



FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA PARA  
UNA EDIFICACIÓN DE 10 PISOS UTILIZANDO  
AISLADORES O EL SISTEMA DUAL, AV. REPÚBLICA  
DE PANAMÁ - LIMA**

**PRESENTADA POR**

**ERLIK DAVID DAVILA DIAZ**

**CARLOS HINOJOSA OREJON**

**ASESOR**

**GERARDO CANCHO ZUÑIGA**

**TESIS**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

**LIMA – PERÚ**

**2019**



**CC BY-NC-ND**

**Reconocimiento – No comercial – Sin obra derivada**

La autora sólo permite que se pueda descargar esta obra y compartirla con otras personas, siempre que se reconozca su autoría, pero no se puede cambiar de ninguna manera ni se puede utilizar comercialmente.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>



**USMP**  
UNIVERSIDAD DE  
SAN MARTIN DE PORRES

**FACULTAD DE  
INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA PARA  
UNA EDIFICACIÓN DE 10 PISOS UTILIZANDO  
AISLADORES O EL SISTEMA DUAL, AV. REPÚBLICA  
DE PANAMÁ - LIMA**

**TESIS**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

**PRESENTADA POR**

**DAVILA DIAZ, ERLIK DAVID  
HINOJOSA OREJON, CARLOS**

**ASESORES**

**DR. GERARDO ENRIQUE, CANCHO ZUÑIGA  
MG. RODOLFO RICARDO, MARQUINA CALLACNA**

**Lima – Perú**

**2019**

## ÍNDICE GENERAL

<b>CAPÍTULO I</b> .....	1
<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	1
1.1. Antecedentes generales .....	1
1.2 Descripción de la realidad problemática.....	4
1.3 Identificación y formulación del problema .....	5
1.4 Objetivos de la investigación .....	6
1.5 Justificación e importancia de la investigación.....	7
1.6 Alcances y limitaciones .....	8
1.7 Viabilidad de la investigación .....	9
<b>CAPÍTULO II</b> .....	10
<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	10
2.1 Antecedentes de la investigación .....	10
2.2 Bases Teóricas .....	16
2.3 Definición de términos básicos .....	54
<b>CAPÍTULO III</b> .....	58
<b>METODOLOGÍA</b> .....	58
3.1 Diseño metodológico .....	58
3.2 Variables .....	59
3.3 Técnicas de recolección de datos.....	60
3.4 Técnicas de recopilación de información .....	73
<b>CAPÍTULO IV</b> .....	76
<b>PRUEBAS Y RESULTADOS</b> .....	76
4.1 Edificación con sistema dual sin aislador de 10 pisos.....	76
4.1.1 Datos generales .....	76
4.1.2 Normas empleadas .....	76
4.1.3 Características de los materiales .....	77
4.1.4. Condiciones y consideraciones del terreno para la cimentación .....	79
4.1.5 Estados de carga.....	79
4.1.6 Consideraciones para el diseño en concreto armado .....	80
4.1.7 Estructuración .....	81
4.1.8 Pre dimensionamiento.....	82
4.1.9 Metrado de cargas.....	85
4.1.10 Análisis sísmico .....	86
4.1.11 Normas y parámetros para el análisis .....	86
sísmico .....	86

4.1.12 Análisis estático y dinámico.....	89
4.2 Edificación con sistema de aislamiento.....	100
de 10 pisos.....	100
4.2.1 Normas y documentos de referencia .....	101
4.2.2 Materiales empleados .....	102
4.2.3 Características del proyecto.....	103
4.2.4 Pre dimensionamiento.....	104
4.2.5 Sistema estructural .....	106
4.2.6 Metrado de cargas.....	108
4.2.7 Proceso de aislamiento .....	110
4.2.8 Análisis y diseño .....	113
4.2.9 Parámetros Objetivos de la Estructura .....	120
Aislada .....	120
4.2.10 Propiedades geométricas y dinámicas.....	121
de los aisladores elastoméricos y deslizantes .....	121
4.2.10.1 Aisladores elastoméricos con.....	121
núcleo de plomo y de bajo amortiguamiento.....	121
a) Propiedades Geométricas.....	122
Propiedades Dinámicas.....	123
4.2.10.2 Aisladores deslizantes PTFE.....	129
a) Propiedades Geométricas.....	130
b) Propiedades Dinámicas .....	130
4.2.11 Propiedades Dinámicas del Sistema de.....	133
Aislamiento .....	133
4.2.12 Análisis Dinámico.....	134
4.2.13 Comportamiento Estructural.....	139
4.2.14 Comportamiento No Estructural.....	144
4.2.15 Cargas en Aisladores y Deslizadores .....	144
4.2.16 Capacidad Axial del Aislador .....	145
Elastomérico.....	145
4.2.17. Deformación por corte.....	148
4.2.18 Calculo de fuerza cortante basal .....	153
4.2.19 Diseño de vigas .....	155
4.2.20 Diseño de columnas .....	164
CAPÍTULO V. ....	173
DISCUSIÓN Y APLICACIÓN .....	173
CONCLUSIONES.....	173

<b>DISCUSIONES</b> .....	179
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	180
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	182
<b>ANEXOS</b> .....	185

## ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1: Cuadro de diseño y detalles técnicos</i> .....	37
Tabla 2: Factores de zonas sísmicas .....	55
<i>Tabla 3 : Cuadro de áreas desde el primer piso hasta el décimo piso</i> .....	64
<i>Tabla 4 : Ensayos de densidad</i> .....	68
<i>Tabla 5 : Clasificación de los suelos</i> .....	69
<i>Tabla 6 : Cálculo de asentamientos</i> .....	71
<i>Tabla 7 : Contenido de sales</i> .....	72
<i>Tabla 8 : Los parámetros sísmicos a usarse</i> .....	73
<i>Tabla 9: Condiciones y consideraciones del terreno</i> .....	79
Tabla 10: Cargas muertas.....	85
Tabla 11: Cargas muertas.....	85
Tabla 12: Cargas vivas .....	86
Tabla 13: Factores de zona sísmica .....	87
Tabla 14 : Factor de suelo.....	87
Tabla 15 : Periodos .....	88
Tabla 16 : Tipos de sistemas estructurales.....	88
Tabla 17: Parámetros que se utilizará .....	89
Tabla 18: Espectro de diseño .....	90
Tabla 19: Modo de vibración de la estructura.....	93
<i>Tabla 20: Periodo fundamental de la estructura</i> .....	94
Tabla 21 : Peso de la edificación .....	94
Tabla 22 : Cortante elástico .....	95
Tabla 23: Cortante dinámico.....	95
Tabla 24: Desplazamientos máximos de la edificación .....	96
Tabla 25: Derivas de entre piso.....	97
Tabla 26: Condiciones de la cimentación.....	104
Tabla 27: Cargas muertas.....	109
Tabla 28: Cargas muertas.....	109
Tabla 29: Cargas vivas .....	109
Tabla 30: Parámetros sísmicos .....	112
Tabla 31: Coeficiente de amortiguamiento en función del amortiguamiento Efectivo. .....	117
Tabla 32: Parámetros objetivo de la estructura aislada.....	120
Tabla 33: Parámetros de desplazamiento de la estructura aislada .....	120
Tabla 34: Factores de Modificación Lambda recomendados para.....	121
Tabla 35: Diámetro obtenido.....	122
Tabla 36: Altura alcanzada .....	123
Tabla 37: Diámetro obtenido.....	123
Tabla 38: Rigidez post fluencia.....	125
Tabla 39: Rigidez Inicial .....	125
Tabla 40: Fuerza de Histéresis.....	126
Tabla 41: Fuerza de fluencia obtenida .....	127
Tabla 42: Desplazamiento de fluencia.....	127
Tabla 43: Rigidez efectiva.....	128
Tabla 44: Energía disipada por ciclo.....	128
Tabla 45: Amortiguamiento efectivo en los lazos .....	129

Tabla 46: Diámetro del teflón .....	130
Tabla 47: Fuerza de fluencia de los lazos .....	131
Tabla 48: Rigidez efectiva .....	132
Tabla 49: Amortiguamiento efectivo para los lazos.....	132
Tabla 50: Rigidez efectiva .....	133
Tabla 51: Amortiguamiento efectivo.....	133
Tabla 52: Masas participativas de los principales nodos.....	139
Tabla 53: Desplazamiento máximo de la edificación .....	140
Tabla 54: Derivas de entre piso.....	141
Tabla 55: Peso de la estructura.....	142
Tabla 56: Cortante estático de los 10 pisos .....	142
Tabla 57: Cortante dinámico de los 10 pisos .....	143
Tabla 58: Relación cortante basal / peso .....	143
Tabla 59: Aceleraciones de entre piso .....	144
Tabla 60: Cargas en aisladores y en deslizadores .....	145
Tabla 61: Desplazamiento inicial del aislador (sin deformar).....	150
Tabla 62: Desplazamiento total máximo del aislador (DTM) .....	150
Tabla 63: parámetros de diseño .....	161
Tabla 64: parámetros de diseño .....	161
Tabla 65: parámetros de diseño .....	163
Tabla 66: Cargas y momentos.....	167
Tabla 67: Diseño por corte.....	170

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Cinturón de Fuego del Pacífico .....	2
Figura 2: Sistemas estructurales dual.....	22
Figura 3 Imagen de una estructura sin protección y con protección sísmica.....	24
Figura 4: Esquema de flujo del mecanismo de cómo operan los sistemas activos de protección sísmica. ....	25
Figura 5: Estructura protegida con sistemas activos .....	26
Figura 6: Esquema de una estructura protegida con sistema semi-activo.....	27
Figura 7: Esquema de cómo funciona un sistema de control semiactivo.....	28
Figura 8: Diagrama del mecanismo de cómo operan los sistemas de protección sísmica pasivo .....	28
Figura 9: Detalles de un aislador elastomérico.....	31
Figura 10: Aislador elastomérico tipo LDRB. Vista en corte .....	32
Figura 11: Aislador tipo elastomérico LRB.....	34
Figura 12: Aislador Elastomérico con Núcleo de Plomo (LRB) .....	35
Figura 13: Espectro de la Aceleración (a) vs Periodo Natural (T)] .....	37
Figura 14: Aislador El astomérico de alto Amortiguamiento (HDRB).....	38
Figura 15: Aislador deslizante .....	41
Figura 16: Correcta movilización de apoyos deslizantes planos. ....	42
Figura 17: Esquema de un péndulo friccional.....	43
Figura 18: Esquema Aislador FPS.....	43
Figura 19: FPS instalado.....	44
Figura 20: Edificación en Java, Indonesia (edificación con el plano de aislamiento sobre el terreno). ....	47
Figura 21: Espacio respecto de la pared para el desplazamiento del aislador .....	48
Figura 22: Sistemas de servicio flexibles para dejar el libre .....	49
Figura 23: Factores que influyen en la vulnerabilidad sísmica de edificaciones .....	54
Figura 24: Zona sísmica.....	55
Figura 25 : Operacionalización de variables .....	60
Figura 26: Esquema de ubicación .....	63
Figura 27: Plano en planta .....	65
Figura 28: Características del concreto ( $f'c = 210 \text{ kgf/cm}^2$ ) .....	78
Figura 29: Plano en planta .....	82
Figura 30: Espectro de Pseudo-Aceleraciones .....	91
Figura 31: Plano en planta.....	92
Figura 32: Isométrico en 3D de la edificación de 10 pisos .....	92
Figura 33: cortante basal.....	96
Figura 34: Distorsiones máximas para cada piso.....	98
Figura 35: Gráfica de momento de flexión y corte (atrás) .....	98
Figura 36: Gráfica de momento de flexión y corte (adelante) .....	99
Figura 37: Gráfica de momento de flexión y corte (atrás) .....	99
Figura 38: Gráfica de momento de flexión y corte (adelante) .....	100
Figura 39: Introducción de materiales a usar al programa .....	103
Figura 40: Planta Encofrado 1er piso en ETABS .....	107

Figura 41: Planta primer nivel (sobre sistema de aislamiento) en ETABS.....	108
Figura 42: Nivel de Aislamiento (línea roja). .....	110
Figura 43: Ubicación esquemática de Aisladores en planta .....	111
Figura 44: Espectros de Pseudo aceleración a sismo máximo. ....	113
Figura 45: Lazos superior e inferior .....	115
Figura 46: Partes de un Aisladores Elastomérico con Núcleo de Plomo .....	121
Figura 47: Curva de Histéresis de un aislador elastomérico con núcleo de plomo (LRB) .....	124
Figura 48: Partes de Aislador Deslizante de fricción simple tipo PTFE .....	129
Figura 49: Loop Histerético de Aisladores deslizantes .....	131
Figura 50: Modelo 3d.....	134
Figura 51: Definición de función de espectro de aceleración .....	135
Figura 52: Definición de casos de sismo.....	136
Figura 53: Definición de aislador, propiedades upper en dirección horizontal. ....	137
Figura 54: Definición de deslizador, propiedades upper en dirección horizontal ...	138
Figura 55: Derivas inelásticas sismo X - Y.....	141
Figura 56: Vista en planta y vista en elevación (la reducción del área del aislador debido al desplazamiento total máximo) .....	147
Figura 57: Vista (en planta) de la disminución del área del aislador debido a DTM. ....	148
Figura 58: Gráfica del momento de flexión y corte (atrás) .....	151
Figura 59: Gráfica del momento de flexión y corte (adelante) .....	151
Figura 60: Gráfica del momento de flexión y corte (atrás) .....	152
Figura 61: Gráfica del momento de flexión y corte (adelante) .....	152
Figura 62: viga ubicada en el eje 2 .....	156
Figura 63: Diagrama de envolvente de cortante en el eje 2.....	157
Figura 64: Diagrama de envolvente de momento flector en el eje 2.....	158
Figura 65: Diagrama de envolvente de fuerza axial en el eje 2.....	159
Figura 66: Distribución de las cargas muertas del techo del piso 3 .....	160
Figura 67: Distribución de las cargas muertas del techo del piso 3 .....	160
Figura 68: Cargas de sismo en dirección "Y" .....	160
Figura 69: Diagrama de envolvente .....	160
Figura 70: Distribución del acero por flexión.....	162
Figura 71: Momentos del diseño por corte.....	162
Figura 72: Requerimiento de estribos en vigas .....	163
Figura 73: Requerimiento de estribos en vigas .....	164
Figura 74: Diagrama de envolvente de fuerza axial y momento flector .....	165
Figura 75: Planta de la edificación .....	166
Figura 76: Fierro, espaciamiento desde cada extremo.....	168
Figura 77: Diagrama de iteración .....	169
Figura 78: Espaciamentos de refuerzos .....	171
Figura 79 Comparación del desplazamiento de entrepiso en la dirección X .....	173

## RESUMEN

En el proceso de nuestra historia se han realizado proyectos de edificaciones con una variedad de sistemas constructivos todos ellos buscando mejores respuestas frente a sollicitaciones de eventos sísmicos, es por ello, que en los últimos tiempos viene implementándose un sistema de construcción con aisladores sísmicos para optimizar el desempeño de la estructura y así poder salvaguardar la integridad de física de sus ocupantes; en tal sentido, es muy importante poder analizar las características que tendría este tipo de sistema aislado haciendo uso de las normas peruanas e internacionales.

La tesis presenta un estudio teórico de los principales sistemas de aislación, propiedades mecánicas y físicas, así como, el comportamiento de la estructura por medio de un análisis estático y dinámico con implementación de dispositivos de aislación en la base, cumpliendo los parámetros establecidos por las normas peruanas y norteamericanas.

Se realizó un estudio comparativo del comportamiento de una edificación dual (pórticos y placas) frente a esta misma edificación, pero implementando aisladores sísmicos. Además, se llevó a cabo un análisis detallado de los desplazamientos de entrepisos y máximo para luego poder comparar mediante las distorsiones máximas establecidos por las normas. Posteriormente, un estudio de la cortante basal, modos de vibración, periodos de vibración que al final del análisis sirvieron para establecer el desempeño alcanzado de un sistema aislado.

## **ABSTRACT**

In the process of our history, building projects have been carried out with a variety of construction systems, all of them seeking better responses to seismic events, which is why in recent times a construction system with seismic isolators has been implemented to optimize performance of the structure and thus be able to safeguard the physical integrity of its occupants, in this sense it is very important to be able to analyze the characteristics that this type of isolated system would have, making use of the Peruvian and international regulation.

The thesis presents a theoretical study of the main systems of insulation, mechanical and physical properties, as well as the behavior of the building through a static and dynamic analysis with implementation of isolation devices in the base, fulfilling the parameters established by Peruvian and American standards.

A comparative study of the behavior of a dual building (porches and plates) is carried out in front of this same building, but implementing seismic isolators, for which a detailed analysis of the displacements of mezzanines and maximum is made, to be able to then compare through the maximum established distortions, considering the standards, then a study of the basal shear, mode of vibration, and vibration periods is carried out, so that at the end of the analysis they will serve to establish the performance of an isolated system.

## INTRODUCCIÓN

El estudio realizado surge por la necesidad de poder conocer las nuevas tecnologías que están ingresando al mercado de la infraestructura y particularmente en la parte de edificaciones para así poder realizar una mayor implementación en los nuevos proyectos de edificaciones que requieren un comportamiento antisísmico.

Los proyectos de edificaciones con aislación sísmica se vienen implementando con una mayor frecuencia en países con un mejor desarrollo económico, sobre todo en países sísmicamente altos, ya sean en países europeos como sudamericanos. México y Chile son países con un mayor rango de uso de aisladores. Si bien Perú ha normado el uso de aisladores en hospitales es muy importante, también, implementarlo en edificaciones para vivienda.

Según nuestra historia, Perú es un país sísmicamente alto por encontrarse en el cinturón de fuego, es por ello que hemos registrados sismos de grandes magnitudes como el de Pucallpa (2011), Pisco e Ica (2007) o como el de 1970 en Áncash con una mayor cantidad de pérdidas humanas. Razón por el cual, es sumamente importante realizar un diseño sísmicamente resistente para así poder disminuir daños de toda índole (humana y material). Por esta situación es necesario realizar un estudio detallado de los aisladores.

Esta investigación se realiza cumpliendo estrictamente las normas establecidas en la E.030 al igual que el proyecto de la norma E.031 y los reglamentos internacionales ASCE 7-10 así como los criterios de estructuración de la configuración arquitectónica.

El presente trabajo está dividido en cinco capítulos que constan de planteamiento del problema, marco teórico, metodología, pruebas y resultados terminando con las conclusiones, discusiones y recomendaciones. En el primer capítulo, se desarrolló el antecedente general, objetivos justificación, alcances y limitaciones terminando con la viabilidad.

En el segundo capítulo, los antecedentes de la investigación de proyectos de edificaciones con sistemas de aislación, así como las bases teóricas de los

tipos de sistemas como de los aisladores concluyendo con definiciones de términos básicos.

Como capítulo tres, la metodología: el diseño metodológico de proceso del análisis, así como el de estructuración del sistema dual para introducir los dispositivos de aislación siguiendo los parámetros establecidos por los reglamentos. Además, se definen las variables y las técnicas de recolección de datos.

En el capítulo cuatro, un análisis estático y dinámico haciendo uso el programa ETABS 2017 para analizar los modos de vibración, periodo fundamental, desplazamientos de entrepisos, desplazamientos máximos derivas, cortante basal, esfuerzos de flexión y corte para después realizar una comparación de resultados dos del sistema dual frente al aislado y así encontrar un mejor desempeño

En el capítulo cinco, la descripción de las conclusiones, discusiones y algunas recomendaciones en base a las hipótesis.

# **CAPÍTULO I**

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.1. Antecedentes generales**

A causa de las terribles pérdidas materiales, humanas y los esfuerzos por disminuir los daños ocurridos por los terremotos se ha buscado un mayor desarrollo de las grandes ciudades desde tiempos inmemoriales. Se han ido implementado nuevas tecnologías y técnicas basándose en investigaciones, así como ensayos de laboratorio que fueron desarrollados desde la antigüedad empezando por los artesanos al igual que por los especialistas sobre todo en construcciones más representativas con un valor simbólico, religioso, funerario o de poder.

Una de las técnicas más representativas eran los aislamientos sísmicos, que se fundamentaban en aislar las construcciones del movimiento de la tierra que eran causados por los terremotos. Se utilizaban algunas técnicas de aislamiento artesanales en la antigüedad que consistían en usar capas de piedra bajo la estructura, las cuales, eran cortadas con superficie lisa para luego colocarlas sin mortero. La utilización de la madera era importante como piezas de apoyo. Otro de los materiales importantes eran la piedra y varias capas de arena entre otros.

Era muy importante la utilización de piedra puestas en capas, además, de ser cortadas y aisladas, sin el uso de mortero era uno de los procedimientos más usuales halladas en construcciones antiguas; un claro ejemplo de este procedimiento es la tumba de Ciro “el grande”, hecha en Pasadena (Persia) en 500 A.C

La técnica utilizada que consta de tres capas de piedra cortada sin el uso de mortero, era más conocido como sistema de fundación “orthostat”. Para garantizar un comportamiento adecuado los contornos del sistema de fundación no entran en contacto con otras partes del suelo y la estructura quedando libre el sistema aislado. (Genatios & Lafuente, 2016, p.21).

En los años 70 los científicos se concentraban en tratar de hallar la manera de predecir los eventos sísmicos. Su primer logro ha sido la elaboración del “Mapa de Sismicidad Mundial” que permite saber las regiones donde se producen la mayor cantidad de eventos sísmicos. Y de esta manera se halló una región o área llamada el “Cinturón de Fuego del Pacífico”. En esta región se explulsa más del 80% de la energía aglomerada dentro de la tierra, dando como resultados movimientos telúricos. En la siguiente figura nótese que dicho cinturón pasa por el Perú. (Tavera, 2004, p.3)



Figura 1: Cinturón de Fuego del Pacífico

Fuente: Energiandina, 2016

Viendo que no se podían predecir los movimientos sísmicos, científicos de Japón se centraron a encontrar o desarrollar métodos a gestiones de riesgos cuando se den estos eventos sísmicos. En la

actualidad, dichos métodos dieron resultados favorables, teniendo en cuenta un buen diseño estructural y un alto nivel de cumplimiento de prevención de daños, así también, como mitigaciones, y esto involucra a las personas naturales como jurídicas.

Experiencias parecidas pasaron los países como México y Chile. Estos eventos sísmicos fueron los sismos de Valdivia en 1960 y de Antofagasta en 1995, después de esta situación, el país chileno decidió disminuir la vulnerabilidad, iniciando de una rigurosa norma para la construcción y una educación de calidad en estos temas para su población. Los resultados de estas medidas tomadas fueron comprobados en los eventos sísmicos de la Concepción en 2010 y en el sismo de Iquique en 2014.

En México, el evento sísmico de 1985 dio inicio para encarrilar al país a tomar medidas para que en el futuro ser menos vulnerable frente a sismos. Las normas relacionadas con la ingeniería de sismos cambiaron totalmente: su educación, política entre otros. Las lecciones pasadas ante eventos sísmicos dieron resultado de las medidas que se tomaron y esto se vio reflejado en los sismos recientes.

En caso del Perú, recientemente se han implementado políticas en la gestión de riesgo. Estas medidas buscan lograr ser un país más resistente o ser menos vulnerable frente a situaciones sísmicas. Para saber las regiones de elevado riesgo la manera más sencilla es analizando la historia, esto porque los eventos sísmicos (sismos) son cíclicos y donde ya sucedió lo más probable es que se repita con parecidas características (daños y efectos); mejor dicho, será el mismo escenario que pasó, pero como ahora existe mayor población y cantidad de construcciones las consecuencias podrían ser peores

El país de Chile es uno de las regiones donde se registra una elevada actividad de sismos. Se concentra y libera el 46.5% de la energía total de la tierra (siglo XX), esto según Sergio Barrientos (2004)

experto en sismología., 3 de los 15 sismos (terremotos) han sucedido en Chile desde 1900.

Debido a que Chile está ubicada en la región o zona llamada como “Cinturón de Fuego de Pacífico” y para ser más preciso está pegado a la confluencia de las placas (Nazca y Sudamericana). Debido a que una placa se mueve debajo de otra (Sudamericana por encima de Nazca) en promedio de 0.10 m cada año, se está generando una región de “subducción” de orientación paralela a la costa de Chile. Y en la parte sur de Chile hay una región de subducción y esta es la placa Antártica la que se mueve debajo de la sudamericana. Debido a que se mueve más despacio que el de la placa de Nazca tiene poca actividad sísmica. Otro peligro a nuestro país, también, viene de parte de sismos interplaca y sismos corticales. (Corporación de Desarrollo Tecnológico, 2011, Pág.8)

“Al momento de realizar un diseño estructural o construcción, debemos tener en cuenta la ubicación (Perú) que es una zona de elevada ocurrencia de sismos”. (Cutimbo, 2016, p.11)

## **1.2 Descripción de la realidad problemática**

A diferencia del diseño con aisladores sísmicos, la estructuración de sistemas convencionales son las más conocidas por lo cual el uso es más común; sin embargo, a consecuencias ocasionadas por los eventos sísmicos sobre proyectos de infraestructura a lo largo del tiempo. Se han implementado nuevas tecnologías, debido a pérdidas que estos eventos naturales ocasionan, ya sean pérdidas económicas o humanas.

Si bien es cierto las catástrofes son más grandes cuando el proyecto es más grande o por su ubicación al encontrarse en centros urbanos; empero, las mayores pérdidas son generadas por la poca implementación de nuevos sistemas de construcción como es el uso de nuevas tecnologías, ya sean aisladores y/o disipadores de energía las cuales tienen una mejor funcionalidad frente a grandes eventos sísmicos.

En los últimos tiempos se han implementado el uso de aisladores en grandes proyectos de infraestructura, sobre todo en proyectos como puentes y en hospitales, ya que las nuevas normas han implementado su uso como parte de la estructuración; sin embargo, en edificaciones como viviendas, oficinas aún no se utilizan con frecuencias este tipo tecnologías. En consecuencia, las construcciones son más propensos a sufrir daños estructurales a causa de la ocurrencia de eventos sísmicos. Nuestro país es inminente los eventos por encontrarse en el cinturón del fuego.

La presente investigación realizará la comparación de la vulnerabilidad sísmica de una edificación con sistemas estructurales de pórticos y placas (dual), frente a otro sistema estructural implementando aisladores sísmicos para el cual se usará modelos matemáticos, reglamentos, así como programas de diseño para el análisis sísmico y así poder obtener resultados favorables frente al sistema dual.

### **1.3 Identificación y formulación del problema**

En los proyectos de infraestructura se busca mejorar los estándares de calidad, seguridad y confort, el cual nos lleva a buscar nuevas tecnologías y poder implementarlas adecuadamente. Para ello, se realizan pruebas y estudios comparativos de los resultados y efectos que tiene frente a las convencionales. Se plantean los siguientes problemas generales y problemas específicos.

#### **1.3.1 Título De La Investigación**

Análisis de la vulnerabilidad sísmica para una edificación de 10 pisos utilizando aisladores o el sistema dual; av. República de Panamá - Lima.

#### **1.3.2 Problema General**

¿De qué manera influiría el uso de aisladores sísmicos en el análisis de la vulnerabilidad sísmica para el edificio de 10 pisos ubicado en la av. República de Panamá - Lima?

### **1.3.3 Problema Específicos**

¿De qué manera influiría el uso de aisladores sísmicos en el desplazamiento de entre pisos para el edificio de 10 pisos ubicado en la av. República de Panamá - Lima?

¿De qué manera influiría el uso de aisladores sísmicos en el desplazamiento máximo para el edificio de 10 pisos ubicado en la av. República de Panamá-Lima?

¿De qué manera influiría el uso de aisladores sísmicos en la reducción de la magnitud de las fuerzas cortantes de piso para el edificio de 10 pisos ubicado en la av. República de Panamá-Lima?

## **1.4 Objetivos de la investigación**

### **1.4.1 Objetivo General**

Determinar cuánto influye el uso de aisladores sísmicos en el análisis de la vulnerabilidad sísmica para el edificio de 10 pisos ubicado en la av. República de Panamá-Lima

### **1.4.2 Objetivos Específicos**

- Determinar cuánto influye el uso de aisladores sísmicos en el desplazamiento de entrepisos para el edificio de 10 pisos ubicado en la av. República de Panamá– Lima
- Determinar cuánto influye el uso de aisladores sísmicos en el desplazamiento máximo para el edificio de 10 pisos ubicado en la av. República de Panamá– Lima

– Determinar cuánto influye el uso de aisladores sísmicos en la reducción de la magnitud de las fuerzas cortantes de piso para el edificio de 10 pisos ubicado en la av. República de Panamá - Lima

### **1.5 Justificación e importancia de la investigación**

El proyecto de investigación presenta una justificación técnica. Se realizó una comparación en el comportamiento estructural de una edificación de 10 pisos. Además, se analizó un sistema dual y uno con aislador sísmico el cual permitió mejorar los procesos constructivos, así como los estándares de calidad y seguridad frente a eventos sísmicos.

Evaluar el desempeño estructural del edificio de 10 pisos en la Av. República de Panamá, con una nueva propuesta de aislador sísmico, así poder disminuir los desplazamientos de entrepisos y las aceleraciones que se generan en la estructura, así como disminuir las respuestas sísmicas por lo tanto disminuir la frecuencia fundamental que es mucho menor que la frecuencia con base fija.

En los últimos años se han suscitado eventos sísmicos que como consecuencia trajo grandes daños materiales y sociales al estar ubicados en el cinturón de fuego y en uno de los territorios con mayor concentración de personas, lo cual se convierte aún más insegura y peligrosa para la ciudadanía. De ahí la necesidad de realizar estudios sobre las nuevas tecnologías.

El desarrollo de países como Perú que están en constante crecimiento poblacional y con una mayor concentración en Lima, también, la cantidad de construcciones han aumentado, sobre todo verticalmente a consecuencia de que ya no pueden crecer horizontalmente, por ello, la necesidad de construir edificios cada vez con mayor altura, ya sean departamentos, viviendas, oficinas, usos mixtos y entre otros generan mayor concentración de personas, lo convierte en una zona altamente peligrosa.

A causa de todo lo anterior se pretende comparar y explicar de manera clara el diseño estructural, cálculo estructural y el comportamiento de cada uno de los sistemas estructurales estudiados con el único fin de ejemplificar la disminución de las aceleraciones transmitidas: suelo, estructura, los esfuerzos internos de flexión y corte, así como los desplazamientos de entre pisos y los desplazamientos máximos mediante el uso de aisladores sísmicos y así dejar la evidencia de las mejoras notables en su desempeño estructural y sísmico para preservar la integridad de sus ocupantes y de la estructura.

