{prof}	30	cm
CORTANTE		
lo	70	cm
S _{lo}	30	cm
S _{centro}	11	cm
Ash	2,88	cm2
#vinchas	4	u
CAPACIDAD		
Mr	93,19	Ton-m
Pnu _{max}	1079,22	Ton
Pr	297,21	Ton
DUCTIL		
DEMANDA DE COLUMNA		
Tipo	INTERIOR	
Mu _{estimado}	20,80	Ton-m
Mu _{ETABS}	58,75	Ton-m
Mu _{diseño}	58,75	Ton-m
D/C	0,63	
EXT		
Tipo	EXT	
Mu _{estimado}	37,45	Ton-m
Mu _{ETABS}	49,23	Ton-m
Mu _{diseño}	49,23	Ton-m
D/C	0,53	

49,23

NUDO FUERTE					
b viga	40	cm	d	50,6	cm
h	55	cm	T1	93,47	Ton
rec	2,5	cm	T2	53,41	Ton
Øest	10	mm	Mpr1	41,18	Ton-m
As(-)			Mpr2	25,03	Ton-m
Var	7	u	Vcol	16,72	Ton
Ø	18	mm	Vj	130,16	Ton
As(-)	17,80	cm2	Tipo	MED	
As(+)			α	4	
Var	4	u	Condicion	BAJE	
Ø	18	mm	α	3,0	
As(+)	10,17	cm2	Ac	3850,00	cm2
α _{SEGUN TIPO DE COLUMNA}	INT	5,3	Vn	167,38	Ton
	MED	4	Ø Vn	142,27	Ton
	ESQ	3,2			
CONDICIONES					
	Act	Resist			
Vc	130,16	142,27		OK	
Vh	55	70		OK	
Adherc	36	70		OK	

COLUMNAS VOLADO

DATOS ARQUITECTONICOS		
L1	2,00	m
L2	4,27	m
L3	6,32	m
L4	4,05	m
Cm1	0,62	T/m2
Qv1	0,2	T/m2
PISOS	6	u
Cm2	0,62	T/m2
Qv2	0,25	T/m2
PISOS	0	u
Cm3	0,62	T/m2
Qv3	0,48	T/m2
PISOS	0	u
Cm4	0,52	T/m2
Qv4	0,35	T/m2
PISOS	0	u
He	3,96	m
Fm	1,2	
MATERIALES		
fc	210	kg/cm2
Fy	4200	kg/cm2

CALCULOS		
At	16,25	m2
Cu	6,38	T/m2
Pu	146,50	Ton
Ag _{requerido}	1920,07	cm2
DATOS DE COLUMNA		
ancho	65	cm
profundidad	65	cm
var ancho	6	u
var prof	6	u
Ø long	38	mm
Øesq	38	mm
Øestribo	30	mm
rec	3,00	cm
num var	20,00	u
bc	59,00	cm
Ac	3481	cm2
Ag _{real}	4225	cm2
As _{total}	50,87	cm2
p _{cuantia}	1,20%	
S _{ancho}	9	cm
S _{prof}	9	cm
CORTANTE		
lo	65	cm
S _{lo}	30	cm
S _{centro}	11	cm
Ash	2,66	cm2
#vinchas	3	u
CAPACIDAD		
Mr	74,53	Ton-m
Pnu _{max}	958,73	Ton
Pr	146,50	Ton
DUCTIL		
DEMANDA DE COLUMNA		
Tipo	EXT	
Mu _{estimado}	17,14	Ton-m
Mu _{ETABS}	49,97	Ton-m
Mu _{diseño}	49,97	Ton-m
D/C	0,55	
EXT		
Tipo	EXT	
Mu _{estimado}	17,14	Ton-m
Mu _{ETABS}	49,23	Ton-m
Mu _{diseño}	49,23	Ton-m
D/C	0,66	

