



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

**SEDE GUAYAQUIL**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**ANÁLISIS DE DESEMPEÑO ESTRUCTURAL EN UNA ESTRUCTURA DE  
HORMIGÓN ARMADO CON SISTEMAS DE DISIPACIÓN SÍSMICA**

Trabajo de titulación previo a la obtención del

Título de Ingeniero Civil

Autores:

MAURO ANDRÉS QUICHIMBO VINCES

ERICK DANILO VALDEZ MOREIRA

Tutor:

ING. KEVIN RICARDO PROAÑO VISCARRA, MSc.

**GUAYAQUIL-ECUADOR**

**2024**

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

Nosotros, Mauro Andrés Quichimbo Vinces con documento de identificación N° 0951756634 y Erick Danilo Valdez Moreira con documento de identificación N° 0940658107, manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos 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, 19 de enero del año 2024

Atentamente,



Mauro Andrés Quichimbo Vinces  
C.I.: 0951756634



Erick Danilo Valdez Moreira  
C.I.: 0940658107

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

Nosotros, Mauro Andrés Quichimbo Vinces con documento de identificación No. 0951756634 y Erick Danilo Valdez Moreira con documento de identificación No. 0940658107 , expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto Técnico: “Análisis De Desempeño Estructural En Una Estructura De Hormigón Armado Con Sistemas De Disipación Sísmica”, 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, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 19 de enero del año 2024

Atentamente,



Mauro Andrés Quichimbo Vinces

C.I.: 0951756634



Erick Danilo Valdez Moreira

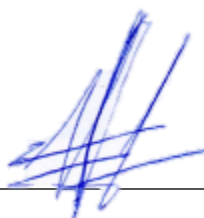
C.I.: 0940658107

## **CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Yo, Kevin Ricardo Proaño Viscarra con documento de identificación N° 1205363326 , docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: “Análisis De Desempeño Estructural En Una Estructura De Hormigón Armado Con Sistemas De Disipación Sísmica” , realizado por Mauro Andrés Quichimbo Vinces con documento de identificación N° 0951756634 y por Erick Danilo Valdez Moreira con documento de identificación N° 0940658107, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 19 de enero del año 2024

Atentamente,



---

Ing. Kevin Ricardo Proaño Viscarra, MSc.

C.I.: 1205363326

## **DEDICATORIA**

Después de todo el trayecto que he realizado a lo largo de mi educación universitaria me he dado cuenta de que en la vida siempre hay algo que aprender. Este momento, se la dedico a las personas quienes han sido parte de todo este proceso, a Dios, a mis Papás (Mauro y Gissela) por el apoyo incondicional y su inmenso aprecio que me tienen espero que se sientan orgullosos de todo el esfuerzo que invirtieron en mí, a mi novia Mirna Murrieta por la inspiración y cariño que me brinda, a mis amigos, familiares, docentes.

Después de años de estudio, se está cada vez más cerca de lograr el paso más importante de mi vida, de lograr el objetivo de ser un Ingeniero Civil, espero poder seguir cumpliendo mis objetivos, poder sobresalir en la vida y lograr convertirme un Ingeniero destacado del País, con la ayuda de Dios.

Espero que esta Tesis sea reconocida por todo el esfuerzo que le he invertido y a las personas que leen esta dedicatoria la vida siempre nos da segundas oportunidades, solo no hay que rendirse y luchar por las metas o sueños que uno tenga y se proponga. Todos podemos destacar en esta vida por difícil que parezca, siempre con Dios e intentar en no dejar los sueños de lado.

**(Mauro Andrés Quichimbo Vincés)**

## **DEDICATORIA**

Yo, Erick Danilo Valdez Moreira nacido el 14 de diciembre de 1999, tras superar una etapa académica de mi vida enriquecida por conocimiento que valoro y me ha servido de guía para crecer académicamente y como persona, este momento se lo dedico a mis amados padres, cuyos corazones han sido mi refugio y guía en toda la vida. Su amor incondicional y sabiduría han sido el faro que ilumina mi camino. Agradezco cada sacrificio, cada sonrisa, y cada lección que han compartido conmigo.

A mis queridos docentes, los cuales me han servido de faros para adquirir conocimiento, inspiración y apoyo. Su dedicación y paciencia han moldeado mi mente y han encendido la chispa del aprendizaje en mi corazón. Cada lección impartida ha sido un regalo invaluable.

A Dios, mi guía celestial, a quien elevo mi gratitud por el regalo de la vida, por la fuerza en tiempos difíciles y por la esperanza que nunca se desvanece. En tu divina sabiduría, encuentro consuelo y dirección.

**(Erick Danilo Valdez Moreira)**

## **AGRADECIMIENTO**

Primero y, ante todo dar gracias a Dios, y expresar mi profunda gratitud a mi tutor de tesis, Kevin Proaño, por su guía, dedicación y apoyo continuo en este proceso. Su experiencia, sabiduría y dedicación ha sido fundamentales para la realización de este trabajo.

También quiero agradecer a los docentes como el Ing. Pedro Peña, Ing. Leonardo Echeverria, Ing. Carlos Martínez, Ing. Rudys Cusme por sus valiosas contribuciones, sugerencias y motivación durante las etapas cruciales de este proyecto.

Mi reconocimiento se extiende a mis padres, y a mi tutor por darme los recursos necesarios para poder realizar esta investigación y por creer en mi capacidad para completar este estudio.

No puedo dejar de mencionar a mis compañeros y amigos, quienes me otorgaron su apoyo moral, comprensión y ánimo en las situaciones más desafiantes. Su compañerismo fue una fuente constante de inspiración y motivación.

Finalmente, dedico este trabajo a mi familia, especialmente a mi padre Mauro y a mi madre Gissela por su incondicional amor, sacrificio y constante guía en este largo de mi educación y carrera académica. Su fe en mí y su aliento fueron el motor que impulsó mi perseverancia y determinación para alcanzar mis objetivos.

**(Mauro Andrés Quichimbo Vines)**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios quien me dio el privilegio y el derecho a venir a este mundo para aportar en este mundo con mis acciones y virtudes adquiridas a lo corta de mi vida. A mis padres quienes me dieron la vida, me guiaron y dieron consuelo en mi trayectoria académica. A mi tutor de tesis el ingeniero Kevin Proaño quien nos ha brindado la paciencia, el conocimiento, y las pautas para poder presentar una tesis digna de dos ingenieros civiles de alto nivel.

Agradezco a mis profesores el ingeniero Rudys Cusme que siempre ha estado para aclarar mis dudas y guiarme en el ámbito académico, al ingeniero Leonardo Echeverría por brindarnos su experiencia y conocimiento a lo largo de este proceso académico.

Este logro no hubiera sido posible sin mis fieles amigas Andrea Ruiz y Mishel Vizuite quienes siempre estuvieron a mi lado durante este trayecto dándonos la mano juntos para avanzar con honestidad, y honor, a mi amigo Mauro Quichimbo con quien he podido realizar este proyecto el cual nos ha costado mucho esfuerzo y del cual estamos orgullosos de poder presentar. Agradezco también a Sergio Castro, Diego Lupercio y Guillermo Chamaidan por su apoyo y compañerismo el cual me ha ayudado a sobrellevar lo difícil que puede llegar a ser la universidad.

**(Erick Danilo Valdez Moreira)**



## RESUMEN

En este trabajo de titulación, nos enfocaremos en analizar el rendimiento de una estructura de hormigón armado equipada con sistemas de disipación sísmica. El objetivo es comprender el comportamiento y la operación de estos sistemas cuando se enfrentan a fuerzas dinámicas generadas por sismos. Se explorará cómo estos elementos de amortiguación pueden eficazmente disipar la energía, evitando así el colapso de la estructura y contribuyendo a prevenir posibles desastres o fallas estructurales. Dentro de esta investigación es identificar la capacidad de una estructura y analizar el comportamiento que estas tienen al momento de utilizar sistemas de amortiguamiento en base a los coeficientes de rigidez, con el uso de software de modelación estructural, poder visualizar el rendimiento de la estructura. Se detallará paso a paso el proceso que se usará para realizar el debido trabajo de titulación con las normas correspondientes, puntualizar la estructura que se va a utilizar y las especificaciones técnicas de los disipadores de energía a utilizar. Seguido se presentará los datos o resultados que se obtuvieron con el programa de elementos finitos ETABS realizando la metodología, y también observar el desempeño de la estructura, con amortiguamiento y sin amortiguamiento para conocer los desplazamientos y el tiempo de vibración que existirá en la estructura. Finalmente, se procederá a realizar conclusiones basadas en las respuestas obtenidas, con el enfoque de garantizar la sostenibilidad de este proyecto. Se pondrá especial énfasis en cumplir con las normativas establecidas y asegurar un rendimiento óptimo de la estructura frente a fuerzas sísmicas.

**Palabras Claves:** Desempeño, Disipación, Fuerzas, Amortiguamiento, Sismos.

## **ABSTRACT**

*In this degree work, we will focus on analyzing the performance of a reinforced concrete structure equipped with seismic dissipation systems. The objective is to understand the behavior and operation of these systems when faced with dynamic forces generated by earthquakes. It will be explored how these damping elements can effectively dissipate energy, thus preventing the collapse of the structure and helping to prevent possible disasters or structural failures.*

*The objective of this research is to identify the capacity of a structure and analyze the behavior they have when using damping systems based on the stiffness coefficients, with the use of structural modeling software, to be able to visualize the performance of the structure.*

*The methodology that will be used to carry out the proper titling work with the corresponding standards will be detailed step by step, specifying the structure that will be used and the technical specifications of the energy dissipators to be used.*

*Next, the data or results obtained with the ETABS finite element program will be presented by carrying out the methodology, and also observe the performance of the structure, with damping and without damping to know the displacements and the vibration time that will exist in the structure. Finally, conclusions will be drawn based on the results obtained, with the aim of guaranteeing the sustainability of this project. Special emphasis will be placed on complying with established regulations and ensuring optimal performance of the structure against seismic forces.*

**Keywords:** *Performance, Dissipation, Forces, Damping, Earthquake.*

## ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	9
<i>ABSTRACT</i> .....	10
CAPITULO I.....	18
1. Introducción .....	18
1.2. Descripción del Problema .....	20
1.3. Justificación del Problema .....	22
1.4. Objetivos .....	25
1.4.1. Objetivo general .....	25
1.4.2. Objetivo Especifico .....	25
1.5. Marco Teórico .....	26
CAPÍTULO II .....	50
2.4.1 Dimensiones Estructurales .....	55
2.4.2 Propiedad Estructural De Los Materiales .....	57
2.4.2.1 Concreto.....	57
2.4.2.2 Barras de acero reforzadas .....	57
2.4.2.3 Resistencia eficaz para el sistema de pórticos.....	58
2.5.2 Combinaciones de carga.....	63
2.5.3 Espectro de respuesta de diseño .....	63
2.5.4 Coeficientes de reducción del diseño .....	65
2.6 Análisis Dinámico Con Disipadores BRB.....	68

2.6.1 Diseño Preliminar De Disipadores BRB .....	68
2.6.1.1 Características de los materiales.....	69
2.6.2 Factor De Modelación.....	69
2.6.2.1 Factor basado en la resistencia.....	69
2.6.2.2 Factor de reducción de resistencia .....	69
2.6.3 Distorsión generada en el núcleo .....	69
2.6.5 Resistencia generada en las conexiones.....	71
2.6.6 Límite Máximo del BRB.....	73
2.6.7 Colocación de los disipadores en la estructura .....	74
2.6.8 Cambio Proporcional Del BRB .....	75
2.6.9 Estándares De Rendimiento Del BRB.....	75
2.7 Resultados estructurales .....	89
CAPITULO III .....	92
3. Análisis y Resultados .....	92
CAPÍTULO IV .....	97
CAPÍTULO V .....	99
ANEXOS.....	100
BIBLIOGRAFÍA.....	114

## ÍNDICE DE IMÁGENES

CAPITULO I.....	18
Figura 1.1.....	18
Figura 1.2.....	19
Figura 1.3.....	20
Figura 1.4.....	21
Figura 1.5.....	24
Figura 1.6.....	31
Figura 1.7.....	32
Figura 1.8.....	34
Figura 1.9.....	36
Figura 1.10.....	36
Figura 1.11.....	37
Figura 1.12.....	38
Figura 1.13.....	38
Figura 1.14.....	39
Figura 1.15.....	40
Figura 1.16.....	40
Figura 1.17.....	41
Figura 1.18.....	42
Figura 1.19.....	43

Figura 1.20.....	44
Figura 1.21.....	44
Figura 1.22.....	45
Figura 1.23.....	46
Figura 1.24.....	49
<b>CAPÍTULO II .....</b>	<b>50</b>
Figura 2.2.....	52
Figura 2.3.....	52
Figura 2.3.....	53
Figura 2.6.....	58
Figura 2.7.....	59
Figura 2.8.....	60
Figura 2.8.....	62
Figura 2.9.....	64
Figura 2.10.....	66
Figura 2.11.....	67
Figura 2.12.....	68
Figura 2.13.....	72
Figura 2.17.....	76
Figura 2.18.....	77
Figura 2.19.....	77

Figura 2.20.....	78
Figura 2.21.....	79
Figura 2.22.....	80
Figura 2.23.....	81
Figura 2.24.....	81
Figura 2.25.....	82
Figura 2.26.....	83
Figura 2.28.....	84
Figura 2.29.....	85
Figura 2.30.....	85
Figura 2.31.....	86
Figura 2.32.....	87
Figura 2.33.....	87
Figura 2.34.....	90
Figura 2.35.....	90
Figura 2.36.....	90
CAPITULO III.....	92
ANEXOS.....	100
Imagen de la ubicación.....	102
Plano de cortes Arquitectonico.....	103
BIBLIOGRAFÍA.....	114

## ÍNDICE DE TABLAS

CAPITULO I.....	18
Tabla 1.1 .....	22
CAPÍTULO II .....	50
Tabla 2.2 .....	58
Tabla 2.3 .....	61
Tabla 2.4 .....	61
Tabla 2.8 .....	63
Tabla 2.6 .....	64
Tabla 2.7 .....	65
Tabla 2.8 .....	69
Tabla 2.9 .....	70
Tabla 2.10 .....	71
Tabla 2.11 .....	72
Tabla 2.12 .....	73
Tabla 2.13 .....	73
Tabla 2.14 .....	76
Tabla 2.15 .....	88
Figura 2.16.....	89
CAPITULO III .....	92
CAPÍTULO IV .....	97



CAPÍTULO V .....	99
ANEXOS.....	100
Tabla de datos BRB .....	100
Tabla de datos del tipo de brb.....	100
Tabla de desplazamiento de la estructura .....	100
Tabla de altura, y peso de la estructura .....	100
Tabla de numero de disipadores .....	101
Tabla de dimensiones del núcleo.....	101
Tabla de rigidez del núcleo.....	101
Tabla de desplazamiento del disipador.....	101
Tabla datos de deriva con disipadores y deriva objetivo.....	102
BIBLIOGRAFÍA.....	114

# CAPITULO I

## 1. Introducción

La creciente necesidad de garantizar la seguridad estructural de edificaciones en zonas sísmicas ha impulsado la investigación y desarrollo de tecnologías innovadoras para mejorar el comportamiento ante eventos sísmicos. Entre estas tecnologías, los sistemas de disipación sísmica en estructuras de hormigón armado han emergido como una solución efectiva para mitigar los efectos devastadores de los sismos. Este análisis se enfoca en la evaluación del rendimiento estructural de una edificación de concreto reforzado equipada con sistemas de disipación sísmica.

La estructura de hormigón armado, debido a su amplia adopción en la construcción, constituye un escenario esencial para la implementación de estrategias que mejoren su capacidad de resistir fuerzas sísmicas. La disipación sísmica, a través de dispositivos como amortiguadores y aisladores, busca reducir la energía transmitida a la estructura durante un sismo, minimizando así los daños y mejorando la seguridad.

### Figura 1.1

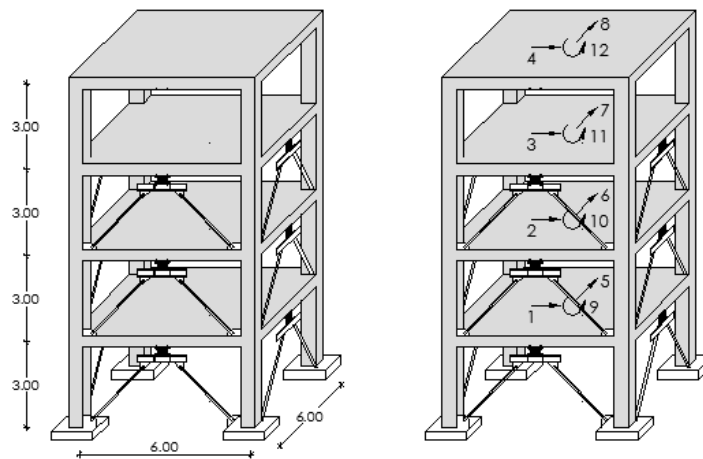
*Estructuras colapsadas por sismos en el Ecuador*



Este estudio se propone abordar diversas dimensiones del análisis de desempeño estructural, desde la caracterización del comportamiento del material hasta la evaluación detallada de los sistemas de disipación sísmica implementados. Se explorarán aspectos teóricos y prácticos, considerando la respuesta dinámica de la estructura en distintos eventos sísmicos y variaciones en las propiedades de los dispositivos de disipación.

**Figura 1.2**

*Estructura porticada con disipadores sísmicos*



La introducción de sistemas de disipación sísmica en estructuras de hormigón armado plantea interrogantes fundamentales sobre la eficacia de estos sistemas en situaciones reales. Se busca no solo comprender el comportamiento estructural mejorado gracias a la disipación sísmica, sino también evaluar la rentabilidad de estas soluciones en términos de costos y beneficios. Este análisis integral contribuirá al avance del conocimiento en el diseño sísmico de edificaciones, proporcionando información valiosa para ingenieros, arquitectos.

En resumen, este estudio se sumerge en la investigación del análisis de desempeño estructural de un hotel de concreto reforzado, enriquecida con sistemas de disipación sísmica. La comprensión profunda de las interacciones dinámicas y los efectos de estas tecnologías

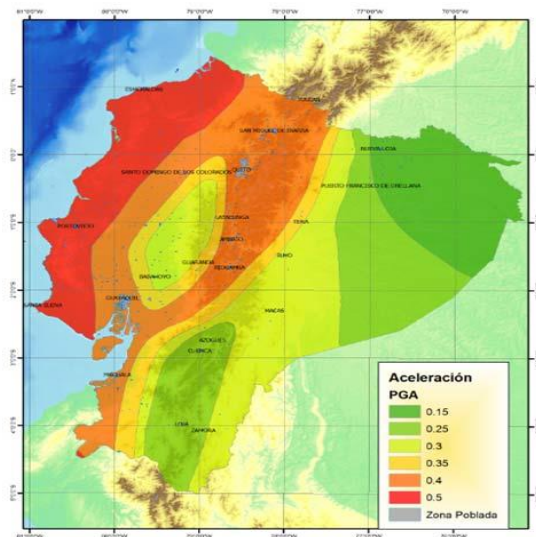
permitirá una implementación más efectiva en futuros proyectos, fortaleciendo la resiliencia de las estructuras frente a eventos sísmicos.

## 1.2. Descripción del Problema

En la última década se han presentado sismos con magnitudes elevadas lo que provocó desastres estructurales. Los sismos, o terremotos, pueden ocasionar una serie de problemas en el Ecuador, un país que se halla ubicado en un sector altamente sísmica relacionado a su ubicación con el Cinturón de Fuego del Pacífico.

**Figura 1.3**

*Zonificación sísmica del Ecuador*



Los sismos pueden causar daños significativos en edificaciones, puentes, carreteras y otras infraestructuras. Estos desastres estructurales producidos por los sismos pueden causar pérdidas humanas y lesiones graves, dependiendo de la magnitud y la profundidad del terremoto, las víctimas pueden ser numerosas, especialmente si el evento ocurre en áreas densamente pobladas o con construcciones precarias.

Lo que produce que las personas se desplacen de sus hogares debido a la destrucción de viviendas o el temor a réplicas y nuevos eventos sísmicos. Esto genera una crisis humanitaria y

requiere respuestas inmediatas por parte de las autoridades y organizaciones internacionales. Estas catástrofes estructurales dejan un inconveniente significativo en la economía de Ecuador, afectando áreas como el turismo, la agricultura, la industria y el comercio. La destrucción de infraestructuras y la interrupción de actividades económicas pueden generar pérdidas millonarias.

**Figura 1.4**

*Daños estructurales producido por fenómenos sísmicos en Manabí*



Para enfrentar estos problemas, en el Ecuador se han implementado diversas medidas para prevenir, para poder tener una preparación y respuesta ante sismos, incluyendo la mejora de códigos de construcción, la implementación de simulacros de evacuación, la capacitación de personal en respuesta ante emergencias y la sensibilización pública sobre la importancia de la preparación para desastres naturales.

Sin embargo, la vulnerabilidad sísmica sigue siendo un desafío importante para el país. Se plantea como problema la funcionalidad y cuando se usan los métodos de disipación de energía en las estructuras, los tipos de disipadores de energía, cómo implementar este estudio para reducir de forma notoria el daño que pueden sufrir los componentes estructurales de la edificación por fuerzas dinámicas.

Y también conocer cuáles son los beneficios y desventajas al usar disipadores de energía. En la cual se realizará mediante la observación de los datos obtenidos por medio de software estructurales y conocer cómo influyen en las estructuras.

### 1.3. Justificación del Problema

Se implementa este estudio debido a que mediante datos estadísticos se prevé que el periodo de retorno de los sismos sea muy concurrido y que se lleguen producir sismos de altas magnitudes lo que perjudique de forma considerable a las edificaciones en el Ecuador, con la implementación de los disipadores de energía se permitirá evitar el daño y la reducción de impacto que ocasionan estas cargas sísmicas.

**Tabla 1.1**

*Cantidad de sismos registrados mundialmente*

Números de terremotos mundialmente entre el 2011–2020 (10 años).<sup>1</sup>

Rango de la magnitud	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
8.0–9.9	1	2	2	1	1	0	1	1	1	0	4
7.0–7.9	19	15	36	11	18	16	6	16	9	9	6
6.0–6.9	204	129	125	140	124	128	106	117	133	112	28
5.0–5.9	2271	1412	1402	1475	1413	1502	1451	1675	1489	1316	406
4.0–4.9	13 303	10 990	9 795	13 494	13 239	12 771	11 296	12 777	11 337	12 329	1904
<b>Total</b>	<b>15 798</b>	<b>12 548</b>	<b>11 341</b>	<b>15 121</b>	<b>14 795</b>	<b>14 420</b>	<b>12 860</b>	<b>14 586</b>	<b>12 973</b>	<b>13 768</b>	<b>2345</b>

En este estudio se presentará el análisis de diferentes mecanismos sismo-resistentes y el modelado bajo programas especializados en estructuras, por medio de la comparación en los resultados del modelo, para evaluar mediante modelos de disipación viscoelástica, durante un evento sísmico, y como es el funcionamiento de estos sistemas en las estructuras, que existen en otras partes del mundo.

Es importante conocer que los diseños sismorresistentes nos ayudan a preservar varios aspectos fundamentales que abogan por la seguridad, economía y la sostenibilidad en el diseño y construcción de estructuras, tales como:

Amenaza sísmica. En regiones propensas a actividad sísmica, las estructuras están constantemente expuestas a fuerzas considerables durante un terremoto. Comprender el desempeño estructural de una edificación es crucial para evaluar y mitigar los riesgos asociados con eventos sísmicos.

Protección de vidas humanas. La seguridad de las personas que ocupan o trabajan en edificaciones es una prioridad primordial. El análisis de desempeño estructural permite diseñar estructuras que minimizan el riesgo de colapso durante un terremoto, reduciendo así la posibilidad de lesiones o pérdidas humanas.

Preservación del patrimonio construido. En muchas ocasiones, las estructuras representan un valioso patrimonio cultural o histórico. Entender y mejorar el desempeño sísmico de estas edificaciones contribuye a la preservación de la herencia arquitectónica y reduce las posibles pérdidas irreparables.

Impacto económico. Los daños estructurales a raíz de un terremoto pueden tener consecuencias económicas significativas. El análisis de desempeño estructural permite diseñar estructuras que minimizan los costos de reparación y reconstrucción, así como los posibles períodos de inactividad económica asociados con la pérdida de infraestructuras críticas. Sostenibilidad y eficiencia de recursos.

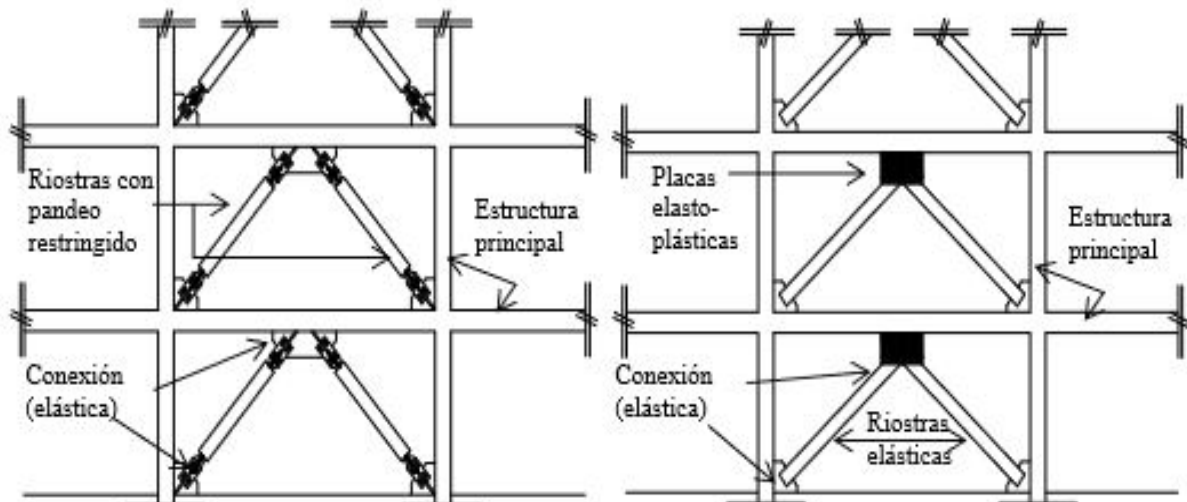
Diseñar estructuras que sean capaces de resistir sismos no solo implica seguridad, sino también eficiencia en el uso de recursos. La incorporación de sistemas de disipación sísmica puede resultar en estructuras más ligeras y eficientes desde el punto de vista del material, reduciendo así el impacto ambiental asociado con la construcción. Avances tecnológicos y mejores prácticas.

El análisis de desempeño estructural en estructuras de hormigón armado con sistemas de disipación sísmica refleja la aplicación de avances tecnológicos y mejores prácticas en

ingeniería estructural. Mantenerse actualizado en estas áreas garantiza la implementación de las soluciones más efectivas y avanzadas.

**Figura 1.5**

*Esquema de instalación directa de disipadores histéricos*



Normativas y códigos de construcción. La comprensión del análisis de desempeño estructural es esencial para el desarrollo y la actualización de normativas y códigos de construcción. Estas regulaciones guían a los profesionales de la ingeniería y la construcción en la implementación de prácticas seguras y eficientes.

