



**FACULTAD DE POSTGRADO  
TRABAJO FINAL DE GRADUACION**

**ANÁLISIS DE COSTO BENEFICIO DEL USO DE AISLADORES  
SÍSMICOS BASAL EN ESTRUCTURAS Y MODELO  
COMPARATIVO MEDIANTE EL USO DE ETABS**

**SUSTENTADO POR:**

**KEVIN LEONARDO PERDOMO MARTINEZ  
ROGER MAURICIO CARIAS MARTINEZ**

**PREVIA INVESTIDURA AL TÍTULO DE**

**MÁSTER EN  
INGENIERÍA EN ESTRUCTURAS**

**SAN PEDRO SULA, CORTÉS**

**HONDURAS, C.A.**

**OCTUBRE, 2021**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA**

**UNITEC**

**FACULTAD DE POSTGRADO**

**AUTORIDADES UNIVERSITARIAS**

**RECTOR**

**MARLON BREVÉ REYES**

**SECRETARIO GENERAL**

**ROGER MARTÍNEZ MIRALDA**

**VICERRECTORA CADEMICA**

**DESIREE TEJADA CALVO**

**DIRECTORA UNITEC CAMPUS S.P.S**

**MARIA ROXANA ESPINAL**

**DIRECTORA NACIONAL DE POSTGRADO**

**ANA DEL CARMEN RETTALLY**

**ANÁLISIS DE COSTO BENEFICIO DEL USO DE AISLADORES  
SÍSMICOS BASAL EN ESTRUCTURAS Y MODELO  
COMPARATIVO MEDIANTE EL USO DE ETABS**

**TRABAJO PRESENTADO EN CUMPLIMIENTO DE LOS  
REQUISITOS EXIGIDOS PARA OPTAR AL TÍTULO DE**

**MÁSTER EN**

**INGENIERÍA EN ESTRUCTURAS**

**ASESOR METODOLÓGICO**

**FREDDY ANTONIO VIDES ROMERO**

**ASESOR TEMÁTICO**

**LUZ FUNEZ**

**MIEMBROS DE LA TERNA:**

**ANGEL DAVID FUNEZ CASTRO**

**HECTOR WILFREDO PADILLA SIERRA**

# **DERECHOS DE AUTOR**

© Copyright2021

KEVIN LEONARDO PERDOMO MARTINEZ

ROGER MAURICIO CARIAS MARTINEZ

Todos los derechos son reservados.



**FACULTAD DE POSTGRADO**  
**ANÁLISIS DE COSTO BENEFICIO DEL USO DE AISLADORES SÍSMICOS BASAL**  
**EN ESTRUCTURAS Y MODELO COMPARATIVO MEDIANTE EL USO DE ETABS**

**NOMBRE DE LOS MAESTRANTE:**  
**KEVIN LEONARDO PERDOMO MARTINEZ**  
**ROGER MAURICIO CARIAS MARTINEZ**

**Resumen**

La presente investigación, se orienta en el análisis dinámico de dos edificaciones conformadas por un sistema de marcos rígidos y un sistema metálico con perfilera W mediante la modelación y la comparación de los resultados de los desplazamientos y con un análisis para una misma edificación con o sin disipadores sísmicos basales. Se pretende de igual manera poder analizar los costos en el mercado actual de la implementación de disipadores sísmicos y generar un análisis modal espectral presentando las fuerzas internas de elementos principales estructurales mediante el uso del software ETABS 2016. El análisis se realiza en dos edificaciones, una de 05 niveles con un sistema de marcos rígidos especiales de concreto y losas solidas en cada nivel, cada nivel está destinado para habitaciones y el ultimo posee una piscina que consta con un área de  $34.56 \text{ m}^2$  y una altura de 1.20 metros. Se idealiza la edificación con una interacción de suelo estructura totalmente empotrada no considerando el efecto de la interacción sueño-estructura en un suelo tipo S3, una resistencia de  $F'c$ :  $280 \text{ kg/cm}^2$  para el concreto y un factor de fluencia del acero de  $F_y$ :  $4200 \text{ kg/cm}^2$  para toda la edificación. La segunda estructura es metálica de 8 niveles, cuatro niveles de parqueo y cuatro son para uso comercial. La altura en los niveles de parqueo es de 2.60m y los comerciales son de 3.10m con una altura total de 25.70m. se utilizarán perfiles W metálicos y losas aligeradas con losa cero.

Mediante la información obtenida de los análisis estructurales se verifica el correcto comportamiento de las estructuras mediante cargas sísmicas establecidas en el CHOC-08 y poder comprobar de manera comparativa los resultados obtenidos del uso de disipadores sísmicos basales en una edificación.

Palabras claves: Análisis dinámico, análisis modal espectral, disipadores sísmicos, marco rígido especial.

## ABSTRACT

The present investigation is oriented in the dynamic analysis of two buildings made up of a rigid reinforced concrete frame system and a metallic system with W profiles by modeling and comparing the results of the displacements and with an analysis for the same building with or without basal seismic dissipators. It is also intended to be able to analyze the costs in the current market of the implementation of seismic dissipators and generate a spectral modal analysis presenting the internal forces of the main structural elements through the use of the ETABS 2016 software.

The analysis is carried out in two buildings, one of five levels with a system of special rigid concrete frames and solid slabs on each level, each level is intended for rooms and the last one has a pool that has an area of 34.56 m<sup>2</sup> and a height of 1.20 meters. The building is idealized with a totally embedded soil structure interaction, not considering the effect of the sleep-structure interaction in a soil type S3, a resistance of  $F_c$ : 280 kg / cm<sup>2</sup> for concrete and a creep factor of steel of  $F_y$ : 4200 kg / cm<sup>2</sup> for the entire building. The second structure is metallic with 8 levels, four levels for parking and four are for commercial use. The height of the parking levels is 2.60m and the commercial ones are 3.10m with a total height of 25.70m. Metal W profiles and slabs lightened with zero slab will be used.

By means of the information obtained from the structural analyzes, the correct behavior of the structures is verified through seismic loads established in the CHOC-08 and the results obtained from the use of basal seismic dissipators in a building can be verified in a comparative way.

Keywords: Dynamic analysis, spectral modal analysis, simian dissipators, special rigid frame.

## DEDICATORIA

Antes que todo quiero agradecer a nuestro Señor Jesucristo por darnos la oportunidad y la bendición de encontrarnos hoy en día y ser quienes somos en este trayecto llamado la vida. Agradezco porque es para Él toda la honra y la gloria de lo que hacemos. Le agradezco por otorgarme la oportunidad de culminar una de las muchas etapas en mi carrera y pidiendo dirección en todo momento. A mi familia por siempre apoyarme, cuidarme y creer en mí a lo largo de toda mi vida.

*Roger Mauricio Carias Martínez*

Dedico este logro a Dios por la oportunidad poder llegar a esta etapa de mi carrera profesional. Le agradezco porque solo por su gracia y ayuda es que hoy estoy vivo y logrando otra meta en mi vida. Agradezco y comparto esta meta alcanzada a mi esposa que sin su apoyo y tiempo no podría culminar esta etapa de estudio. Agradezco a mi familia por el apoyo incondicional a lo largo de mi vida.

*Kevin Leonardo Perdomo Martínez*

## AGRADECIMIENTO

A Dios por bendecirnos con la oportunidad de poder estudiar y prepararnos más para los retos que nos encontramos en el diario vivir como profesionales de la ingeniería civil y así lograr una meta más.



# ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPITULO I PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN .....	1
Introducción .....	1
Antecedentes del problema .....	2
Definición del problema.....	4
Formulación de preguntas .....	4
Objetivos del proyecto .....	4
Objetivo general .....	5
Objetivos específicos.....	5
Justificación.....	5
Experiencia en el mundo. ....	6
CAPITULO II MARCO TEÓRICO .....	7
Análisis de la situación actual. ....	7
Macroentorno .....	7
Microentorno .....	7
Conceptualización.....	8
Dinámica Estructural.....	8
Fuerza lateral .....	8
Fuerza de amortiguamiento.....	8
Periodo .....	10

Distorsión de entrepiso.....	10
Aislación sísmica.....	10
Teoría de sustento. ....	10
Aislación sísmica.....	11
Sistema de recuperación. ....	11
Efectos sísmicos sobre edificios. ....	13
Magnitud Sísmica. ....	15
Aisladores Elastoméricos. ....	16
Tipos de aisladores elastoméricos. ....	16
Beneficios del uso de amortiguadores sísmicos.....	22
Aisladores sísmicos en Honduras.....	23
Importaciones .....	23
Metodología aplicada.....	24
<b>Instrumentos Utilizados.....</b>	<b>25</b>
<b>Marco Legal.....</b>	<b>25</b>
CAPITULO III METODOLOGÍA .....	26
3.1 Matriz Metodológica.....	26
3.2 Esquema de variables de estudio.....	27
3.2.1 Variables de Control.....	27
3.2.2 Variables Observables .....	28

3.2.3 Hipótesis .....	28
3.3 Enfoque y métodos.....	28
3.3.1 Instrumentos, técnicas y procedimientos.....	28
3.4 Fuentes de información .....	29
3.4.1 Fuentes primarias.....	29
3.4.2 Fuentes secundarias. ....	30
CAPITULO IV RESULTADOS Y ANÁLISIS .....	31
4.1 Geometría y Características Técnicas para edificación de concreto .....	31
4.1.1 Geometría de la edificación:.....	31
4.1.2 Características técnicas:.....	32
4.1.3 Modelación: .....	32
4.1.4 Espectro de diseño .....	33
4.2 Modelación de edificio mediante ETABS 2016. ....	35
4.2.1 Análisis general del edificio .....	35
4.2.2 Análisis dinámico: .....	36
4.3 Irregularidades:.....	36
4.3.1 Irregularidad Torsional. ....	36
4.3.2 Irregularidad de piso suave.....	37
4.3.3 Irregularidad de masa. ....	38
4.3.4 Revisión de P Delta. ....	39

4.3.5 Revisión de derivas por nivel .....	40
4.4 PRESUPUESTO DE ESTRUCTURA ACTUAL.....	42
4.5 DISEÑO DE SISTEMA DE AISLACIÓN.....	47
4.5.1 Desarrollo del diseño de aislador basal: .....	49
4.5.2 Resultados de modelación en ETABS 2016.....	58
4.6 Parámetros a comparar de estructura aislada con la convencional. ....	61
4.6.1 Periodo del edificio.....	62
4.6.2 Frecuencia del edificio.....	63
4.6.3 Desplazamiento del sistema.....	64
4.6.4 Corte basal en la estructura.....	66
4.7.1 Análisis comparativo de costo de edificación con y sin aislante sísmico .....	67
4.8 Análisis estadístico.....	69
4.9 Geometría y Características Técnicas para edificación de estructura metálica .....	75
4.9.1 Geometría de la edificación:.....	76
4.9.2 Características técnicas:.....	76
4.9.3 Modelación: .....	77
4.9.4 Espectro de diseño .....	78
Modelación de edificio con estructura metálica mediante ETABS 2016. ....	78
PRESUPUESTO DE ESTRUCTURA METÁLICA ACTUAL.....	79
4.3 DISEÑO DE SISTEMA DE AISLACIÓN.....	86

4.3.1 Desarrollo del diseño de aislador basal para estructura metálica: .....	89
4.3.2 Resultados de modelación de estructura metálica en ETABS 2016.....	98
4.4 Parámetros a comparar de estructura metálica aislada versus la convencional. ....	100
4.4.1 Periodo del edificio metálico.....	101
4.4.2 Frecuencia del edificio metálico.....	101
4.4.3 Desplazamiento del sistema metálico.....	102
4.4.4 Corte basal en la estructura metálica. ....	105
4.5 Presupuesto de estructura metálica con aislante sísmico. ....	106
4.5.1 Ficha de costos de aisladores sísmicos .....	109
4.6 Análisis comparativo de costo de edificación metálica con y sin aislante sísmico.....	109
4.7 Análisis estadístico.....	111
CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	119
Conclusiones .....	119
Recomendaciones.....	120
CAPITULO VI. APLICABILIDAD.....	122
6.1 Propuesta: Uso de amortiguadores sísmicos basales.....	122
6.2 Justificación.....	122
6.3 Objetivo de la implementación .....	122
6.4 Descripción de la propuesta .....	122
REFERENCIAS.....	124

ANEXOS ..... 125

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Vibraciones libres de sistemas con cuatro niveles de amortiguamiento.....	9
Ilustración 2 Diferencia en periodo de la estructura. ....	12
Ilustración 3 Apoyo de goma natural.....	17
Ilustración 4 Partes de apoyo de goma natural. ....	17
Ilustración 5 Especificaciones de aisladore de goma natural.....	18
Ilustración 6 Especificaciones de aisladore de goma natural.....	19
Ilustración 7 Aislador de bajo amortiguamiento (LDRB). ....	20
Ilustración 8 Partes de aislador con núcleo de plomo (LRB). ....	21
Ilustración 9 Péndulo friccionante (FPS).....	22
Ilustración 10 Sistema de aislación basal.....	22
Ilustración 11 Cotización de aislador sísmico LDRB.....	24
Ilustración 12 Esquema de variables de estudio. ....	27
Ilustración 13 Proceso investigativo. ....	29
Ilustración 14 Geometría de edificaciones de concreto. ....	32
Ilustración 15 Espectro. ....	34
Ilustración 16 Escalamiento para fuerzas inerciales ..... 36	36
Ilustración 17 Revisión de irregularidad torsional.....	37
Ilustración 18 Revisión de irregularidad de piso suave. ....	38
Ilustración 19 Revisión de irregularidad de masa.....	39
Ilustración 20 Revisión de irregularidad torsional.....	40
Ilustración 21 Revisión de derivas por nivel.....	41
Ilustración 22 Presupuesto para edificación de concreto sin aisladores. ....	43

Ilustración 23 Ficha de costo. ....	44
Ilustración 24 Ficha de costo. ....	45
Ilustración 25 Ficha de costo. ....	46
Ilustración 26 Ficha de costo. ....	47
Ilustración 27 Configuración de caso de aislador LRB. ....	59
Ilustración 28 Propiedades del aislador en dirección U1. ....	60
Ilustración 29 Propiedades del aislador en dirección U2 y U3. ....	61
Ilustración 30 Resultado de periodos en estructura. ....	62
Ilustración 31 Resultados de frecuencia en estructura. ....	63
Ilustración 32 Resultados de derivas por nivel en eje X. ....	64
Ilustración 33 Resultados de derivas por nivel en eje Y. ....	65
Ilustración 34 Resultados de cortante basal en eje X. ....	66
Ilustración 35 Resultados de cortante basal en eje Y. ....	67
Ilustración 36 Análisis comparativo de presupuesto con edificaciones de concreto. ....	68
Ilustración 37 Resultados de frecuencias. ....	69
Ilustración 38 Resultados de análisis para la frecuencia. ....	70
Ilustración 39 Resultados obtenidos de desplazamientos. ....	70
Ilustración 40 Resultados de análisis para los desplazamientos. ....	71
Ilustración 41 Resultados obtenidos para periodos. ....	72
Ilustración 42 Resultado de análisis de los periodos. ....	73
Ilustración 43 Resultados obtenidos para cortante basal. ....	74
Ilustración 44 Resultado de análisis para los cortantes basales. ....	75
Ilustración 45 Geometría de edificación metálica. ....	76



Ilustración 46 Presupuesto de edificación metálica sin aisladores. ....	80
Ilustración 47 Ficha de costo. ....	81
Ilustración 48 Ficha de costo. ....	82
Ilustración 49 Ficha de costo. ....	83
Ilustración 50 Ficha de costo. ....	84
Ilustración 51 Ficha de costo. ....	85
Ilustración 52 Ficha de costo. ....	86
Ilustración 53 Configuración de caso de aislador LRB. ....	99
Ilustración 54 Propiedades de aislador en dirección U1. ....	99
Ilustración 55 Propiedades de aislador en dirección U2 y U3. ....	100
Ilustración 56 Resultado de periodos. ....	101
Ilustración 57 Resultados de frecuencias obtenidas. ....	102
Ilustración 58 Resultado de derivas en eje X. ....	103
Ilustración 59 Resultado de derivas en eje Y. ....	104
Ilustración 60 Resultado de cortante basal en eje X. ....	105
Ilustración 61 Resultante de cortante basal en eje Y. ....	106
Ilustración 62 Presupuesto de obra estructura metálica con aisladores. ....	107
Ilustración 63 Ficha de costo. ....	108
Ilustración 64 Ficha de costo. ....	109
Ilustración 65 Análisis de resultados de frecuencia. ....	111
Ilustración 66 Resultado de análisis de frecuencia. ....	112
Ilustración 67 Análisis de resultados de desplazamientos. ....	113
Ilustración 68 Resultado de análisis en desplazamientos. ....	114

Ilustración 69	Análisis de resultados de periodos.....	115
Ilustración 70	Resultado de análisis de periodos.....	116
Ilustración 71	Resultados de cortante basal.....	117
Ilustración 72	Resultado de análisis de cortante basal.....	118

## ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1 Matriz metodológica.....	27
Tabla 2 Especificaciones para espectro. ....	34
Tabla 3 Pasos para diseño de aisladores con núcleo de plomo.....	48
Tabla 4 Especificaciones para aislador sísmico.....	49
Tabla 5 Desarrollo de diseño para aislador.....	50
Tabla 6 Especificaciones para espectro. ....	78
Tabla 7 Pasos para diseño de aislador con núcleo de plomo. ....	87
Tabla 8 Especificaciones para aislador.....	89
Tabla 9 Desarrollo de diseño de aislador.....	90

# CAPITULO I PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

## Introducción

Históricamente en Honduras se ha mostrado que las edificaciones diseñadas de acuerdo al código de construcción vigente CHOC-08 son afectadas de manera significativa por los sismos, con excepción de algunas edificaciones. Por lo que orienta a los profesionales de la ingeniería civil a contemplar nuevas tecnologías que permitan disminuir considerablemente los daños ocasionados por las actividades sísmicas como prioridad para salvar las vidas humanas y pérdidas materiales.

Nuestra contribución está orientada en realizar un análisis dinámico comparativo de la respuesta obtenida en dos edificaciones tradicionales de concreto y de perfiles metálicas, y de las mismas edificaciones diseñadas con el uso de amortiguadores sísmicos basales, haciendo uso del software de diseño estructural ETABS 2016. Se pretende hallar los desplazamientos y fuerzas máximas para evaluarlas de acuerdo a los valores permisibles determinados por la norma CHOC-08 Y UBC 97.

El documento cuenta con seis capítulos. En el primer capítulo se pretende plantear el problema a solucionar. El segundo capítulo trata de la situación actual en el ambiente ingenieril hondureño y mundial en cuanto a aisladores sísmicos basales. El tercer capítulo relata la metodología implementada en el desarrollo y obtención de resultados para este proyecto. El capítulo 4 presenta los resultados obtenidos a través de las simulaciones computacionales y estimación de presupuestos, y también los análisis comparativos entre ellos. El capítulo 5 consta de un resumen de los resultados obtenidos en el capítulo 4 para así contestar las preguntas generadas y obtener recomendaciones y conclusiones de los resultados. El capítulo 6 resume la

aplicabilidad real de los aisladores sísmicos basales en edificaciones verticales para nuestro ámbito laboral específico a nivel nacional.

### **Antecedentes del problema**

En la actualidad, países como EEUU, Japón y Chile presentan metodologías de diseño de aisladores y amortiguadores en sus respectivas normas. En Estados Unidos, en 1986, la SEAOC (Structural Engineers Association of California) presentó una publicación llamada “Tentative Seismic Isolation Design Requirements”, enfocada principalmente al diseño de dispositivos sísmicos con métodos estáticos.

En el caso de Sudamérica, Chile es el país con mayor desarrollo en ingeniería sísmica. En 1996, su norma NCh433-1996 no incluía ninguna especificación sobre dispositivos de protección sísmica. Pero en el 2003, basándose en el FEMA274 (1997), se publicó la norma NCh2745, en donde se presenta un procedimiento de diseño para aisladores basales. Posteriormente, en el 2013, a raíz de eventos sísmicos ocurridos durante los últimos años, esta norma se actualiza con nuevas pautas y requerimientos. Actualmente existen en Chile numerosas edificaciones construidas con aisladores sísmicos, las cuales han tenido un buen comportamiento ante sismos severos.

En Estados Unidos el primer edificio que se diseñó con aisladores fue el Foothills Communities Law and Justice Center, cuya construcción fue concluida en 1985 en Los Ángeles. Esta edificación cuenta con aisladores elaborados a base de caucho de alto amortiguamiento (Genatios & Lafuente, 2016).

Avilés (2001) señala que la primera aplicación de amortiguadores de fluido viscoso en estructuras se dio en 1993 en cinco edificios del centro médico San Bernardino County, en los Ángeles. Uno de los primeros edificios con amortiguadores visco elásticos fue las torres gemelas en New York (1969), en el World Trade Center.

Tanto en Estados Unidos como en Japón, los primeros artículos y estudios sobre aisladores y amortiguadores fueron realizados por entidades privadas de gran reconocimiento. Al comprobar que las estructuras con sistemas de protección sísmica tuvieron un alto nivel de desempeño ante sismos, se incluyeron las metodologías de diseño en sus respectivas normas sísmicas. La primera publicación trascendente en cuanto a metodología de diseño con dispositivos de protección sísmica fue realizada en 1986 por la Asociación de Ingenieros Estructurales del Norte de California (SEAOC) llamada “Tentative Seismic Isolation Design Requirements”. Posteriormente, esta publicación tuvo algunas modificaciones antes de incluirse como apéndice en el Uniform Building Code (UBC) de 1991.

Honduras, con el código de construcción CHOC-08 no contempla ningún tipo de metodología de diseño para edificaciones con dispositivos de protección sísmica.

En el año 2009 en la madrugada del 28 de mayo, en Honduras de acuerdo con el Servicio Geológico de Estado Unidos se presentó un sismo con magnitud 7.1 en la escala de Richter, con epicentro a 130 kilómetros al norte-noreste de la ciudad de la Ceiba a una profundidad de 10 kilómetros, como resultado del evento sísmico se informó en boletines de COPECO 03-09 y 04-09 daños en los principales hospitales de las ciudades de San Pedro Sula, Progreso y Santa Barbara, así como también en 13 unidades de salud del departamento de Cortes y en el edificio del Poder Judicial, demostrado que los eventos sísmicos afectaron de manera importante las prestaciones de servicios de los edificios claves los cuales por su uso se diseñan de manera especial siguiendo las indicaciones de las normas a nivel mundial y por lo que la consideración y análisis de métodos de reducción de impactos sísmicos como eventos naturales son de alta prioridad.

## **Definición del problema**

Realizar cuatro corridas de Análisis dinámico para dos estructuras mediante el uso de software ETABS 2016, siendo una de las estructuras de concreto de marcos rígidos con 5 niveles, y la otra estructura será metálica de 8 niveles. Las primeras corridas serán el de las estructuras sin aisladores sísmicos y la segundas con la incorporación de aisladores sísmicos a las mismas estructuras y comparar las diferencias de resultados.

## **Formulación de preguntas**

1. ¿Qué efecto produce en el amortiguamiento inherente de una estructura, la implementación de amortiguadores sísmicos?
2. ¿Existe diferencia en los efectos sobre el amortiguamiento inherente correspondiente a los amortiguadores basales, al comparar una estructura de concreto con una metálica?
3. ¿Cuál es el impacto económico de la implementación de amortiguadores basales en una estructura metálica y en una de concreto?

## **Objetivos del proyecto**

Honduras está ubicada en una zona de alto riesgo sísmico. El proyecto pretende comprobar la factibilidad del uso de aisladores sísmicos en edificios. Se comprobará el uso de estos elementos estructurales mediante el análisis de dos estructuras, ambas con sistemas constructivos diferentes, siendo una de concreto con marcos rígidos y la otra de acero con perfilería metálica tipo W. Se analizarán estas estructuras bajo las mismas condiciones, primero sin aisladores sísmicos, y en una segunda ocasión, con el uso de aisladores sísmicos y así comprobar las diferencias y cambios tanto en costo monetario con el tamaño de perfilería y dimensiones de concreto debido a reducción de las fuerzas sísmicas que generan los aisladores. El estudio comprobará si el aislador sísmico justifica su uso tanto para la seguridad estructural de una estructura como su costo monetario. El

objetivo es el análisis de los efectos producidos por la implementación de aisladores sísmicos en el comportamiento de una estructura y en el presupuesto correspondiente.

### **Objetivo general**

Analizar y comparar los resultados obtenidos mediante una modelación computacional del comportamiento dinámico de una edificación de concreto de cinco niveles que no incorpora disipadores sísmicos basales, y un modelo de la misma edificación que si los incorpore, y hacer lo mismo para una edificación metálica de ocho niveles.

### **Objetivos específicos**

1. Determinar el aporte al amortiguamiento inherente de una estructura correspondiente con el uso de disipadores sísmicos basales.
2. Analizar las implicaciones de costo producidas por la implementación de aisladores sísmicos en las estructuras.

### **Justificación**

Los aisladores sísmicos basales permiten mejorar la respuesta durante un sismo aumentando los periodos y proporcionando un incremento en el amortiguamiento y absorción de energía cumpliendo su propósito el cual es minimizar daños y haciendo que la edificación continúe con su funcionalidad.

Se ha demostrado que países como EEUU y Japón, que emplean con regularidad los aisladores sísmicos han encontrado resultados positivos protegiendo las edificaciones y salvaguardando la vida humana.

Siendo Honduras un país que crece en temas de construcciones verticales y considerando que los aisladores sísmicos son un área nueva en las construcciones se presenta el trabajo de tesis realizando un estudio del desempeño y costo de los aisladores sísmicos basales.



### **Experiencia en el mundo.**

-El Hospital USC, fue aislado utilizando aisladores DIS (Dynamic Isolation Systems). El edificio se mantuvo operativo durante todo el terremoto de Northridge de 1994. No hubo colapso ni daños en la edificación, sin embargo el Centro Médico del Condado de Los Ángeles que no posea ningún sistema de aislamiento sísmico y ubicado a menos de una milla de distancia, sufrió daños valorizados en 400 millones de dólares y no continuo en funcionamiento después del terremoto (*Aislamiento Sísmico*, s. f.).

-City Hall de San Francisco, este importante y conocido edificio de la Costa Oeste de los Estados Unidos fue dañado por el terremoto de Loma Prieta en 1989 y ha sido restaurado y protegido para futuras actividades sísmicas. DIS instalo 530 aisladores sísmicos por lo que es el proyecto más grande de reforzamiento sísmico en el mundo. (*Aislamiento Sísmico*, s. f.)

-El City and Country Building fue el primer reforzamiento con aislamiento sísmico en el mundo. El edificio modernizado está diseñado para soportar terremotos superiores a 7.0 grados en la escala de Richter. Se trata de una estructura de muros de corte construido de ladrillo no reforzado y piedra arenisca. Fue terminado en 1984 con el estilo romántico de Richardson (*Aislamiento Sísmico*, s. f.).

-El centro médico Tan Tzu en Taiwán, se encuentra en construcción con sus 1.7 millones de pies cuadrado es la mayor estructura aislada del mundo. Es el tercer hospital de Taiwán donde DIS ha suministrado aisladores. El aislamiento de base fue elegido para que el hospital continuara en funcionamiento inmediatamente después de un terremoto (*Aislamiento Sísmico*, s. f.).

## **CAPITULO II MARCO TEÓRICO**

En este capítulo se describen las bases teóricas de la investigación, se analizan la situación actual de las normas de diseño de Honduras y se plantea lo que implica la implementación del uso de disipadores de energía sísmico basal.

### **Análisis de la situación actual.**

La identificación y el análisis de la situación actual del problema se realiza para poder identificar como se encuentra el problema visto desde el punto de vista de macro entorno, micro entorno e interno en la sociedad actual en Honduras, ayuda a ver de una forma global, permite asegurar la relevancia del problema y lo que se ha hecho y que se está haciendo para abordar el problema.

### **Macroentorno**

Tanto en Estados Unidos como en Japón, los primeros artículos y estudios sobre aisladores y amortiguadores fueron realizados por entidades privadas de gran reconocimiento. Y al comprobar que las estructuras con sistemas de protección sísmica tuvieron un alto nivel de desempeño ante sismos, se incluyeron las metodologías de diseño en sus respectivas normas sísmicas. La primera publicación trascendente en cuanto a metodología de diseño con dispositivos de protección sísmica fue realizada en 1986 por la Asociación de Ingenieros Estructurales del Norte de California (SEAOC) llamada “Tentative Seismic Isolation Design Requirements”. Posteriormente, esta publicación tuvo algunas modificaciones antes de incluirse como apéndice en el Uniform Building Code (UBC) de 1991, (Fragazo & Gordillo, 2019).

### **Microentorno**

Honduras actualmente no cuenta con normas de diseño estructural para disipadores sísmicos, siendo el Código Hondureño de Construcción (CHOC-08), la única normativa con base

legal. El CHOC-08, presenta una sección que presenta la definición de aislamiento sísmico, en el capítulo 1 sección 1.3.4.10.2..

#### **1.3.4.10.2 Aislamiento sísmico**

**Aislamiento sísmico, sistemas de disipación de energía y sistemas de amortiguación podrán utilizarse en el diseño de estructuras cuando sean aprobados por el Supervisor y cuando detalles especiales de diseño son usados para proporcionar resultados equivalentes a los obtenidos por el uso de sistemas estructurales convencionales.**

Fuente: CHOC-08.

De acuerdo con lo establecido en el código queda a consideración del diseñador y lo único es que cumpla con los resultados equivalentes al diseño tradicional.

### **Conceptualización.**

Se presenta los conceptos asociados a la investigación.

#### **Dinámica Estructural**

La acción de un sismo en una estructura reviste aspectos netamente distintos de los que la mayoría de las otras acciones. Las diferencias no residen tanto en las características dinámicas de la acción, cuanto en que sus efectos dependen de una interacción compleja entre el movimiento sísmico, las propiedades del suelo subyacente y las de la estructura misma. (Meli, s. f.).

#### **Fuerza lateral**

La fuerza que se genera en la columna por su rigidez lateral al tratar de ser desplazada con respecto al terreno. Suponiendo que la respuesta de la columna se mantiene dentro de un intervalo lineal.

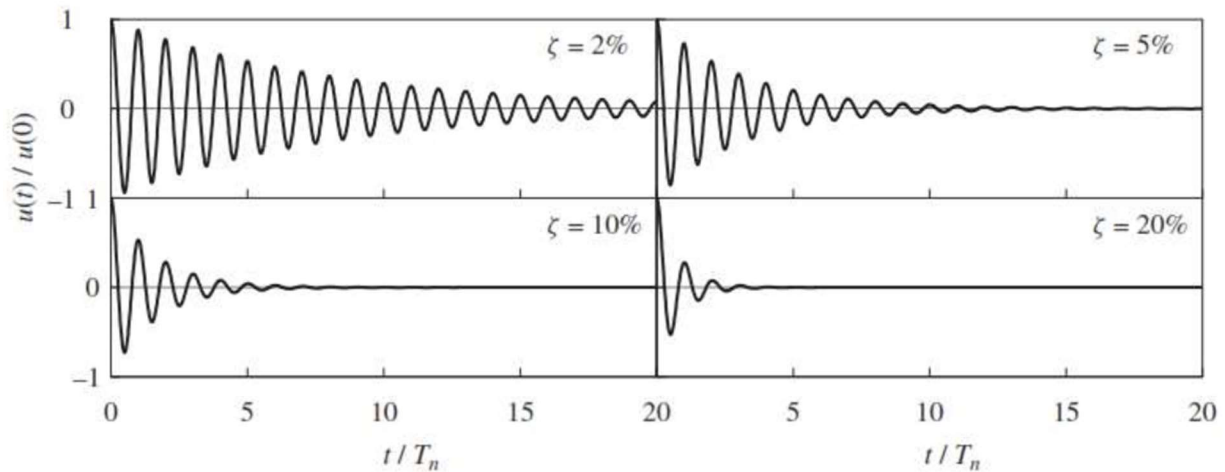
#### **Fuerza de amortiguamiento**

La fuerza que trata de restablecer el equilibrio de la estructura en vibración. Esta fuerza puede considerarse proporcional a la velocidad de la masa con relación al suelo.