49,23

NUDO FUERTE					
b viga	40	cm	d	50,6	cm
h	55	cm	T1	93,47	Ton
rec	2,5	cm	T2	53,41	Ton
Øest	10	mm	Mpr1	41,18	Ton-m
As(-)			Mpr2	25,03	Ton-m
Var	7	u	Vcol	16,72	Ton
Ø	18	mm	Vj	130,16	Ton
As(-)	17,80	cm2	Tipo	MED	
As(+)			α	4	
Var	4	u	Condicion	BAJE	
Ø	18	mm	α	3,0	
As(+)	10,17	cm2	Ac	3412,50	cm2
α _{SEGUN TIPO DE COLUMNA}	INT	5,3	Vn	148,36	Ton
	MED	4	Ø Vn	126,10	Ton
	ESQ	3,2			
CONDICIONES					
	Act	Resist			
Vc	130,16	126,10		NO	
Vh	55	65		OK	
Adherc	36	65		OK	

VIGAS

DATOS ARQ. EJE X		
lv	4,27	m
lt1	6,32	m
lt2	4,05	m
b col	0,50	m
Fm	1,20	
ec	3,00	cm
Øest	10,00	mm
fc	210	kg/cm2
fy	4200	kg/cm2
pb max	1,07%	

348
620
272 carga muerta

Vienda		
Cm	0,62	Ton/m2
Cv	0,20	Ton/m2
Cu	1,06	Ton/m2
Me	9,80	Ton m
Md	6,50	Ton m
b	2,5	cm
h	3,2	cm
h def	3,5	cm
relac h/b	1,40	
	OK	
d	30,30	cm
As min	2,53	cm2
Ølong	14	mm
# var min	2	u
As(-)	6,43	cm2
# var (-)	2	u
separc	3,80	cm
	OK	
As total	6,15	cm2
p	0,70%	
# var (+)	2	u
Zona protg	70	cm
S(ZP)	8	cm
S(ZC)	11	cm

DATOS ARQ. EJE X		
lv	8,80	m
lt1	6,32	m
lt2	4,05	m
b col	0,50	m

Vienda		
Cm	0,62	Ton/m2
Cv	0,20	Ton/m2
Cu	1,06	Ton/m2
Me	47,51	Ton m
Md	31,50	Ton m
b	40	cm
h	54	cm
h def	55	cm
relac h/b	1,38	
	OK	
d	50,10	cm
As min	6,68	cm2
Ølong	18	mm
# var min	2	u
As(-)	18,86	cm2
# var (-)	5	u
separc	3,23	cm
	OK	
As total	17,80	cm2
p	0,81%	
# var (+)	4	u
Zona protg	110	cm
S(ZP)	10	cm
S(ZC)	14	cm

DATOS ARQ. EJE Y		
lv	6,32	m
lt1	3,92	m
lt2	4,27	m
b col	0,50	m

Vienda		
Cm	0,62	Ton/m2
Cv	0,20	Ton/m2
Cu	1,06	Ton/m2
Me	18,45	Ton m
Md	12,23	Ton m
b	30	cm
h	40	cm
h def	40	cm
relac h/b	1,33	
	OK	
d	35,30	cm
As min	3,53	cm2
Ølong	14	mm
# var min	2	u
As(-)	10,39	cm2
# var (-)	4	u
separc	2,72	cm
	OK	
As total	9,23	cm2
p	0,77%	
# var (+)	3	u
Zona protg	80	cm
S(ZP)	8	cm
S(ZC)	11	cm

CALCULO SISMICO X

DATOS			
I	1,00		
gP	0,90		
gE	0,90		
R	8,00		
Z	0,50		
n	1,80		
Suelo	C	D	E
Fa	1,18	1,12	0,85
Fd	1,06	1,11	1,50
Fs	1,23	1,40	2,00
r	1,00	1,00	1,05
Tc	0,61	0,76	1,94
Sa	0,50	0,59	0,77
tc	210	kg/cm ²	