Aplicar el análisis de desempeño estructural en estructuras de hormigón armado con sistemas de disipación sísmica es fundamental para garantizar la seguridad, la sostenibilidad y la resiliencia de las edificaciones en áreas sísmicas, contribuyendo así al bienestar de las comunidades y a la preservación del entorno construido.



## **1.4. Objetivos**

### ***1.4.1. Objetivo general***

Analizar una estructura de hormigón armado con disipadores sísmicos en la ciudad de Loja, mediante el uso de programas de elementos finitos, para indicar si la estructura está en la capacidad de disipar la energía generada por sismos.

### ***1.4.2. Objetivo Especifico***

1. Realizar una revisión de la literatura especializada en disipadores sísmicos, utilizando fuentes científicas, que fundamenten de manera sólida, y respalde el desarrollo del análisis estructural.
2. Analizar el comportamiento dinámico de la estructura mediante el empleo de software de modelación estructural estableciendo si cumple los requisitos mínimos por la NEC-2015.
3. Evaluar la eficacia de los disipadores BRB en un hotel de 3 niveles, a través de un análisis de tiempo-historia, mediante los sismos ocurridos entre la Frontera de Colombia-Ecuador (1906) de magnitud 8.8, y el sismo de Pedernales (2016) de magnitud 7.7, para establecer el desempeño de esta estructura ante eventos sísmicos.
4. Examinar la diferencia en el desempeño estructural entre una edificación tradicional y una equipada con disipadores sísmicos a través de un análisis comparativo.

## **1.5.Marco Teórico**

### **1.5.1. *Origen del diseño sismorresistente***

El diseño sismorresistente tiene su origen en la necesidad de proteger las estructuras y, por ende, a las personas que las ocupan, de los devastadores efectos de los terremotos. A lo largo de la historia, las comunidades han experimentado numerosas tragedias debido a la incapacidad de las edificaciones para resistir la fuerza de los sismos. Esto llevó a la realización de investigaciones científicas y técnicas para entender mejor el comportamiento de las estructuras ante los movimientos telúricos.

Uno de los hitos en el desarrollo del diseño sismorresistente fue el terremoto de 1906 en San Francisco, que evidenció la necesidad de implementar medidas de protección en las construcciones. A raíz de este evento, se comenzaron a estudiar los efectos sísmicos en las estructuras y se buscaron formas de mitigarlos.

En la década de 1960, se estableció una base más sólida para el diseño sismorresistente con la introducción de códigos y normativas específicas. Uno de los primeros códigos significativos fue el "Reglamento de Construcciones para la Ciudad de México", publicado en 1957 después del terremoto de 1957 en México. Este reglamento estableció requisitos mínimos para el diseño sísmico de edificaciones en la región.

Posteriormente, en la década de 1970, se produjo un descubrimiento significativo con el desarrollo del concepto de "respuesta sísmica" y la introducción de métodos de análisis dinámico para evaluar el comportamiento de las estructuras durante un terremoto.

Hoy en día, el diseño sismorresistente se basa en una combinación de investigación científica, avances tecnológicos y normativas específicas que buscan garantizar la seguridad de las edificaciones ante eventos sísmicos. Esto incluye el uso de materiales adecuados, técnicas

de construcción apropiadas y la implementación de sistemas de disipación de energía, como los disipadores sísmicos, para mejorar la capacidad de resistencia de las estructuras.

En resumen, el diseño sismorresistente ha evolucionado a lo largo del tiempo en respuesta a la necesidad de proteger las edificaciones y sus ocupantes de los efectos devastadores de los terremotos, basándose en la investigación científica y en la implementación de normativas y tecnologías específicas.

### ***1.5.2. Origen de los disipadores sísmicos***

Los disipadores sísmicos son dispositivos diseñados para reducir las fuerzas y deformaciones en las estructuras durante un terremoto. Su origen se remonta a la necesidad de encontrar formas eficaces de proteger las edificaciones contra los efectos devastadores de los sismos.

En la década de 1970, el ingeniero japonés Dr. Mikiyasu Nakayama fue pionero en el desarrollo de lo que hoy conocemos como disipadores sísmicos. Su trabajo fue fundamental para comprender mejor cómo las estructuras podían absorber y disipar la energía generada por los movimientos sísmicos, en lugar de simplemente resistirla.

Nakayama propuso la idea de usar dispositivos que absorbieran la energía sísmica, reduciendo así la carga sobre la estructura principal. Este concepto marcó el inicio de los disipadores sísmicos modernos. A partir de entonces, se han desarrollado y refinado diferentes tipos de disipadores sísmicos, como los disipadores de fricción, los amortiguadores de fluido viscoso y los disipadores de masa sintonizada, entre otros.

Estos dispositivos se han convertido en elementos clave en el diseño de estructuras sismorresistentes en todo el mundo, proporcionando una mayor seguridad y protección contra los efectos de los terremotos. Su desarrollo continuo y su aplicación en la ingeniería estructural han contribuido significativamente a la reducción de los riesgos sísmicos y a la protección de vidas y propiedades.

### ***1.5.3. Diseño sismorresistente***

Los terremotos son eventos naturales que pueden causar daños severos a las estructuras. El diseño sísmico de estructuras busca minimizar estos daños, asegurando que la estructura pueda resistir un sismo sin colapsar y manteniendo su funcionalidad.

En los últimos años, se ha desarrollado un enfoque de diseño conocido como diseño por desempeño, que busca garantizar que una estructura cumpla con ciertos objetivos de desempeño durante un sismo. Estos objetivos de desempeño pueden incluir la seguridad de vida, la funcionalidad, la subsanable y la capacidad de recuperación económica.

Los sistemas de disipación sísmica son dispositivos que se pueden incorporar a una estructura para mejorar su desempeño sísmico. Estos sistemas disipan la energía del sismo, lo que reduce las fuerzas que se transmiten a la estructura.

### ***1.5.4. Objetivos de desempeño***

El objetivo principal del diseño sísmico es garantizar la seguridad de vida de las personas que se encuentran dentro de una estructura durante un sismo. Esto significa que la estructura debe resistir el sismo sin colapsar, lo que provocaría la muerte o lesiones de los ocupantes.

Otro objetivo importante del diseño sísmico es garantizar la funcionalidad de la estructura después de un sismo. Esto significa que la estructura debe poder seguir cumpliendo su función después de un evento sísmico, incluso si sufre algún daño.

Los objetivos de desempeño adicionales que se pueden considerar incluyen la subsanable y la capacidad de recuperación económica. La subsanable se refiere a la capacidad de la estructura de ser reparada después de un sismo. La capacidad de recuperación económica se refiere a la capacidad de la estructura de ser reconstruida o reemplazada después de un sismo.

### **1.5.5. *Sistemas de disipación sísmica***

Los sistemas de disipación sísmica se pueden clasificar en dos categorías principales: sistemas de disipación de energía pasiva y sistemas de disipación de energía activa.

Sistemas de disipación de energía pasiva son dispositivos que disipan la energía del sismo sin necesidad de energía externa. Estos sistemas incluyen elementos como:

- Disipadores de energía viscoelásticos (EDV): estos sistemas disipan la energía del sismo a través de la fluencia viscoelástica.
- Disipadores de energía de fricción (EDF): estos sistemas disipan la energía del sismo a través de la fricción entre dos superficies.
- Disipadores de energía de histéresis (EDH): estos sistemas disipan la energía del sismo a través de la histéresis de un material.
- Disipadores de energía de fricción e histéresis (EDFH): estos sistemas combinan los mecanismos de disipación de energía de fricción e histéresis.
- Sistemas de disipación de energía activa son dispositivos que disipan la energía del sismo mediante la aplicación de energía externa. Estos sistemas incluyen elementos como:
  - Amortiguadores hidráulicos: estos sistemas disipan la energía del sismo a través de la fricción entre un fluido y un pistón.
  - Amortiguadores neumáticos: estos sistemas disipan la energía del sismo a través de la fricción entre un gas y un pistón.
  - Amortiguadores electromagnéticos: estos sistemas disipan la energía del sismo a través de la fricción entre un campo magnético y un rotor.

### **1.5.6. Análisis de desempeño estructural**

El análisis de desempeño estructural es un proceso que se utiliza para evaluar el desempeño de una estructura durante un sismo. Este proceso se basa en la definición de objetivos de desempeño para la estructura y en la selección de un método de análisis que permita evaluar la capacidad de la estructura para cumplir con estos objetivos.

Los métodos de análisis de desempeño estructural se pueden clasificar en dos categorías principales: métodos de análisis estático no lineal (NSL) y métodos de análisis dinámico no lineal (NLD).

Métodos de análisis NSL se utilizan para evaluar el desempeño de una estructura frente a un sismo de intensidad constante. Estos métodos analizan la estructura como un sistema lineal hasta que se alcanza la condición de colapso.

Métodos de análisis NLD se utilizan para evaluar el desempeño de una estructura frente a un sismo de intensidad variable. Estos métodos permiten que la estructura se comporte de manera no lineal, lo que permite que la estructura disipe energía y resista el sismo sin colapsar.

### **1.5.7. Sistemas Elástico-Lineales**

Tanto las deformaciones pequeñas como las grandes están influenciadas por la relación lineal entre la fuerza lateral  $f_s$  y la deformación resultante  $u$ , considerando también la rigidez lateral del sistema  $k$ . Al explorar esta relación, se observa que las curvas de carga y descarga son exactamente las mismas.

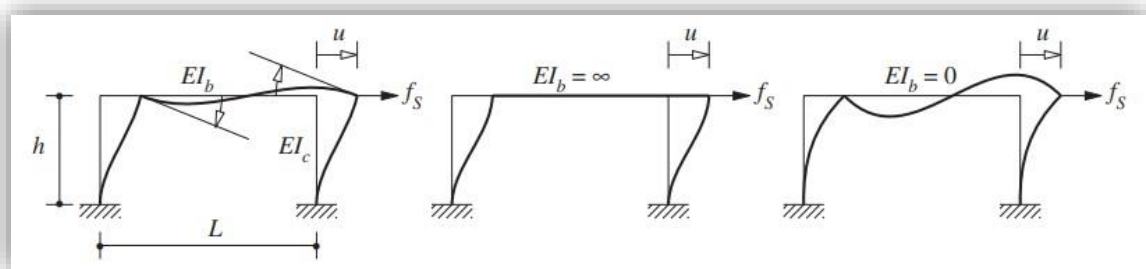
$$f_s = ku$$

La rigidez lateral del marco con un valor intermedio de la rigidez de la viga más realista puede calcularse mediante los procedimientos estándar del análisis estructural estático.

La matriz de rigidez del marco se formula con respecto a tres GDL: el desplazamiento lateral  $u$  y las rotaciones de los dos nudos viga-columna. La relación fuerza lateral desplazamiento de la ecuación se determina por condensación estática o por eliminación de los GDL de rotación. (Chopra, 2014)

**Figura 1.6**

*Desplazamientos y rotaciones de los nudos viga-columna*



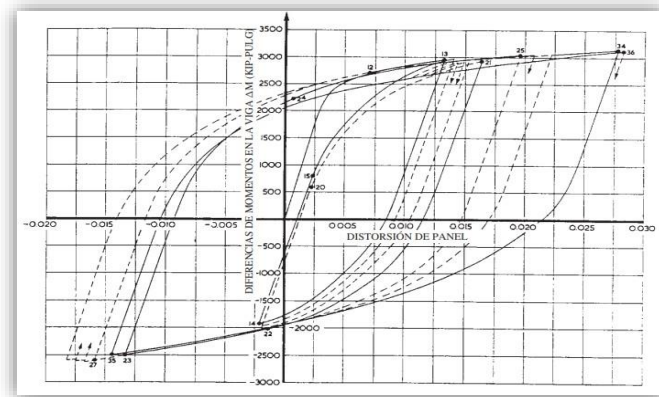
### 1.5.8. Sistemas Inelásticos

La fuerza restauradora se deriva de la deformación y se muestra en una relación experimental de curva entre fuerza y deformación de una estructura de acero bajo sismo. Se observa que la curva inicial de carga no sigue una línea recta en términos de deformación, y las curvas de descarga también muestran esta no linealidad. Esto indica que la relación entre fuerza y deformación varía según si la deformación aumenta o disminuye.

$$f_s = f_s(u)$$

**Figura 1.7**

*Relación fuerza - deformación de una estructura de acero*



Se emplean métodos de análisis estructural estático no lineal para obtener datos sobre la relación entre fuerza y deformación que se produce en el rango inelástico. Al analizar una estructura de acero utilizando un modelo constitutivo de esfuerzo-deformación asumido, el análisis registra el inicio y la propagación de la fluencia en ubicaciones críticas, así como la formación de articulaciones plásticas para obtener la curva de carga inicial.

Las curvas de descarga y recarga pueden calcularse de manera similar o es posible definir las a partir de la curva de carga inicial con las hipótesis existentes. Otro enfoque es definir la relación inelástica de fuerza-deformación como una versión idealizada de los datos experimentales. (Chopra, 2014)

### ***1.5.9. Fuerza de amortiguamiento***

La vibración que se genera durante el movimiento de una estructura crea diversas energías que al momento en el que el amortiguamiento actúa, estos van disminuyendo y esta energía que se produce se disipa por diversos mecanismos y con frecuencias.



En estructuras reales existen mecanismos para poder determinar la disipación de energía ya que con el efecto térmico de esfuerzo elástico y la fricción interna que se producen cuando un sólido se deforma, es imposible describir dichos mecanismos.

Por lo tanto, para recopilar datos sobre la disipación de energía en estructuras reales, se utiliza el concepto de amortiguamiento viscoso equivalente, el cual es una aproximación simplificada pero útil. Esta técnica implica seleccionar un coeficiente de amortiguamiento de tal manera que la energía disipada sea similar a la energía disipada en todos los mecanismos de amortiguamiento combinados presentes en la estructura real.

El amortiguamiento viscoso equivalente se puede dar de forma en la que la fuerza  $f_D$  va en dirección de  $u$ .

Así como el amortiguador es igual y opuesta a la fuerza externa  $f_D$ , y en como la fuerza de amortiguamiento de este se relaciona con la velocidad  $u$  a través del amortiguador viscoso lineal, donde la constante  $c$  es el coeficiente de amortiguamiento viscoso. (Chopra, 2014)

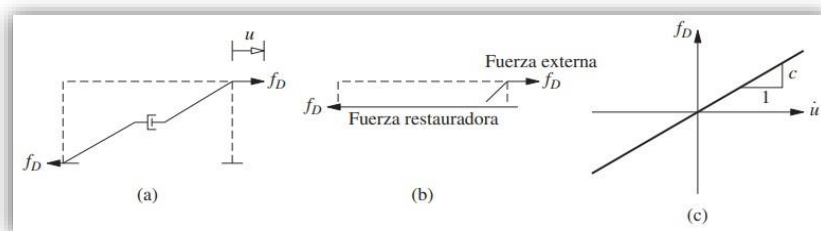
$$f_D = c * \dot{u} \left( \text{fuerza} * \frac{\text{tiempo}}{\text{longitud}} \right)$$

Anteriormente dicho el coeficiente de amortiguamiento, así como los diferentes mecanismos que se generan en la disipación de energía de las vibraciones en las estructuras reales no se podrán calcular a partir de las dimensiones de la estructura, ni de los tamaños de los elementos estructurales.

El coeficiente de amortiguamiento  $c$  varía con la amplitud de la deformación y con esto el amortiguador viscoso modela la disipación de energía dentro de un límite elástico lineal en toda la estructura.

**Figura 1.8**

*Amortiguamiento Viscoso equivalente sometido a diferentes fuerzas*



### **1.5.10. Amortiguamiento**

La amortiguación es un concepto importante en la disipación de energía. Esto se refiere a la capacidad de un sistema estructural para disipar energía y reducir la amplitud de las vibraciones.

Existen diferentes tipos de este, incluido el amortiguamiento viscoso y visco elástico, amortiguadores metálicos histéricos y amortiguadores de fricción, que se relaciona con la resistencia al movimiento relativo de partes de una estructura.

### **1.5.11. Ecuación de Movimiento: Fuerza Externa**

Se presentará como el amortiguamiento viscoso equivalente está sometido a fuerzas dinámicas  $p(t)$  indicando que la fuerza  $p$  varía con el tiempo  $t$ , así también se obtiene la

ecuación que controla el desplazamiento resultante  $u(t)$ , mediante los métodos que se verán a continuación:

### ***1.5.12. Uso de la Segunda Ley de Movimiento de Newton***

La fuerza externa  $p(t)$ , la fuerza restauradora elástica  $f_s$  y la fuerza de amortiguamiento  $f_D$  son fuerzas que actúan sobre la masa de la estructura durante un período de tiempo específico. Observamos en la representación que el desplazamiento  $u(t)$ , la velocidad  $u'(t)$  y la aceleración  $u''(t)$ , así como la fuerza externa  $p(t)$ , son positivos en la dirección del eje x. Por otro lado, las fuerzas internas, como las fuerzas elásticas y de amortiguamiento, están en dirección opuesta, ya que contrarrestan la deformación y la velocidad. A partir de la segunda ley de Newton, se deduce que:

$$p - f_s - f_D = m\ddot{u} \quad \text{o} \quad m\ddot{u} + f_D + f_s = p(t)$$

Ahora se sustituyen las ecuaciones de sistemas elástico lineal ( $f_s = ku$ ) y el amortiguador viscoso equivalente ( $f_D = c \cdot \dot{u}$ ), y la ecuación se convierte en:

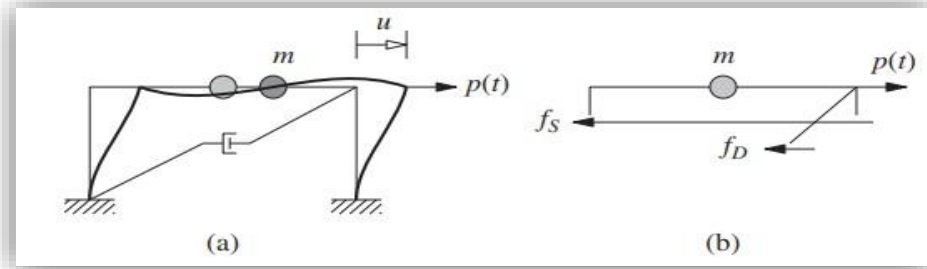
$$m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = p(t)$$

Esta expresión de movimiento regula la deformación o el desplazamiento  $u(t)$  de la estructura bajo la influencia de una fuerza externa dinámica  $p(t)$ . En lugar de la ecuación previa, se sustituye con la ecuación del sistema inelástico ( $f_s = f_s(u)$ ), lo que resulta en la siguiente expresión de movimiento:

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + f_s(u) = p(t)$$

**Figura 1.9**

*Fuerzas externas que actúan sobre la masa*



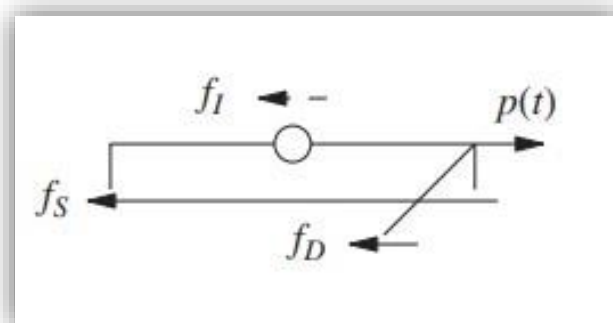
### 1.5.13. Equilibrio Dinámico

Según el principio de equilibrio dinámico de D'Alembert, la fuerza inercial ficticia es igual al producto de la masa por su aceleración, y estas actúan en dirección opuesta. Esto implica que las fuerzas de inercia se mantienen en equilibrio durante un período determinado.

A continuación, se muestra el diagrama de cuerpo libre en el momento  $t$ , donde la fuerza de inercia se representa con una línea discontinua para diferenciarla de las fuerzas reales.

**Figura 1.10**

*Fuerza inercial ficticia que es igual a la masa.*



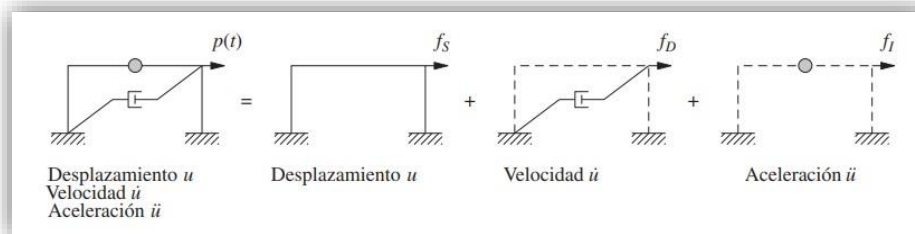
### 1.5.14. Componentes de rigidez, amortiguamiento y masa

Describir el desplazamiento  $u(t)$ , la velocidad  $\dot{u}(t)$  y la aceleración  $\ddot{u}(t)$  bajo la influencia de la fuerza externa  $p(t)$ , se pueden visualizar sistemas que combinan tres componentes puros:

- El componente de rigidez, representado por un marco sin amortiguamiento o masa.
- El componente de amortiguamiento, representado por un marco con sus propiedades de amortiguamiento, pero sin rigidez o masa.
- El componente de masa, representado por la masa del techo sin la rigidez o amortiguamiento del marco.

**Figura 1.11**

*Combinaciones de los componentes con la fuerza externa*



La fuerza externa  $f_s$  sobre el componente de rigidez se relaciona con el desplazamiento  $u$  por medio de la ecuación del sistema elástico lineal, la fuerza externa  $f_D$  sobre el componente de amortiguamiento se relaciona con la velocidad  $\dot{u}(t)$  mediante la ecuación del amortiguamiento viscoso lineal, y la fuerza externa  $f_l$  sobre el componente de masa se relaciona con la aceleración por medio de  $f_l = m\ddot{u}$ . Por lo tanto, la fuerza aplicada puede visualizarse como distribuida entre los tres componentes de la estructura, y  $f_s + f_D + f_l$  debe ser igual a la fuerza aplicada  $p(t)$ . (Chopra, 2014).

### ***1.5.15. Análisis Sísmico de Edificaciones con Disipadores de Energía***

### ***1.5.16. Diseño de Dispositivos Pasivos de Disipación de Energía***

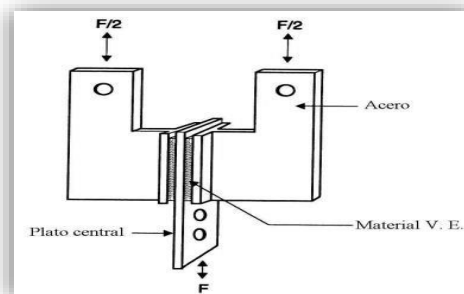
### ***1.5.17. Disipadores Viscoelásticos Sólidos***

Los disipadores funcionan al disipar energía cuando experimentan deformación por corte, generalmente están hechos de polímeros o sustancias similares. Un ejemplo típico de disipador viscoelástico consiste en capas de material viscoelástico entre placas de acero.

Cuando son montadas en una estructura, la deformación por corte y por consiguiente la disipación de energía ocurre cuando la vibración estructural induce el movimiento relativo entre las láminas de acero exteriores y el plato central. (Villarreal, 2009).

**Figura 1.12**

*Configuración Típica de un disipador visco elástico solido*



**Figura 1.13**

*Disipador visco elástico solido empleado en una estructura*



Esto depende de la frecuencia de vibración, el nivel de deformación y la temperatura a la cual se encuentra el ambiente, con esto los materiales visco elásticos bajo la carga dinámica actúan.

#### ***1.5.17.1.1. Disipadores Visco elásticos de Fluido***

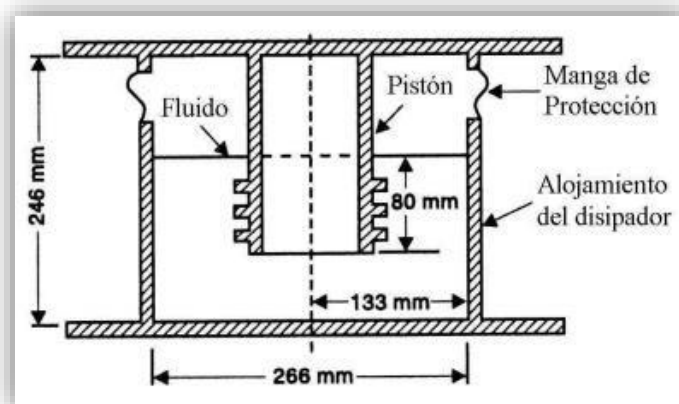
Estos disipadores obtienen el nivel deseado de control pasivo, lo que significa que también ayudan a mejorar el desempeño de la estructura en sus diversas acciones. Esta disipación está relacionada con la energía mecánica y el calor.

Se puede observar que el disipador esta aplicado como componente en los sistemas de aislamiento de base.

Estos también pueden agregarse a estructuras masivas, ya sea como una alternativa más efectiva, donde se involucra el concepto de diseño del desarrollo del muro de amortiguamiento viscoso.

**Figura 1.14**

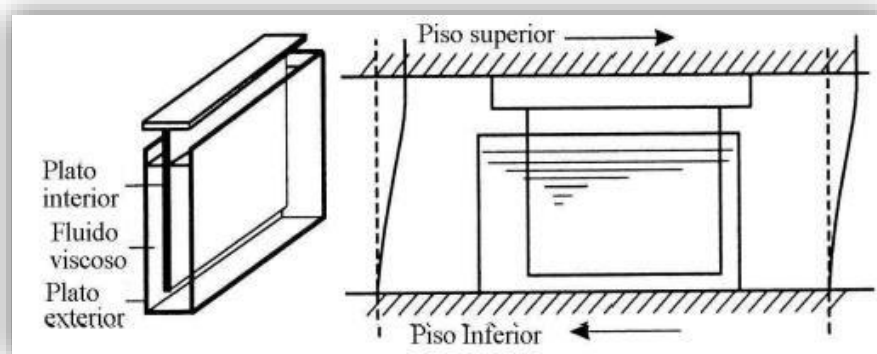
*Disipador Cilíndrico de fluido*



En este diseño, el pistón es simplemente un plato de acero fijado para moverse solo en su plano con un estrecho contenedor de acero lleno de un fluido viscoso. Para instalaciones típicas en pórticos, el pistón es fijado el piso superior, mientras que el contenedor es fijado al piso inferior. El movimiento relativo de entrepiso desplaza el fluido y provee disipación de energía. (Villarreal, 2009).

**Figura 1.15**

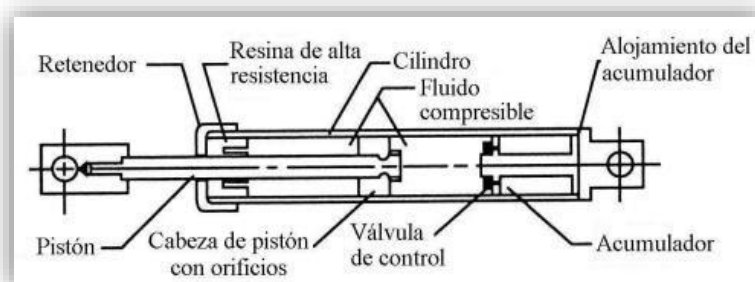
*Muro de Amortiguamiento Viscoso*



Este tipo de disipador incorpora un aceite de silicona compresible, el cual se desplaza mediante la acción de un pistón de acero equipado con una cabeza de bronce. Esta cabeza está diseñada con un orificio de control fluido para regular el flujo del aceite.