El amortiguamiento representa la disipación de energía que la estructura realiza principalmente debido a fricción interna de los materiales y a rozamiento entre los componentes de la construcción; este amortiguamiento reduce las oscilaciones. Este desempeña también un papel muy importante, especialmente en condiciones cercanas a la resonancia; basta un amortiguamiento relativamente pequeño para reducir drásticamente la respuesta, (Meli, s. f.).

El amortiguamiento tiene el efecto de reducir la frecuencia natural  $\omega_n$  a frecuencia amortiguada  $\omega_d$  y alargar el periodo natural  $T_n$  a periodo amortiguado  $T_d$ . El efecto más importante del amortiguamiento es sobre la rapidez de decaimiento en vibración libre. Esto se muestra en la figura donde se grafica la vibración libre debida al desplazamiento inicial para cuatro sistemas que tienen el mismo periodo natural pero diferentes fracciones de amortiguamiento: 2, 5, 10 y 20%, (Chopra, 2014).

Ilustración 1 Vibraciones libres de sistemas con cuatro niveles de amortiguamiento.



Fuente: (Chopra, 2014).

### **Periodo**

Se dice que una estructura experimenta vibración libre cuando es perturbada de su posición equilibrio estático y después se deja vibrar sin ninguna excitación dinámica externa, (Chopra, 2014).

La introducción del amortiguamiento hace que la respuesta sea mucho menos sensible al periodo. El movimiento de una estructura y las fuerzas asociadas podrían reducirse al aumentar el amortiguamiento efectivo de la estructura. La adición de amortiguadores logra este objetivo sin cambiar demasiado los periodos naturales de vibración de la estructura, (Chopra, 2014).

### **Distorsión de entrepiso**

Se conoce como distorsión de entrepiso o deriva al cociente entre la diferencia de desplazamientos laterales de dos niveles consecutivos de la estructura entre la altura de dicho entrepiso, (Chopra, 2014).

### **Aislación sísmica**

El diseño de estructuras con aislación sísmica se fundamenta en el principio de separar la superestructura (componente del edificio ubicado por sobre la interfaz de aislación) de los movimientos del suelo o de la subestructura, (Chopra, 2014).

Los aisladores sísmicos más desarrollados y utilizados en la actualidad son los aisladores elastoméricos de alto amortiguamiento (con o sin núcleo de plomo) y los deslizantes o friccionantes (*Corporacion Educacional de la Construccion*, 2011).

### **Teoría de sustento.**

Es necesario sustentar la metodología aplicada describiendo a continuación.

## **Aislación sísmica**

El aislamiento sísmico es una estrategia de diseño basada en la premisa de que es posible separar una estructura de los movimientos del suelo mediante la introducción de elementos flexibles entre la estructura y su fundación. Los aisladores reducen notablemente la rigidez del sistema estructural, haciendo que el periodo fundamental de la estructura aislada sea mucho mayor que el de la misma estructura con base fija. Existen básicamente dos tipos de sistemas de aislamiento: los apoyos elastoméricos y los apoyos deslizantes. Los apoyos elastoméricos emplean un elastómero de caucho natural o neopreno reforzado con finas láminas de acero. La notable flexibilidad lateral en el elastómero permite el desplazamiento lateral de los extremos del aislador, mientras que las láminas de refuerzo evitan el abultamiento del elastómero y le proporcionan una gran rigidez vertical. Existen tres tipos de apoyos elastoméricos ampliamente usados: apoyos de caucho natural (NRB), apoyos de caucho con núcleo de plomo (LRB), y apoyos de caucho de alta disipación de energía (HDR). Los apoyos deslizantes poseen una superficie de deslizamiento que permite la disipación de energía por medio de las fuerzas de rozamiento. Uno de los dispositivos más innovadores es el sistema pendular friccionante que combina la acción del deslizamiento con la generación de una fuerza restitutiva debido a la geometría del deslizador

### **Sistema de recuperación.**

Cuando se produce el terremoto, los edificios con bases aisladas se pueden desplazar libremente de sus cimientos en cualquier dirección horizontal. Por lo tanto, tienen que volver a sus posiciones originales cuando acaba el terremoto. Para ese fin, están equipados con este sistema de recuperación, que incorpora caucho laminado y otros materiales.

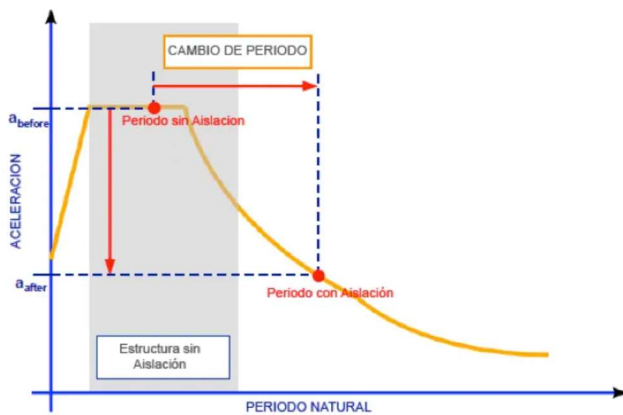
Estos sistemas se colocan entre la subestructura y la superestructura de edificios, puentes y también en algunos casos, en la misma superestructura de edificios, y permiten mejorar la

respuesta sísmica aumentando los periodos y proporcionando amortiguamiento y absorción de energía adicional, reduciendo sus deformaciones según sea el caso.

Sin embargo, desde el punto de vista estructural, ambos sistemas trabajan de forma muy diferente. Veamos las diferencias:

Los aisladores sísmicos consiguen desacoplar la estructura del terreno colocándose estratégicamente en partes específicas de la estructura, los cuales, en un evento sísmico, proveen a la estructura la suficiente flexibilidad para diferenciar la mayor cantidad posible el periodo natural de la estructura con el periodo natural del sismo, evitando que se produzca resonancia, lo cual podría provocar daños severos o el colapso de la estructura (Agudelo, 2014).

Ilustración 2 Diferencia en periodo de la estructura.



Fuente: (Agudelo, 2014).

Es decir, la idea es separar una estructura de los movimientos del suelo mediante la introducción de elementos flexibles entre la estructura y su cimentación. Los aisladores reducen notablemente la rigidez del sistema estructural, haciendo que el periodo fundamental de la estructura aislada sea mucho mayor que el de la misma estructura con base fija.

### **Efectos sísmicos sobre edificios.**

Las ondas sísmicas producen, por lo tanto, vibraciones horizontales y verticales, siendo las primeras, las fuerzas de inercia, las más dañinas para la estructura. Ésta fuerza se representa como las fuerzas horizontales producidas por el viento y es proporcional al peso muerto que soporta la estructura. Otros factores que debemos tener en cuenta son el periodo de vibración fundamental del edificio y la efectividad del mismo para absorber energía, (Bazan & Meli, 2002).:

- Fuerza lateral: es la que mayores daños causa sobre la estructura. El hecho de que sea proporcional al peso muerto de las estructuras, es una gran desventaja que debemos tener en cuenta a la hora de elegir determinadas conexiones y materiales para evitar crear una masa innecesaria, especialmente en los pisos superiores.

La fuerza total horizontal se distribuye entre los elementos verticales y horizontales el sistema, en proporción a su rigidez, comportándose el edificio como una viga en voladizo vertical sometida a una fuerza.

- Periodo fundamental de vibración de la estructura: en la que se deben tener en cuenta que cada una de las partes que componen un edificio tienen su propio periodo fundamental y pueden influir significativamente en su respuesta. El periodo de vibración se determina por su masa, su rigidez y el tamaño de la estructura. Los edificios que son más robustos, con sistemas lateralmente rígidos y de baja altura, suelen tener periodos más cortos, los cuales sufren problemas muy graves ya que pueden entrar en resonancia con el sismo, cuya vibración se caracteriza por tener periodos cortos también, haciendo que la amplitud de respuesta del edificio aumente con cada vibración pudiendo llegar hasta el colapso. Conforme las construcciones van aumentando de altura van adquiriendo una mayor flexibilidad y el periodo fundamental, que también aumenta con la altura



del edificio, es tan largo que puede producir el conocido efecto latigazo en el que distintas partes del edificio se dirigen en direcciones opuestas al mismo tiempo.

- La amortiguación de una estructura depende de su grado de ductilidad, así cuanto más capacidad tenga de deformarse en su rango plástico, más energía disipará. Sin embargo, tampoco podemos hacer que la estructura deforme demasiado pues sino aparecerían los conocidos como efectos P-delta, o momentos de segundo orden.

Para sismos moderados, el comportamiento general de los edificios en primer lugar suele ser resistir en su rango elástico lineal, siendo su rigidez la mayor posible. Cuando debido a fallos frágiles, agrietamiento o a que se ha superado simplemente el límite elástico de la estructura, la rigidez se reduce considerablemente entrando en acción la amortiguación de la estructura, que en el rango plástico como ya hemos mencionado, depende de la ductilidad del sistema. Esta permite una mayor deformación con respecto a la del punto de fluencia hasta llegar al colapso.

Cuando una estructura ha pasado de tener un comportamiento lineal no lineal, el comportamiento dinámico de la estructura se hace más complejo, apareciendo agrietamientos, desprendimientos, pandeos locales y deformaciones residuales de la estructura, es decir, un comportamiento no lineal de la estructura podemos decir que se asocia a daño (Bazan & Meli, 2002). Por ello nos conviene tener cierta ductilidad la cual no solo evita la aparición de fallas de tipo frágil, sino que además proporciona un amortiguamiento adicional. La combinación entre resistencia y ductilidad es clave para conseguir que la energía se disipe ya sea por la resistencia a deformarse debido a la rigidez en su rango elástico o bien por la ductilidad que posee el sistema en su rango plástico, o bien por una combinación entre ambas que nos permita alcanzar un funcionamiento óptimo de la estructura que pueda disipar la mayor cantidad de energía sin alcanzar el colapso.

Se considera que dicha fuerza si no es disipada ya sea por deformación, agrietamiento, ductilidad u otros mecanismos de disipación, debe ser absorbida y transmitida a lo largo de la estructura, evitando concentrar demasiados esfuerzos en una zona determinada. Para que el edificio pueda resistir favorablemente frente a un sismo es necesario conseguir que todas las partes que lo componen, conexiones, elementos estructurales y sistemas estructurales, se muevan como uno solo. Por ello es muy importante prestar especial atención al detalle constructivo de las conexiones y además dejar cierto grado de movimiento independiente en las partes del edificio. Cada tipo de conexión, cada elemento constructivo, barras, muro y cada material tiene sus propias características y conviene conocerlos para que, a la hora de construir un edificio en lugar de ser perjudiciales para la estructura general, se complementen unos con otros para absorber energía, transmitirla y disiparla.

La acción de un sismo en una estructura reviste aspectos netamente distintos de los de la mayoría de las otras acciones. Las diferencias no residen tanto en las características dinámicas de la acción, cuanto en que sus efectos dependen de una interacción compleja entre el movimiento sísmico, las propiedades del suelo adyacentes y las de la estructura misma.

### **Magnitud Sísmica.**

La magnitud sísmica es una medida del tamaño del mismo que es independiente del lugar donde se hace la observación y que se relaciona de forma aproximada con la cantidad de energía que libera durante el evento. Se determina a partir de las amplitudes de registros sismógrafos estándar. La escala más conocida de magnitudes es la escala de Richter (mL). Cada incremento de una unidad en la escala implica un aumento de 32 veces en la cantidad de energía liberada (Bazan & Meli, 2002).

La intensidad de un sismo es una medida de los efectos que este produce en un sitio dado, o sea de las características del movimiento del terreno y de la potencialidad destructiva del sismo, en ese lugar en particular.

Las aceleraciones que producen mayor cantidad de daños estructurales son las horizontales; las verticales son amplitud apreciable solo en sitios cercanos al epicentro y producen solicitaciones severas solo en algunas formas estructurales particulares, (Bazan & Meli, 2002).

Una edificación responde a una excitación sísmica, descrita por una historia de aceleraciones (o de velocidades o de desplazamientos) que se presentan en el suelo sobre el que esta desplantada, mediante una vibración a través de la cual disipa la energía que se genera por dicho movimiento. La amplitud de la vibración necesaria para disipar esa energía depende de las características del sistema constituido por el conjunto subsuelo-cimentación-estructura-elementos no estructurales (Meli, s. f.).

### **Aisladores Elastoméricos.**

Los aisladores elastomérico están formados por un conjunto de láminas planas de elastómeros intercaladas con capas de acero. Las láminas de elastómeros son vulcanizadas a las capas de acero y por lo general presentan una forma circular o cuadrada. Mediante esta configuración se logra la flexibilidad lateral necesaria para permitir el desplazamiento horizontal relativo entre la estructura aislada y el suelo. El comportamiento depende de la amplitud de la deformación a la que son sometidos y en menor grado de la temperatura, el envejecimiento y la frecuencia del movimiento.

### **Tipos de aisladores elastoméricos.**

- Apoyos de goma natural (NRB, Natural Rubber Bearing).

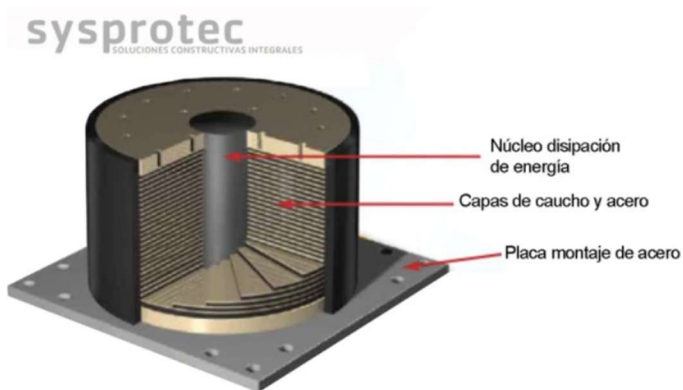
Reduce hasta un 80% de la energía sísmica.

Ilustración 3 Apoyo de goma natural.



Fuente: (*Aisladores Sísmicos.*, 2014).

Ilustración 4 Partes de apoyo de goma natural.

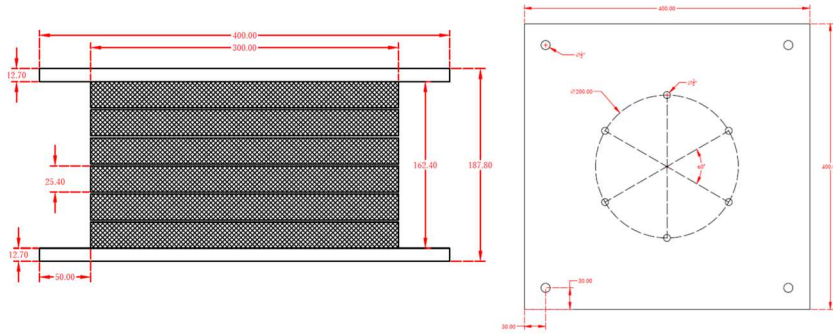


Fuente: (*Aisladores Sísmicos.*, 2014)

- Apoyos de goma de bajo amortiguamiento (LDRB, Low Damping Rubber Bearing)
- Apoyos de alto amortiguamiento (HDRB, High Damping Rubber Bearing).
- Apoyos de goma con núcleo de plomo (LRB, Lead plug Rubber Bearing).
- Aislador LDRB 400 C. (rodamiento de goma de baja amortiguación)

Uso en vivienda de 3 o más niveles, tiene un costo aproximado de \$ 350.00, (*Aisladores Sísmicos.*, 2014)..

Ilustración 5 Especificaciones de aisladore de goma natural.



D (mm)	$t_e$ (mm)	$H_B$ (mm)	$N_{sd}$ (kN)	$N_{ed}$ (kN)	$F_1$ (kN)	$F_2$ (kN)	$K_r$ (kN/mm)	$K_{eff}$ (kN/mm)	$K_v$ (kN/mm)	$\xi$ (%)
300	162.40	187.80	1,732	914	141	295	1.01	1.97	800	18

Simbología:

$d_{s4}$  = Desplazamiento sísmico

D = Diámetro del cuerpo del aislador

$t_e$  = Altura total del cuerpo del aislador

$H_B$  = Altura total del aislador

$N_{sd}$  = Carga de servicio vertical máxima

$N_{ed}$  = Carga sísmica vertical máxima

$F_1$  = Fuerza de fluencia

$F_2$  = Fuerza horizontal máxima

$K_r$  = Rigidez horizontal

$K_{eff}$  = Rigidez efectiva

$K_v$  = Rigidez vertical

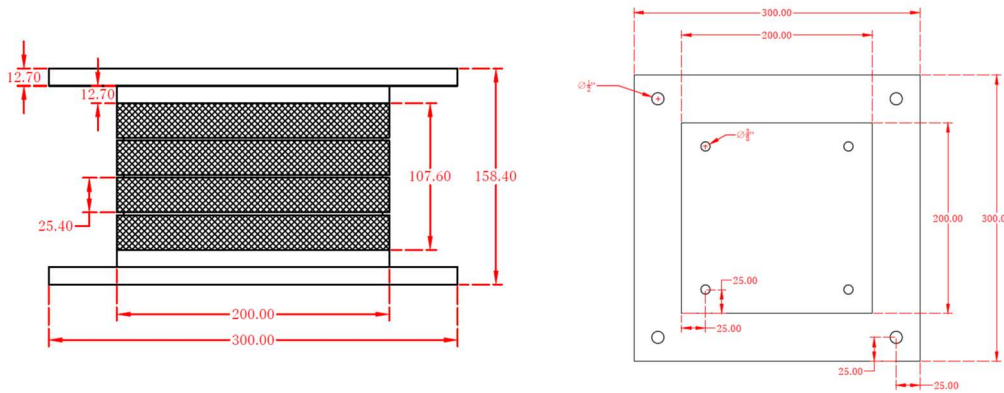
$\xi$  = Coeficiente de amortiguamiento

Fuente: (*Aisladores Sísmicos.*, 2014)

Aislador LDRB 300 C (Rodamiento de goma de baja amortiguación).

Uso en vivienda de 1 o 2 niveles, costo aproximado de \$290.00, (*Aisladores Sísmicos.*, 2014)..

Ilustración 6 Especificaciones de aisladore de goma natural.



D (mm)	$t_e$ (mm)	$H_B$ (mm)	$N_{sd}$ (kN)	$N_{ed}$ (kN)	$F_1$ (kN)	$F_2$ (kN)	$K_r$ (kN/mm)	$K_{eff}$ (kN/mm)	$K_v$ (kN/mm)	$\xi$ (%)
200	107.60	158.40	1,732	914	141	295	1.01	1.97	800	15

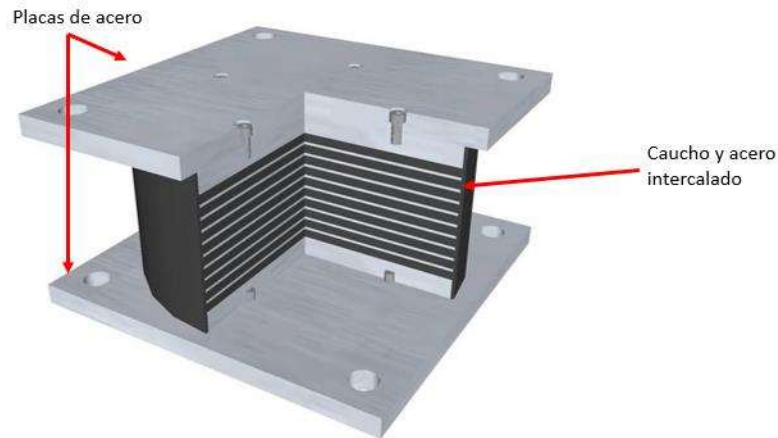
Simbología:

$d_{bd}$  = Desplazamiento sísmico  
 D = Diámetro del cuerpo del aislador  
 $t_e$  = Altura total del cuerpo del aislador  
 $H_B$  = Altura total del aislador  
 $N_{sd}$  = Carga de servicio vertical máxima

$N_{ed}$  = Carga sísmica vertical máxima  
 $F_1$  = Fuerza de fluencia  
 $F_2$  = Fuerza horizontal máxima  
 $K_r$  = Rigidez horizontal  
 $K_{eff}$  = Rigidez efectiva  
 $K_v$  = Rigidez vertical  
 $\xi$  = Coeficiente de amortiguamiento

Fuente: (*Aisladores Sísmicos.*, 2014)

Ilustración 7 Aislador de bajo amortiguamiento (LDRB).

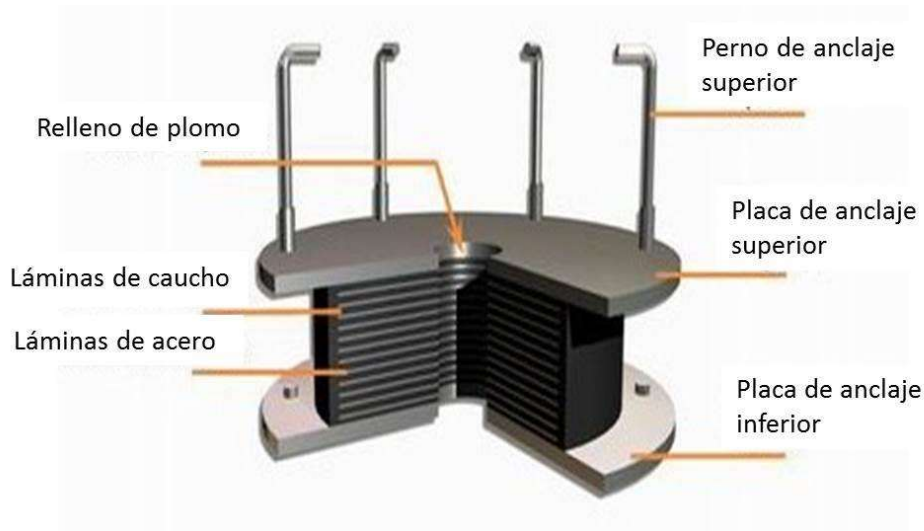


Fuente: Aislador elastomérico. (Blandon, 2015)

- Aisladores elastoméricos con núcleo de plomo (LRB).

En el centro del aislador posee un núcleo de plomo, el cual permite aumentar el nivel de amortiguamiento del sistema hasta niveles cercanos al 25-30%. Al deformarse lateralmente el aislador durante la acción del sismo, el núcleo de plomo fluye, incurriendo en deformaciones plásticas y disipando energía en forma de calor. Al término de la acción sísmica, la goma del aislador retorna la estructura a su posición original, mientras el núcleo recrystaliza. De esta forma el sistema queda listo para un nuevo evento sísmico. (*Aisladores Sísmicos.*, 2014)

Ilustración 8 Partes de aislador con núcleo de plomo (LRB).



Fuente: (Sísmica, 2016).

- Péndulos friccionantes (FPS, Friction Pendulum System).

El sistema de péndulo es un sistema de aislamiento de base que combina un efecto de deslizamiento con una fuerza restauradora por geometría. El péndulo de fricción tiene un deslizador que este articulado sobre una superficie de acero inoxidable.

La parte del apoyo articulado que está en contacto con la superficie esférica, está rodeada por una película de un material compuesto de baja fricción, la otra parte del apoyo articulado, es de acero inoxidable que descansa en una cavidad que también está cubierta con material compuesto de poca fricción.

A medida que el soporte se mueve sobre la superficie esférica, la masa que esta soporta sube, otorgando al sistema una fuerza restauradora. La fricción efectiva del aislador y el periodo de oscilación de la estructura están controlados por el radio de curvatura de la superficie cóncava. (Blandon, 2015).



Ilustración 9 Péndulo friccionante (FPS).



Fuente: (Sísmica, 2016).

Ilustración 10 Sistema de aislación basal.



Fuente:(*Aisladores Sísmicos*, 2014)).

### **Beneficios del uso de amortiguadores sísmicos**

Los aisladores sísmicos actúan como filtro del movimiento sísmico, evitando que gran parte de la energía sísmica se traspase a la estructura aislada, reduciendo los esfuerzos y por lo tanto, el daño producido a elementos estructurales, no estructurales y contenidos de los edificios además de garantizar la funcionalidad de la edificación después del sismo, siendo ideal tanto para edificaciones nuevas como para el reforzamiento de edificaciones. Se resalta como ventaja que la

implementación de aisladores sísmicos repercute de manera positiva al presupuesto ya que permite la reducción del volumen de concreto y aceros requeridos (Genatios & Lafuente, 2016).

### **Aisladores sísmicos en Honduras**

En Honduras no contamos con la oferta de aisladores sísmicos estructurales por lo que nos presenta la necesidad de buscar la oferta internacionalmente. La opción más viable encontrada en cuanto a costo, transporte y tiempo de entrega es la compra de los mismos en compañías ubicadas en México.

### **Importaciones**

Los costos considerados para la elaboración de presupuestos en cuanto a gastos de introducción, es el que estipula la ley. El costo de transporte de estos elementos es el de 600 dólares americanos por cada uno. Se debe pagar un costo de introducción que es del 10% del costo total del producto y se debe pagar el 15% del impuesto sobre la venta del valor neto del producto más el 10% de introducción.

## Ilustración 11 Cotización de aislador sísmico LDRB.

De acuerdo a su amable solicitud de cotización, nos permitimos presentar a su consideración los siguientes productos:

DESCRIPCION	PRECIO UNITARIO	No. DE PIEZAS	PRECIO TOTAL
Aislador sísmico elastómero tipo LDRB 400 mm de diámetro, altura de 180 mm, con placas de conexión de acero A572, 1/2" de espesor, con pernos de grado estruc. cuerpo de neopreno de alta especificación vulcanizado con placas de acero A36 de 9 mm de espesor.	\$950.00	6.00	\$5700.00
Gastos de transporte marítimo consolidado, Colima, México - Puerto Cortez	\$600.00	1.00	\$600.00
<b>SUBTOTAL DISPOSITIVOS</b>			\$6,300.00 USD
<b>Impuestos</b>			No aplica
<b>TOTAL</b>			\$6,300.00 USD

Dirección: Andador Diez no. 875, FOVISSSTE, C.P. 28044, Colima, Col. Tel. +52 312 189 2161 +52 312 159 8599 E-mail info.velatoph@gmail.com

## Metodología aplicada

En la investigación se tomará en cuenta el sistema de aisladores elastoméricos con núcleo de plomo (Lead-plug rubber bearing, LRB), teniendo como referencia para diseño el reglamento específicamente del capítulo 16 del Código Uniforme de Construcción (uniform building code, UBC-1997).

Antes de iniciar con el proceso de diseño de los aisladores, se seguirán estos pasos:

- Determinar el tipo de aislación a utilizar y la cantidad de aisladores a colocar. Dependiendo del caso, verificar propiedades específicas de elastómeros, coeficientes de fricción, etc.
- Definir las cargas del sistema, la carga axial máxima y mínima bajo la cual actúa el aislador, este se obtiene de los resultados obtenidos mediante la modelación del edificio en el software ETABS 2016.
- Obtener el periodo natural la estructura y periodos.
- Determinar los parámetros de sismicidades según el UBC.

El programa de ETABS permite la modelación de aisladores elastoméricos con núcleo de plomo LRB. Los aisladores LRB se pueden representar mediante modelos bilineales que se asemejan a curvas de histéresis, siendo los parámetros principales de los modelos la rigidez inicial  $K_1$ , la rigidez post-fluencia  $K_2$ . La rigidez efectiva  $K_{eff}$ , la rigidez de deformación nula  $Q$ , desplazamiento de fluencia  $D_y$ , máximos desplazamientos positivos y negativos respectivamente  $D$  y  $-D$ , (Proaño, 2014).

### **Instrumentos Utilizados**

Para el proyecto de investigación fue necesario el modelamiento de las edificaciones mediante el uso del programa ETABS 2016 y de Excel para realizar la tabulación de datos.

### **Marco Legal**

Específicamente para el diseño de estructuras con sistemas de respuesta sísmica se regirá por Código Hondureño de la construcción 2008 (CHOC-08).

## **CAPITULO III METODOLOGÍA**

En este capítulo se describe la forma y enfoque que se le dará al proyecto investigativo de amortiguamiento sísmico. Se tomaron ejemplos de edificaciones reales y se analizaron como están construidas actualmente a través de un sistema computacional ETABS. Al verificar que la edificación cumple con las normas constructivas se procede a hacer un presupuesto real de la construcción de la estructura como esta echa en el sitio. Luego se toma el mismo diseño de estructura y se analiza con la incorporación de aisladores sísmicos y se analiza las diferencias tanto en dimensionamiento de columnas y vigas como en costo para determinar su viabilidad tanto monetaria como en cuanto a eficiencia en disminución de estrés contra sismos para nuestro entorno nacional.

### **3.1 Matriz Metodológica**

La matriz metodológica ayuda a diseñar el proceso y garantiza que los elementos necesarios sean utilizados. Permite al investigador diseñar de forma general el proceso investigativo que va a emprender. En la tabla 1 se presenta la matriz metodológica del proyecto.

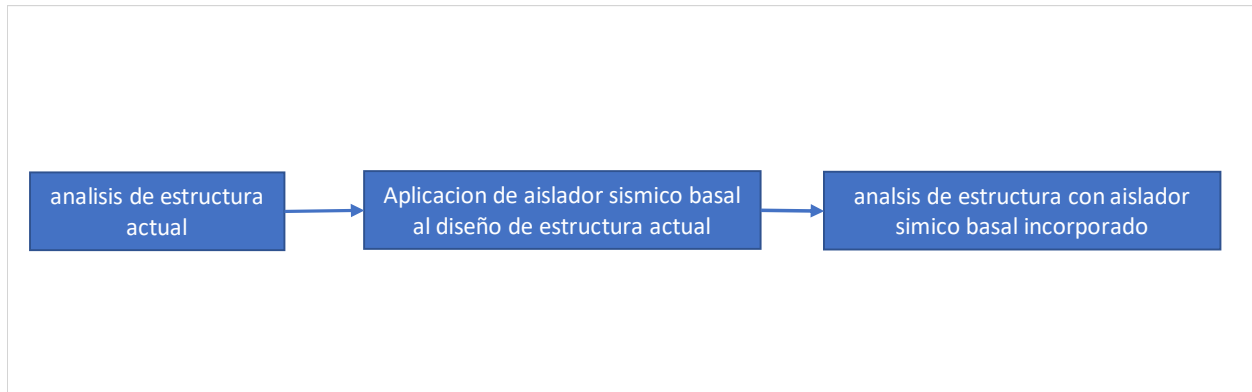
Tabla 1 Matriz metodológica.