Ct	0,055	
h	24,51	m
a	0,75	
T1	0,61	seg
Treal X	1,337	seg
Suelo Tipo	D	
Sa	0,59	g
Coef	0,09	
K	1,42	
Wr	217,2	Ton
CHEQUEO CORTANTE BASAL		
V min	198	Ton
V _{TD}	190,6564	Ton
Fc	1,00	
Coef rec.	0,09	
CHEQUEO CORTANTE BASAL		
V min	159	Ton
V _{edn} x	160	Ton
Fc	1,00	

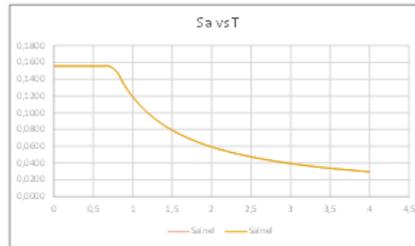
Tx 1,34
coef x 0,09
k x 1,42
Ty 0,97
coef y 0,13
k y 1,23

0,992306

T	Sa C	Sa D	Sa E
0	1,06	1,01	0,77
0,1	1,06	1,01	0,77
0,2	1,06	1,01	0,77
0,3	1,06	1,01	0,77
0,4	1,06	1,01	0,77
0,5	1,06	1,01	0,77
0,6	1,06	1,01	0,77
0,7	0,92	1,01	0,77
0,8	0,81	0,96	0,77
0,9	0,72	0,85	0,77
1	0,65	0,77	0,77
1,1	0,59	0,70	0,77
1,2	0,54	0,64	0,77
1,3	0,50	0,59	0,77
1,4	0,46	0,55	0,77
1,5	0,43	0,51	0,77
1,6	0,40	0,48	0,77
1,7	0,38	0,45	0,77
1,8	0,36	0,43	0,77
1,9	0,34	0,40	0,77
2	0,32	0,38	0,74
2,1	0,31	0,37	0,70
2,2	0,29	0,35	0,67
2,3	0,28	0,33	0,64
2,4	0,27	0,32	0,61
2,5	0,26	0,31	0,59
2,6	0,25	0,30	0,56
2,7	0,24	0,28	0,54
2,8	0,23	0,27	0,52
2,9	0,22	0,27	0,50
3	0,22	0,26	0,48
3,1	0,21	0,25	0,47
3,2	0,20	0,24	0,45
3,3	0,20	0,23	0,44
3,4	0,19	0,23	0,42
3,5	0,18	0,22	0,41
3,6	0,18	0,21	0,40
3,7	0,17	0,21	0,39
3,8	0,17	0,20	0,38
3,9	0,17	0,20	0,37
4	0,16	0,19	0,36

T	Sa
0	0,1556
0,1	0,1556
0,2	0,1556
0,3	0,16
0,4	0,16
0,5	0,16
0,6	0,16
0,7	0,16
0,8	0,15
0,9	0,13
1	0,12
1,1	0,11
1,2	0,10
1,3	0,09
1,4	0,08
1,5	0,08
1,6	0,07
1,7	0,07
1,8	0,07
1,9	0,06
2	0,06
2,1	0,06
2,2	0,05
2,3	0,05
2,4	0,05
2,5	0,05
2,6	0,05
2,7	0,04
2,8	0,04
2,9	0,04
3	0,04
3,1	0,04
3,2	0,04
3,3	0,04
3,4	0,03
3,5	0,03
3,6	0,03
3,7	0,03
3,8	0,03
3,9	0,03
4	0,03

T	Sa
0	0,156
0,1	0,156
0,2	0,156
0,3	0,156
0,4	0,156
0,5	0,156
0,6	0,156
0,7	0,156
0,8	0,148
0,9	0,132
1	0,119
1,1	0,108
1,2	0,099
1,3	0,091
1,4	0,085
1,5	0,079
1,6	0,074
1,7	0,070
1,8	0,066
1,9	0,062
2	0,059
2,1	0,057
2,2	0,054
2,3	0,052
2,4	0,049
2,5	0,047
2,6	0,046
2,7	0,044
2,8	0,042
2,9	0,041
3	0,040
3,1	0,038
3,2	0,037
3,3	0,036
3,4	0,035
3,5	0,034
3,6	0,033
3,7	0,032
3,8	0,031
3,9	0,030
4	0,030