## **1.6 Alcances y limitaciones**

### **1.6.1 Alcances**

El alcance de la investigación es el estudio de la comparación del análisis de la vulnerabilidad sísmica implementando aisladores sísmicos frente a un sistema dual para una estructura de 10 pisos ubicado en la av. República de Panamá - Perú, para uso de vivienda multifamiliar. Se tomó como referencia los parámetros de diseño de la norma sísmica para las estructuras aisladas, tales parámetros como las consideraciones estáticas y dinámicas se basaron en el RNE, consideraciones como carga y espectro de diseño del tiempo historia para el caso en estudio.

Las conclusiones técnicas del proyecto en estudio tendrán como objetivo promover la aplicación de aisladores sísmicos en proyectos similares o de gran envergadura.

### **1.6.2 Limitaciones**

Algunas limitaciones que se presentaron en el proceso de investigación fue la poca información que se tienen sobre el uso de aisladores sísmicos en el país sobre proyectos similares y/o proyectos ejecutados en zonas aledañas al estudio.

El enfoque de la investigación se basó en el diseño y comparación de resultados de los sistemas aislados frente al sistema

dual de un edificio multifamiliar de 10 pisos en la Av. República de Panamá Lima –Perú.

## **1.7 Viabilidad de la investigación**

### **1.7.1 Viabilidad técnica**

Para el estudio de esta investigación se contó principalmente con informes de proyectos de tesis, así como de algunas publicaciones de libros que están relacionados al tema y así poder elaborar cuadros comparativos de resultados, también, se utilizó los reglamentos, normas E030-2108 y expedientes técnicos de proyectos ejecutados y/o en proceso de ejecución.

### **1.7.2 Viabilidad económica**

El financiamiento para realizar los estudios necesarios de la presente investigación se solventó únicamente por los autores.

### **1.7.3 Viabilidad social**

La construcción en estructuras con aisladores sísmicos brinda mayores beneficios, confort y confianza frente a eventos sísmicos, así como facilidades en cuanto al tiempo de ejecución, costo de inversión a largo del tiempo y seguridad de los usuarios.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 Antecedentes de la investigación**

En los últimos años se ha buscado reducir la vulnerabilidad sísmica haciendo uso de diferentes sistemas de construcción como son las innovadoras técnicas de aislamiento sísmico en las construcciones, las cuales pueden ser aplicadas en edificaciones nuevas, así como en edificaciones construidas, ya que el uso de estas puede reducir la vulnerabilidad de las ciudades ante los terremotos porque evitan el colapso de las estructuras.

En el estudio realizado por **Carmona, P. & Rosas (2015)** se hace una comparación y diseño estructural usando en la base, dispositivos de aislación (HDR); utilizando el programa SAP2000 para saber cómo se comporta estructuralmente una edificación de oficinas contra una edificación de sistema dual (pórtico + placa). El cual identificará y utilizará:

Las variables de diseño según RNE; usando el programa SAP2000 realizará el análisis sísmico dinámico para analizar sus espectros. Evaluar el aislamiento sísmico en su base y esto conlleva a ver los criterios para seleccionar, que variables debemos considerar y corroborar las verificaciones para así tener un funcionamiento óptimo.

Hacer un comparativo entre el sistema con aisladores y el sistema dual (placa + pórtico)

Se concluyó que los desplazamientos relativos horizontales son de menor tamaño con el sistema aislado; y con esto la estructura tendrá un óptimo comportamiento ante los posibles sismos. Al utilizar aisladores en la base de la estructura se tendrá un mayor periodo y esto conlleva a tener menor aceleración dando como resultado menores fuerzas sísmicas; por lo tanto, las demandas de diseño serán menores.

En el sistema aislado, aproximadamente un 49% es lo que disminuye las fuerzas axiales máximas. En este tipo de aislación se logra disminuir en promedio 37% el esfuerzo de corte máximo. Las deflexiones máximas en esta forma de aislación en la base bajan aproximadamente en un 29%.

En el estudio realizado por **Maza, D.N. (2016)**, la región de periodos pequeños, que es la región donde se suscitan dichos movimientos sísmicos más violentos, concluyéndose que en la interface del sistema de aislación sucede casi todo el desplazamiento, entretanto la superestructura se comporta como si esta fuera un cuerpo rígido.

En la edificación aislada, en la interfaz de la aislación se da la máxima deformación y que el resto de la estructura (niveles) se mantiene como en un principio. La edificación sobre el sistema de aislación tiene un comportamiento rígido.

En la tesis de **Mamani, A. (2017)**, se compara el comportamiento de dos diferentes sistemas como son el de aislación y el convencional para el mejor desempeño ante un movimiento de la tierra, ubicado en el Callao – Lima. Explicar cómo se comporta una edificación aislada y ver los defectos que se suscitan al hacer el modelado para un mejor soporte sísmico. Cotejar la manera que se comportan ambos sistemas tanto el de aislación como el convencional.

Reunir todas las anomalías que se puedan dar en los edificios.

Se concluyó que los desplazamientos entrepiso horizontales relativos en el sistema aislado son menores, llevando esto a que la estructura tenga un óptimo comportamiento.

Al utilizar aisladores en la base de la estructura se tendrá un mayor periodo y esto conlleva a tener menor aceleración dando como resultado menores fuerzas sísmicas; por lo tanto, las demandas de diseño serán menores.

En la estructura de aislación las fuerzas axiales máximas disminuyen aproximadamente un 50%. En la estructura de aislación los esfuerzos cortantes máximas disminuyen aproximadamente la tercera parte.

Los momentos flectores máximos en ambos sistemas tienen la misma disminución. La medición objetiva respecto al ahorro en el sistema aislado no puede ser sino hasta la ocurrencia de un evento sísmico ya que es este sistema los daños serán ínfimos respecto al sistema pórtico más placa (sistema dual).

En el estudio realizado por **Valerio, J.J. (2015)**, se comparó la conducta estructural de un edificio fijo contra uno aislado usando 4 tipos aisladores haciendo uso del programa de modelado TABS 2013. También detallar cómo se comporta cada uno de los 4 tipos de aisladores. Hacer el modelado de la edificación por el programa ETABS 2013 y cotejar los resultados de la edificación con los 4 diferentes tipos de aisladores (HDRB, LRB, FPS y RNC), los cuales el RNC fue inventado por la UPC (Barcelona, España).

Se concluyó que, el comparativo entre la edificación fija con la aislada respecto a la deriva de entre piso, el edificio aislado tiene mejor comportamiento arrojando los siguientes factores de desempeño:

Cuando se usa el aislador tipo HDRB tiene una disminución del 74%

Cuando se usa el aislador tipo LRB tiene una disminución del 74%

Cuando se usa el aislador tipo FPS tiene una disminución del 84%

Cuando se usa el aislador tipo RNC tiene una disminución del 86%

Concluyendo que, el comparativo entre la edificación fija con la aislada respecto a la aceleración en el último piso, el edificio aislado tiene mejor comportamiento arrojando los siguientes factores de desempeño:

Cuando se usa el aislador tipo HDRB tiene una disminución del 75%

Cuando se usa el aislador tipo LRB tiene una disminución del 75%

Cuando se usa el aislador tipo FPS tiene una disminución del 93%

Cuando se usa el aislador tipo RNC tiene una disminución del 92%

Concluyendo que, el comparativo entre la edificación fija con la aislada respecto a los esfuerzos de corte basal de la estructura, el edificio aislado tiene mejor comportamiento arrojando los siguientes factores de desempeño:

Cuando se usa el aislador tipo HDRB tiene una disminución del 77%

Cuando se usa el aislador tipo LRB tiene una disminución del 76%

Cuando se usa el aislador tipo FPS tiene una disminución del 78%

Cuando se usa el aislador tipo RNC tiene una disminución del 84%

Concluyendo que, el comparativo entre la edificación fija con la aislada respecto al desplazamiento de la edificación, el edificio aislado tiene mejor comportamiento arrojando los siguientes factores de desempeño:

Cuando se usa el aislador tipo HDRB tiene una disminución del 176%

Cuando se usa el aislador tipo LRB tiene una disminución del 212%

Cuando se usa el aislador tipo FPS tiene una disminución del 352%

Cuando se usa el aislador tipo RNC tiene una disminución del 333%

En el análisis de **Núñez, L.B. (2014)**, se examinó el comportamiento de la edificación, haciendo un comparativo de una estructura convencional contra una estructura aislada. Decidiéndose utilizar el sistema aislado basándose en los resultados obtenidos, logrando diseños más seguros y eficientes, también en base a la norma Ecuatoriana de construcción analizar y diseñar los 2 tipos de sistemas como es el convencional y el aislado.

Con los resultados obtenidos diseñar 3 tipos de aisladores en la base:

El primero aislador elastomérico; el segundo aislador elastomérico con núcleo de plomo y el tercero aislador péndulo friccional.

Mediante el programa ETABS, hacer el modelamiento tanto para la edificación común como para el edificio aislado.

Basándose en los resultados y parámetros analizar cuál de los 3 diferentes tipos de aisladores es el que tiene mejor comportamiento ante un hecho sísmico, y así poder escoger el que el que tenga un mejor diseño sísmico.

Hacer una comparación de costos de ambos sistemas tanto el convencional como el aislado.

Concluyendo una vez obtenidos los resultados y diseño modal de la edificación; el edificio convencional obtuvo un buen comportamiento arrojando los siguientes resultados:

Periodo fundamental igual a 0.47 segundos.

Derivas de entrepiso máximas menores a 0.02

La masa participativa para desplazamiento en X fue de 99.96%

Las masas participativas para desplazamiento en Y fue de 99.99%

Las masas participativas para su rotación en Z fueron de 99.83%

Basando se en los resultados obtenidos la estructura tiene un comportamiento rígido.

Teniendo en cuenta la norma chile NCh 2745 y la norma NEC-11 que hacen mención al comportamiento dinámico de edificaciones con aisladores a las cuales se le sometió al análisis dinámico.

Para el uso del ETABS introduciremos las características propias de los aisladores elastomericos y hallando de cada aislador su propiedad bilineal, tomando como periodo objetivo 2 segundos.

Se usó 84 aisladores de carga máxima 211tn y carga mínima 63 ton con una carga máxima de la edificación de 5254 ton.

De los 3 sistemas (HDR, HDR+LRB y FPS); todos arrojan resultados similares en sus desplazamientos y en sus fuerzas cortantes. Sin embargo, al analizarlos por separado, el que mejor resultado arroja es el mixto; y es el cual se usará en la base del edificio.

En la edificación la estructura con aislamiento presenta derivas de menor tamaño que la edificación convencional; es debido a que al introducir la rigidez del aislador en los cálculos permiten moverse en direcciones principales y con esto se logra que la súper estructura se comporte como un bloque rígido.

La edificación aislada arroja una disminución de derivas de entrepiso de 0.018 – 0.0040; en comparación el sistema aislado con el convencional, el aislado

disminuye en 78%. Con esto se obtiene menores daños en la estructura ante un evento sísmico.

El sistema mixto (LRB + HDR) da como resultado la cortante basal de 468.2 Ton y 2927 Ton el sistema convencional; obteniendo el sistema mixto una reducción del 84%. Y el periodo teórico del sistema mixto es 2 seg, mientras que del sistema convencional es 2.24 seg.

Con el aumento del periodo fundamental de la edificación se logra distanciar de la región de periodos mínimos, ya que es donde las vibraciones son más violentas.

La edificación aislada respecto de la convencional tiene un ahorro económico del 22%, esta comparación no es en base al momento de construirse sino después de un eventual sismo.

Otro estudio fue realizado por **Salinas, Torres y Vallejos** (2014), donde se evaluó la conveniencia de implementar dispositivos sísmicos en la base de un edificio de concreto reforzado, el cual se realizará mediante una comparación técnica del comportamiento de la estructura haciendo uso de parámetros de desempeño sísmico. También se analiza que tan conveniente es económicamente y para ello, se realiza un análisis de costos de construcción, implantación y mantenimiento del sistema convencional frente a un sistema aislado.

El autor de la investigación concluye: implementar sistemas de aislación sísmica en estructuras con características similares a la que es objeto de estudio es técnicamente conveniente, ya que el comportamiento de la estructura aislada es superior al sistema convencional, la misma que mejora los estándares de calidad y seguridad de la estructura como de sus ocupantes. Por otro lado, afirma que económicamente la estructura aislada es competitiva frente al sistema convencional, tomando en cuenta algunos factores puesto que a priori puede llegar a aumentar en costos de inversión, pero a posteriori puede considerarse un costo menor frente al convencional por los costos de mantenimiento que pueden generarse en los sistemas convencionales. Esta conclusión lo realiza basándose en los resultados obtenidos producto de su investigación como es la implementación de aisladores HDR+LRB, el cual

genera una disminución de la aceleración en un 58%, asimismo, afirma que los desplazamientos de entrepiso se eliminan y que la edificación tiene un movimiento horizontal como un cuerpo rígido así logrando un mejor desempeño.

## **2.2 Bases Teóricas**

En este capítulo describiremos algunos conceptos relacionados al tema para un mayor análisis para el desarrollo del tema.

### **2.2.1 Sistemas estructurales**

**Rochel (2012)** afirma que “la distribución de la estructura depende de la geometría en planta como de la altura del edificio, con la ubicación de las cargas, con el dimensionamiento de cada elemento de las estructuras que la contienen y con sus nudos y/o uniones del sistema”. (p.101).

**Bozzo & Barbat (2004)** define como sistema estructural al grupo de elementos cuya labor es resistir las cargas, y que para su dimensionamiento se debe tener en cuenta un conjunto de restricciones propias para cumplir los diferentes estados máximos de rotura y de servicio. Cada uno de los sistemas estructurales están conformados por vigas, columnas y placas, estos nombres son dados a todos aquellos elementos que son el sistema resistente a los esfuerzos horizontales y aportan rigideces considerables. (p.219).

Para la distribución de las estructuras de los proyectos, se empieza con la configuración arquitectónica, dicha configuración nos detalla las especificaciones necesarias para la colocación de los elementos resistentes del edificio a construir. La distribución estructural ocupa un mayor porcentaje de área, determinado por el proyecto arquitectónico. Aquí es donde los encargados del proyecto tanto estructural y arquitectónico estén en constante comunicación. (Bazan & Meli, 2001)

La colocación de las estructuras se realiza de acuerdo a la distribución arquitectónica proyectada en cada planta del edificio, dichos elementos a colocar se componen de columnas, vigas y muros, tales elementos estarán configurados en base a sus dimensiones y materiales de construcción. Cada conjunto de elementos estructurales se divide según a cada material usado y también conforme a la estructuración determinante en las diferentes direcciones. (Norma E.030, 2018, art. 3.2)

### **Sistemas estructurales de concreto armado:**

- a) Pórticos.
- b) Dual.
- c) Muros estructurales.
- d) Muros de ductilidad limitada.

Definición de los diferentes sistemas de estructuración de concreto armado, debido a que estos sistemas de estructuración estarán evaluados en el siguiente trabajo.

#### **2.2.1.1 Sistemas estructurales de concreto armado**

Es el sistema estructural en donde los materiales con los cuales se construyen cada elemento estructural están compuestos por el concreto reforzado.

Mc Cormac & Brown (2011) mencionan que:

La composición de acero y concreto da como resultado el concreto reforzado; de estos el acero aporta la resistencia a la tensión el cual le falta al concreto. Las fuerzas de compresión son resistidas por el acero de refuerzo, también

es utilizado en columnas como así también en otros componentes estructurales.

Mc Cormac & Brown (2011) indican que “El concreto reforzado para la construcción es el material más relevante, ya que puede utilizarse en casi todo el proceso constructivo como en pavimentos, puentes, edificaciones, etcétera. Su gran acogida se debe a sus muchas ventajas”.

#### **2.2.1.1.1 Ventajas del concreto reforzado son las siguientes:**

1. A diferencia del resto de materiales la resistencia a la compresión es respecto al costo es considerable. (p.1).
2. Para eventos que tengan que ver con fuego o con agua, el concreto armado es un excelente material ya que en un incendio de mediana magnitud los elementos que tengan un adecuado recubrimiento solo tendrán un daño leve en la superficie conllevando esto a no fallar. (p.1).
3. Las construcciones con concreto reforzado tienen elevada rigidez. (p.1).
4. El material empleado es reducido. (p.1).
5. Debido a que la resistencia del concreto aumenta con el tiempo, tiene una prolongada vida de servicio para su capacidad de carga sin reducirla. (p.1).
6. Para construcciones como muros, losas, zapatas, pilares y semejantes; es el componente más usado ya que no existen casi para el uso en este tipo de construcciones. (p.1).
7. Por una de sus especiales hace que sea capaz de usarlo en distintas formas como en vigas, losas y columnas, incluso en extensos arcos y/o cascarones. (p.2).
8. Para su elaboración en distintos lugares se hace una alternativa muy fácil, ya que aparte de arena, grava y agua que están presentes en todo lugar, se requiere de una cantidad pequeña de cemento y acero las cuales se puede transportar de la región más cercana. (p.2).

9. Para montarlo no es necesario mano de obra calificada respecto a material como el acero. (p.2).

#### **2.2.1.1.2 Desventajas del concreto reforzado son las siguientes:**

1. Se hace uso de un acero de refuerzo de tensión, ya que esta resistencia a la tensión en baja. (p.2).
2. Debido a que la resistencia aumenta gradualmente en el tiempo, se requiere en sus inicios obras falsas para que le dé sostén hasta que la resistencia propia pueda soportar su propio peso. Y para esto se requiere cimbras. (p.2).
3. Debido a su baja resistencia hace que por ejemplo en claros de gran tamaño donde la carga muerta tiene un gran efecto en los momentos flexionantes, hace que se use agregados para la reducción del peso; sin embargo, el costo de concreto se elevaría. (p.3).
4. Las características del concreto cambian debido a su variación en la proporción y mezclado. También, el control en la producción del mismo en de menor cuidado como los del hacer o madera en láminas. (p.3).

#### **2.2.1.2 Tipos de sistemas estructurales**

##### **a) Sistema Aporticado**

La estructura compuesta por pórticos es aquella estructura que está conformada por vigas y columnas las cuales aportan rigidez frente a las fuerzas horizontales

Considera como estructura aporticada según a los esfuerzos cortantes que actúa en la base de las columnas; más de 80% de la cortante en la base se ejerce en las columnas de los pórticos. En muros de estructura se debe proyectar para que resista el % de acción del sismo que

le corresponde proporcionalmente a su rigidez. (Norma E.030, 2018, art.3.2.1).

En la actualidad, las normas sísmicas se desarrollan respecto a parámetros de resistencia, rigidez y ductilidad, esta última, se refiere a la acción de deformarse, pero sin mermar sus propiedades (su falla está asociada a una deformación inelástica grande). Por consiguiente, la meta es que tenga capacidad para disipar energía dentro del rango de respuesta inelástica. En el desarrollo se mencionan los nombres de pórticos de momento especial o pórticos dúctiles especiales, estos son pórticos en los nudos o conexiones que soportan esfuerzos mediante fuerzas axiales, fuerzas cortantes y flexión. (Morales, R., 2011, p.291).

En el reglamento de la norma E.060, se encuentra parámetros mínimos que se toman en cuenta en los elementos estructurales que conforman los pórticos, con el objetivo de que tengan la capacidad de resistir varias solicitaciones en un punto inelástico, sin que se aparezca una falla crítica de su resistencia.

### **a.1. Sistema de pórticos dúctiles a flexión**

Rochel (2012), en su libro “Análisis y diseño sísmico de edificios”, afirma lo siguiente:

Viene hacer un pórtico tridimensional cuya ductilidad es elevada para que así soporte cargas horizontales por flexión tanto de columnas y vigas. Este pórtico puede poseer una ductilidad intermedia o elevada. Los de alta ductilidad piden tener estrictamente un refuerzo de manera detallada ya sea en las uniones como en sus elementos. (p.103)

### **a.2. Sistema de pórticos**

Al revisar el contenido y según Rochel (2012): “En esta configuración los pórticos resisten los esfuerzos verticales, y las

horizontales son resistidos por pórticos arriostrados con diagonales. Este sistema se aprecia en estructuras de acero”. (p.103)

### **b) Sistema de muros estructurales**

La función de este sistema es soportar cargas verticales y también cargas horizontales. Los muros estructurales reforzados se encargan de soportar las cargas horizontales, mientras que los muros Cargueros se encargan de soportar la carga vertical. (Rochel, 2012,p.102)

Define que el 70% de la fuerza cortante de la base actúa principalmente en los muros principales de concreto armado. Los muros son elementos fundamentales capaces de brindar mayor rigidez a la estructura, por esta razón, son las que controlan los desplazamientos laterales y brindan mayor protección en los eventos sísmicos moderados. (Norma E.030, 2016)

Los muros de concreto armado tienen una medida mínima de 0.15 m. Éstas brindan mayor rigidez y controlan los desplazamientos laterales teniendo en cuenta la configuración de la estructura y su simetría para evitar problemas de torsión en planta. (Norma E.060, 2018, art. 21.9.3.2)

Los muros estructurales deben emplear los requerimientos mínimos con el fin de soportar los sucesivos movimientos de la tierra en el rango inelástico, y que no conlleve a un deterioro determinante de su resistencia (Norma E.060, 2018, art 21.4 y 21.9)

### **c) Sistema dual**

Sobre el sistema estructural dual, Rochel (2012) afirma que es un sistema estructural que posee un pórtico especial consistente a momentos y sin diagonales, en unión con muros estructurales o pórticos con diagonales. Para la clasificación como sistema dual debe cumplir con los requisitos siguientes:” (p.64).

- El pórtico consistente a momentos, sin diagonales, principalmente completo, debe ser capaz de resistir los esfuerzos verticales. (p. 64).
- El diseño de cada pórtico resistente a momentos trabajando de manera independiente debe de soportar de manera mínima el 25% de la cortante del sismo en la base. La combinación del pórtico resistente a momentos con los pórticos diagonales o muros estructurales son los que en conjunto soportan las fuerzas horizontales. (p. 64)
- El diseño de ambos sistemas tienen que tener la capacidad de resistir el total de la cortante en la base trabajando de manera conjunta, de manera proporcional a sus propias rigideces relativas, teniendo en cuenta la relación del sistema dual con los distintos niveles de la estructura. La cortante sísmico en la base tiene q ser mayor del 75%, en pórticos con diagonales o muros estructurales. (Rochel, 2012, p. 64)

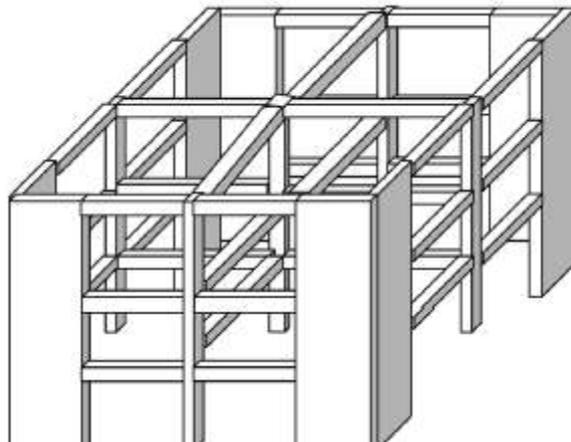


Figura 2: Sistemas estructurales dual

Fuente: Libro de análisis y diseño sísmico de edificios.

(Roberto Rochel Awad, 2012)

La fuerza cortante basal que se generan en los muros de concreto armado debe estar dentro del 20% al 70%. La norma E.060, con el objetivo de ejecutar el capítulo 21, de la norma mencionada, distribuye a los sistemas combinados en:

Dual tipo I: Si en la base de la edificación, los esfuerzos cortantes inducidos por los terremotos en los muros este por encima de los 60% del cortante total y por debajo del 71%.

Dual tipo II: Si es que, en la base de la estructura, el esfuerzo inducido por el sismo en el muro este por debajo del 60% del cortante máximo. (Norma E.030, 2016).

El sistema combinado o dual, frente a los demás sistemas estructurales mencionados con anterioridad, tiene un mejor desempeño desde el enfoque sismorresistente, puesto que emplea la resistencia y rigidez de los muros estructurales para controlar las derivas, en junto con la ductilidad de la estructura aporricada. (Norma E.030, 2016).

Menciona los criterios mínimos a considerar y emplear en cada uno de los elementos estructurales del sistema combinado (combinado tipo I y combinado tipo II). (Norma E.060, 2018, art. 21).

Para la estructuración de edificaciones con el sistema combinado tener en cuenta que la densidad de los muros no debe ser baja, para que la seguridad de las estructuras no dependa de unos cuantos muros de concreto armado.

#### **d) Sistema de muros de ductilidad limitada**

Este sistema posee muros de concreto armado resiste las fuerzas horizontales, ya que el alma tiene 0.10 m o 0.12 m.

Las estructuras de este tipo de sistema tienen muros cuyo espesor es reducido, eliminando extremos confinados y el refuerzo vertical se coloca en una sola malla por este motivo, no despliegan grandes desplazamientos inelásticos.

Usualmente se utilizan en edificaciones de conjuntos de viviendas, y donde los parámetros los podemos obtener haciendo uso de las normas vigentes. Sin embargo, la gran dificultad que se tiene en esta clase de disposición estructural es cuando se da a los muros la

capacidad de deformación inelástica; y con esto lograr obtener los requisitos o criterios establecidos en la norma E.030 . (Norma E.030,2016)

### 2.2.2 Protección sísmica

Oviedo, J.A., & Duque, M. (2006) menciona “cuando se hace el aislamiento de la edificación, se implementa un mecanismo en la base para que así se pueda captar de forma parcial la energía; haciendo que la energía que pasa del nivel del piso hacia arriba sea de menor intensidad” (p. 109).

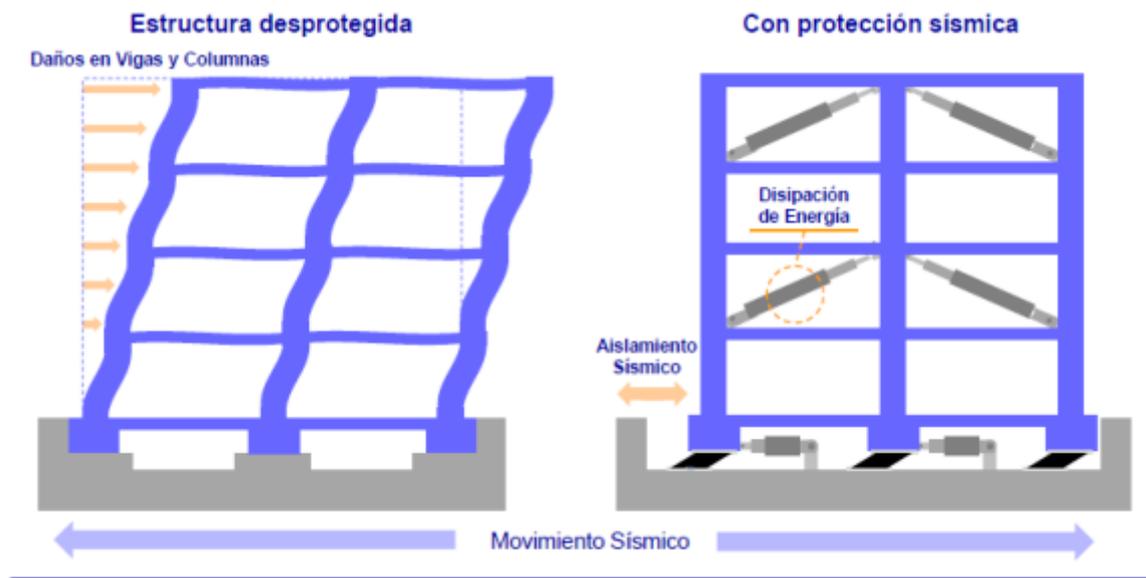


Figura 3: Imagen de una estructura sin protección y con protección sísmica

Fuente: Empresa Mageba, 2013.

#### 2.2.2.1 Sistemas de protección sísmica

Genatios & Lafuente (2016) mencionan que: el sistema que más se utiliza actualmente para manejar las respuestas sísmicas de las diferentes estructuras están basados en sistemas de aislación sísmica, así como de disipación de energía. En conclusión, el objetivo de estos

sistemas es de mantener la adecuada funcionalidad de las estructuras, así como la de salvaguardar la integridad física de los residentes del edificio en caso de la ocurrencia de algún evento sísmico leve o severo. (P.37)

Los sistemas de protección de sismos en edificaciones usados actualmente tienen diseños que van desde lo convencional hasta sistemas 100% automatizado. Existe 3 tipos de sistemas de protección los cuales son: Activos, semi – activos y pasivos. (Corporación de Desarrollo Tecnológico, 2011, p.12)

### 2.2.2.1.1 Sistemas activos

CDT (2011) afirma que “están constituidos por sistemas de control, sensores actuantes al movimiento, actuadores dinámicos y procesadores de datos”. (P.12).

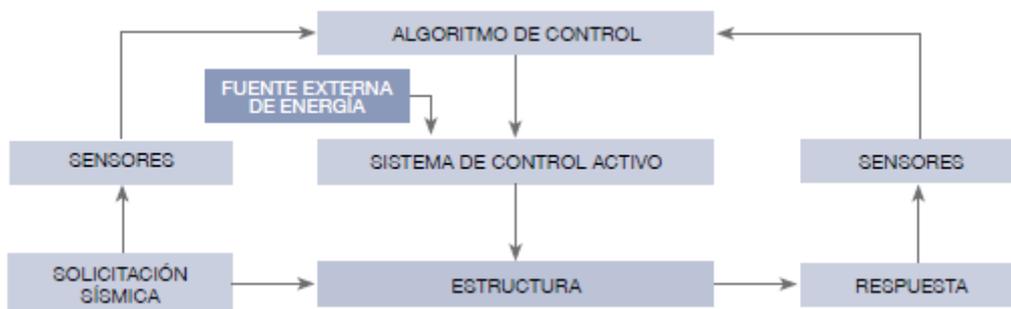


Figura 4: Esquema de flujo del mecanismo de cómo operan los sistemas activos de protección sísmica.

Fuente: CDT – Cámara Chilena de la Construcción, 2011.

Este tipo de sistemas al registrar un movimiento responde de manera que aplica fuerzas necesarias para así compensar los efectos sísmicos, todo esto a que en tiempo real se monitorea la respuesta sísmica de la edificación. Su funcionar se debe a que las agitaciones externas y la respuesta de la estructura son medidas por los acelerómetros (sensores),

ubicados en lugares importantes de la estructura. Las fuerzas que usan este tipo de sistemas son puestas por actuadores sobre las masas, tendones activos o arriostres. La desventaja principal de este tipo de sistema es por qué necesita una fuente de alimentación continua externa para que pueda funcionar en el lapso de tiempo que dure el sismo. Y aun así son la mejor opción para una protección sísmica, puesto que permite ir manipulando la respuesta en tiempo real de los dispositivos; lo que conlleva a la estructura a tener un óptimo comportamiento estructural a lo largo de la ocurrencia del movimiento telúrico. (CDT, 2011, p. 12).