Análisis de Edificios Con y Sin Aisladores Sísmicos y Sus Variables Estructurales y Monetarias					
Problema	Objetivo General	Pregunta de Investigación	Objetivos Específicos	Variables de Control	Variables Observables
Si vivimos en un país con alto riesgo sísmico, ¿por qué no se hace uso de aisladores sísmicos con más frecuencia para edificaciones sísmicas?	"Identificar la el grado de influencia estructural y monetaria, ya sea positiva o negativa, que generan los aisladores sísmicos en un proyecto de edificios altos."	1. ¿Qué efecto produce en el amortiguamiento inherente de una estructura, la implementación de amortiguadores sísmicos?	1. Determinar el aporte al amortiguamiento inherente de una estructura correspondiente con el uso de disipadores sísmicos basales.	Aislador Sísmico Basal	1. Dimensión de Columna
		2. ¿Existe diferencia en los efectos sobre el amortiguamiento inherente correspondiente a los amortiguadores basales, al comparar una estructura de concreto con una metálica?	2. Analizar las implicaciones de costo producidas por la implementación de aisladores sísmicos en las estructuras.		2. Dimensión y Cuentilla de acero de Viga
		3. ¿Cuál es el impacto económico de la implementación de			3. Resistencia sísmica de la estructura 4. Costo de Obra

Fuente: propia

### 3.2 Esquema de variables de estudio

Ilustración 12 Esquema de variables de estudio.



Fuente: propia.

Para el debido desarrollo del proyecto, se establecieron variables para la obtención de resultados. A continuación, se enumeran las variables de estudio y enfoque de la investigación

#### 3.2.1 Variables de Control

Amortiguamiento.

### **3.2.2 Variables Observables**

Periodo, frecuencia, desplazamiento y cortante basal.

### **3.2.3 Hipótesis**

- **Hipotesis Nula:**

El amortiguamiento no tiene incidencia en ninguno de los valores de las variables observables.

- **Hipotesis Alternativa:**

El amortiguamiento tiene incidencia en los valores de al menos una de las variables observables.

### **3.3 Enfoque y métodos**

La investigación está centrada en el análisis del efecto que generan los aisladores sísmicos basales en estructuras de edificios altos y sus efectos en el costo del mismo

#### **3.3.1 Instrumentos, técnicas y procedimientos**

A continuación, se proporciona un listado de los instrumentos utilizados para la realización de este proyecto.

1. Ordenador para cálculos y corridas de programas:

- Ordenador 1:

- Procesador: Intel Core i7.

- RAM: 16 GB.

- Marca: HP ENVY Notebook.

- Ordenador 2:

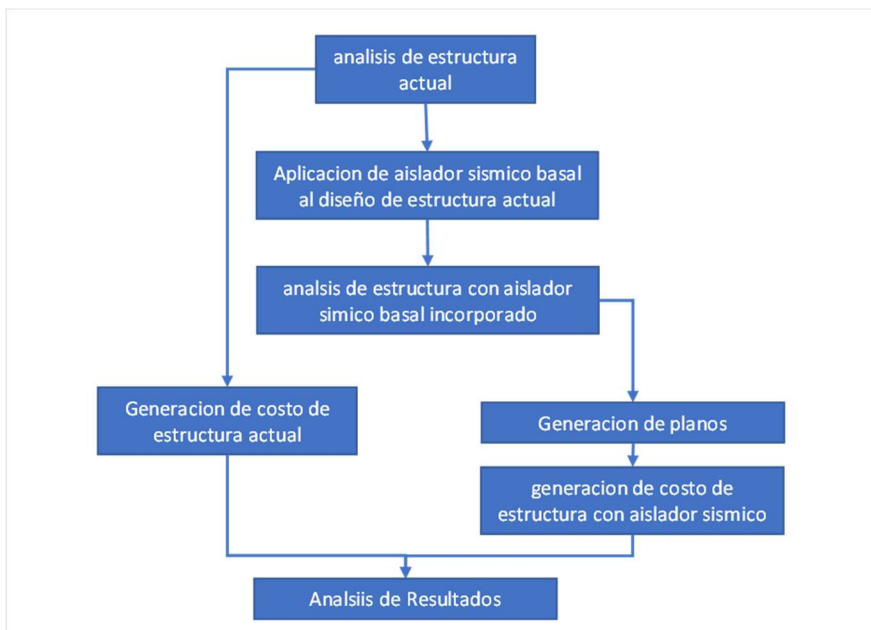
-procesador: Intel core i7

-RAM: 16GB

-Marca: Alienware DELL

2. ETABS 2016 para análisis estructural.
3. Microsoft EXCEL 2020 para generación de tablas y cálculos numéricos.
4. Microsoft WORD para formulación de documento.
5. AutoCAD 2020 para generación de planos.

Ilustración 13 Proceso investigativo.



Fuente: propia.

### 3.4 Fuentes de información

#### 3.4.1 Fuentes primarias

-UBC, Uniform Building Code (1997).



-CHOC-08, Código Hondureño de la Construcción.

### **3.4.2 Fuentes secundarias.**

- “Dinámica estructural”, Chopra.

- “Diseño sísmico de edificios”, Brazan & Meli.

- “Aisladores y disipadores sísmicos”, Agudelo.

## **CAPITULO IV RESULTADOS Y ANÁLISIS**

En este capítulo se describe los resultados obtenidos, que tiene relación con los objetivos plateados.

### **4.1 Geometría y Características Técnicas para edificación de concreto**

La modelación de la estructura en esta investigación está orientada al análisis de una edificación de marco rígidos de concreto, con el objetivo de disminuir los desplazamientos a través de dispositivos aisladores sísmicos basales. Esta edificación se idealiza ubicada geoméricamente en Roatán, sobre suelo rígido tipo S3, con entrepisos de losas monolíticas formando un diafragma rígido. A continuación, presentamos la geometría y características técnicas que se modelaron utilizando el software ETABS 2016.

#### **4.1.1 Geometría de la edificación:**

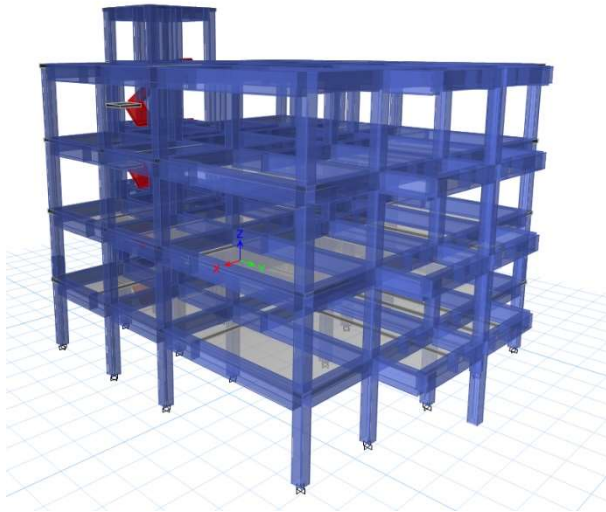
Dimensiones en planta. 14.85 m x 20.40m

Numero de niveles de piso: 05 niveles incluyendo azotea

Altura entre niveles de piso 3.23 m

Altura total de edificio 15.92 m

Ilustración 14 Geometría de edificaciones de concreto.



Fuente: propia

#### **4.1.2 Características técnicas:**

Resistencia del concreto:  $F'c$ : 280 kg/cm<sup>2</sup>

Fluencia del acero de refuerzo:  $F_y$ : 4200 kg/cm<sup>2</sup>

Losa: Monolítica

Vigas principales: (30x50) cm

Vigas secundarias: (30x40) cm

Tipo de uniones Rígidas empotradas

#### **4.1.3 Modelación:**

1. Cargas primarias:

- Permanentes:

A. Peso propio.

- B. Carga super impuesta (enchape, instalaciones eléctricas, sanitarias, cielo falso, etc.) de 250 kg/m<sup>2</sup>.
- C. Peso de paredes, en ejes de acuerdo a la información arquitectónica (600 kg/ml).
- D. Carga por piscina de 1300 kg/m<sup>2</sup>.
- Vivas, indicada por su uso según el CHOC-08.
  - A. Carga de uso como apartamentos de 200 kg/m<sup>2</sup>.
  - B. Carga de uso en ultimo nivel de 200 kg/m<sup>2</sup>.
  - C. En área de balcones de 300 kg/m<sup>2</sup>.
  - D. En área de gradas de 500 kg/m<sup>2</sup>.
- Ecológicas.
  - A. Viento en la base de 203 km/hr.
  - B. Sismo:
    - Aceleración piso de suelo de a: 0.30g
    - Ductilidad global asignada,  $R_w$ : 12.
    - Factor de importancia, I: 1.0
    - Factor de amplificación del suelo, S: 1.5

#### **4.1.4 Espectro de diseño**

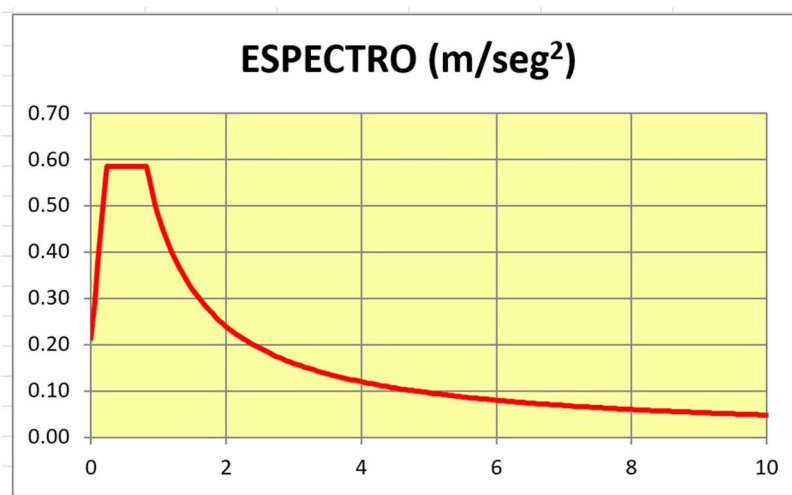
El espectro de diseño se construye a partir de las especificaciones determinada en el Código Hondureño de la construcción (CHOC-08), de acuerdo al capítulo 1.3 el factor de zona sísmica se considera como 4a para la ubicación de Roatán.

Tabla 2 Especificaciones para espectro.

<b>Factor sísmico (Z)</b>	0.26	g
<b>Coefficiente de suelo (S)</b>	1.5	
<b>Periodo Ta</b>	0.233	seg
<b>Periodo Tb</b>	0.818	seg
<b>Coefficiente Rw =</b>	12	

Fuente: propia

Ilustración 15 Espectro.



Grafica de espectro

Fuente: propia

### ***Definición de casos de cargas***

Cargas:

- D: Carga muerta.
- L: Carga viva
- E: Carga sísmica
- W: Carga viento

Combinaciones de carga:

## Servicio

- $S=D + L$
- $S= 0.75(D+L+/-W)$
- $S=0.75(D+L+/-E)$
- $S= 0.9D +/- W$
- $S= 0.9D +/- E$

## ULTIMAS

- $S=1.4D + 1.7L$
- $S= 0.75(1.4D+1.7L +/- 1.7W)$
- $S=0.75(1.4D+1.7L +/- 1.87E)$
- $S= 0.9D +/- 1.3W$
- $S= 0.9D +/- 1.43E$

### **4.2 Modelación de edificio mediante ETABS 2016.**

El software de diseño estructural Extended Three Dimensional Analysis of Building Systems (ETABS), desarrollado por la empresa Computers and Structures, es uno de los software más utilizados mundialmente por su versatilidad para modelar y definir elementos estructurales y para realizar avanzados análisis sísmicos aplicables para una amplia variedad de edificaciones con diferentes consideraciones y especificaciones, resaltando que mediante este software se puede llevar a cabo la modelación incorporando aisladores basales.

#### **4.2.1 Análisis general del edificio**

El análisis se realizó por medio del método de elementos finitos aplicado los escenarios de cargas de viento y sismo tanto dinámico como estático de los cuales se aplicaron los criterios de la norma con los resultados obtenidos.

## 4.2.2 Análisis dinámico:

Mediante este análisis se pudo obtener el escalamiento para las fuerzas inerciales:

Ilustración 16 Escalamiento para fuerzas inerciales

Cortante dinámico X						Factor de escalamiento		
TABLE: Story Forces						1.5471004	Fuerzas amplificadas	
Story	VX	VY	T	MX	MY		VX	VY
	kgf	kgf	kgf-m	kgf-m	kgf-m		kgf	kgf
NIVEL 5	1261.32	44.02	2154.06	118.84	3405.57		1951.388677	68.10335963
NIVEL 4	24071.72	761.23	303984.88	2572.27	79940.44		37241.36765	1177.699238
NIVEL 3	44908.87	1399.77	576163.22	7078.66	224465.43		69478.53076	2165.584727
NIVEL 2	60043.48	1850.83	773204.3	13013.53	417209.96		92893.29195	2863.419834
NIVEL 1	68185.37	2087.99	877155.53	19692.79	635834.55		105489.6132	3230.330165
Cortante dinámico Y						Factor de escalamiento		
TABLE: Story Forces						1.339655605	Fuerzas amplificadas	
Story	VX	VY	T	MX	MY		VX	VY
	kgf	kgf	kgf-m	kgf-m	kgf-m		kgf	kgf
NIVEL 5	45.74	1671.88	12385.09	4514.09	123.51		61.27584738	2239.743413
NIVEL 4	740.04	28117.42	211219.37	94756.05	2456.02		991.398734	37667.6593
NIVEL 3	1375.61	52048.25	391230.29	262090.77	6881.25		1842.843647	69726.72985
NIVEL 2	1836.53	69395.11	521764.41	484761.04	12767.14		2460.317708	92965.54808
NIVEL 1	2087.8	78743.83	592054.36	737179.29	19443.92		2796.932972	105489.6132

Fuente: propia

## 4.3 Irregularidades:

Revisión para verificación de existencia de alguna irregularidad en el edificio.

### 4.3.1 Irregularidad Torsional.

Se encontró en algunos casos irregularidad torsional para una relación mayor de 1.2, como se muestra en la tabla adjunta, por lo que fue necesario amplificar el momento torsor ( $M_z$ ) en los niveles afectados.

## Ilustración 17 Revisión de irregularidad torsional

TABLE: Story Max/Avg Displacements													
Story	Load Case/Combo	Maximum	Average	Ratio	Revision	Ax	Excentricidad						
		m	m		>1.2		ex (m)	ey (m)	Vx (kgf)	Vy (kgf)	B	L	Mz
NIVEL 5	EQXEP	0.008439	0.007576	1.114	Cumple	0.93	-0.0061	0.9633	1261.32	44.02	20.4	15.62	
NIVEL 4	EQXEP	0.016035	0.011686	1.372	No cumple	1.14	-0.2988	-2.633	24071.72	761.23	20.4	15.62	3550.25
NIVEL 3	EQXEP	0.014805	0.010722	1.381	No cumple	1.15	-0.0301	-2.442	44908.87	1399.77	20.4	15.62	6931.02
NIVEL 2	EQXEP	0.011851	0.008599	1.378	No cumple	1.15	-0.0755	-2.325	60043.48	1850.83	20.4	15.62	9122.72
NIVEL 1	EQXEP	0.006642	0.004942	1.344	No cumple	1.12	-0.1364	-1.816	68185.37	2087.99	20.4	15.62	8368.58
TABLE: Story Max/Avg Displacements													
Story	Load Case/Combo	Maximum	Average	Ratio									
		m	m										
NIVEL 5	EQXEN	0.009917	0.009544	1.039	Cumple	0.87	-0.0061	0.9633	1261.32	44.02	20.4	15.62	
NIVEL 4	EQXEN	0.012874	0.01099	1.171	Cumple	0.98	-0.2988	-2.633	24071.72	761.23	20.4	15.62	
NIVEL 3	EQXEN	0.011866	0.010067	1.179	Cumple	0.98	-0.0301	-2.442	44908.87	1399.77	20.4	15.62	
NIVEL 2	EQXEN	0.009472	0.008078	1.173	Cumple	0.98	-0.0755	-2.325	60043.48	1850.83	20.4	15.62	
NIVEL 1	EQXEN	0.005268	0.004673	1.127	Cumple	0.94	-0.1364	-1.816	68185.37	2087.99	20.4	15.62	
TABLE: Story Max/Avg Displacements													
Story	Load Case/Combo	Maximum	Average	Ratio									
		m	m										
NIVEL 5	EQYEP	0.012187	0.011961	1.019	Cumple	0.85	-0.0061	0.9633	45.74	1671.88	20.4	15.62	
NIVEL 4	EQYEP	0.012112	0.011217	1.08	Cumple	0.90	-0.2988	-2.633	740.04	28117.42	20.4	15.62	
NIVEL 3	EQYEP	0.011014	0.010183	1.082	Cumple	0.90	-0.0301	-2.442	1375.61	52048.25	20.4	15.62	
NIVEL 2	EQYEP	0.008825	0.008126	1.086	Cumple	0.91	-0.0755	-2.325	1836.53	69395.11	20.4	15.62	
NIVEL 1	EQYEP	0.005157	0.004712	1.094	Cumple	0.91	-0.1364	-1.816	2087.8	78743.83	20.4	15.62	
TABLE: Story Max/Avg Displacements													
Story	Load Case/Combo	Maximum	Average	Ratio									
		m	m										
NIVEL 5	EQYEN	0.012157	0.011943	1.018	Cumple	0.85	-0.0061	0.9633	45.74	1671.88	20.4	15.62	
NIVEL 4	EQYEN	0.011995	0.0112	1.071	Cumple	0.89	-0.2988	-2.633	740.04	28117.42	20.4	15.62	
NIVEL 3	EQYEN	0.010901	0.010168	1.072	Cumple	0.89	-0.0301	-2.442	1375.61	52048.25	20.4	15.62	
NIVEL 2	EQYEN	0.008685	0.008112	1.071	Cumple	0.89	-0.0755	-2.325	1836.53	69395.11	20.4	15.62	
NIVEL 1	EQYEN	0.00501	0.004699	1.066	Cumple	0.89	-0.1364	-1.816	2087.8	78743.83	20.4	15.62	

Fuente: propia

### 4.3.2 Irregularidad de piso suave.

No se encontró la presencia de esta irregularidad en el edificio.



Ilustración 18 Revisión de irregularidad de piso suave.

TABLE: Story Stiffness											
Story	Load Case	Shear X	Drift X	Stiffness X	Shear Y	Drift Y	iffness	Rigidez 0.7	Revision	Rigidez 0.9	Revision
		kgf	m	kgf/m	kgf	m	kgf/m				
NIVEL 5	EQXEP	1778.5	0.0	4060195.5	64.9	0.0	0.0	2842136.8	Ok	3654175.9	Ok
NIVEL 4	EQXEP	36363.3	0.0	37825557.8	1210.3	0.0	0.0	26477890.5	Ok	34043002.0	Ok
NIVEL 3	EQXEP	100999.5	0.0	49104088.4	3320.2	0.0	0.0	34372861.9	Ok	44193679.6	Ok
NIVEL 2	EQXEP	187378.8	0.0	54375618.0	6107.3	0.0	0.0	38062932.6	Ok	48938056.2	Ok
NIVEL 1	EQXEP	285290.3	0.0	90893836.6	9244.8	0.0	0.0	63625685.6	Ok	81804452.9	Ok
TABLE: Story Stiffness											
Story	Load Case	Shear X	Drift X	Stiffness X	Shear Y	Drift Y	iffness Y				
		kgf	m	kgf/m	kgf	m	kgf/m				
NIVEL 5	EQXEN	1778.5	0.0	3315122.6	64.9	0.0	0.0	2320585.8	Ok	2983610.3	Ok
NIVEL 4	EQXEN	36363.3	0.0	32951021.9	1210.3	0.0	0.0	23065715.3	Ok	29655919.7	Ok
NIVEL 3	EQXEN	100999.5	0.0	51262355.2	3320.2	0.0	0.0	35883648.6	Ok	46136119.6	Ok
NIVEL 2	EQXEN	187378.8	0.0	57579773.4	6107.3	0.0	0.0	40305841.4	Ok	51821796.1	Ok
NIVEL 1	EQXEN	285290.3	0.0	#####	9244.8	0.0	0.0	76605679.8	Ok	98493016.9	Ok
TABLE: Story Stiffness											
Story	Load Case	Shear X	Drift X	Stiffness X	Shear Y	Drift Y	iffness Y				
		kgf	m	kgf/m	kgf	m	kgf/m				
NIVEL 5	EQYEP	61.3	0.0	0.0	2041.6	0.0	#####	1916067.5	Ok	2463515.3	Ok
NIVEL 4	EQYEP	1023.0	0.0	0.0	37050.3	0.0	#####	18372696.5	Ok	23622038.4	Ok
NIVEL 3	EQYEP	2814.0	0.0	0.0	101952.1	0.0	#####	27931890.5	Ok	35912430.7	Ok
NIVEL 2	EQYEP	5204.2	0.0	0.0	188413.4	0.0	#####	35196832.9	Ok	45253070.8	Ok
NIVEL 1	EQYEP	7916.4	0.0	0.0	286324.8	0.0	#####	77608324.4	Ok	99782131.3	Ok
TABLE: Story Stiffness											
Story	Load Case	Shear X	Drift X	Stiffness X	Shear Y	Drift Y	iffness Y				
		kgf	m	kgf/m	kgf	m	kgf/m				
NIVEL 5	EQYEN	61.3	0.0	0.0	2041.6	0.0	#####	1923162.7	Ok	2472637.7	Ok
NIVEL 4	EQYEN	1023.0	0.0	0.0	37050.3	0.0	#####	18808740.1	Ok	24182665.8	Ok
NIVEL 3	EQYEN	2814.0	0.0	0.0	101952.1	0.0	#####	28662323.5	Ok	36851558.8	Ok
NIVEL 2	EQYEN	5204.2	0.0	0.0	188413.4	0.0	#####	36293287.3	Ok	46662797.9	Ok
NIVEL 1	EQYEN	7916.4	0.0	0.0	286324.8	0.0	#####	77696618.8	Ok	99895652.7	Ok

Fuente: propia

### 4.3.3 Irregularidad de masa.

Si se encontró presencia de esta irregularidad. La norma exige que se realice análisis dinámico el cual fue realizado.

Ilustración 19 Revisión de irregularidad de masa.

TABLE: Centers of Mass and Rigidity												
Story	Mass X	Mass Y	XCM	YCM	XCCM	YCCM	XCR	YCR	Peso	150% Peso	Revision	
	kgf-s <sup>2</sup> /m	kgf-s <sup>2</sup> /m	m	m	m	m	m	m	kgf	kgf		
NIVEL 5	2084.1	2084.1	7.4232	1.7593	7.4232	1.7593	7.4171	2.7226	20445.021	30667.532	Ok	
NIVEL 4	33053.27	33053.27	7.6972	11.2066	7.681	10.646	7.3984	8.574	324252.5787	486378.87	Irregular	
NIVEL 3	38074.18	38074.18	7.4153	10.9774	7.5428	10.819	7.3852	8.5352	373507.7058	560261.56	Ok	
NIVEL 2	38163.1	38163.1	7.4257	10.9686	7.5027	10.87	7.3502	8.6437	374380.011	561570.02	Ok	
NIVEL 1	38389.88	38389.88	7.4251	10.9777	7.4828	10.898	7.2887	9.1621	376604.7228	564907.08	Irregular	

Fuente: propia

#### 4.3.4 Revisión de P Delta.

Al realizar la revisión como lo indica la norma, no será necesario ya que al considerar la relación entre los momentos de segundo orden y de primer orden ninguno excede de 1.10.

## Ilustración 20 Revisión de irregularidad torsional

TABLE: StoiEQXEP										M2	M2		M2/M1 <1.1
Story	Elevation m	X-Dir	Y-Dir	L+D kgf	(L+D)i	Despl. Relativo	Vx kgf	H cm	(D+L)i*Despl. Relat	Vx*H	M2/M1	Revision	
NIVEL 5	15.62	0.000164	0.000016	27174.13	27174.13	0.000164	1951.388677	270	4.46	526874.9428	8.458E-06	Ok	
NIVEL 4	12.92	0.000381	0.000082	459774.2	432600.07	0.000217	37241.36765	323	93.87	12028961.75	7.804E-06	Ok	
NIVEL 3	9.69	0.000914	0.00024	911779.76	452005.56	0.000533	69478.53076	323	240.92	22441565.43	1.074E-05	Ok	
NIVEL 2	6.46	0.001613	0.000441	1364730.84	452951.08	0.000699	92893.29195	323	316.61	30004533.3	1.055E-05	Ok	
NIVEL 1	3.23	0.001941	0.000492	1816106.99	451376.15	0.000328	105489.6132	323	148.05	34073145.07	4.345E-06	Ok	
Base	0	0	0										
TABLE: StoiEQXEN													
Story	Elevation m	X-Dir	Y-Dir										
NIVEL 5	15.62	0.000205	0.000013	27174.13	27174.13	0.000205	1951.388677	270	5.57069665	526874.9428	1.057E-05	Ok	
NIVEL 4	12.92	0.000312	0.000034	459774.2	432600.07	0.000107	37241.36765	323	46.28820749	12028961.75	3.848E-06	Ok	
NIVEL 3	9.69	0.000741	0.000129	911779.76	452005.56	0.000429	69478.53076	323	193.9103852	22441565.43	8.641E-06	Ok	
NIVEL 2	6.46	0.001301	0.000245	1364730.84	452951.08	0.00056	92893.29195	323	253.6526048	30004533.3	8.454E-06	Ok	
NIVEL 1	3.23	0.001591	0.000274	1816106.99	451376.15	0.00029	105489.6132	323	130.8990835	34073145.07	3.842E-06	Ok	
Base	0	0	0										
TABLE: StoiEQYEP													
Story	Elevation m	X-Dir	Y-Dir										
NIVEL 5	15.62	0.000027	0.000276	27174.13	27174.13	0.000027	1951.388677	270	0.73370151	526874.9428	1.393E-06	Ok	
NIVEL 4	12.92	0.000026	0.000341	459774.2	432600.07	-0.000001	37241.36765	323	-0.43260007	12028961.75	-3.6E-08	Ok	
NIVEL 3	9.69	0.000054	0.000679	911779.76	452005.56	0.000028	69478.53076	323	12.65615568	22441565.43	5.64E-07	Ok	
NIVEL 2	6.46	0.000097	0.001138	1364730.84	452951.08	0.000043	92893.29195	323	19.47689644	30004533.3	6.491E-07	Ok	
NIVEL 1	3.23	0.000167	0.001597	1816106.99	451376.15	0.00007	105489.6132	323	31.5963305	34073145.07	9.273E-07	Ok	
Base	0	0	0										
TABLE: StoiEQYEN													
Story	Elevation m	X-Dir	Y-Dir										
NIVEL 5	15.62	0.000017	0.000281	27174.13	27174.13	0.000017	1951.388677	270	0.46196021	526874.9428	8.768E-07	Ok	
NIVEL 4	12.92	0.000033	0.000339	459774.2	432600.07	0.000016	37241.36765	323	6.92160112	12028961.75	5.754E-07	Ok	
NIVEL 3	9.69	0.000092	0.000688	911779.76	452005.56	0.000059	69478.53076	323	26.66832804	22441565.43	1.188E-06	Ok	
NIVEL 2	6.46	0.000165	0.001141	1364730.84	452951.08	0.000073	92893.29195	323	33.06542884	30004533.3	1.102E-06	Ok	
NIVEL 1	3.23	0.000186	0.001551	1816106.99	451376.15	0.000021	105489.6132	323	9.47889915	34073145.07	2.782E-07	Ok	

Fuente: propia.

### 4.3.5 Revisión de derivas por nivel

Al realizar el análisis de las derivas en cada nivel se demuestra que cumple la revisión requerida por la norma.

## Ilustración 21 Revisión de derivas por nivel

TABLE: Story Response					SISMO X ESPECTRO		Revision	
Story	Elevation	Location	X-Dir	Y-Dir	0.04/Rw			
	m				X/Y			
NIVEL 5	15.62	Top	0.00081	0.00007	0.00333333	Cumple		
NIVEL 4	12.92	Top	0.00248	0.00081	0.00333333	Cumple		
NIVEL 3	9.69	Top	0.00444	0.00152	0.00333333	Cumple		
NIVEL 2	6.46	Top	0.00582	0.000203	0.00333333	Cumple		
NIVEL 1	3.23	Top	0.00537	0.000197	0.00333333	Cumple		
Base	0	Top	0	0	0.00333333	Cumple		
TABLE: Story Response					SISMO Y ESPECTRO			
Story	Elevation	Location	X-Dir	Y-Dir				
	m							
NIVEL 5	15.62	Top	0.000004	0.000145	0.00333333	Cumple		
NIVEL 4	12.92	Top	0.000008	0.000191	0.00333333	Cumple		
NIVEL 3	9.69	Top	0.000014	0.000306	0.00333333	Cumple		
NIVEL 2	6.46	Top	0.000019	0.000393	0.00333333	Cumple		
NIVEL 1	3.23	Top	0.000049	0.000425	0.00333333	Cumple		
Base	0	Top	0	0	0.00333333	Cumple		
TABLE: Story Response					EQXEP			
Story	Elevation	Location	X-Dir	Y-Dir				
	m							
NIVEL 5	15.62	Top	0.000164	0.000016	0.00333333	Cumple		
NIVEL 4	12.92	Top	0.000381	0.000082	0.00333333	Cumple		
NIVEL 3	9.69	Top	0.000914	0.00024	0.00333333	Cumple		
NIVEL 2	6.46	Top	0.001613	0.000441	0.00333333	Cumple		
NIVEL 1	3.23	Top	0.001941	0.000492	0.00333333	Cumple		
Base	0	Top	0	0	0.00333333	Cumple		
TABLE: Story Response					EQXEN			
Story	Elevation	Location	X-Dir	Y-Dir				
	m							
NIVEL 5	15.62	Top	0.000205	0.000013	0.00333333	Cumple		
NIVEL 4	12.92	Top	0.000312	0.000034	0.00333333	Cumple		
NIVEL 3	9.69	Top	0.000741	0.000129	0.00333333	Cumple		
NIVEL 2	6.46	Top	0.001301	0.000245	0.00333333	Cumple		
NIVEL 1	3.23	Top	0.001591	0.000274	0.00333333	Cumple		
Base	0	Top	0	0	0.00333333	Cumple		
TABLE: Story Response					EQYEP			
Story	Elevation	Location	X-Dir	Y-Dir				
	m							
NIVEL 5	15.62	Top	0.000027	0.000276	0.00033333	Cumple		
NIVEL 4	12.92	Top	0.000026	0.000341	0.00033333	Cumple		
NIVEL 3	9.69	Top	0.000054	0.000679	0.00033333	Cumple		
NIVEL 2	6.46	Top	0.000097	0.001138	0.00033333	Cumple		
NIVEL 1	3.23	Top	0.000167	0.001597	0.00033333	Cumple		
Base	0	Top	0	0	0.00033333	Cumple		
TABLE: Story Response					EQYEN			
Story	Elevation	Location	X-Dir	Y-Dir				
	m							
NIVEL 5	15.62	Top	0.000017	0.000281	0.00333333	Cumple		
NIVEL 4	12.92	Top	0.000033	0.000339	0.00333333	Cumple		
NIVEL 3	9.69	Top	0.000092	0.000688	0.00333333	Cumple		
NIVEL 2	6.46	Top	0.000165	0.001141	0.00333333	Cumple		
NIVEL 1	3.23	Top	0.000186	0.001551	0.00333333	Cumple		
Base	0	Top	0	0	0.00333333	Cumple		

Fuente: propia

#### **4.4 PRESUPUESTO DE ESTRUCTURA ACTUAL**

Como objetivo de comparar el impacto monetario de un edificio sin aislador sísmico contra un edificio con aislado sísmico, se tomó como muestra un edificio de 5 niveles cuyo uso será el de apartamentos de vivienda. para análisis de costo, se realizó de un presupuesto de obra que abarca solo la estructura de acuerdo a los resultados obtenidos del modelo computacional descrito anteriormente. A continuación, se muestra el presupuesto de la estructura actual sin aislador sísmico, así como varios ejemplos de fichas de costo para las diferentes actividades.