CALCULO SISMICO Y

DATOS			
I	1.00		
gE	0.90		
R	8.00		
Z	0.50		
n	1.80		
Suelo	C	D	E
Fa	1.18	1.12	0.85
Fd	1.06	1.11	1.50
Fs	1.23	1.40	2.00
r	1.00	1.00	1.05
Tc	0.61	0.76	1.94
Sa	0.65	0.77	0.77
tc	210	kg/cm2	

Tx 1.34
coefx 0.09
kx 1.42
Ty 0.97
coefy 0.13
ky 1.23

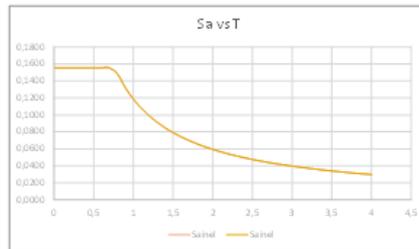
Ct	0.055	
h	24.51	m
a	0.75	
T1	0.61	seg
TrialX	1.07	seg
Suelo Tipo	D	
Sa	0.77	g
Coef	0.12	
k	1.29	
Wr	2.172	Ton
CHEQUEO CORTANTE BASAL		
V min	2.58	Ton
Wp	275.2925	Ton
Fc	1.00	
Coefrec.	0.12	
CHEQUEO CORTANTE BASAL		
V min	2.06	Ton
VdenY	2.38	Ton
Fc	1.00	

0.86597

T	Sa C	Sa D	Sa E
0	1.06	1.01	0.77
0.1	1.06	1.01	0.77
0.2	1.06	1.01	0.77
0.3	1.06	1.01	0.77
0.4	1.06	1.01	0.77
0.5	1.06	1.01	0.77
0.6	1.06	1.01	0.77
0.7	0.92	1.01	0.77
0.8	0.81	0.96	0.77
0.9	0.72	0.85	0.77
1	0.65	0.77	0.77
1.1	0.59	0.70	0.77
1.2	0.54	0.64	0.77
1.3	0.50	0.59	0.77
1.4	0.46	0.55	0.77
1.5	0.43	0.51	0.77
1.6	0.40	0.48	0.77
1.7	0.38	0.45	0.77
1.8	0.36	0.43	0.77
1.9	0.34	0.40	0.77
2	0.32	0.38	0.74
2.1	0.31	0.37	0.70
2.2	0.29	0.35	0.67
2.3	0.28	0.33	0.64
2.4	0.27	0.32	0.61
2.5	0.26	0.31	0.59
2.6	0.25	0.30	0.56
2.7	0.24	0.28	0.54
2.8	0.23	0.27	0.52
2.9	0.22	0.27	0.50
3	0.22	0.26	0.48
3.1	0.21	0.25	0.47
3.2	0.20	0.24	0.45
3.3	0.20	0.23	0.44
3.4	0.19	0.23	0.42
3.5	0.18	0.22	0.41
3.6	0.18	0.21	0.40
3.7	0.17	0.21	0.39
3.8	0.17	0.20	0.38
3.9	0.17	0.20	0.37
4	0.16	0.19	0.36

SaI
0.1556
0.1556
0.1556
0.16
0.16
0.16
0.16
0.16
0.16
0.15
0.13
0.12
0.11
0.10
0.09
0.08
0.08
0.07
0.07
0.06
0.06
0.06
0.05
0.05
0.05
0.05
0.05
0.05
0.04
0.04
0.04
0.04
0.04
0.04
0.04
0.04
0.03
0.03
0.03
0.03
0.03
0.03
0.03
0.03
0.03
0.03