**Figura 1.16**

*Disipador de Fluido con Orificios*





Mientras que la construcción de un disipador viscoelástico fluido varía considerablemente uno de cada otro y del disipador visco elástico sólido, los modelos matemáticos fuerza- desplazamiento tienen una forma similar. En general, ambos dispositivos son dependientes de la frecuencia y la temperatura, y en algunos casos la dependencia en la amplitud es también evidente. (Villarreal, 2009).

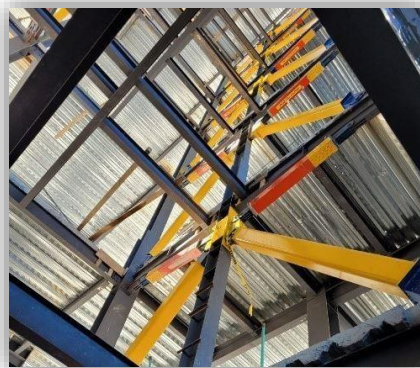
#### ***1.5.17.1.2. Disipadores por Plastificación de Metales***

Los esfuerzos estructurales ya sea de torsión, flexión, cortante o axial pueden producir disipación de plastificación, para el análisis de este ensayo se experimentó en el material de acero el cual refleja valores del límite de fluencia y de tensión máxima de rotura inferiores en un 17% y 3%. Según estos resultados la posibilidad de disipar la energía a partir de rangos bajos de fuerza y desplazamiento reduce la energía de las estructuras.

Estos disipadores se han basado en la plastificación por esfuerzo cortante, dando como resultados dispositivos de elevada rigidez, esfuerzos de plastificación de valores reducidos y gran uniformidad en la distribución de la deformación plástica. (Villarreal, 2009).

#### **Figura 1.17**

*Disipador por Plastificación de metales empleado en una estructura*



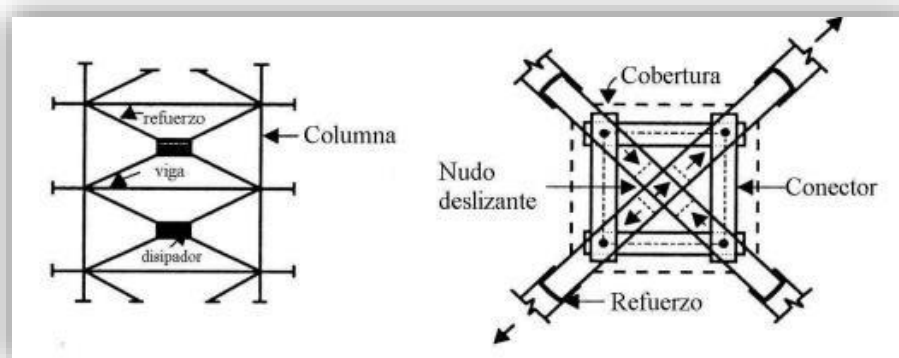
### 1.5.17.1.3. Disipadores por Fricción

Se exploran diversas formas de fricción para reducir el daño en estructuras durante perturbaciones; sin embargo, todos los dispositivos analizados se basan en la fricción del deslizamiento de sólidos como su principal mecanismo disipativo.

En los disipadores por fricción, el trabajo no recuperable se realiza mediante la fuerza tangencial necesaria para deslizar un cuerpo sólido sobre la superficie de otro. Es crucial mantener una respuesta friccional coherente y predecible a lo largo de la vida útil del disipador, lo cual depende en gran medida de las condiciones superficiales y puede ser afectado por factores ambientales.

**Figura 1.18**

*Disipador por fricción con refuerzo en X*



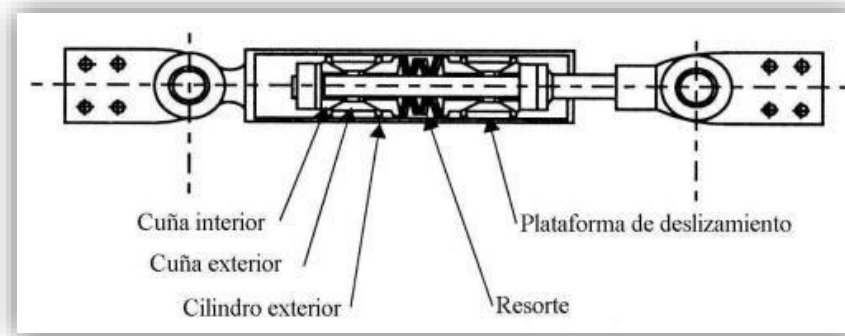
La teoría La teoría fundamental se fundamenta en una suposición inicialmente empleada en experimentos físicos que implicaban el deslizamiento plano de bloques rectilíneos:

- La magnitud total de la fuerza de fricción que puede generarse no depende del área de contacto superficial aparente.

- La magnitud total de la fuerza de fricción que puede generarse es directamente proporcional a la fuerza normal actuante a lo largo de la interfaz.
- En situaciones de deslizamiento con velocidades relativas bajas, la magnitud total de la fuerza de fricción no depende de dicha velocidad.

**Figura 1.19**

*Disipador por fricción Uniaxial*



### ***1.5.18. Análisis Sísmico de Sistemas Inelásticas***

#### ***1.5.18.1. Dispositivos Complementarios para la Disipación de Energía***

Los dispositivos reducen el daño estructural que una estructura podría sufrir durante un sismo, realizando la tarea de disipar la energía que se produce además para la protección sísmica de las estructuras existentes.

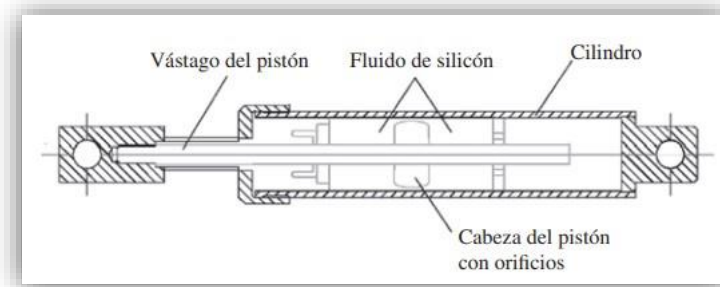
#### ***1.5.18.1.2. Amortiguadores de Fluido Viscoso y Visco Elásticos***

Usado para la protección sísmica en estructuras, es el más frecuente en su uso, consiste en un fluido viscoso a base de silicona que fluye a través de los pequeños orificios dentro de un recipiente cerrado.

Esto causa fricción entre las paredes y el fluido lo que produce que la energía se disipe y esto a su vez produce una relación fuerza – velocidad en el amortiguador, que es una función de relación de carga ya sea lineal o no lineal. Estos amortiguadores por lo general se colocan dentro del esqueleto de un arco de un edificio alineado con los contravientos, o entre las torres y la cubierta de un puente.

**Figura 1.20**

*Recipiente cerrado con fluido del amortiguador viscoso*

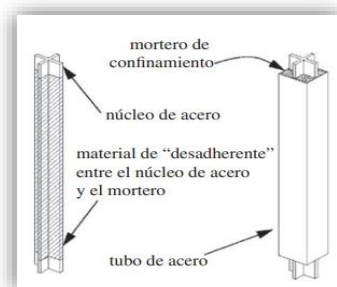


### **1.5.18.1.3. Amortiguadores Metálicos Histéricos**

Se emplea el comportamiento histérico de los metales para la disipación de energía cuando se deforman dentro de su rango inelástico. Entre los diversos métodos de disipación de energía en modos de deformación como flexión, corte y tensión, se encuentra el contraviento restringido contra el pandeo. Este consiste en un núcleo de acero confinado dentro de un tubo de acero lleno de mortero. El núcleo es capaz de resistir la carga axial, mientras que el mortero sostiene al núcleo, evitando su pandeo.

**Figura 1.21**

*Contraviento restringido contra el pandeo*

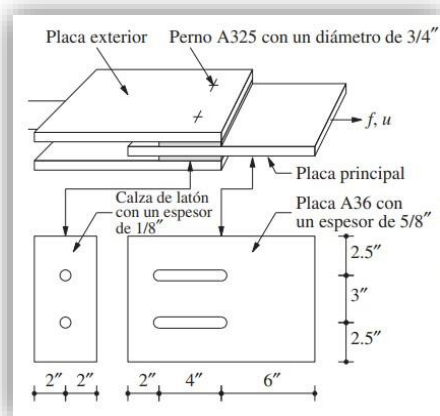


#### 1.5.18.1.4. Amortiguadores de Fricción

Este dispositivo conocido como la conexión atornillada con ranuras, no solo se utiliza la fricción como medio de disipación, sino que también incluye un diagrama esquemático de una conexión atornillada y esta a su vez conectada a la parte superior de los contravientos y estos aumentan la capacidad de la estructura para disipar energía.

**Figura 1.22**

*Diagrama esquemático de una conexión atornillada*



#### 1.5.18.1.5. Coeficiente de Amortiguación

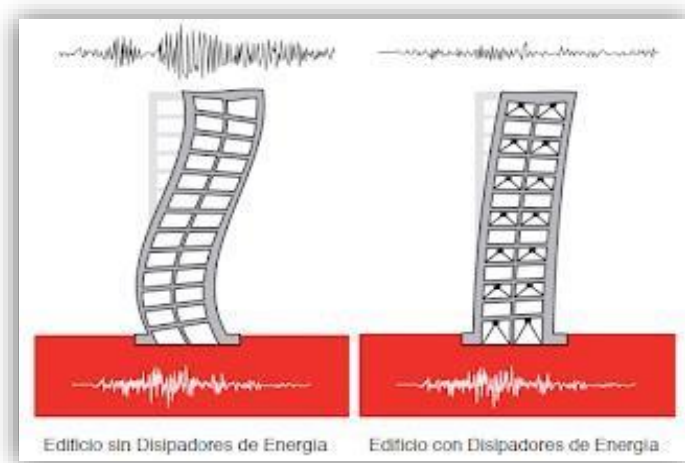
Este coeficiente es crucial para evaluar cuánta energía se pierde en un sistema durante un ciclo de vibración. Puede expresarse de diversas maneras, como el coeficiente de amortiguamiento viscoso o el coeficiente de amortiguamiento de Rayleigh.

Los sistemas de protección sísmica que se basan en el amortiguamiento tienen como objetivo principal reducir los desplazamientos relativos entre los niveles de un edificio, lo que conlleva a una disminución del daño estructural. Este objetivo se logra al aumentar la contribución del amortiguamiento viscoso en la disipación de la energía sísmica.

En el caso de edificios que carecen de dispositivos de amortiguamiento, la mayor parte de la energía introducida durante un evento sísmico se disipa principalmente a través de la deformación elástica e inelástica, con una contribución mínima del amortiguamiento viscoso. La incorporación de un sistema de amortiguamiento permite un equilibrio en la distribución de la energía entrante, lo que se traduce en un incremento de la influencia del amortiguamiento viscoso, reduciendo así el impacto en la capacidad elástica e inelástica de la estructura. (Martínez, 2016)

**Figura 1.23**

*Edificios con y sin disipadores de energía. Tesis Análisis de un edificio de acero con amortiguadores viscosos*



### ***1.5.19. Análisis Sísmico de Sistemas Lineales***

#### ***1.5.19.1. Análisis Modal***

Se desarrollará el procedimiento para la determinación de un análisis al movimiento de terreno producido por un sismo en todos los puntos de apoyo en una estructura.

### 1.5.19.2. Ecuaciones de Movimiento

Para estudiar la disipación de energía en estructuras sometidas a fuerzas dinámicas, se utilizan ecuaciones de movimiento para describir cómo responde la estructura a las cargas. Estas ecuaciones incluyen término de amortiguación que representa la disipación de energía.

Para este análisis se usan ecuaciones de movimiento traslacional del suelo, que son desplazamientos dinámicos en la misma dirección que el movimiento del terreno.

$$u_j^t(t) = u_g(t) + u_j(t)$$

Donde el desplazamiento del terreno se indica por  $u_g$ , el desplazamiento total de la masa por  $u_j^t$  y el desplazamiento relativo entre esta masa y el terreno por  $u_j$ .

Se incluye las ecuaciones de movimiento incluido por un sismo:

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = p_{ef}(t)$$

Donde los valores de la matriz masa, rigidez y del vector de influencia se hallan mediante los métodos anteriormente dichos.

La matriz de amortiguamiento no es necesaria en el análisis modal de la respuesta sísmica; en su lugar, son suficientes las fracciones de amortiguamiento modal, y sus valores numéricos pueden estimarse.

## ***1.5.20. Amortiguamiento en Estructuras***

### ***1.5.20.1. Amortiguamiento de Rayleigh***

Las ecuaciones del amortiguamiento proporcional a la masa y al amortiguamiento proporcional a la rigidez son cruciales en este contexto, donde  $a_0$  y  $a_1$  son constantes.

Para estas dos matrices de amortiguamiento, la matriz  $C$  en la ecuación para las diferentes frecuencias naturales es diagonal debido a las propiedades de ortogonalidad modal de los sistemas de amortiguamiento. Estas matrices son consideradas matrices de amortiguamiento clásicas. Desde una perspectiva física, representan modelos de amortiguamiento ilustrados en la figura para un edificio de varios niveles. El concepto del amortiguamiento proporcional a la rigidez es intuitivo, ya que puede interpretarse como la representación de la disipación de energía que surge de las deformaciones de los entrepisos.

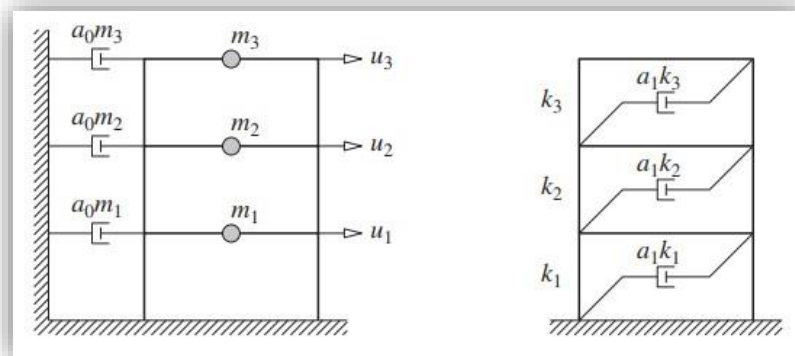
En contraste, el amortiguamiento proporcional a la masa es difícil de justificar físicamente debido a que el amortiguamiento del aire que puede utilizarse en este modelo es demasiado pequeño para la mayoría de las estructuras. (Chopra, 2014).

En términos simples, un amortiguador de Rayleigh se utiliza para absorber y disipar energía durante eventos sísmicos, protegiendo así la integridad estructural de edificios y otras infraestructuras. Estos dispositivos pueden ser particularmente útiles en áreas propensas a terremotos, ya que ayudan a minimizar los daños estructurales y a garantizar la seguridad de las personas. Existen diferentes tipos de amortiguadores de Rayleigh, como amortiguadores de fricción, amortiguadores viscosos y dispositivos basados en fluidos, entre otros. Cada tipo tiene sus propias características y aplicaciones específicas, dependiendo de las necesidades y requisitos del proyecto.



**Figura 1.24**

*Amortiguamiento proporcional a la masa y a la rigidez*



En resumen, los amortiguadores de Rayleigh son componentes esenciales en el campo de la ingeniería sísmica, diseñados para proteger estructuras y mejorar su capacidad de resistir y soportar las fuerzas generadas por terremotos. Su eficacia se basa en la capacidad de disipar energía, reduciendo así los riesgos asociados con eventos sísmicos.

## CAPÍTULO II

### 2. Metodología

En este capítulo de los objetivos previamente establecidos, garantizando la conformidad con los diseños normativos. Se buscará alcanzar soluciones alternativas que cumplan con los parámetros de diseño, centrándonos en la selección de disipadores sísmicos adecuados. El propósito fundamental es que estos disipadores sean capaces de absorber y disipar la energía generada durante eventos sísmicos, minimizando así el impacto en los elementos estructurales y reduciendo de manera significativa los efectos adversos provocados por los sismos.

#### 2.1 Ubicación geográfica de la estructura

La estructura se encuentra ubicada en la ciudad de Loja en el cantón Macará, ubicada entre la calle Espíndola y calle Diego Noboa

- **Coordenada Este:** 617242.86 m E
- **Coordenada Norte:** 9516144.68 m S

#### Figura 2.1

*Ubicación geográfica de la estructura*



## 2.2 Tipo de suelo de la estructura

Para conocer el tipo de suelo de la estructura de forma referencial, se logró conocer mediante la investigación del estudio de suelo realizado en el cantón. El suelo de la estructura posee **Arcillas Limosas de Baja Plasticidad**, conocido mediante normativa AASHTO, como suelo A-6 y en la **Tabla 2.1** se observa el porcentaje referencial conforme a la profundidad de las calicatas.

**Tabla 2.1**

*Estudio de suelo de la estructura por metodología AASHTO – Fuente: Estudio Geotécnico de los cantones Sozoranga Y Macará. Provincia De Loja*

<i>Clasificación AASHTO</i>					
Grupo	Suelo	Profundidad %			
		0.50 m	1.00 m	1.50m	
A-2-6	Gravas Arcillosas	34.8%	23.1%	21.7%	
A-4	Arcillas de Baja Plasticidad	4.3%	23.1%	4.3%	
A-6	Arcillas Limosas de Baja Plasticidad	26.1%	30.4%	34.8%	
A-7-6	Limos	13%	8.7%	8.7%	

## 2.3 Generalidades de la Estructura

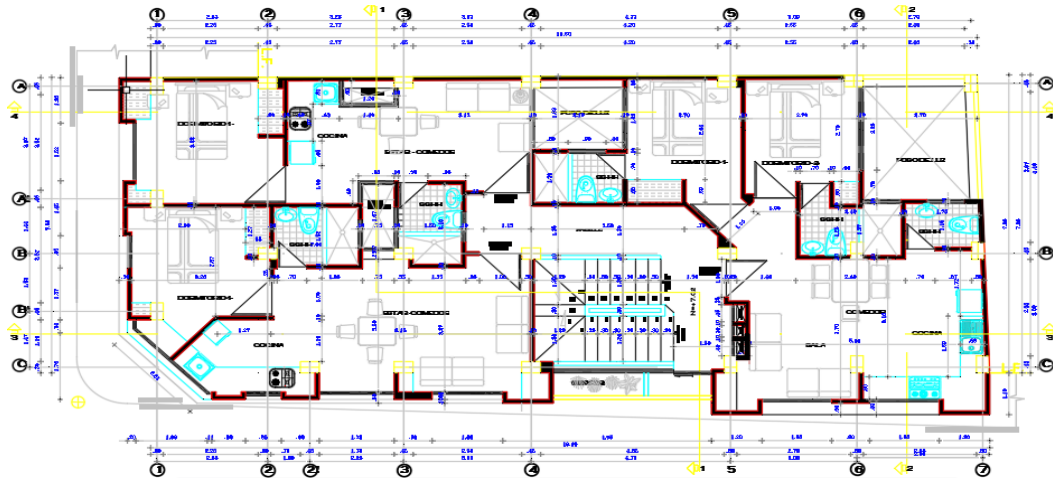
La estructura se ubica en la ciudad de Loja-Macará cuenta con tres plantas es de uso hotelero, cuenta con una separación de 3.22 metros de altura entre piso en la **Figura 2.2** y **Figura 2.3** se puede observar la distribución de la estructura mediante el plano arquitectónico.

Esta estructura cuenta con 4 dormitorios en cada planta excluyendo la terraza y la zona de parqueos en la planta baja.

Posee una altura total de 9.66 metros, lo que permitirá contar con una distribución correcta de columnas y vigas.

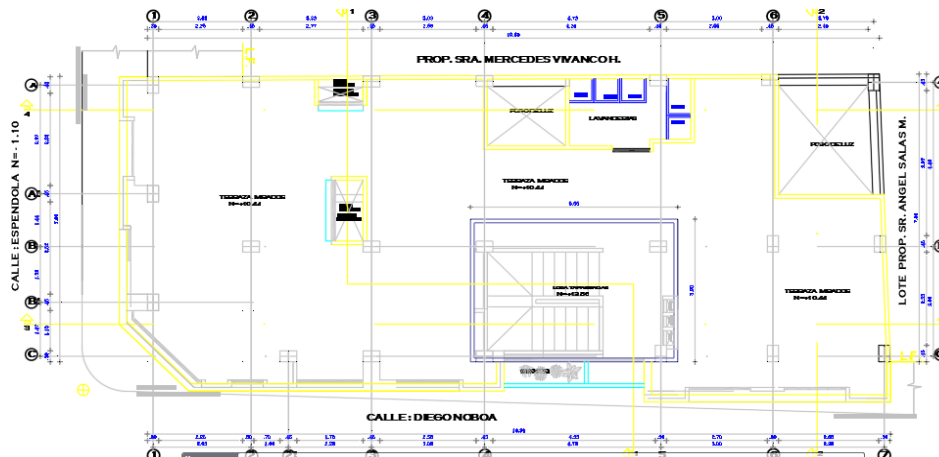
**Figura 2.2**

*Vista en planta de la distribución de la estructura*



**Figura 2.3**

*Vista en planta de la terraza de la estructura*



Es una estructura con fines investigativos, que mediante el plano arquitectónico se buscará implementar los disipadores sísmicos y hacer un análisis estructural del comportamiento de la estructura ante un sismo.

**Figura 2.4**

*Vista lateral de la estructura*

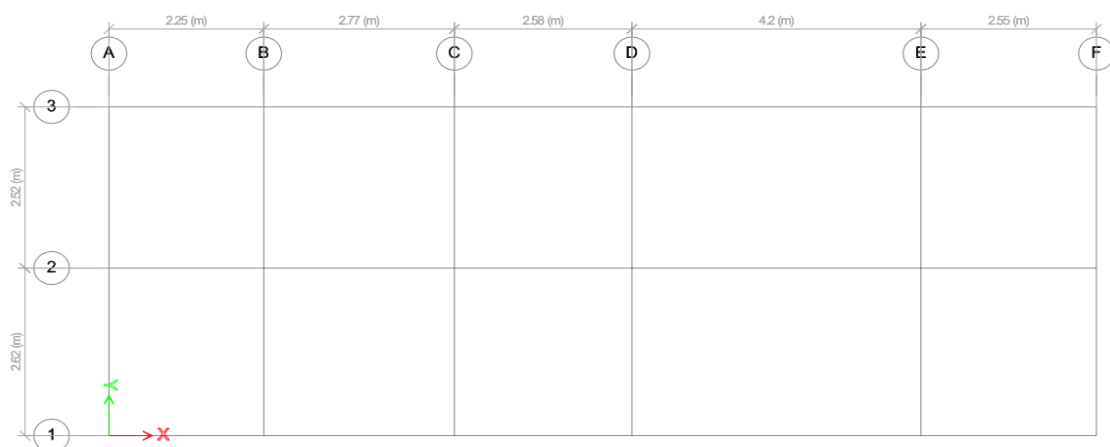


## 2.4 Modelado de la Estructura

La estructura posee tres plantas, tiene forma rectangular con una largo de 14.35 metros, un ancho 5.14 metros, entreplantas de 3.22 metros de altura, y por último cuenta con un área 73.76 m<sup>2</sup>. En la **Figura 2.5** y **Figura 2.6**, se observa la distribución de la estructura, con sus respectivas y en la **Tabla 2.1** se observan las medidas para la modelación y realizar el análisis.

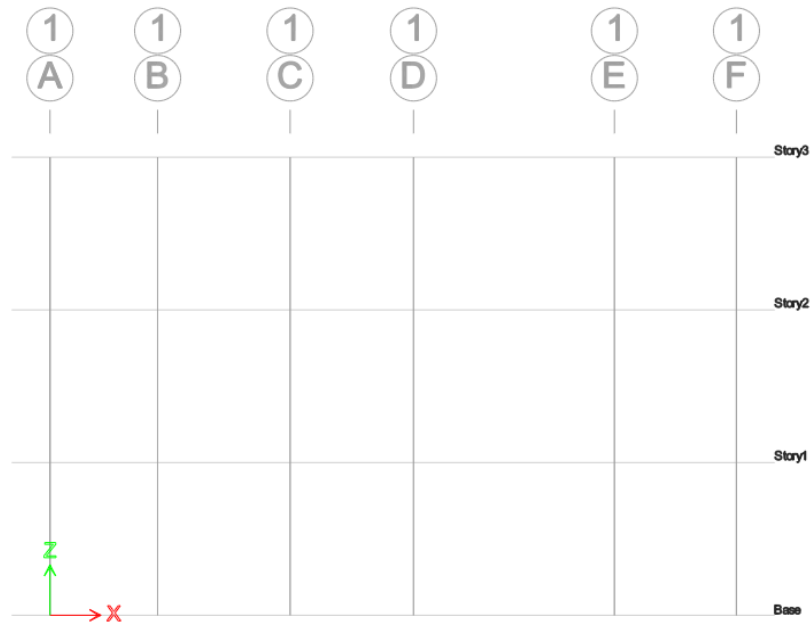
**Figura 2.5**

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



**Figura 2.6**

*Vista en elevación de la estructura en el eje X-Z*



**Tabla 2.1**

*Tabla de medidas para la modelación*

Sentido x		Sentido Y		Elevación	
Ejes	Distancia (m)	Ejes	Distancia (m)	Altura	Distancia (m)
A-B	2.25	1-2	2.62	Base	0
B-C	2.77	2-3	2.52	Story 1	3.22
C-D	2.58			Story 2	6.44
D-E	4.2			Story 3	9.66
E-F	2.55				

Se pueden observar las dimensiones de la estructura lo que permitirá modelar de manera correcta, y realizar el análisis correspondiente para hacer la comparación del desempeño estructural a fuerzas sísmicas.

### 2.4.1 Dimensiones Estructurales

La estructura posee una composición, en sus tres plantas, de dimensiones iguales de vigas, losas macizas, y columnas, debido a las cargas por gravedad, y la distribución de estas, ya que son iguales en cada piso.

En la **Tabla 2.2** se observan las dimensiones de los elementos estructurales, en cada uno de su piso correspondiente, en la **Figura 2.7**, **Figura 2.8**, y **Figura 2.9**, el modelado de estos elementos en el programa de elementos finitos ETABS.