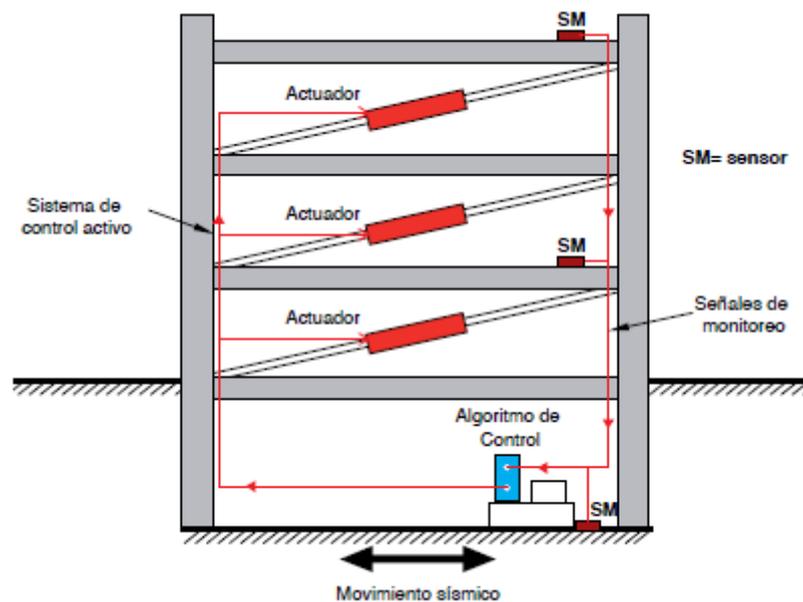


Figura 5: Estructura protegida con sistemas activos

Fuente: CDT – Cámara Chilena de la Construcción, 2011.

### 2.2.2.1.2 Sistemas semi-activos

Estos sistemas son muy parecidos a los sistemas activos de protección sísmica, ya que cuenta con un monitoreo de la respuesta estructural en tiempo real. Pero la diferencia respecto a los sistemas activos es que no realizan fuerzas para el control de manera directa a la estructura. Estos sistemas varían las propiedades mecánicas en tiempo real de dichos

dispositivos. Algunos de estos dispositivos son los amortiguadores, dispositivos de fricción y disipadores magneto reológicos. (CDT, 2011, p.13)

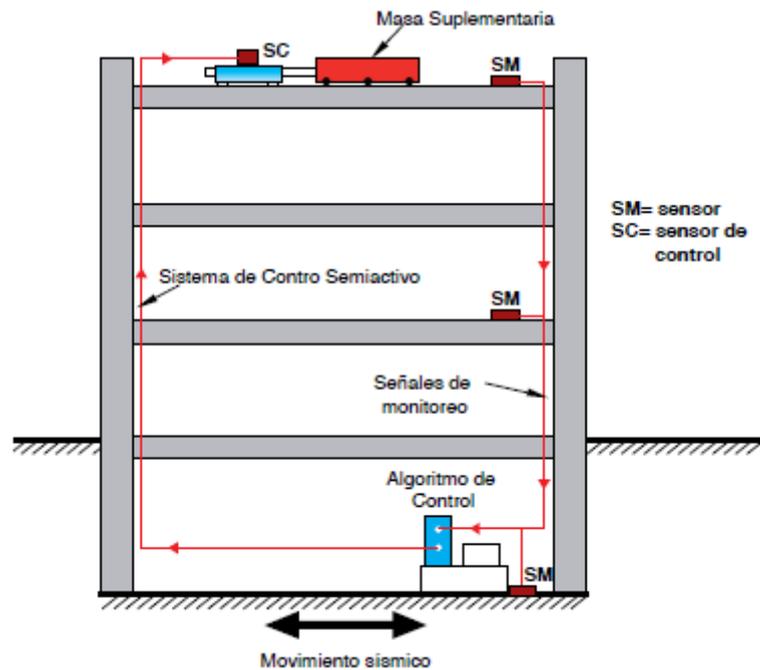


Figura 6: Esquema de una estructura protegida con sistema semiactivo.

Fuente: CDT – Cámara Chilena de la Construcción, 2011

Este tipo de sistemas tienen un diagrama de funcionalidad muy parecido al de los sistemas activos; pero la diferencia entre estos, es que este sistema tiene el control de la estructura por medio de dispositivos reactivos. Nos permite variar las propiedades mecánicas en la estructura ósea, su amortiguamiento y rigidez son manejables, sumando a esto que los gastos energéticos no son elevados. (Villarreal & Oviedo, 2009, p.27)



Figura 7: Esquema de cómo funciona un sistema de control semiactivo

Fuente: Libro de Edificaciones con Disipadores de Energía, 2009

### 2.2.2.1.3 Sistemas pasivos

Este tipo de sistema es el más utilizado actualmente. Dentro de este tipo de sistema se encuentran los disipadores de energía y los aisladores sísmicos de base. Estos sistemas posibilitan reducir la respuesta dinámica dado que se elimina energía en forma de calor, gracias a dispositivos fabricados para cumplir este tipo de función. De los 3 tipos de sistemas activos, semiactivos y pasivos; este último es el más usado. (CDT, 2011, p.13)

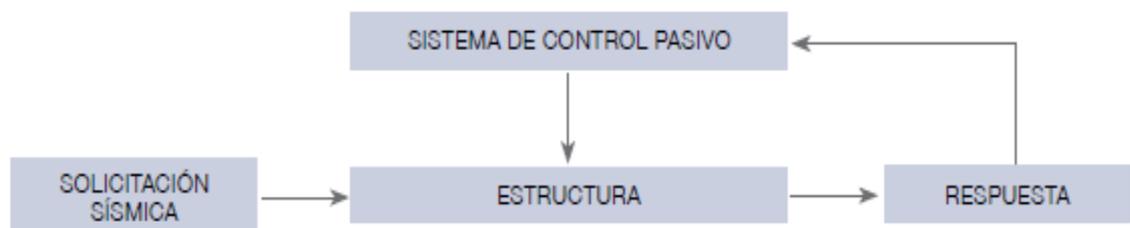


Figura 8: Diagrama del mecanismo de cómo operan los sistemas de protección sísmica pasivo

Fuente: CDT – Cámara Chilena de la Construcción, 2011

### **2.2.2.2 Disipación de energía**

CDT (2011) afirma que “desarrollados con el fin de dispersar la energía producto de los movimientos de la tierra o cualquier movimiento dinámico, y de esta manera lograr mantener de la mejor manera la estructura debido a que los daños sufridos son leves”. (p.13)

Los disipadores de energía ayudan a elevar el nivel de amortiguamiento de la edificación. Su ubicación en lugares fundamentales de las estructuras, ayudan a disminuir la respuesta estructural. (CDT, 2011, p.14)

### **2.2.2.3. Aislación sísmica**

CDT (2011), en el libro “Protección Sísmica de Estructuras” afirma que: El fundamento de la aislación sísmica se basa en la separación de la súper estructura de la oscilación del suelo, por medio de elementos elásticos en la dirección horizontal, usualmente colocados entre la estructura su fundación o subestructura.

“La implementación de dispositivos sísmicos generan la reducción de rigideces de la edificación, llegando a obtener que el periodo de vibración del edificio aislado se el triple del edificio sin aislar”. (CDT, 2011, p.14).

Para entender de aislamiento sísmico se debe comprender que:

El aislamiento sísmico se usa para proteger de un sismo a las estructuras nuevas como ya existentes que necesitan que se refuercen o que se rehabiliten. El aislamiento busca disminuir los esfuerzos hasta que estos sean aguantados por la estructura ya existente. (CDT, 2011, p.14)

### **2.2.3 Aisladores Sísmicos**

Genatios & Lafuente (2016) mencionan que:

Es un dispositivo muy flexible que está colocado entre la fundación y la estructura con el único fin de disminuir los movimientos sísmicos de la estructura por cada ocurrencia de los terremotos puesto de no

existir los aisladores la estructura recibe todo el movimiento del suelo y al colocar los aisladores esto disminuye en grandes proporciones los movimientos sísmicos. Este sistema será conocido como estructura aislada, mientras que el sistema sin el aislador será denominado estructura de base fija. (p.49)

Genatios & Lafuente (2016) mencionan que:

Una de las funciones de los aisladores es la de modificar las propiedades dinámicas de las estructuras. Por su gran flexibilidad tiende a aumentar el periodo fundamental de vibración de la estructura con el cual disminuyen las aceleraciones en grandes cantidades llegando a disminuir significativamente las deformaciones de la estructura concentrándose todo aquello en los aisladores sísmicos. Otra de las características de los aisladores es que tienen un efecto de amortiguamiento y así una disipación de energía introducidos por los terremotos. (p.50)

Genatios & Lafuente (2016) mencionan que:

El aislador sísmico es instalado para evitar transmitir el movimiento horizontal de la fundación que son producidos por los sismos para así no ser transmitidos a las estructuras. Estos aisladores no se diseñan para apartar movimientos verticales, a causa de dos razones: los movimientos sísmicos producen vibraciones verticales de menor intensidad frente a las horizontales, otra razón tiene que ver con la estructura se hacen con énfasis en la alta rigidez y resistencia a las cargas verticales. (p.50)

### **2.2.3.1 Tipos de aisladores sísmicos**

Existe una gran cantidad en los diseños de los aisladores entre las cuales se pueden considerar dos tipos.

#### **2.2.3.1.1 Aisladores elastoméricos**

Genatios & Lafuente (2016), mencionan que: Los elastomericos son un elemento que se caracterizan en generar grandes

deformaciones básicamente laterales. Se caracterizan por ser pequeños cilindros en forma de capas con un material flexible que puede ser de goma con resistencias altas, generalmente estos van acompañado con capas de acero en forma de lámina las cuales aportan una gran resistencia a la compresión producto de las cargas verticales producidos por las estructuras, la combinación de estos dos materiales restringen las deformaciones excesivas dando un resultado de aislamiento con una alta rigidez vertical frente a la baja rigidez lateral, la goma que es un material flexible puede ser natural o sintético. (p55).



Figura 9: *Detalles de un aislador elastomérico.*

Fuente: Libro de aisladores de base elastoméricos y FPS, 2008

Este tipo de aislador está constituido por un conjunto de láminas de forma plana de elastómeros entreveradas con capas de acero. Estas láminas de acero y elastómero se vulcanizan dándoles una geometría cuadrangular o circular. Con esta distribución lo que se llega a tener la flexibilidad lateral que se requiere para el desplazamiento lateral relativo entre el suelo y lo aislado. Las rigideces verticales de la columna y del sistema tienen que ser análogos. El funcionamiento de los aisladores depende principalmente de la amplitud que estos se deforman en el momento a la que son sometidos; pero también dependen son por ejemplo del envejecimiento y

de la frecuencia del movimiento. Hay varios tipos de aisladores dentro de los cuales están los NRB, LDRB, HDRB y los LRB. (CDT, 2011, P.24)

Aguiar, Almazán, Dechent & Suarez (2008) indican que: El aislador elastómero está constituido por una alternancia de capas de goma y placas de acero y para que se adhieran ambas, se vulcaniza. De esta forma la dureza del apoyo o rigidez es manejada por el grosor de las láminas de goma; mientras sea de mayor grosor de estas capas mayor es su flexibilidad del apoyo en la orientación horizontal. Y la rigidez vertical del apoyo es manejada por la elevada rigidez de las placas de acero que frena la expansión lateral de la goma consecuencia de la presión vertical ejercida. (p.11)

#### **2.2.3.1.2 Aisladores elastoméricos de bajo amortiguamiento (LDRB)**

Del conjunto de aisladores elastómeros, los LDRB son los más comunes.

Este tipo de aisladores LDRB tienen la característica de presentar un amortiguamiento bajo entre 2 a 5% como máximo las cuales por lo general son usados en combinación con otros dispositivos como son los disipadores de energía para dar amortiguamiento al sistema, las cuales tienen la facilidad de fabricación. (CDT, 2011, p.25)



Figura 10: *Aislador elastomérico tipo LDRB. Vista en corte*

Fuente: CDT - Cámara Chilena de la Construcción, 2011

Los dispositivos LDRB son los más comunes con una amortiguación baja que se encuentran entre el 2 al 5% como máximo por el cual la utilización es en combinación con otros dispositivos como los disipadores de energía que brindan amortiguamiento al sistema y son fabricados fácilmente.(Corporacion del Desarrollo Tecnologico, 2014)

#### **2.2.3.1.3 Aisladores elastoméricos con núcleo de plomo (LRB)**

Los dispositivos con núcleo de plomo LRB son un tipo de aisladores elastoméricos muy similares a los LRDB, con la diferencia de que los LRB tiene un núcleo de plomo que se encuentra en la zona central del aislador con el fin de llegar a aumentar el amortiguamiento del sistema llegando a valores cercanos al 25 y 30% al momento de llegar a deformarse lateralmente el dispositivo de aislación a lo largo de la ocurrencia del sismo, el plomo tiene la propiedad de fluir llegando a las deformaciones plásticas para luego disipar energía transformada en calor. Al finalizar el sismo, el aislador regresa a la estructura a su posición inicial gracias a la existencia de la goma del aislador, mientras que el plomo se recristaliza. (CDT, 2011, p.25)



Figura 11: *Aislador tipo elastomérico LRB.*

Fuente: CDT - Cámara Chilena de la Construcción, 2011

Estos dispositivos son fabricados con materiales de caucho alternado con acero en forma de placa tales materiales son vulcanizados en forma conjunta llegando a obtener capacidades de amortiguamiento mayores al 20% debido a la incorporación del núcleo de plomo. La fabricación de estos dispositivos es de acuerdo al desplazamiento, capacidad portante, amortiguamiento requerido, rigidez lateral, rigidez horizontal de cada proyecto. (Sísmica, 2013)



Figura 12: *Aislador Elastomérico con Núcleo de Plomo (LRB)*

Fuente: Empresa Sísmica, 2013

Por otro lado, la empresa mageba (2013), nos indica que:

El apoyo elastomérico con núcleo de plomo funciona bajo el criterio de aislación base y disminuye la energía que transfiere del terreno a la edificación en caso de sismos. Este sistema, que consta de un elastómero reforzado con láminas de acero y el núcleo de plomo, está fabricado para el soporte del peso de la edificación e incorporar elasticidad por encima del límite de fluencia. El elastómero tiene la función de aislar y recentrar el apoyo durante un sismo. El plomo tiende a experimentar una deformación plástica durante las acciones de cargas cortantes, disipando energía producida por el sismo en forma de calor.

## **Aplicaciones**

La incorporación de dispositivos elastoméricos con núcleo de plomo es uno de los sistemas de aislación sísmica más empleados en el mercado, logrando demostrar su eficiencia en varios terremotos. Este sistema ha ido mejorando y simplificándose con el pasar de los tiempos para así permitir al profesional especializado realizar simulaciones de las respuestas de los dispositivos de forma sencilla, mediante la aplicación de modelos bilineales.

## **Materiales**

- Placas de refuerzo, placas superior e inferior: acero al carbono laminado conforme a ASTM A36 o A570
- Elastómero natural tipo NR, grado 3 según la norma ASTM D4014-81
- Plomo con pureza mínima del 99.9%

## **Beneficios**

- Disipación de energía en forma de calor durante la ocurrencia de sismos que conllevan a un diseño estructural óptimo para así disminuir los costos.
- Una mejor solución para los diferentes tipos de edificaciones.
- El recentrado luego de los eventos sísmicos permiten sostener la funcionalidad de la edificación.
- Sistema utilizada y confiable en varios proyectos durante muchos años con una trayectoria en diversas aplicaciones en todo el mundo.

Tabla 1: Cuadro de diseño y detalles técnicos

LASTO®LRB – $d_{bd} = 400\text{mm}$										
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)	$\xi$ (%)
500	160	326	3,600	1,250	315	755	1.1	1.89	814	29
600	176	350	5,950	2,150	420	990	1.45	2.49	1,346	28
700	192	374	8,750	3,450	515	1230	1.8	3.09	1,991	28
800	208	398	10,950	5,100	620	1500	2.17	3.73	2,725	26
900	216	410	16,250	6,750	690	1750	2.65	4.38	3,658	26
1000	224	422	18,750	10,100	760	2030	3.16	5.07	4,693	25

Nota importante: esta tabla debe utilizarse exclusivamente como referencia preliminar para el diseño del apoyo. El diseño y los detalles técnicos definitivos se definen una vez se consideran todos los parámetros del proyecto en su fase final.

**Legend**

$d_{bd}$	Desplazam. sísmico de diseño	$F_1$	Fuerza de estiramiento
D	Diám. del bloque elastomérico	$F_2$	Fuerza horizontal máxima (con dbd)
$t_e$	Altura total del elastómero	$K_r$	Rigidez horizontal
$H_b$	Altura total del aislador	$K_{eff}$	Rigidez efectiva
$N_{sd}$	Carga máxima vertical de servicio	$K_v$	Rigidez vertical
$N_{Ed}$	Carga sísmica máxima vertical	$\xi$	Grado de amortiguación

Fuente: Empresa Mageba, 2013

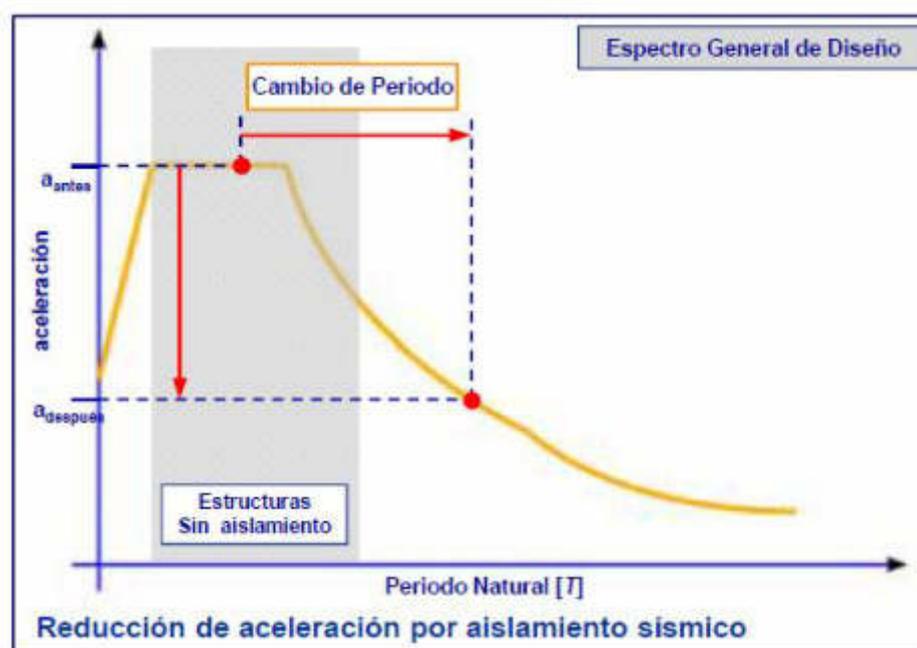


Figura 13: Espectro de la Aceleración ( $a$ ) vs Periodo Natural ( $T$ )

Fuente: Empresa Mageba, 2013.

#### 2.2.3.1.4 Aisladores elastoméricos de alto amortiguamiento (HDRB)

“Los HDRB son aisladores elastoméricos cuyas láminas de elastómeros son fabricados adicionando elementos como carbón, aceites y resinas, con el fin de aumentar el amortiguamiento de la goma hasta niveles cercanos al 10-15%”.

CDT (2011), en su libro Protección Sísmica de Estructuras afirma lo siguiente:

Los dispositivos del tipo HDRB tienen un alto grado de sensibilidad frente a la variación de temperatura y frecuencia comparado con los dispositivos LDRB y LRB. Los dispositivos HDRB en los primeros ciclos de carga presentan una gran rigidez para luego ser estabilizados en los siguientes ciclos. Estos aisladores, así como los LRB, generan la flexibilidad y la disipación de energía en un solo dispositivo con el fin de que su elaboración sea sencilla de llevar a cabo.



Figura 14: *Aislador El astomerico de alto Amortiguamiento (HDRB)*

Fuente: Empresa Sísmica, 2013.

El apoyo elastomérico de alta amortiguación HDRB se constituye de capas permutadas de láminas de acero y el elastómero vulcanizados. Este aislador nos brinda una elevada amortiguación casi hasta el 16%, resultado de un compuesto elastómero mejorado que brinda más capacidad de desplazamiento y amortiguación, también una elevada

oposición al desgaste mecánico. Están protegidas con el elastómero, ya que esta incrustado totalmente con las láminas de acero, de esta manera, protege de la corrosión. El elastómero tiene que estar vulcanizado a las láminas superiores e inferiores. (Mageba, 2013)

### **Aplicaciones**

Este dispositivo al juntar aislamiento y disipación hace que sea muy usado en las estructuras. Respecto a la protección sísmico es muy importante reducir el desplazamiento horizontal instrumento y el paso de la energía a la superestructura.

En circunstancias comunes estos apoyos se comportan como apoyos elastoméricos normales. Para estructuras con reducido espacio para la ubicación de los apoyos y también para los instrumentos de aislación, estas funciones se pueden conjuntar en un solo dispositivo.

### **Materiales**

- Placas para refuerzo (inferior y superior)
- Acero de carbono en láminas conforme a la norma ASTM A36 o A570
- Elastómero natural (tipo NR) de grado 3, según norma ASTM D4014-81

## **Beneficios**

- En el lapso del evento sísmico se disipa una gran cantidad de energía, que conlleva a una estructura óptima y así reduce costos.
- Transmisión conjunta de las cargas sísmicas como las de servicio, disminuyendo así la dimensión necesaria para los dispositivos.
- Resultado efectivo para una gran cantidad de estructuras.
- Solución óptima para reequipar u optimizar estructuras ya existentes.
- Debido al recentrado al concluir el evento sísmico, permite a la estructura seguir funcionando de manera normal.
- Sistema muy confiable y probada.

### **2.2.3.1.5 Aisladores deslizantes**

Genatios & Lafuente (2016) mencionan que:

Basados en apoyos con lamina metálicas en el cual se producen traslaciones relativas entre dos planchas. Cada una de ellas van puestas tanto a la estructura como a la fundación. El desplazamiento que se genera entre las dos planchas permite aislar la superestructura de la subestructura por lo que la energía sísmica no se transmite del todo. Estos dispositivos deben de producir fricciones en reducidas cantidades para transmitir una parte de la fuerza de corte; sin embargo, debe de ser suficiente la fricción para grandes cantidades de viento o leves movimientos sísmicos a fin de no producir movimientos constantes en la estructura. (p.57)

También denominados “deslizadores flexionales” usan un plano de deslizamiento, usualmente de acero inoxidable sobre la que se resbala una plancha recubierta de PTFE (Politetra Fluoro Etileno), sobre la que se sostiene la estructura. La superficie o área de deslizamiento posibilita el movimiento de manera horizontal de la estructura independientemente del suelo. Este tipo de aislamiento que por medio de las fuerzas de rozamiento posibilita disipar energía durante el lapso de tiempo que dure el sismo. El coeficiente de fricción de este aislador está sujeto a constantes como son: la

presión del contacto, velocidad, estado de las áreas que están en contacto, temperatura y envejecimiento. (CDT, 2011, p.25)

Sísmica (2013), indica que “son aparatos que posibilitan un desplazamiento entre su parte inferior y superior por medio del resbalamiento del PTFE y acero (inoxidable). Estos aparatos también tienen poco grado de rotación”.



Figura 15: *Aislador deslizante*

Fuente: Empresa Sísmica, 2013.

#### **2.2.3.1.6 Apoyos deslizantes planos ( $Fr \ll 10\%$ )**

Estos apoyos son los más sencillos dentro de los aisladores, ya que están compuestos de 2 superficies que no tienen un elevado coeficiente de fricción posibilitando movimientos horizontales y soportando cargas verticales. Para que el deslizador tenga un mejor desempeño se usa una capa de elastómero. Usualmente ambas superficies son de un polímero de reducida fricción y de acero inoxidable. En algunos casos adicionalmente se requiere el uso de disipadores. A razón de evitar deformaciones residuales al concluir el evento sísmico, se tiene que implementar sistemas para la restitución, usualmente aisladores (con núcleo de plomo o elastoméricos) que regrese a la edificación a su ubicación de inicio. (CDT,2011, p.26).



Figura 16: *Correcta movilización de apoyos deslizantes planos.*

Fuente: Universidad Católica del Maule (Chile), 2016

#### **2.2.3.1.7 Péndulos friccionales (FPS, Friction Pendulum System)**

Este sistema dispone de un deslizador acoplado sobre una superficie cóncava. Tienen ventaja sobre los deslizantes planos por ser autocentrantes. Una vez concluido el sismo la edificación vuelve a su posición que estaba inicialmente debido a la forma de su superficie y a la fuerza gravitacional. (CDT, 2011, p.26)



Figura 17: *Esquema de un péndulo friccional*

Fuente: CDT - Cámara Chilena de la Construcción, 2011.

Aguiar, Almazán, Dechent & Suarez (2008), indican que: Consta de un resbalador que esta acoplado en una superficie hecha de acero inoxidable. Sus superficies son esféricas (acero inoxidable pulido) y el deslizador acoplado es recubierto de teflón (coeficiente de fricción de 5% - 7%). Estos apoyos están cerrados y colocados con el plano deslízate con la boca hacia abajo para que así no se contaminen con la interfaz de desplazamiento. (p.13)

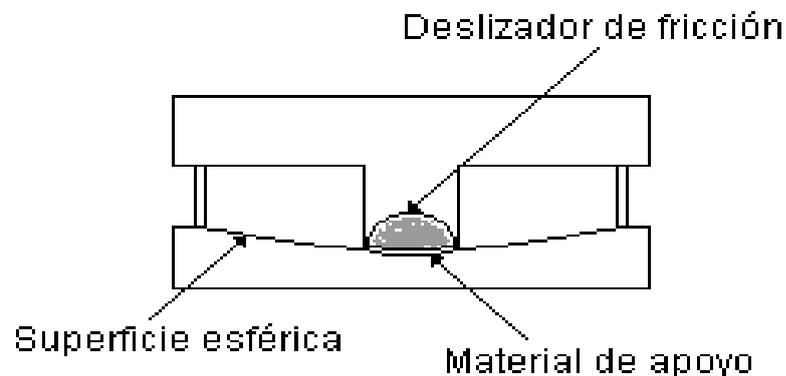


Figura 18: *Esquema Aislador FPS.*

Fuente: Aisladores de base elastoméricos y FPS, 2008.

El funcionamiento está basado en las propiedades del péndulo, el cual, su periodo de la edificación no está sujeta a la masa. De la gama de los elastoméricos, estos son de fabricación rápida, de menos costo y altura. Suprimen la torsión accidental de la edificación consiguiendo un buen comportamiento estructural ante un sismo. El FPS trabaja con 2 superficies (cóncavas) de acero inoxidable y una pieza lenticular, estas se deslizan una con otra. La rigidez le da el radio de resultante. (Sísmica, 2013)



Figura 19: *FPS instalado*

Fuente: CDT - Cámara Chilena de la Construcción, 2011

Este aparato da desplazamiento horizontal a la construcción brindando el cambio pertinente en el periodo natural de la estructura. Con el evento sísmico se acciona, la edificación está separada del terreno mediante el aislador. El aparato vuelve a la posición que estaba al inicio gracias a la fuerza de gravedad. Estos dispositivos Duplo están conformados por 2 superficies, permitiendo que se desplacen más horizontalmente con menores proporciones del aislador. Estos tienen una pieza deslizante dotada con una articulación permitiendo hacer giros al aislador. Tiene gran importancia en puentes, ya que aquí se requiere amplios desplazamientos y una significativa capacidad rotacional. (Mageba, 2013)

## **Materiales**

- Piezas de acero (tipo S355)
- Material deslizante, con relleno y sin relleno de grasa, certificado ETA-08/0115
- Lubricante: grasa (silicona con certificación).
- Recubrimiento (cromado de artefacto dental)
- Placas deslizantes (acero inoxidable austenítico pulido (1.4401))

## **Beneficios**

- Disminución de componentes de la estructura haciéndola menos pesada y disminuyendo el costo
- Excelente comportamiento estructural llevando a una mayor seguridad.
- Solida geometría
- Elevada capacidad de carga
- Gracias al recentrado, hace que la edificación regrese a su estado inicial luego del evento sísmico.
- Diseño sencillo
- Capacidad de adecuación a las distintas estructuras.
- Uso en estructuras ya existentes o en nuevas estructuras.
- Vida útil duradera.
- Poquísimo mantenimiento gracias a la elevada durabilidad del recubrimiento que no permite la corrosión y la composición de deslizante.

### **2.2.4 Ventajas de Los sistemas de aislamiento sísmico**

Genatios & Lafuente (2016) mencionan que “que posee una serie de ventajas”. (p.59). Que son las siguientes:

cada procedimiento de análisis realizado es simplificado porque incorpora los aisladores para alcanzar grandes periodos de vibración que permitan a la estructura desacoplarse de movimientos sísmicos llegando a actuar como un cuerpo rígido a la estructura

La simplicidad del análisis de la respuesta es controlada en el primer modo de vibración, ya que los otros modos de vibración son prácticamente despreciables. Al producirse un mayor periodo de vibración estos producen una disminución en las aceleraciones espectrales llegando a reducir las fuerzas laterales afectadas a la estructura, así como las cortantes en la base.

La implementación de los aisladores permite reducir los desplazamientos de entre pisos el cual conlleva a realizar en muchos casos un análisis estático de la estructura. El poco desplazamiento de entrepisos trae como consecuencia la reducción de las solicitaciones de los elementos estructurales trayendo una mejora estructural y no estructural.

Una menor cantidad de solicitaciones estructurales generan un menor dimensionamiento de los elementos estructurales, trayendo consigo una mejora en el diseño arquitectónico, ya sea aumentando espacios en cada ambiente de la edificación.

El correcto diseño y distribución de los aisladores permite reducir los efectos de torsión frente a las respuestas sísmicas, en lo general la implementación de los dispositivos de aislación sísmica ayuda a disminuir los daños en la edificación. Los aisladores reciben el mayor daño y resulta fácil la revisión o reparación de la estructura, esto hasta se puede lograr con la simple reparación o con un cambio de aisladores. Una ventaja bastante considerable de los aisladores es que después del evento sísmico se puede reestablecer la funcionalidad de la estructura, cabe resaltar que esto es debido a si se logra el desempeño previsto.