Ilustración 22 Presupuesto para edificación de concreto sin aisladores.

PRESUPUESTO DE OBRA						
PROYECTO: EDIFICIO DE APARTAMENTOS 5 NIVELES sin aislador sísmico						
FECHA: 12 DE JUNIO DEL 2021						
ITEM	DESCRIPCION	UND.	CANT.	P.U.	VALOR LPS.	
<b>1.00</b>	<b>PRELIMINARES</b>				<b>L</b>	<b>20,815,571.73</b>
1.01	COLUMNA C-1 DE ARRANQUE 0.5X0.5M ACERO 18#8 Y ANILLOS #3@0.08 M	ML	81.60	L	3,063.51	249,982.40
1.02	COLUMNA C-1 0.5X0.5M ACERO 18#8 Y ANILLOS #3@0.15M	ML	73.44	L	6,127.06	449,971.57
1.03	COLUMNA C-2 DE ARRANQUE 0.5X0.5M ACERO 16#8 Y ANILLOS #3@0.08M	ML	88.40	L	5,258.03	464,810.16
1.04	COLUMNA C-2 0.5X0.5M ACERO 16#8 Y ANILLOS #3@0.15M	ML	77.44	L	5,802.38	449,336.31
1.05	VIGA V-1 H 0.40X0.60M 11#6, 3#5 Y ANILLOS 10 #3@0.13M	ML	76.80	L	8,179.69	628,199.91
1.06	VIGA V-1 H 0.40X0.60M 12#6 Y ANILLOS 5 #3@0.20M	ML	31.04	L	4,613.60	143,206.26
1.07	VIGA V-1 F 0.40X0.60M 11#6, 3#5 Y ANILLOS 10 #3@0.13M	ML	76.80	L	8,179.69	628,199.91
1.08	VIGA V-1 F 0.40X0.60M 12#6 Y ANILLOS 5 #3@0.20M	ML	31.04	L	4,613.60	143,206.26
1.09	VIGA V-1 C 0.40X0.60M 11#6, 3#5 Y ANILLOS 10 #3@0.13M	ML	76.80	L	9,844.74	756,075.65
1.10	VIGA V-1 C 0.40X0.60M 12#6 Y ANILLOS 5#3@0.20M	ML	31.04	L	6,497.08	201,669.41
1.11	VIGA V-1 G 0.40X0.60M 11#6, 3#5 Y ANILLOS 10 #3@0.13M	ML	185.60	L	4,771.19	885,533.59
1.12	VIGA V-1 G 0.40X0.60M 11#6, 3#5 Y ANILLOS 10 #3@0.13M	ML	64.00	L	9,844.74	630,063.04
1.13	VIGA V-1 G 0.40X0.60M 12#6 Y ANILLOS 4 #3@0.20M	ML	34.40	L	6,497.08	223,499.60
1.14	VIGA V-1 B 0.40X0.60M 11#6, 3#5 Y ANILLOS 10 #3@0.13M	ML	185.60	L	4,771.19	885,533.59
1.15	VIGA V-1 B 0.40X0.60M 11#6, 3#5 Y ANILLOS 10 #3@0.13M	ML	64.00	L	7,102.59	454,565.67
1.16	VIGA V-1 B 0.40X0.60M 12#6 Y ANILLOS 4 #3@0.20M	ML	34.40	L	5,558.06	191,197.20
1.17	VIGA V-1 E 0.40X0.60M 11#6, 2#5 Y ANILLOS 10 #3@0.13M	ML	92.80	L	4,772.25	442,864.78
1.18	VIGA V-1 E 0.40X0.60M 11#6, 2#5 Y ANILLOS 11 #3@0.13M	ML	48.00	L	6,529.41	313,411.52
1.19	VIGA V-1 E 0.40X0.60M 12#6 Y ANILLOS 4 #3@0.20M	ML	20.80	L	6,529.41	135,811.66
1.20	VIGA V-1 E 0.40X0.60M 12#6 Y ANILLOS 34 #3@0.13M	ML	68.00	L	7,102.59	482,976.03
1.21	VIGA V-1 D 0.40X0.60M 11#6, 2#5 Y ANILLOS 10 #3@0.13M	ML	92.80	L	5,557.50	515,735.94
1.22	VIGA V-1 D 0.40X0.60M 11#6, 2#5 Y ANILLOS 11 #3@0.13M	ML	48.00	L	4,770.74	228,995.35
1.23	VIGA V-1 D 0.40X0.60M 12#6 Y ANILLOS 4 #3@0.20M	ML	20.80	L	6,531.26	135,850.22
1.24	VIGA V-1 D 0.40X0.60M 12#6 Y ANILLOS 34 #3@0.13M	ML	68.00	L	7,102.81	482,990.87
1.25	VIGA V-1 7 0.40X0.60M 11#6, 2#5 Y ANILLOS 11 #3@0.13M	ML	129.60	L	9,877.19	1,280,083.62
1.26	VIGA V-1 7 0.40X0.60M 11#6, 2#5 Y ANILLOS 24 #3@0.13M	ML	57.60	L	6,076.87	350,027.45
1.27	VIGA V-1 7 0.40X0.60M 12#6 Y ANILLOS 5 #3@0.20M	ML	16.00	L	6,529.55	104,472.87
1.28	VIGA V-1 7 0.40X0.60M 12#6 Y ANILLOS 18 #3@0.13M	ML	14.60	L	7,733.36	112,907.10
1.29	VIGA V-1 2 0.40X0.60M 11#6, 2#5 Y ANILLOS 11 #3@0.13M	ML	129.60	L	9,877.19	1,280,083.62
1.30	VIGA V-1 2 0.40X0.60M 11#6, 2#5 Y ANILLOS 24 #3@0.13M	ML	57.60	L	6,076.87	350,027.45
1.31	VIGA V-1 2 0.40X0.60M 12#6 Y ANILLOS 5 #3@0.20M	ML	16.00	L	6,529.55	104,472.87
1.32	VIGA V-1 2 0.40X0.60M 12#6 Y ANILLOS 18 #3@0.13M	ML	14.60	L	7,733.03	112,902.24
1.33	VIGA V-1 6 0.40X0.60M 11#6, 2#5 Y ANILLOS 11 #3@0.13M	ML	97.60	L	8,210.33	801,328.54
1.34	VIGA V-1 6 0.40X0.60M 11#6, 2#5 Y ANILLOS 24 #3@0.13M	ML	57.60	L	6,076.87	350,027.45
1.35	VIGA V-1 6 0.40X0.60M 12#6 Y ANILLOS 5 #3@0.20M	ML	16.00	L	6,532.06	104,512.99
1.36	VIGA V-1 6 0.40X0.60M 12#6 Y ANILLOS 18 #3@0.13M	ML	14.60	L	7,733.36	112,907.10
1.37	VIGA V-1 1 0.40X0.60M 11#6, 2#5 Y ANILLOS 11 #3@0.13M	ML	97.60	L	8,210.33	801,328.54
1.38	VIGA V-1 1 0.40X0.60M 11#6, 2#5 Y ANILLOS 24 #3@0.13M	ML	14.40	L	6,079.76	87,548.52
1.39	VIGA V-1 1 0.40X0.60M 12#6 Y ANILLOS 5 #3@0.20M	ML	16.00	L	6,532.06	104,512.99
1.40	VIGA V-1 1 0.40X0.60M 12#6 Y ANILLOS 18 #3@0.13M	ML	14.60	L	7,733.36	112,907.10
1.41	LOSA DE CIMENTACION DE DE 15CM CON CONCRETO PREMEZCLADO 4000 PSI CON ACERO #8 @0.20M	M2	263.54	L	3,733.15	983,834.96
1.42	LOSA DE ENTREPISO DE DE 15CM CON CONCRETO PREMEZCLADO 4000 PSI CON ACERO #4 @0.20M	M2	1,054.14	L	3,356.29	3,537,999.44
					<b>TOTAL EN LEMPIRAS</b>	<b>L 20,815,571.73</b>
<b>TOTAL EN LEMPIRAS</b>						<b>L 20,815,571.73</b>

Fuente: propia

El presupuesto del edificio con aislamiento sísmico da un resultado final de construcción de la parte estructural de L. 17,063,720.63 exactos.

Ilustración 23 Ficha de costo.

FICHA DE COSTO						
NOMBRE	COLUMNA C-1 DE ARRANQUE 0.5X0.5M ACERO 18#8 Y ANILLOS #3@0.08 M	ITEM	1.01	CANTIDAD		81.60
		UND	ML			
#	MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	P.U.		TOTAL
1.01	PLYWOOD DE 3/4	LAMINA	1.00	L	750.00	L 750.00
1.02	CLAVO	lb	1/2	L	22.00	L 11.00
1.03	CORDEL	rollo	0.01	L	50.00	L 0.61
1.04	CONCRETO PREMEZCLADO 4000PSI CON BOMBA	M3	0.25	L	4,000.00	L 1,000.00
1.05	ALAMBRE DE AMARRE	LBS	1	L	18.00	L 18.00
1.06	DESMOLDANTE	GLN	0.25	L	240.00	L 60.00
1.07	CURADOR DE CONCRETO	GLN	0.15	L	240.00	L 36.00
1.08	VARILLA CORRUGADA #8	LANCE	3.4	L	859.44	L 2,922.10
1.09	VARILLA LISA #3	LANCE	4.16	L	44.00	L 183.04
					<b>TOTAL</b>	<b>L 1,839.61</b>
#	MANO DE OBRA	UNIDAD	CANTIDAD	P.U.		TOTAL
2.01	M.O. POR DESTAJO	ML	1.00	L	900.00	L 900.00
					<b>TOTAL</b>	<b>L 900.00</b>
#	HERRAMIENTA Y EQUIPO	UNIDAD	CANTIDAD	P.U.		TOTAL
3.01	HERMIENDA MENOR	%	0.03	L	27.00	L 27.00
					<b>TOTAL</b>	<b>L 27.00</b>
					<b>TOTAL MATERIALES</b>	<b>L 1,839.61</b>
					<b>ISV% MATERIALES</b>	<b>L 1,858.01</b>
					<b>TOTAL M.O. &amp; EQUIPO</b>	<b>L 927.00</b>
					<b>COSTO TOTAL POR UNIDAD</b>	<b>L 2,785.01</b>
					<b>PRECIO CON % DE GANACIA</b>	<b>L 3,063.51</b>

Fuente: propia

Ilustración 24 Ficha de costo.

FICHA DE COSTO						
NOMBRE	VIGA V-1 F 0.40X0.60M 11#6, 3#5 Y ANILLOS 10 #3@0.13M	ITEM	NOTA:	CANTIDAD	76.80	
		UND	ML			
#	MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	P.U.	TOTAL	
1.01	PLYWOOD DE 3/4	LAMINA	1.00	L 750.00	L	750.00
1.02	CLAVO	lb	1/2	L 22.00	L	11.00
1.03	CORDEL	rollo	0.01	L 50.00	L	0.65
1.04	CONCRETO PREMEZCLADO 4000PSI CON BOMBA	M3	0.24	L 4,000.00	L	960.00
1.05	ALAMBRE DE AMARRE	LBS	1	L 18.00	L	18.00
1.06	DESMOLDANTE	GLN	0.25	L 240.00	L	60.00
1.07	CURADOR DE CONCRETO	GLN	0.15	L 240.00	L	36.00
1.08	VARILLA CORRUGADA #6	LANCE	7.09	L 504.01	L	3,573.43
1.09	VARILLA CORRUGADA #5	LANCE	1.93	L 344.14	L	664.19
1.1	VARILLA LISA #3	LANCE	8.44	L 44.00	L	371.36
1.11	MADERA 2X2X2.63 M	PT	11.5	L 23.50	L	270.25
					<b>TOTAL</b>	<b>L 6,444.63</b>
#	MANO DE OBRA	UNIDAD	CANTIDAD	P.U.	TOTAL	
2.01	M.O. POR DESTAJO	M2	1.00	L 900.00	L	900.00
					<b>TOTAL</b>	<b>L 900.00</b>
#	HERRAMIENTA Y EQUIPO	UNIDAD	CANTIDAD	P.U.	TOTAL	
3.01	HERMIENTA MENOR	%	0.03	L 27.00	L	27.00
					<b>TOTAL</b>	<b>L 27.00</b>
					<b>TOTAL MATERIALES</b>	<b>L 6,444.63</b>
					<b>ISV% MATERIALES</b>	<b>L 6,509.08</b>
					<b>TOTAL M.O. &amp; EQUIPO</b>	<b>L 927.00</b>
					<b>COSTO TOTAL POR UNIDAD</b>	<b>L 7,436.08</b>
					<b>PRECIO CON % DE GANACIA</b>	<b>L 8,179.69</b>

Fuente: propia



Ilustración 25 Ficha de costo.

FICHA DE COSTO						
NOMBRE	VIGA V-1 B 0.40X0.60M 11#6, 3#5 Y ANILLOS 10 #3@0.13M	ITEM	1.14	CANTIDAD	185.60	
		UND	ML			
#	MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	P.U.	TOTAL	
1.01	PLYWOOD DE 3/4	LAMINA	1.00	L 750.00	L	750.00
1.02	CLAVO	lb	1/2	L 22.00	L	11.00
1.03	CORDEL	rollo	0.01	L 50.00	L	0.27
1.04	CONCRETO PREMEZCLADO 4000PSI CON BOMBA	M3	0.24	L 4,000.00	L	960.00
1.05	ALAMBRE DE AMARRE	LBS	1	L 18.00	L	18.00
1.06	DESMOLDANTE	GLN	0.25	L 240.00	L	60.00
1.07	CURADOR DE CONCRETO	GLN	0.15	L 240.00	L	36.00
1.08	VARILLA CORRUGADA #6	LANCE	10.63	L 504.01	L	5,357.63
1.09	VARILLA CORRUGADA #5	LANCE	1.93	L 344.14	L	664.19
1.1	VARILLA LISA #3	LANCE	1.96	L 44.00	L	86.24
1.11	MADERA 2X2X2.63 M	PT	11.5	L 23.50	L	270.25
						<b>TOTAL</b> L 7,943.33
#	MANO DE OBRA	UNIDAD	CANTIDAD	P.U.	TOTAL	
2.01	M.O. POR DESTAJO	M2	1.00	L 900.00	L	900.00
						<b>TOTAL</b> L 900.00
#	HERRAMIENTA Y EQUIPO	UNIDAD	CANTIDAD	P.U.	TOTAL	
3.01	HERMIENDA MENOR	%	0.03	L 27.00	L	27.00
						<b>TOTAL</b> L 27.00
						<b>TOTAL MATERIALES</b> L 7,943.33
						<b>ISV% MATERIALES</b> L 8,022.76
						<b>TOTAL M.O. &amp; EQUIPO</b> L 927.00
						<b>COSTO TOTAL POR UNIDAD</b> L 8,949.76
						<b>PRECIO CON % DE GANACIA</b> L 9,844.74

Fuente: propia

Ilustración 26 Ficha de costo.

FICHA DE COSTO						
NOMBRE	LOSA DE ENTREPISO DE DE 15CM CON CONCRETO PREMEZCLADO 4000 PSI CON ACERO #4 @0.20M	ITEM	1.42	CANTIDAD		1,054.14
		UND	M2			
#	MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	P.U.		TOTAL
1.01	PLYWOOD DE 3/4	LAMINA	1.00	L	750.00	L 750.00
1.02	CLAVO	lb	1/2	L	22.00	L 11.00
1.03	CORDEL	rollo	0.00	L	50.00	L 0.05
1.04	CONCRETO PREMEZCLADO 4000PSI CON BOMBA	M3	0.15	L	4,000.00	L 600.00
1.05	DESMOLDANTE	GLN	1	L	240.00	L 240.00
1.06	CURADOR DE CONCRETO	GLN	1	L	240.00	L 240.00
1.07	VARILLA CORRUGADA #4 @0.20M	LANCE	1.14	L	225.17	L 256.69
1.08	ALAMBRE DE AMARRE	LB	0.3	L	18.00	L 5.40
1.09	MADERA 2X2X3.23 M	PT	14.13	L	23.50	L 332.06
					<b>TOTAL</b>	<b>L 2,103.14</b>
#	MANO DE OBRA	UNIDAD	CANTIDAD	P.U.		TOTAL
2.01	M.O. POR DESTAJA	M2	1.00	L	900.00	L 900.00
					<b>TOTAL</b>	<b>L 900.00</b>
#	HERRAMIENTA Y EQUIPO	UNIDAD	CANTIDAD	P.U.		TOTAL
3.01	HERMIENTA MENOR	%	0.03	L	27.00	L 27.00
					<b>TOTAL</b>	<b>L 27.00</b>
					<b>TOTAL MATERIALES</b>	<b>L 2,103.14</b>
					<b>ISV% MATERIALES</b>	<b>L 2,124.17</b>
					<b>TOTAL M.O. &amp; EQUIPO</b>	<b>L 927.00</b>
					<b>COSTO TOTAL POR UNIDAD</b>	<b>L 3,051.17</b>
		<b>PRECIO CON % DE GANACIA</b>		<b>1.1</b>		<b>L 3,356.29</b>

Fuente: propia

#### 4.5 DISEÑO DE SISTEMA DE AISLACIÓN

De manera inicial se deben establecer los objetivos de diseño como la distorsión máxima y distorsión objetivo, debido a que Honduras no cuenta con una norma que contemple distorsiones máximas con análisis sísmicos dinámicos, se hizo uso la norma internacional Uniform Building Code-1997, las cuales están enfocadas para el diseño estructural con de “Aisladores elastoméricos con núcleo plomo” (Lead-plug rubber bearing, LRB).

En este capítulo se dimensiona los aisladores que conforman el sistema de aislamiento estableciendo un periodo de elongación objetivo al que se desea alcanzar en la estructura del capítulo anterior. Se realiza ciertos procesos para establecer la correcta modelación de los

elementos que componen el sistema de aislamiento mediante la herramienta computacional “Etabs 2016”. Finalmente se modela el sistema de aislación con la estructura para un análisis de resultados y modificaciones respectivas.

Para la estructura planteada se establece un periodo y amortiguamiento objetivo el cual se pretende llegar gracias al diseño del sistema de aislación.

Tabla 3 Pasos para diseño de aisladores con núcleo de plomo.

Paso 1	Establecer el valor de amortiguamiento efectivo para el sistema y tomar el valor $B_d$ o $B_m$ interpolando con la tabla A-16-C del UBC-97.
Paso 2	Obtener el desplazamiento de diseño del centro de rigidez por medio de la ecuación 30.
Paso 3	Calcular el área total de los núcleos de plomo mediante la revisión de los catálogos de informativos que contienen las medidas estándar de los aisladores con núcleo de plomo para proseguir con el cálculo de la fuerza a deformación nula $Q$ considerando la fuerza de fluencia del plomo como 10 Mpa o 1019.70 Ton/m <sup>2</sup> .
Paso 4	<p>Con los valores de diámetro externo e interno se obtiene el área anular del aislador. Se obtiene la deformación de corte directo máxima <math>Y_s</math> como 150% y la deformación de corte directo máximo admisible <math>Y_{max}</math> como 250%.</p> <p>Con estos datos se calcula la rigidez elástica del aislador <math>K_r</math>, la rigidez efectiva del conjunto de aisladores y la rigidez efectiva de un aislador.</p> <p>Se calcula la deformación de fluencia <math>D_y</math>, para obtener la energía disipada por el sistema.</p>
Paso 5	Se procede a computar el amortiguamiento efectivo del conjunto de aisladores, determinar la rigidez del sistema y su amortiguamiento compuesto. Se realiza la revisión de los desplazamientos con los nuevos valores de amortiguamiento.

Paso 6	Se calcula el periodo real del sistema de aislamiento, procurando que se asemeje al periodo objetivo.
Paso 7	Revisar el cortante de diseño de los elementos por encima de la interfaz de aislamiento y el cortante de base elástico del código.
Paso 8	Se determina los detalles constructivos del aislador, espesor de lámina de goma y acero, altura de las capas de goma y acero entre otros. Se revisa que las dimensiones del aislador brinden la rigidez vertical adecuada por medio del factor de forma S que debe ser mayor a 10.
Paso 9	Calcular el módulo de compresión del compuesto de goma y acero para un aislador, considerando el módulo de compresibilidad como K: 200,000 Ton/m <sup>2</sup> . Calcular la carga de pandeo de Euler y asegurar que la carga crítica del aislador sea menor que la carga máxima recibida.
Paso 10	Calcular la rigidez vertical del aislador la cual es la suma de la rigidez vertical del núcleo de plomo y la rigidez vertical del anillo de goma y acero. Calcular el periodo vertical del sistema y revisar que la frecuencia vertical sea mayor a 10.

Fuente: propia.

#### 4.5.1 Desarrollo del diseño de aislador basal:

Tabla 4 Especificaciones para aislador sísmico.

<i>Propiedades Mecánicas</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Unidad</i>
Esfuerzo de fluencia del plomo	1019.72	Ton/m <sup>2</sup>
Módulo de Young o compresión del plomo (Ec plomo=	14000	Ton/m <sup>2</sup>
Módulo de rigidez a cortante Ga	45.89	Ton/m <sup>2</sup>

Amortiguamiento	10	%
Máxima deformación lateral a cortante	1.5	
Carga de peso propio más 25% de carga viva	25408.48	Ton
Módulo de elasticidad volumétrico	2000	Ton
Módulo de compresibilidad de la goma K	2000	Mpa
Tipo de conexión	Empernada	

**Tabla 3**

Cálculo del desplazamiento de diseño del centro de rigidez del sistema de aislamiento, asumiendo un amortiguamiento del 10% como dato inicial.

Tabla 5 Desarrollo de diseño para aislador.

<i>Descripción</i>	<i>Ecuación</i>	<i>Resultado</i>	<i>Unidad</i>
Valor de amortiguamiento objetivo $\beta$		25%	
Valor de $B_d$ o $B_m$ en función del amortiguamiento efectivo		1.6	

Desplazamiento de diseño del centro de rigidez	$D_D = \frac{g * C_{vd} * TD}{4 * \pi^2 * B_D}$ $D_D = \frac{9.81 * 0.54 * 2}{4 * \pi^2 * 1.6}$	0.17	m.
Desplazamiento máximo del sistema de aislación	$Dd = \frac{g * C_{vn} * TM}{4 * \pi^2 * B_D}$		m.
Diámetro del aislador.	De	1.1	m.
Diámetro del núcleo de plomo	Dpb	0.22	m.
Altura del núcleo de plomo	Tp	0.30	m.
Fuerza de deformación nula Q de los aisladores	$Apb = N * \frac{Dpb^2 * \pi}{4}$ $Apb = 26 * \frac{0.22^2 * \pi}{4}$	0.99	m2
Fuerza de deformación nula considerando la	$Q = Fypb * Apb$ $Q = 1019.70 * 0.99$	1009.503	Ton

fuerza de fluencia del plomo de 10 Mpa			
Área anular con diámetros de núcleo de plomo de 15 cm.	$Aa = \frac{\pi}{4} * (De^2 - Dpb^2)$ $Aa = \frac{\pi}{4} * (1.1^2 - 0.22^2)$	0.91	m2
Deformación de corte directo máxima	Ys	150%	
Suma de las alturas de las capas de caucho	$Tr = \frac{D_D}{Y_S}$ $Tr = \frac{0.17}{1.5}$	0.11	m.
Deformación de corte directo máximo admisible	Ymax	250%	
Suma de las alturas de las capas de caucho	$Tr = \frac{D_D}{Y_{max}}$ $Tr = \frac{0.17}{2.5}$	0.068	m.
Cantidad de capas de caucho	$n = \frac{tr}{0.01}$	7	unidades

	$n = \frac{0.068}{0.01}$		
Espesor de capa de goma		0.02	m.
Numero de capas a utilizar		10	Unidades
Altura total de capas de goma		0.20	m.
Espesor de capas de acero		0.005	m.
Numero de capas a utilizar		10	Unidades
Altura total de capas de acero		0.05	m.
Altura total de aislador		0.25	m.
Rigidez elástica del aislador	$Kr = \frac{G * A_{anular}}{tr}$ $Kr = \frac{15 * 0.91}{0.068}$	200.74	Ton/m



Rigidez efectiva del conjunto de aisladores	$K_{eff} = N * K_r + \frac{Q}{D_D}$ $K_{eff} = 26 * 200.74 + \frac{1009.503}{0.17}$	11157.49	Ton/m
Rigidez efectiva de un aislador	$K_{HP}$	278.87	Ton/m
Deformación de fluencia del conjunto de aisladores	$D_y = \frac{Q}{9 * K_2}$ $K_2 = K_{eff} - \frac{Q}{D_D}$ $K_2 = 11157.49 - \frac{1009.503}{0.17}$ $D_y = \frac{1009.503}{9 * 5219.24}$	Dy= 0.0215	m.
Energía disipada por ciclo	$WD = 4 * Q * (D_D - D_y)$	599.65	Ton*m

	$WD = 4 * 1009.503 * (0.17 - 0.0215)$		
Amortiguamiento efectivo del conjunto de aisladores	$\beta p = \frac{W_D}{2 * \pi * keff * D_D^2}$ $\beta p = \frac{599.65}{2 * \pi * 11157.49 * 0.17^2}$	29.60%	
Cálculo de rigidez compuesta del sistema de aislamiento	$Khc = Np * Khp$ $Khc = 26 * 278.87$	7250.62	Ton/m
Cálculo del amortiguamiento compuesto del sistema de aislamiento	$\beta = \frac{N_{LBR} * \beta_{LBR} * K_{HP}}{Khc}$ $\beta = \frac{26 * 0.25 * 278.87}{7250.62}$	25%	

Cálculo del periodo real del sistema de aislamiento	$T = 2 * \pi * \sqrt{\frac{m}{Khp}}$ $T = 2 * \pi * \sqrt{\frac{149.77}{278.87}}$	3.37	seg
Área del núcleo de plomo	$A_{nucleo} = \frac{\pi}{4} * Dpb^2$ $A_{nucleo} = \frac{\pi}{4} * 0.22^2$	0.0380	m2
Rigidez vertical del núcleo de plomo	$Kv_{nucleo} = \frac{Ec_{plomo} * A_{nucleo}}{tp}$ $Kv_{nucleo} = \frac{14000 * 0.038}{0.30}$	1773.33	Ton/m
Rigidez vertical del anillo de goma y acero	$Kv_{anular} = \frac{Ec_{anillo} * A_{anular}}{tp}$ $Kv_{anular} = \frac{200000 * 0.91}{0.30}$	606666.67	Ton/m

Rigidez vertical de un aislador	$Kvp = Kv\ nucleo + Kv\ anular$ $Kvp = 1773.33 + 606666.67$	608439.9967	Ton/m
Rigidez vertical del conjunto de aisladores	$Kv = N_{LRB} + KvP$ $Kv = 26 * 608439.9967$	15819439.91	Ton/m
Desplazamiento de fluencia de los aisladores	$D\gamma = 0.1 * DD$ $D\gamma = 0.1 * 0.17$	0.017	m.
Energía disipada por los aisladores	$W_D = 2 * \pi * Keff * DD * \beta$ $W_D = 2 * \pi * 111.57 * 0.17 * 0.25$	29.79	Ton.m
Fuerza a deformación nula de los aisladores	$Q = \frac{WD}{4 * (DD - D\gamma)}$ $Q = \frac{29.79}{4 * (0.17 - 0.017)}$	48.68	Ton
Rigidez post fluencia	$K2 = Keff + \frac{Q}{DD}$	397.92	Ton/m

	$K2 = 111.57 + \frac{48.68}{0.17}$		
Rigidez inicial de los aisladores	$K1 = K2 + \frac{Q}{D\gamma}$ $K1 = 397.92 + \frac{48.68}{0.017}$	3261.45	Ton/m
Razón de rigidez post fluencia	$R = \frac{K2}{K1}$ $R = \frac{397.92}{3261.45}$	0.12	

Fuente: propia.

$C_{vd}$ : Coeficiente sísmico por velocidad de diseño.

TD: Periodo efectivo de la estructura en el desplazamiento de diseño. Se calcula de acuerdo a las características de deformación del sistema de aislamiento utilizado.

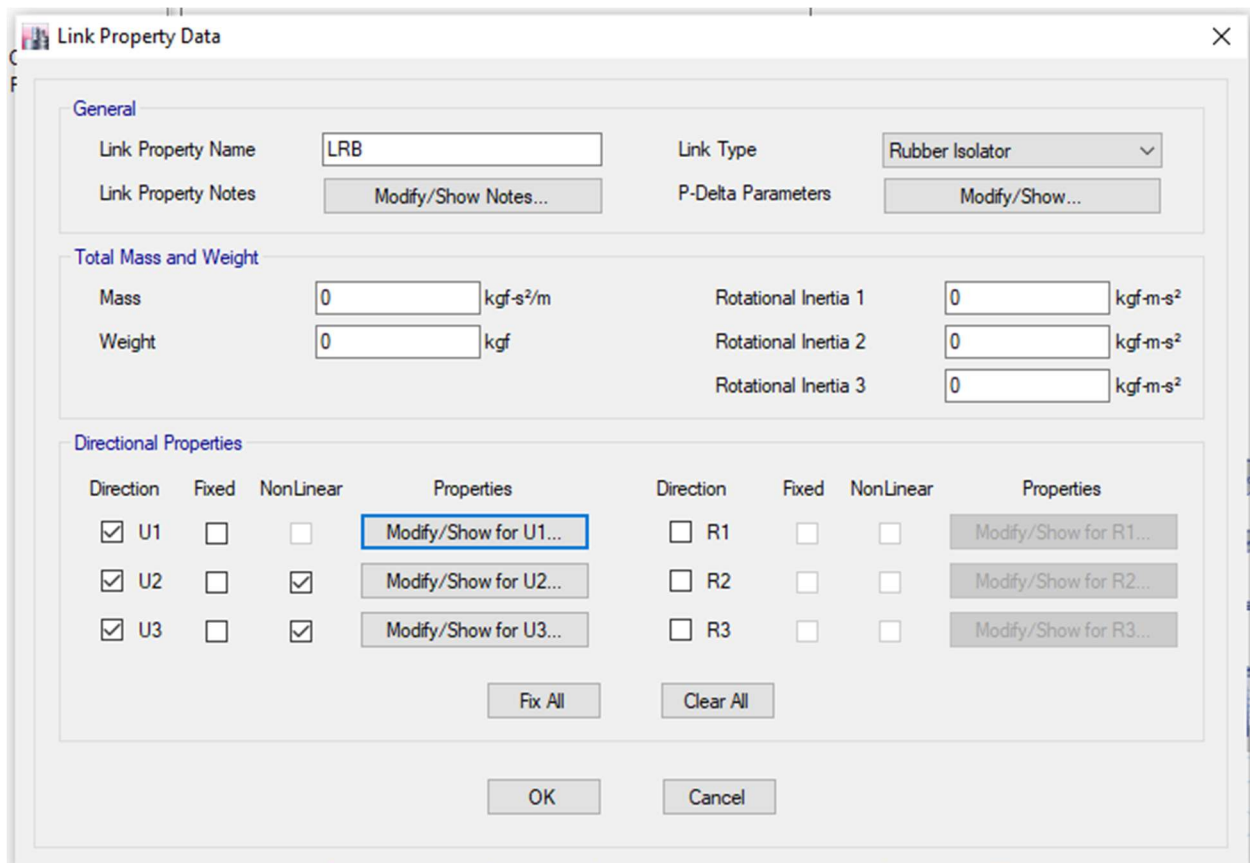
#### 4.5.2 Resultados de modelación en ETABS 2016

Para el modelamiento de los aisladores se utilizó el “link” del tipo “Rubber Isolator”. Para la comprobación de la modelación individual de los aisladores se consideraron como empotramiento inferior de los aisladores y se consideró como nulo el peso de los aisladores. El

modelamiento de los aisladores se realizará de igual manera en las direcciones horizontales, considerando en dirección vertical como empotrado debido a su gran rigidez vertical que presentan las unidades.