T	SaI
0	0.156
0.1	0.156
0.2	0.156
0.3	0.156
0.4	0.156
0.5	0.156
0.6	0.156
0.7	0.156
0.8	0.148
0.9	0.132
1	0.119
1.1	0.108
1.2	0.099
1.3	0.091
1.4	0.085
1.5	0.079
1.6	0.074
1.7	0.070
1.8	0.066
1.9	0.062
2	0.059
2.1	0.057
2.2	0.054
2.3	0.052
2.4	0.049
2.5	0.047
2.6	0.046
2.7	0.044
2.8	0.042
2.9	0.041
3	0.040
3.1	0.038
3.2	0.037
3.3	0.036
3.4	0.035
3.5	0.034
3.6	0.033
3.7	0.032
3.8	0.031
3.9	0.030
4	0.030



Case	Mode	Period sec	UX	UY	UZ	Sum UX	Sum UY	Sum UZ	RX	RY	RZ	TORSION	
Modal	1	1.191	0.7923	0	0	0.7923	0	0	0	0.2461	0.0004	0.2465	0.16%
Modal	2	1.076	7.93E-07	0.8092	0	0.7923	0.8092	0	0.227	0	0.0004	0.2274	0.18%
Modal	3	0.907	0.0006	0.0004	0	0.7929	0.8096	0	0.0001	0.0001	0.8201	0.8203	99.98%
Modal	4	0.424	0.1292	0	0	0.922	0.8096	0	0	0.4925	1.73E-05		
Modal	5	0.382	0	0.12	0	0.922	0.9296	0	0.5453	0	0.0001		
Modal	6	0.336	3.54E-06	0.0001	0	0.922	0.9297	0	0.0005	1.16E-05	0.1167		
Modal	7	0.232	0.046	0	0	0.968	0.9297	0	0	0.1474	0		
Modal	8	0.214	0	0.04	0	0.968	0.9697	0	0.1114	0	4.61E-05		
Modal	9	0.191	9.73E-06	4.83E-05	0	0.968	0.9697	0	0.0001	3.41E-06	0.0381		
Modal	10	0.149	0.0184	0	0	0.9864	0.9697	0	2.01E-06	0.0676	9.25E-06		
Modal	11	0.143	9.53E-07	0.0172	0	0.9864	0.9869	0	0.0721	3.37E-06	2.32E-05		
Modal	12	0.131	3.87E-05	3.09E-05	0	0.9864	0.9869	0	0.0001	0.0001	0.0137		
Modal	13	0.107	3.42E-06	0.0078	0	0.9864	0.9948	0	0.0248	1.14E-05	1.16E-05		
Modal	14	0.105	0.0084	4.48E-06	0	0.9949	0.9948	0	1.42E-05	0.0281	4.49E-05		
Modal	15	0.097	0.0001	1.17E-05	0	0.9949	0.9948	0	3.71E-05	0.0003	0.0068		
Modal	16	0.082	1.46E-06	0.0052	0	0.9949	1	0	0.0183	5.28E-06	1.32E-05		
Modal	17	0.079	0.0047	5.30E-06	0	0.9997	1	0	1.87E-05	0.0168	0.0002		
Modal	18	0.077	0.0003	1.63E-05	0	1	1	0	0.0001	0.0011	0.0035		
Modal	19	0.004	0	0	0	1	1	0	0	0	0		
Modal	20	0.004	0	0	0	1	1	0	0	0	0		
Modal	21	0.004	0	0	0	1	1	0	0	0	0		
Modal	22	0.004	0	0	0	1	1	0	0	0	0		
Modal	23	0.004	0	0	0	1	1	0	0	0	0		
Modal	24	0.004	0	0	0	1	1	0	0	0	0		
Modal	25	0.002	0	0	0	1	1	0	0	0	0		
Modal	26	0.002	0	0	0	1	1	0	0	0	0		
Modal	27	0.002	0	0	0	1	1	0	0	0	0		
Modal	28	0.002	0	0	0	1	1	0	0	0	0		
Modal	29	0.002	0	0	0	1	1	0	0	0	0		
Modal	30	0.002	0	0	0	1	1	0	0	0	0		