### 2.2.5 Desventajas de los sistemas de aislamiento sísmico

Genatios & Lafuente (2016) mencionan que “La utilización de aisladores generan algunas desventajas las que tenemos que considerar cuando se diseña y construye una estructura, en el cual se usara aisladores”. (p.60).

- Una de las dificultades se produce en la base de la edificación por el gran desplazamiento, debido al comportarse como cuerpo rígido en el total de la estructura. El amplio desplazamiento converge en donde se ponen los aisladores, que generalmente van encima de las fundaciones, pero en algunos casos sobre todo en el de estructuras restauradas o fortalecidas con aisladores sísmicos, pudiendo ser colocados también en pisos intermedios. Para sismos fuertes el desplazamiento esta entre el rango de 20cm – 50cm. Esto se hace para que se puedan hacer los desplazamientos previstos, y se hace en la parte inferior del primer piso, esto conlleva a que a que quede a nivel inferior del suelo. (p.61).



Figura 20: Edificación en Java, Indonesia (edificación con el plano de aislamiento sobre el terreno).

Fuente: Kelly, J. 2013

- A causa de la presencia de estos grandes desplazamientos se introduce algunos requerimientos, tales como la incorporación de un piso adicional.

Los desplazamientos grandes requieren de espacios de separación considerables, ya que de no considerarse podría llegar a afectar estructuras vecinas, así como la misma estructura para el cual se realizará un estudio detallado y considerar los requerimientos establecidos en algunos reglamentos. (p.61).



Figura 21: *Espacio respecto de la pared para el desplazamiento del aislador*

Fuente: Genatios & Lafuente, (2016)

- Debido a que los sistemas de servicio (gas, agua, desagüe, telecomunicaciones, electricidad,) pasan por donde se hace la aislación, se necesita requisitos especiales para hacer más flexibles las juntas de las tuberías. (p.61).



Figura 22: *Sistemas de servicio flexibles para dejar el libre movimiento propio de la estructura aislada*

Fuente: Kelly, J. 2013

- Deben tomarse en cuenta las consideraciones arquitectónicas, así como revisar los diseños arquitectónicos de los elementos que podrían ser afectados por los desplazamientos laterales tales como las escaleras y los ascensores que en el proceso debe ser aislados al igual que la edificación y así mantener un movimiento libre frente a los movimientos sísmicos. (p.62).

### **2.2.6 Diseño de una edificación**

Para referirse a diseño estructural se debe de entender que:

La edificación debe considerarse como un bloque o grupo de partes que se juntan de manera secuencial para desempeñar su rol dado. Para el diseño del sistema se empieza con los objetivos y las restricciones a tener en cuenta. El desarrollo es cíclico, se comienza de lo general y se va ajustando a medida que se reúne información del problema. El objetivo del diseño es el mejoramiento del sistema, mejor dicho, tener la mejor solución. Llegar a solución perfecta es muy difícil, pero se puede llegar a realizarlo con el costo mínimo posible y también disminuyendo el peso. (Morales, 2006, p.1)

Nilson (2001), en su libro "Diseño de estructuras de concreto" afirma lo siguiente:

Diseñar quiere decir hallar todas las dimensiones requeridas de una estructura, para así cumplir de manera óptima las funciones requeridas y aguantar de manera segura las acciones que se produzcan sobre ella durante todo su uso (vida útil). Estas acciones son fuerzas y cargas a las que estará inmersa, también a acciones de cambio de temperatura, asentamiento en las bases (cimiento) y factores corrosivos. La mecánica estructural es primordial para el diseño (forma y dimensiones) eficiente de una estructura cuando esta se encuentre sometida a efectos mecánicos y fuerzas. Lo primordial es la resistencia de la estructura (dimensión de las cargas distribuidas para causar una falla) y las deformaciones llevadas a deflexiones y rajaduras que se tendrá cuando con carga de servicio. (p.19)

### **2.2.7 Diseño sísmico**

Genatios & Lafuente (2016) mencionan que:

Lo hecho comúnmente en diseño sísmico de estructuras se basa en la premisa que las estructuras tengan daños pero que no lleven al colapso ni que expongan al peligro a las personas. Debido a las fuerzas del sismo logra deformaciones en los materiales que están en un rango inelástico y al término de una ocurrencia sísmica fuerte se piensa que la construcción sea afectada. el diseño sísmico apropiado lleva a que la estructura no colapse debido a la capacidad de disipación de energía proveniente del sismo esto gracias al comportarse de manera elástica los materiales que tiene la estructura. (p.37).

Visto estructuralmente los eventos sísmicos severos son movimientos al azar de manera horizontal y vertical en la superficie. Conforme la tierra se mueve, por la inercia la estructura procura estar en su sitio inicial. El objetivo del diseño sísmico es que las estructuras soporten los desplazamientos y las fuerzas impulsadas debido al movimiento

del terreno y todo esto debido a un óptimo dimensionamiento estructural. (Nilson, 2001, p.647)

Si tenemos un apropiado diseño sísmico normalmente puede saber dónde ubicar los dispositivos de disipación de energía por trabajo inelástico de los componentes (materiales). Usualmente se supone que se formaran en columnas y vigas rotulas plásticas, y en las vigas normalmente próximas a los nodos. De este modo, debido a un buen diseño sísmico inspeccionar los modos de falla de la construcción y así evitar que colapse de manera temprana a consecuencia de fallas endebles y repentinas. (Genatios & Lafuente, 2016)

#### **2.2.7.1 Criterios de diseño sísmico**

Diseñar una estructura para soportar eventos sísmicos, es diferente del que se hace para otro tipo de acciones. Lo complejo no solo está en la respuesta de la estructura a efectos dinámicos del sismo, también está en las imposibles predicciones que son los fenómenos y de hasta dónde puede llegar los efectos dinámicos y las intensidades extras que tiene que ver con la probabilidad que se manifiesten estas intensidades extras en la vida útil de la edificación es pequeña. Por lo anterior, para otras acciones se hace que el comportamiento estructural este dentro de su rango lineal, y sin tipo de daño, así ocurra los máximos valores de las fuerzas que actúen, en el diseño sísmico se halla que no beneficioso de manera económica hacer estructuras que estén dentro de su comportamiento lineal en un evento sísmico de diseño. (Centro Nacional de Prevención de Desastres, 1999, p. 128)

#### **2.2.8 Diseño elástico**

El diseño elástico arranca de la hipótesis que se puede pronosticar la repartición de esfuerzo en el concreto y también en el refuerzo, cuando son impuestas a cargas de servicio. Admite la elasticidad de

los dos materiales. El diseño debe lograr que los esfuerzos admisibles no sean menores que los esfuerzos. Actualmente, ensayos en laboratorio han confirmado que la complicada conducta del concreto al transcurrir el tiempo lleva a una firme repartición de esfuerzo entre el concreto y el acero. Para el diseño elástico solo se tiene en cuenta una de estas reparticiones. Más adelante las limitaciones no estimadas pueden llevar a la falla. El diseño de estructuras debe de ver que el tipo de falla (frágil o dúctil) que se da en algunas situaciones. El diseño elástico no halla el peso que causa la fractura de la pieza y por esto no se conoce el factor de seguridad.

La fundamentación del diseño por rotura se basa en predecir la carga que produce la falla del objeto estudiado y estudia la manera de colapso. En ensayos hechos se concluyó que se pueden saber las cargas que producen la falla con precisión. Se tienen en cuenta la inelasticidad del acero y del concreto, entonces se hace que la pieza tenga una mejor capacidad de carga. (Harmsen, 2002, p. 3)

### **2.2.9 Vulnerabilidad sísmica**

Vargas, F.A. (2016), indica: Cuando se hace referencia al término de vulnerabilidad sísmica debemos de comprenderlo como un cierto grado de daño probable de la estructura causada por la ocurrencia de eventos sísmicos leves o severos que a simple vista pueden ser observable registrable y clasificable de un ámbito cualitativo como cuantitativo; llegando a influir en algunas propiedades físicas de las estructuras, así como en las características socioeconómicas de cada región. (p.13).

La vulnerabilidad es estimable para cada región donde ocurren estos eventos sísmicos, el cual se realiza mediante un estudio previo de las amenazas sísmicas de cada región seguidamente realizando una aplicación de fórmulas establecidas para el análisis del comportamiento

de cada estructura aplicando cada parámetro establecido en algunos reglamentos. (p. 25).

### **2.2.10 La vulnerabilidad estructural**

Maldonado & Chio (2009) mencionan “la vulnerabilidad sísmica teniendo en cuenta la calidad estructural y la característica puede clasificarlas en no vulnerable a muy vulnerable, frente a la ocurrencia de un sismo”. (p.182)

El método para evaluar la vulnerabilidad sísmica de edificios debe ser de una manera sencilla, esto es que primero se hace a nivel urbano y después para regiones más grandes como lugares urbanos, donde la cantidad de propiedades son considerables. Se puede aplicar cualesquiera métodos, pero tendrá que ser el que mejor se adecúe al estudio del riesgo sísmico. Y así para análisis de mayor magnitud por medio de matrices y funciones de vulnerabilidad definiremos la vulnerabilidad. (Maldonado & Chio, 2009)

Aguilar, Almazán, Dechent & Suarez (2008) sostienen: “Vulnerabilidad sísmica representa el grado de daño debido a la ocurrencia de un movimiento sísmico de una intensidad determinada”. (p.2)

Debido que el riesgo sísmico de una estructura pende de su vulnerabilidad, debido a que se cree que estructuras construidas actualmente o hace tiempo puedan tener daños relevantes a consecuencia de un sismo, por esto se debe poner en marcha un estudio de su vulnerabilidad dela estructura con el fin de tener el riesgo sísmico en los niveles básicos de seguridad. (Alonso, 2014, p.39)

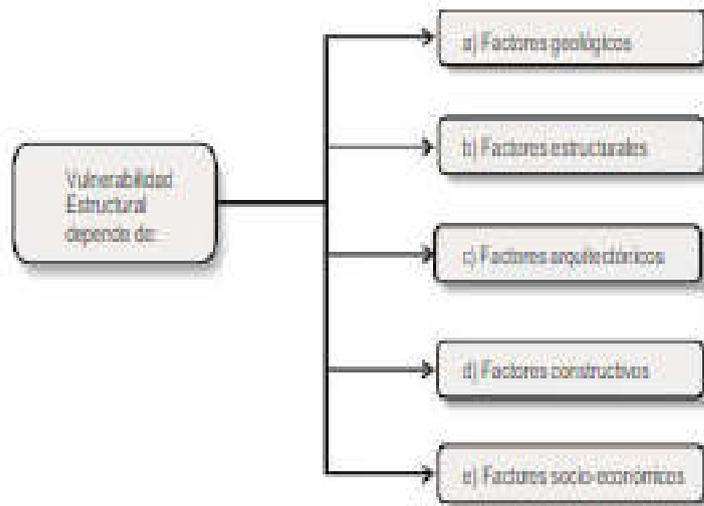


Figura 23: Factores que influyen en la vulnerabilidad sísmica de edificaciones

Fuente: Maldonado, E. (2009)

### 2.3 Definición de términos básicos

A continuación, se mencionan los términos básicos más importantes para la investigación.

#### a) Edificación

“En conformidad con el Reglamento Nacional de Edificaciones, es una obra de carácter permanente, cuyo destino es albergar actividades humanas. Comprende las instalaciones fijas y complementarias adscritas a ella”. (RNE, 2006)

#### b) Zonificación

“Perú tiene cuatro zonificaciones de acuerdo a la sismicidad para esto se ha tenido en cuenta movimientos sísmicos, información neotectónica y distancia de epicentros”. (Norma E.030, 2016, art.2.1)



Figura 24: Zona sísmica

Fuente: Norma E 030 diseño sismo resistente (2018)

Tabla 2: Factores de zonas sísmicas

Tabla N° 1 FACTORES DE ZONA "Z"	
ZONA	Z
4	0,45
3	0,35
2	0,25
1	0,10

Fuente: Norma E.-030 diseño sismo resistente 2018

### c) Microzonificación Sísmica

“Son estudios multidisciplinarios que investigan los efectos de sismos y fenómenos asociados como licuación de suelos, deslizamientos, tsunamis y

otros, sobre el área de interés. Además, de la modificación de acciones sísmicas por causa de las condiciones locales o naturales”. (Norma E.030, 2018, art. 2.2.1)

#### **d) Pórticos**

“Al menos el 80 % de la fuerza cortante en la base actúa sobre las columnas de los pórticos. En caso de muros estructurales deberán diseñarse para resistir una fracción de la acción sísmica total de acuerdo con su rigidez”. (Norma E.030, 2018, art. 3.2.1)

#### **e) Muros Estructurales**

“Sistema en el que la resistencia sísmica está dada predominantemente por muros estructurales sobre los que actúa por lo menos el 70 % de la fuerza cortante en la base”. (Norma E.030, 2018, art. 3.2.1)

#### **f) Dual**

“La composición de muros estructurales y los pórticos son los que resisten las fuerzas del sismo. En los muros la fuerza de corte oscila de 20 – 70% de la cortante base de la edificación. Su diseño debe resistir al menos 30 %”. (Norma E.030, 2018, art. 3.2.1)

#### **g) Estructuras de Albañilería**

“Edificaciones cuyos elementos sísmo resistentes son muros a base de unidades de albañilería de arcilla o concreto. Para efectos de esta Norma no se hace diferencia entre estructuras de albañilería confinada o armada”. (Norma E.030, 2018, art. 3.2.3)

## **2.4 Formulación de la hipótesis**

La hipótesis general y las hipótesis específicas de la presente investigación permitirán determinar las conclusiones que se plantearon.

### **2.4.1 Hipótesis general**

El uso de aisladores sísmicos influye en el análisis de la vulnerabilidad sísmica para el edificio de 10 pisos ubicado en la av. República de Panamá-Lima

### **2.4.2 Hipótesis específicos**

- a)** El uso de aisladores sísmicos influye en el desplazamiento de entre pisos para el edificio de 10 pisos ubicado en la av. República de Panamá-Lima.
- b)** El uso de aisladores sísmicos influye en el desplazamiento máximo para el edificio de 10 pisos ubicado en la av. República de Panamá- Lima
- c)** El uso de aisladores sísmicos reduce la magnitud de las fuerzas cortantes de piso en el edificio de 10 pisos ubicado en la av. República de Panamá-Lima.

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1 Diseño metodológico**

En el diseño metodológico de la siguiente investigación se emplearán tres tipos, las cuales son: el tipo de investigación, el nivel de investigación y el diseño de investigación.

##### **3.1.1 Tipo de investigación**

El presente trabajo realizado según el tipo de investigación, se define como una investigación descriptiva y comparativa:

Descriptiva porque realiza una descripción general del marco conceptual, ya sea del procedimiento de análisis, diseño, características y propiedades del proyecto del sistema dual y el sistema aislado.

Comparativa porque mediante la obtención de resultados numéricos realiza una comparación entre una edificación con un sistema dual (pórticos y placas) y la misma edificación con un sistema de aislación sísmica, para así analizar las ventajas y desventaja del uno frente al otro.

##### **3.1.2 Nivel o alcance de la investigación**

Según el estudio del nivel de investigación la investigación de la tesis desarrollada corresponde al nivel descriptivo; ya que en el desarrollo de la investigación se responden interrogantes del proceso del análisis y diseño de una edificación con un sistema de aislación sísmica, tales como en cuanto varían los resultados, que tan factible es implementar los nuevos sistemas constructivos.

##### **3.1.3 Método y diseño de la investigación**

La investigación tiene un enfoque no experimental, porque no se realiza una manipulación deliberada de cada una de las variables

Es de tipo transversal, ya que se recolectará los resultados en un solo momento y en un tiempo único

El diseño es retrospectivo porque la recolección de información es captada del pasado y analizada en el presente.

En el desarrollo de este proyecto empleamos el método descriptivo porque se realiza una exposición narrativa, numérica y gráfica. Lo más detallado posible del sistema de aislación sísmica aplicado a edificaciones. También se usa la modalidad de estudio evaluativo de los resultados numéricos obtenidos.

### **3.1.4 Enfoque de la investigación**

Para la elaboración del presente proyecto de investigación se empleó un enfoque cuantitativo, mediante los resultados medibles se buscó, cuantificar medir y así poder obtener las características del uso de los dispositivos de aislación sísmica en la edificación del sistema dual de 10 pisos, para luego mediante la obtención de resultados realizar los cálculos respectivos y así se logre explicar cada uno de los procedimientos del modelamiento, análisis y diseño de la edificación aislada, para el cual se elaboraron tablas y gráficos de cada uno de los procesos y resultados para finalmente, una comparación técnica, adecuada de cada uno de los sistemas en estudio.

## **3.2 Variables**

### **3.2.1 Variable independiente**

Tomaremos como variable independiente a los Aisladores sísmicos debido a que esta no será modificada.

### **3.2.2 Variable dependiente**

Tomaremos como variable dependiente la Vulnerabilidad sísmica de la edificación ya que se evaluará el efecto que tiene la variable independiente sobre esta.

### a) Título de la investigación

Análisis de la vulnerabilidad sísmica para una edificación de 10 pisos utilizando aisladores elastómeros o el sistema dual; av. República de Panamá - Lima.

### 3.2.3 Operacionalización de variables

HIPOTESIS	VARIABLES	INDICES	DIMENSION
<b>HIPOTESIS GENERAL</b>		Propiedades físicas	Resistencia al corte
Con el uso de aisladores sísmicos mejorara la vulnerabilidad sísmica, en Av. República de Panamá / Lima?	<b>V. INDEPENDIENTE</b>	Propiedades mecánicas	Elasticidad, tension, elongacion
	Aisladores sísmicos	Tipo de aislador	Circular
	<b>V. DEPENDIENTE</b>	Desplazamiento max	Sobrecarga de la edificacion
	Vulnerabilidad sísmica de la edificacion	Fuerzas cortantes de piso	Dimensiones de la estructura
		Desplazamiento entre pisos	Dimensiones de la estructura
			Modulo de elasticidad
			Modulo de poison
			Sobre carga de la edificacion
		Altura entre pisos	
		Esfuerzo admisible del suelo	

Figura 25 : Operacionalización de variables

Fuente: Autoría propia

## 3.3 Técnicas de recolección de datos

### 3.3.1 caso de estudio

El presente proyecto de una edificación de viviendas de 10 pisos, se llevará a cabo cubriendo todas las necesidades básicas como confort y sobre todo seguridad de los ocupantes.

El proyecto, elaborado por un profesional, de acuerdo a los lineamientos de espacio, distribución y dimensionamiento conforme lo determina el (RNE).

El terreno del proyecto de la edificación, se encuentra ubicado en la Av. República de Panamá en el distrito de Barranco, provincia de Lima.

El terreno donde se encuentra el proyecto tiene los linderos y medidas siguientes:

- a) Por el frente : Limita con la Av. República de Panamá, con una longitud de 14.40 m.
- b) Por la derecha : Entrando, en línea recta, colindando con propiedad de terceros, con una longitud de 37.60m.
- c) Por la izquierda : Entrando, en línea recta colindando con propiedad de terceros, con una longitud de 32.90m.
- d) Por el fondo : Limita con propiedad de terceros, con una longitud de 13.30m.

### **Descripción de la edificación**

El proyecto a ejecutarse, es un edificio para uso de viviendas, que cuenta con 10 piso incluido una azotea y que complementa la funcionabilidad de la misma.

### **Primer piso**

Comedor, sala, un car-port, un SS.HH, una sala de estudio, una escalera que lleva al segundo nivel, un hall, terraza, jardín

### **Del segundo nivel al noveno nivel**

Cuenta con cuatro departamentos el cual cuenta cada una sala –star, una terraza, tres dormitorios, un hall, dos baños, una escalera que lleva del segundo a la azotea

### **3.3.2 Ubicación y acceso**

Políticamente el proyecto se ubica en el departamento Lima, jurisdicción de la provincia de lima metropolitana; distrito de barranco; el terreno ocupado es de propiedad privada. Este terreno ofrece adecuadas condiciones (distancia, topografía, dimensionamiento, situación legal, etc.) para consolidar una edificación con destinado para viviendas.

El terreno de estudio presenta una superficie plana con perímetro de forma rectangular variable, en la actualidad existe construcciones de un solo nivel, el cual será demolida en su integridad para ejecutar el nuevo proyecto.

El terreno está en el territorio urbano de la capital del Perú, las posibilidades de ingreso a la gran ciudad son muchos, ya sea por la vía aérea, la vía marítima o la vía terrestre. Al lugar de investigación se ingresa con vehículos particulares o los transportes públicos.



Figura 26: Esquema de ubicación  
 Fuente: Carlos Collado Alonzo, 2015

### 3.3.3 Condiciones climáticas

El clima de la costa peruana, templado a pesar de su ubicación geográfica, producto del efecto regulador de la corriente fría de Humboldt, que fluye de manera paralela la costa peruana, se aprecian solo 2 estaciones marcadas; el verano y el invierno.

En el verano la temperatura alcanza alrededor de 33°C, y en el invierno de 13°C. Esta última estación se caracteriza por un cielo nublado de mayo a octubre, que provoca una fina llovizna (garúa) poco apreciable.

### 3.3.4 Servicios existentes

El lugar de estudio se ubica en a una zona moderna y goza de todos los servicios, tales como luz, agua, desagüe y teléfono, televisión por cable e internet, las calles están pavimentadas – asfaltadas.

### 3.3.5 Tipología de la edificación de 10 pisos

La edificación para viviendas tiene un nivel de 10 pisos, es una edificación de alta complejidad, con una uniformidad irregular en planta el cual tendrá la función de albergar un alto número de familias en departamentos organizados verticalmente, ya que no existe el suficiente espacio para organizarlo horizontalmente por la sobrepoblación que existe en la ciudad de lima a causa del centralismo que existe en Perú.

Cuadro de áreas

*Tabla 3 : Cuadro de áreas desde el primer piso hasta el décimo piso*

<b>Cuadro de áreas</b>	
<b>Primer piso</b>	<b>471.1707</b>
<b>Segunda planta</b>	<b>268.7807</b>
<b>Tercera planta</b>	<b>268.7807</b>
<b>Cuarta planta</b>	<b>268.7807</b>
<b>Quinta planta</b>	<b>268.7807</b>
<b>Sexta planta</b>	<b>268.7807</b>
<b>Séptima planta</b>	<b>268.7807</b>
<b>Octava planta</b>	<b>268.7807</b>
<b>Novena planta</b>	<b>268.7807</b>
<b>Área libre</b>	<b>202.39</b>
<b>Área total</b>	<b>2823.8063 m<sup>2</sup></b>

Fuente: Autoría propia, 2019

#### **a) Características generales de la edificación**

El desarrollo del Proyecto está basado en responder las condiciones determinadas por el uso efectivo del espacio arquitectónico, es así que se concibe una edificación compuesta de volumetría no tan simple con una base sólida, que se inserta e integra a la conformación rocosa natural, esta base se manifiesta con una forma rectangular irregular; a partir de esta base es que se proyecta un volumen prisma rectangular la fachada principal (Sur), cuenta

con dos columnas de 50 por 100, el centro de la base cuenta con un elemento vertical, segmento rectangular, en el cual funcionan los ascensores que dan frente al otro elemento vertical en el cual está proyectado la escalera, por los laterales de la planta se encuentran proyectado elementos verticales placas que cumplen la función de darle una mayor rigidez y en el posterior se ubican cuatro columnas, con el cual se cumple las condiciones de estructuración adecuada.

El edificio con función de vivienda multifamiliar cuenta con cuatro departamentos por planta, ingreso principal, caja de escaleras, dormitorios, servicios higiénicos, terrazas, cuarto de bombas, depósitos de materiales, depósitos de limpieza, sala comedor, ductos de ventilación y otros también contará con un área de servicios complementarios, y el área administrativa del edificio; por otro lado, desde el semi sótano y a los 10 pisos se acceden desde una caja de 02 ascensores, también cuenta con una caja de escaleras principal, y una caja de escaleras de servicio o escape, ubicados estratégicamente en una distribución simple de espacios adjuntos.

### Plano de planta

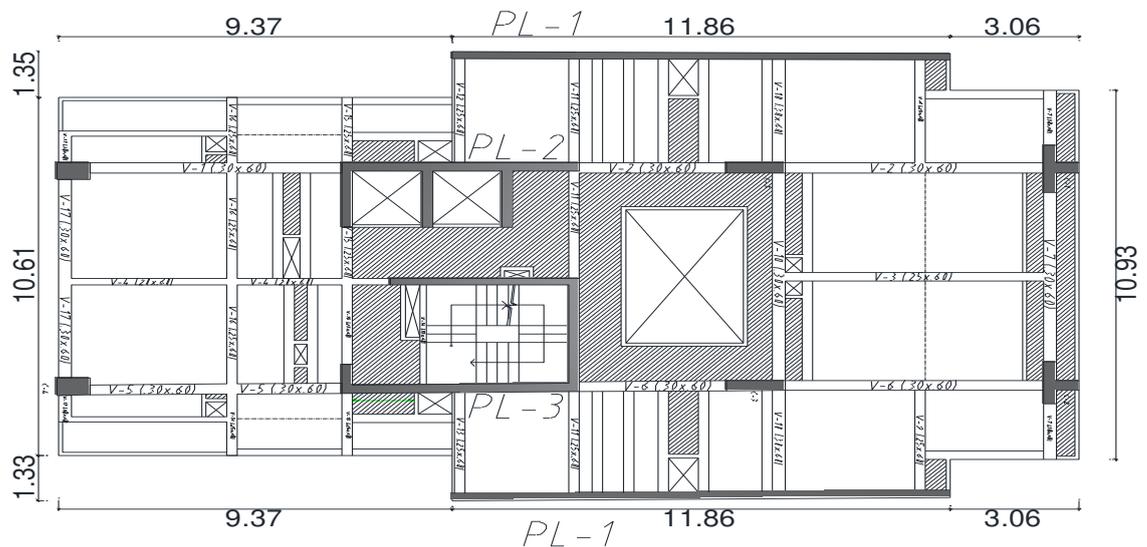


Figura 27: Plano en planta

Fuente: Autoría propia, 2019.

## **b) Estudio de suelos con fines de cimentación**

El informe técnico realizado, concierne al estudio de mecánica de suelos para la cimentación de un edificio de dieciséis niveles con tres sótanos y azotea para el uso de vivienda multifamiliar, el estudio geotécnico contiene toma de muestra in situ y ensayos de laboratorio, importantes para establecer el perfil estratigráfico, así como las capacidades de resistencia y deformación del terreno para la cimentación de la edificación propuesta.

### **Investigaciones efectuadas**

#### **Geología**

El futuro edificio de dieciséis niveles con tres sótanos y azotea para el uso de vivienda multifamiliar se encuentra dentro de las características geológicas del distrito de barranco, tomando de las cartas geológicas.

Este terreno está ubicado sobre un estrato llamado Qp-al, un depósito aluvial con características de la serie del pleistoceno sistema cuaternario, a la era cenozoico. Este lugar es firme geológicamente.

#### **Vulnerabilidad:**

Esta zona es estable geológicamente.

#### **Sismicidad**

“La zona central del país, al estar colindante con la placa de nazca y la cordillera andina, está en constante movimiento sísmico, principalmente a movimientos superficiales de grandes intensidades y magnitudes”. (Alva,1984).

El lugar de estudio tiene un factor de zona 04, por lo cual es considerado una zona de alta sismicidad y una intensidad de IX a X según la escala de Mercalli modificada. Los parámetros sísmicos a emplearse son:

Según los reglamentos establecidos por los decretos supremos.

$Z = 0.45$ , factor de amplificación de onda sísmica respecto al suelo  $s_1=1.0$ , categoría de las edificaciones y factor  $U=1.0$ , periodo del suelo  $T_p=0.4\text{seg}$  y  $T_1=2.5\text{seg}$ .

### **Investigación geotécnica**

La investigación de campo se ha efectuado de acuerdo a norma E-050 de suelos y cimentaciones del R.N.E, los trabajos efectuados son los siguientes:

- **Calicatas**

La exploración del suelo se realizó mediante 03 calicatas o perforaciones a cielo abierto. El esquema de la ubicación de las calicatas se presenta en el apéndice correspondiente a planos, en el terreno en la actualidad no existe construcción se encuentra libre.

Según la norma E-050 la profundidad “p” mínimo a alcanzar en cada punto para edificios con sótano es:  $p=h+D_r+z$ .

- **Ensayo de densidad “in situ”**

Con el fin de controlar la densidad relativa natural del suelo se realizó los ensayos de densidad in situ, la tabla N° 4 presenta los resultados obtenidos

Tabla 4 : Ensayos de densidad

Calicata	C-3
muestra	M-5
Prof. (m)	Del 6.50 @ 12.00
Densidad húmeda (gr/cm <sup>3</sup> )	1.875
Contenido de humedad (%)	3.60
Densidad seca (gr/cm <sup>3</sup> )	1.810

Fuente: Elaboración propia, 2019.

- **Toma de muestras Mab y Maw**

Se tomaron muestras Mab en bolsas de plástico donde se mantuvo sin modificar la granulometría del estrato en su estado inicial al momento del muestreo, en cantidad suficiente como para realizar los ensayos de laboratorio estándar, ensayos especiales y ensayos químicos.

También se tomaron muestras Maw en lata sellada donde se mantuvo inalterada el contenido de agua.

### **Registro de excavaciones**

Seguidamente al muestreo se realizó el registro de excavaciones, tomando dato de las principales propiedades de las muestras de los suelos, tales como: espesor, color, humedad, capacidad, consistencia nivel freático, plasticidad, clasificación y otros.

#### **Clasificación de suelos**

Los suelos más representativos se clasifican de acuerdo al sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS), el estrato donde se va a cimentar tiene la siguiente clasificación.

Tabla 5 : Clasificación de los suelos

Perforación	C-1
Muestra	M-3
Prof. (m)	De 6.50 @ 12.00
% de gravas	62.80
% de arenas	35.20
% de finos	2.0
LL.(%)	NP
LP. (%)	NP
IP. (°A)	NP
SUCS	GP

Fuente: Elaboración propia, 2019.

GP= grava mal graduada

### Descripción del perfil estratigráfico

En las 03 calicatas c-1, c-2 y c-3 se ha encontrado igual perfil estratigráfico. Tal perfil se ha establecido de acuerdo a la interpretación de los registros estratigráficos de las excavaciones establecidos en el área de estudio, obteniendo los siguientes datos del subsuelo.