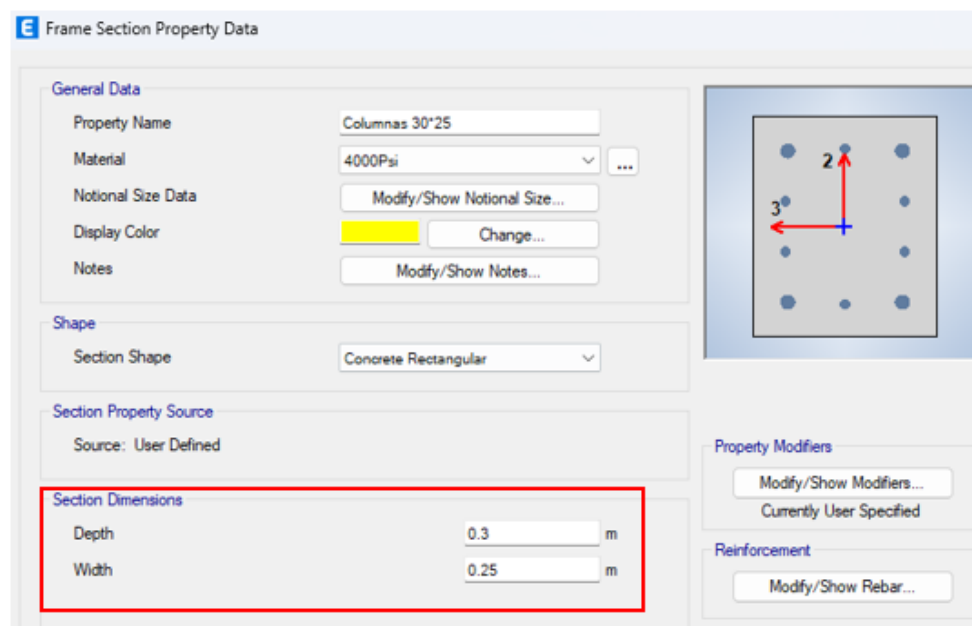
**Tabla 2.2**

*Tabla de dimensiones de elementos estructurales*

Dimensiones de Elementos Estructurales			
Piso	Vigas(cm)	Columnas(cm)	Losas(cm)
P3	35*30	30*25	15.00
P2	35*30	30*25	15.00
P1	35*30	30*25	15.00

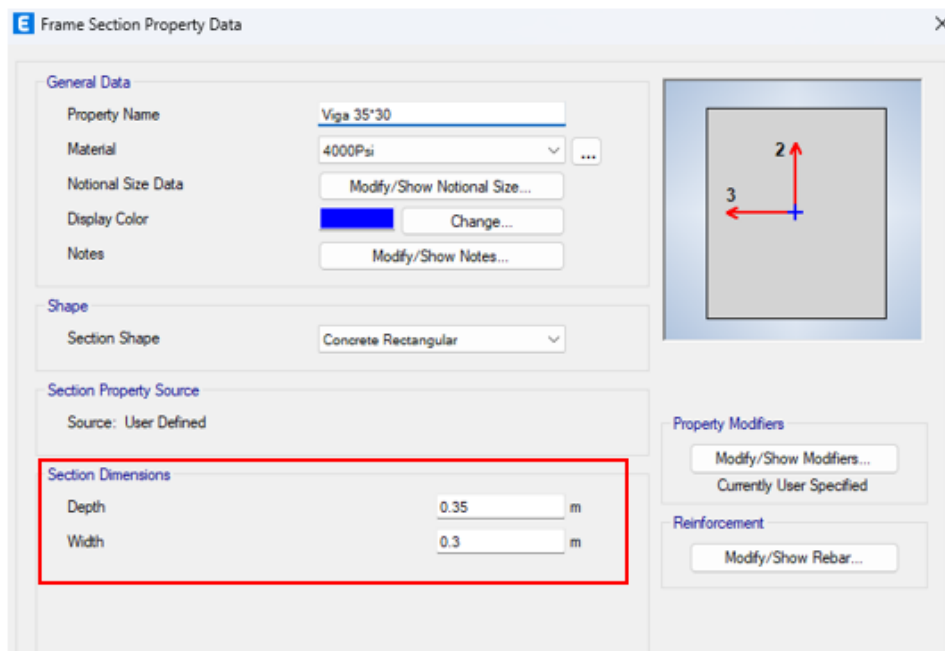
**Figura 2.7**

*Modelado de las columnas en ETABS*



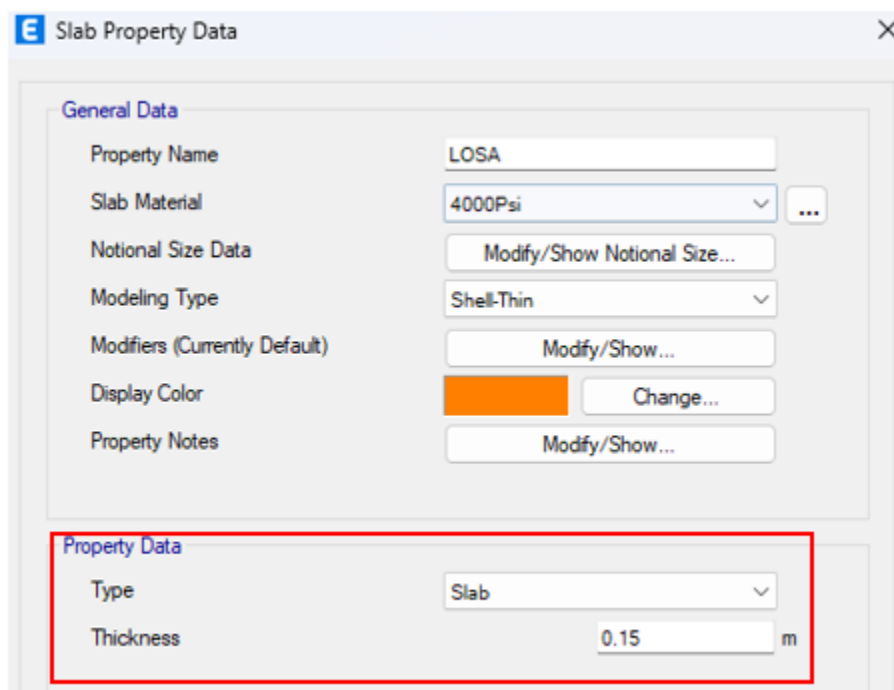
**Figura 2.8**

*Modelado de las vigas en ETABS*



**Figura 2.9**

*Modelado de las Losas en ETABS*





### 2.4.2 Propiedad Estructural De Los Materiales

La edificación se construirá utilizando concreto reforzado y acero de refuerzo, con las propiedades mecánicas detalladas en los siguientes apartados.

#### 2.4.2.1 Concreto

Se ha elegido una estructura de ejemplo con un valor moderado de 240 kgf/cm<sup>2</sup>. La Norma (NEC 15 HM, 2014) especifica que el concreto debe tener una resistencia mínima a la compresión de  $f'$  de al menos 214 kgf/cm<sup>2</sup>. Aquí,  $E_c$  representa el módulo elástico del concreto [GPa],  $E_a$  es el módulo elástico del agregado [GPa], y  $f'$  es la resistencia a compresión del concreto [MPa].

**Tabla 2.1**

*Características físicas del concreto*

Propiedad	Símbolo	Carga Uniforme	Unidad
Resistencia a la compresión	$F'c$	240	kgf/cm <sup>2</sup>
Módulo de elasticidad	$E_c$	210838	kgf/cm <sup>2</sup>
Peso específico	$\gamma_c$	2.4	t/cm <sup>2</sup>
Coefficiente de Poisson	$\mu$	0.2	-

#### 2.4.2.2 Barras de acero reforzadas

Las barras de refuerzo de acero corrugado se fabricaron utilizando acero ASTM 615 Gr-60, el cual está ampliamente disponible en el mercado. A continuación, se detallan las propiedades mecánicas:

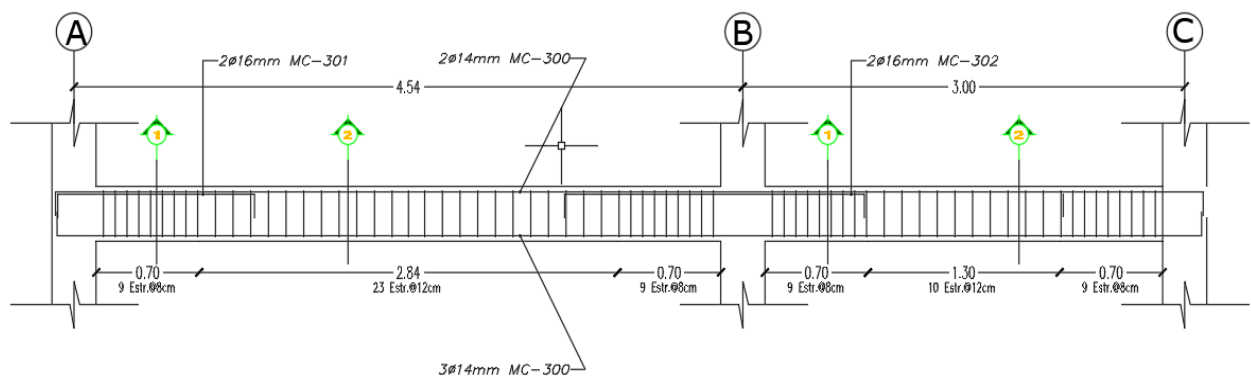
**Tabla 2.2**

*Características físicas de las barras de acero.*

Propiedad	Símbolo	Carga Uniforme	Unidad
Esfuerzo de Fluencia	$f_y$	4200	$\text{kgf/cm}^2$
Fluencia Esperada	$f_e$	6300	$\text{kgf/cm}^2$
Módulo de Elasticidad	$E_c$	2070000	$\text{kgf/cm}^2$
Peso específico	$\gamma_c$	7.85	$\text{t/cm}^3$
Coefficiente de Poisson	$\mu$	0.3	-

**Figura 2.10**

*Viga de la estructura*



### 2.4.2.3 Resistencia eficaz para el sistema de pórticos

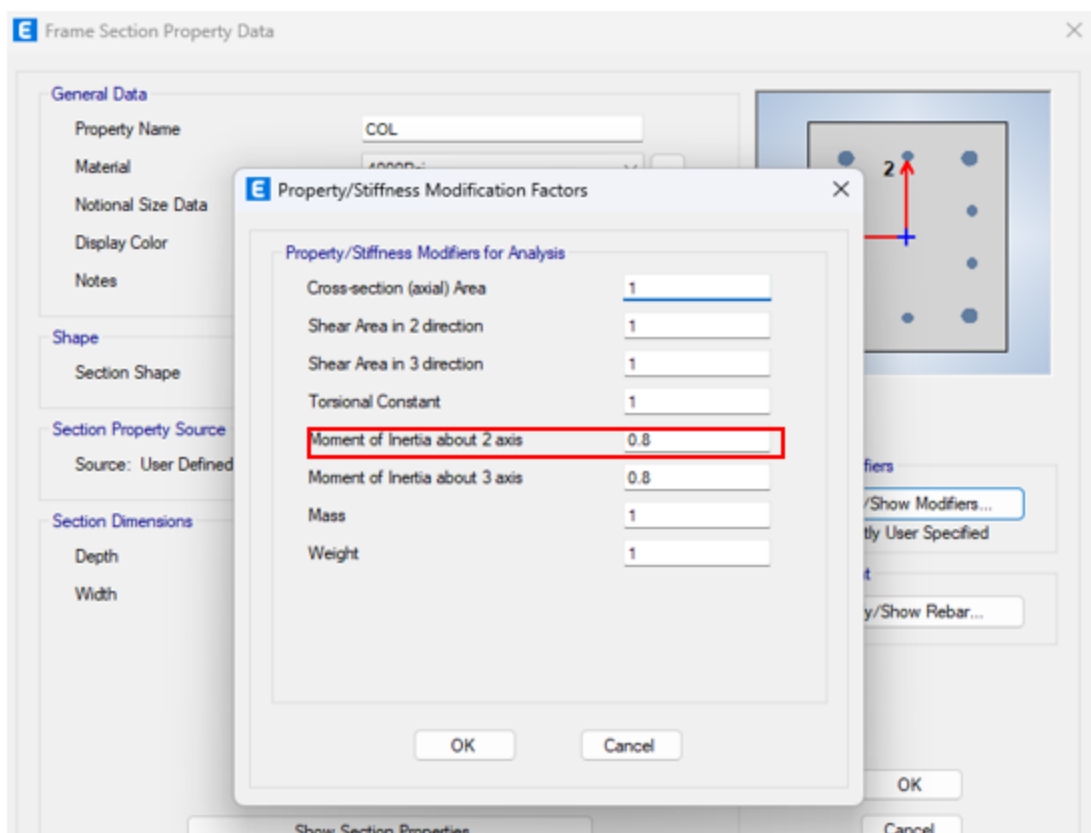
La eficacia se refiere a la rigidez de los elementos estructurales al inicio de la respuesta inelástica. Según la sección 616 de la norma (NEC 15 DS, 2014), los valores de inercia reducida o fisurada, denotados como  $I_g$ , deben utilizarse para calcular la firmeza de las vigas, columnas y muros estructurales.

Esta reducción de rigidez se produce debido al agrietamiento en la estructura desde su construcción inicial, causado principalmente por las cargas de servicio y el peso propio, lo que

resulta en un aumento de la tracción en el hormigón. La norma especifica que la inercia efectiva de columnas y vigas debe ser igual a  $0.8 I_g$ . Sin embargo, según la sección 6.3.3.1. del capítulo 6 (ACI 318, 2019), la rigidez de los componentes estructurales debe reducirse según lo indicado en la tabla 6632 de dicha sección. Según las recomendaciones de esta tabla, la inercia efectiva de columnas y vigas debería ser de  $0.35 I_g$ , mientras que para columnas debería ser de  $0.70 I_g$ .

**Figura 2.11**

*Inercia efectiva en el modelado estructural de las columnas de análisis*

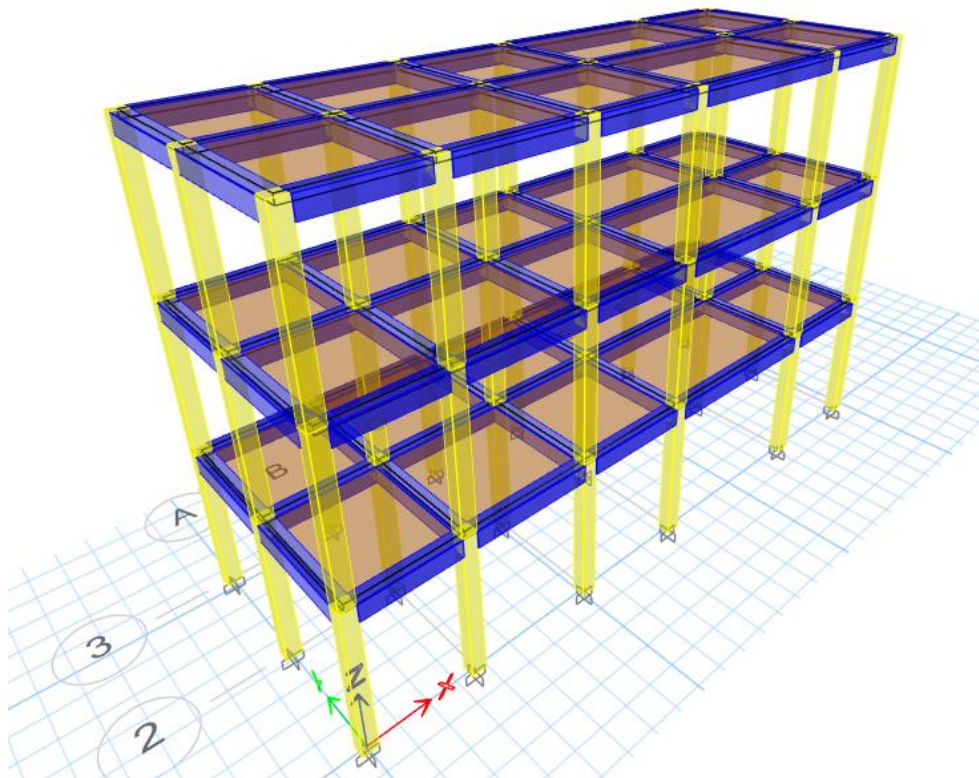


Se considero un factor momento de inercia de 0.8 para tener un análisis, correcto y así considerar el comportamiento de manera real de la estructura y visualizar el desempeño de la estructura ante un sismo.

Luego de darle las propiedades, y dimensiones a la estructura en la Figura 2.8 se observa cómo queda el modelado de la estructura para realizar el respectivo análisis dinámico, y poder visualizar comportamiento del edificio.

**Figura 2.12**

*Vista en 3d del modelado final de la Estructura sin disipadores de energía en ETABS*



**2.5 Análisis Dinámico de la Estructura**

**2.5.1 Fuerzas Actuantes**

**2.5.1.1 Carga viva**

Las cargas vivas engloban todas aquellas fuerzas que actúan sobre la estructura mientras está en funcionamiento. En este contexto, considerando que el edificio está designado para uso hotelero. El Capítulo 4, Sección 4.2 de la normativa (NEC-15-CG, 2014) detalla los siguientes parámetros para la carga de ocupación:

**Tabla 2.3***Cargas Vivas NEC 15, Cargas no Sísmicas– Fuente: Norma NEC-15*

Ocupación o Uso	Carga Uniforme	Unidad
Hoteles y residencia Multifamiliares	0.2	t/m <sup>2</sup>
Cubierta	0.3	t/m <sup>2</sup>

**Tabla 2.4***Sobrecargas para Hoteles - Fuente: Norma NEC-15*

Residencias	
Viviendas (unifamiliares y bifamiliares)	2.00
Hoteles y residencias multifamiliares	
Habitaciones	2.00
Salones de uso público y sus corredores	4.80

### 2.5.1.2 Carga Muerta

Se refiere a una carga constante o inamovible que está presente en todo momento. Esta carga está determinada por varios factores, como la densidad y grosor de la albañilería, el tipo de revestimiento superficial, el grosor del yeso y los variados modelos de instalaciones eléctricas y sanitarias. En la **Tabla 2.5** se han seleccionado los siguientes valores:

**Tabla 2.5***Sobrecarga para estructura de Hotel*

Sobrecarga	Carga Uniforme	Unidad
Losas de entepiso.	0.62	t/m <sup>2</sup>
Losas de techo	0.200	t/m <sup>2</sup>

### 2.5.1.3 Carga sísmica

Durante un terremoto, las estructuras experimentan movimientos oscilatorios horizontales que provocan aceleraciones en la masa de la edificación, generando una fuerza inercial que se acumula a lo largo de los pisos. En términos de cimentación de estructuras, la suma de estas fuerzas se conoce como cortante de base sísmica o cortante de base.

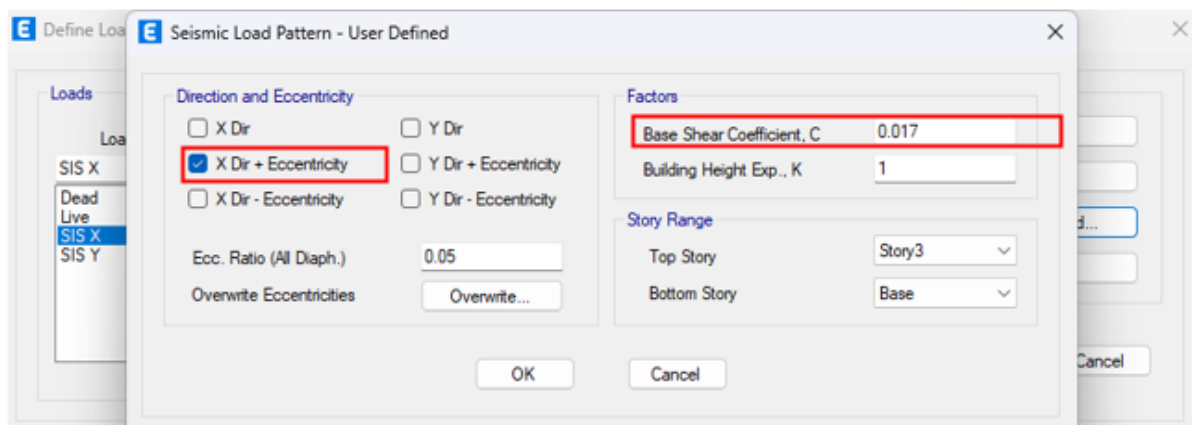
El Capítulo 12, Sección 12.7.2 de la norma (ASCE-7, 2016) establece que, durante el movimiento sísmico de un edificio, solo se debe considerar como carga de reacción la parte del peso que está físicamente conectado al hotel. Además, el valor del esfuerzo cortante básico se determina multiplicando la carga efectiva por un valor constante determinado por las características estructurales y la ubicación del edificio.

Dado que en este caso la estructura analizada corresponde a un hotel, solo las cargas muertas y las sobrecargas se consideran válidas para el análisis, excluyendo otras cargas.

Para estimar el sismo de diseño, se empleó el valor que se observa en la **Figura 2.13**, la cual compara datos estadísticos, como el terremoto ocurrido en Ecuador en el año 1906, con la finalidad de evaluar la estructura frente a distintos eventos sísmicos.

**Figura 2.13**

*Fuerzas sísmicas en la estructura para la dirección X*



## 2.5.2 Combinaciones de carga

La Sección 2.3.1 y la Sección 2.3.6 de la norma (ASCE-7, 2016) establecen que, para el diseño estructural de edificaciones expuestas a cargas sísmicas en conjunción con otras cargas, se deben especificar los componentes.

El análisis debe asegurar que la resistencia sea igual o mayor que los efectos de carga contemplados en las tablas mostradas a combinaciones.

**Tabla 2.8**

*Combinaciones Básicas de carga – Fuente: Norma NEC-15*

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	$0.9 D - 1.0 E_v + 1.0 E_h$

$D$  representa el peso muerto (carga muerta),  $L$  corresponde a la sobrecarga (carga viva),  $Lr$  es la sobrecarga del techo,  $S$  indica la carga que ocupa el granizo,  $W$  es la carga generada por el viento,  $R$  es la carga de lluvia, mientras que  $E$  denota el efecto de la carga sísmica.

Además,  $E_h$  representa el impacto de la carga sísmica horizontal y  $E_v$  se refiere al efecto de la carga sísmica vertical. Sin embargo, si la distancia desde el epicentro es mayor a 5 km, el valor de  $E_v$  se establece en cero (ASCE-7, 2016).

## 2.5.3 Espectro de respuesta de diseño

Se necesita seleccionar varios coeficientes para determinar el espectro sísmico de diseño, de acuerdo con las pautas establecidas en la norma NEC-15-DS (2014). Esta selección se fundamenta tanto en las propiedades físicas de la estructura como en su ubicación geográfica.

En nuestro caso, la estructura estará ubicada en la ciudad de Loja, conocida por tener suelos de tipo C y D. Sin embargo, hemos decidido considerar el suelo tipo D debido a sus condiciones sísmicas más desafiantes. La **Tabla 2.6** proporciona los factores relevantes para este tipo de suelo, lo que facilita el cálculo.

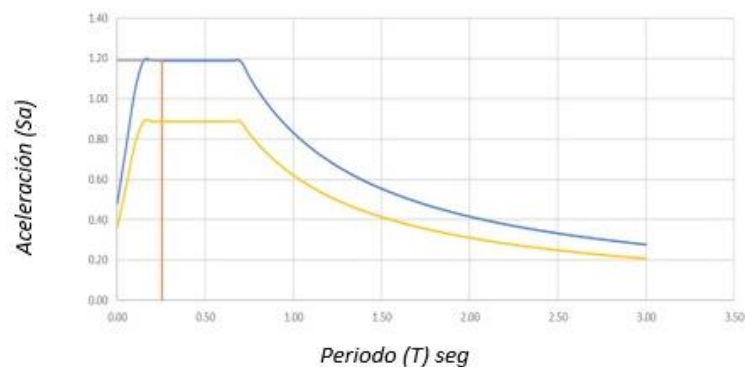
**Tabla 2.6**

*Síntesis de los parámetros empleados en la determinación del espectro de diseño – Fuente: Norma NEC-15-DS*

FACTOR	SÍMBOLO	VALOR
Perfil del Suelo	Suelo Tipo	<i>D</i>
Categoría Sísmica	Zona Sísmica	<i>V</i>
Valor de factor <i>Z</i>	<i>z</i>	0.4
Coefficiente Amplificación del suelo en la zona de periodo corto	<i>F<sub>a</sub></i>	1.2
Coefficiente Amplificación de las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos para diseño en roca	<i>F<sub>d</sub></i>	1.19
Coefficiente de Comportamiento no lineal de los suelos	<i>F<sub>s</sub></i>	1.28
Factor usado en el espectro de diseño elástico que depende del tipo de suelo	<i>r</i>	1
Relación de amplificación espectral	<i>η</i>	2.48

**Figura 2.14**

*Espectro sísmico de diseño – Fuente: Norma NEC-15*





#### 2.5.4 Coeficientes de reducción del diseño

La norma NEC-15-DS, 2014, contempla una reducción del espectro de diseño mediante la división de la aceleración por el factor de reducción de la fuerza sísmica  $R$ . Asimismo, establece que la coordenada  $Sa$  debe ser multiplicada por el factor de importancia  $I$  y dividida por el producto de los factores  $\Phi E$  y  $\Phi P$ .

Para el cálculo de la edificación de investigación, empleamos un sistema de pórticos los cuales generan resistencia a los momentos, con un sistema de disipadores de energía BRB (puntales de pandeo restringido). Dado que la norma NEC-15-DS, 2014, no proporciona información específica sobre disipadores de energía, se utilizó el estándar estadounidense (ASCE-7, 2016), asignándose a este sistema un valor de coeficiente  $R = 6$ . Durante el análisis lineal, se aplica un factor de importancia para la fuerza sísmica con un valor de 1.5. Los coeficientes por utilizar en el análisis se detallan en la tabla mostrada a continuación.

**Tabla 2.7**

*Resumen de factores empleados para atenuar el Espectro de Diseño - Fuente: Norma NEC-15*

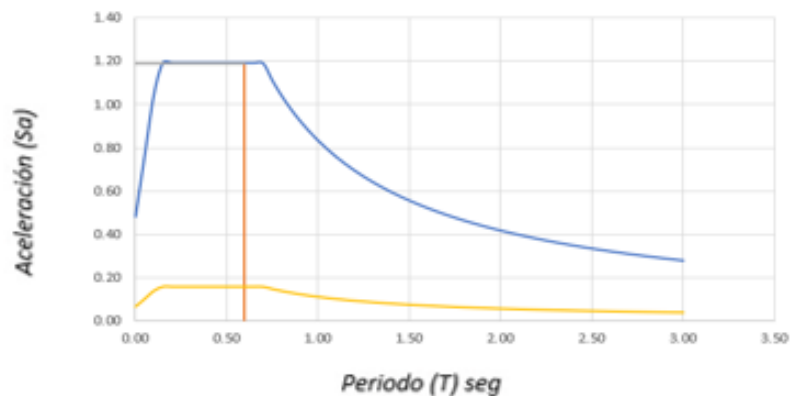
<b>Factor</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Valor</b>
Coeficiente de reducción de fuerza sísmicas	$R$	6
Factor de Importancia	$I$	1
Coeficiente de irregularidad en planta	$\Phi P$	1
Coeficiente de irregularidad en elevación	$\Phi E$	1

En la **Figura 2.15** se presenta el espectro de diseño reducido de acuerdo con NEC-15, calculado utilizando los valores que son mostrados en la Tabla 2.6. Según esta norma (ASCE-7, 2016), se permite que las edificaciones con sistemas de amortiguación SRFS (Sistemas de Resistencia a Fuerzas Sísmicas) estén diseñadas para soportar solo el 75% de las fuerzas

sísmicas de un espectro de diseño reducido. En la gráfica 2.9 se muestra un gráfico del espectro de diseño de NEC-15 reducido en un 80%.