b	15	cm
h	15	cm
e	0,20	cm
K	0,00	
As	11,84	cm ²

Pi kg	An cm ²	Areal cm ²	e cm	l cm	Tmax kg	Cmax kg	Lbwp cm	Keff kg/cm	Kpwp kg/cm	Pye kg	Aef cm ²	b cm	h cm
4976	2,19	2,50	0,3	4,3	10278	11819	582	12982	9015	8222	3,60	15,00	15,00
9167	4,03	8,00	0,3	13,5	32888	37822	582	41541	28848	26311	11,52	15,00	15,00
12260	5,38	14,00	0,3	23,5	57554	66188	582	72697	50484	46044	20,16	20,00	20,00
14405	6,33	14,00	0,4	17,7	57554	66188	582	72697	50484	46044	20,16	20,00	20,00
15692	6,89	16,00	0,4	20,2	65777	75643	582	83082	57696	52621	23,04	20,00	20,00
17741	7,79	8,00	0,4	10,2	32888	37822	636	38053	26426	26311	11,52	15,00	15,00

Pi kg	An cm ²	Areal cm ²	e cm	l cm	Tmax kg	Cmax kg	Lbwp cm	Keff kg/cm	Kpwp kg/cm	Pye kg	Aef cm ²	b cm	h cm
11612	5,10	5,50	0,3	9,3	22611	26002	746	22300	15486	18089	7,92	15,00	15,00
21727	9,54	10,00	0,3	16,8	41110	47277	746	40546	28157	32888	14,40	20,00	20,00
29500	12,96	13,00	0,3	21,8	53443	61460	746	52710	36604	42755	18,72	20,00	20,00
35177	15,45	16,00	0,4	20,2	65777	75643	746	64874	45051	52621	23,04	20,00	20,00

12 Bibliografía

- (s.f.). *Dispositivo de amortiguación sísmica*. Obtenido de https://www.pinterest.com/juan_naveda/arriostramiento/
- American Society of Civil Engineers (ASCE). (2016). *ASCE 7-16: Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures*. Reston: ASCE. doi:10.1061/9780784414745
- Andrade, S., & al., e. (2020). Evaluación de la respuesta sísmica de edificaciones con disipadores de fluido viscoelástico en Ecuador. *Revista de Ingeniería Estructural*, 8(2), 1-15. Obtenido de Evaluación de la respuesta sísmica de edificaciones con disipadores de fluido viscoelástico en Ecuador.
- ASTM D5777. (2019). Standard Test Method for Determining the Seismic Response of a Site.
- Bay, C. (2020). Disipadores de energía para la rehabilitación de edificios escolares.
- Cárdenas, J., & al., e. (2020). Evaluación de la efectividad de disipadores viscoelásticos en edificaciones sismorresistentes en Ecuador. *Revista de Ingeniería Sísmica*, 9(1), 1-12.
- Chen, G., & Chen, Z. (2020). Seismic performance of friction damper systems for building structures. *Journal of Building Engineering*, 33, 101736.
- Chopra, A. K. (2017). *Earthquake-Resistant Design of Structures*. Nueva York, Estados Unidos. Recuperado el 7 de Octubre de 2024
- Constantinou, M. C., & Symans, M. D. (2007). Seismic Response of Structures with Supplemental Damping Devices. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 36(5).
- Corporación Desarrollo Tecnológico - Cámara Chilena de la Construcción CDT-CCHC. (2011). *Protección Sísmica de Estructuras, Sistemas de Aislación Sísmica y Disipación de Energía*. Santiago, Chile. Recuperado el 4 de Octubre de 2024
- Cueva, J. e. (2020). Evaluación de la efectividad de disipadores de fricción en edificaciones sismorresistentes en Ecuador. *Revista de Ingeniería Sísmica*, 8(2020), 1-12.
- Díaz Méndez, J. S., & Moscoso Vázquez, A. M. (2024). Determinación de la taxonomía, vulnerabilidad estructural y su aplicación al riesgo sísmico para Cuenca, Ecuador. En P. D. Díaz Martínez, & A. M. Moscoso Vázquez, *Determinación de la taxonomía, vulnerabilidad estructural y su aplicación al riesgo sísmico para Cuenca, Ecuador* (págs. 5-21). Azuay, Ecuador. Recuperado el 30 de Septiembre de 2024, de <https://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/14596>
- Diego D. Guilcaso Tipan, S. A. (2023). Estudio comparativo entre estructuras metálicas utilizando riostras de pandeo restringido (BRB) y disipadores (SLB). *Green World Journa*. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/David-Guerrero-Cuasapaz/publication/370097593_Comparative_study_between_steel_structures_using_restricted_buckling_braces_BRB_and_dissipators_SLB_Estudio_comparativo_entre_estructuras_metalicas_utilizando_riostras_de_p
- Espinosa, J. (2022). Estudio de caso: Edificio de la Universidad Central del Ecuador. *Revista de Ingeniería Estructural*, 10(2), 1-15.