El primer estrato limo orgánico arcillosa de baja plasticidad y tiene un espesor que varía entre 0.30m y 6.50m esta capa está compuesta por material limo arcilloso orgánico de baja plasticidad presenta pocas piedras de ½” de diámetro, color marrón, bajo contenido de humedad y presencia de pequeñas piedras de ½” de diámetro, este estrato deberá ser eliminado para conseguir el N.P.T.-7.80mts del último sótano, en ningún caso usar como relleno estructural; este material.

El segundo estrato es grava mal graduada (GP) este estrato se encuentra a partir de -6.50mts de profundidad y es de color plomo gris claro, bajo contenido de humedad, con presencia de piedras grandes, este material tiene  $\Phi = 32.3^\circ$  y  $C = 0.00 \text{ kg/cm}^2$  suelos friccionantes, sin cohesión, la densidad hallada con el ensayo de densidad "in situ" proporciona una densidad natural promedio de  $1.875 \text{ gr/cm}^3$  y un contenido de humedad de 3.60%. No encontrándose la napa freática a la profundidad de -12.00mts.

### **Capacidad portante**

La capacidad portante es la máxima presión que puede admitir el suelo de cimentación de acuerdo a las siguientes consideraciones; los factores de corte mínimos de seguridad sean,  $FS_{\min}=3.0$  y el asentamiento producido por la presión no sean mayores a los asentamientos admisibles por la estructura.

### **Análisis de asentamiento**

Dichas presiones pueden llegar a generar asentamientos excesivos a los permitidos, por el cual, se revisarán los asentamientos previstos.

En suelos granulares y muy permeables; los asentamientos son inmediatos y vienen a ser los asentamientos totales que tendrá la cimentación, los asentamientos dependen de los valores del módulo de elasticidad. La siguiente formula dada está en base a la teoría elástica.

$$S = \frac{q * B * (1 - u^2) * I_f}{E}$$

La presión de trabajo ha sido estimada considerado luces máximas de 5.00m entre pórticos y columnas.

Remplazando los datos correspondientes más críticos, se obtiene un asentamiento de:

Tabla 6 : Calculo de asentamientos

q (tn/m <sup>2</sup> ) presión	B (m) Ancho de cimentación	u relación de poisson	lf(cm/m) Factor de forma	Es(tn/m <sup>2</sup> ) Módulo de elasticidad	S (cm)	0.75*S (cm)
350	0.50	0.30	94	8000	1.871	1.403
350	0.60	0.30	94	8000	2.245	1.684
350	0.70	0.30	94	8000	2.620	1.965
350	0.80	0.30	94	8000	2.994	2.245
350	0.90	0.30	94	8000	3.368	2.526
350	1.00	0.30	94	8000	3.742	2.807
350	1.10	0.30	94	8000	4.117	3.087
350	1.20	0.30	94	8000	4.491	3.368
350	1.30	0.30	94	8000	4.865	3.649
350	1.40	0.30	94	8000	5.239	3.929
350	1.50	0.30	94	8000	5.614	4.210
350	1.60	0.30	94	8000	5.988	4.491
350	1.70	0.30	94	8000	6.362	4.772
350	1.80	0.30	94	8000	6.736	5.052
350	1.90	0.30	94	8000	7.111	5.333
350	2.00	0.30	94	8000	7.485	5.614

Fuente: Elaboración propia, 2019.

$$S=2.245\text{cm}<1'' (2.54\text{cm})$$

El asentamiento diferencial tolerable será del orden de 1" y se estima como el 75% del asentamiento inmediato. Luego para un asentamiento total de 2.245cm. se obtiene un asentamiento diferencial de 1.685cm; que es menor al asentamiento tolerable aceptado.

## Análisis químico – contenido de sulfato

Se han efectuado ensayos de contenido de sales en muestras representativas del subsuelo correspondiente a la calicata C-2 a la profundidad de 6.50 a 12.00m arroja los siguientes valores:

*Tabla 7 : Contenido de sales*

Calicata	C-1
Muestra	M-4
Prof. (m)	De 6.50 @ 12.00
Sulfatos	142 ppm
Cloruros	92 ppm
Sales solubles totales	270 ppm

Fuente: Autoría propia

### **Características a considerar**

El presente estudio de suelos se ha desarrollado según la norma técnica E-0.50 de suelos y cimentaciones del RNE, el cual corresponde al E.M.S con fines de cimentación para la construcción de 10 niveles y azotea para el uso de viviendas multifamiliar, ubicado en av. República de Panamá del distrito de Barranco - lima.

La profundidad mínima de cimentación para estructuras en base a pórticos y cimientos corridos es recomendable una profundidad  $H_D=1.30$ mts, medición hecha a partir del N.t.n.

La capacidad portante que se recomienda para la profundidad mínima de cimentación es  $q_{adm}=2.94$  kg/cm<sup>2</sup>.

En las excavaciones verticales para alcanzar los niveles de cimentación se deben emplear calzaduras y/o sostenimientos, su uso es necesario y obligatorio para evitar la excavación sin requerir soporte es  $H_c=0.80$ mts. la calzadura se debe diseñar y construir como elemento de sostenimiento.

Se establecieron los asentamientos diferenciales usando la teoría de la elasticidad alcanzándose valores menores al admisible considerados en una pulgada. La carga de trabajo se ha estimado considerando luces máximas de 6.00m, entre los pórticos y columnas de la estructura, serán absorbidos por la cimentación propuesta.

En ningún caso la presión admisible del suelo será menor a la presión de contacto

De acuerdo al resultado de análisis químico, el subsuelo tiene cantidades menores a los máximos permitidos, por lo tanto, se podrá usar cemento portland tipo 1.

*Tabla 8 : Los parámetros sísmicos a usarse*

Factor de zona	Z4 = 0.45
Factor de amplificación de onda sísmica debido al suelo	S1 = 1.0
Categoría de las edificaciones y factor "U"	U = 1.0
Periodo del suelo	Tp = 0.4seg y T1 = 2.5seg

Fuente: NTP. E-030, 2018

### **3.4 Técnicas de recopilación de información**

Para la recopilación de datos se utilizó la técnica de la observación estructurada mediante el registro sistemático de bibliografías válido y confiable respecto al tema en estudio.

La recolección de la información se sustenta en publicaciones de libros, artículos científicos, revistas especializadas, normas, reglamentos, códigos internacionales, investigaciones de tesis e internet, ya sean de instituciones públicas y/o privadas, nacionales e internacionales que estén enfocados en investigaciones referentes al tema de aislación sísmica.

### 3.6 Técnicas de análisis y procesamiento de datos.

El método utilizado para el análisis e interpretación de datos será mediante el análisis estático y dinámico de la edificación considerando todos los parámetros establecidos en las normas peruanas, así como códigos americanos que servirán para un correcto análisis y diseño estructural.

Para el análisis del comportamiento sísmico el cual será mediante el análisis estático y dinámico, así como para la recolección de resultados a obtener se procesará mediante el uso de programas de cómputo como es el ETABS. 2017 y SAP. 2000, para las hojas de cálculo, tablas, gráficos y otros se usaron programas básicos como el Excel y Word, se usó el AutoCAD y revit para la elaboración de los planos respectivos.

### Procedimiento metodológico

#### 3.7 Diseño muestral

- a) El **universo** tomado para el desarrollo de la investigación son las estructuras de edificaciones.
- b) La **población** para la investigación de la tesis es la edificación de concreto armado.
- c) La **muestra** para el desarrollo de la investigación es una edificación de concreto armado de 10 pisos.

#### 3.8 Aspectos éticos

La elaboración de esta tesis se hizo con ayuda de expedientes técnicos brindados por algunos ingenieros con amplios conocimientos en el tema de investigación.

Esta tesis se elaboró cumpliendo las normativas APA, respetando los citados de las fuentes de información de documentos con investigaciones similares.

## **CAPÍTULO IV PRUEBAS Y RESULTADOS**

### **4.1 Edificación con sistema dual sin aislador de 10 pisos**

#### **4.1.1 Datos generales**

El presente trabajo se refiere al proyecto estructural de una edificación multifamiliar de 1 sótano y 10 pisos, ubicado en la av. República de Panamá en el distrito de Barranco, provincia de Lima.

Para la presente etapa se considera la estructuración de la cimentación, estructuras del sótano y la superestructura del edificio basado en columnas, vigas, placas, escaleras, cajas de ascensor, losas aligeradas y losa maciza.

Los componentes de diseño estructural del concreto armado se realizarán cumpliendo de manera estricta las diferentes normas que se establecen en el RNE, así también como las normas internacionales ACI (American Concrete Institute).

#### **4.1.2 Normas empleadas**

Para el cálculo de los elementos resistentes de concreto armado del edificio se han establecido los requisitos mínimos de seguridad según el RNE vigente y de sus normas técnicas que están relacionadas con el presente caso, y que son los siguientes:

Norma técnica de edificación E.020 “cargas”

Norma técnica de edificación E.030 “Diseño sismorresistente”

Norma técnica de edificación E.050 “suelos y cimentaciones”

Norma técnica de edificación E.060 “Concreto armado”

Norma técnica de edificación E.070 “Albañilería con ladrillo”

A.C.I – 318 -2018.

#### **4.1.3 Características de los materiales**

##### **a) Concreto armado**

Resistencia a la compresión del concreto a los 28 días

Columnas y placas:  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

Muros de sótanos:  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

Vigas y losas:  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

Módulo de elasticidad (E):  $2170,000 \text{ ton/m}^2$  ( $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ )

Módulo de poisson ( $\mu$ ): 0.20

Peso específico ( $\gamma_c$ ): Concreto simple =  $2300 \text{ kg/m}^3$ ;

Concreto armado =  $2400 \text{ kg/m}^3$

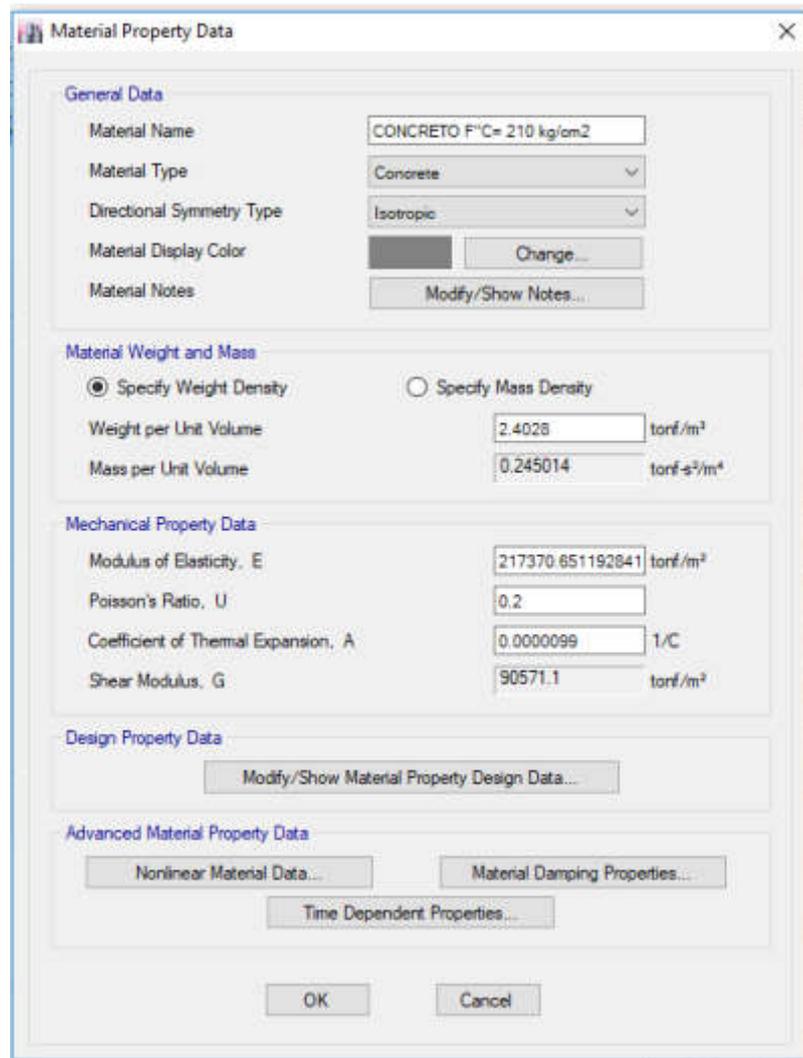


Figura 28: Características del concreto ( $f'c = 210 \text{ kgf/cm}^2$ )

Fuente: ETABS, 2017

## b) Acero corrugado

Resistencia a la fluencia del acero:  $F'y = 4200 \text{ kg/cm}^2$

Acero de grado ( $G^\circ 60$ ):  $E = 2100,000 \text{ kg/cm}^2$

Recubrimiento del refuerzo

#### 4.1.4. Condiciones y consideraciones del terreno para la cimentación

Tabla 9: Condiciones y consideraciones del terreno

<i>Condiciones y consideraciones del terreno</i>	
Tipo de Cimentación	Zapata aislada, cimientos y sobrecimientos armados en muros y tabiques
Estrato de apoyo de cimentación	roca o suelo muy rígido (S1)
Profundidad de la napa freática	no se encontró
Profundidad mínima de cimentación	-1.30m. A partir del N.T.N
Presión admisible del terreno (qadm)	2.94 kg/cm <sup>2</sup>
Ataque químico de cloruros, sulfatos y/o sales solubles	no se encontró
Tipo de cemento para el concreto expuesto al contacto con el suelo.	Cemento portland tipo I

Fuente: Autoría propia, 2019.

#### 4.1.5 estados de carga

Las cargas a considerar dentro del proyecto, serán las dadas por la norma E.020

El análisis se hizo para la Carga Muerta y para la Carga Viva.

- **Carga muerta:** cargas permanentes. Peso propio de la estructura.
- **Carga Viva:** elementos móviles. Peso de residentes y equipos.

Para analizar los efectos de las cargas sísmicas sobre la edificación, los parámetros considerados serán según las especificaciones de la norma E-030 ya mencionada:

#### **4.1.6 consideraciones para el diseño en concreto armado**

Para el diseño de los diferentes elementos de concreto armado se aplicarán los diferentes “Métodos de Resistencia Última”, conocidos también como “Diseño a la Rotura”. En este diseño se tiene en cuenta los diferentes factores de carga y factores de reducción prescritos por la N.T.E-060 del RNE.

#### **Factores De Carga**

$$U = 1.4 CM + 1.7 CV$$

$$U = 1.25 (CM + CV) + 1.00 CS$$

$$U = 0.9 CM + 1.00 CS$$

Donde:

CM = efecto de la carga permanente

CV = efecto de la carga viva

CS = efecto de la carga sísmica

#### **Factores De Reducción**

Para flexión sin carga axial: 0.90

Para flexión con carga axial de tracción: 0.90

Para flexión con carga axial de compresión: 0.70

Para cortante con o sin torsión: 0.85

Para aplastamiento del concreto: 0.70

Resistencia de Diseño  $\geq$  Resistencia Requerida (U)

Resistencia de Diseño =  $\Phi$  Resistencia Nominal

#### **4.1.7 estructuración**

- Los techos son losas aligeradas convencionales en una dirección y losas macizas de espesor 20 cm.
- La estructura portante consiste en muros, columnas y vigas de concreto armado en la dirección X-X y en la dirección Y-Y. Los muros son de 17, 20, 25 y 30 cm de espesor.
- Las vigas de los sótanos son de 50 cm de peralte y las de los pisos superiores de 60 cm.
- En cuanto a las columnas principales de concreto armado, en el presente proyecto se han considerado 03 tipos de estos elementos, entre columnas cuadradas y rectangulares.
- La cimentación del edificio está compuesta por zapatas conectadas mediante vigas de cimentación, en la zona perimetral se ha dispuesto una cimentación corrida reforzada.
- La profundidad de cimentación de la edificación se encuentra a una cota de - 2.50 metros; con respecto al nivel de piso terminado del primer nivel de la construcción (nivel de la vía que da al lado sur). En la zona del ascensor, se tiene una cota de cimentación de -5.00 metros.

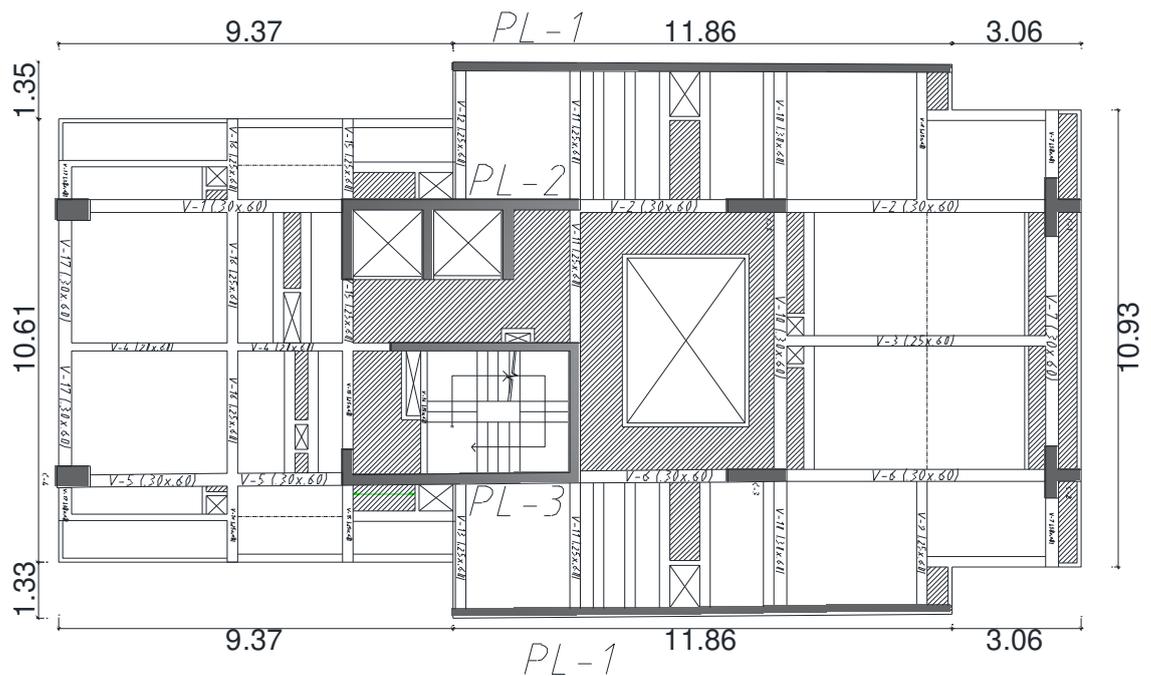


Figura 29: Plano en planta

Fuente: Elaborado por los autores, 2019.

#### 4.1.8 Pre dimensionamiento

Toda estructura de edificaciones previo a realizarse un análisis debe someterse al pre dimensionamiento de todos sus elementos estructurales, las dimensiones tentativas que son propuestas son factores que serán modificadas en el proceso para obtener resultados óptimos, tales modificaciones se realizarán de acuerdo a los parámetros de cargas de gravedad y sísmicas.

El pre dimensionamiento correspondiente será realizado en base a criterios establecidos en el R.N.E y algunas bibliografías confiables que fueron propuestos por autores recocidos

##### a) vigas

las dimensiones de las vigas son consideradas generalmente con peraltes del orden  $L/10$  a  $L/12$  de la luz libre entre los apoyos, el ancho de la base de la viga se considera como un 30% del peralte con una base mínima de 25 cm, es recomendable no llegar a un ancho de base mayor que el peralte por

considerarse menos importante respecto a la altura ya que dicha altura proporciona mayor grado de inercia.

$$\frac{l}{12} \leq h \leq \frac{l}{10} \quad b = \frac{h}{2}$$

h: peralte de la viga

l: luz libre entre apoyos

Las luces de las vigas de la edificación tienen medidas entre 3.5, 4.0, 5.8m, 6.0m y 6.15m, en las direcciones de x-x como en las direcciones de y-y por el cual se han considerado vigas con dimensiones de 25x60cm y 30x60cm el cual aportara la rigidez necesaria frente a las solicitaciones de las diferentes cargas.

## **b) columnas**

Para dimensionar columnas se tomarán en cuenta las fuerzas axiales ya que dichas cargas son las que predominan frente a estos elementos, el cual será también será evaluado de acuerdo a su ubicación ya sean columnas esquineras, centrales y/o de borde.

Columnas céntricas:

$$\frac{Pt}{0,45xf'c}$$

Columnas esquineras y de borde:

$$\frac{Pt}{0,35xf'c}$$

Para este proyecto las columnas serán esquineras y de borde los cuales tendrán medidas de 30x140cm, 80x50cm y columnas tipo T de 140x30x30cm las cuales se determinaron con los criterios estipulados.

### **c) Losas**

Los criterios tomados para el pre dimensionamiento de las losas se realizarán teniendo en cuenta las deflexiones ya que es el aspecto con mayor importancia en su diseño, entre los diferentes tipos de losas tenemos las losas macizas, losas nervadas y las losas aligeradas.

Losa maciza

$$\frac{L}{40} < H < \frac{L}{25} - 5cm$$

Losa aligerada

La norma E.060 recomienda peraltes mínimos para no chequear las deflexiones

$$h \geq \frac{L}{25}$$

L: luz libre más desfavorable

el proyecto tiene luces de 2.9, 5.7, 3.7, 3.17m, el cual luego de aplicar los criterios establecidos con anterioridad nos generan las alturas de los techos que son losas aligeradas convencionales (en una dirección) y losas macizas de espesor 20 cm.

### **d) Muros de corte**

De acuerdo a la norma E060 R.N.E los espesores mínimos de muros en los sótanos son de 20cm, y además el muro deberá diseñarse considerando las acciones perpendiculares a su plano.

En este proyecto la estructura portante consiste en muros de concreto armado en la dirección X-X y en la dirección Y-Y. Los muros son de 20, 25 y 30 cm de espesor.

## e) Cimentación

### 4.1.9 Metrado de cargas

El metrado de cargas de la edificación se realizarán tomando en cuenta los parámetros considerados en la Norma E.020 del R.N.E, en lo que respecta a las cargas de gravedad muerta o permanente y a la carga viva.

Las cargas de gravedad son las generadas por el peso propio de los diferentes elementos estructurales y no estructurales de la edificación y las generadas por las cargas vivas que actúan por la función que cumple esta edificación. Se han considerado los siguientes pesos unitarios:

- **Carga muerta**

Tabla 10: Cargas muertas

<b>Pesos específicos</b>	
<b>Concreto armado</b>	<b>2400.00 kg/m<sup>3</sup></b>
<b>Concreto simple</b>	<b>2200.00 kg/m<sup>3</sup></b>

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Tabla 11: Cargas muertas

<b>Pesos unitarios</b>	
<b>Losa aligerada h=0.20m</b>	<b>300.00 kg/m<sup>2</sup></b>
<b>Losa maciza h=0.20m</b>	<b>480.00 kg/m<sup>2</sup></b>
<b>Acabados</b>	<b>150.00 kg/m<sup>2</sup></b>
<b>Tabiquería</b>	<b>150.00 kg/m<sup>2</sup></b>

Fuente: Elaboración propia, 2019.

- Carga viva

Tabla 12: Cargas vivas

<b>Sobrecarga</b>	
<b>Cuartos</b>	<b>200.00 kg/m<sup>2</sup></b>
<b>Baños</b>	<b>200.00 kg/m<sup>2</sup></b>
<b>Escaleras y corredores</b>	<b>200.00 kg/m<sup>2</sup></b>

Fuente: Elaboración propia, 2019.

El desarrollo del análisis de la edificación se hará mediante un modelo tridimensional lineal elástico mediante el uso del programa ETABS v.17.0.1, para el cual será necesario introducir datos ya calculados en el proceso de estructuración los cuáles serán las dimensiones de cada elemento estructural, así como las cargas y sobrecargas de la edificación según el tipo de uso.

#### **4.1.10 Análisis sísmico**

##### **a) Modelo estructural**

El desarrollo del análisis estático y dinámico del edificio de 10 pisos con sistema dual se hizo cumpliendo los parámetros establecidos en la Norma E.030 del R.N.E el cual considera valores constantes para la aceleración máxima producida tomando como referencia el mapa de zonificaciones la cual se sustenta en sismos con un periodo de retorno de 50 años con probabilidades de ser excedida en un 10% el cual es considerado para el diseño sísmico.

#### **4.1.11 normas y parámetros para el análisis sísmico**

##### **a) Parámetros sísmicos para las edificaciones**

Los parámetros que definen el espectro de diseño se tomarán en cuenta de acuerdo a las especificaciones técnicas de la Norma E.030 R.N.E que describimos a cada uno de ellos a continuación.

### **b) zonificación**

Este factor se considera como la máxima aceleración horizontal que puede tener el suelo con 10% de probabilidad de ser excedida en periodos de 50 años, para la edificación en estudio se considera un Z igual a 0.45 por encontrarse en una zona cuatro según el mapa de zonificación.

Tabla 13: Factores de zona sísmica

<b>Factores de zona</b>	
<b>Zona</b>	<b>Z</b>
<b>4</b>	<b>0.45</b>
<b>3</b>	<b>0.35</b>
<b>2</b>	<b>0.25</b>
<b>1</b>	<b>0.10</b>

Fuente: NTP E 030-2018

### **c) Parámetros de sitio**

La norma nos dice que debe tenerse en cuenta el tipo de suelo que describa mejor las condiciones locales, utilizando los factores de amplificación del suelo S y de los periodos  $T_p$  y  $T_L$  presentados en la tabla 5-2 y 5-3(NPT E.030).

- Factor de suelo

Tabla 14 : Factor de suelo

<b>Zona</b>	<b>S0</b>	<b>S1</b>	<b>S2</b>	<b>S3</b>
<b>Z4</b>	<b>0.80</b>	<b>1.00</b>	<b>1.05</b>	<b>1.10</b>
<b>Z3</b>	<b>0.80</b>	<b>1.00</b>	<b>1.15</b>	<b>1.20</b>
<b>Z2</b>	<b>0.80</b>	<b>1.00</b>	<b>1.20</b>	<b>1.40</b>
<b>Z1</b>	<b>0.80</b>	<b>1.00</b>	<b>1.60</b>	<b>2.00</b>

Fuente: NTP E 030-2018

- Periodos  $T_p$  y  $T_L$

Tabla 15 : Periodos

	Perfil del suelo			
	S0	S1	S2	S3
$T_p$ (s)	0.30	<b>0.40</b>	0.60	1.00
$T_L$ (s)	3.00	<b>2.50</b>	2.00	1.60

Fuente: NTP E 030-2018

### Factores de amplificación sísmica

El factor de amplificación sísmica se interpreta como un factor que amplía la aceleración de la estructura con respecto de la aceleración del suelo el cual depende de  $T_p$  y  $T_L$ .

$$C = \begin{cases} 2.5; T \leq T_p \\ 2.5 \left( \frac{T_p}{T} \right); T_p < T \leq T_L \\ 2.5 \left( \frac{T_p T_L}{T^2} \right); T > T_L \end{cases}$$

### Categoría de la edificación

Las estructuras se clasifican de acuerdo al uso al cual está destinado la edificación, el factor de uso a considerar en este proyecto de investigación de edificación de 10 pisos es:  $U=1$ , por tratarse de una edificación multifamiliar para viviendas.

### Sistemas estructurales

Las clasificaciones de los sistemas estructurales serán consideradas de acuerdo al material utilizado y al sistema de estructuración sismo resistente empleado en cada una de las direcciones de análisis, para el cual se utilizarán coeficientes de reducción sísmica ( $R$ ) mostrados en la tabla.

Tabla 16 : Tipos de sistemas estructurales

<b>Sistemas estructurales</b>	<b>Ro</b>
<b>Concreto Armado:</b>	
Pórticos	8.00
Dual	7.00
De Muros estructurales	6.00
Muros de ductilidad limitada	4.00
Albañilería Armada o confinada	3.00
Madera (por esfuerzos admisibles)	7.00

Fuente: NTP E 030-2018

### Resumen de los parámetros sísmicos a usar

Tabla 17: Parámetros que se utilizara

Z	0.45
U	1.00
S	S1, $T_p=0.40$ , $T_L=2.50$
R	7

Fuente: NTP E 030-2018

#### 4.1.12 Análisis estático y dinámico

- Espectro de diseño

Tabla 18: Espectro de diseño

Factor de amplificación sísmica	Periodo	Aceleración Espectral
C	T	Sa
2.50	0.00	1.5766
2.50	0.10	1.5766
2.50	0.20	1.5766
2.50	0.30	1.5766
2.50	0.40	1.5766
2.00	0.50	1.2613
1.67	0.60	1.0511
1.48	<b>0.676</b>	<b>0.9329</b>
1.43	0.70	0.9009
1.25	0.80	0.7883
1.11	0.90	0.7007
1.00	1.00	0.6306
0.91	1.10	0.5733
0.83	1.20	0.5255
0.77	1.30	0.4851
0.71	1.40	0.4505
0.67	1.50	0.4204
0.63	1.60	0.3942
0.59	1.70	0.3710
0.56	1.80	0.3504
0.53	1.90	0.3319
0.50	2.00	0.3153

Fuente: Elaboración propia, 2019.

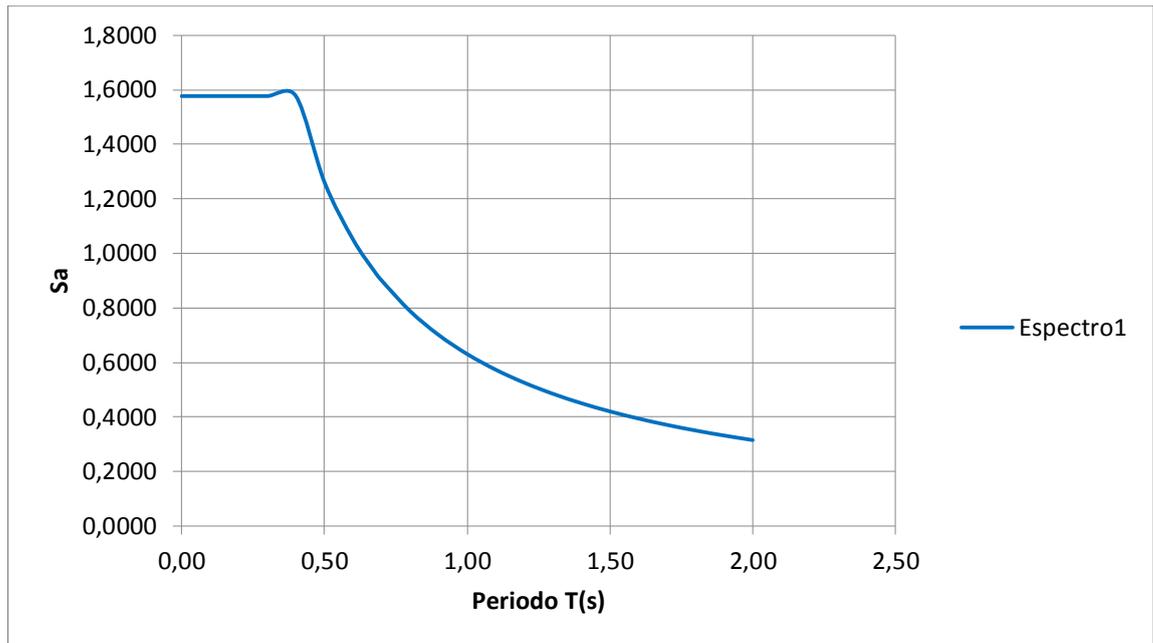


Figura 30: Espectro de Pseudo-Aceleraciones

Fuente: Elaboración propia, 2019.