Se inicio con la creación de casos para el modelamiento de los aisladores:

Ilustración 27 Configuración de caso de aislador LRB.



Fuente: propia.

Ilustración 28 Propiedades del aislador en dirección U1.

The image shows a software dialog box titled "Link/Support Directional Properties". It is divided into two main sections: "Identification" and "Linear Properties".

**Identification Section:**

- Property Name: LRB
- Direction: U1
- Type: Rubber Isolator
- NonLinear: No

**Linear Properties Section:**

- Effective Stiffness: 15819439.91 tonf/m
- Effective Damping: 0.29 tonf-s/m

At the bottom of the dialog, there are two buttons: "OK" and "Cancel".

Fuente: propia.

Ilustración 29 Propiedades del aislador en dirección U2 y U3.

The screenshot shows a software dialog box titled "Link/Support Directional Properties". It contains the following fields and values:

Section	Property Name	Value	Unit
Identification	Property Name	LRB	
	Direction	U2	
	Type	Rubber Isolator	
	NonLinear	Yes	
Linear Properties	Effective Stiffness	200.74	tonf/m
	Effective Damping	0.28	tonf-s/m
Shear Deformation Location	Distance from End-J	0	m
Nonlinear Properties	Stiffness	3261.45	tonf/m
	Yield Strength	20.97	kgf
	Post Yield Stiffness Ratio	0.12	

At the bottom of the dialog are "OK" and "Cancel" buttons.

Fuente: propia

#### 4.6 Parámetros a comparar de estructura aislada con la convencional.

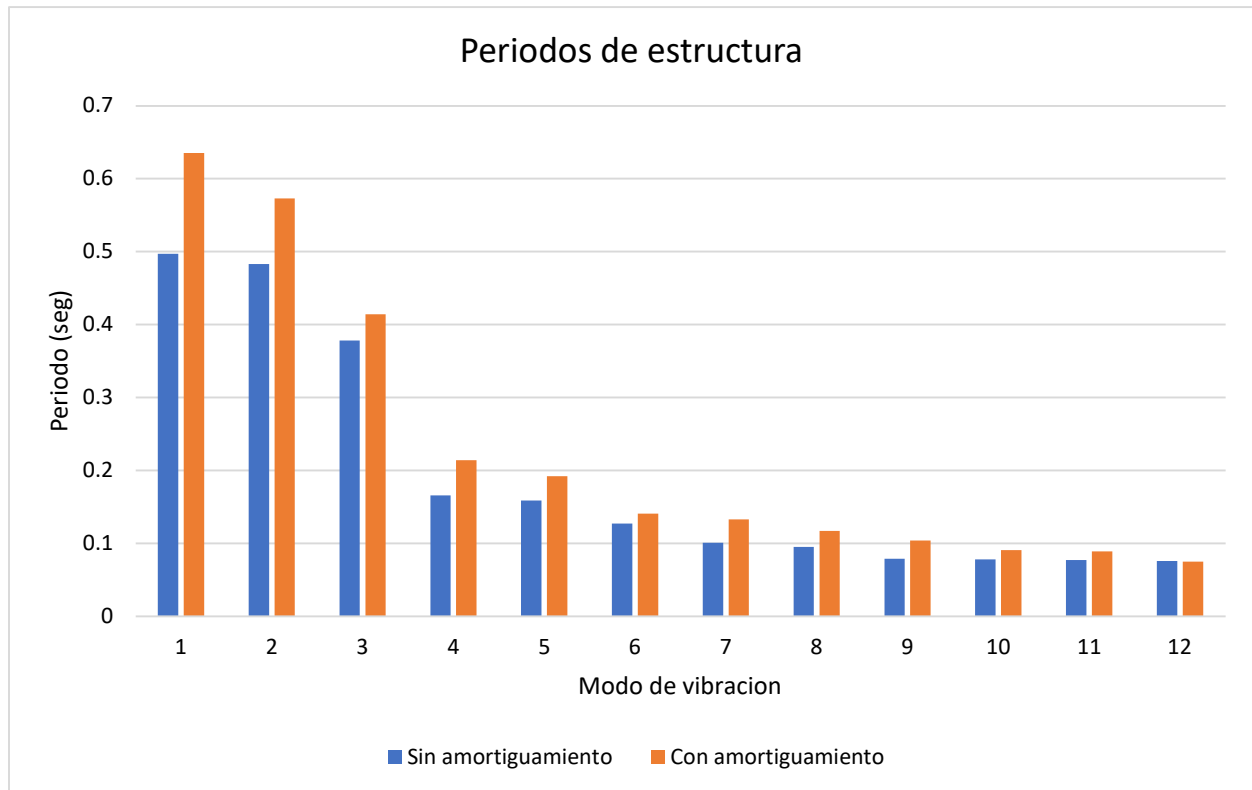
A continuación, se realiza una evaluación de los parámetros de interés en el comportamiento dinámico espectral de los modelos para el edificio de base fija y el modelo del edificio mediante el uso de aisladores sísmicos basales LRB.



#### 4.6.1 Periodo del edificio.

A continuación, se muestra un gráfico comparativo de los periodos obtenidos en ambas estructuras mostrando que se logra alcanzar en el primer modo de vibración 0.64 segundos mediante el uso de LRB y se obtiene 0.50 segundos en la edificación tradicional lo que indica que mediante el uso de los amortiguadores los periodos se alargan logrando minimizar los efectos perjudiciales de las aceleraciones sísmicas sobre la estructura.

Ilustración 30 Resultado de periodos en estructura.

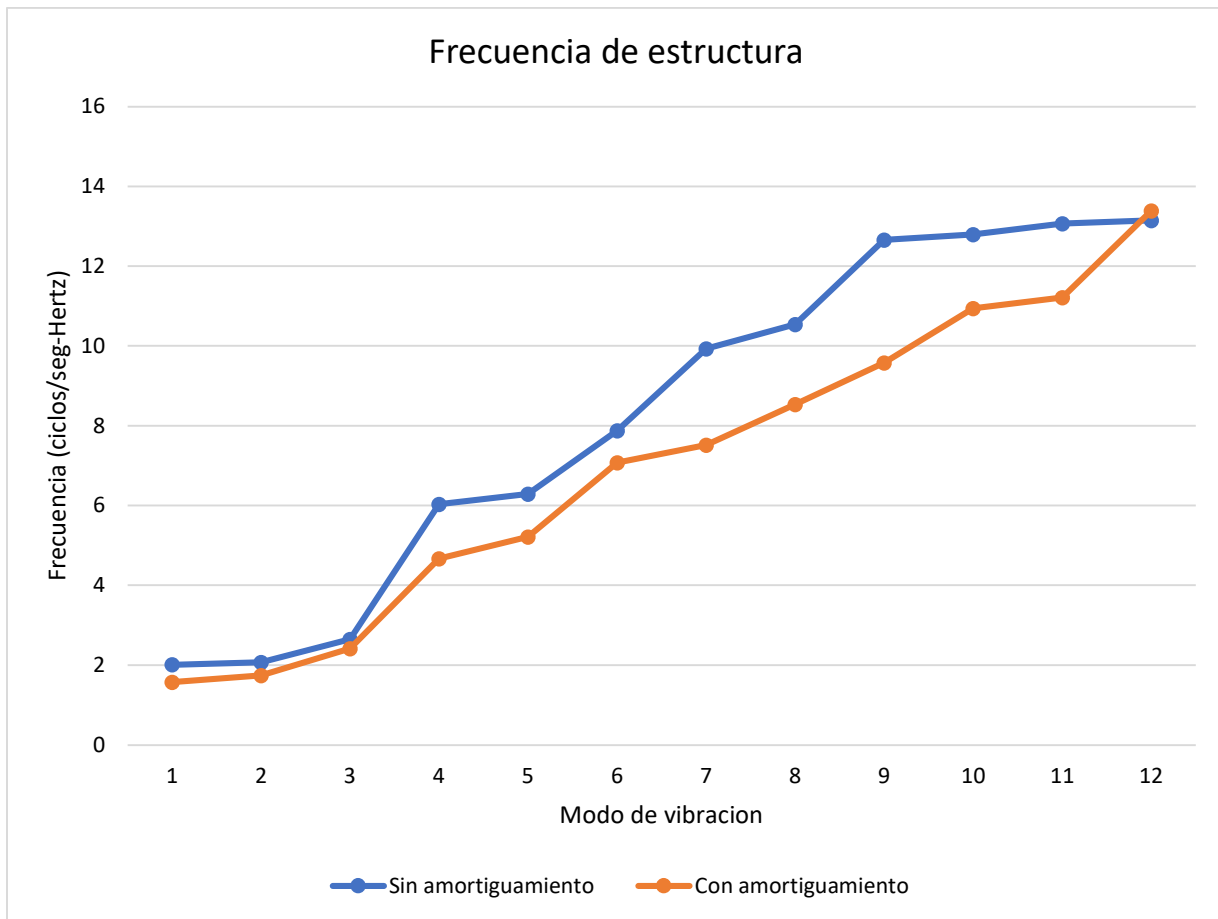


Fuente: propia

#### 4.6.2 Frecuencia del edificio.

Se muestra a continuación el gráfico comparativo de las frecuencias obtenidas en los modelos estructurales donde se logra analizar la reducción obtenida de 2.012 ciclos/seg en el modelo tradicional y con 1.576 ciclos/seg en el modelo amortiguado lo que representa un 21.67%.

Ilustración 31 Resultados de frecuencia en estructura.

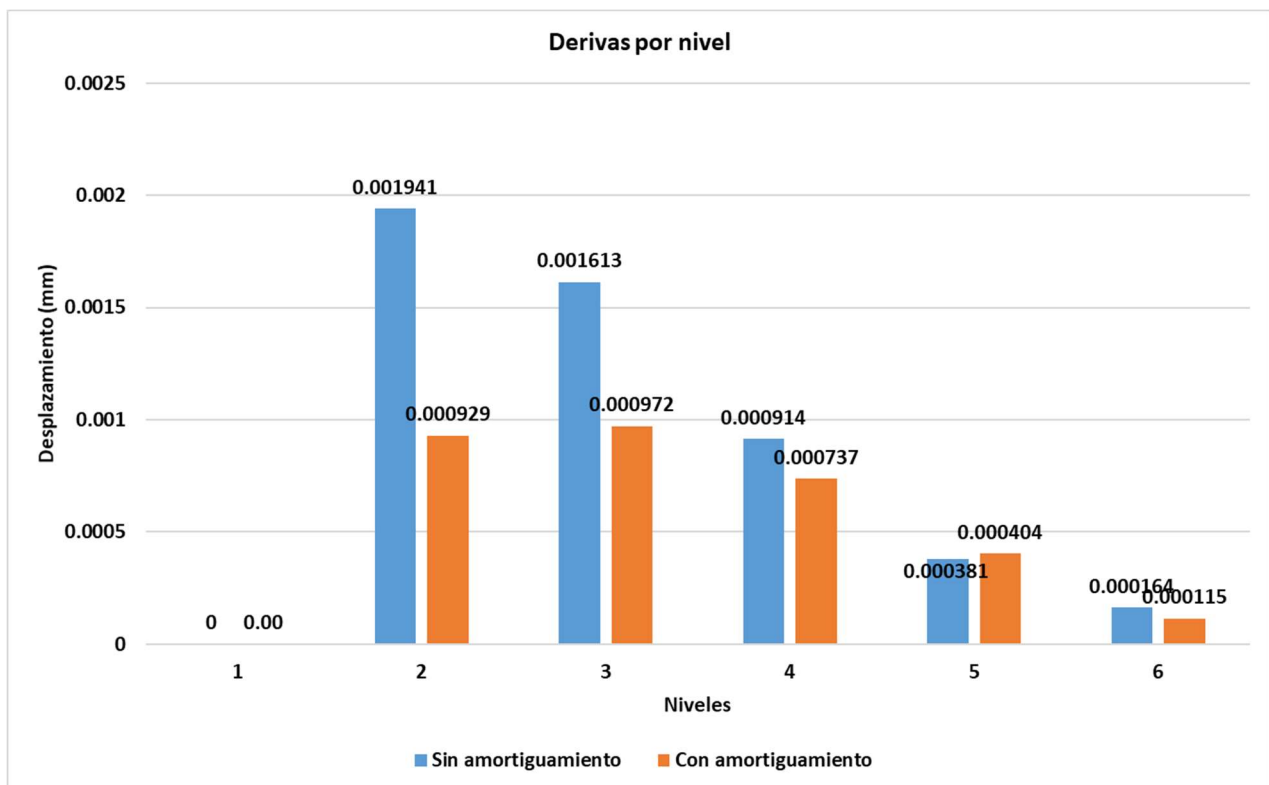


Fuente: propia

### 4.6.3 Desplazamiento del sistema.

A continuación, se muestra la gráfica comparativa de los resultados obtenidos para ambos modelos, donde se observa que los desplazamientos tanto en eje X y Y en condiciones de empotramiento tradicional como en el modelo con aisladores sísmicos son mínimos y no incumplen con el reglamento de construcción CHOC-08.

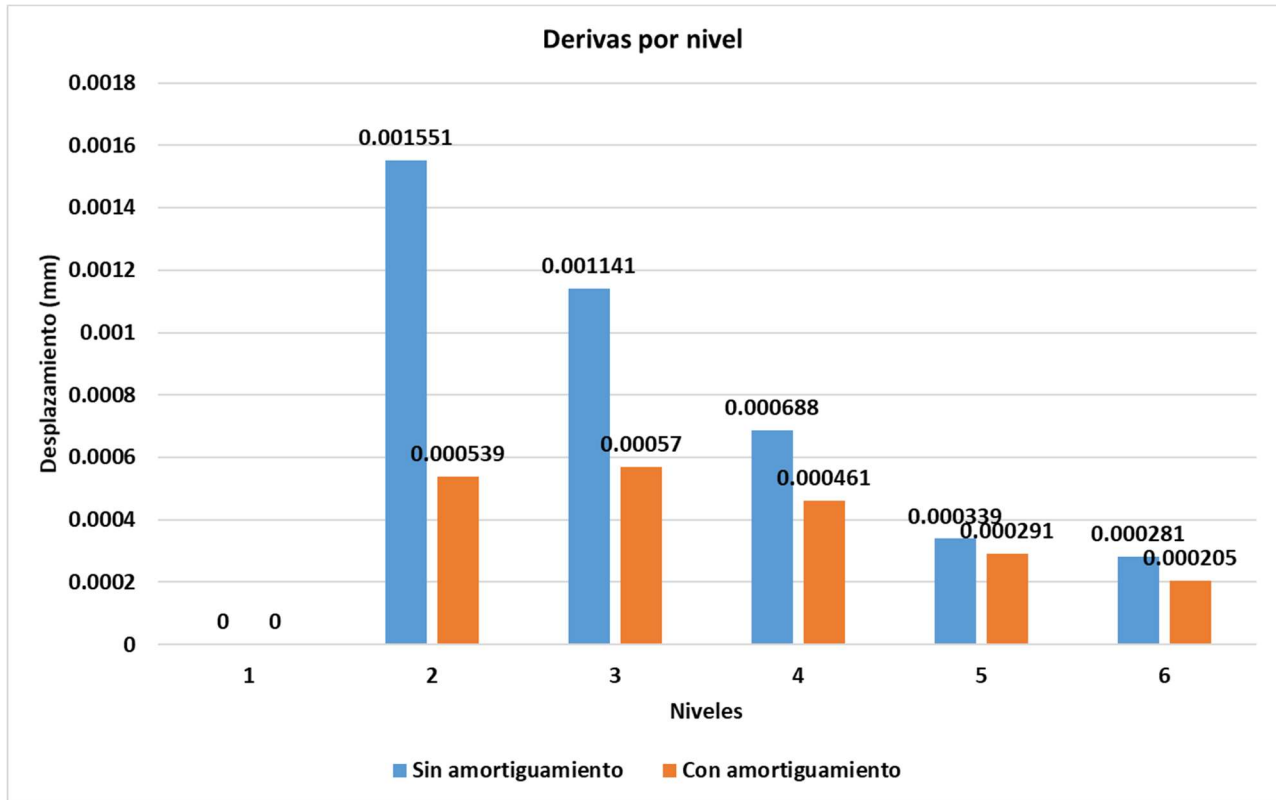
Ilustración 32 Resultados de derivas por nivel en eje X.



Fuente: propia.

En la dirección X se logra obtener una reducción considerable resultando con 52.14% en reducción en el segundo (2) nivel del edificio mediante el uso de los amortiguadores basales LRB.

Ilustración 33 Resultados de derivas por nivel en eje Y.



Fuente: propia.

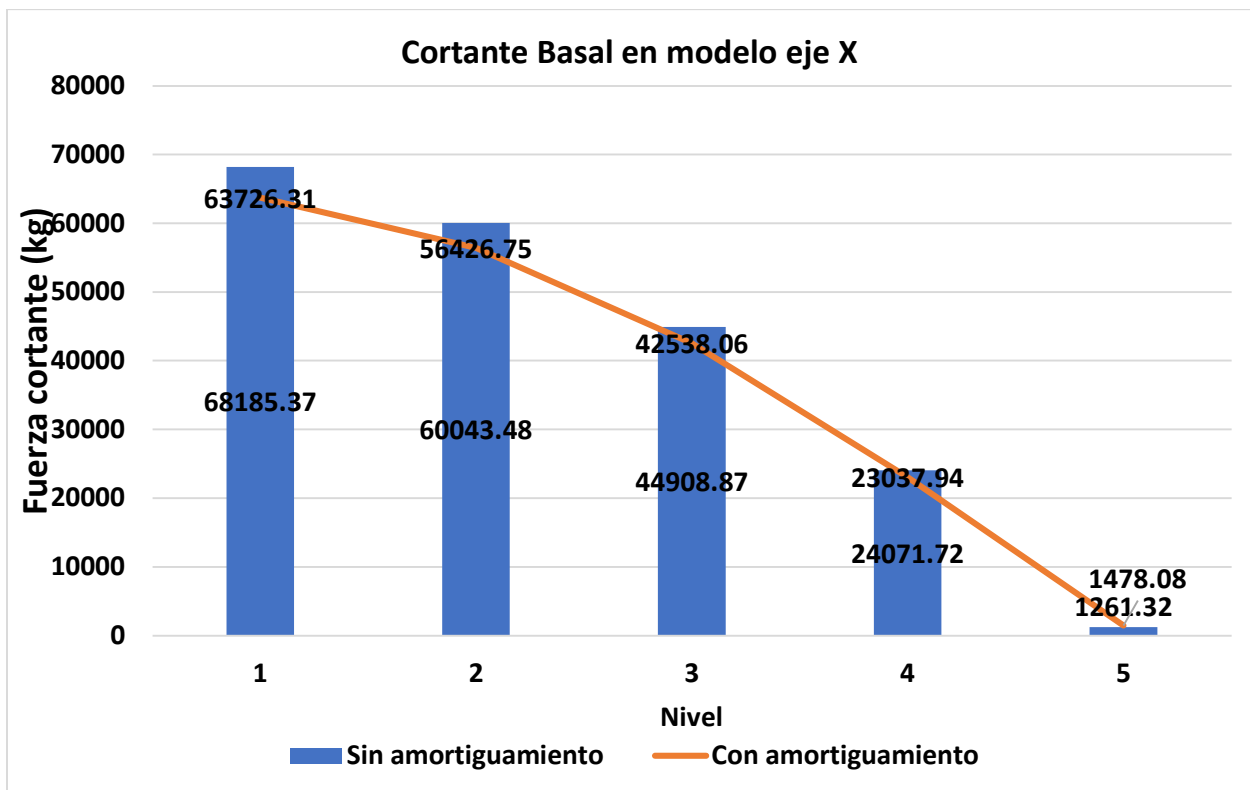
En la dirección Y se logra obtener una reducción considerable en todos los niveles resaltando con 65.25% en reducción en el segundo (2) nivel del edificio y con 50.04% el tercer (3) nivel mediante el uso de los amortiguadores basales LRB.

#### 4.6.4 Corte basal en la estructura.

La verificación de los cortantes basales sísmicos es un parámetro importante ya que estos influyen sobre las deformaciones y daños que pueden repercutir gravemente en todos los elementos estructurales.

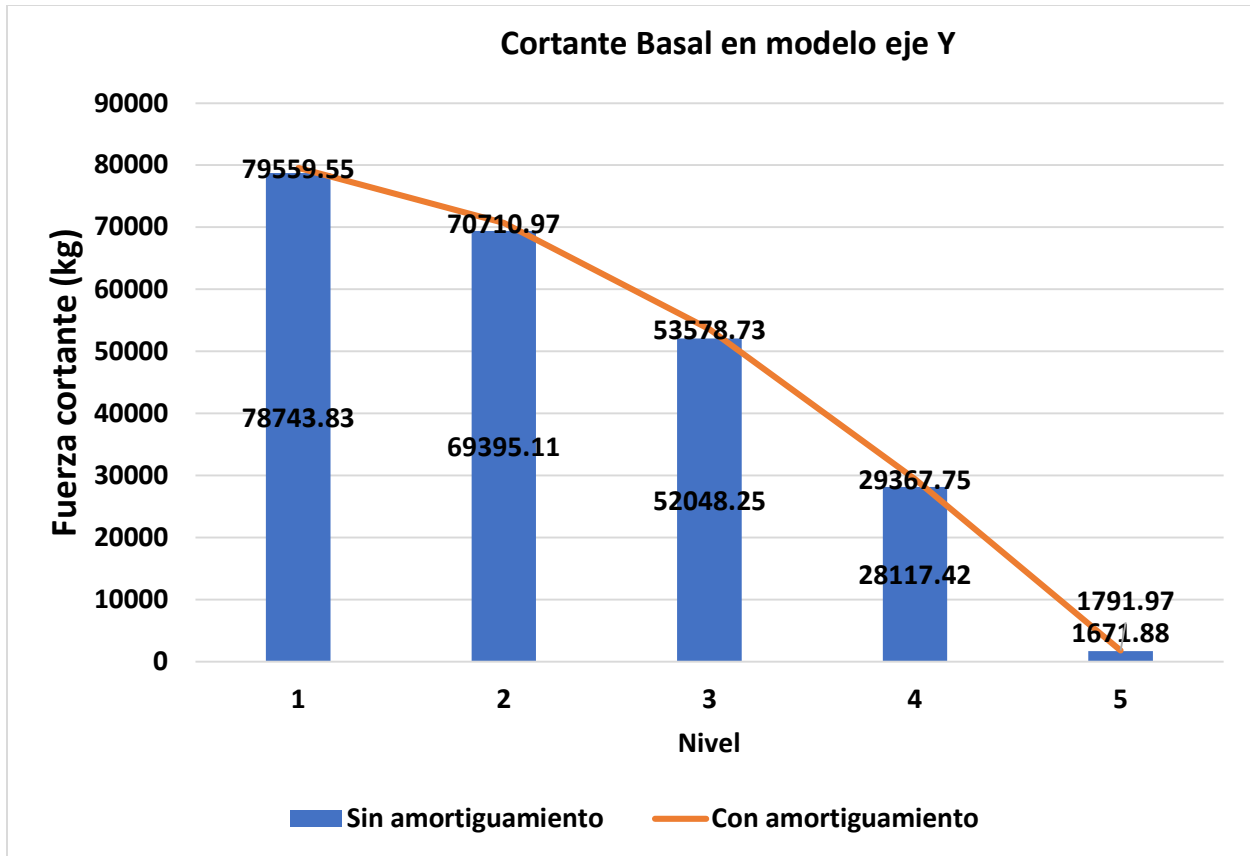
Mediante el uso de los aisladores sísmicos se reduce los cortantes basales de entrepiso de manera significativa como se muestra a continuación.

Ilustración 34 Resultados de cortante basal en eje X.



Fuente: propia.

Ilustración 35 Resultados de cortante basal en eje Y.



Fuente: propia.

#### 4.7.1 Análisis comparativo de costo de edificación con y sin aislante sísmico

Se realizó un análisis porcentual de costos para la misma estructura, bajo las mismas circunstancias, es decir en el mismo sitio con las mismas cargas operacionales y de diseño. Siendo la única variable la aplicación de los aislantes sísmicos, se logra observar el impacto de los mismos tanto monetario como en eficiencia estructural del edificio.

## Ilustración 36 Análisis comparativo de presupuesto con edificaciones de concreto.

PROYECTO: COMPARATIVO DE COSTOS EDIFICIO DE APARTAMENTOS 5 NIVELES CON Y SIN AISLADOR SISMICO								
FECHA: 26 DE JUNIO DEL 2021								
ITEM	DESCRIPCION	UND.	CANT.	CON AISLANTE SISMICO		SIN AISLANTE SISMICO		% MONETARIO
				P.U.	VALOR LPS.	P.U.	VALOR LPS.	
<b>1.00</b>	<b>PRELIMINARES</b>				<b>L 17,845,152.71</b>			
1.01	COLUMNA C-1 DE ARRANQUE 0.40X0.40M ACERO 10#8 Y ANILLOS #3@0.08 M	ML	81.60	L 2,663.55	L 217,345.66	L 3,063.51	L 249,982.40	13.06%
1.02	COLUMNA C-1 0.40X0.40M ACERO 10#8 Y ANILLOS #3@0.15M	ML	73.44	L 4,609.94	L 338,554.26	L 6,127.06	L 449,971.57	24.76%
1.03	COLUMNA C-2 DE ARRANQUE 0.40X0.40M ACERO 10#8 Y ANILLOS #3@0.08M	ML	88.40	L 4,858.07	L 429,453.69	L 5,258.03	L 464,810.16	7.61%
1.04	COLUMNA C-2 0.40X0.40M ACERO 10#8 Y ANILLOS #3@0.15M	ML	77.44	L 4,428.49	L 342,941.91	L 5,802.38	L 449,336.31	23.68%
1.05	VIGA V-1 H 0.40X0.50M 8#5, 3#5 Y ANILLOS 10 #3@0.13M	ML	76.80	L 5,207.32	L 399,922.00	L 8,179.69	L 628,199.91	36.34%
1.06	VIGA V-1 H 0.40X0.50M 8#5 Y ANILLOS 5 #3@0.20M	ML	31.04	L 3,580.61	L 111,142.21	L 4,613.60	L 143,206.26	22.39%
1.07	VIGA V-1 F 0.40X0.50M 8#5, 3#5 Y ANILLOS 10 #3@0.13M	ML	76.80	L 5,207.32	L 399,922.00	L 8,179.69	L 628,199.91	36.34%
1.08	VIGA V-1 F 0.40X0.50M 8#5 Y ANILLOS 5 #3@0.20M	ML	31.04	L 3,913.25	L 121,467.21	L 4,613.60	L 143,206.26	15.18%
1.09	VIGA V-1 C 0.40X0.50M 8#5, 3#5 Y ANILLOS 10 #3@0.13M	ML	76.80	L 5,207.32	L 399,922.00	L 9,844.74	L 756,075.65	47.11%
1.10	VIGA V-1 C 0.40X0.50M 8#5 Y ANILLOS 5#3@0.20M	ML	31.04	L 3,913.25	L 121,467.21	L 6,497.08	L 201,669.41	39.77%
1.11	VIGA V-1 G 0.40X0.50M 8#5 Y ANILLOS 5 #3@0.13M	ML	185.60	L 6,341.32	L 1,176,949.90	L 4,771.19	L 885,533.59	-32.91%
1.12	VIGA V-1 G 0.40X0.50M 8#5, 3#5 Y ANILLOS 11 #3@0.13M	ML	64.00	L 4,464.08	L 285,701.34	L 9,844.74	L 630,063.04	54.66%
1.13	VIGA V-1 G 0.40X0.50M 8#5 Y ANILLOS 4 #3@0.20M	ML	34.40	L 3,682.41	L 126,674.99	L 6,497.08	L 223,499.60	43.32%
1.14	VIGA V-1 B 0.40X0.50M 8#5, 3#5 Y ANILLOS 10 #3@0.13M	ML	185.60	L 6,341.32	L 1,176,949.90	L 4,771.19	L 885,533.59	-32.91%
1.15	VIGA V-1 B 0.40X0.50M 8#5, 3#5 Y ANILLOS 11 #3@0.13M	ML	64.00	L 4,464.08	L 285,701.34	L 7,102.59	L 454,565.67	37.15%
1.16	VIGA V-1 B 0.40X0.50M 8#5 Y ANILLOS 4 #3@0.20M	ML	34.40	L 3,682.41	L 126,674.99	L 5,558.06	L 191,197.20	33.75%
1.17	VIGA V-1 E 0.40X0.50M 8#5, 2#5 Y ANILLOS 10 #3@0.13M	ML	92.80	L 5,310.17	L 492,783.34	L 4,772.25	L 442,864.78	-11.27%
1.18	VIGA V-1 E 0.40X0.50M 8#5, 2#5 Y ANILLOS 11 #3@0.13M	ML	48.00	L 4,423.83	L 212,344.08	L 6,529.41	L 313,411.52	32.25%
1.19	VIGA V-1 E 0.40X0.50M 8#5 Y ANILLOS 4 #3@0.20M	ML	20.80	L 3,411.38	L 70,956.68	L 6,529.41	L 135,811.66	47.75%
1.20	VIGA V-1 E 0.40X0.50M 8#5 Y ANILLOS 34 #3@0.13M	ML	68.00	L 4,603.86	L 313,062.32	L 7,102.59	L 482,976.03	35.18%
1.21	VIGA V-1 D 0.40X0.50M 8#5, 2#5 Y ANILLOS 10 #3@0.13M	ML	92.80	L 4,919.09	L 456,491.86	L 5,557.50	L 515,735.94	11.49%
1.22	VIGA V-1 D 0.40X0.50M 8#5, 2#5 Y ANILLOS 11 #3@0.13M	ML	48.00	L 4,475.55	L 214,826.22	L 4,770.74	L 228,995.35	6.19%
1.23	VIGA V-1 D 0.40X0.50M 8#5 Y ANILLOS 4 #3@0.20M	ML	20.80	L 4,423.83	L 92,015.77	L 6,531.26	L 135,850.22	32.27%
1.24	VIGA V-1 D 0.40X0.50M 8#5 Y ANILLOS 34 #3@0.13M	ML	68.00	L 3,411.38	L 231,973.76	L 7,102.81	L 482,990.87	51.97%
1.25	VIGA V-1 7 0.40X0.50M 8#5, 2#5 Y ANILLOS 11 #3@0.13M	ML	129.60	L 4,603.86	L 596,659.95	L 9,877.19	L 1,280,083.62	53.39%
1.26	VIGA V-1 7 0.40X0.50M 8#5, 2#5 Y ANILLOS 24 #3@0.13M	ML	57.60	L 5,617.53	L 323,569.46	L 6,076.87	L 350,027.45	7.56%
1.27	VIGA V-1 7 0.40X0.50M 8#5 Y ANILLOS 5 #3@0.20M	ML	16.00	L 4,392.37	L 70,277.97	L 6,529.55	L 104,472.87	32.73%
1.28	VIGA V-1 7 0.40X0.50M 8#5 Y ANILLOS 18 #3@0.13M	ML	14.60	L 5,344.71	L 78,032.82	L 7,733.36	L 112,907.10	30.89%
1.29	VIGA V-1 2 0.40X0.50M 8#5, 2#5 Y ANILLOS 11 #3@0.13M	ML	129.60	L 4,269.86	L 553,374.10	L 9,877.19	L 1,280,083.62	56.77%
1.30	VIGA V-1 2 0.40X0.50M 8#5, 2#5 Y ANILLOS 24 #3@0.13M	ML	57.60	L 5,617.53	L 323,569.46	L 6,076.87	L 350,027.45	7.56%
1.31	VIGA V-1 2 0.40X0.50M 8#5 Y ANILLOS 5 #3@0.20M	ML	16.00	L 4,392.37	L 70,277.97	L 6,529.55	L 104,472.87	32.73%
1.32	VIGA V-1 2 0.40X0.50M 8#5 Y ANILLOS 18 #3@0.13M	ML	14.60	L 5,344.71	L 78,032.82	L 7,733.03	L 112,902.24	30.88%
1.33	VIGA V-1 6 0.40X0.50M 8#5, 2#5 Y ANILLOS 11 #3@0.13M	ML	97.60	L 3,264.95	L 318,659.39	L 8,210.33	L 801,328.54	60.23%
1.34	VIGA V-1 6 0.40X0.50M 8#5, 2#5 Y ANILLOS 24 #3@0.13M	ML	57.60	L 5,617.67	L 323,577.55	L 6,076.87	L 350,027.45	7.56%
1.35	VIGA V-1 6 0.40X0.50M 8#5 Y ANILLOS 5 #3@0.20M	ML	16.00	L 4,392.37	L 70,277.97	L 6,532.06	L 104,512.99	32.76%
1.36	VIGA V-1 6 0.40X0.50M 8#5 Y ANILLOS 18 #3@0.13M	ML	14.60	L 3,264.95	L 47,668.31	L 7,733.36	L 112,907.10	57.78%
1.37	VIGA V-1 1 0.40X0.50M 8#5, 2#5 Y ANILLOS 11 #3@0.13M	ML	97.60	L 5,617.67	L 548,284.18	L 8,210.33	L 801,328.54	31.58%
1.38	VIGA V-1 1 0.40X0.50M 8#5 Y ANILLOS 24 #3@0.13M	ML	14.40	L 4,395.27	L 63,291.84	L 6,079.76	L 87,548.52	27.71%
1.39	VIGA V-1 1 0.40X0.50M 8#5 Y ANILLOS 5 #3@0.20M	ML	16.00	L 3,264.95	L 52,239.24	L 6,532.06	L 104,512.99	50.02%
1.40	VIGA V-1 1 0.40X0.50M 8#5 Y ANILLOS 18 #3@0.13M	ML	14.60	L 4,269.86	L 62,339.98	L 7,733.36	L 112,907.10	44.79%
1.41	LOSA DE CIMENTACION DE 13CM CON CONCRETO PREMEZCLADO 4000 PSI	M2	263.54	L 3,733.15	L 983,834.96	L 4,399.75	L 1,159,510.73	15.15%
1.42	LOSA DE CIMENTACION DE 13CM CON CONCRETO PREMEZCLADO 4000 PSI CON ACERO #4 @ 20CM	M2	1,054.14	L 3,356.29	L 3,537,999.44	L 3,356.29	L 3,537,999.44	0.00%
1.43	AISLADOR SISMICO CON CENTRO DE PLOMO	UND	26.00	L 61,459.26	L 1,597,940.63			
<b>DISMINUCION DE COSTO PROMEDIO</b>								<b>27.50%</b>

Fuente: propia.