**Figura 2.15**

*Espectro de diseño reducido*



Para determinar el período natural de una estructura utilizando un dispositivo de amortiguación pasiva tipo BRB. Según los datos objetivos proporcionados en la Tabla 12.8-2 de (ASCE-7, 2016) para una estructura con un sistema sísmico que utiliza BRB, con un valor de  $\delta_y = 0.033$ , se establece que los desplazamientos deben cumplir para permitir que estos sistemas de disipación absorban el daño y protejan la integridad estructural durante un sismo.

De esta manera, se obtiene un valor de  $T = 0,67$  [s]. Sin embargo, de acuerdo con el código de diseño (NEC-15-DS, 2014), se contempla un incremento del 30%. Por lo tanto, el rango del período de vibración natural se sitúa entre 0,675 y 0,87 [s].

### **.Componentes De Elementos Estructurales**

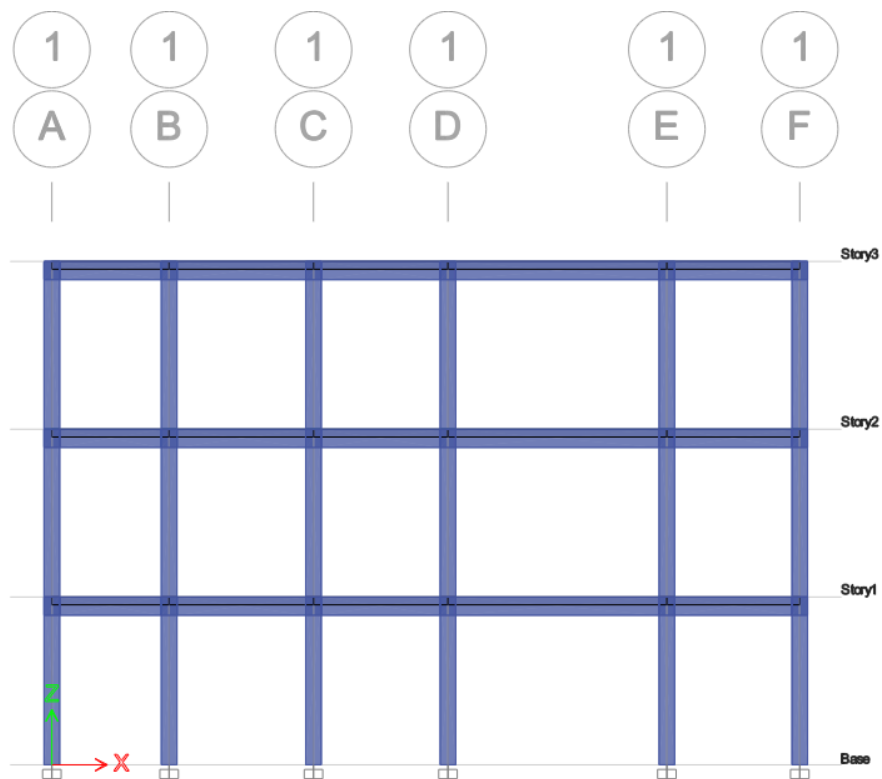
Según el Capítulo 12 "Requisitos de Diseño Sísmico para Estructuras de Construcción" de (ASCE-7, 2016), los elementos de un sistema resistente a fuerzas sísmicas (SFRS) son estructuras rígidas que resisten fuerzas laterales y verticales y tienen la capacidad de proporcionar energía. Deben ser capaces de disipar suficiente energía para los movimientos previstos del suelo dentro de ciertos límites de deformación y demanda determinados.

Por otro lado, la norma (ACI 318, 2019) en el Capítulo 18, Sección 18.2.2.1, establece que los sistemas que resisten fuerzas laterales y que incluyen mecanismos de amortiguación adicionales deben ser diseñados para soportar el 75% del cortante fundamental, como se especifica.

La selección de elementos del sistema de pórtico resistente a los momentos se llevó a cabo siguiendo las directrices de las normas (NEC-15-DS, 2014), (ASCE-7, 2016) y (ACI 318, 2019). Para este fin, se elaboró el análisis modal del espectral lineal que satisface las condiciones necesarias. Se consideró un marco estable instantáneo, y esa sección se definió como:

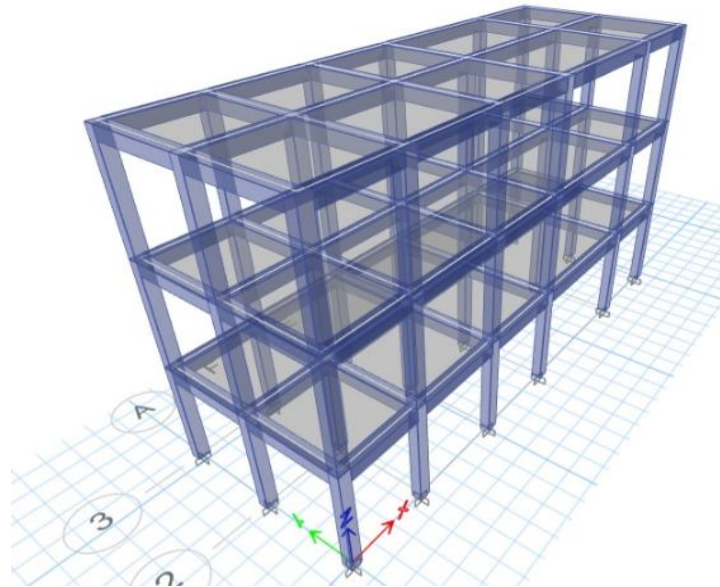
**Figura 2.16**

*Áreas de la estructura (pórticos externos eje 1)*



**Figura 2.17**

*Área de la estructura definidas bajo un esquema de colores con vista 3D.*



## **2.6 Análisis Dinámico Con Disipadores BRB**

### **2.6.1 Diseño Preliminar De Disipadores BRB**

Se realiza un diseño preliminar del BRB para calcular los coeficientes necesarios para modelar los elementos del enlace. Al mismo tiempo, se busca reducir el tiempo de ejecución del algoritmo, ya que el tiempo de convergencia se reduce significativamente si el valor inicial de la superficie se aproxima al resultado final. Cabe aclarar que el diseño preliminar se refiere al diseño del núcleo de la BRB y a la asunción de dimensiones geométricas específicas del soporte.

Existen muchos estudios y trabajos de investigación sobre este tipo de disipadores de calor, pero las referencias más relevantes y actualizadas están protegidas por patentes. Por esta razón, hay poca información disponible gratuitamente sobre cómo diseñar pórticos de hormigón armado. Por lo tanto, este capítulo ha recopilado información de referencias relevantes y adaptados conceptos específicos a las necesidades de este estudio.

### 2.6.1.1 Características de los materiales

Se utiliza acero ASTM A36 y es de fácil adquisición y sus propiedades se muestran en la Tabla 2.9.

**Tabla 2.9**

*Propiedades mecánicas del acero A36 – Fuente: ASTM International, 2014*

Propiedad	Símbolo	Valor	Unidad
Esfuerzo de fluencia Mínimo	$F_y$	2548.42	[kgf/cm <sup>2</sup> ]
Módulo de Elasticidad	$E_s$	2038735.98	[kgf/cm <sup>2</sup> ]

### 2.6.2 Factor De Modelación

#### 2.6.2.1 Factor basado en la resistencia

La norma (AISC 341, 2016) especifica en el apartado F4.2b:  $\beta$  y  $\omega$  deben determinarse experimentalmente y en ninguna circunstancia el valor de  $\beta$  debe ser menor que uno. Por tanto, utilizamos valores de  $\beta = 1.15$  y  $\omega = 1,3$  (ALACERO, 2018).

#### 2.6.2.2 Factor de reducción de resistencia

La sección F4.5b.2 de la norma (AISC 341, 2016) establece que, al realizar el diseño de resistencia, la fuerza de diseño en estado límite LRFD (Load and Resistance Factor Design) es el límite elástico del acero  $P_y$  multiplicado por. Se especifica que se determina por Factor de reducción  $\phi = 0,9$ .

$$\phi P_y = 0.9 \cdot (F_y \cdot A_n)$$

### 2.6.3 Distorsión generada en el núcleo

Las pautas de diseño sísmico nos dicen que los marcos reforzados con BRB deben ser más flexibles y tener un limitado desplazamiento durante terremotos de baja intensidad.

Sin embargo, en caso de un terremoto severo, la estructura debe permanecer perfectamente elástica para que el daño potencial a la estructura sea absorbido por el material

disipativo (Shen, Li, Chen, Zhang y Chan, 2005). Esto requiere que su núcleo fluya con una deformación  $\delta y$  por debajo de una deriva crítica del 2% según (NEC-15-DS, 2014) para evitar daños a elementos estructurales y no estructurales. Para eso debemos donde  $\delta y$  es el límite elástico,  $P_y$  es el límite elástico y  $K_n$  es la rigidez del núcleo. Entonces sabemos que la rigidez es igual a:

$$K_n = \frac{A \cdot E}{L_n} R_y$$

Aquí,  $A$  es el área del puntal,  $E$  es el módulo de elástico,  $L$  es la longitud del núcleo del puntal y  $R_y$  es el coeficiente de exceso de resistencia del acero. Como  $E$  y  $R_y$  son constantes, la rigidez es proporcionalmente directa al área del núcleo y proporcionalmente inversa a su longitud. Por tanto, genera más eficacia al acortar la longitud que aumentar el área en su tamaño. Para simplificar, este trabajo supone que la longitud del núcleo es el 70% de la longitud total de la columna.

Mientras tanto, según la Tabla A3.1 de la norma (AISC 341, 2016), el valor de la relación entre el límite elástico esperado y el límite elástico mínimo para el acero tipo ASTM-A36 es  $R_y = 1,5$ . Por lo tanto, la siguiente tabla resume los factores anteriores.

**Tabla 2.10**

*Resumen de factores de ajuste.*

DATOS INICIALES		
FACTOR	VALOR	UNIDAD
$E_s$	2038736	[kgf/m <sup>2</sup> ]
$F_y$	2536	[kgf/m <sup>2</sup> ]
$\omega$	1.30	—
$\beta$	1.00	—
$R_y$	1.50	—
$\phi$	0.90	—
% Long núcleo	70%	—

### 2.6.4 Especificación requerida del área del núcleo

La norma del Capítulo 18, Sección 18.2.1.1 (ASCE-7, 2016) permite que los sistemas estructurales de bastidor principal se diseñen para resistir el 75% del corte de la base. Por esta razón, el núcleo del BRB está diseñado para soportar al menos un 25% de

corte en la base. Determinar el número y la configuración de los puntales es de suma importancia, ya que una distribución inadecuada puede provocar problemas estructurales como torsión, concentraciones de carga axial y momentos de apoyo. La estructura analítica propuesta es tener cuatro disipadores de calor BRB (dos en cada dirección principal) en cada piso, como se muestra en la **Figura 2.18**.

La **Tabla 2.11** muestra las fuerzas cortantes de la base para cada piso distribuidas entre los dos dispositivos. Se calculó la demanda axial *Peje* para cada BRB y el área del núcleo de acero requerida para soportar estas fuerzas. Los cálculos se realizan utilizando las fórmulas que figuran en la misma tabla.

**Tabla 2.11**

*Procedimiento para encontrar el área requerida del núcleo del BRB.*

<i>PISO</i>	$\frac{\#BRB}{piso}$	$25\% V_x$	$\frac{P}{BRB}$	<i>h</i>	<i>l</i>	$\theta$	$\frac{P_{axial}}{BRB}$	$A_{necesaria}$
		[kgf]	[kgf]	[cm]	[cm]	[rad]	[kgf]	[cm <sup>2</sup> ]
<b>3</b>	2	60011	30005	350	550	0.57	35566	2.00
<b>2</b>	2	70701	35350	350	550	0.57	41901	3.00
<b>1</b>	2	75846	37923	350	550	0.57	44950	3.00

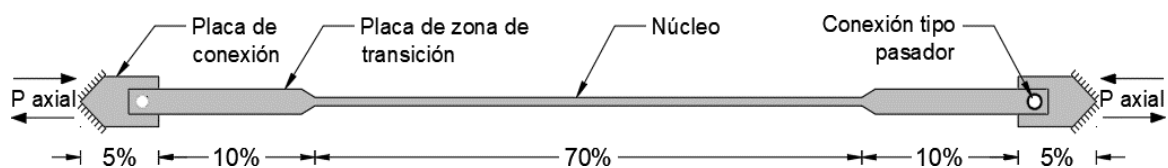
### 2.6.5 Resistencia generada en las conexiones

En esta sección, determinamos las relaciones *m* y *n* asumiendo las dimensiones de la placa conectora y la placa de BRB. Estas relaciones se utilizan posteriormente para calcular las deformaciones y rigideces equivalentes para todos los tipos de BRB. El BRB tendrá conexiones

de pasadores como se muestra en la **Figura 2.18**. Además, se establece que el área de la zona de transición es 3,33 veces el área del núcleo del BRB, y el área de la placa de conexión es 6 veces el área del núcleo. Se Considera que el núcleo presente en el BRB ocupa un 70% del largo de la diagonal, se procede a asumir que ambas placas de conexión ocupan un 10% individualmente, permitiendo así un restante del 20% para las zonas de transición. Consideramos razonables las suposiciones, ya que dicho único propósito es resistir fuerzas axiales y pandeo.

**Figura 2.18**

*Representación gráfica de las placas de conexión y transición y porcentaje de sus respectivas longitudes. Porcentaje de sus respectivas*



**Tabla 2.12**

*Secciones asumidas de las placas de conexión y placas de zonas de transición para el BRB.*

Elemento	Símbolo	Valor	Unidad
Área de Placa de conexión	$A_c$	24.00	$cm^2$
Longitud placa de conexión	$L_c$	32.60	$cm$
Rigidez de la conexión	$K_c$	1501094	$Kgf/cm$
Área de zona de transición	$A_t$	20.00	$cm^2$
Longitud zona de transición	$L_t$	65.19	$cm$
Rigidez de zona de transición	$K_t$	625456	$Kgf/cm$

La **Tabla 2.13** se muestra el resultado del cálculo de los factores  $m$  y  $n$ . Se nota que, según las dimensiones asumidas, la placa de conexión tiene una rigidez axial aproximadamente 37.33 veces mayor que la del núcleo, mientras que la placa de transición es aproximadamente 15.56 veces más rígida.



**Tabla 2.13**

Relaciones  $m$ ,  $n$ , que existe entre la rigidez del núcleo y la rigidez de las conexiones.

Elemento	Símbolo	Valor	Unidad
Cociente de la rigidez de la placa de conexión sobre la rigidez del núcleo $K_c/K_n$	$m$	37.33	-
Cociente de la rigidez de la placa de transición sobre la rigidez del núcleo $K_t/K_n$	$n$	15.56	-

**2.6.6 Límite Máximo del BRB**

El BRB consta de dos placas de transición y dos placas de conexión, cuya capacidad axial y límite elástico están limitados por la capacidad del núcleo. Esto se debe a que la placa de conexión tiene una rigidez axial mayor que el núcleo. Por lo tanto, el límite elástico de BRB es igual al límite elástico del núcleo  $P_{yn}$ . La siguiente tabla resume las características de capacidad de BRB calculadas utilizando las fórmulas

descritas en la Sección 2.4.4. Dado que se supone el factor  $\beta = 1$ , la fuerza restrictiva del núcleo de acero bajo tensión,  $P_{utn}$ , y la fuerza restrictiva del núcleo de acero bajo compresión,  $P_{ucn}$ , son iguales.

**Tabla 2.14**

Cálculo de la rigidez y fuerzas últimas del BRB.

	$A_n$	Longitud	Longitud	$K_n =$	$K_{eq} =$	$P_{yn} =$	$P_{utn} =$	$P_{ucn} =$
PIS	Colocad	Diagonal	del Nucleo	$(A_n$	$K_n \cdot (m \cdot n) /$	$A_n \cdot F_y$	$P_{yn} \cdot \omega$	$P_{yn} \cdot \omega \cdot \beta$
O	$a$	$L_d$	$L_n$	$\cdot R_y \cdot E_s)$	$(m \cdot n + 2 \cdot m + 2 \cdot n)$			
	[cm <sup>2</sup> ]	[cm]	[cm]	[kgf/cm]	[kgf/cm]	[kgf]	[kgf]	[kgf]
3	16.00	652	456.34	107221	90702.97	61162.08	79511	79511
2	19.00	652	456.34	127325	107709.77	72629.97	94419	94419
1	20.00	652	456.34	134026	113378.71	76452.60	99388	99388

### 2.6.7 Colocación de los disipadores en la estructura

En la **Figura 2.19** y **Figura 2.20** se observa la colocación de los disipadores BRB en sus ejes se optó por colocar 8 BRB en la estructura por cada planta para mantener la rigidez del edificio y lograr deformaciones uniformes en toda la estructura. En la **Tabla 2.15** se observan las dimensiones de cada disipador por piso.

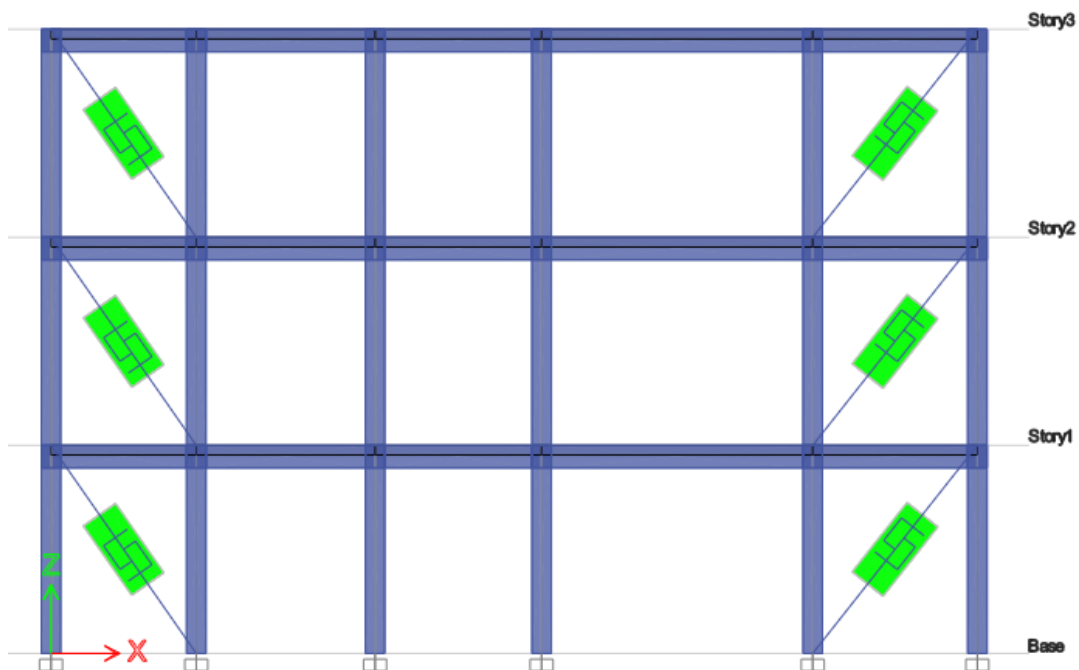
**Tabla 2.15**

*Dimensiones de los disipadores BRB*

<i>Pisos</i>	<i>Dimensiones de lo disipadores</i>		
	<i>Placa de conexión (cm)</i>	<i>Placa de zona de transición (cm)</i>	<i>Núcleo (m)</i>
<i>P3</i>	22.00	44.10	3.11
<i>P2</i>	23.15	45.25	3.12
<i>P1</i>	23.15	45.25	3.12

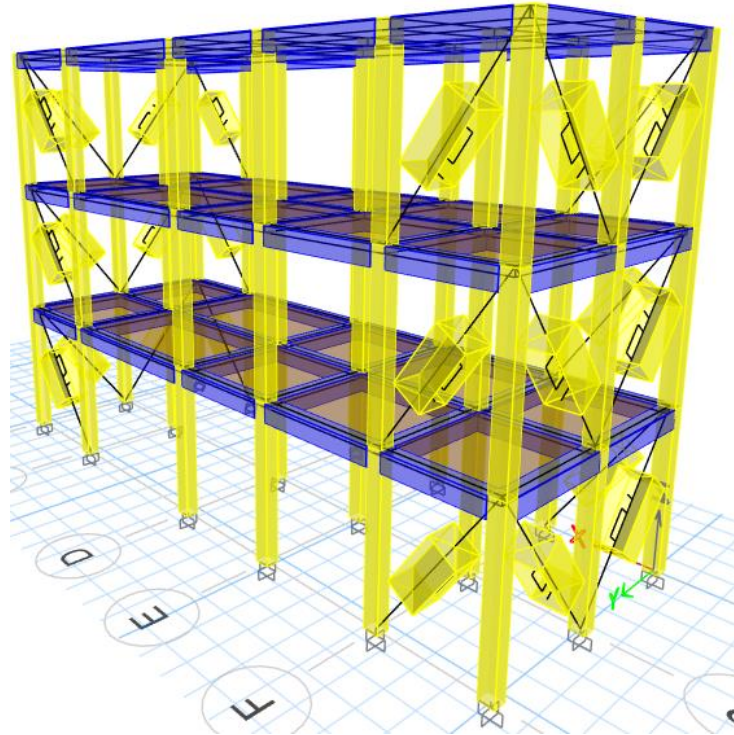
**Figura 2.19**

*Vista frontal de la estructura con disipadores*



**Figura 2.20**

*Vista 3d de la estructura con disipadores*



### **2.6.8 Cambio Proporcional Del BRB**

En la **Tabla 2.16**, la deformación por flujo del núcleo debido a la fuerza  $P$  y  $\delta_{yn}$ , la placa conectora  $\delta_{yc}$  y la deformación elástica de la placa de transición  $\delta_{yt}$  se calcularon utilizando las fórmulas enumeradas en la misma tabla. La deformación final del BRB también se calculó, En el cálculo se utilizaron los coeficientes  $IO$ ,  $LS$  y  $CP$ . Finalmente, se confirmó que la componente del eje  $X$  de la deformación final del núcleo,  $\delta_{ux}$ , es menor que la deriva máxima permitida en el marco,  $\Delta_{max}= 2\%$ .

### **2.6.9 Estándares De Rendimiento Del BRB**

La **Tabla 2.16** calcula las transformaciones  $\delta_{IO}$ ,  $\delta_{LS}$  y  $\delta_{CP}$  que limitan los niveles de potencia en el diagrama  $F - \delta$ . Estas deformaciones se calcularon utilizando el procedimiento descrito en la Sección 2.7.4.

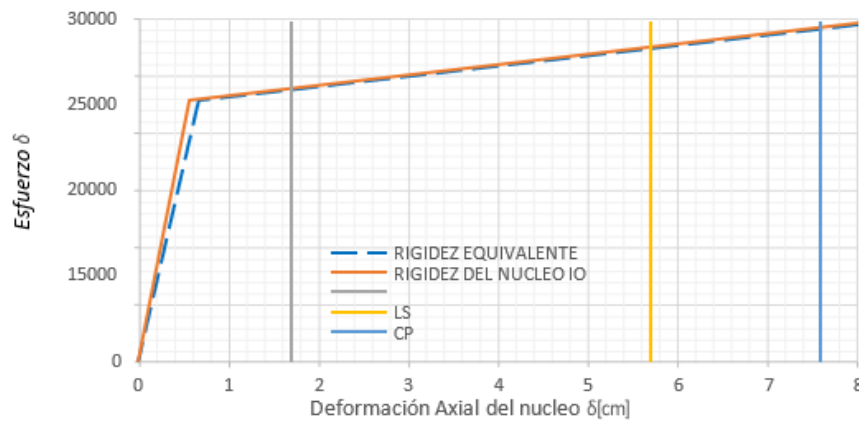
**Tabla 2.16**

*Análisis del comportamiento del BRB bajo diferentes niveles de carga:*

$\delta_{IO} = \delta_{y_n} \cdot IO$ [cm]	$\delta_{LS} = \delta_{y_n} \cdot LS$ [cm]	$\delta_{CP} = \delta_{y_n} \cdot CP$ [cm]	$\delta_{u_x} = \delta_{u_{eq}} \cos(\theta)$ [cm]	$\Delta_{max} = 0.02h$ [cm]	$\Delta_{max} > \delta_{u_x}$ -
1.71	5.70	7.59	7.00	7.00	Ok!
1.71	5.70	7.59	7.00	7.00	Ok!
1.71	5.70	7.59	7.00	7.00	Ok!

**Figura 2.21**

*Curva de capacidad del BRB tipo (línea naranja) 5. Curva de capacidad de su núcleo (línea gris)*



Finalmente, la **Figura 2.21** muestra la curva de capacitancia del núcleo BRB tipo y la curva de capacitancia del BRB con los respectivos componentes. Lo cual muestra que es suficientemente preciso al describir el comportamiento elastoplástico del BRB implementando solamente la curva de la capacidad del núcleo.

### **2.6.10 Diseño De Acelerogramas**

A continuación, con las rigideces de los elementos de disipación de energía se logrará modelar a la estructura, cabe mencionar que el peso de los disipadores no es tan considerable al momento de instalarlos y no producen mayor cambio a la estructura por lo que se le otorgará un valor de cero y se propuso realizar un disipador sísmico por cada piso con su rigidez, fuerza

que soportan, y considerar que se debe conocer las tensiones y compresiones máximas de este elemento de disipación.

**Figura 2.22**

*BRB para el primer piso*

**Figura 2.23**

*Rigideces y Fuerza de histéresis del elemento del primer piso*

Figura 2.24

BRB para el segundo piso

**Link Property Data**

**General**

Link Property Name: BRB-Piso2

Link Type: Plastic (Wen)

Link Property Notes: Modify/Show Notes...

P-Delta Parameters: Modify/Show...

Acceptance Criteria: Modify/Show...  
None specified

**Total Mass and Weight**

Mass: 0 kgf-s<sup>2</sup>/cm

Weight: 0 kgf

Rotational Inertia 1: 0 kgf-cm-s<sup>2</sup>

Rotational Inertia 2: 0 kgf-cm-s<sup>2</sup>

Rotational Inertia 3: 0 kgf-cm-s<sup>2</sup>

**Factors for Line and Area Springs**

Link/Support Property is Defined for This Length When Used in a Line Spring Property: 30.48 cm

Link/Support Property is Defined for This Area When Used in an Area Spring Property: 929 cm<sup>2</sup>

**Directional Properties**

Direction	Fixed	NonLinear	Properties
<input checked="" type="checkbox"/> U1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Modify/Show for U1...
<input type="checkbox"/> U2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for U2...
<input type="checkbox"/> U3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for U3...