- **Modelo de análisis y resultado de desplazamiento**

El análisis sísmico de la edificación se realizará con la ayuda del programa Etabs en el cual se ingresarán elementos con características a fallar por flexión, corte y carga axial.

En el cual se analizarán los modos de vibración para cada uno de las masas participantes con tres grados de libertad en cada piso para cada eje como mínimo, así como los periodos de vibración para cada modo con el objetivo de que los dos primeros modos de vibración sean de traslación y no de rotación, también se analizarán los desplazamientos máximos y los desplazamientos de entrepiso, así como las derivas las cuales serán comparadas con el sistema aislado más adelante.

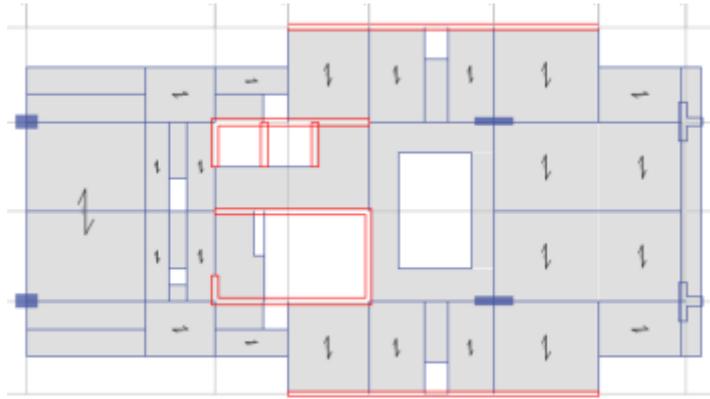


Figura 31: Plano en planta

Fuente: Programa Etabs 2017

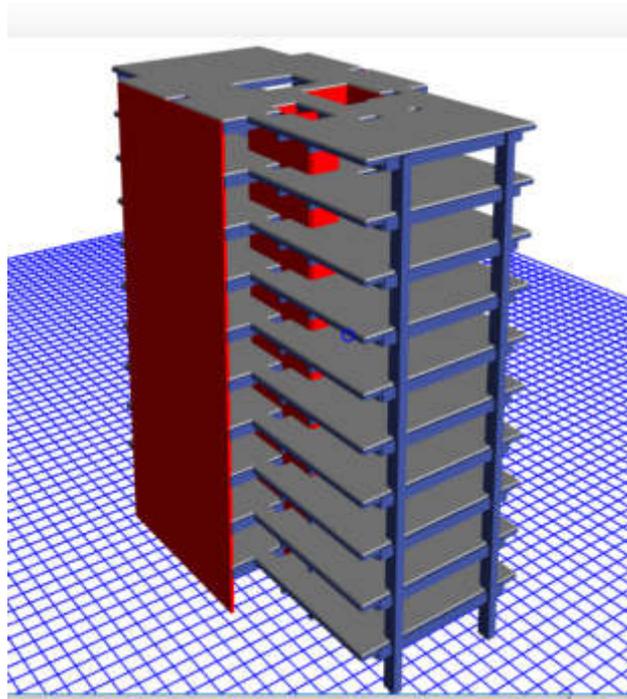


Figura 32: Isométrico en 3D de la edificación de 10 pisos

Fuente: Programa Etabs 2017

- **Modos de vibración de la estructura**

Tabla 19: Modo de vibración de la estructura

Case	Mode	Periodo sec	UX	UY	UZ	Sum UX	Sum UY
Modal	1	0.676	0.7308	0.0001	0	0.7308	0.0001
Modal	2	0.457	0.013	0.0002	0	0.7438	0.0004
Modal	3	0.366	0.0004	0.6824	0	0.7442	0.6827
Modal	4	0.194	0.1403	0.0001	0	0.8845	0.6828
Modal	5	0.113	0.0001	0.0001	0	0.8846	0.6829
Modal	6	0.097	0.05	0.0001	0	0.9346	0.683
Modal	7	0.083	2.92E-05	0.2033	0	0.9346	0.8863
Modal	8	0.061	0.0263	7.88E-06	0	0.9609	0.8863
Modal	9	0.053	0.0001	2.02E-05	0	0.961	0.8863
Modal	10	0.043	0.0157	1.17E-06	0	0.9767	0.8863
Modal	11	0.038	7.42E-07	0.0614	0	0.9767	0.9477
Modal	12	0.035	2.81E-05	1.50E-05	0	0.9767	0.9477

Fuente: Elaboración propia, 2019.

- **Periodo fundamental de la estructura (T)**

Tabla 20: Periodo fundamental de la estructura

Modo	Periodo	UX	UY
1	0.676	0.7308	
3	0.366		0.6824

Fuente: Elaboración propia, 2019.

- **Cortante en la base de la edificación**

$$V = (ZUCS/R) * P$$

Peso de la edificación

Tabla 21 : Peso de la edificación

Carga estática	Tipo carga	de Dirección	Excentricidad (%)	planta	Peso (tn)
SEX	Seismic	X + Ecc. Y	5	Piso 1	2934.4946
SEY	Seismic	Y + Ecc. X	5	Piso 1	2934.4946

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Tabla 22 : Cortante elástico

PLANTA	ALTURAS	Vx	Vy
Piso 10	28.00	79.1363	79.1363
Piso 9	25.20	163.0818	163.0818
Piso 8	22.40	237.7001	237.7001
Piso 7	19.60	302.9911	302.9911
Piso 6	16.80	358.9548	358.9548
Piso 5	14.00	405.5912	405.5912
Piso 4	11.20	442.9004	442.9004
Piso 3	8.40	470.8822	470.8822
Piso 2	5.60	489.5368	489.5368
Piso 1	2.80	498.8641	498.8641

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Cortante dinámico

Tabla 23: Cortante dinámico

PLANTA	ALTURAS	Vx	Vy
Piso 10	28.00	43.6999	67.056
Piso 9	25.20	82.0194	130.6673
Piso 8	22.40	112.0694	181.1562
Piso 7	19.60	136.4125	222.0839
Piso 6	16.80	156.9852	255.8960
Piso 5	14.00	174.9530	283.4579
Piso 4	11.20	190.7729	305.2657
Piso 3	8.40	203.9714	321.7994
Piso 2	5.60	213.5412	332.7842
Piso 1	2.80	218.0344	337.5891

Fuente: Elaboración propia, 2019.

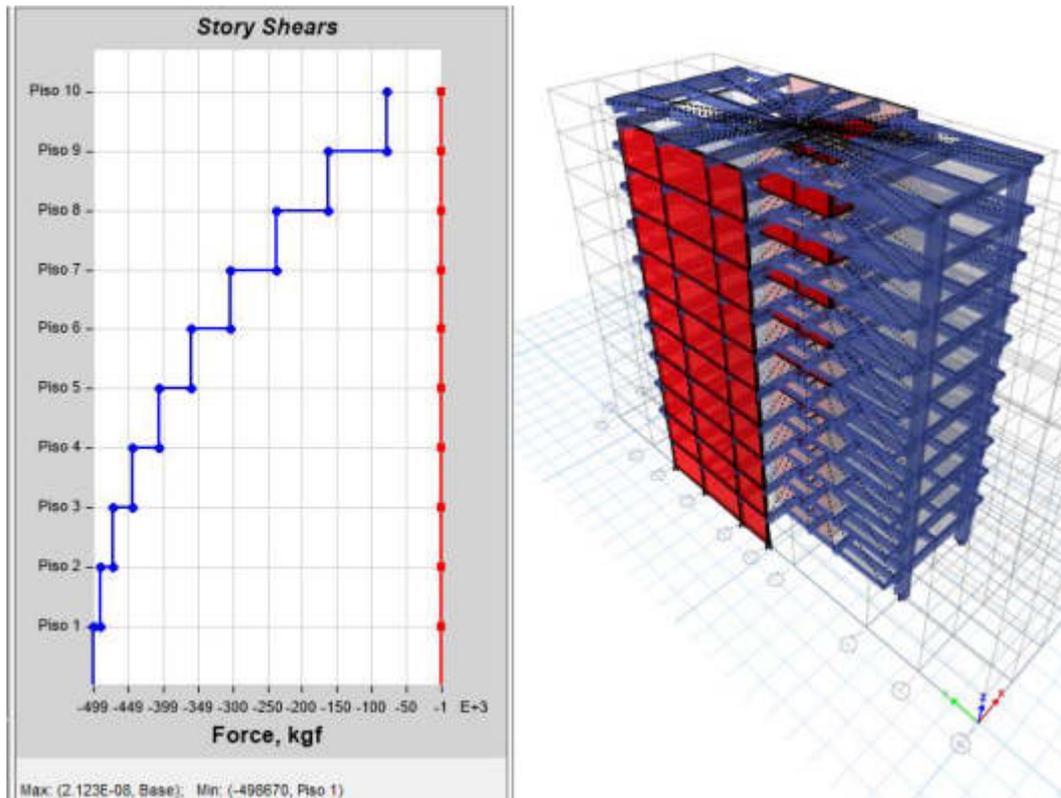


Figura 33: cortante basal.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Desplazamientos máximos de la edificación

Tabla 24: Desplazamientos máximos de la edificación

desplazamiento entrepiso		de desplazamiento acumulado	
X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)
0.00961	0.00702	0.11226	0.06301
0.01058	0.00724	0.10265	0.05599
0.01151	0.00735	0.09207	0.04875
0.01220	0.00730	0.08056	0.04139
0.01258	0.00708	0.06836	0.03409
0.01257	0.00661	0.05577	0.02702
0.01207	0.00588	0.04320	0.02041
0.01092	0.00572	0.03113	0.01452
0.01028	0.00494	0.02021	0.00880
0.00994	0.00386	0.00994	0.00386

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Derivas de entre piso

Tabla 25: Derivas de entre piso

Planta	Altura	Derivas elásticas (X)	Derivas elásticas (Y)	Derivas inelásticas (X)	Derivas inelásticas (Y)	Limite	Obs
	m					m/m	
10	28.0	0.000654	0.000377	0.00343	0.002507	0.007	ok
9	25.2	0.000720	0.000389	0.00378	0.002587	0.007	ok
8	22.4	0.000783	0.000395	0.00411	0.002627	0.007	ok
7	19.6	0.000830	0.000392	0.00436	0.002607	0.007	ok
6	16.8	0.000856	0.000380	0.00449	0.002527	0.007	ok
5	14.0	0.000855	0.000355	0.00449	0.002361	0.007	ok
4	11.2	0.000821	0.000316	0.00431	0.002101	0.007	ok
3	8.4	0.000743	0.000292	0.00390	0.002044	0.007	ok
2	5.6	0.000699	0.000252	0.00367	0.001764	0.007	ok
1	2.8	0.000507	0.000197	0.00355	0.001379	0.007	ok

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Se puede ver que las distorsiones máximas para cada piso y para cada dirección son menores a los establecidos por la Norma E.030 del R.N.E (figura 34).

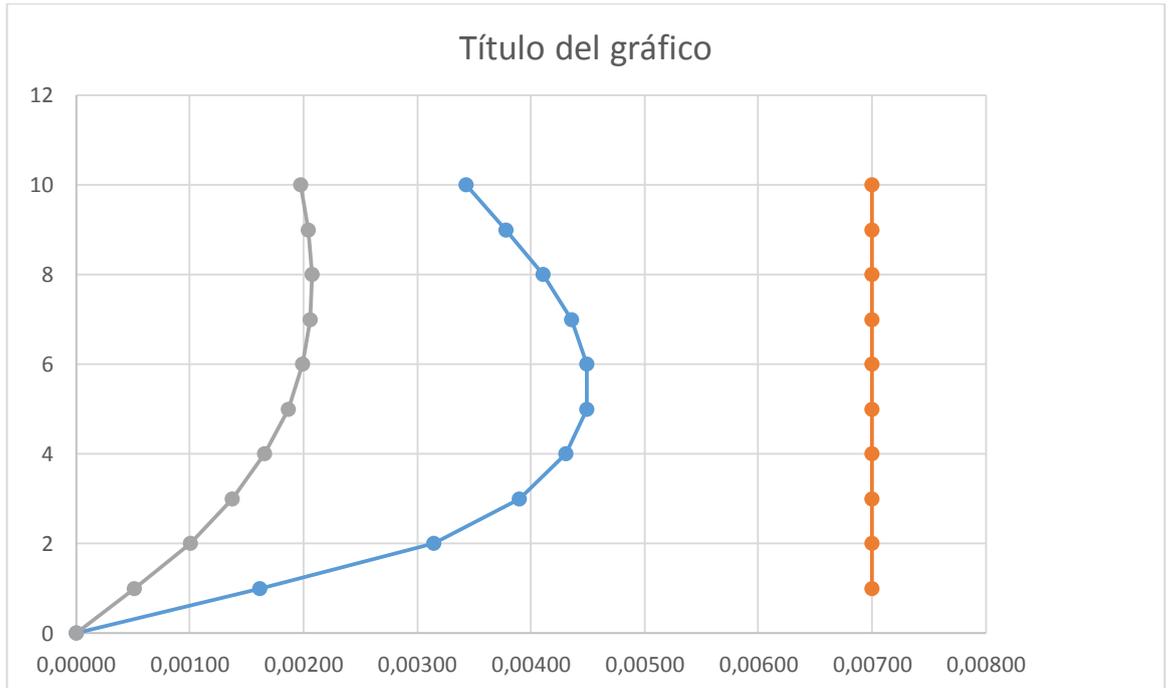


Figura 34: Distorsiones máximas para cada piso

Fuente: Elaboración propia, 2019.

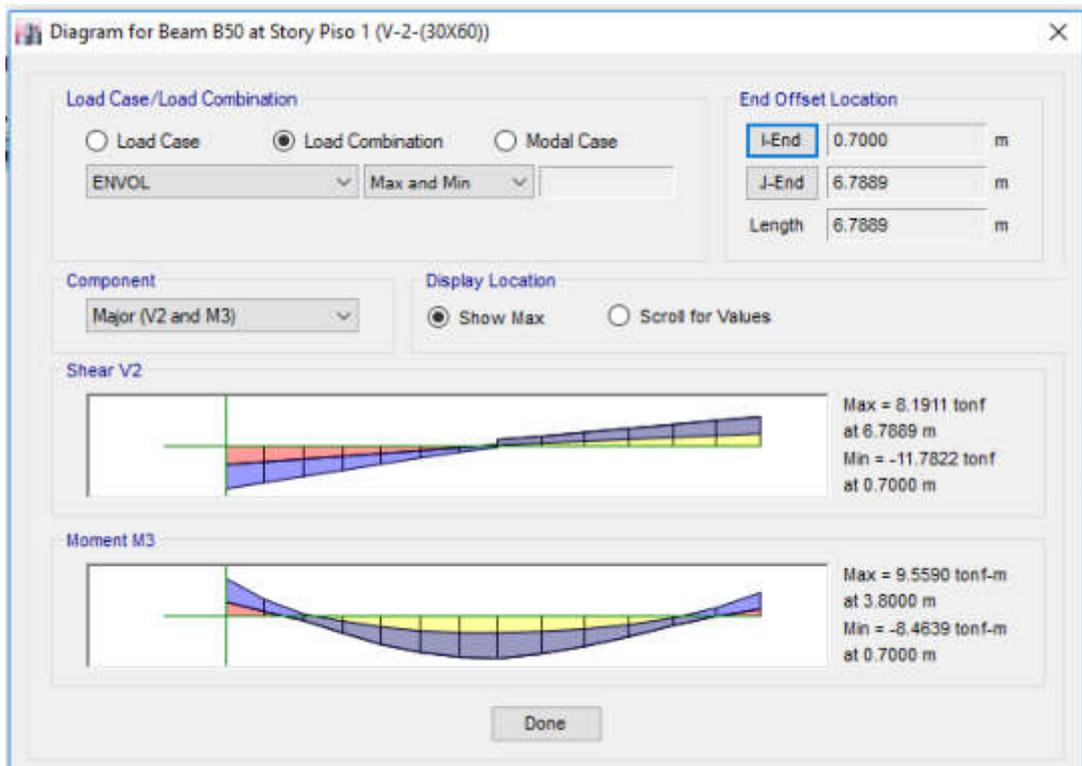


Figura 35: Gráfica de momento de flexión y corte (atrás)

Fuente: Etabs, 2017.

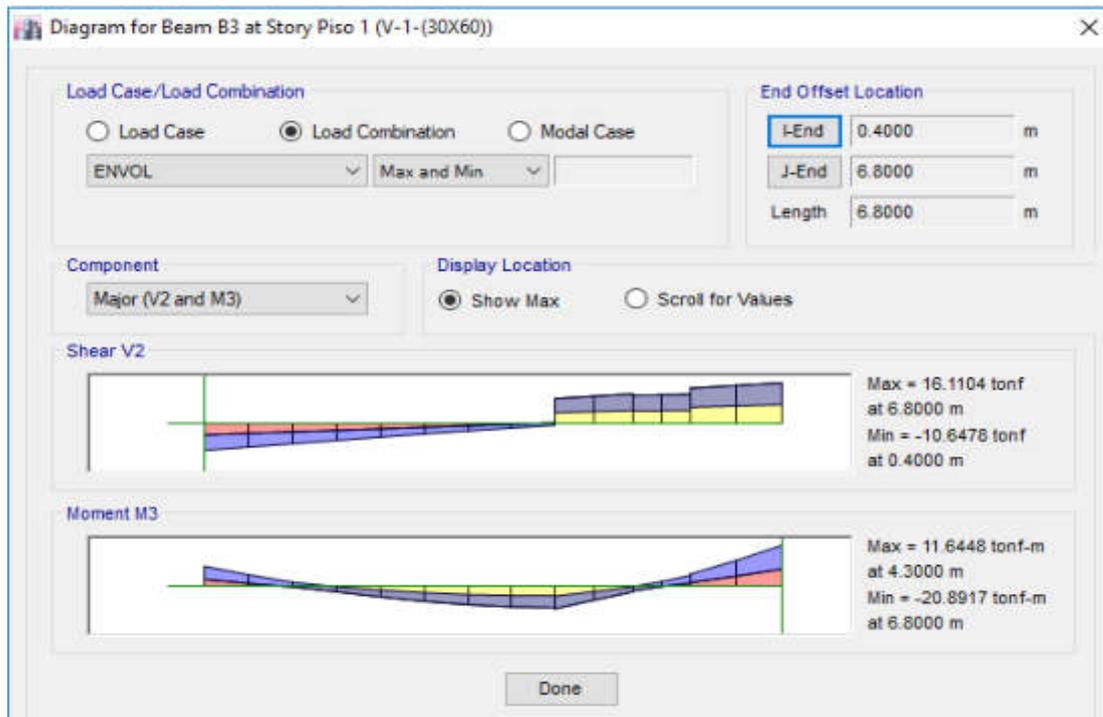


Figura 36: Gráfica de momento de flexión y corte (adelante)

Fuente: Etabs 2017

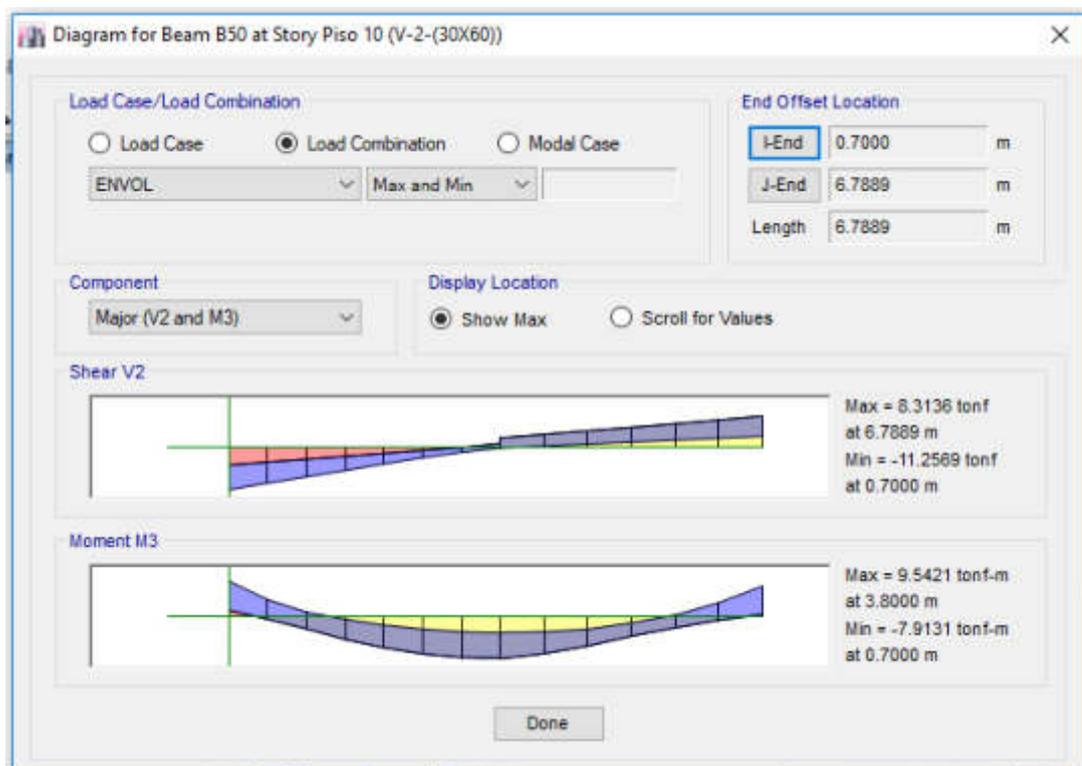


Figura 37: Gráfica de momento de flexión y corte (atrás)

Fuente: Etabs, 2017.

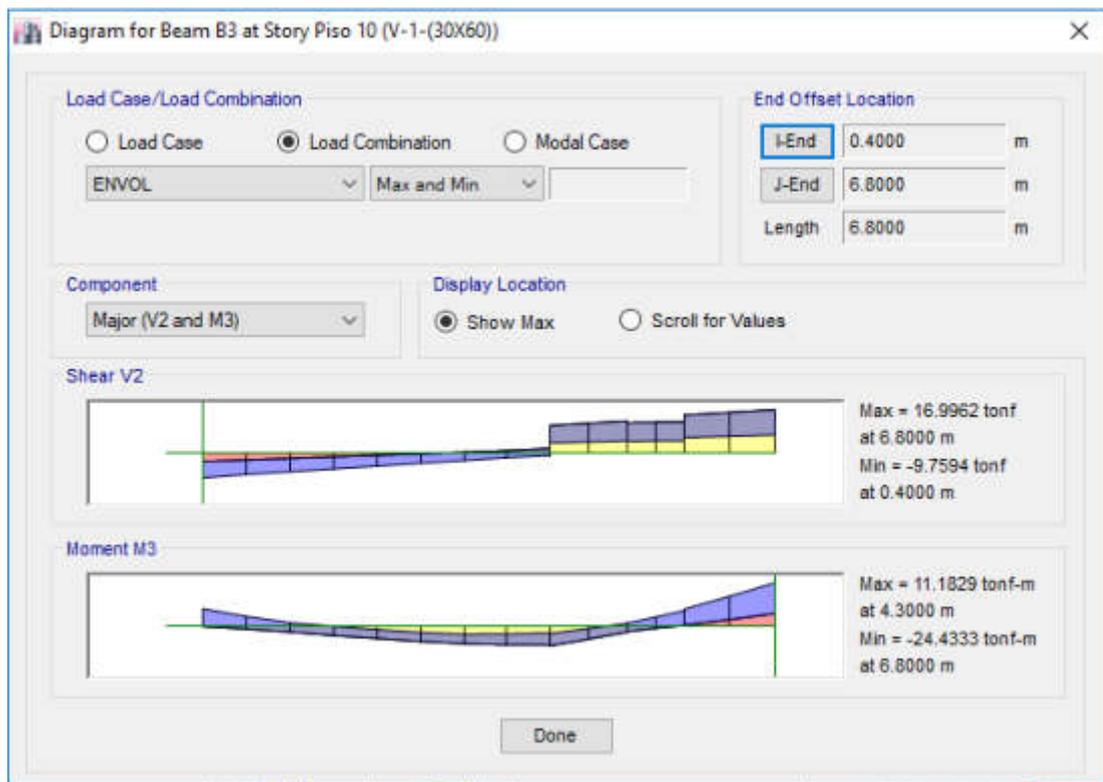


Figura 38: Gráfica de momento de flexión y corte (adelante)

Fuente: Etabs 2017

#### 4.2 Edificación con sistema de aislamiento de 10 pisos

El presente análisis es a la misma vivienda multifamiliar, el cual se refiere al proyecto estructural de una edificación multifamiliar de 10 pisos, situado en Av. República de Panamá en el distrito de Barranco - Lima.

Para la siguiente etapa se considera la misma estructuración de la cimentación, con un cambio en las estructuras verticales específicamente el cambio de placas por columnas que parten del sótano, la superestructura de la edificación estará basada por un sistema a porticado, así como por una escalera, dos ascensores, losas aligeradas y losa maciza el cual formaría un sistema a porticado.

El análisis sísmo resistente de las estructuras es tal vez la más primordial, porque de ella depende un diseño adecuado en el cual se decide una estructura en función de sus propiedades en la que la

edificación en estudio juega un papel muy importante. En tal sentido, se realizará un análisis estructural incorporando aisladores sísmicos, el cual es el resultado de síntesis de muchas consideraciones en la que se deciden las principales características de la estructura, ya sea su forma, ubicación y distribución de sus elementos resistentes, así como la ubicación del aislador y su dimensionamiento correspondiente.

Las partes que conforman el diseño estructural en concreto y acero y la incorporación de los aisladores se realizarán cumpliendo estrictamente las diferentes normas que se establecen en el reglamento nacional de edificaciones, así como las normas internacionales ACI y ASCE. 7-10.

El presente análisis comprende el cálculo del sistema de aislamiento para el proyecto: Multifamiliar, ubicado en el departamento de Lima, Perú.

Se muestra la configuración de los aisladores en planta, el análisis global del sistema de aislamiento, el cálculo de las propiedades lineales y propiedades no lineales y el análisis local de los dispositivos.

Como resultados abarca el nivel de desempeño alcanzado de la estructura (derivas de entrepiso, aceleraciones de entrepiso, relación corte peso, etc.) y las propiedades dinámicas y dimensiones referenciales de los dispositivos que conforman el sistema de aislamiento. El aislamiento consta de 16 aisladores elastoméricos de caucho natural con núcleo de plomo del tipo LRB (Lead Rubber Bearing), 2 aisladores deslizantes de fricción simple del tipo PTFE (Politetrafluoroetileno).

#### **4.2.1 Normas y documentos de referencia**

Planos del Proyecto.

Modelos en ETABS

AASHTO, Guide Specifications for Seismic Isolation Design.

ASCE/SEI 07-16 Cap. 17-Sistemas de Aislamiento Sísmico.

RNE, E-030 Diseño Sismorresistente.

PN E.031 Aislamiento Sísmico

Design of seismic isolated structures - Fazard Naeim and James Kelly.

#### **4.2.2 Materiales empleados**

Los materiales a emplear en esta edificación y que conformarán los elementos resistentes a las diferentes sollicitaciones a las que se someterá la estructura durante su vida útil son:

Concreto Armado

$f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$

Acero Grado 60

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

$E_s= 2038901.92 \text{ kg/cm}^2$

$\gamma_s=7850 \text{ kg/m}^3$

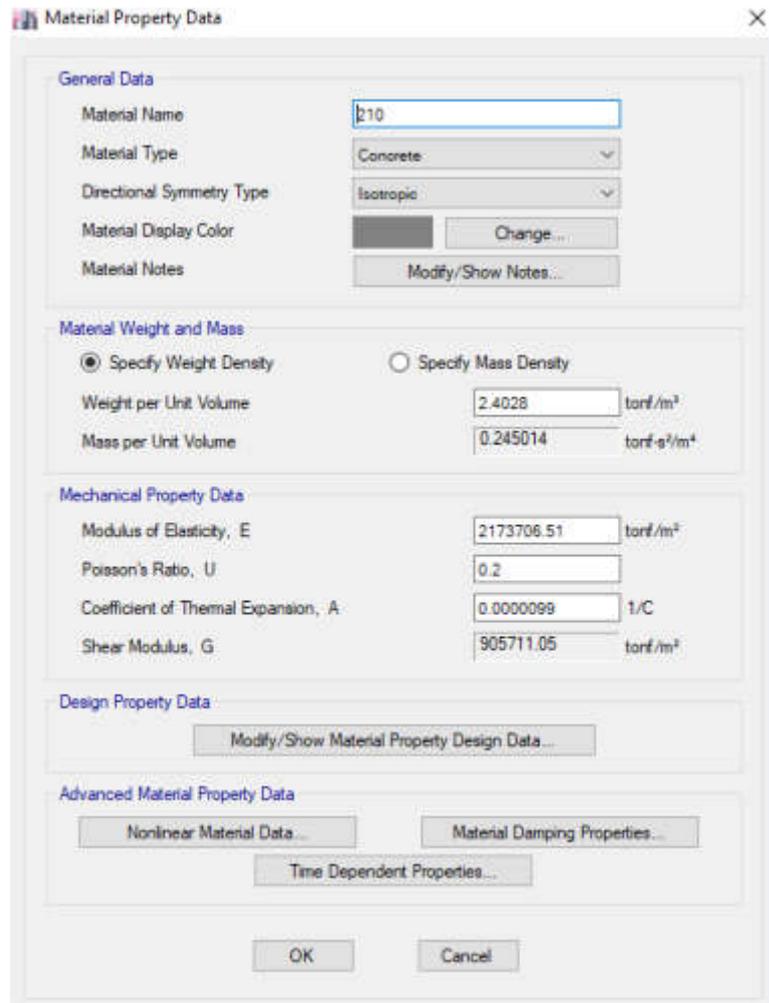


Figura 39: Introducción de materiales a usar al programa

Fuente: Etabs 2017

### 4.2.3 Características del proyecto

Ubicación: Dpto. Lima, Perú.