Al analizar la diferencia de precio para las diferentes actividades, se obtienen los siguientes resultados en cuanto a la diferencia de costos:

1. Aumento de costo en algunas columnas de hasta 32.91%.
2. Disminución de costo en la mayoría de hasta el 60.23%.
3. Con aisladores sísmicos, las diferentes actividades constructivas del edificio se vuelven un 27.50% más económicas.
4. Costo de edificio sin aislador sísmico L. 20,991,247.50.

5. Costo de edificio con aislador sísmico L. 17,845,152.71.

#### 4.8 Análisis estadístico

Se realiza un análisis de los resultados obtenidos tanto para la edificación tradicional y la edificación con el uso de amortiguadores con el objetivo de comprobar las hipótesis planteadas.

Ilustración 37 Resultados de frecuencias.

Frecuencia Modelo 1 (u_z): Sin Amortiguamiento	Frecuencia Modelo 2 (u_z): Con Amortiguamiento
2.01	1.58
2.07	1.74
2.65	2.42
6.04	4.67
6.29	5.21
7.88	7.07
9.93	7.52
10.54	8.53
12.66	9.58
12.80	10.94
13.06	11.22
13.15	13.39

Fuente: propia.



Ilustración 38 Resultados de análisis para la frecuencia.

Media Modelo 1: Frecuencia	8.25533333	sigma:	4.35682147	N1:	12														
Media Modelo 2: Frecuencia	6.9885	grados de libertad:	22	N2:	12														
D-estándar Modelo 1: Frecuencia	4.39746719																		
D-estándar Modelo 2: Frecuencia	3.93222839																		
Valor de t estandarizada de la prueba basada en los datos.	0.71223833	El valor de 12 en la fórmula corresponde al número de datos																	
Valor de t estandarizada a un nivel de confianza de .05	2.07387307																		
Valor de Z estandarizada a un nivel de confianza de .01	2.81875606																		
Conclusión a un nivel de significancia de .05 (5%)	Dado que el valor de la variable Z estandarizada de la prueba basada en los datos es menor que 2.07387307 y mayor que -2.07387307, se concluye a un nivel de significancia de 5% que se acepta la hipótesis de que la media poblacional es 0, y por tanto no hay diferencia significativa.																		
Conclusión a un nivel de significancia de .01 (1%)	Dado que el valor de la variable Z estandarizada de la prueba basada en los datos es menor que 2.81875606 y mayor que -2.81875606, se concluye a un nivel de significancia de 1% que se acepta la hipótesis de que la media poblacional es 0, y por tanto no hay diferencia significativa.																		

Fuente: propia.

Se demuestra que no hay diferencia significativa con los resultados de la variable de frecuencia ya que el valor T obtenido está dentro de los niveles de confianza.

Ilustración 39 Resultados obtenidos de desplazamientos.

Desplazamiento Modelo 1 (u_z): Sin Amortiguamiento	Desplazamiento Modelo 2 (u_z): Con Amortiguamiento
-	-
0.00194100	0.00092900
0.00161300	0.00097200
0.00091400	0.00073700
0.00038100	0.00040400
0.00016400	0.00011500

Fuente: propia.

## Ilustración 40 Resultados de análisis para los desplazamientos.

Media Modelo 1: Desplazamiento	0.0008355	sigma:	0.00069754	N1:	6								
Media Modelo 2: Desplazamiento	0.00052617	grados de libertad:	10	N2:	6								
D-estándar Modelo 1: Desplazamiento	0.00079854												
D-estándar Modelo 2: Desplazamiento	0.00041625												
Valor de t estandarizada de la prueba basada en los datos.	0.76810229	El valor de 6 en la fórmula corresponde al número de datos											
Valor de t estandarizada a un nivel de confianza de .05	2.22813885												
Valor de Z estandarizada a un nivel de confianza de .01	3.16927267												
Conclusión a un nivel de significancia de .05 (5%)	Dado que el valor de la variable Z estandarizada de la prueba basada en los datos es menor que 2.22813885 y mayor que -2.22813885, se concluye a un nivel de significancia de 5% que se acepta la hipótesis de que la media poblacional es 0, y por tanto no hay diferencia significativa.												
Conclusión a un nivel de significancia de .01 (1%)	Dado que el valor de la variable Z estandarizada de la prueba basada en los datos es menor que 3.16927267 y mayor que -3.16927267, se concluye a un nivel de significancia de 1% que se acepta la hipótesis de que la media poblacional es 0, y por tanto no hay diferencia significativa.												

Fuente: propia.

Se demuestra que no hay diferencia significativa con los resultados de la variable de frecuencia ya que el valor T obtenido esta dentro de los niveles de confianza.

Ilustración 41 Resultados obtenidos para periodos.

Periodo Modelo 1 (u_z): Sin Amortiguamiento	Periodo Modelo 2 (u_z): Con Amortiguamiento
0.497	0.635
0.483	0.573
0.378	0.414
0.166	0.214
0.159	0.192
0.127	0.141
0.101	0.133
0.095	0.117
0.079	0.104
0.078	0.091
0.077	0.089
0.076	0.075

Fuente: propia.

## Ilustración 42 Resultado de análisis de los periodos.

Media Modelo 1: Periodo	0.193	Sigma:	0.1882702	N1:	12							
Media Modelo 2: Periodo	0.2315	Grados de libertad	22	N2:	12							
D-estándar Modelo Periodo	0.16192479											
D-estándar Modelo 2: Periodo	0.19688598											
Valor de t estandarizada de la prueba basada en los datos.	-0.5009043	El valor de 12 en la fórmula corresponde al número de datos										
Valor de t estandarizada a un nivel de confianza de .05	2.07387307											
Valor de Z estandarizada a un nivel de confianza de .01	2.81875606											
Conclusión a un nivel de significancia de .05 (5%)	Dado que el valor de la variable Z estandarizada de la prueba basada en los datos es menor que 2.07387307 y mayor que -2.07387307, se concluye a un nivel de significancia de 5% que se acepta la hipótesis de que la media poblacional es 0, y por tanto no hay diferencia significativa											
Conclusión a un nivel de significancia de .01 (1%)	Dado que el valor de la variable Z estandarizada de la prueba basada en los datos es menor que 2.81875606 y mayor que -2.81875606, se concluye a un nivel de significancia de 1% que se acepta la hipótesis de que la media poblacional es 0, y por tanto no hay diferencia significativa											

Fuente: propia.

Se demuestra que no hay diferencia significativa con los resultados de la variable de frecuencia ya que el valor T obtenido esta dentro de los niveles de confianza.

Ilustración 43 Resultados obtenidos para cortante basal.

Cortante basal Modelo 1 (u_z): Sin Amortiguamiento	Cortante basal Modelo 2 (u_z): Con Amortiguamiento
353,881.32	353,881.33
345,618.54	345,618.46
330,120.35	330,120.35
307,295.75	307,295.75
277,058.65	277,058.64
236,045.37	236,045.36
185,208.20	185,208.19
124,761.57	124,761.56
56,831.58	56,831.58

Fuente: propia.

Ilustración 44 Resultado de análisis para los cortantes basales.

Media Modelo 1: Cortante basal	246313.481	Sigma:	117018.676	N1:	9														
Media Modelo 2: Cortante basal	246313.47	Grados de libertad		8	N2:	9													
D-estándar Modelo 1: Cortante basal	104664.689																		
D-estándar Modelo 2: Cortante basal	104664.683																		
Valor de t estandarizada de la prueba basada en los datos.	1.5013E-07	El valor de 5 en la fórmula corresponde al número de datos																	
Valor de t estandarizada a un nivel de confianza de .05	2.30600414																		
Valor de Z estandarizada a un nivel de confianza de .01	3.35538733																		
Conclusión a un nivel de significancia de .05 (5%)	Dado que el valor de la variable Z estandarizada de la prueba basada en los datos es menor que 2.30600414 y mayor que -2.30600414, se concluye a un nivel de significancia de 5% que se acepta la hipótesis de que la media poblacional es 0, y por tanto no hay diferencia significativa.																		
Conclusión a un nivel de significancia de .01 (1%)	Dado que el valor de la variable Z estandarizada de la prueba basada en los datos es menor que 3.35538733 y mayor que -3.35538733, se concluye a un nivel de significancia de 1% que se acepta la hipótesis de que la media poblacional es 0, y por tanto no hay diferencia significativa.																		

Fuente: Elaboración propia.

Se demuestra que no hay diferencia significativa con los resultados de la variable de frecuencia ya que el valor T obtenido esta dentro de los niveles de confianza.

#### 4.9 Geometría y Características Técnicas para edificación de estructura metálica

La modelación de la estructura en esta investigación está orientada al análisis de una edificación de estructura metálica con perfilera prefabricada W, con el objetivo de disminuir los desplazamientos a través de dispositivos aisladores sísmicos basales. Esta edificación se idealiza ubicada geométricamente en San Pedro Sula, sobre suelo rígido tipo S4a, con entresijos de losas concreto con losa cero para encofrado. A continuación, presentamos la geometría y características técnicas que se modelaron utilizando el software ETABS 2016.

#### 4.9.1 Geometría de la edificación:

Dimensiones en planta. 47.96 m x 17.36m

Numero de niveles de piso: 05 niveles incluyendo azotea

Altura entre niveles comerciales 3.10 m

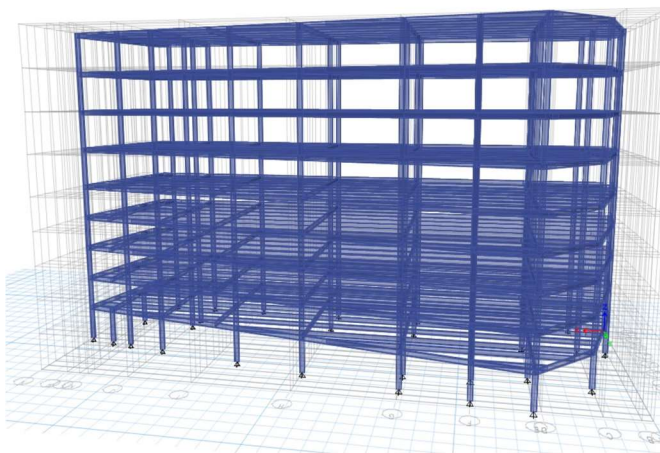
Altura entre niveles de parqueo 2.60 m

Altura total de edificio 25.70 m

Figura

Geometría de la edificación

Ilustración 45 Geometría de edificación metálica.



Fuente: propia.

#### 4.9.2 Características técnicas:

Resistencia del concreto:  $F'c$ : 280 kg/cm<sup>2</sup>

Fluencia del acero de refuerzo:  $F_y$ : 4200 kg/cm<sup>2</sup>

Losa: aligerada como diafragma rigido.

Vigas principales: PERFILERÍA W 27X102

Vigas secundarias: W14X38

Tipo de uniones Rígidas empotradas

#### **4.9.3 Modelación:**

2. Cargas primarias:

- Permanentes:

E. Peso propio.

F. Carga super impuesta (enchape, instalaciones eléctricas, sanitarias, cielo falso, etc.) de 250 kg/m<sup>2</sup>.

G. Peso de paredes, en ejes de acuerdo a la información arquitectónica (600 kg/ml).

- Vivas, indicada por su uso según el CHOC-08.

E. Carga de uso como oficinas de 200 kg/m<sup>2</sup>.

F. Carga de uso en ultimo nivel de 200 kg/m<sup>2</sup>.

G. En área de balcones de 300 kg/m<sup>2</sup>.

H. En área de gradas de 500 kg/m<sup>2</sup>.

- Ecológicas.

C. Viento en la base de 203 km/hr.

D. Sismo:

- Aceleración piso de suelo de a: 0.30g
- Ductilidad global asignada,  $R_w$ : 12.
- Factor de importancia, I: 1.0
- Factor de amplificación del suelo, S: 1.5



#### 4.9.4 Espectro de diseño

El espectro de diseño se construye a partir de las especificaciones determinada en el Código Hondureño de la construcción (CHOC-08), de acuerdo al capítulo 1.3 el factor de zona sísmica se considera como 4a para la ubicación de San Pedro Sula.

Tabla 6 Especificaciones para espectro.

<b>Factor sísmico (Z)</b>	0.25	g
<b>Coefficiente de suelo (S)</b>	1.5	
<b>Periodo Ta</b>	0.233	seg
<b>Periodo Tb</b>	0.818	seg
<b>Coefficiente Rw =</b>	12	

Fuente: propia.

#### *Definición de casos de cargas*

Cargas:

- D: Carga muerta.
- L: Carga viva
- E: Carga sísmica

#### **Modelación de edificio con estructura metálica mediante ETABS 2016.**

El software de diseño estructural Extended Three Dimensional Analysis of Building Systems (ETABS), desarrollado por la empresa Computers and Structures, es uno de los software más utilizados mundialmente por su versatilidad para modelar y definir elementos estructurales y para realizar avanzados análisis sísmicos aplicables para una amplia variedad de edificaciones con diferentes consideraciones y especificaciones, resaltando que mediante este software se puede llevar acabo la modelación incorporando aisladores basales.

## **PRESUPUESTO DE ESTRUCTURA METÁLICA ACTUAL**

Como objetivo de comparar el impacto monetario de un edificio sin aislador sísmico contra un edificio con aislado sísmico, se tomó como muestra un edificio de estructura metálica de 8 niveles cuyo uso será el de comercial. para análisis de costo, se realizó de un presupuesto de obra que abarca solo la estructura de acuerdo a los resultados obtenidos del modelo computacional descrito anterior mente. A continuación, se muestra el presupuesto de la estructura actual sin aislador sísmico, así como varios ejemplos de fichas de costo para las diferentes actividades.

Ilustración 46 Presupuesto de edificación metálica sin aisladores.

PRESUPUESTO DE OBRA ESTRUCTURA METALICA SIN AISLADOR SISMICO					
Nº	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD DE OBRA	PRECIO UNITARIO (LPS)	PRECIO TOTAL (LPS)
<b>PERFILERIA</b>					
1	Columnas Columnas Perfil w14x26	PIE	96.76	L 1,783.60	L 172,581.14
2	Columnas Perfil 2W8x21	PIE	90.53	L 2,881.20	L 260,829.27
3	Columnas Perfil w14x30R	PIE	746.53	L 2,195.20	L 1,638,778.27
4	Columnas Perfil 2w12x30	PIE	949.89	L 4,116.00	L 3,909,739.01
5	Columnas Perfil 2w 14x53	PIE	159.41	L 7,271.60	L 1,159,151.21
6	Columnas Perfil 2w 14x38	PIE	168.59	L 5,213.60	L 878,971.25
7	Columnas Perfil w12x65	PIE	18.04	L 4,459.00	L 80,440.36
8	Columnas Perfil 2w12x26	PIE	199.42	L 3,567.20	L 711,385.29
9	Columnas Perfil w16x50R	PIE	121.69	L 3,773.00	L 459,128.82
10	Columnas Perfil w12x30	PIE	152.85	L 2,058.00	L 314,561.18
11	Columnas Perfil w14x34	PIE	50.84	L 2,332.40	L 118,579.22
12	Columnas Perfil w12x40	PIE	20.34	L 2,744.00	L 55,801.98
13	Columnas Perfil w14x30	PIE	30.50	L 2,058.00	L 62,777.23
14	Columnas Perfil w8x31	PIE	20.34	L 2,126.60	L 43,246.54
15	Columnas Perfil w8x24	PIE	10.17	L 1,646.40	L 16,740.60
16	Columnas Perfil w8x18	PIE	10.17	L 1,234.80	L 12,555.45
17	Columnas Perfil w8x21	PIE	40.67	L 1,440.60	L 58,592.08
18	Columnas Perfil w6x15	PIE	50.84	L 1,029.00	L 52,314.36
19	Viga Perfil w12x22	PIE	24.86	L 1,509.20	L 37,522.33
20	Viga Perfil w12x19	PIE	3914.22	L 1,303.40	L 5,101,795.39
21	Viga Perfil w14x26	PIE	2307.02	L 1,783.60	L 4,114,802.30
22	Viga Perfil w14x30	PIE	419.84	L 2,058.00	L 864,030.72
23	Viga Perfil w12x26	PIE	1609.04	L 1,783.60	L 2,869,878.04
24	Viga Perfil w16x50	PIE	516.93	L 3,430.00	L 1,773,063.04
25	Viga Perfil w18x55	PIE	211.92	L 3,773.00	L 799,577.18
26	Viga Perfil w18x46	PIE	236.16	L 3,155.60	L 745,226.50
27	Viga Perfil w12x35	PIE	9.25	L 2,401.00	L 22,208.29
28	Viga Perfil w27x102	PIE	601.29	L 6,997.20	L 4,207,343.59
29	Viga Perfil w6x15	PIE	504.86	L 1,029.00	L 519,498.47
30	Viga Perfil w27x102	PIE	20.80	L 6,997.20	L 145,508.17
31	Viga Perfil w14x43	PIE	176.73	L 2,949.80	L 521,307.53
32	Viga Perfil 2w14x26	PIE	104.96	L 3,567.20	L 374,413.31
33	Viga Perfil w14x38	PIE	395.90	L 2,606.80	L 1,032,021.69
34	Viga Perfil w12x16	PIE	446.74	L 1,097.60	L 490,337.43
35	Viga Perfil w10x12	PIE	42.64	L 823.20	L 35,101.25
<b>SUB-TOTAL</b>					<b>L 33,659,808.50</b>

Ilustración 47 Ficha de costo.

OBRAS GRIS					
1	FUNDICION LOSA DE ESTACIONAMIENTO e=8CM CON VARILLA #3 @30CM A/D CONECTOR VARILLA #5 @ 80CM Y LAMINA LOSACERO CAL,24	M2	1804.78	L 1,538.56	L 2,776,758.71
2	FUNDICION LOSA DE CLINICA Y TECHO e=5CM CON VARILLA #3 @30CM A/D CONECTOR VARILLA #5 @ 80CM Y LAMINA LOSACERO CAL,24	M2	1601.24	L 1,449.88	L 2,321,597.85
3	FUNDICION ZAPATA AISLADA 1,30 X 1,30X0,40 #5@15CM	UND	5	L 8,053.58	L 40,267.89
4	FUNDICION ZAPATA AISLADA 1,30 X 1,30X0,30 #5@20CM	UND	1	L 8,106.79	L 8,106.79
5	FUNDICION ZAPATA AISLADA 2,20 X 2,20X0,45 #5@15CM	UND	1	L 9,705.65	L 9,705.65
6	PEDESTAL DE CONCRETO 4#6 Y #4 @ 0,27	ML	5.65	L 6,385.88	L 36,080.25
<b>SUB-TOTAL</b>					<b>L 5,192,517.13</b>
				<b>TOTAL</b>	<b>L 38,852,325.63</b>

Fuentes: propia.

Se obtiene un presupuesto final de Lps. 38,852,325.63 en la edificación de estructura metálica sin la incorporando de amortiguadores sísmicos basales con núcleo de plomo (LRB).

Ilustración 48 Ficha de costo.

Actividad: FUNDICION LOSA DE ESTACIONAMIENTO e=8CM CON VARILLA #3 @30CM A/D CONECTOR VARILLA #5 @ 80CM Y LAMINA LOSACERO CAL,24					Canf. De obra
Unidad: M2					1.00
Materiales	Unidad	Rendimiento	Desperdicio	Precio Unitario	Total
ELECTRODO SOLDADURA 6011 X 1/8'	LB	0.480	0%	25.00	12.00
CEMENTO GRIS TIPO PORTLAND	BOLSA	0.410	3%	210.00	88.68
ARENA DE RIO LAVADA	M3	0.025	7%	280.00	7.49
GRAVA DE RIO	M3	0.030	7%	280.00	8.99
AGUA	M3	0.012	25%	116.00	1.74
LAMINA DE ZINC 32"X6' CAL. 28	UNID	0.898		255.00	228.99
VARILLA DE HIERRO CORRUGADA DE 3/8"X30' LEG	LANCE	0.500		198.00	99.00
VARILLA DE HIERRO CORRUGADA DE 1/2"X30' LEG	LANCE	0.300		300.00	90.00
VARILLA DE HIERRO LISA DE 1/4"X30' LEGITIMA	LANCE	1.680		69.00	115.92
ALAMBRE DE AMARRE	LB	0.890		32.00	28.48
<b>Subtotal en Materiales</b>					<b>681.29</b>
Mano de obra	Unidad	Rendimiento	Desperdicio	Precio Unitario	Total
ALBAÑIL	JRD	0.16		500.00	82
SOLDADOR	JRD	0.02		500.00	9
AYUDANTE	JRD	<b>0.38</b>		<b>300.00</b>	114.6
PEON	JRD	<b>0.105</b>		<b>300.00</b>	31.5
<b>Subtotal en Mano de Obra</b>					<b>237.10</b>
Herramientas Y/O Equipo	Unidad	Rendimiento	Desperdicio	Precio Unitario	Total
HERRAMIENTAS MENORES	%	0.040		237.10	<b>9.48</b>
MEZCLADORA	BOLSA	0.410		<b>1,200.00</b>	<b>492.00</b>
VIBRADOR DE 1	<b>M3</b>	<b>0.050</b>		<b>600.00</b>	<b>30.00</b>
<b>Subtotal en Herramientas y Equipo</b>					<b>531.48</b>
<b>COSTO TOTAL DIRECTO DE LA ACTIVIDAD</b>					<b>1,449.88</b>
<b>COSTOS INDIRECTOS</b>					
PRECIO UNITARIO DE ADMINISTRACION					
PRECIO UNITARIO DE IMPREVISTOS					
PRECIO UNITARIO DE UTILIDAD					
<b>COSTO TOTAL INDIRECTO DE LA ACTIVIDAD</b>					<b>0.00</b>
<b>COSTO TOTAL DE LA ACTIVIDAD</b>					<b>1,449.88</b>

Fuente: propia.

Ilustración 49 Ficha de costo.

Actividad: FUNDICION LOSA DE ESTACIONAMIENTO e=8CM CON VARILLA #3 @30CM A/D CONECTOR VARILLA #5 @ 80CM Y LAMINA LOSACERO CAL,24						Canf. De obra
Unidad: M2						L 1.00
Materiales	Unidad	Rendimiento	Desperdicio	Precio Unitario	Total	
ELECTRODO SOLDADURA 6011 X 1/8'	LB	0.480	0%	L 25.00	L	12.00
CEMENTO GRIS TIPO PORTLAND	BOLSA	0.820	3%	L 210.00	L	177.37
ARENA DE RIO LAVADA	M3	0.025	7%	L 280.00	L	7.49
GRAVA DE RIO	M3	0.030	7%	L 280.00	L	8.99
AGUA	M3	0.012	25%	L 116.00	L	1.74
LAMINA DE ZINC 32"X6' CAL. 28	UNID	0.898		L 255.00	L	228.99
VARILLA DE HIERRO CORRUGADA DE 3/8"X30' LEG	LANCE	0.500		L 198.00	L	99.00
VARILLA DE HIERRO CORRUGADA DE 1/2"X30' LEG	LANCE	0.300		L 300.00	L	90.00
VARILLA DE HIERRO LISA DE 1/4"X30' LEGITIMA	LANCE	1.680		L 69.00	L	115.92
ALAMBRE DE AMARRE	LB	0.890		L 32.00	L	28.48
<b>Subtotal en Materiales</b>					L	<b>769.97</b>
Mano de obra	Unidad	Rendimiento	Desperdicio	Precio Unitario	Total	
ALBAÑIL	JRD	0.16		L 500.00	L	82.00
SOLDADOR	JRD	0.02		L 500.00	L	9.00
AYUDANTE	JRD	<b>0.38</b>		<b>L 300.00</b>	L	114.60
PEON	JRD	<b>0.105</b>		<b>L 300.00</b>	L	31.50
<b>Subtotal en Mano de Obra</b>					L	<b>237.10</b>
Herramientas Y/O Equipo	Unidad	Rendimiento	Desperdicio	Precio Unitario	Total	
HERRAMIENTAS MENORES	%	0.040		L 237.10	L	<b>9.48</b>
MEZCLADORA	BOLSA	0.410		<b>L 1,200.00</b>	L	<b>492.00</b>
VIBRADOR DE 1	<b>M3</b>	<b>0.050</b>		<b>L 600.00</b>	L	<b>30.00</b>
<b>Subtotal en Herramientas y Equipo</b>					L	<b>531.48</b>
<b>COSTO TOTAL DIRECTO DE LA ACTIVIDAD</b>						<b>L 1,538.56</b>
<b>COSTOS INDIRECTOS</b>						
PRECIO UNITARIO DE ADMINISTRACION						
PRECIO UNITARIO DE IMPREVISTOS						
PRECIO UNITARIO DE UTILIDAD						
<b>COSTO TOTAL INDIRECTO DE LA ACTIVIDAD</b>						<b>L -</b>
<b>COSTO TOTAL DE LA ACTIVIDAD</b>						<b>L 1,538.56</b>

Fuente: propia.



Ilustración 51 Ficha de costo.

<b>Actividad: PEDESTAL DE CONCRETO 4#6 Y #4 @ 0,27</b>					<b>Canf. De obra</b>
Unidad: ML					1.00
<b>Materiales</b>	<b>Unidad</b>	<b>Rendimiento</b>	<b>Desperdicio</b>	<b>Precio Unitario</b>	<b>Total</b>
CEMENTO GRIS TIPO PORTLAND	BOLSA	3.511	3%	210.00	759.43
ARENA DE RIO LAVADA	M3	0.197	7%	280.00	59.02
GRAVA DE RIO	M3	0.197	7%	280.00	59.02
AGUA	M3	0.084	25%	116.00	12.18
VARILLA DE HIERRO LISA DE #4"X30' LEG	LANCE	0.285		198.00	56.43
VARILLA DE HIERRO CORRUGADA DE #6 X30 LEGIT	LANCE	0.470		800.00	376.00
ALAMBRE DE AMARRE	LB	0.539		33.00	17.79
CLAVOS DE 2" A 6"	LB	2.400		32.00	76.80
MADERA RUSTICA DE PINO	PIE T	10.429		24.00	250.30
<b>Subtotal en Materiales</b>					<b>1666.96</b>
<b>Mano de obra</b>	<b>Unidad</b>	<b>Rendimiento</b>	<b>Desperdicio</b>	<b>Precio Unitario</b>	<b>Total</b>
ALBAÑIL	JRD	0.25		500.00	123.5
CARPINTERO	JRD	0.22		<b>300.00</b>	67.2
ARMADOR DE HIERRO	JRD	<b>0.166</b>		<b>300.00</b>	49.8
AYUDANTE	JRD	0.750		300.00	225
<b>Subtotal en Mano de Obra</b>					<b>465.50</b>
<b>Herramientas Y/O Equipo</b>	<b>Unidad</b>	<b>Rendimiento</b>	<b>Desperdicio</b>	<b>Precio Unitario</b>	<b>Total</b>
HERRAMIENTAS MENORES	%	0.040		465.50	<b>18.62</b>
MEZCLADORA	BOLSA	3.511		<b>1,200.00</b>	<b>4,213.20</b>
VIBRADOR DE 1	<b>M3</b>	<b>0.036</b>		<b>600.00</b>	<b>21.60</b>
<b>Subtotal en Herramientas y Equipo</b>					<b>4,253.42</b>
<b>COSTO TOTAL DIRECTO DE LA ACTIVIDAD</b>					<b>6,385.88</b>
<b>COSTOS INDIRECTOS</b>					
PRECIO UNITARIO DE ADMINISTRACION					
PRECIO UNITARIO DE IMPREVISTOS					
PRECIO UNITARIO DE UTILIDAD					
<b>COSTO TOTAL INDIRECTO DE LA ACTIVIDAD</b>					<b>0.00</b>
<b>COSTO TOTAL DE LA ACTIVIDAD</b>					<b>6,385.88</b>

Fuente: propia.