Fix All Clear All

**Stiffness Options**

Stiffness Used for Linear and Modal Load Cases: Effective Stiffness from Zero, Else Nonlinear

Stiffness Used for Stiffness-proportional Viscous Damping: Initial Stiffness (K0)

Stiffness-proportional Viscous Damping Coefficient Modification Factor: 1

**Figura 2.25**

*Rigideces y Fuerza de histéresis del elemento del segundo piso*

**E Link/Support Directional Properties**

**Identification**

Property Name	BRB-Piso2
Direction	U1
Type	Plastic (Wen)
NonLinear	Yes

**Linear Properties**

Effective Stiffness	21854	kgf/cm
Effective Damping	0	kgf-s/cm

**Nonlinear Properties**

Stiffness	21854	kgf/cm
Yield Strength	9866	kgf
Post Yield Stiffness Ratio	0.03	
Yielding Exponent	2	

Figura 2.26

BRB para el Tercer piso

**Link Property Data**

**General**

Link Property Name: BRB-Piso 3

Link Type: Plastic (Wen)

Link Property Notes: Modify/Show Notes...

P-Delta Parameters: Modify/Show...

Acceptance Criteria: Modify/Show...  
None specified

**Total Mass and Weight**

Mass: 0 kgf-s<sup>2</sup>/cm

Weight: 0 kgf

Rotational Inertia 1: 0 kgf-cm-s<sup>2</sup>

Rotational Inertia 2: 0 kgf-cm-s<sup>2</sup>

Rotational Inertia 3: 0 kgf-cm-s<sup>2</sup>

**Factors for Line and Area Springs**

Link/Support Property is Defined for This Length When Used in a Line Spring Property: 30.48 cm

Link/Support Property is Defined for This Area When Used in an Area Spring Property: 929 cm<sup>2</sup>

**Directional Properties**

Direction	Fixed	NonLinear	Properties
<input checked="" type="checkbox"/> U1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Modify/Show for U1...
<input type="checkbox"/> U2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for U2...
<input type="checkbox"/> U3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for U3...

Buttons: Fix All, Clear All

**Stiffness Options**

Stiffness Used for Linear and Modal Load Cases: Effective Stiffness from Zero, Else Nonlinear

Stiffness Used for Stiffness-proportional Viscous Damping: Initial Stiffness (K0)

Stiffness-proportional Viscous Damping Coefficient Modification Factor: 1



**Figura 2.27**

*Rigideces y fuerza de histéresis del elemento del tercer piso*

Identification	
Property Name	BRB-Piso 3
Direction	U1
Type	Plastic (Wen)
NonLinear	Yes

Linear Properties	
Effective Stiffness	14791 kgf/cm
Effective Damping	0 kgf-s/cm

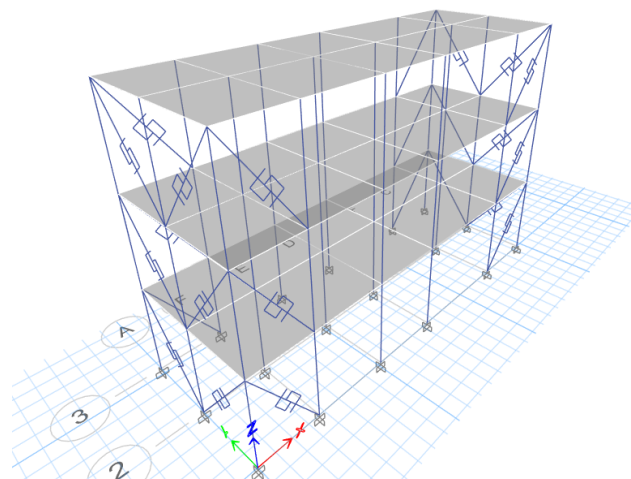
  

Nonlinear Properties	
Stiffness	14791 kgf/cm
Yield Strength	6578 kgf
Post Yield Stiffness Ratio	0.03
Yielding Exponent	2

Se modela la estructura con los disipadores y se obtienen los siguientes resultados, en la **Figura 2.28** se observa la estructura con disipadores sísmicos BRB.

**Figura 2.28**

*Vista en 3d del uso de disipadores BRB*

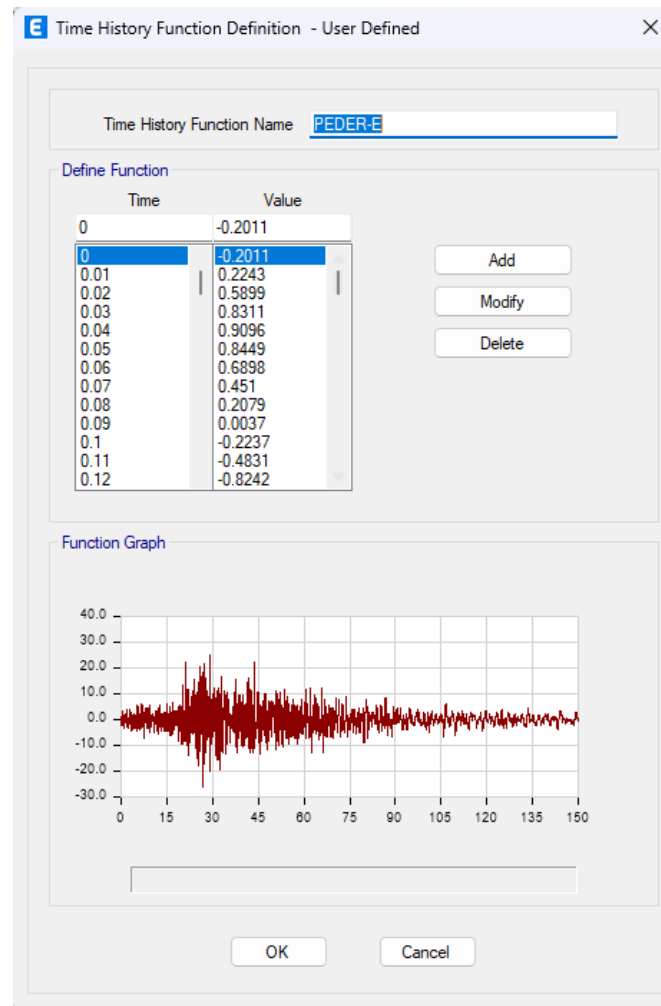


Para el análisis se implementó un sismo de diseño y otro sismo en tiempo historia con acelerogramas del Instituto Geofísico del Ecuador del sismo de pedernales de magnitud de 7.7 el 16 de abril del 2016.

Para ellos obtendremos los desplazamientos cortantes y como la energía se disipa con el uso de los BRB como sistemas de disipación sísmica. En la **Figura 2.29** se puede observar los datos ingresados al software del sismo.

**Figura 2.29**

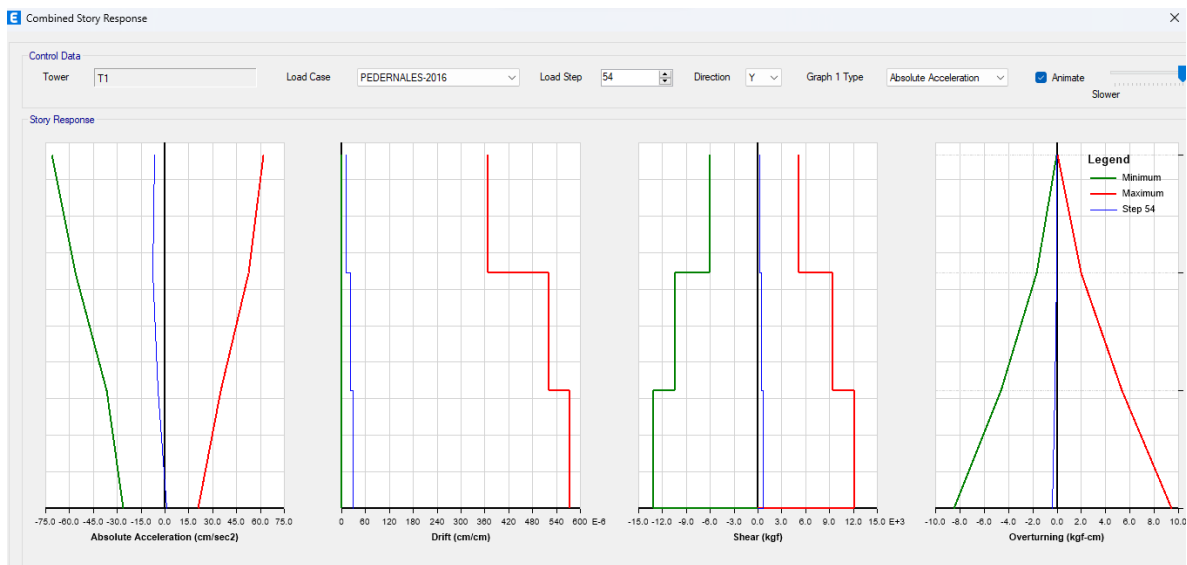
*Acelerogramas de tiempo historia del sismo de pedernales en el software*



Con estos datos se puede realizar el análisis para determinar los espectros de respuesta y la disipación de energía que generan los disipadores de energía BRB. En la **Figura 2.30** se ven los resultados que produce el sismo.

**Figura 2.30**

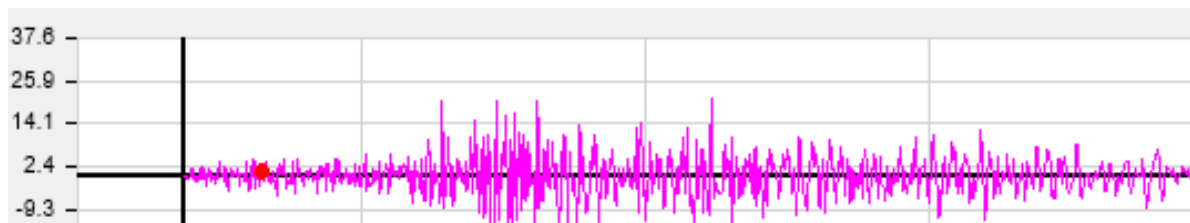
*Resultados del análisis tiempo historia*



Se logra observar las cortantes que existen, los desplazamientos menores al 2% que determina la Norma NEC-15 y la disipación que existe de estos sistemas.

**Figura 2.31**

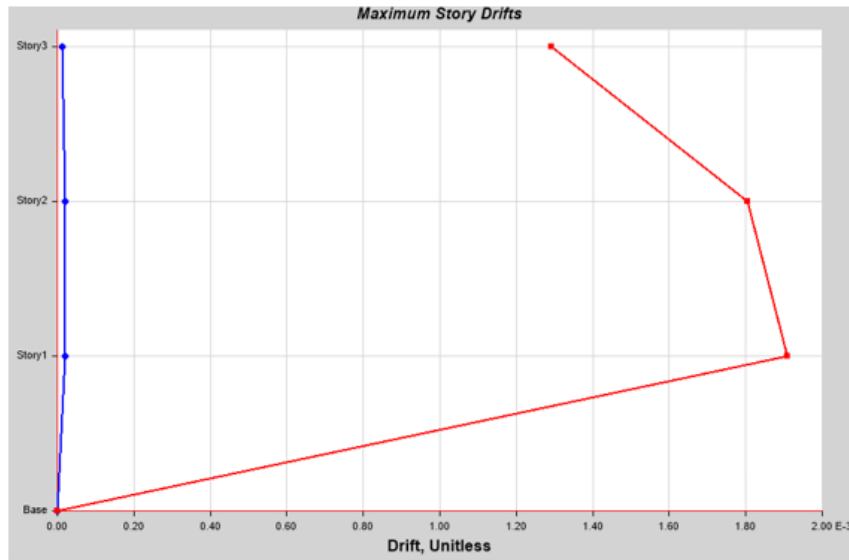
*Aceleraciones producidas por el sismo*



En la **Figura 2.32** se puede observar la reducción de los desplazamientos en una 20% lo que permite que si funciona la implementación de disipadores sísmicos.

**Figura 2.32**

*Desplazamientos con disipadores BRB*

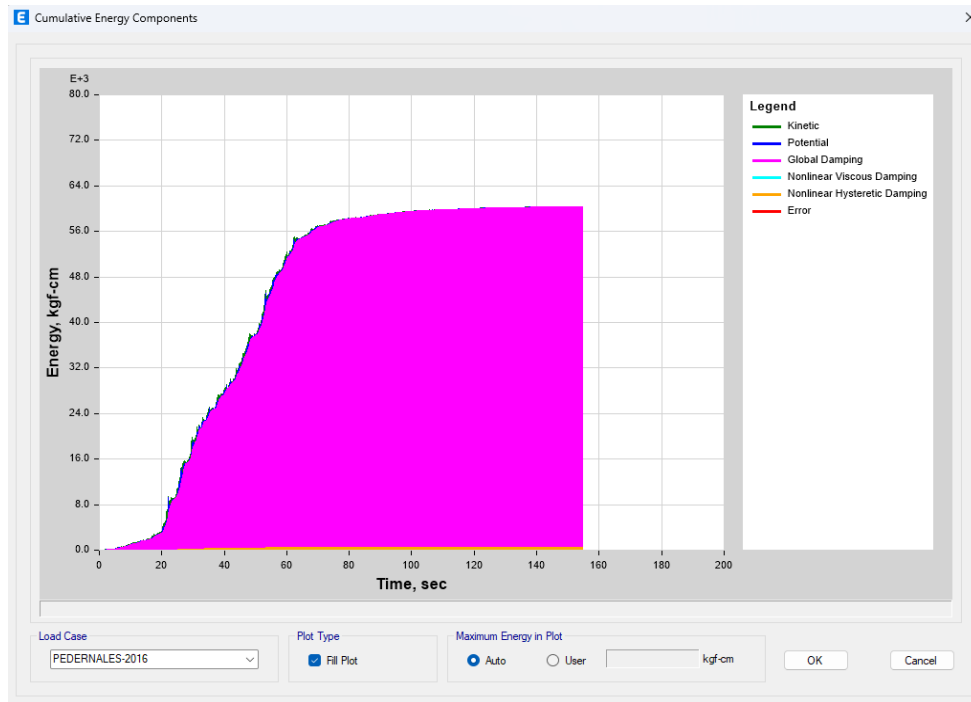


Como se observan en los resultados los desplazamientos disminuyeron considerablemente y pasaron de 0.0035 a 0.0019 lo que permite que si cumple el funcionamiento del uso de disipadores históricos lo que logra disminuir los desplazamientos evitando el daño en la estructura.

A continuación, se observa otros resultados de los cuales se podrá observar cuanta energía disipan los BRB al actuar con fuerzas sísmicas.

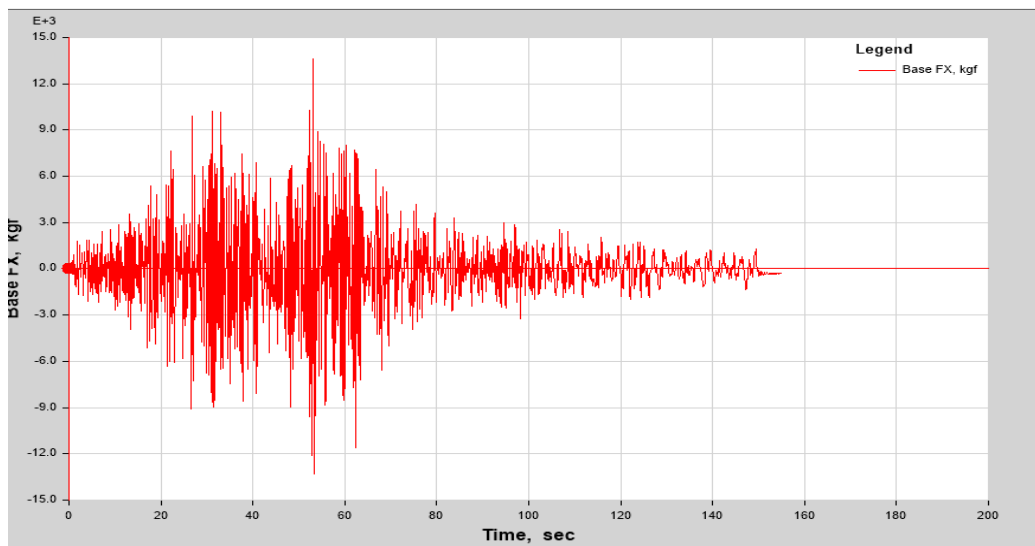
**Figura 2.33**

*Energía disipada por los componentes BRB*



**Figura 2.34**

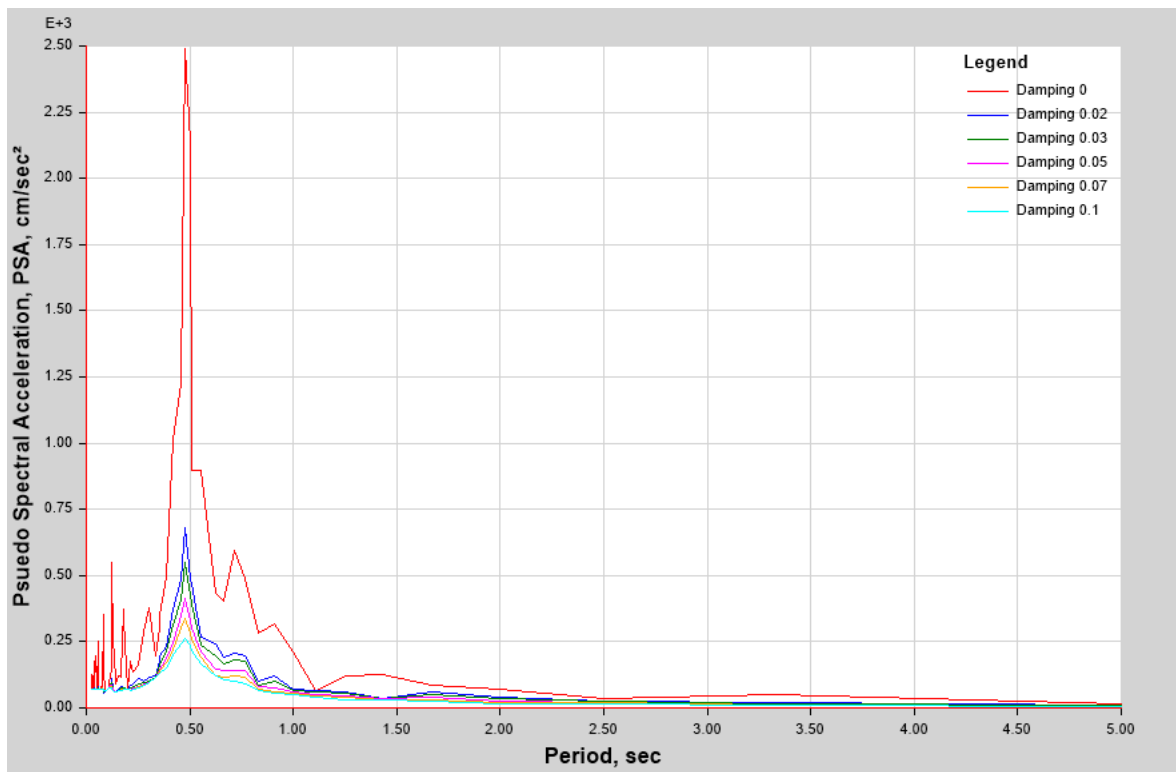
*Acelerograma del sismo de Pedernales*



Se producen aceleraciones espectrales al momento de que actúa el sismo en la estructura y en la **Figura 2.35** se observa el comportamiento de los espectros de respuesta. En la **Figura 2.36** el comportamiento histórico de la estructura.

**Figura 2.35**

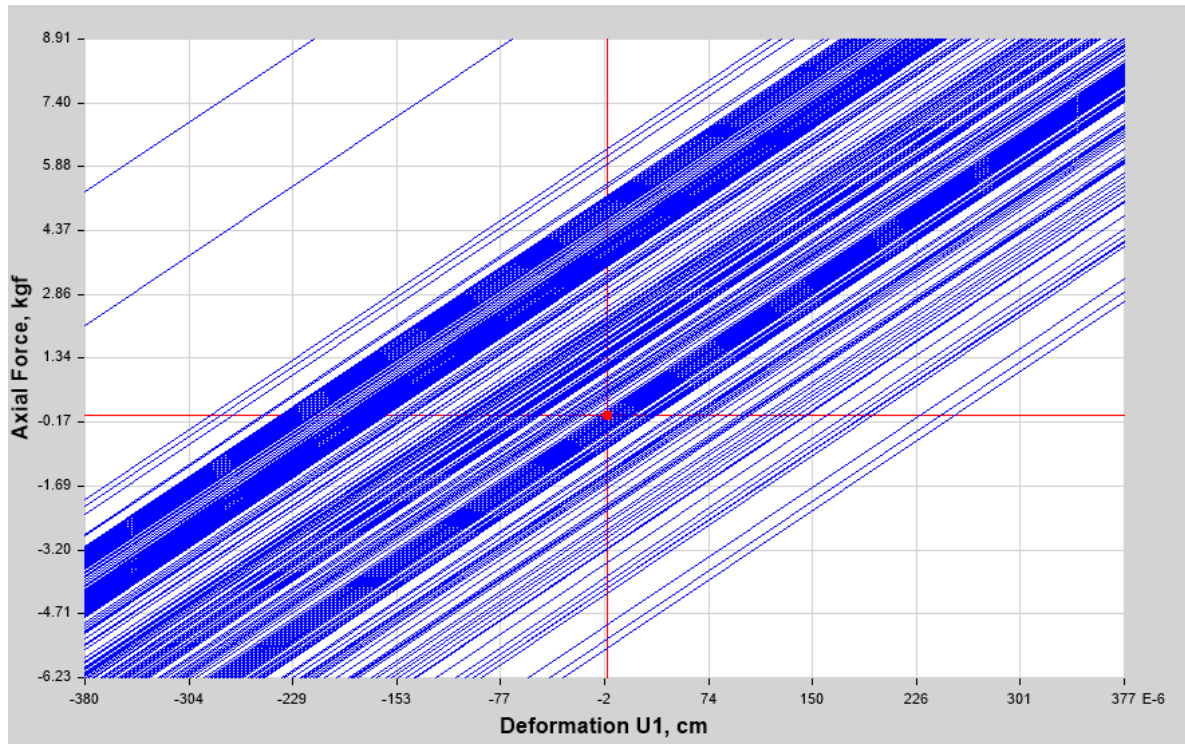
Aceleración Pseudo Espectral



Se pueden analizar cómo actúa el sismo y visualizar que a los pocos segundos que inicia el sismo existe la mayor fuerza de impacto que producen las fuerzas sísmicas.

**Figura 2.36**

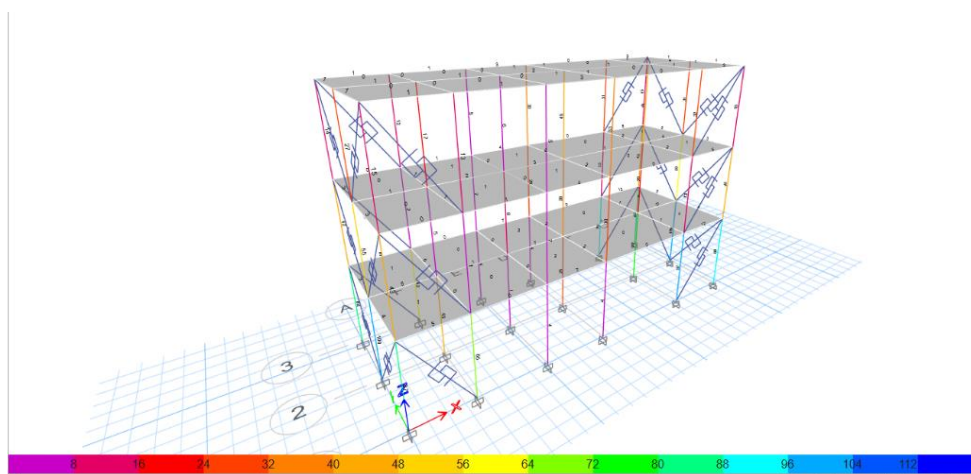
*Diagrama Histórico de la Estructura*



En el diagrama se observa deformaciones no tan exageradas debido a las dimensiones de la estructura y al uso de los disipadores sísmicos.

**Figura 2.37**

*Daños que produce el sismo de diseño*



**Tabla 2.17***Periodos y Frecuencias generada por el sismo*

<b>Case</b>	<b>Modo</b>	<b>Periodo</b> <b>seg</b>	<b>Frecuencia</b> <b>cyc/sec</b>	<b>CircFreq</b> <b>rad/sec</b>	<b>Eigenvalue</b> <b>rad<sup>2</sup>/sec<sup>2</sup></b>
<b>Modal</b>	1	0.509	1.966	12.3558	152.6669
<b>Modal</b>	2	0.475	2.105	13.2257	174.9188
<b>Modal</b>	3	0.354	2.826	17.7553	315.2505
<b>Modal</b>	4	0.183	5.477	34.4107	1184.0996
<b>Modal</b>	5	0.167	6.002	37.7131	1422.275
<b>Modal</b>	6	0.13	7.664	48.1526	2318.6722
<b>Modal</b>	7	0.12	8.345	52.435	2749.4295
<b>Modal</b>	8	0.107	9.328	58.6109	3435.2337
<b>Modal</b>	9	0.086	11.695	73.4794	5399.2167
<b>Modal</b>	10	0.025	40.15	252.2692	63639.7246
<b>Modal</b>	11	0.024	41.392	260.0743	67638.6487
<b>Modal</b>	12	0.024	42.324	265.9323	70719.9639

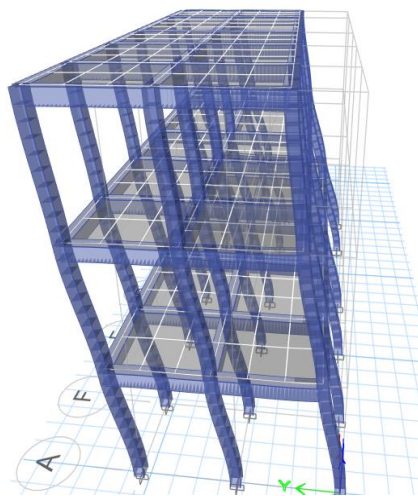


## 2.7 Resultados estructurales

Mediante el análisis con el programa de elementos finitos se obtuvo el periodo de vibración de la estructura como se ve en la **Figura 2.38** de 0.67 (seg).

**Figura 2.38**

*Vista 3-d de Estructura sin disipadores con sismo en dirección Y*



Con estos datos, podemos determinar las dimensiones de los disipadores sísmicos, los cuales usaremos los BRB con lo que obtenemos datos de masa, desplazamientos, rigidez, cortante y como los disipadores se buscara reducir el desplazamiento a una deriva objetiva menor al 2% estipulado por la NEC-15, que se planteó como deriva objetivo de un 0.0033, para poder visualizar como la energía se puede disipar, asegurando la seguridad de la estructura.