- Espinoza, J. (2022). *Diseño y evaluación de disipadores de energía para edificaciones en zonas sísmicas de Ecuador*.
- Geología Science. (27 de Noviembre de 2023). *GEOLOGYSCIENCE*. Obtenido de GEOLOGYSCIENCE: <https://es.geologyscience.com/Peligros-Naturales/terremotos/ondas-s%C3%ADsmicas/>
- IMCYC. (s.f.). *Construcción y tecnología en concreto*. Recuperado el 29 de Septiembre de 2024, de Construcción y tecnología en concreto: <https://www.imcyc.com/revistacyt/en11/ingenieria.htm>
- INEN. (2020). *Norma INEN 2055: Diseño y construcción de edificaciones sismorresistentes*. Recuperado el 1 de Octubre de 2024, de Norma INEN 2055: Diseño y construcción de edificaciones sismorresistentes.
- INEN. (2022). *Norma INEN 2060: Instalación y mantenimiento de disipadores de energía en edificaciones*. Obtenido de Norma INEN 2060: Instalación y mantenimiento de disipadores de energía en edificaciones.
- Karamodin, I., & Alam, M. (2022). Numerical modeling of seismic response of structures with viscoelastic dampers. *Journal of Earthquake Engineering*, 247-264. Recuperado el Septiembre de 30 de 2024
- Lindeburg, M. R. (2018). *Seismic Design of Buildings*. Belmont, Estados Unidos: Professional Publications. Recuperado el 7 de Octubre de 2024
- Lituma Vicuña, M., & Cañizares Ortega, F. (20 de Diciembre de 2021). Análisis del desempeño de un pórtico de hormigón armado con arriostramiento. *Polo del Conocimiento: Revista científico-profesional*, 6(12). doi:10.23857/pc.v6i12.3430
- Liu, T., & Li, Z. (2022). Experimental investigation on viscoelastic damper for seismic mitigation of building structures. *Journal of Structural Engineering*, 148(4), 0402121.
- Martínez Calzón, J. & (s.f.). *Dispositivos sísmicos*.
- Medina Robalino, C. D., & Núñez Palacios, A. B. (2018). *Diseño por desempeño de un edificio de hormigón armado utilizando el método de análisis tiempo-historia*. Tesis, Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Civil, Ambato. Obtenido de <https://repositorio.uta.edu.ec:8443/handle/123456789/27236>
- Mendoza, J. e. (2012). Diseño sismorresistente de estructuras de hormigón armado. *Revista de Ingeniería Sismológica*, 28(3), 1-15.
- Ministerio de Transporte. (2015). *Norma Ecuatoriana de la Construcción*. Obtenido de NEC-15: https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/04/MTOP_NEC-SE-DS.pdf
- Nakamura, Y. (1989). A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface. En Y. Nakamura. Quarterly Report of RTRI.
- Nakayama, M. (1978). Seismic Energy Dissipation Devices for Buildings. *Journal of Structural Engineering*, 104(9).
- NEC-15. (2023). *NEC-SE-DS Diseño Sismo Resistente*. Quito: Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI) o el organismo que corresponda. Obtenido de