Ilustración 52 Ficha de costo.

<b>Actividad: PEDESTAL DE CONCRETO 4#6 Y #4 @ 0,27</b>					<b>Canf. De obra</b>
Unidad: lbs/pie					1.00
<b>Materiales</b>	<b>Unidad</b>	<b>Rendimiento</b>	<b>Desperdicio</b>	<b>Precio Unitario</b>	<b>Total</b>
Acero laminado A 36, en perfiles laminados en caliente, según ASTM A 36, piezas simples, para aplicaciones estructurales, acabado con imprimación antioxidante. Trabajado y montado en taller, para colocar con uniones soldadas en obra.	lbs/pie	1.000	0%	9.59	9.59
<b>Subtotal en Materiales</b>					<b>9.59</b>
<b>Mano de obra</b>	<b>Unidad</b>	<b>Rendimiento</b>	<b>Desperdicio</b>	<b>Precio Unitario</b>	<b>Total</b>
montador de estructura	JRD	0.02		35.85	0.752754545
ayudante de soldador	JRD	0.01		<b>25.29</b>	0.303436364
<b>Subtotal en Mano de Obra</b>					<b>1.06</b>
<b>Herramientas Y/O Equipo</b>	<b>Unidad</b>	<b>Rendimiento</b>	<b>Desperdicio</b>	<b>Precio Unitario</b>	<b>Total</b>
equipo de soldadura	%	0.018		28.17	<b>0.51</b>
					<b>0.00</b>
					<b>0.00</b>
<b>Subtotal en Herramientas y Equipo</b>					<b>0.51</b>
<b>COSTO TOTAL DIRECTO DE LA ACTIVIDAD</b>					<b>11.15</b>
<b>COSTOS INDIRECTOS</b>					
PRECIO UNITARIO DE ADMINISTRACION					
PRECIO UNITARIO DE IMPREVISTOS					
PRECIO UNITARIO DE UTILIDAD					
<b>COSTO TOTAL INDIRECTO DE LA ACTIVIDAD</b>					<b>0.00</b>
<b>COSTO TOTAL DE LA ACTIVIDAD</b>					<b>11.15</b>

Fuente: propia.

Se considero acero A-36, en vigas formadas por piezas simples de perfiles laminados en caliente acabado con imprimación antioxidante, con uniones soldadas en obra, a una altura de más de 3 m. El precio incluye las soldaduras, los cortes, los despuntes, las piezas especiales, los casquillos y los elementos auxiliares de montaje. El presupuesto del edificio sin aislamiento sísmico da un resultado final de construcción de la parte estructural de L. 38,852,325.63 exactos.

### 4.3 DISEÑO DE SISTEMA DE AISLACIÓN

De manera inicial se deben establecer los objetivos de diseño como la distorsión máxima y distorsión objetivo, debido a que Honduras no cuenta con una norma que contemple distorsiones

máximas con análisis sísmicos dinámicos, se hizo uso la norma internacional Uniform Building Code-1997, las cuales están enfocadas para el diseño estructural con de “Aisladores elastoméricos con núcleo plomo” (Lead-plug rubber bearing, LRB).

En este capítulo se dimensiona los aisladores que conforman el sistema de aislamiento estableciendo un periodo de elongación objetivo al que se desea alcanzar en la estructura del capítulo anterior. Se realiza ciertos procesos para establecer la correcta modelación de los elementos que componen el sistema de aislamiento mediante la herramienta computacional “Etabs 2016”. Finalmente se modela el sistema de aislación con la estructura para un análisis de resultados y modificaciones respectivas.

Para la estructura planteada se establece un periodo y amortiguamiento objetivo el cual se pretende llegar gracias al diseño del sistema de aislación.

Tabla 7 Pasos para diseño de aislador con núcleo de plomo.

Paso 1	Establecer el valor de amortiguamiento efectivo para el sistema y tomar el valor $B_d$ o $B_m$ interpolando con la tabla A-16-C del UBC-97.
Paso 2	Obtener el desplazamiento de diseño del centro de rigidez por medio de la ecuación 30.
Paso 3	Calcular el área total de los núcleos de plomo mediante la revisión de los catálogos de informativos que contienen las medidas estándar de los aisladores con núcleo de plomo para proseguir con el cálculo de la fuerza a deformación nula $Q$ considerando la fuerza de fluencia del plomo como 10 Mpa o 1019.70 Ton/m <sup>2</sup> .
Paso 4	Con los valores de diámetro externo e interno se obtiene el área anular del aislador. Se obtiene la deformación de corte directo máxima $Y_s$ como 150% y la deformación de corte directo máximo admisible $Y_{max}$ como 250%.

	<p>Con estos datos se calcula la rigidez elástica del aislador <math>K_r</math>, la rigidez efectiva del conjunto de aisladores y la rigidez efectiva de un aislador.</p> <p>Se calcula la deformación de fluencia <math>D_y</math>, para obtener la energía disipada por el sistema.</p>
Paso 5	Se procede a computar el amortiguamiento efectivo del conjunto de aisladores, determinar la rigidez del sistema y su amortiguamiento compuesto. Se realiza la revisión de los desplazamientos con los nuevos valores de amortiguamiento.
Paso 6	Se calcula el periodo real del sistema de aislamiento, procurando que se asemeje al periodo objetivo.
Paso 7	Revisar el cortante de diseño de los elementos por encima de la interfaz de aislamiento y el cortante de base elástico del código.
Paso 8	Se determina los detalles constructivos del aislador, espesor de lámina de goma y acero, altura de las capas de goma y acero entre otros. Se revisa que las dimensiones del aislador brinden la rigidez vertical adecuada por medio del factor de forma $S$ que debe ser mayor a 10.
Paso 9	Calcular el módulo de compresión del compuesto de goma y acero para un aislador, considerando el módulo de compresibilidad como $K: 200,000 \text{ Ton/m}^2$ . Calcular la carga de pandeo de Euler y asegurar que la carga crítica del aislador sea menor que la carga máxima recibida.
Paso 10	Calcular la rigidez vertical del aislador la cual es la suma de la rigidez vertical del núcleo de plomo y la rigidez vertical del anillo de goma y acero. Calcular el periodo vertical del sistema y revisar que la frecuencia vertical sea mayor a 10.

Fuente: propia.

#### 4.3.1 Desarrollo del diseño de aislador basal para estructura metálica:

Tabla 8 Especificaciones para aislador.

<i>Propiedades Mecánicas</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Unidad</i>
Esfuerzo de fluencia del plomo	1019.72	Ton/m <sup>2</sup>
Módulo de Young o compresión del plomo (Ec plomo=	14000	Ton/m <sup>2</sup>
Módulo de rigidez a cortante Ga	45.89	Ton/m <sup>2</sup>
Amortiguamiento	10	%
Máxima deformación lateral a cortante	1.5	
Carga de peso propio más 25% de carga viva	101,643.92	Ton.
Módulo de elasticidad volumétrico	2000	Ton
Módulo de compresibilidad de la goma K	2000	Mpa
Tipo de conexión	Empernada	

Fuente: propia.

#### **Tabla 7**

Cálculo del desplazamiento de diseño del centro de rigidez del sistema de aislamiento, asumiendo un amortiguamiento del 10% como dato inicial.

Tabla 9 Desarrollo de diseño de aislador.

<i>Descripción</i>	<i>Ecuación</i>	<i>Resultado</i>	<i>Unidad</i>
Valor de amortiguamiento objetivo $\beta$		25%	
Valor de $B_d$ o $B_m$ en función del amortiguamiento efectivo		1.6	
Desplazamiento de diseño del centro de rigidez	$D_D = \frac{g * C_{vd} * TD}{4 * \pi^2 * B_D}$ $D_D = \frac{9.81 * 0.54 * 2}{4 * \pi^2 * 1.6}$	0.17	m.
Desplazamiento máximo del sistema de aislación	$Dd = \frac{g * C_{vn} * TM}{4 * \pi^2 * B_D}$		m.
Diámetro del aislador.	De	1.1	m.

Diámetro del núcleo de plomo	Dpb	0.22	m.
Altura del núcleo de plomo	Tp	0.30	m.
Fuerza de deformación nula Q de los aisladores	$A_{pb} = N * \frac{D_{pb}^2 * \pi}{4}$ $A_{pb} = 34 * \frac{0.22^2 * \pi}{4}$	1.29	m2.
Fuerza de deformación nula considerando la fuerza de fluencia del plomo de 10 Mpa	$Q = F_{ypb} * A_{pb}$ $Q = 1019.70 * 1.29$	1317.91	Ton.
Área anular con diámetros de núcleo de plomo de 15 cm.	$A_a = \frac{\pi}{4} * (D_e^2 - D_{pb}^2)$ $A_a = \frac{\pi}{4} * (1.1^2 - 0.22^2)$	0.91	m2
Deformación de corte directo máxima	Ys	150%	

Suma de las alturas de las capas de caucho	$Tr = \frac{D_D}{Y_S}$ $Tr = \frac{0.17}{1.5}$	0.11	m.
Deformación de corte directo máximo admisible	Ymax	250%	
Suma de las alturas de las capas de caucho	$Tr = \frac{D_D}{Y_{max}}$ $Tr = \frac{0.17}{2.5}$	0.068	m.
Cantidad de capas de caucho	$n = \frac{tr}{0.01}$ $n = \frac{0.068}{0.01}$	7	unidades
Espesor de capa de goma		0.02	m.
Numero de capas a utilizar		10	Unidades
Altura total de capas de goma		0.20	m.

Espesor de capas de acero		0.005	m.
Numero de capas a utilizar		10	Unidades
Altura total de capas de acero		0.05	m.
Altura total de aislador		0.25	m.
Rigidez elástica del aislador	$Kr = \frac{G * A_{anular}}{tr}$ $Kr = \frac{15 * 0.91}{0.068}$	200.74	Ton/m
Rigidez efectiva del conjunto de aisladores	$K_{eff} = N * Kr + \frac{Q}{D_D}$ $K_{eff} = 34 * 200.74 + \frac{1317.91}{0.17}$	14577.57	Ton/m
Rigidez efectiva de un aislador	$K_{HP}$	278.87	Ton/m



<p>Deformación de fluencia del conjunto de aisladores</p>	$Dy = \frac{Q}{9 * K_2}$ $K_2 = Keff - \frac{Q}{D_D}$ $K_2 = 14577.57 - \frac{1317.91}{0.17}$ $Dy = \frac{1317.91}{9 * 6825.16}$	<p>Dy= 0.0215</p>	<p>m.</p>
<p>Energía disipada por ciclo</p>	$WD = 4 * Q * (D_D - D_y)$ $WD = 4 * 1317.91 * (0.17 - 0.0215)$	<p>599.65</p>	<p>Ton*m</p>
<p>Amortiguamiento efectivo del conjunto de aisladores</p>	$\beta p = \frac{W_D}{2 * \pi * keff * D_D^2}$ $\beta p = \frac{599.65}{2 * \pi * 14577.57 * 0.17^2}$	<p>22.65%</p>	

Cálculo de rigidez compuesta del sistema de aislamiento	$K_{hc} = N_p * K_{hp}$ $K_{hc} = 26 * 278.87$	7250.62	Ton/m
Cálculo del amortiguamiento compuesto del sistema de aislamiento	$\beta = \frac{N_{LBR} * \beta_{LBR} * K_{HP}}{K_{hc}}$ $\beta = \frac{34 * 0.25 * 278.87}{7250.62}$	32.69%	
Cálculo del periodo real del sistema de aislamiento	$T = 2 * \pi * \sqrt{\frac{m}{K_{hp}}}$ $T = 2 * \pi * \sqrt{\frac{599.10}{278.87}}$	9.21	seg
Área del núcleo de plomo	$A_{nucleo} = \frac{\pi}{4} * D_{pb}^2$	0.0380	m <sup>2</sup>

	$A_{nucleo} = \frac{\pi}{4} * 0.22^2$		
Rigidez vertical del núcleo de plomo	$Kv_{nucleo} = \frac{Ec_{plomo} * A_{nucleo}}{tp}$ $Kv_{nucleo} = \frac{14000 * 0.038}{0.30}$	1773.33	Ton/m
Rigidez vertical del anillo de goma y acero	$Kv_{anular} = \frac{Ec_{anillo} * A_{anular}}{tp}$ $Kv_{anular} = \frac{200000 * 0.91}{0.30}$	606666.67	Ton/m
Rigidez vertical de un aislador	$Kvp = Kv_{nucleo} + Kv_{anular}$ $Kvp = 1773.33 + 606666.67$	608439.9967	Ton/m
Rigidez vertical del conjunto de aisladores	$Kv = N_{LRB} * Kvp$ $Kv = 34 * 608439.9967$	20686959.89	Ton/m

Desplazamiento de fluencia de los aisladores	$D\gamma = 0.1 * DD$ $D\gamma = 0.1 * 0.17$	0.017	m.
Energía disipada por los aisladores	$W_D = 2 * \pi * K_{eff} * DD * \beta$ $W_D = 2 * \pi * 14577.57 * 0.17 * 0.25$	3892.73	Ton.m
Fuerza a deformación nula de los aisladores	$Q = \frac{WD}{4 * (DD - D\gamma)}$ $Q = \frac{3892.73}{4 * (0.17 - 0.017)}$	6360.67	Ton
Rigidez post fluencia	$K2 = K_{eff} + \frac{Q}{DD}$ $K2 = 14577.57 + \frac{6360.67}{0.17}$	51993.28	Ton/m
Rigidez inicial de los aisladores	$K1 = K2 + \frac{Q}{D\gamma}$ $K1 = 51993.28 + \frac{6360.67}{0.017}$	426150.34	Ton/m

Razón de rigidez post fluencia	$R = \frac{K2}{K1}$ $R = \frac{51993.28}{426150.34}$	0.12	

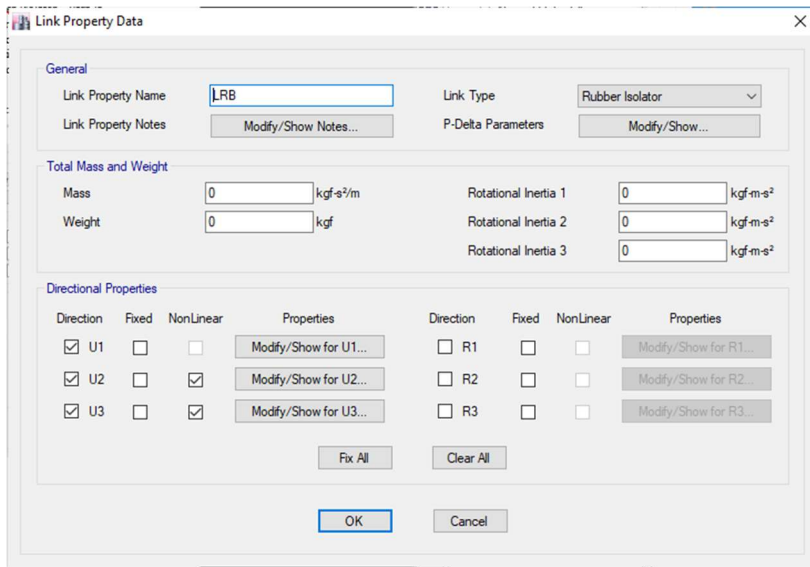
Fuente: propia.

#### 4.3.2 Resultados de modelación de estructura metálica en ETABS 2016

Para el modelamiento de los aisladores se utilizó la opción “link” del tipo “Rubber Isolator”. Para la comprobación de la modelación individual de los aisladores se consideraron como empotramiento inferior de los aisladores y se consideró como nulo el peso de los aisladores. El modelamiento de los aisladores se realizará de igual manera en las direcciones horizontales, considerando en dirección vertical como empotrado debido a su gran rigidez vertical que presentan las unidades.

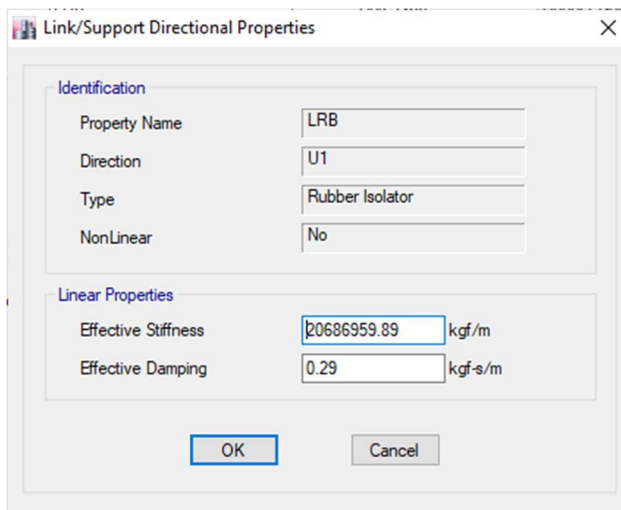
Se inicio con la creación de casos para el modelamiento de los aisladores:

Ilustración 53 Configuración de caso de aislador LRB.



Fuente; propia.

Ilustración 54 Propiedades de aislador en dirección U1.



Fuente: propia.

Ilustración 55 Propiedades de aislador en dirección U2 y U3.

Identification	
Property Name	LRB
Direction	U2
Type	Rubber Isolator
NonLinear	Yes

Linear Properties	
Effective Stiffness	200.74 kgf/m
Effective Damping	0.28 kgf-s/m

Shear Deformation Location	
Distance from End-J	0 m

Nonlinear Properties	
Stiffness	426150.34 kgf/m
Yield Strength	20.97 kgf
Post Yield Stiffness Ratio	0.12

Fuente propia

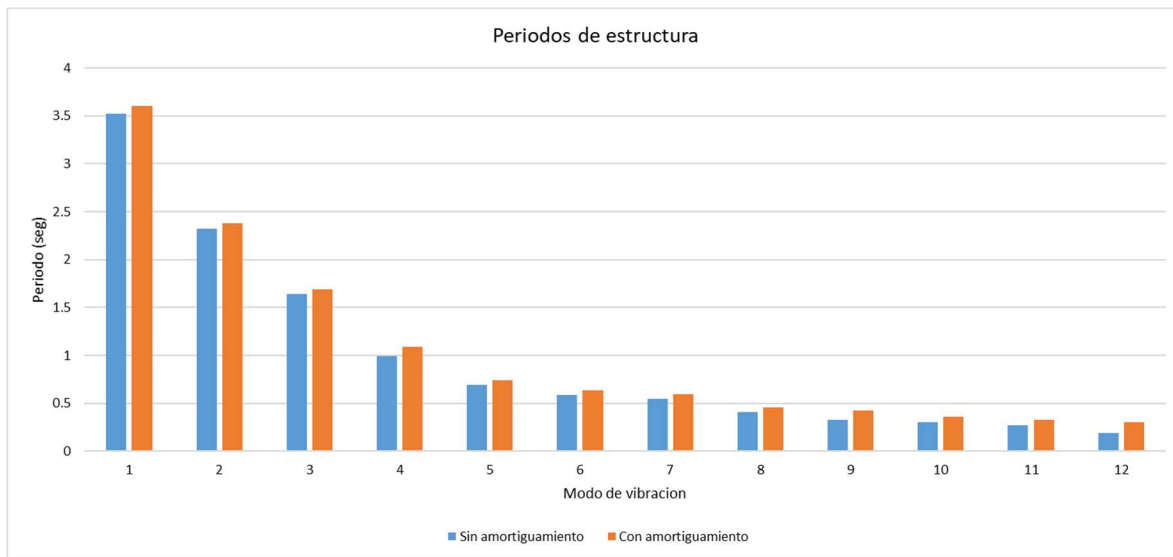
#### 4.4 Parámetros a comparar de estructura metálica aislada versus la convencional.

A continuación, se realiza una evaluación de los parámetros de interés en el comportamiento dinámico espectral de los modelos para el edificio de base fija y el modelo del edificio mediante el uso de aisladores sísmicos basales LRB.

#### 4.4.1 Periodo del edificio metálico.

Gráfico comparativo de los periodos obtenidos en ambas estructuras mostrando que se logra alcanzar en el primer modo de vibración 3.60 segundos mediante el uso de LRB y se obtiene 3.50 segundos en la edificación tradicional lo que indica que mediante el uso de los amortiguadores los periodos se alargan logrando minimizar los efectos perjudiciales de las aceleraciones sísmicas sobre la estructura.

Ilustración 56 Resultado de periodos.



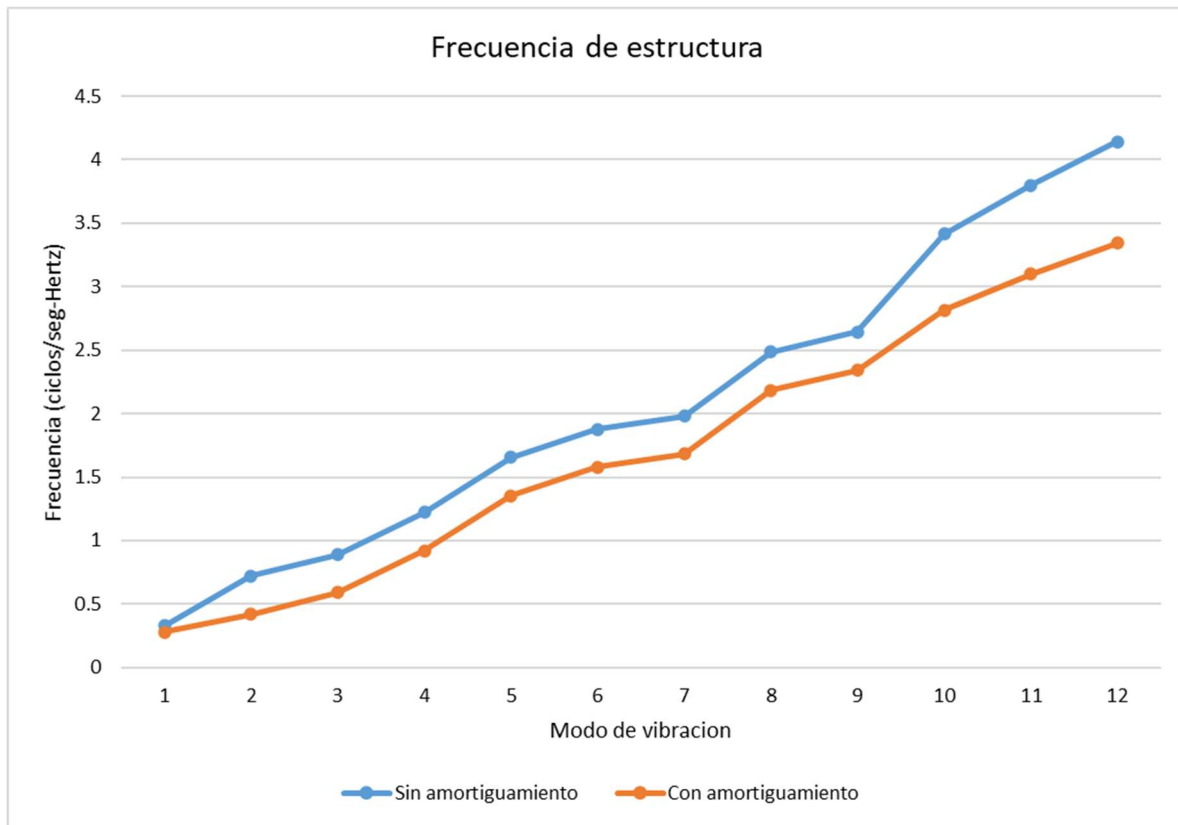
Fuente: propia.

#### 4.4.2 Frecuencia del edificio metálico.

Se muestra a continuación el gráfico comparativo de las frecuencias obtenidas en los modelos estructurales donde se logra analizar la reducción obtenida de 0.33 ciclos/seg en el modelo tradicional y con 0.28 ciclos/seg en el modelo amortiguado lo que representa un 15.15%.



Ilustración 57 Resultados de frecuencias obtenidas.

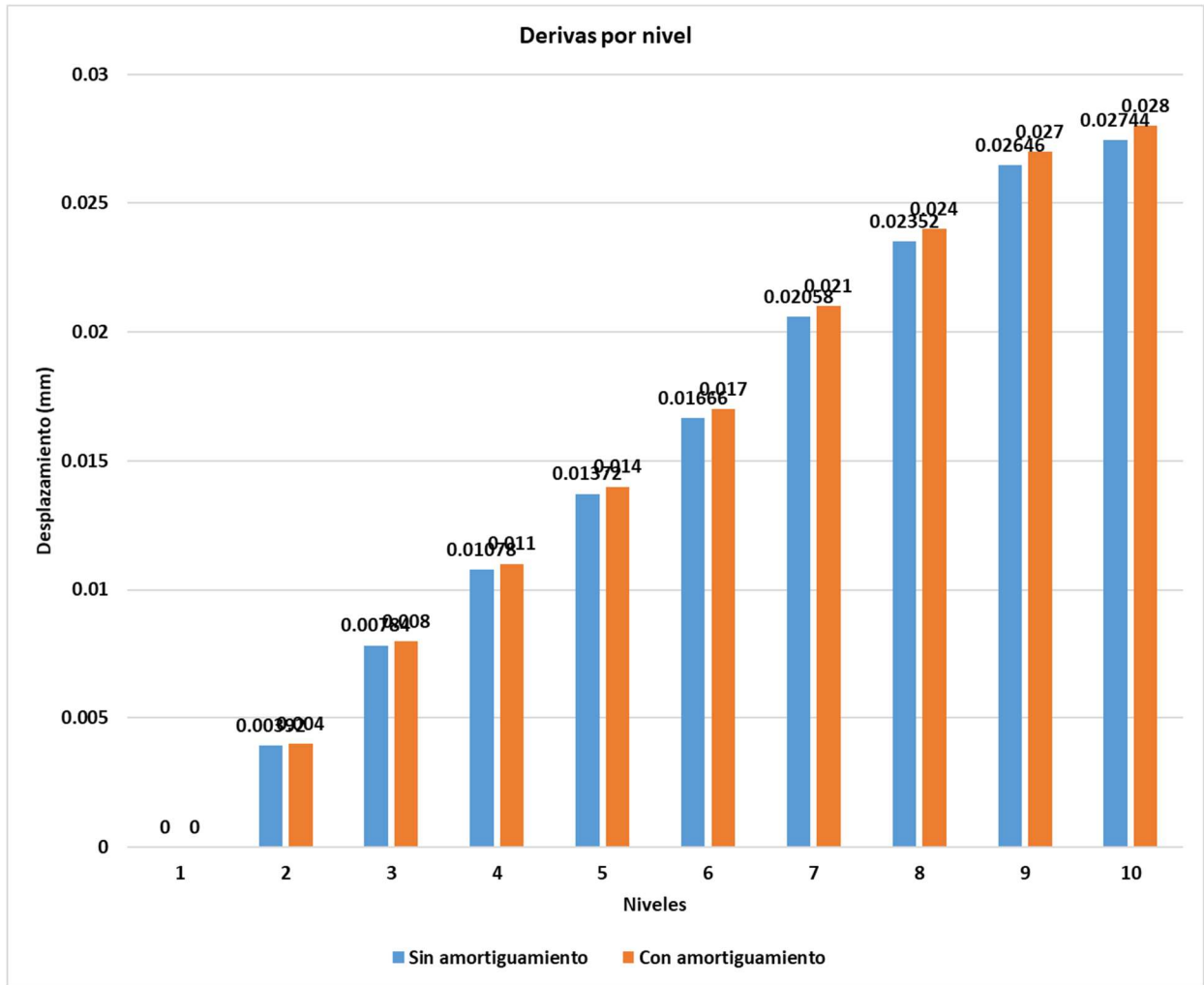


Fuente: propia.

#### 4.4.3 Desplazamiento del sistema metálico.

A continuación, se muestra la gráfica comparativa de los resultados obtenidos para ambos modelos, donde se observa que los desplazamientos tanto en eje X y Y en condiciones de empotramiento tradicional como en el modelo con aisladores sísmicos son mínimos y no incumplen con el reglamento de construcción CHOC-08.

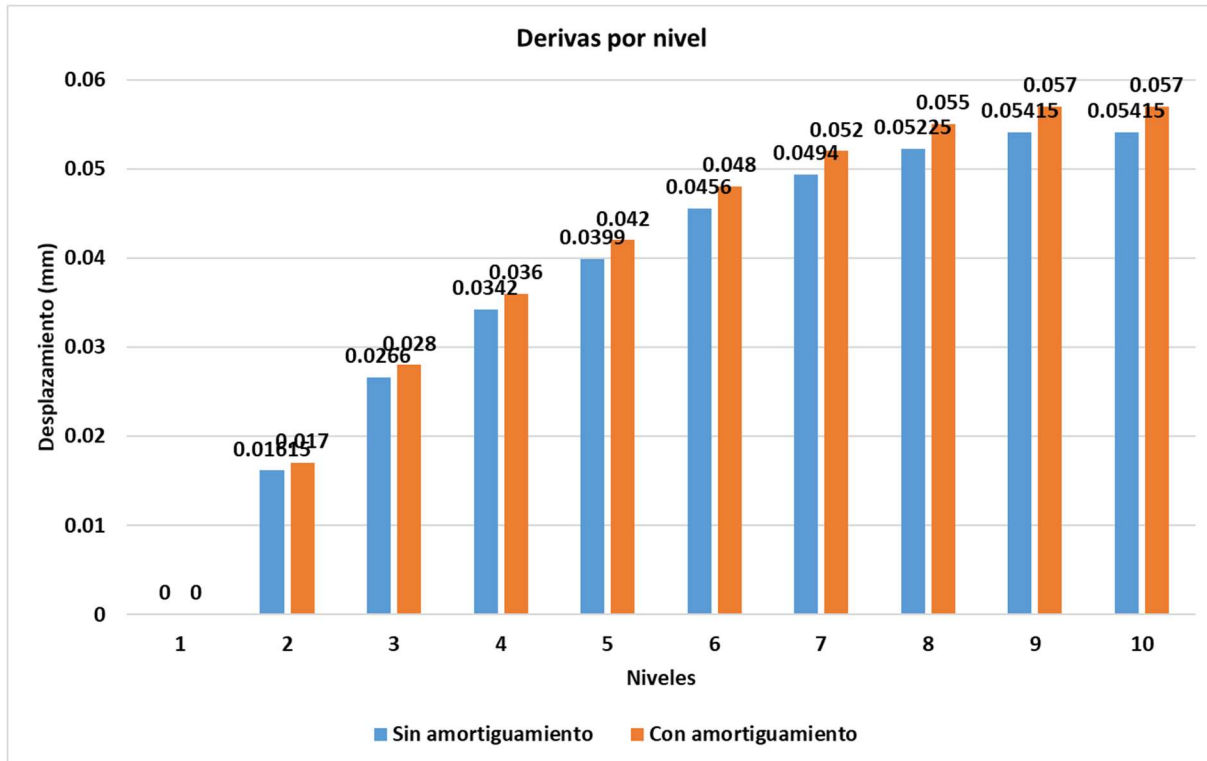
Ilustración 58 Resultado de derivas en eje X.