**Figura 2.39**

*Resultados de masa por piso de la estructura*

E Mass Summary by Story				
File Edit Format-Filter-Sort Select Options				
Units: As Noted Hidden Columns: No Sort: None				
Filter: None				
	Story	UX kgf-s <sup>2</sup> /cm	UY kgf-s <sup>2</sup> /cm	UZ kgf-s <sup>2</sup> /cm
▶	Story3	84.8635	84.8635	0
	Story2	90.1888	90.1888	0
	Story1	90.1888	90.1888	0
	Base	5.3254	5.3254	0

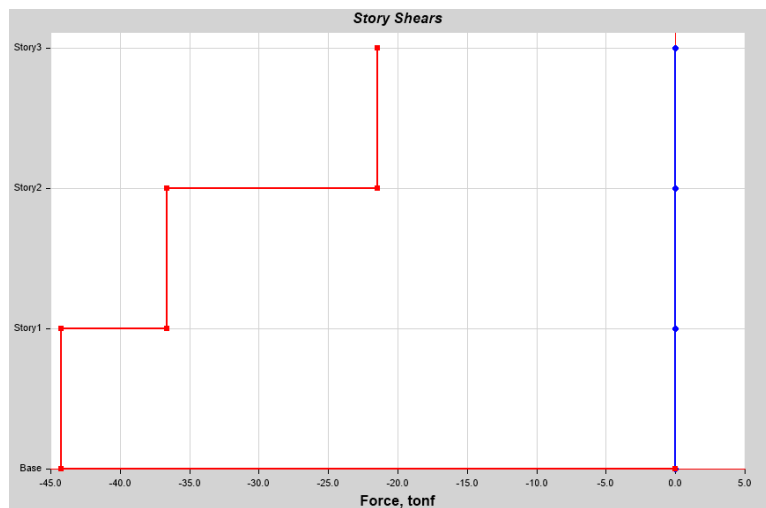
**Figura 2.40**

*Resultados de cortante por piso de la estructura*

E Story Forces									
File Edit Format-Filter-Sort Select Options									
Units: As Noted Hidden Columns: No Sort: None									
Filter: ((Output Case) = 'SIS Y') AND ((Location) = 'Bottom')									
	Story	Output Case	Case Type	Step Type	Step Number	Location	P kgf	VX kgf	VY kgf
▶	Story3	SIS Y	LinStatic			Bottom	0	0	-21436.97
	Story2	SIS Y	LinStatic			Bottom	0	0	-36625.1
	Story1	SIS Y	LinStatic			Bottom	0	0	-44219.16

**Figura 2.41**

*Cortante basal de la estructura con disipadores*

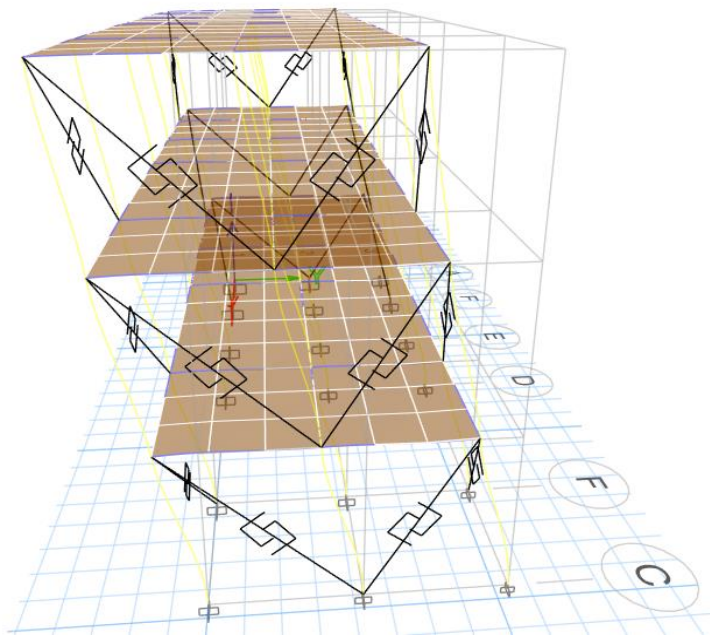


El desplazamiento máximo da 0.0035 no cumple con el desplazamiento objetivo esperado de 0.0033 lo que se implementa el uso de disipadores sísmicos BRB para llegar a la deriva objetiva.

Para eso se logrará determinar los componentes del disipador lo que permita que fluya el núcleo de acero antes que el pórtico. En la **Figura 2.42** se observa la estructura con disipadores sísmicos.

**Figura 2.42**

*Vista 3-d de Estructura sin disipadores con sismo en dirección Y*



## CAPITULO III

### 3. Análisis y Resultados

El análisis de disipación sísmica implica evaluar, como el refuerzo sísmico contribuye a la capacidad de la estructura para resistir y disipar la energía generada por un terremoto. Los resultados de este análisis se lograron de la siguiente manera:

#### 3.1 Propiedades dinámicas de la estructura

##### 3.1.1 Periodos de vibración

En la **Tabla 3.1**, se muestran los valores obtenidos para los periodos de vibración, resultado del análisis dinámico de la estructura con disipadores, en comparación con el modelo de la estructura sin disipadores.

**Tabla 3.1**

*Periodo Fundamental de vibración  $T$  (s) para la estructura de análisis*

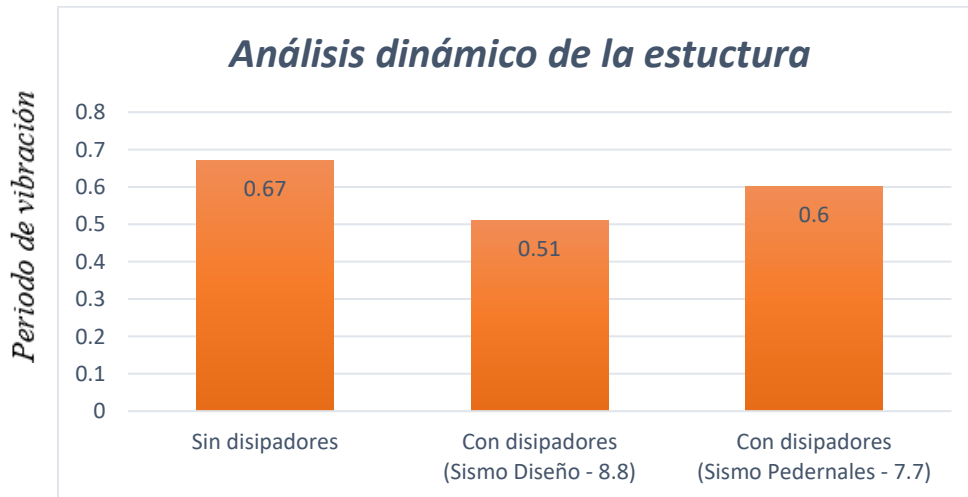
<i>Arcilla</i>		
<i>Método</i>	<i>3 pisos</i>	<i>Dif (%)</i>
<i>Sin disipadores</i>	<i>0.67</i>	
<i>Con disipadores</i> <i>(Sismo Diseño - 8.8)</i>	<i>0.51</i>	<i>8%</i>
<i>Con disipadores</i> <i>(Sismo Pedernales - 7.7)</i>	<i>0.60</i>	<i>9%</i>

Sabiendo que el período de vibración en una estructura se refiere al tiempo necesario para que la estructura complete un ciclo de vibración bajo la acción de una fuerza externa o un

disturbio. Se tiene toma ya que está relacionada con la respuesta dinámica de la estructura a las fuerzas sísmicas utilizado para el análisis.

### Figura 3.1

*Variación del Periodo de vibración de análisis de tiempo historia*



En base a la **Figura 3.1** el período de vibración más largo indica una estructura más flexible, mientras que un período más corto indica una estructura más rígida. Se calcula típicamente a partir de las propiedades físicas y geométricas de la estructura, como su masa, rigidez y distribución de masa.

#### 3.1.2 Desplazamientos máximos

Los desplazamientos de la estructura refieren al movimiento o cambio de posición de una construcción o edificación. En la **Tabla 3.2** se presentan los valores obtenidos de los desplazamientos máximos en las direcciones X e Y, como resultado del análisis dinámico de la estructura con disipadores, en comparación con el modelo de la estructura sin disipadores. Cuando un terremoto o un evento sísmico ocurre, las estructuras pueden experimentar desplazamientos debido a las fuerzas generadas por el movimiento del suelo.

**Tabla 3.2**

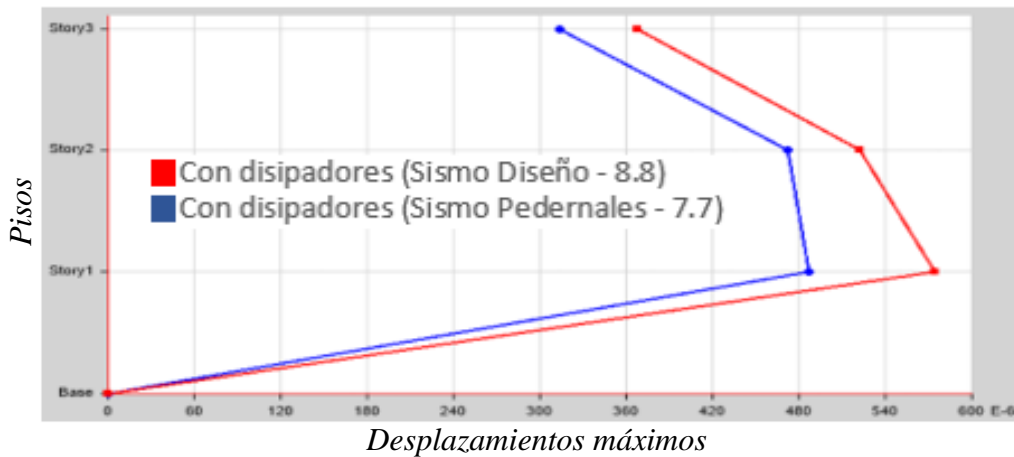
*Resultados de desplazamientos máximos de la estructura*

<i>Desplazamientos máximos (Sismo x / Sismo Y)- Arcilla (m)</i>			
	<i>Arcilla</i>		
<i>Método</i>	<i>Sismo X</i>	<i>Sismo Y</i>	<i>Dif %</i>
<b>Sin disipadores</b>	0.0025	0.029	
<b>Con disipadores (Sismo de diseño – 8.8)</b>	0.0017	0.016	21%
<b>Con disipadores (Sismo Pedernales – 7.7)</b>	0.0011	0.0046	75%

Se observa en la **Figura 3.2** la variación de las cargas cortantes en la base de la estructura permitiendo observar la absorción y disminución de cargas por medio del uso de disipación sísmica.

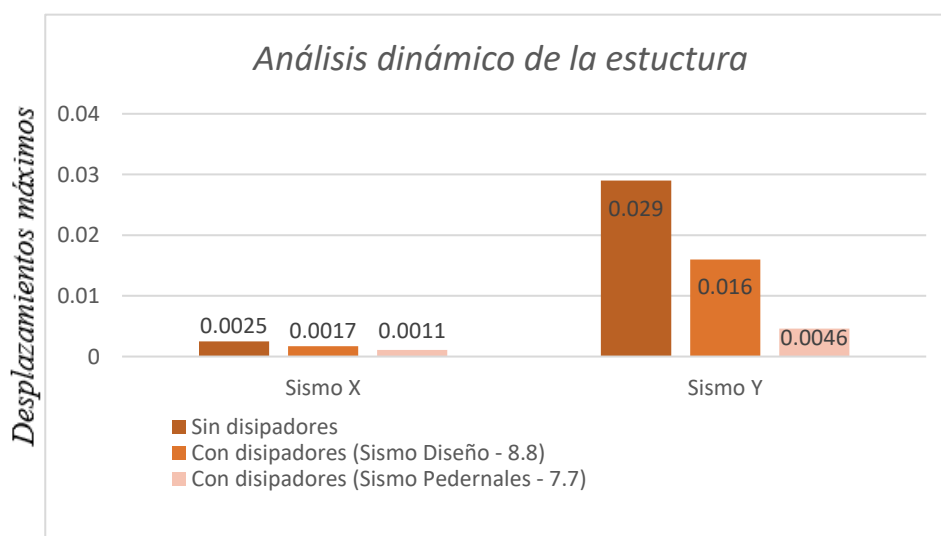
**Figura 3.2**

*Desplazamientos máximos de la estructura*



**Figura 3.3**

Variación de análisis de tiempo historia de los desplazamientos máximos de la estructura



### 3.1.2 Derivas

En la **Tabla 3.3** se presentan los valores correspondientes a la máxima deriva de piso de la estructura en los distintos casos de análisis. Se emplea un valor de referencia para la deriva que es igual o inferior al 2%, conforme a la (NEC-SE-DS-15).

**Tabla 3.3**

Derivas de piso máxima de la estructura (X-Y)

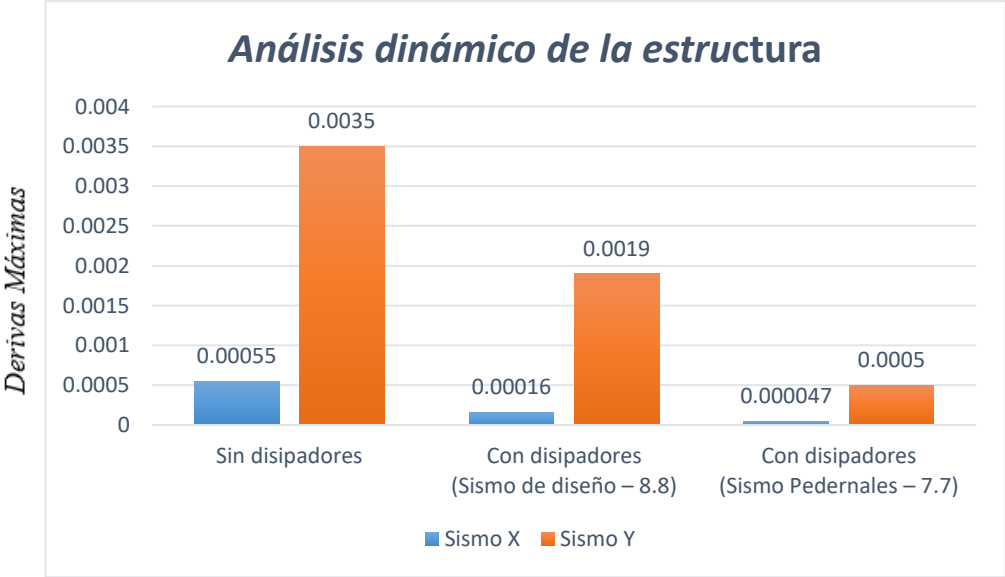
<i>Derivas de Pisos Máximos (Sismo X / Sismo Y) – Arcilla</i>			
<i>Arcilla</i>			
<i>Método</i>	<i>Sismo X</i>	<i>Sismo Y</i>	<i>Dif %</i>
<i>Sin disipadores</i>	0.00055	0.0035	
<i>Con disipadores (Sismo de diseño – 8.8)</i>	0.00016	0.0019	35%
<i>Con disipadores (Sismo Pedernales – 7.7)</i>	0.000047	0.0005	65%

Los valores se refieren a la magnitud de los desplazamientos horizontales que experimentan los pisos de la estructura durante un evento sísmico.

Estos desplazamientos se miden típicamente como porcentaje de la altura del piso, representando la deformación relativa del edificio. En la **Figura 3.3** se observa la variación de los resultados.

**Figura 3.4**

*Variación de análisis de tiempo historia derivas máximas*





## CAPÍTULO IV

### 4. Conclusiones

La revisión exhaustiva de la literatura especializada en disipadores sísmicos proporcionó una base sólida y fundamentada para respaldar el desarrollo del análisis estructural. Los estudios científicos revisados confirmaron la eficacia y ventajas de los disipadores BRB en la protección de edificaciones contra eventos sísmicos de gran magnitud.

La implementación de disipadores sísmicos BRB (Buckling Restrained Braces) en un hotel de tres plantas ha demostrado ser una estrategia altamente efectiva para mejorar la seguridad y resistencia sísmica de la estructura, especialmente cuando se contrasta con un diseño sin ninguna clase de disipadores.

Durante el proceso de simulación del sismo de Pedernales (2016) de magnitud 7.7 y el análisis del sismo que ocurrió entre la Frontera de Colombia-Ecuador (1906) de magnitud 8.8, se observó claramente cómo la presencia de los disipadores BRB contribuyó significativamente a reducir las deformaciones y las fuerzas sísmicas en la estructura del edificio. Esto se tradujo en una mayor capacidad de absorción de energía y en una disminución notable de los desplazamientos laterales, lo que garantiza una mejor protección para los ocupantes y una menor probabilidad de daños estructurales.

En contraste, el modelo de edificio sin disipadores sísmicos mostró una mayor susceptibilidad a las fuerzas sísmicas, con deformaciones más pronunciadas y una respuesta estructural menos controlada. Esto resalta la importancia de la implementación de tecnologías como los disipadores BRB para mejorar la capacidad de resistencia sísmica de las edificaciones y mitigar los potenciales riesgos asociados a eventos sísmicos de gran magnitud. Además, la comparación entre ambos modelos permitió identificar claramente las ventajas de incorporar disipadores sísmicos en el diseño estructural de un hotel de tres plantas. No solo se evidenció una

mayor estabilidad y seguridad del edificio durante un evento sísmico, sino también una potencial reducción en los costos de reparación y mantenimiento a largo plazo, gracias a la menor probabilidad de daños estructurales.

El análisis del comportamiento dinámico de la estructura se optimizó mediante el empleo de software de modelación estructural. Esta herramienta permitió simular el efecto del sismo de Pedernales (2016) de magnitud 7.7 y el análisis del sismo que ocurrió entre la Frontera de Colombia-Ecuador (1906) de magnitud 8.8, evaluar de manera precisa la respuesta del edificio tanto, con cómo sin disipadores sísmicos.

En conclusión, la implementación de disipadores sísmicos BRB en el hotel de tres plantas ha demostrado ser una medida efectiva para mejorar su capacidad de resistencia sísmica y proteger la seguridad de sus ocupantes. Esta estrategia, respaldada por una revisión exhaustiva de la literatura especializada, el cumplimiento de normativas de diseño, la optimización del análisis estructural y el contraste con edificaciones sin disipadores resalta la importancia de considerar tecnologías innovadoras en el diseño y construcción de edificaciones vulnerables a eventos sísmicos.

## CAPÍTULO V

### 5. Recomendaciones

Se recomienda realizar un estudio detallado de la zona de emplazamiento de la edificación de hormigón armado, considerando las características geotécnicas, topográficas y climáticas del lugar, así como los criterios de diseño estructural que establece la NEC-2015, con el fin de verificar el cumplimiento de la normativa vigente y garantizar la seguridad para una buena funcionalidad de la estructura. Esto incluye la verificación de parámetros como resistencia estructural, capacidad de carga, diseño sísmico y otros aspectos relevantes para asegurar la seguridad y estabilidad de la estructura.

El análisis descriptivo realizado contrastó el desempeño estructural entre edificaciones tradicionales y aquellas equipadas con disipadores sísmicos. Los resultados destacaron claramente los beneficios de la implementación de disipadores BRB, mostrando una reducción significativa en las deformaciones y fuerzas sísmicas en la estructura del hotel.

Finalmente, Realizar inspecciones periódicas para verificar el estado de los dispersores sísmicos históricos, asegurando que se encuentren en óptimas condiciones para cumplir con su función de mitigación de daños sísmicos, manteniendo un plan de contingencia y evacuación actualizado, se debería promover el uso de disipadores sísmicos para reducir los daños estructurales y así obtener mayor seguridad en las estructuras permitiendo que la vida útil de estas sea prolongada, y con el uso de disipación sísmica se puede evitar catástrofes, pérdidas materiales y pérdida de vidas humanas.

## ANEXOS

**Tabla de datos BRB**

<i>Datos</i>			<i>Sismicos</i>			
T	0,67		n	2,48	r	1,00
Sa	1,79		Z	0,40	$\phi_p$	1,00
$\Omega$	2,00		Fa	1,20	$\phi_e$	1,00
R	6,00		Fd	1,19	l	1,50
			Fs	1,28	Tc	0,70

**Tabla de datos del tipo de BRB**

Tipo	<i>PLATINUM</i>	
An	36	ksi
fy	2530	kg/cm <sup>2</sup>
$\omega$	1,30	
$\beta$	1,15	
KF	1,44	

**Tabla de desplazamiento de la estructura**

<i>Pisos</i>	<i>M</i>	<i>V</i>	<i>desp</i>	<i>der</i>	<i>der obj</i>
	<i>kg.s<sup>2</sup>/cm</i>	<i>kg</i>	<i>cm</i>		
3	84,8635	-21437	2,9253	0,0021	0,0033
2	90,1888	-36625,1	2,2498	0,0035	0,0033
1	90,1888	-44219,2	1,1284	0,0035	0,0033

**Tabla de altura, y peso de la estructura**

<i>H</i>	<i>K</i>	<i>L</i>	<i>Pbrb</i>
<i>cm</i>	<i>kg/cm</i>	<i>cm</i>	<i>kg</i>
322	33799,4	252	5359
322	34767,1	262	9156
322	41668,5	262	11055

**Tabla de numero de disipadores**

<i>Num</i>	<i>Pi-x</i>	<i>ang</i>	
	<i>kg</i>	<i>rad</i>	<i>grad</i>
4	1340	0,91	51,95
4	2289	0,89	50,87
4	2764	0,89	50,87

**Tabla de dimensiones del núcleo**

<i>Pi</i>	<i>An</i>	<i>Areal</i>	<i>e</i>	<i>l</i>	<i>Tmax</i>	<i>Cmax</i>
<i>kg</i>	<i>cm2</i>	<i>cm2</i>	<i>cm</i>	<i>cm</i>	<i>kg</i>	<i>kg</i>
2174	0,95	2,00	0,3	3,5	8222	9455
3627	1,59	3,00	0,3	5,2	12333	14183
4379	1,92	3,00	0,3	5,2	12333	14183

**Tabla de rigidez del núcleo**

<i>Lbwp</i>	<i>Keff</i>	<i>Kpwp</i>	<i>Pye</i>
<i>cm</i>	<i>kg/cm</i>	<i>kg/cm</i>	<i>kg</i>
409	14791	10272	6578
415	21854	15176	9866
415	21854	15176	9866

**Tabla de desplazamiento del disipador**

<i>d brb</i>	<i>dx</i>	<i>dy (edif)</i>	<i>dmax</i>	<i>dmax Brb</i>
<i>cm</i>	<i>cm</i>	<i>cm</i>	<i>cm</i>	<i>cm</i>
0,64	0,39	1,35	2,70	4,38
0,65	0,41	2,24	4,49	7,11
0,65	0,41	2,26	4,51	7,15

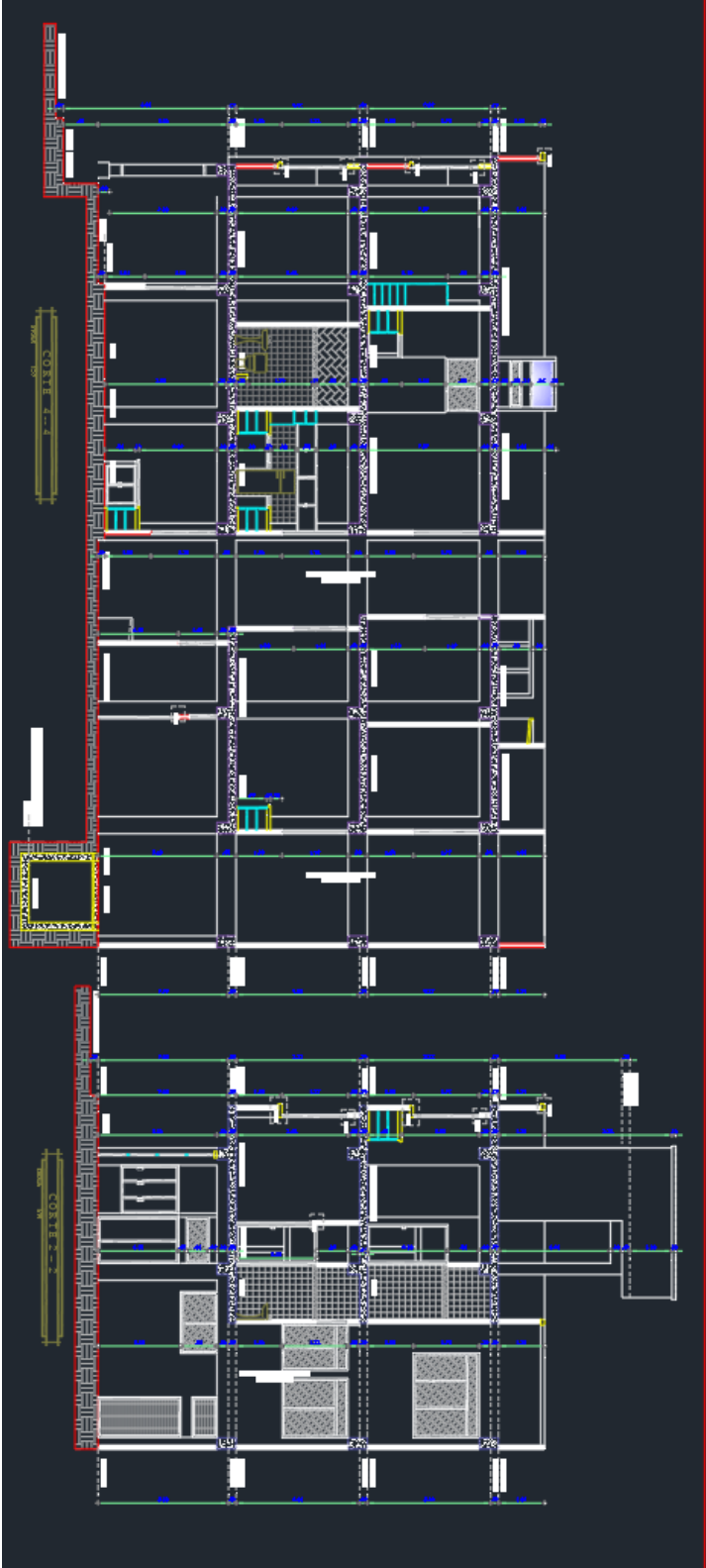
**Tabla datos de deriva con disipadores y deriva objetivo**

$\mu$	des BRB	der	der obj		
	ETABS				
6,85	1,6092	0,0013	0,0033	OK	0,58%
10,93	1,1933	0,0018	0,0033	OK	0,81%
11,00	0,6119	0,0019	0,0033	OK	0,86%