Número de Pisos: 10 niveles.

Número de Sótanos: 1 piso de inspección del sistema de aislamiento.

Altura de Entrepiso: 2.8m.

Dimensiones en planta: Manzana Aislada 120.75x34.95m<sup>2</sup> aprox.

Tipo de Suelo: Suelo muy rígido – S1.

Condiciones de cimentación

Tabla 26: Condiciones de la cimentación

Tipo de cimentación	Zapatas aisladas y corridas de concreto armado
Estrato de apoyo	Grava mal graduada (GP) S1
Profundidad mínima de cimentación	1.30m (medido desde el terreno natural)
Presión admisible	2.94 kg/cm <sup>2</sup>
Máximo asentamiento esperado	2.245 cm
Profundidad del nivel freático	No se encontró napa freática
Recomendaciones adicionales	No se encontró una concentración considerable de sulfatos o sales agresivas usar cemento portland tipo I en el concreto de la cimentación y de los elementos estructurales en contacto con suelo.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

#### 4.2.4 Pre dimensionamiento

Toda estructura de edificaciones previo a realizarse un análisis debe someterse al pre dimensionamiento de todos sus elementos estructurales, las dimensiones tentativas que son propuestas son factores que serán modificadas en el proceso para obtener resultados óptimos, tales modificaciones se realizarán de acuerdo a los parámetros de cargas de gravedad y cargas sísmicas.

El pre dimensionamiento correspondiente será realizado en base a criterios establecidos en el RNE y algunas bibliografías confiables que fueron propuestos por autores reconocidos

##### a) Vigas

Las dimensiones de las vigas son consideradas generalmente con peraltes del orden L/10 a L/12 de la luz libre entre los apoyos, el ancho de la base de la viga se considera como un 30% del peralte con una base mínima de 25 cm, es recomendable no llegar a un ancho de base mayor que el peralte por considerarse menos importante respecto a la altura ya que dicha altura proporciona mayor grado de inercia.

$$\frac{l}{12} \leq h \leq \frac{l}{10} \quad b = \frac{h}{2}$$

h: peralte de la viga

l: luz libre entre apoyos

## b) Columnas

Para dimensionar columnas se tomarán en cuenta las fuerzas axiales, ya que dichas cargas son las que predominan frente a estos elementos, el cual será también evaluado de acuerdo a su ubicación: columnas esquineras, centrales y/o de borde.

Columnas céntricas:

$$\frac{Pt}{0,45xf'c}$$

Columnas esquineras y de borde:

$$\frac{Pt}{0,35xf'c}$$

## c) Losas

Los criterios tomados para el predimensionamiento de las losas se realizarán teniendo en cuenta las deflexiones, ya que es el aspecto con mayor importancia en su diseño, entre los diferentes tipos de losas tenemos las losas macizas, losas nervadas y las losas aligeradas.

- Losa maciza

$$\frac{L}{40} < H < \frac{L}{25} - 5cm$$

- Losa aligerada

La norma E.060 recomienda peraltes mínimos para no chequear las deflexiones

$$h \geq \frac{L}{25}$$

l: luz libre más desfavorable

El proyecto tiene luces de 2.9, 5.7, 3.7, 3.17m, el cual luego de aplicar los criterios establecidos con anterioridad nos generan las alturas de los techos que son losas aligeradas convencionales en una dirección y losas macizas de espesor 20 cm.

#### **4.2.5 Sistema estructural**

El Sistema estructural está constituido por pórticos de concreto armado en ambas direcciones. Las columnas de la superestructura son de sección 140x140 cm<sup>2</sup> predominantemente. También, se han colocado en algunas zonas puntuales columnas de sección 80x75 cm<sup>2</sup> y en forma de T. Las vigas tienen diversas secciones, predominando 30x70 cm<sup>2</sup>, 30x60 cm<sup>2</sup>, 25x60 cm<sup>2</sup>, etc. Los entrepisos están conformados principalmente por losas aligeradas unidireccionales de 20cm de espesor y losas macizas de 20cm de espesor.

En la imagen se muestra la configuración estructural del edificio aislado.



Figura 40: Planta Encofrado 1er piso en ETABS

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Para incorporar los aisladores se propone la implementación de pedestales y capiteles (en la interfaz de aislamiento) de sección mínima de 140x140 cm<sup>2</sup>. Todos los capiteles y pedestales tendrán un peralte de al menos 10cm más que la viga de conexión. Las vigas que conectan estos pedestales tendrán una sección de 40x100 cm<sup>2</sup>.

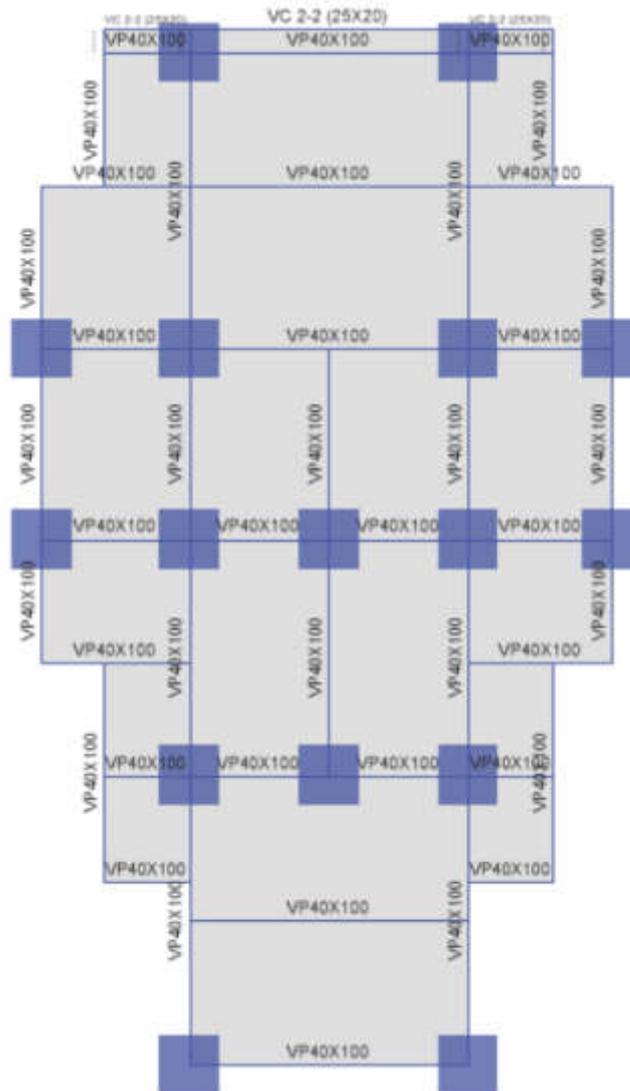


Figura 41: Planta primer nivel (sobre sistema de aislamiento) en ETABS

Fuente: Elaboración propia, 2019.

#### 4.2.6 Metrado de cargas

El metrado de cargas de la edificación se realizará tomando en cuenta el criterio establecido en la norma E020 del Reglamento Nacional de Edificaciones, en lo que respecta a las cargas de gravedad muerta o permanente y a la carga viva. “Las cargas de gravedad son las generadas por el peso propio de los diferentes elementos estructurales y no estructurales de la edificación y las generadas por las cargas vivas que actúan por la función que cumple esta edificación”. Para determinar los pesos propios

de los elementos estructurales y no estructurales, se han considerado los siguientes pesos unitarios:

- Carga muerta

Tabla 27: Cargas muertas

<b>Pesos específicos</b>	
Concreto armado	2400.00 kg/m <sup>3</sup>
Concreto simple	2200.00 kg/m <sup>3</sup>

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Tabla 28: Cargas muertas

<b>Pesos unitarios</b>	
Losa aligerada h=0.20m	300.00 kg/m <sup>2</sup>
Losa maciza h=0.20m	480.00 kg/m <sup>2</sup>
Acabados	150.00 kg/m <sup>2</sup>
Tabiquería	150.00 kg/m <sup>2</sup>

Fuente: Elaboración propia, 2019.

- Carga viva

Tabla 29: Cargas vivas

<b>Sobrecarga</b>	
Cuartos	200.00 kg/m <sup>2</sup>
Baños	200.00 kg/m <sup>2</sup>
Escaleras y corredores	200.00 kg/m <sup>2</sup>

Fuente: Elaboración propia, 2019.

El desarrollo del análisis de la edificación se realizará mediante un modelo tridimensional lineal elástico mediante el uso del programa ETABS v.17.0.1, para el cual será necesario introducir datos ya calculados en el proceso de estructuración los cuáles serán las dimensiones de cada elemento estructural, así como las cargas y sobrecargas de la edificación según el tipo de uso.

#### 4.2.7 Proceso de aislamiento

Niveles de Aislación: El Bloque aislado constituye 1 nivel de aislamiento, inmediatamente debajo del Primer Nivel el cual es la superestructura y por debajo del sistema de aislación tendríamos la subestructura conformado por las zapatas y un conjunto de elementos estructurales que será el encargado de resistir el proyecto aislado.

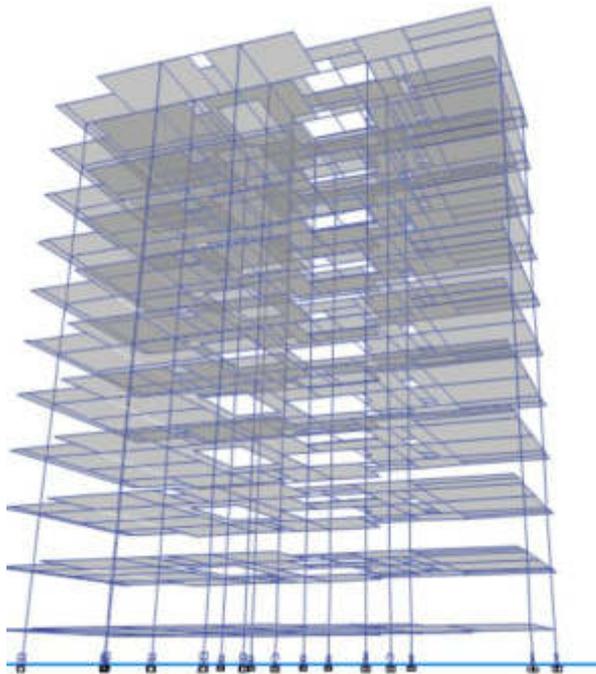


Figura 42: Nivel de Aislamiento (línea roja).

Fuente: Elaboración propia, 2019.

### Características del sistema de aislamiento (Dispositivos a emplear)

Para el sistema de aislamiento se utilizarán los dispositivos elastoméricos con núcleo de plomo por sus características a un mejor comportamiento a los eventos sísmicos frente a otro tipo de dispositivos, también, se usarán los deslizadores de fricción por su bajo costo y la capacidad de restitución de las fuerzas sísmicas, este sistema de aislación estará formado por 14 aisladores elastoméricos de caucho natural con núcleo de plomo tipo LRB-A y 2 aisladores deslizantes de fricción simple PTFE del tipo Slider B. los cuales estarán ubicados en todas los elementos verticales, a continuación se muestra la ubicación esquemática de los aisladores en la Figura 43

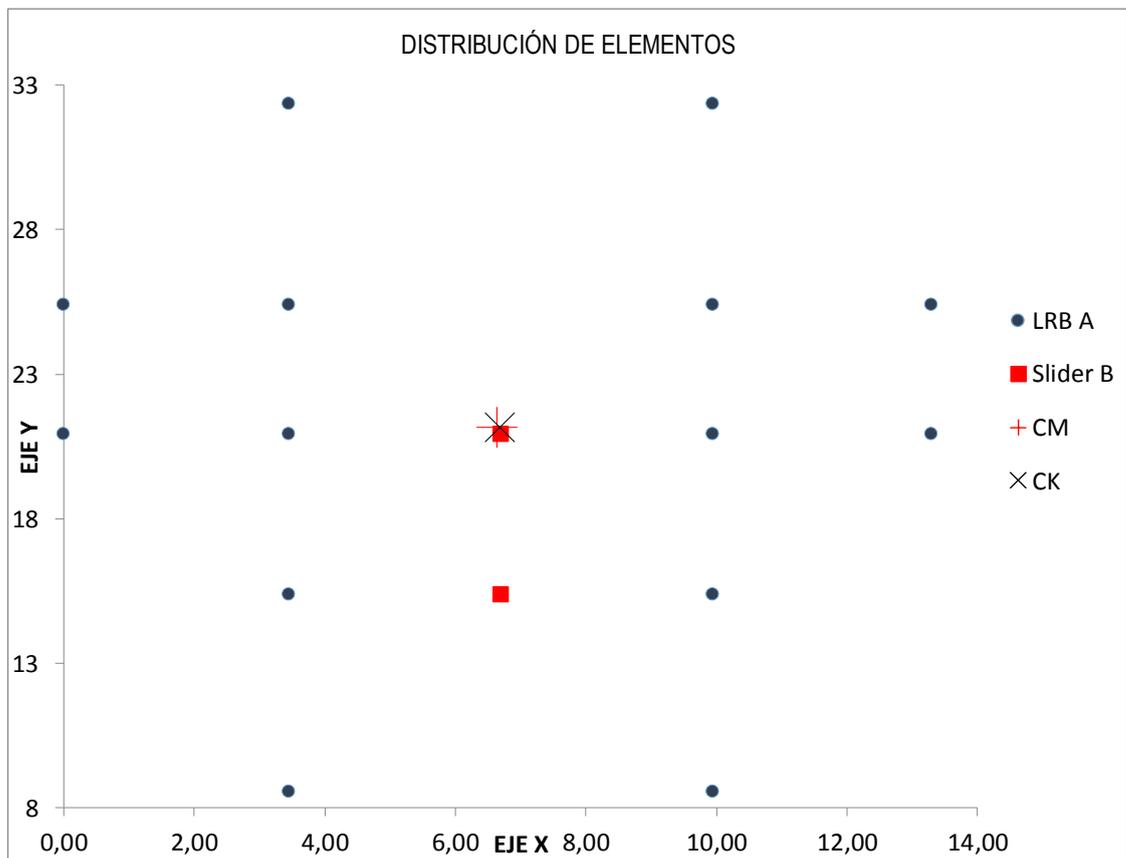


Figura 43: Ubicación esquemática de Aisladores en planta

Fuente: Elaboración propia, 2019.

- **Espectro de diseño del sistema de aislación**

Siguiendo las exigencias de la norma ASCE/SEI 7-16 y E.031 (proyecto de norma) Aislamiento Sísmico, para analizar y diseñar el sistema de aislamiento y la estructura, se hace uso del sismo MCE (Maximum Credible Earthquake/Sismo máximo posible), que tiene un periodo de retorno de 2475 años y una probabilidad de excedencia de 2% en 50 años. La magnitud del MCE es 1.5 veces la magnitud del sismo DBE (Design Basis Earthquake) mismo que se emplea para el diseño de estructuras convencionales de acuerdo a nuestros códigos de diseño vigentes.

Teniendo en cuenta la NTP E.030 “Diseño Sismorresistente” del (RNE) vigente se determinaron los parámetros sísmicos de la edificación y se construyó el espectro de Pseudoaceleración para sismo máximo MCE (Ver Fig-05 “Espectro de respuesta MCE”).

Estos parámetros sísmicos a emplear son:

Tabla 30: Parámetros sísmicos

Factor de zona	Z = 0.45 (Z4)
Factor de suelo	S=1.00, Tp=0.4s y TL=2.50s (S1)
Factor de uso	U=1.00, (Edificación aislada)
Factor de redcc . De fuerza sísmica	R=1.00, (Edificación aislada)

Fuente: NTP E030-2018

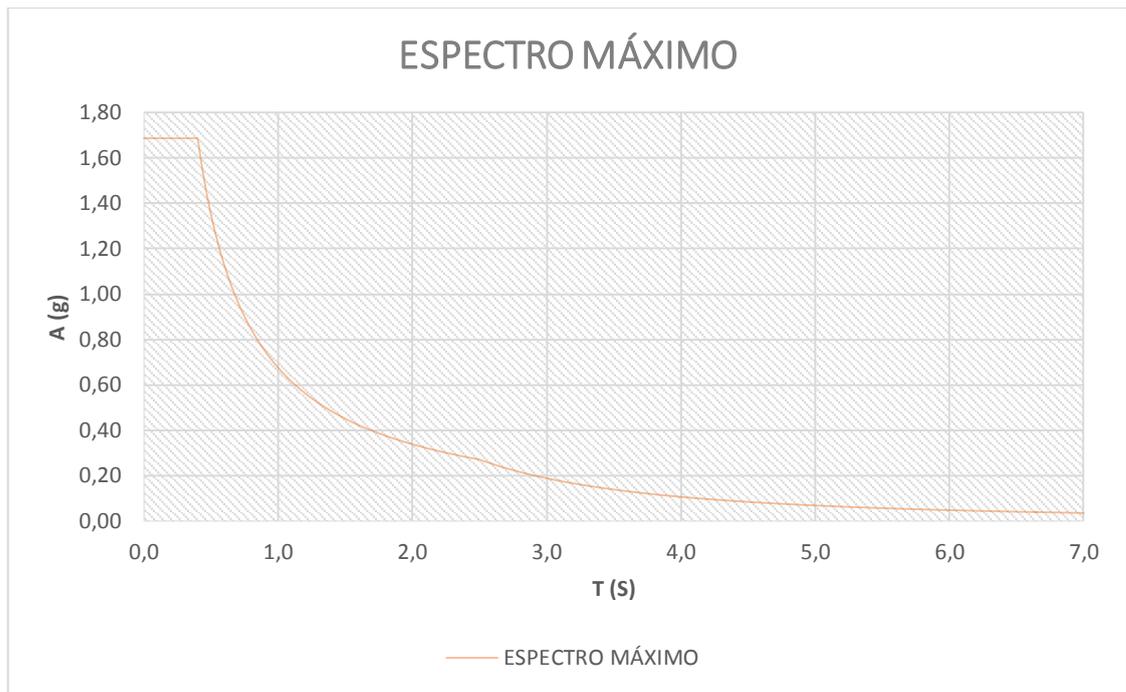


Figura 44: Espectros de Pseudo aceleración a sismo máximo.

Fuente: Etabs 2017

#### 4.2.8 Análisis y diseño

Para el diseño del sistema de aislamiento y las consideraciones que se deben tener para el diseño de la superestructura, se tendrán en cuenta los factores de modificación de propiedad Lambda, mismos que son definidos según el artículo 17.2.8.4 del ASCE 7-16 mediante las siguientes ecuaciones:

$$\lambda_{max} = \left( 1 + \left( 0.75x(\lambda_{ae,max} - 1) \right) \right) x \lambda_{test,max} x \lambda_{spec,max}$$

$$\lambda_{min} = \left( 1 + \left( 0.75x(\lambda_{ae,min} - 1) \right) \right) x \lambda_{test,min} x \lambda_{spec,min}$$

Donde:

$\lambda_{ae,max}$ : Factor máximo de modificación Lambda por efectos ambientales, de envejecimiento y contaminación.

$\lambda_{ae,min}$ : Factor mínimo de modificación Lambda por efectos ambientales, de envejecimiento y contaminación.

$\lambda_{test,max}$ : Factor máximo de modificación lambda por efectos de calentamiento, velocidad y scragging.

$\lambda_{test,min}$ : Factor mínimo de modificación lambda por efectos de calentamiento, velocidad y scragging.

$\lambda_{spec,max}$ : Factor máximo de modificación lambda por variaciones de manufactura.

$\lambda_{spec,min}$ : Factor mínimo de modificación lambda por variaciones de manufactura.

Estos factores permiten contemplar en el análisis las variaciones de las propiedades dinámicas de los dispositivos durante su vida útil debido a los factores descritos en la parte superior. Entonces, para realizar el análisis y diseño del sistema de aislamiento deben considerarse 2 comportamientos probables más críticos: El lazo superior (Upper Bound), que supone un sistema más rígido que el nominal y por ende ofrece mayores fuerzas cortantes y el lazo inferior (Lower Bound), que supone un sistema más flexible que el nominal, ofreciendo mayores desplazamientos del sistema de aislamiento. Ver Figura.

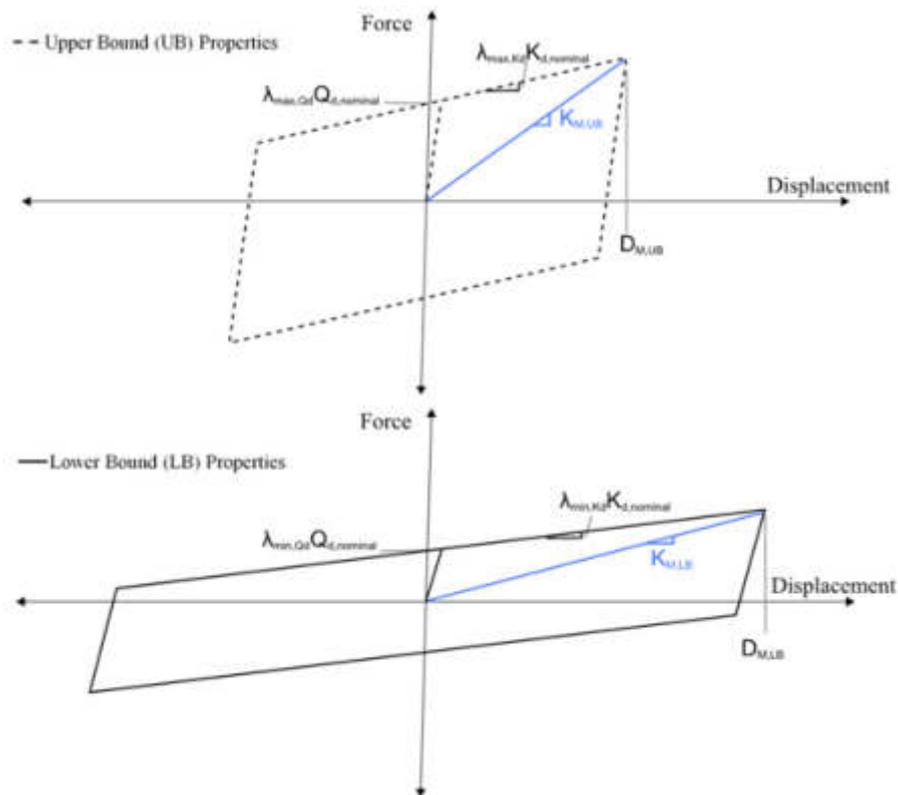


Figura 45: Lazos superior e inferior

Fuente: Proyecto de Norma Técnica - Aislamiento Sísmico, 2018

En general, el análisis y diseño consiste en procesos iterativos en el cual se modifican las propiedades tanto geométricas como dinámicas de cada uno de los elastoméricos y deslizadores, así como la modificación de la colocación de los dispositivos, con el único fin de llegar a un desempeño óptimo esperado, (disminución de derivas de entrepiso, relación Cortante basal/Peso, reducir la aceleración de la estructura aislada, disminuir los esfuerzos en cada elemento estructural, etc.).

En principio, se determina el amortiguamiento y el periodo objetivo de la edificación aislada, para luego proceder a calcular los desplazamientos para el máximo sismo esperado, haciendo el uso del procedimiento de las Fuerzas Laterales Equivalentes, establecido en el “capítulo 17 de la norma americana ASCE/SEI 7-16”.

El periodo efectivo de la estructura sísmicamente aislada,  $T_M$ , asociado al desplazamiento traslacional  $D_M$  en la dirección de análisis, se calcula empleando la fórmula:

$$T_M = 2\pi \sqrt{\frac{P}{k_M g}}$$

Donde:

P: Peso sísmico de la estructura sobre la interfaz de aislamiento de acuerdo a la NTP E.030.

$k_M$ : Rigidez efectiva (secante) del sistema de aislamiento en cada dirección de análisis. Se estima empleando la siguiente ecuación:

$$k_M = \frac{\sum |F_M^+| + \sum |F_M^-|}{2D_M}$$

$\sum |F_M^+|$ : "Sumatoria de los valores absolutos de las fuerzas en todos los aisladores del sistema de aislación para un desplazamiento positivo igual al desplazamiento  $D_M$ ".

$\sum |F_M^-|$ : "Sumatoria de los valores absolutos de las fuerzas en todos los aisladores del sistema de aislamiento para un desplazamiento negativo igual al desplazamiento  $D_M$ ".

El amortiguamiento efectivo del sistema de aislación, asociado al desplazamiento traslacional máximo  $D_M$ ,  $\beta_M$ , se halla empleando la siguiente expresión:

$$\beta_M = \frac{\sum E_M}{2\pi k_M D_M^2}$$

Donde:

$\Sigma E_M$ : “Energía disipada total por el sistema de aislamiento durante un ciclo completo de respuesta al desplazamiento,  $D_M$ . Se calcula como el área del ciclo histerético de desplazamiento”.

El desplazamiento se calcula empleando la fórmula:

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

Donde:

$D_M$ : Desplazamiento máximo traslacional de la estructura aislada.

$S_{aM}$ : Aceleración espectral con 5% de amortiguamiento, para sismo máximo.

g: Gravedad.

$B_M$ : Coeficiente de amortiguamiento, que depende del amortiguamiento objetivo de la estructura aislada. (Ver Tabla 01).

Tabla 31: Coeficiente de amortiguamiento en función del amortiguamiento Efectivo.

Amortiguamiento Efectivo $\beta$ (%)	Coeficiente de amortiguamiento $B$
$\leq 2$	0.8
5	1.0
10	1.2
20	1.5
30	1.7
40	1.9
$\geq 50$	2.0

Fuente: Proyecto de Norma Técnica - Aislamiento Sísmico, 2018

El desplazamiento total, DTM, se calcula considerando el efecto de la torsión real y accidental, para el caso menos favorable de masa excéntrica. No debe ser menor que:

$$D_{TM} = D_M \left[ 1 + \left( \frac{y}{P_T^2} \right) \left( \frac{12e}{b^2 + d^2} \right) \right]$$

Donde:

$D_M$  : Desplazamiento de traslación en el centro de rigideces del sistema de aislamiento en la dirección de análisis.

$y$  : Distancia entre del centro de rigidez del sistema aislado hacia un elemento de interés, en forma perpendicular a la dirección de la sollicitación sísmica considerada.

$e$ : Excentricidad obtenida como la suma de la distancia en planta entre el centro de masa de la estructura sobre la interfaz de aislamiento y el centro de rigidez del sistema de aislamiento, más la excentricidad accidental, tomada como 5% de la mayor dimensión en planta del edificio en dirección perpendicular a la de la fuerza sísmica considerada.

$b$ : Dimensión menor de la proyección en planta de la estructura, medida perpendicularmente a la dimensión mayor,  $d$ .

$d$ : Dimensión mayor de la proyección en planta de la estructura.

$P_T$ : Razón entre el período traslacional efectivo del sistema de aislamiento y el período rotacional efectivo del sistema de aislamiento. No requiere ser menor que 1.

$$P_T = \frac{1}{r_a} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i^2 + y_i^2)}{N}}$$

Donde:

$r_a$ : Radio de giro del sistema de aislamiento, el cual es igual a  $\frac{1}{12} \sqrt{b^2 + d^2}$ , en sistemas de aislamiento con planta rectangular de dimensiones  $b \times d$ .

$N$ : Número de aisladores.

$x_i$ ,  $y_i$ : Distancias horizontales entre el centro de masas del sistema de aislamiento y el aislador  $i$ -ésimo, medidas en las direcciones de los ejes del sistema de aislamiento.

Después de tener los resultados de cada parámetro objetivo inicial, procedemos a realizar los cálculos de los parámetros tanto geométricos como dinámicos de cada uno de los aisladores elastoméricos y deslizantes, así como del sistema global de aislamiento para el lazo superior, nominal e inferior; basado en una primera iteración, partiendo de las cargas en cada dispositivo.

Las cargas muertas y vivas son fáciles de obtener a partir de un metrado de cargas, ya que no se conoce la carga sísmica es válido asumirla como 2.00 veces la suma de la carga muerta más la mitad de la carga viva como un valor de partida, mismo que debe ajustarse al valor real en las siguientes iteraciones.

Seguidamente, se hace un Análisis Tiempo Historia, filtrando las características dinámicas lineales y No lineales de los elastoméricos y deslizadores. Cada resultado obtenido deberá cubrir los desplazamientos de entre pisos máximos permitidos, descartar la torsión en planta y tracción en cada uno de los elementos del sistema aislado. Asimismo, reducir la relación cortante basal/peso sísmico y aceleraciones de entrepiso.

Después de realizar todo el procedimiento establecido, se debe llegar a obtener los parámetros objetivos planteados al principio, para que los lazos histeréticos superior e inferior, cumplan con el desempeño óptimo para la edificación, de no llegar a obtener dichos resultados, se busca alternativas de solución, ya sea mejorando las propiedades o aumentando la colocación de los dispositivos del sistema aislado.

#### 4.2.9 Parámetros Objetivos de la Estructura Aislada

##### a) Parámetros objetivos

Tabla 32: Parámetros objetivo de la estructura aislada

	<u>LAZO INFERIOR</u>	<u>LAZO NOMINAL</u>	<u>LAZO SUPERIOR</u>
$T_M$ (seg.)	2.97	2.66	2.17
$\beta_M$ (%)	22	22	27
$V(Dm)/W$	0.12	0.15	0.18

Fuente: Autoría propia, 2019

##### a) Desplazamientos

Tabla 33: Parámetros de desplazamiento de la estructura aislada

	<u>LAZO INFERIOR</u>	<u>LAZO NOMINAL</u>	<u>LAZO SUPERIOR</u>
DM (m)	0.27	0.27	0.22
DTM (m)	0.31	0.31	0.25

Fuente: Autoría propia, 2019

##### c) Distribución de dispositivos, ubicación del centro de masa y rigidez del sistema de aislamiento:

La distribución de los dispositivos en planta debe ser tal que se haga coincidir el centro de masa con el centro de rigidez de la edificación, de esta manera se mitigan los efectos torsionales y los posibles esfuerzos adicionales que puedan generarse a causa de estos.

Es importante tener en cuenta que, aunque sea haga coincidir por completo el CG con el CR, debe trabajarse con una excentricidad accidental dada por norma del 5% de la longitud perpendicular al sismo de análisis.