Fuente: propia.

En la dirección X se logra obtener una reducción considerable resaltando con 2% en reducción en el séptimo (7) nivel del edificio mediante el uso de los amortiguadores basales LRB.

Ilustración 59 Resultado de derivas en eje Y.



Fuente: propia.

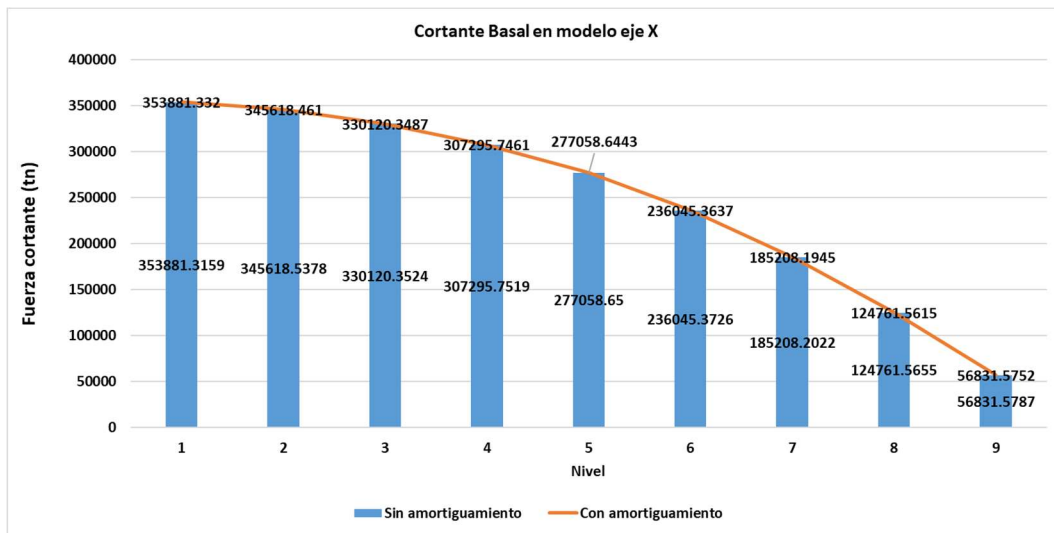
En la dirección Y se logra obtener una reducción considerable en todos los niveles resaltando con 6.75% en reducción en el segundo (2) nivel del edificio y con 5.12% el tercer (3) nivel mediante el uso de los amortiguadores basales LRB.

#### 4.4.4 Corte basal en la estructura metálica.

La verificación de los cortantes basales sísmicos es un parámetro importante ya que estos influyen sobre las deformaciones y daños que pueden repercutir gravemente en todos los elementos estructurales.

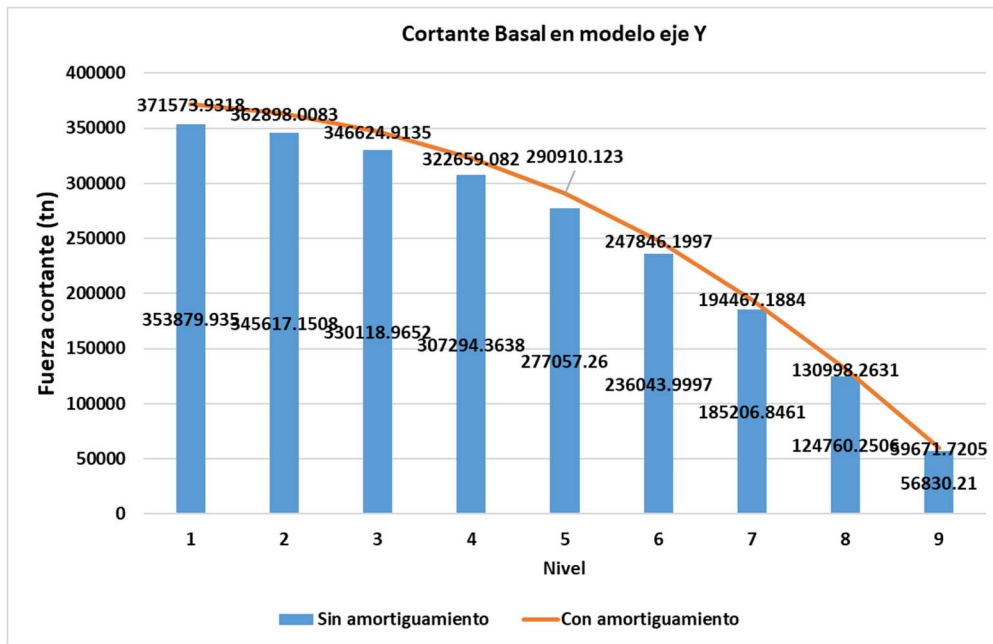
Mediante el uso de los aisladores sísmicos se reduce los cortantes basales de entrepiso de manera significativa como se muestra a continuación.

Ilustración 60 Resultado de cortante basal en eje X.



Fuente: propia.

Ilustración 61 Resultante de cortante basal en eje Y.



Fuente: propia.

#### 4.5 Presupuesto de estructura metálica con aislante sísmico.

Como objetivo de comparar el impacto monetario de un edificio sin aislador sísmico contra un edificio con aislado sísmico, se tomó como muestra un edificio metálico de 8 niveles cuyo uso será el de locales comerciales. para análisis de costo, se realizó de un presupuesto de obra que abarca solo la estructura de acuerdo a los resultados obtenidos del modelo computacional descrito anterior mente. A continuación, se muestra el presupuesto de la estructura actual con aislador sísmico, así como varios ejemplos de fichas de costo para las diferentes actividades.

Ilustración 62 Presupuesto de obra estructura metálica con aisladores.

<b>PRESUPUESTO DE OBRA ESTRUCTURA METALICA CON AISLADOR SISMICO</b>					
<b>N°</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD DE OBRA</b>	<b>PRECIO UNITARIO (LPS)</b>	<b>PRECIO TOTAL (LPS)</b>
<b>PERFILERIA</b>					
1	Columnas Perfil w14x26	PIE	96.76	L 1,783.60	L 172,581.14
2	Columnas Perfil 2W8x21	PIE	90.53	L 1,440.60	L 130,414.64
3	Columnas Perfil w14x26	PIE	746.53	L 1,783.60	L 1,331,507.34
4	Columnas Perfil w21x73	PIE	949.89	L 5,007.80	L 4,756,849.13
5	Columnas Perfil w21x73	PIE	159.41	L 5,007.80	L 798,283.38
6	Columnas Perfil w21x73	PIE	168.59	L 5,007.80	L 844,275.02
7	Columnas Perfil w12x65	PIE	18.04	L 4,459.00	L 80,440.36
8	Columnas Perfil 2w12x26	PIE	199.42	L 1,783.60	L 355,692.65
9	Columnas Perfil w16x26	PIE	121.69	L 1,783.60	L 217,042.72
10	Columnas Perfil w12x30	PIE	152.85	L 2,058.00	L 314,561.18
11	Columnas Perfil w14x26	PIE	50.84	L 1,783.60	L 90,678.22
12	Columnas Perfil w12x40	PIE	20.34	L 2,744.00	L 55,801.98
13	Columnas Perfil w14x26	PIE	30.50	L 1,783.60	L 54,406.93
14	Columnas Perfil w8x31	PIE	20.34	L 2,126.60	L 43,246.54
15	Columnas Perfil w8x24	PIE	10.17	L 1,646.40	L 16,740.60
16	Columnas Perfil w8x18	PIE	10.17	L 1,234.80	L 12,555.45
17	Columnas Perfil w8x21	PIE	40.67	L 1,440.60	L 58,592.08
18	Columnas Perfil w6x15	PIE	50.84	L 1,029.00	L 52,314.36
19	Viga Perfil w12x22	PIE	24.86	L 1,509.20	L 37,522.33
20	Viga Perfil w12x19	PIE	3914.22	L 1,303.40	L 5,101,795.39
21	Viga Perfil w12x26	PIE	2307.02	L 1,783.60	L 4,114,802.30
22	Viga Perfil w12x26	PIE	419.84	L 1,783.60	L 748,826.62
23	Viga Perfil w12x26	PIE	1609.04	L 1,783.60	L 2,869,878.04
24	Viga Perfil w14x26	PIE	516.93	L 1,783.60	L 921,992.78
25	Viga Perfil w18x40	PIE	211.92	L 2,744.00	L 581,510.68
26	Viga Perfil w18x46	PIE	236.16	L 3,155.60	L 745,226.50
27	Viga Perfil w12x35	PIE	9.25	L 2,401.00	L 22,208.29
28	Viga Perfil w18x40	PIE	601.29	L 2,744.00	L 1,649,938.66
29	Viga Perfil w6x15	PIE	504.86	L 1,029.00	L 519,498.47
30	Viga Perfil w21x93	PIE	20.80	L 6,379.80	L 132,669.22
31	Viga Perfil w12x26	PIE	176.73	L 1,783.60	L 315,209.21
32	Viga Perfil w12x26	PIE	104.96	L 1,783.60	L 187,206.66
33	Viga Perfil w12x30	PIE	395.90	L 2,058.00	L 814,753.97
34	Viga Perfil w12x16	PIE	446.74	L 1,097.60	L 490,337.43
35	Viga Perfil w10x12	PIE	42.64	L 823.20	L 35,101.25
<b>SUB-TOTAL</b>					<b>L 28,674,461.50</b>

Fuente: propia.

Ilustración 63 Ficha de costo.

OBRAS GRIS					
1	FUNDICION LOSA DE ESTACIONAMIENTO e=8CM CON VARILLA #3 @30CM A/D CONECTOR VARILLA #5 @ 80CM Y LAMINA LOSACERO CAL,24	M2	1804.78	L 1,538.56	L 2,776,758.71
2	FUNDICION LOSA DE CLINICA Y TECHO e=5CM CON VARILLA #3 @30CM A/D CONECTOR VARILLA #5 @ 80CM Y LAMINA LOSACERO CAL,24	M2	1601.24	L 1,449.88	L 2,321,597.85
3	FUNDICION ZAPATA AISLADA 1,30 X 1,30X0,40 #5@15CM	UND	5	L 8,053.58	L 40,267.89
4	FUNDICION ZAPATA AISLADA 1,30 X 1,30X0,30 #5@20CM	UND	1	L 8,106.79	L 8,106.79
5	FUNDICION ZAPATA AISLADA 2,20 X 2,20X0,45 #5@15CM	UND	1	L 9,705.65	L 9,705.65
6	PEDESTAL DE CONCRETO 4#6 Y #4 @ 0,27	ML	5.65	L 6,385.88	L 36,080.25
7	SUMINISTRO E INSTALACION DE AISLADOR SISMICO	UND	34	L 58,967.05	L 2,004,879.70
<b>SUB-TOTAL</b>					<b>L 7,197,396.83</b>
				<b>TOTAL</b>	<b>L 35,871,858.33</b>

Fuente: propia.

Se considero acero A-36, en vigas formadas por piezas simples de perfiles laminados en caliente acabado con imprimación antioxidante, con uniones soldadas en obra, a una altura de más de 3 m. El precio incluye las soldaduras, los cortes, los despuntes, las piezas especiales, los casquillos y los elementos auxiliares de montaje. El presupuesto del edificio con aislamiento sísmico da un resultado final de construcción de la parte estructural de L. 35,871,858.33 exactos.

#### 4.5.1 Ficha de costos de aisladores sísmicos

Ilustración 64 Ficha de costo.

Actividad: FUNDICION ZAPATA AISLADA 1,30 X 1,30X0,40 #5@15CM						Cant. De obra
Unidad: UND						L 1.00
Materiales	Unidad	Rendimiento	Desperdicio	Precio Unitario	Total	
ASILADOR SISMICO (INCLUYE TRASPORTE DESDE EL SALVADOR)	UND	1.000	0%	L 25,410.00	L 25,410.00	
COSTO DE INTRODUCCION (10% SOBRE EL COSTO DE COMPRA)	\$	1.000	0%	L 2,541.00	L 2,541.00	
COSTO ISV (15% SOBRE EL COSTO +INTRODUCCION)	\$	1.000	0%	L 4,192.65	L 4,192.65	
TRANSPORTE TERRESTRE	\$	1.000	0%	L 14,520.00	L 14,520.00	
					L -	
<b>Subtotal en Materiales</b>						<b>L 46,663.65</b>
Mano de obra	Unidad	Rendimiento	Desperdicio	Precio Unitario	Total	
INSTALADOR	DESTAJO	1.00		L 6,500.00	L 6,500.00	
ARMADOR DE HIERRO	JRD	0.54		L 500.00	L 270.00	
AYUDANTE	JRD	<b>0.98</b>		<b>L 300.00</b>	<b>L 292.50</b>	
					L -	
<b>Subtotal en Mano de Obra</b>						<b>L 7,062.50</b>
Herramientas Y/O Equipo	Unidad	Rendimiento	Desperdicio	Precio Unitario	Total	
HERRAMIENTAS MENORES	%	0.040		L 7,062.50	L 282.50	
MEZCLADORA	BOLSA	4.107		<b>L 1,200.00</b>	<b>L 4,928.40</b>	
VIBRADOR DE 1	<b>M3</b>	<b>0.050</b>		<b>L 600.00</b>	<b>L 30.00</b>	
					L -	
<b>Subtotal en Herramientas y Equipo</b>						<b>L 5,240.90</b>
<b>COSTO TOTAL DIRECTO DE LA ACTIVIDAD</b>						<b>L 58,967.05</b>
<b>COSTOS INDIRECTOS</b>						
PRECIO UNITARIO DE ADMINISTRACION						
PRECIO UNITARIO DE IMPREVISTOS						
PRECIO UNITARIO DE UTILIDAD						
<b>COSTO TOTAL INDIRECTO DE LA ACTIVIDAD</b>						<b>L -</b>
<b>COSTO TOTAL DE LA ACTIVIDAD</b>						<b>L 58,967.05</b>

Fuente: propia.

#### 4.6 Análisis comparativo de costo de edificación metálica con y sin aislante sísmico

Se realizó un análisis porcentual de costos para la misma estructura, bajo las mismas circunstancias. Es decir, en el mismo sitio con las mismas cargas operacionales y de diseño. Siendo la única variable la aplicación de los aislantes sísmicos, se logra observar el impacto de los mismos tanto monetario como en eficiencia estructural del edificio.

Al analizar la diferencia de precio para las diferentes actividades, se obtienen los siguientes resultados en cuanto a la diferencia de costos:

- Disminución de costo en columnas y vigas de 14.81%.
- Disminución de costo total del 7.67%.



- Con aisladores sísmicos, las diferentes actividades constructivas del edificio se vuelven un 7.67% más costoso.
- Costo de edificio sin aislador sísmico L. 38,852,325.63.
- Costo de edificio con aislador sísmico L. 35,871,858.33.

#### 4.7 Análisis estadístico

Se realiza un análisis de los resultados obtenidos tanto para la edificación tradicional y la edificación con el uso de amortiguadores con el objetivo de comprobar las hipótesis planteadas.

Ilustración 65 Análisis de resultados de frecuencia.

Frecuencia Modelo 1 (u_z): Sin Amortiguamiento	Frecuencia Modelo 2 (u_z): Con Amortiguamiento
0.33	0.28
0.72	0.42
0.89	0.59
1.22	0.92
1.65	1.35
1.88	1.58
1.98	1.68
2.49	2.19
2.64	2.34
3.42	2.82
3.80	3.10
4.14	3.34

Fuente: propia.

## Ilustración 66 Resultado de análisis de frecuencia.

Media Modelo 1: Frecuencia	2.0965	sigma:	1.19788946	N1:	12	
Media Modelo 2: Frecuencia	1.717333333	grados de libertad:	22	N2:	12	
D-estándar Modelo 1: Frecuencia	1.234605163					
D-estándar Modelo 2: Frecuencia	1.05188967					
Valor de t estandarizada de la prueba basada en los datos.	0.775334363	El valor de 12 en la fórmula corresponde al número de datos				
Valor de t estandarizada a un nivel de confianza de .05	2.073873068					
Valor de Z estandarizada a un nivel de confianza de .01	2.818756061					
Conclusión a un nivel de significancia de .05 (5%)	Dado que el valor de la variable Z estandarizada de la prueba basada en los datos es menor que 2.07387307 y mayor que -2.07387307, se concluye a un nivel de significancia de 5% que se acepta la hipótesis de que la media poblacional es 0, y por tanto no hay diferencia significativa.					
Conclusión a un nivel de significancia de .01 (1%)	Dado que el valor de la variable Z estandarizada de la prueba basada en los datos es menor que 2.81875606 y mayor que -2.81875606, se concluye a un nivel de significancia de 1% que se acepta la hipótesis de que la media poblacional es 0, y por tanto no hay diferencia significativa.					

Fuente: propia.

Ilustración 67 Análisis de resultados de desplazamientos.

Desplazamiento Modelo 1 (u_z): Sin Amortiguamiento	Desplazamiento Modelo 2 (u_z): Con Amortiguamiento
-	-
0.0039	0.0040
0.0078	0.0080
0.0108	0.0110
0.0137	0.0140
0.0167	0.0170
0.02	0.02
0.02	0.02
0.03	0.03
0.03	0.03

Fuente: propia.

### Ilustración 68 Resultado de análisis en desplazamientos.

Media Modelo 1: Desplazamiento	0.015092	sigma:	0.01050512	N1:	10				
Media Modelo 2: Desplazamiento	0.0154	grados de libertad:	10	N2:	10				
D-estándar Modelo 1: Desplazamiento	0.009492463								
D-estándar Modelo 2: Desplazamiento	0.009686187								
Valor de t estandarizada de la prueba basada en los datos.	-0.050782083	El valor de 6 en la fórmula corresponde al número de datos							
Valor de t estandarizada a un nivel de confianza de .05	2.228138852								
Valor de Z estandarizada a un nivel de confianza de .01	3.169272673								
Conclusión a un nivel de significancia de .05 (5%)	Dado que el valor de la variable Z estandarizada de la prueba basada en los datos es menor que 2.22813885 y mayor que -2.22813885, se concluye a un nivel de significancia de 5% que se acepta la hipótesis de que la media poblacional es 0, y por tanto no hay diferencia significativa.								
Conclusión a un nivel de significancia de .01 (1%)	Dado que el valor de la variable Z estandarizada de la prueba basada en los datos es menor que 3.16927267 y mayor que -3.16927267, se concluye a un nivel de significancia de 1% que se acepta la hipótesis de que la media poblacional es 0, y por tanto no hay diferencia significativa.								

Fuente: propia.

Ilustración 69 Análisis de resultados de periodos.

Periodo Modelo 1 (u_z): Sin Amortiguamiento	Periodo Modelo 2 (u_z): Con Amortiguamiento
3.523	3.603
2.326	2.376
1.641	1.691
0.995	1.085
0.688	0.738
0.584	0.634
0.545	0.595
0.408	0.458
0.327	0.427
0.305	0.355
0.273	0.323
0.189	0.299

Fuente: propia.

### Ilustración 70 Resultado de análisis de periodos.

Media Modelo 1: Periodo	0.983666667	Sigma:	1.06704222	N1:	12			
Media Modelo 2: Periodo	1.048666667	Grados de libertad	22	N2:	12			
D-estándar Modelo Periodo	1.021656528							
D-estándar Modelo 2: Periodo	1.021573771							
Valor de t estandarizada de la prueba basada en los datos.	-0.149213245	El valor de 12 en la fórmula corresponde al número de datos						
Valor de t estandarizada a un nivel de confianza de .05	2.073873068							
Valor de Z estandarizada a un nivel de confianza de .01	2.818756061							
Conclusión a un nivel de significancia de .05 (5%)	Dado que el valor de la variable Z estandarizada de la prueba basada en los datos es menor que 2.07387307 y mayor que -2.07387307, se concluye a un nivel de significancia de 5% que se acepta la hipótesis de que la media poblacional es 0, y por tanto no hay diferencia significativa							
Conclusión a un nivel de significancia de .01 (1%)	Dado que el valor de la variable Z estandarizada de la prueba basada en los datos es menor que 2.81875606 y mayor que -2.81875606, se concluye a un nivel de significancia de 1% que se acepta la hipótesis de que la media poblacional es 0, y por tanto no hay diferencia significativa							

Fuente: propia.

Ilustración 71 Resultados de cortante basal.

Cortante basal Modelo 1 (u_z): Sin Amortiguamiento	Cortante basal Modelo 2 (u_z): Con Amortiguamiento
353,881.32	334,381.33
345,618.54	327,618.46
330,120.35	317,620.35
307,295.75	292,095.75
277,058.65	261,758.64
236,045.37	219,145.36
185,208.20	169,208.19
124,761.57	109,261.56
56,831.58	39,931.58

Fuente: propia.



Ilustración 72 Resultado de análisis de cortante basal.

Media Modelo 1: Cortante basal	246313.4808	Sigma:	116967.3262	N1:	9			
Media Modelo 2: Cortante basal	230113.4697	Grados de libertad	8	N2:	9			
D-estándar Modelo 1: Cortante basal	104664.6887							
D-estándar Modelo 2: Cortante basal	104572.8051							
Valor de t estandarizada de la prueba basada en los datos.	0.21898822	El valor de 9 en la fórmula corresponde al número de datos						
Valor de t estandarizada a un nivel de confianza de .05	2.306004135							
Valor de Z estandarizada a un nivel de confianza de .01	3.355387331							
Conclusión a un nivel de significancia de .05 (5%)	Dado que el valor de la variable Z estandarizada de la prueba basada en los datos es menor que 2.30600414 y mayor que -2.30600414, se concluye a un nivel de significancia de 5% que se acepta la hipótesis de que la media poblacional es 0, y por tanto no hay diferencia significativa.							
Conclusión a un nivel de significancia de .01 (1%)	Dado que el valor de la variable Z estandarizada de la prueba basada en los datos es menor que 3.35538733 y mayor que -3.35538733, se concluye a un nivel de significancia de 1% que se acepta la hipótesis de que la media poblacional es 0, y por tanto no hay diferencia significativa.							

Fuente: propia.

Dado que los valores de la variable T estandarizada de las pruebas basadas en los datos se mantienen dentro de los rangos de confianza del 5% y 1%, se concluye a un nivel de significancia que se acepta la hipótesis y por tanto no hay diferencia significativa.

## CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

Según el análisis desarrollado para 2 edificaciones una de 5 niveles conformado por elementos estructurales de concreto reforzado y otra de 8 niveles conformada por perfiles metálicos, donde se comparó la respuesta obtenida mediante un análisis dinámico con el uso de amortiguamiento sísmico basal y el análisis del costo de construcción para cada caso donde se concluye lo siguiente:

Con base en los resultados actuales del análisis de los datos basados en los experimentos realizados no se evidencia una diferencia estadísticamente significativa entre los valores obtenidos para las variables observables con respecto a la variable de control.

Con la implementación de los aisladores sísmicos basales se obtuvieron mayores periodos de la estructura disminuyendo así las aceleraciones por lo que también disminuyen las fuerzas frente al sismo.

Con la incorporación de los aisladores se obtuvieron menores desplazamientos horizontales de entre piso aumentando la disipación de energía y así mismo aumentando el amortiguamiento en la edificación.

Se logra obtener un presupuesto con menor costo en la construcción de las edificaciones que incorporan los amortiguadores sísmicos ya que su uso permite la reducción del dimensionamiento de los elementos estructurales logrando así conservar en todo momento los desplazamientos permisibles por el código hondureño de construcción (CHOC-08).

Para la propuesta de diseño del aislador sísmico basal con núcleo de plomo (LRB) tanto para la edificación de concreto armado y de estructura metálica se consideró bajo la norma UBC (Uniform Building Code) de 1997 debido a que en la actualidad Honduras no cuenta con normas establecidas para el diseño estructural para aisladores basales.

## Recomendaciones

1. Se realizó un análisis estructural para el edificio de 5 niveles para uso de vivienda, sin aislador sísmico y con aisladores sísmicos. Al obtener los resultados de los análisis estructurales se obtienen las dimensiones de los diferentes elementos estructurales y sus diferentes armados de acero. Ya que el edificio se encuentra bajo las mismas circunstancias siendo el aislador sísmico la única variable de cambio, se puede decir que la diferencia de costo es debido a esta variable. El edificio tiene un costo que es un 27% más bajo con aislador sísmico que sin él. Al analizar la diferencia de precio para las diferentes actividades, se obtienen los siguientes resultados en cuanto a la diferencia de costos:

- Aumento de costo en algunas columnas de hasta 32.91%.
- Disminución de costo en la mayoría de hasta el 60.23%.
- Con aisladores sísmicos el edificio se vuelve un 15% más económico.
- Costo de edificio sin aislador sísmico L. 20,991,247.50.
- Costo de edificio con aislador sísmico L. 17,845,152.71.

En cuanto a costo de construcción es altamente recomendable el uso de aisladores sísmicos para estructuras de concreto de 3 o más niveles.

2. Al analizar la diferencia de precio para las diferentes actividades para la estructura metálica de 8 niveles, se obtienen los siguientes resultados en cuanto a la diferencia de costos:

- Disminución de costo en columnas y vigas de 14.81%.
- Disminución de costo total del 7.67%.

- Con aisladores sísmicos, las diferentes actividades constructivas del edificio se vuelven un 7.67% más costoso.
- Costo de edificio sin aislador sísmico L. 38,852,325.63.
- Costo de edificio con aislador sísmico L. 35,871,858.33.

En cuanto a costo de construcción es más económico el uso de aisladores sísmicos y a su vez, el aporte de seguridad sísmica justifica su consideración.

3. En base a nuestra experiencia particular, consideramos que el software estructural ETABS, es la herramienta de software disponible en nuestro medio, que permite realizar las simulaciones documentadas en este estudio de forma más práctica.
4. Se recomienda considerar y respetar las normas de diseño y construcción propias de cada región.
5. Se recomienda de igual manera como forma complementaria la consideración de la interacción suelo estructura para el análisis del comportamiento de una edificación con el uso de amortiguadores sísmicos basales.

## **CAPITULO VI. APLICABILIDAD**

En este capítulo se describe en base a los resultados obtenidos en la investigación, una propuesta como alternativa viable para el diseño sismo resistente de edificaciones planteando el uso del sistema de aisladores basales.

### **6.1 Propuesta: Uso de amortiguadores sísmicos basales.**

#### **6.2 Justificación**

Se a demostrado mediante los análisis de los resultados obtenidos que con la implementación de los aisladores basales en una edificación es posible la reducción de las aceleraciones transmitidas del suelo a la estructura mejorando de forma notable su desempeño con relación a las deformaciones preservando así la integridad de los elementos estructurales, no estructurales y la seguridad de los ocupantes.

#### **6.3 Objetivo de la implementación**

La implementación de los amortiguadores basales ha demostrado ser una técnica de aislamiento muy efectiva en el transcurso de la historia como han podido demostrar países como Japón, China, Chile, Estados Unidos, Perú, etc. Honduras es un país que no cuenta con centros de investigación científica para el estudio de disipadores sísmicos y/o su posible fabricación, de igual forma no se cuenta con laboratorio para realizar ensayos y obtener resultados experimentales de factor de amortiguamiento y obtener las curvas de histéresis reales de dispositivos.

#### **6.4 Descripción de la propuesta**

Como una primera contribución a la comunidad de ingenieros civiles, permitir la comparación los resultados que se obtienen numéricamente con las herramientas de análisis estructural, y formular hipótesis y modelos sobre la respuesta de estos dispositivos ante diferentes situaciones.

Se pretende cerrar la brecha entre los países desarrollados y los países en vía de desarrollo como lo es Honduras y sociabilizar la información relacionada a las investigaciones a las nuevas tecnologías como es el uso de los dispositivos de control de respuesta sísmica, los aisladores sísmico basales, como una alternativa para cambiar la mente del diseñador para que se involucre en las nuevas tecnologías y así lograr mitigar los efectos sísmicos en las edificaciones con fines de aumentar vida útil del edificio, la seguridad de los usuarios y salvaguardar las inversiones.

Como propuesta de la implementación, se puede considerar adecuado incluir en la malla curricular universitaria de la carrera de ingeniería civil en Honduras el estudio de la respuesta sismo resistente de las edificaciones incorporando el uso de amortiguadores sísmico basales tomando como referencia la experiencia que han tenido países desarrollados como Japón, China, Chile, Estado Unidos, Perú, etc.

## REFERENCIAS

- Agudelo, J. (2014). *Aisladores y disipadores sismicos*.
- Aisladores Sismicos*. (2014). Camara Chilena de Construccion.
- Aisladores Sismicos*. (2014). Seismic Protection Technologies.
- Aislamiento Sismico*. (s. f.). Dynamic Isolation Systems.
- Bazan, E., & Meli, R. (2002). *Diseño sismico de edificios*. Limusa.
- Blandon, M. (2015). *Guia de diseño sismico de aisladores elastomericos y friccion para Republica de Nicaragua*.
- Chopra, A. (2014). *Dinamica de estructuras* (4ta ed.). Pearson.
- Corporacion Educacional de la Construccion*. (2011). Camara Chilena de la Construccion.
- Fragazo, J., & Gordillo, S. (2019). Analisis comparativo de la respuesta sismica de un edificio con y sin aisladores elastomericos en la base. *Banco de desarrollo de america latina*.
- Genatios, C., & Lafuente, M. (2016). *Introduccion al uso de aisladores y disipadores en estructuras*. Banco de desarrollo de america latina.
- Meli, R. (s. f.). *Diseño Estructural* (Segunda). NORIEGA EDITORES.
- Proaño, J. (2014). *Analisis y diseño de un edificio en acero con aisladores sismicos, modelado en ETABS*. Universidad Central de Ecuador.
- Directiva de Colegio de Ingenieros Civiles (2008). Código Hondureño de la Construccion.

# ANEXOS

**TABLE A-16-C—DAMPING COEFFICIENTS,  $B_D$  AND  $B_M$**

EFFECTIVE DAMPING, $\beta_D$ or $\beta_M$ (percentage of critical) <sup>1,2</sup>	$B_D$ or $B_M$ FACTOR
≤ 2	0.8
5	1.0
10	1.2
20	1.5
30	1.7
40	1.9
≥ 50	2.0

<sup>1</sup>The damping coefficient shall be based on the effective damping of the isolation system determined in accordance with the requirements of Section 1665.5.

<sup>2</sup>The damping coefficient shall be based on linear interpolation for effective damping values other than those given.

Tabla A-16-C, UBC 97.

**TABLE 16-R—SEISMIC COEFFICIENT  $C_v$**

SOIL PROFILE TYPE	SEISMIC ZONE FACTOR, $Z$				
	$Z = 0.075$	$Z = 0.15$	$Z = 0.2$	$Z = 0.3$	$Z = 0.4$
$S_A$	0.06	0.12	0.16	0.24	$0.32N_v$
$S_B$	0.08	0.15	0.20	0.30	$0.40N_v$
$S_C$	0.13	0.25	0.32	0.45	$0.56N_v$
$S_D$	0.18	0.32	0.40	0.54	$0.64N_v$
$S_E$	0.26	0.50	0.64	0.84	$0.96N_v$
$S_F$	See Footnote 1				

<sup>1</sup>Site-specific geotechnical investigation and dynamic site response analysis shall be performed to determine seismic coefficients for Soil Profile Type  $S_F$ .

Tabla 16-R, UBC 97.