**Imagen de la ubicación**



Planos Arquitectónicos









**T1**

**T2**

**T3**

**T4**

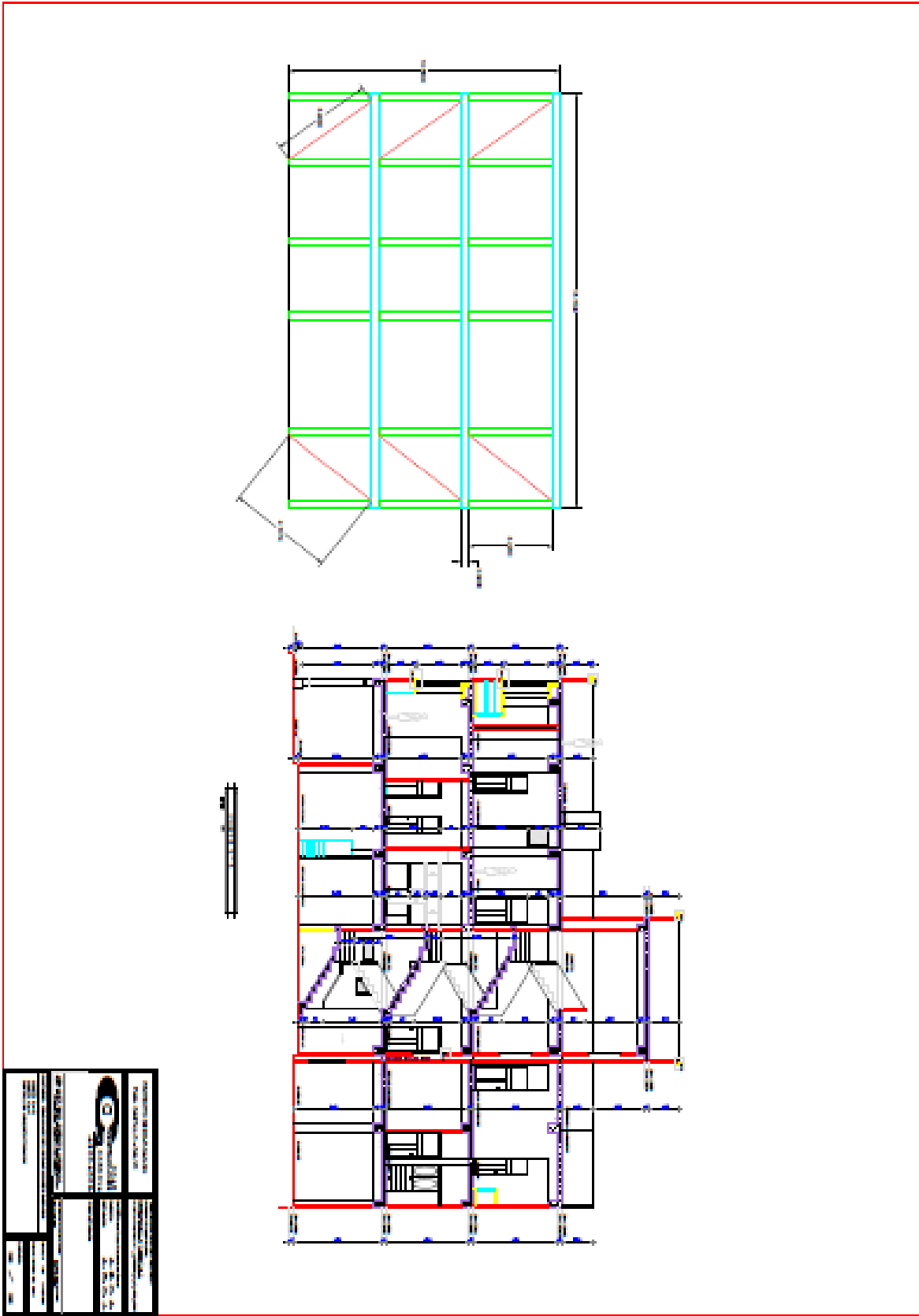
**T5**

**T6**

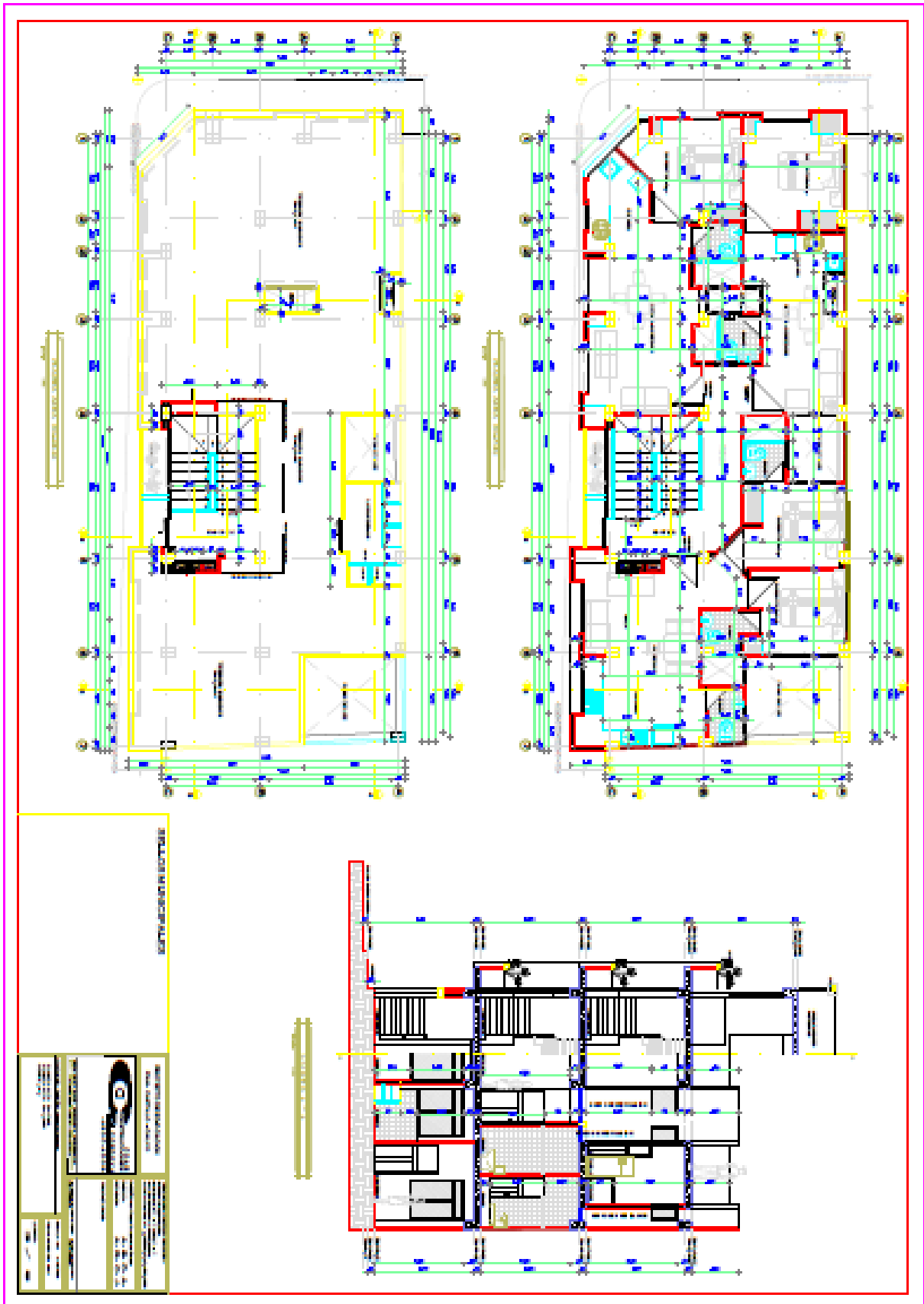
**Atención:** El tipo de barra de acero a utilizar debe ser el que se indique en el plano de detalle de la estructura.

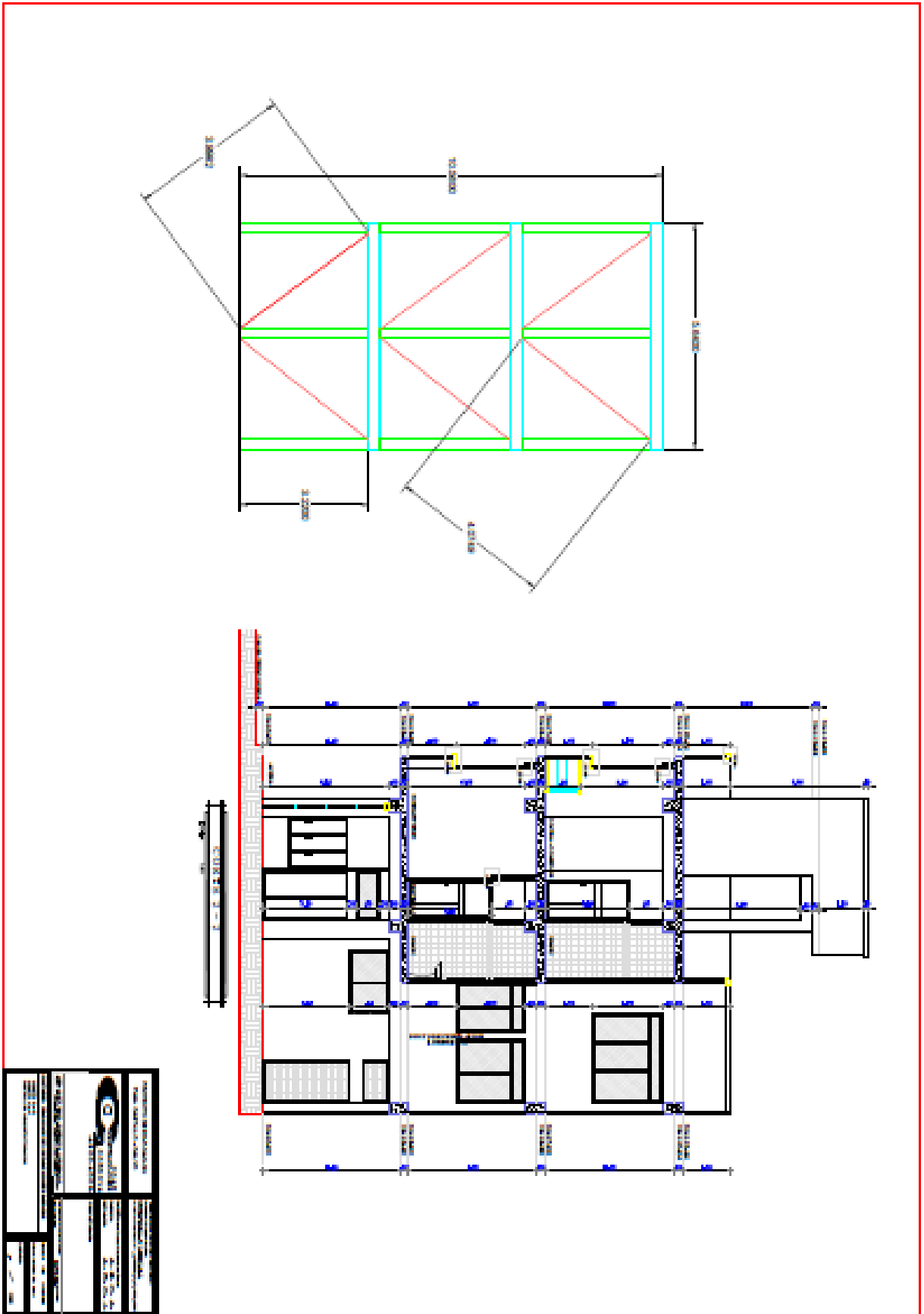
**TIPOS DE HIERROS**

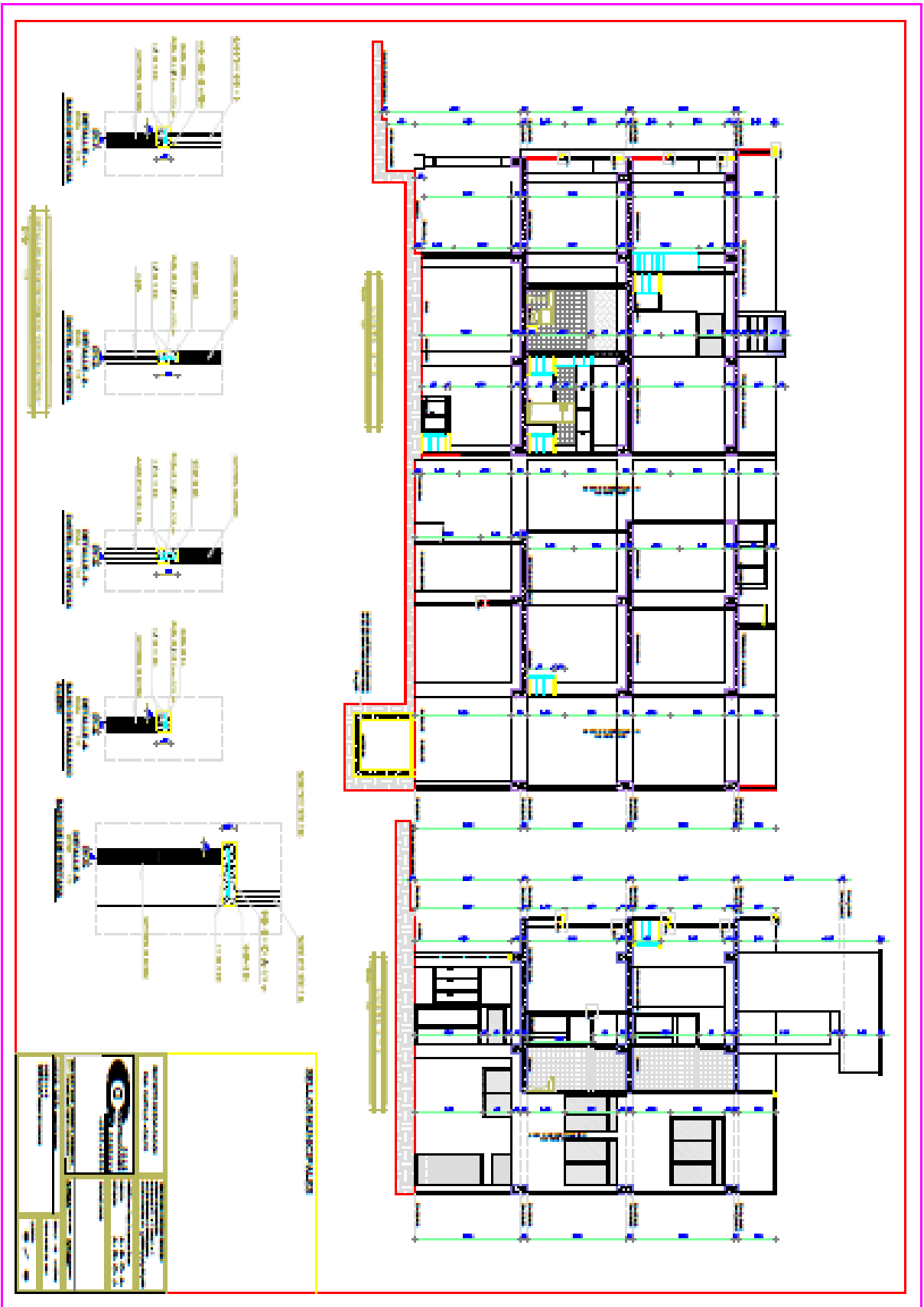
TABLA 1.1.1. TIPO DE HIERRO A UTILIZAR EN LA ESTRUCTURA											
TIPO DE HIERRO		TIPO DE HIERRO		TIPO DE HIERRO		TIPO DE HIERRO		TIPO DE HIERRO		TIPO DE HIERRO	
TIPO	DIAMETRO (φ)	TIPO	DIAMETRO (φ)	TIPO	DIAMETRO (φ)	TIPO	DIAMETRO (φ)	TIPO	DIAMETRO (φ)	TIPO	DIAMETRO (φ)
T1	10	T2	12	T3	14	T4	16	T5	18	T6	20
T1	12	T2	14	T3	16	T4	18	T5	20	T6	22
T1	14	T2	16	T3	18	T4	20	T5	22	T6	24
T1	16	T2	18	T3	20	T4	22	T5	24	T6	26
T1	18	T2	20	T3	22	T4	24	T5	26	T6	28
T1	20	T2	22	T3	24	T4	26	T5	28	T6	30
T1	22	T2	24	T3	26	T4	28	T5	30	T6	32
T1	24	T2	26	T3	28	T4	30	T5	32	T6	34
T1	26	T2	28	T3	30	T4	32	T5	34	T6	36
T1	28	T2	30	T3	32	T4	34	T5	36	T6	38
T1	30	T2	32	T3	34	T4	36	T5	38	T6	40
T1	32	T2	34	T3	36	T4	38	T5	40	T6	42
T1	34	T2	36	T3	38	T4	40	T5	42	T6	44
T1	36	T2	38	T3	40	T4	42	T5	44	T6	46
T1	38	T2	40	T3	42	T4	44	T5	46	T6	48
T1	40	T2	42	T3	44	T4	46	T5	48	T6	50
T1	42	T2	44	T3	46	T4	48	T5	50	T6	52
T1	44	T2	46	T3	48	T4	50	T5	52	T6	54
T1	46	T2	48	T3	50	T4	52	T5	54	T6	56
T1	48	T2	50	T3	52	T4	54	T5	56	T6	58
T1	50	T2	52	T3	54	T4	56	T5	58	T6	60
T1	52	T2	54	T3	56	T4	58	T5	60	T6	62
T1	54	T2	56	T3	58	T4	60	T5	62	T6	64
T1	56	T2	58	T3	60	T4	62	T5	64	T6	66
T1	58	T2	60	T3	62	T4	64	T5	66	T6	68
T1	60	T2	62	T3	64	T4	66	T5	68	T6	70
T1	62	T2	64	T3	66	T4	68	T5	70	T6	72
T1	64	T2	66	T3	68	T4	70	T5	72	T6	74
T1	66	T2	68	T3	70	T4	72	T5	74	T6	76
T1	68	T2	70	T3	72	T4	74	T5	76	T6	78
T1	70	T2	72	T3	74	T4	76	T5	78	T6	80
T1	72	T2	74	T3	76	T4	78	T5	80	T6	82
T1	74	T2	76	T3	78	T4	80	T5	82	T6	84
T1	76	T2	78	T3	80	T4	82	T5	84	T6	86
T1	78	T2	80	T3	82	T4	84	T5	86	T6	88
T1	80	T2	82	T3	84	T4	86	T5	88	T6	90
T1	82	T2	84	T3	86	T4	88	T5	90	T6	92
T1	84	T2	86	T3	88	T4	90	T5	92	T6	94
T1	86	T2	88	T3	90	T4	92	T5	94	T6	96
T1	88	T2	90	T3	92	T4	94	T5	96	T6	98
T1	90	T2	92	T3	94	T4	96	T5	98	T6	100

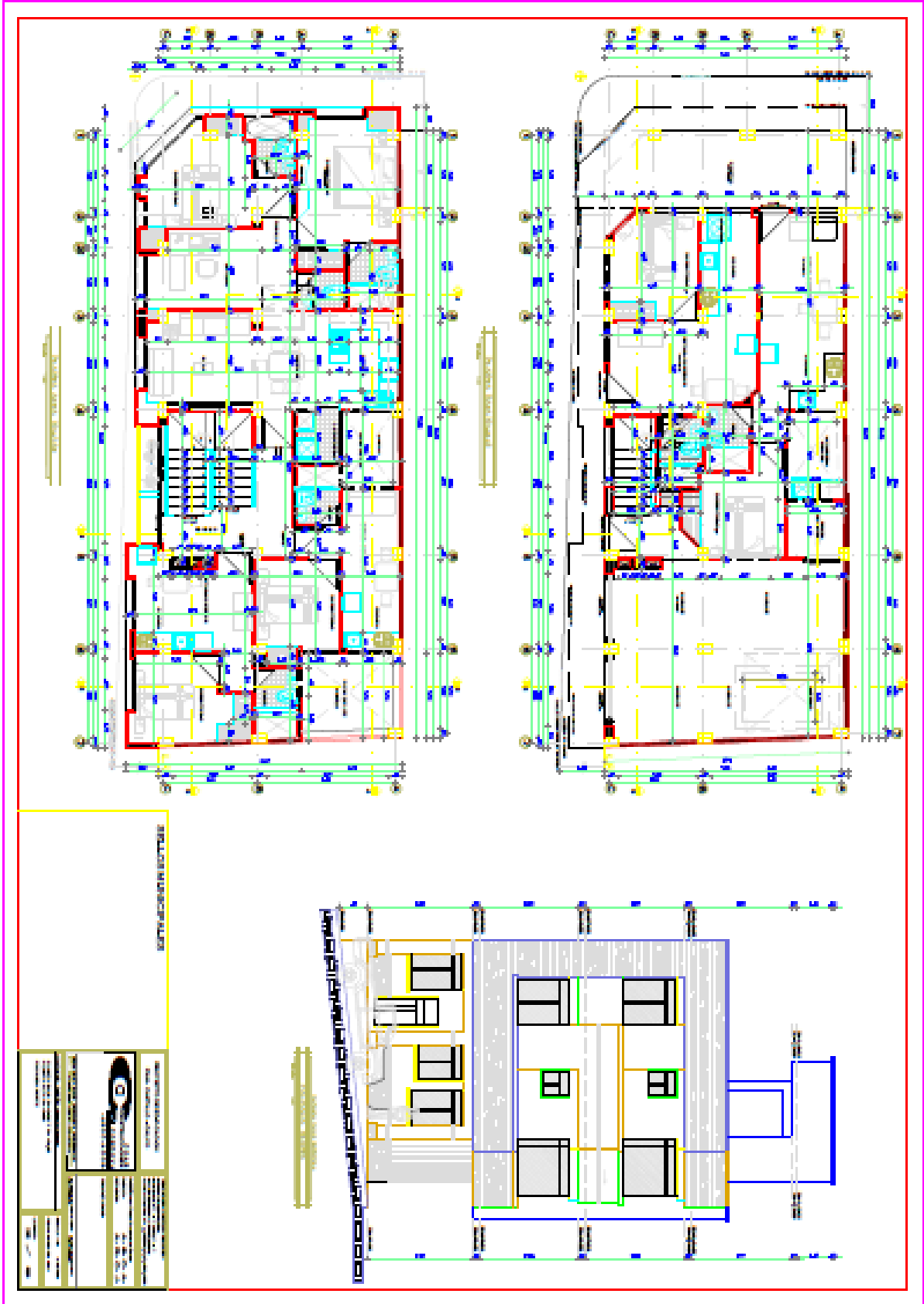




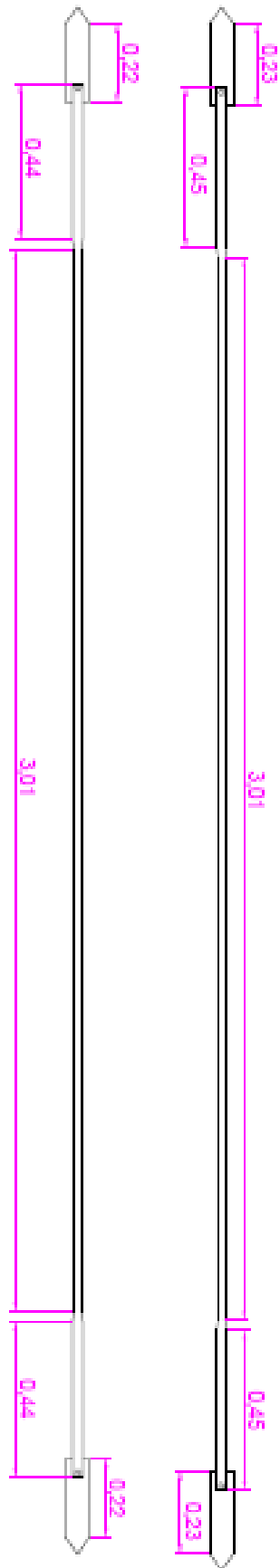












		<b>PROYECTO DE INNOVACION UNIVERSIDAD SAUBERHA</b>	
		Tema: <b>...</b> Profesor: <b>...</b> Fecha: <b>...</b>	
Nombre del alumno: <b>...</b> DNI: <b>...</b>		Fecha: <b>...</b> Lugar: <b>...</b>	
Firma del alumno: <b>...</b> Fecha: <b>...</b>		Firma del profesor: <b>...</b> Fecha: <b>...</b>	

## BIBLIOGRAFÍA

[1] Diseño de estructuras de hormigón armado

Ortiz García, J. (sin fecha). *Diseño de estructuras de hormigón armado*. Sin editorial.

[2] Hormigón Armado

Arroyo Portero, J. C. (sin fecha). *Hormigón Armado*. Sin editorial.

[3] Hormigón armado

Arroyo Portero, J. C., & López Gayarre, F. (sin fecha). *Hormigón armado*. Sin editorial.

[4] Hormigón armado: Análisis y diseño según la EHE-08

Mosquera Feijoo, J. C., & Arroyo Portero, J. C. (sin fecha). *Hormigón armado: Análisis y diseño según la EHE-08*. Sin editorial.

[5] Hormigón armado: Modelización, cálculo y construcción

González, J. M., Cuesta, E., & Dueñas, J. L. (sin fecha). *Hormigón armado: Modelización, cálculo y construcción*. Sin editorial.

[6] Hormigón armado: Teoría y práctica

Arroyo Portero, J. C., & García del Castillo, J. L. (sin fecha). *Hormigón armado: Teoría y práctica*. Sin editorial.

[7] Hormigón armado: Un enfoque básico y aplicado

Mosquera Feijoo, J. C. (sin fecha). *Hormigón armado: Un enfoque básico y aplicado*. Sin editorial.

[8] Hormigón armado: Principios básicos y aplicaciones

Argüelles Álvarez, F. J., & López Aguilar, J. L. (sin fecha). *Hormigón armado: Principios básicos y aplicaciones*. Sin editorial.

[9] Hormigón armado: Problemas resueltos

Mosquera Feijoo, J. C. (sin fecha). *Hormigón armado: Problemas resueltos*. Sin editorial.

[10] Dispositivos sísmicos

Martínez Calzón, J., & Sanz Mongay, G. (sin fecha). *Dispositivos sísmicos*. Sin editorial.

[11] Disipadores sísmicos: Principios, tecnología y diseño

Cosenza, E., & Nascimbene, R. (sin fecha). *Disipadores sísmicos: Principios, tecnología y diseño*. Sin editorial.

[12] Disipadores sísmicos: Aplicaciones y ejemplos

Cosenza, E., & Nascimbene, R. (sin fecha). *Disipadores sísmicos: Aplicaciones y ejemplos*. Sin editorial.

[13] Sistemas de disipación de energía en estructuras

Aiken, I. D., & French, C. (1995). *Systems of energy dissipation for structural protection*. Chapman & Hall.

[14] Diseño y construcción de edificios con disipadores de energía

Arzú, A. (sin fecha). *Diseño y construcción de edificios con disipadores de energía*. Sin editorial.

[15] Dispositivos de disipación de energía sísmica: Fundamentos, aplicaciones y diseño

Christopoulos, C., & Mehrabi, A. B. (2002). *Seismic energy dissipation devices: Fundamentals, applications & design*. MCEER Buffalo.

[16] Sistemas de disipadores de energía en ingeniería sísmica

Frangopol, D. M., & Kawatani, M. (2010). *Energy dissipation systems in seismic engineering*. Springer.

[17] Innovative Dispositivos de Disipación de Energía y Su Aplicación en Ingeniería Civil

El-Reedy, M. A. (sin fecha). *Innovative Dispositivos de Disipación de Energía y Su Aplicación en Ingeniería Civil*. Sin editorial.

[18] Dynamic Response of Structures: Experimentation, Observation, Prediction, and Control

Cheng, F. Y. (2000). *Dynamic response of structures: Experimentation, observation, prediction, and control*. ASCE Publications.

[19] Advanced Dynamics of Structural Systems

Choi, S.-K., & Choo, Y.-S. (2014). *Advanced dynamics of structural systems: Theories and applications*. CRC Press.