https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/04/MTOP_NEC-SE-DS.pdf

- OCHA. (2016). *Terremoto Reporte de Situación No. 06 (al 24 abril 2016)*. Informe de organización. Recuperado el 29 de Septiembre de 2024, de <https://www.unocha.org/publications/report/ecuador/ecuador-terremoto-reporte-de-situacion-no-06-al-24-abril-2016#:~:text=Se%20reportan%20adem%C3%A1s%2016%2C601%20heridos%20atendidos%2C%2025%2C640%20personas,afectadas%20y%20m%C3%BAltiples%20carreteras%20e%20>
- Oviedo, J. A. (2009). *DISIPADORES HISTERÉTICOS METÁLICOS COMO TÉCNICA DE CONTROL DE RESPUESTA SÍSMICA EN EDIFICACIONES COLOMBIANAS*. Colombia, Medellín. doi:http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-12372009000100005
- Oviedo, J. A., & Duque, M. (2006). Sistemas de control de respuesta sísmica en edificaciones. *Revista EIA*. Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1794-12372006000200010&script=sci_arttext
- Pallares, F. (2008). *Seismic response control of buildings using buckling-restrained braces*. Universidad Politécnica de Cataluña. doi:10.3369/1114-0745.2008.002
- Quinde Martínez, P., & Reinoso Angulo, E. (Junio de 2016). Estudio de peligro sísmico de Ecuador y propuesta de espectros de diseño para la Ciudad de Cuenca. *Estudio de peligro sísmico de Ecuador y propuesta de espectros de diseño para la Ciudad de Cuenca*. Recuperado el 30 de Septiembre de 2024, de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-092X2016000100001
- (1957). *Reglamento de Construcciones para la Ciudad de México*. Ciudad de México: Gobierno del Distrito Federal. Recuperado el 7 de Octubre de 2024
- Rodríguez, J., & al., e. (2022). Evaluación de la efectividad de disipadores de fricción en edificaciones sismorresistentes en Ecuador. *Revista de Ingeniería Sísmica*, 10(1), 1-2. Recuperado el 1 de Octubre de 2024
- Ruiz, C., & Torres, A. (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*. Proyecto de titulación, Ambato, Ecuador. Recuperado el 4 de Octubre de 2024
- Secretaría de Gestión de Riesgos. (13 de Abril de 2016). *Secretaría de Gestión de Riesgos*. Recuperado el 29 de Septiembre de 2024, de Secretaría de Gestión de Riesgos: <https://www.gestionderiesgos.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/05/Informe-de-situacion-C3%B3n-n%C2%B065-especial-16-05-20161.pdf>
- Seismic response reduction of buildings using BRB. (2022). *Journal of Earthquake Engineering*, 26(2), 151-165.
- Soong, T. T., & Dargush, G. F. (1997). *Passive Energy Dissipation Systems in Structural Engineering*. John Wiley & Sons.
- Uriz, P. (2005). *Development of seismic design methodologies for buckling-restrained braced frames*. Universidad de California, Berkeley.

Vargas, C. e. (2022). Análisis de la respuesta sísmica de edificaciones con disipadores de fricción en Ecuador. *Revista de Ingeniería Estructural*, 9(1), 1-20.

Vargas, R. (2017). *Aislamiento sísmico de edificios*.

Wang, Y., & Li, Z. (2020). Fluid viscous damper for seismic protection of structures. *Journal of Vibration and Control*, 26(11), 2111-2124.

Zambrano, A., & al., e. (2020). Estudio de la efectividad de disipadores viscoelásticos en edificaciones sismorresistentes en Ecuador. *Revista de Ingeniería Sismica*, 9(2), 1-18.

Zhang, J., & Li, Z. (s.f.). Seismic performance of building structures with fluid viscous dampers. *Journal of Building Engineering*, 31, 101684.