#### 4.2.10 Propiedades geométricas y dinámicas de los aisladores elastoméricos y deslizantes

Para determinar las propiedades que corresponden a los lazos superior e inferior se emplearán los factores de modificación Lambda que recomienda la norma ASCE 7-16 para fabricantes calificados:

Tabla 34: Factores de Modificación Lambda recomendados para fabricantes calificados

	Kd	Qd	$\mu$
$\lambda$ max	1.30	1.50	1.60
$\lambda$ min	0.80	0.80	0.80

Fuente:ASCE 7-16

##### 4.2.10.1 Aisladores elastoméricos con núcleo de plomo y de bajo amortiguamiento

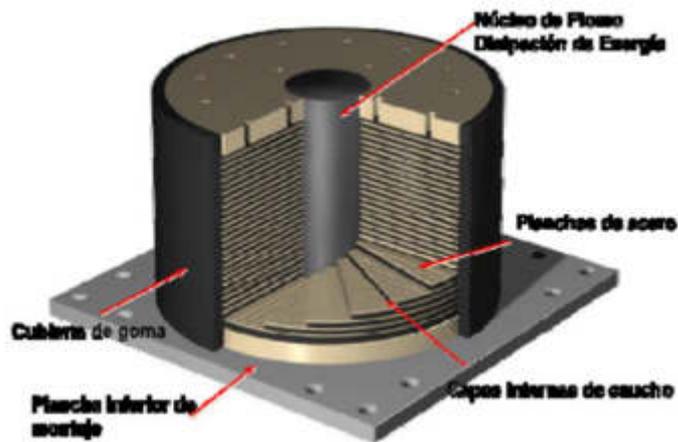


Figura 46: Partes de un Aisladores Elastomérico con Núcleo de Plomo

Fuente: Empresa Sismica, 2013

## a) Propiedades Geométricas

### *Diámetro*

Los diámetros de los aisladores serán dependientes de las cargas axiales actuantes en los estados de desplazamiento traslacional y rotacional cero, así como para un desplazamiento total máximo.

Las consideraciones establecidas para la obtención del diámetro, son tomados a criterio del profesional en la etapa de diseño, estos podrán llegar a modificarse por el encargado de fabricar dichos dispositivos siempre y cuando se cumpla con cada una de las propiedades dinámicas del dispositivo.

El diámetro obtenido luego de las “iteraciones “efectuadas es:

Tabla 35: Diámetro obtenido

<b><i>Dispositivo</i></b>	<b><i>Diámetro</i></b>
	<b><i><math>\phi</math> (mm)</i></b>
LRB-A	800

Fuente: Elaboración propia, 2019.

### *Altura*

Los aisladores sísmicos de tipo elastoméricos están conformado por dos elementos principales el caucho de goma y el acero, intercalados uno encima del otro, como se podrá ver en la imagen anterior. Para la obtención de las características dinámicas ofrecidas por el aislador se tomará en cuenta la altura del caucho. Tal valor será referencial, el cual puede llegar a modificarse por el encargado de la fabricación con el único fin de cumplir con cada uno de las características dinámicas del aislador.

La altura alcanzada luego de las iteraciones realizadas es:

Tabla 36: Altura alcanzada

<b>Dispositivo</b>	<b>Altura Total H (mm)</b>
LRB-A	476

Fuente: Elaboración propia

#### *Diámetro de Núcleo de Plomo*

El núcleo de plomo tiene la propiedad de amortiguar y rigidizar al aislador y a todo el sistema aislador. Este parámetro varía de acuerdo a las propiedades dinámicas que se deseen alcanzar. El diámetro del núcleo de plomo debe ser suficiente para que se deforme solo por corte y no por pandeo.

El diámetro de plomo obtenido para los aisladores después de las iteraciones realizadas es:

Tabla 37: Diámetro obtenido

<b>Dispositivo</b>	<b>Diámetro del Núcleo de Plomo <math>\phi_p</math> (mm)</b>
LRB-A	120

Fuente: Elaboración propia

#### Propiedades Dinámicas

Las propiedades dinámicas nominales los aisladores elastoméricos se pueden mostrar en su curva de histéresis, relación entre el desplazamiento de acuerdo a la fuerza aplicada (Figura).

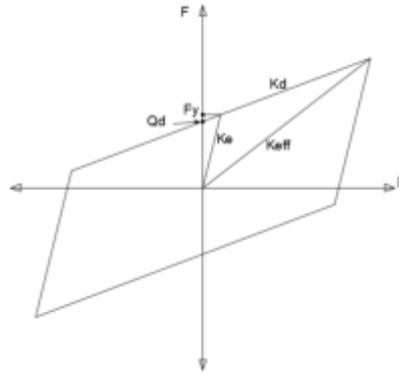


Figura 47: Curva de Histéresis de un aislador elastomérico con núcleo de plomo (LRB)

Fuente: CDT, 2011

#### Rigidez Post-Fluencia ( $K_d$ )

Rigidez que aporta el caucho del aislador, presente para desplazamientos mayores a  $D_y$  (desplazamiento de fluencia).

$$K_d = \frac{G * A_e}{hc}$$

Para el lazo superior e inferior debe multiplicarse la ecuación por  $\lambda_{max}$  y  $\lambda_{min}$  que corresponden a este parámetro respectivamente.

$$K_{d-max} = \frac{G * A_e}{hc} * \lambda_{max}$$

$$K_{d-min} = \frac{G * A_e}{hc} * \lambda_{min}$$

Donde:

$K_d$ : Rigidez post-fluencia.

$G$ : "Módulo de corte del caucho natural, comprendido entre 32-88 ton/m<sup>2</sup>. Puede variar de acuerdo a la calidad de caucho del fabricante".

$A_e$ : "Área en planta del caucho".

$hc$ : "Altura total del caucho".

Para este caso en particular se han obtenido para los aisladores los siguientes valores:

Tabla 38: Rigidez post fluencia

<b>Dispositivo</b>	<b>Rigidez Post-Fluencia <math>K_d</math> (ton/m)</b>		
	<b>Lazo Inferior</b>	<b>Lazo Nominal</b>	<b>Lazo Superior</b>
<b>LRB - A</b>	62.2	77.8	101.2

Fuente: Elaboración propia, 2019.

*Rigidez Inicial ( $K_e$ )*

Rigidez presente para desplazamiento menores al de fluencia ( $\Delta y$ ). Esta rigidez controla las pequeñas deformaciones del aislador, ante sismos muy leves y fuerzas de viento.

$$K_{e-i} = 10 * K_{d-i}$$

Tabla 39: Rigidez Inicial

<b>Dispositivo</b>	<b>Rigidez Inicial <math>K_e</math> (ton/m)</b>		
	<b>Lazo Inferior</b>	<b>Lazo Nominal</b>	<b>Lazo Superior</b>
<b>LRB - A</b>	622.05	778.34	1012.42

Fuente: Elaboración propia, 2019.

*Fuerza de Histéresis ( $Q_d$ )*

Es el valor que resulta de la intersección de la curva loop histerético al eje ordenado

$$Q_d = \sigma_y * A_p$$

Para el lazo superior e inferior debe multiplicarse la ecuación por  $\lambda_{max}$  y  $\lambda_{min}$  que corresponden a este parámetro respectivamente.

$$Q_{d-max} = \sigma_y * A_p * \lambda_{max}$$

$$Q_{d-min} = \sigma_y * A_p * \lambda_{min}$$

Donde:

Qd: "Fuerza histerética".

$\sigma_y$ : "Esfuerzo de fluencia del plomo, puede variar entre 670-1510 ton/m<sup>2</sup>. Este valor puede variar de acuerdo a la calidad de plomo del fabricante".

Ap: "Área de corte del plomo".

Tabla 40: Fuerza de Histéresis

<b>Dispositivo</b>	<b>Fuerza de Histéresis Qd (ton)</b>		
	<b>Lazo Inferior</b>	<b>Lazo Nominal</b>	<b>Lazo Superior</b>
<b>LRB - A</b>	7.32	9.16	13.72

Fuente: Elaboración propia, 2019.

- Fuerza de Fluencia (Fy)

Es la mayor Fuerza (máxima) que presenta el aislador en un estado de rigidez inicial.

$$F_{y-i} = \frac{Q_{d-i} * K_{e-i}}{K_{e-i} - K_{d-i}}$$

Se obtuvo:

Tabla 41: Fuerza de fluencia obtenida

<b>Dispositivo</b>	<b>Fuerza de Fluencia <math>F_y</math> (ton)</b>		
	<b>Lazo Inferior</b>	<b>Lazo Nominal</b>	<b>Lazo Superior</b>
<b>LRB - A</b>	8.14	10.18	15.24

Fuente: Elaboración propia, 2019.

*Desplazamiento de Fluencia ( $\Delta_y$ )*

Máximo desplazamiento al estado de rigidez inicial.

$$\Delta_y = \frac{F_{y-i}}{K_{e-i}}$$

Se tiene:

Tabla 42: Desplazamiento de fluencia

<b>Dispositivo</b>	<b>Desp. De fluencia <math>\Delta_y</math> (m)</b>		
	<b>Lazo Inferior</b>	<b>Lazo Nominal</b>	<b>Lazo Superior</b>
<b>LRB - A</b>	0.013	0.013	0.015

Fuente: Elaboración propia, 2019.

- Rigidez Efectiva (Keff)

Es la rigidez resultante para el "loop histeretico".

$$K_{eff-i} = \frac{F_{max-i}}{\Delta} = \frac{Q_{d-i} + K_{d-i} * \Delta}{\Delta}$$

Donde:

$F_{\text{máx}}$ : “Fuerza para el máximo desplazamiento para el lazo de estudio”.

$\Delta$ : “Desplazamiento del sistema estructural que varía de acuerdo al sismo máximo”.

Tabla 43: Rigidez efectiva

<b>Dispositivo</b>	<b><math>K_{effM}</math> (ton/m)</b>		
	<b>Lazo Inferior</b>	<b>Lazo Nominal</b>	<b>Lazo Superior</b>
<b>LRB - A</b>	89.46	111.94	163.71

Fuente: Elaboración propia, 2019.

*Energía Disipada por Ciclo (EDC)*

Se halla con área de los lazos histeréticos, para el desplazamiento máximo.

$$EDC_i = 4 * Q_{d-i} * (\Delta - \Delta_Y)$$

Tabla 44: Energía disipada por ciclo

<b>Dispositivo</b>	<b><math>EDC_M</math> (ton.m)</b>		
	<b>Lazo Inferior</b>	<b>Lazo Nominal</b>	<b>Lazo Superior</b>
<b>LRB - A</b>	7.49	9.37	11.23

Fuente: Elaboración propia, 2019.

*Amortiguamiento Efectivo ( $\beta_{eff}$ )*

Amortiguamiento del aislador sísmico, obtenido para sismo máximo.

$$\beta_{eff} = \frac{1}{2\pi} \left( \frac{EDC_i}{K_{eff-i} * \Delta^2} \right)$$

Se obtiene:

Tabla 45: Amortiguamiento efectivo en los lazos

<b>Dispositivo</b>	<b><math>\beta_{eff_M}</math> (%)</b>		
	<b>Lazo Inferior</b>	<b>Lazo Nominal</b>	<b>Lazo Superior</b>
<b>LRB - A</b>	18.45	18.45	22.62

Fuente: Elaboración propia, 2019.

#### 4.2.10.2 Aisladores deslizantes PTFE

Los dispositivos Slider B son elementos que se colocan en conjunto con otro tipo de aisladores para optimizar el sistema o en las zonas menos cargadas.

Los deslizadores de fricción simple se componen por 2 partes, una lámina de acero liso y un teflón de PTFE (Politetrafluoretileno), estas partes se deslizan entre ellas en el lapso de duración del sismo, disipando energía en forma del calor resultado de la fricción.

A diferencia de los aisladores no tienen capacidad de retorno, por lo que no pueden conformar por sí mismos un sistema de aislamiento.

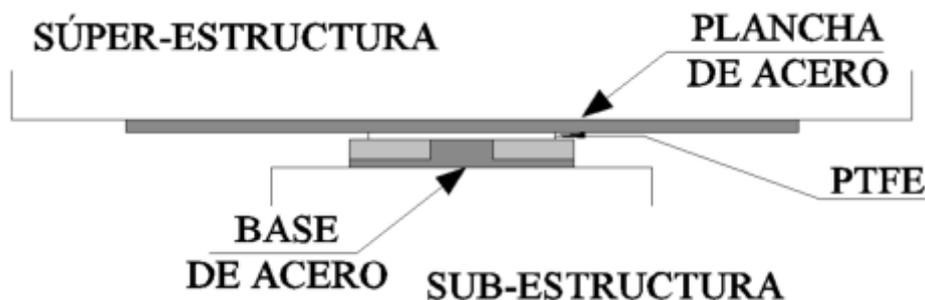


Figura 48: Partes de Aislador Deslizante de fricción simple tipo PTFE

Fuente: Genatios & Lafuente, 2016

## a) Propiedades Geométricas

### *Diámetro del Teflón*

Se refiere al diámetro de la plancha circular de teflón de Politetrafluoroetileno que se encarga de perder energía a través de la fricción con la plancha de acero. Debe calcularse tal que se cumpla con la presión admisible de 3170 ton/m<sup>2</sup> (4.50 Ksi) para cargas de servicio y de 4228 ton/m<sup>2</sup> (6 Ksi) para carga máxima (considerando sismo).

$$\frac{P_{serv}}{\frac{\pi D_t^2}{4}} \leq 3170 \frac{ton}{m^2}$$

$$\frac{P_{m\acute{a}x}}{\frac{\pi D_t^2}{4}} \leq 4228 \frac{ton}{m^2}$$

Para la edificación en cuestión se tienen deslizadores de fricción DOBLE:

Tabla 46: Diametro del teflon

<b><i>Dispositivo</i></b>	<b><i>Dt (mm)</i></b>
Slider B	85

Fuente: Elaboración propia, 2019.

## b) Propiedades Dinámicas

De igual manera las propiedades dinámicas de los deslizadores sísmicos se pueden determinar en base a la curva histerética del dispositivo. Básicamente depende del coeficiente de fricción del material (PTFE), de la carga axial actuante y del desplazamiento del dispositivo.

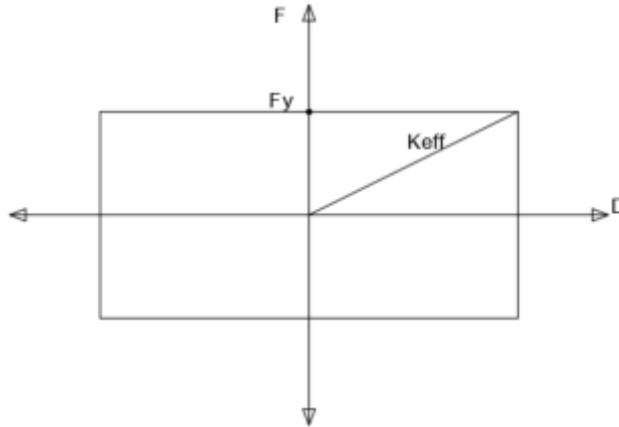


Figura 49: Loop Histerético de Aisladores deslizantes

Fuente: CDT, 2011

*Fuerza de Fluencia (Fy)*

Define la curva de Histéresis:

$$F_y = \mu * N$$

Para el lazo superior e inferior debe multiplicarse la ecuación por  $\lambda_{max}$  y  $\lambda_{min}$  que corresponden a este parámetro respectivamente.

$$F_{y-max} = \mu * N * \lambda_{max}$$

$$F_{y-min} = \mu * N * \lambda_{min}$$

Donde:

$\mu$ : Coeficiente de fricción igual a 10%, considerado para velocidades altas.

$N$ : "Fuerza normal en el deslizador, promedio de  $CM+0.5CV$ ".

Tabla 47: Fuerza de fluencia des los lazos

<b>Dispositivo</b>	<b>Fy (ton)</b>		
	<b>Lazo Inferior</b>	<b>Lazo Nominal</b>	<b>Lazo Superior</b>
Slider B	14.55	18.20	29.16

Fuente: Elaboración propia, 2019.

*Rigidez Efectiva (Keff)*

Rigidez estimada para sismo máximo.

$$K_{eff-i} = \frac{\mu_i * N}{\Delta}$$

Tabla 48: Rigidez efectiva

<b>Dispositivo</b>	<b>Keff<sub>M</sub> (ton/m)</b>		
	<b>Lazo Inferior</b>	<b>Lazo Nominal</b>	<b>Lazo Superior</b>
Slider B	54.14	67.74	132.68

Fuente: Elaboración propia, 2019.

*Amortiguamiento Efectivo (βeff)*

Amortiguamiento contribuido al sistema de aislamiento, estimado para sismo máximo.

$$\beta_{eff} = \frac{2}{\pi} - \left( \frac{\mu * N}{\pi * \Delta * K_e} \right)$$

Tabla 49: Amortiguamiento efectivo para los lazos

<b>Dispositivo</b>	<b>Lazo inferior, nominal y superior</b>
Slider B	<b>βeff<sub>M</sub> (%)</b> 64

Fuente: Elaboración propia, 2019.

#### 4.2.11 Propiedades Dinámicas del Sistema de Aislamiento

Referentes a las propiedades globales del sistema, como conjunto, se tiene:

##### a) Rigidez Efectiva

Se calcula como la sumatoria del aporte de rigidez efectiva de cada elemento.

Tabla 50: Rigidez efectiva

$\sum (K_{effM}) \text{ ton/m}$		
<b>Lazo Inferior</b>	<b>Lazo Nominal</b>	<b>Lazo Superior</b>
1360.8	1702.3	2556.7

Fuente: Elaboración propia, 2019.

##### b) Amortiguamiento Efectivo

De forma análoga se calcula como la sumatoria del aporte de amortiguamiento efectivo de cada dispositivo.

$$\beta_{effD} = \frac{1}{2\pi} \left( \frac{EDC_T}{\sum K_{effD} * \Delta^2} \right)$$

Tabla 51: Amortiguamiento efectivo

$\beta_{effM} \%$		
<b>Lazo Inferior</b>	<b>Lazo Nominal</b>	<b>Lazo Superior</b>
22.05	22.05	26.88

Fuente: Elaboración propia, 2019.

#### 4.2.12 Análisis Dinámico

Se hizo un análisis espectral lineal mediante el uso del programa ETABS.

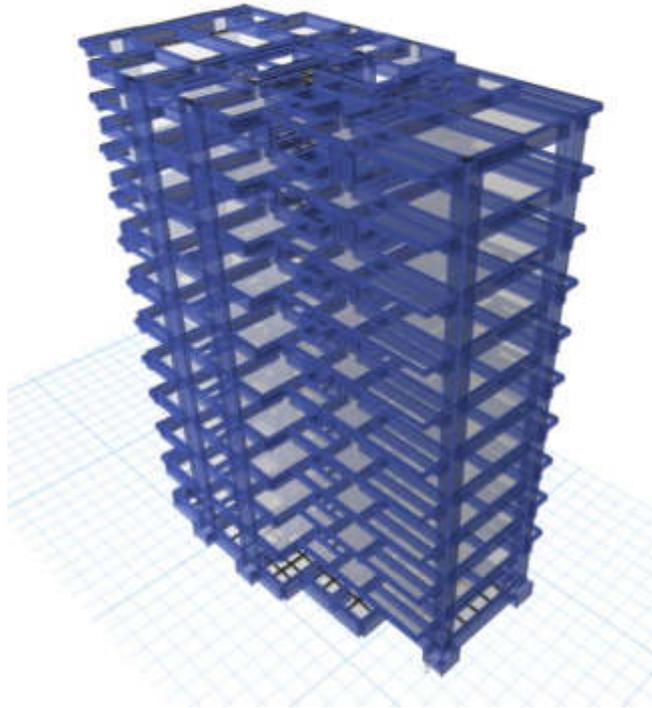


Figura 50: Modelo 3d

Fuente: Etabs 2017

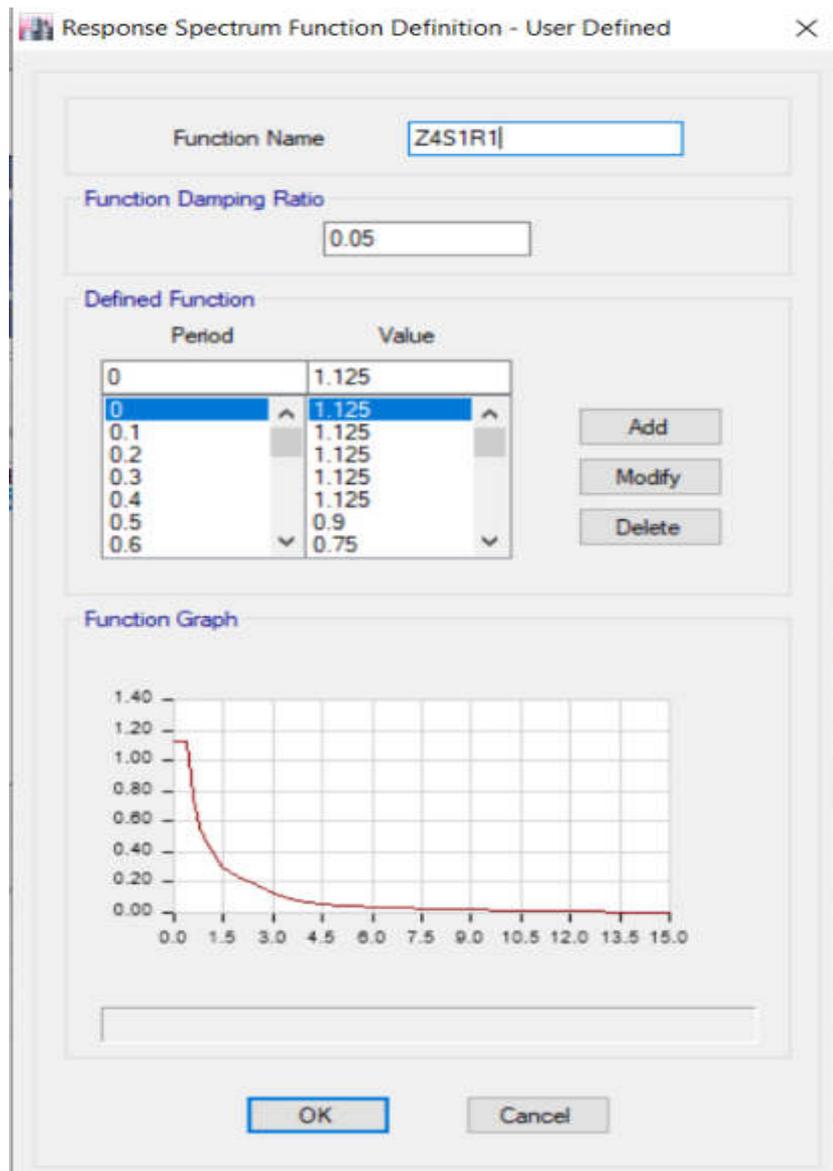


Figura 51: Definición de función de espectro de aceleración

Fuente: Etabs 2017

Load Case Data

**General**

Load Case Name: MCE-X

Load Case Type: Response Spectrum

Exclude Objects in this Group: Not Applicable

Mass Source: Previous (1D+0.25L)

**Loads Applied**

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U1	Z4S1R1	14.7101
Acceleration	U2	Z4S1R1	4.413

Advanced

**Other Parameters**

Modal Load Case: Modal

Modal Combination Method: CQC

Include Rigid Response

Rigid Frequency, f1:

Rigid Frequency, f2:

Periodic + Rigid Type:

Earthquake Duration, td:

Directional Combination Type: SRSS

Absolute Directional Combination Scale Factor:

Modal Damping: Constant at 0.05

Diaphragm Eccentricity: 0.05 for All Diaphragms

OK Cancel

Figura 52: Definición de caso de sismo  
Fuente: Elaboración propia mediante Etabs, 2017

Link/Support Directional Properties ×

**Identification**

Property Name	<input type="text" value="LRB-A"/>
Direction	<input type="text" value="U2"/>
Type	<input type="text" value="Rubber Isolator"/>
NonLinear	<input type="text" value="No"/>

**Linear Properties**

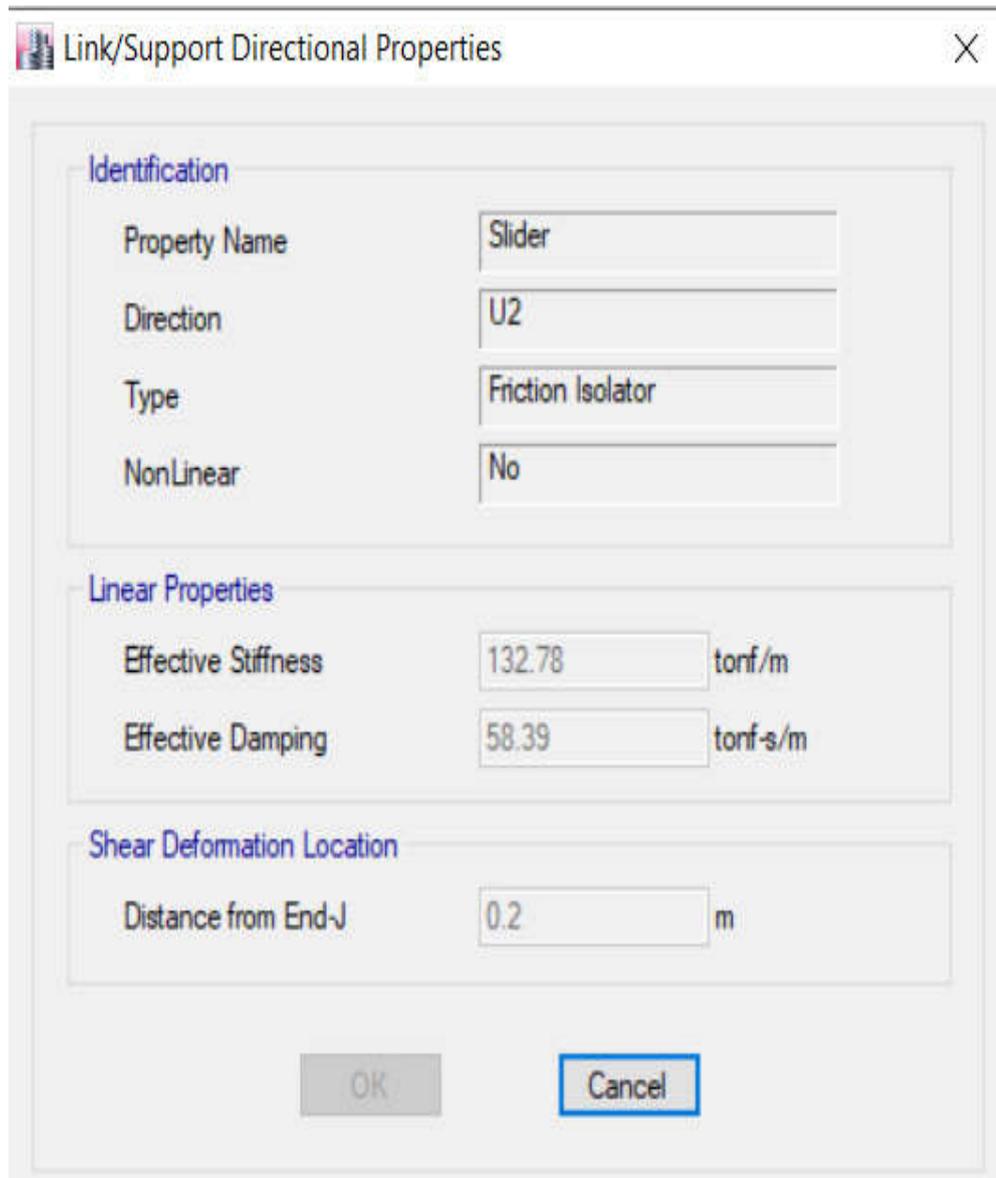
Effective Stiffness	<input type="text" value="163.71"/>	tonf/m
Effective Damping	<input type="text" value="25.59"/>	tonf-s/m

**Shear Deformation Location**

Distance from End-J	<input type="text" value="0.2"/>	m
---------------------	----------------------------------	---

Figura 53: Definición de aislador, propiedades upper en dirección horizontal.

Fuente: Elaboración Propia mediante Etabs, 2017.



*Figura 54: Definición de deslizador, propiedades upper en dirección horizontal*

Fuente: Elaboración Propia mediante Etabs, 2017.

*a) Modo Fundamental*

En el siguiente cuadro se muestran las masas participantes de los distintos modos de vibración con las propiedades correspondientes al lazo superior de los dispositivos a sismo máximo.

Tabla 52: Masas participativas de los principales nodos

Modo	Periodo	UX	UY	Sum UX	Sum UY	RZ
	sec					
1	2.345	0.9901	0.000	0.9901	0.000	0.0016
2	2.313	0.0016	0.0014	0.9917	0.0014	0.9946
3	2.276	0.000	0.9954	0.9917	0.9968	0.9959

Fuente: Elaboración Propia, 2019.

Periodo fundamental de la estructura (T)

Tabla 53: Periodo fundamental de la estructura

Modo	Periodo	UX	UY	RZ
1	2.345	0.9901		
2	2.313			0.9946
3	2.276		0.9954	

Fuente: Elaboración Propia, 2019.

#### 4.2.13 Comportamiento Estructural

Desplazamientos máximos de la edificación

Tabla 53: Desplazamiento máximo de la edificación

Piso	Desplazamiento de entrepiso		Desplazamiento acumulado	
	X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)
10	0.00414	0.00220	0.07402	0.04112
9	0.00496	0.00267	0.06988	0.03892
8	0.00594	0.00325	0.06492	0.03625
7	0.00694	0.00384	0.05898	0.03300
6	0.00786	0.00440	0.05205	0.02916
5	0.00867	0.00489	0.04418	0.02477
4	0.00929	0.00528	0.03552	0.01988
3	0.00968	0.00546	0.02623	0.01460
2	0.00943	0.00520	0.01655	0.00914
1	0.00712	0.00394	0.00712	0.00394

Fuente: Elaboración Propia, 2019.

#### *Derivas de Entrepiso*

A nivel de sismo Máximo (MCE) y considerando la excentricidad accidental, con un análisis tiempo historia para el límite superior de variación se tiene los siguientes máximos niveles de deriva para cada caso sísmico estudiado.

Tabla 54: Derivas de entre piso

PISO	X-X	Y-Y
P10	0.00148	0.000784
P9	0.00177	0.000954
P8	0.002122	0.00116
P7	0.002477	0.00137
P6	0.002808	0.00157
P5	0.003096	0.001747
P4	0.003317	0.001886
P3	0.003457	0.00195
P2	0.003368	0.001857
P1	0.002542	0.001406

Fuente: Elaboración Propia, 2019.

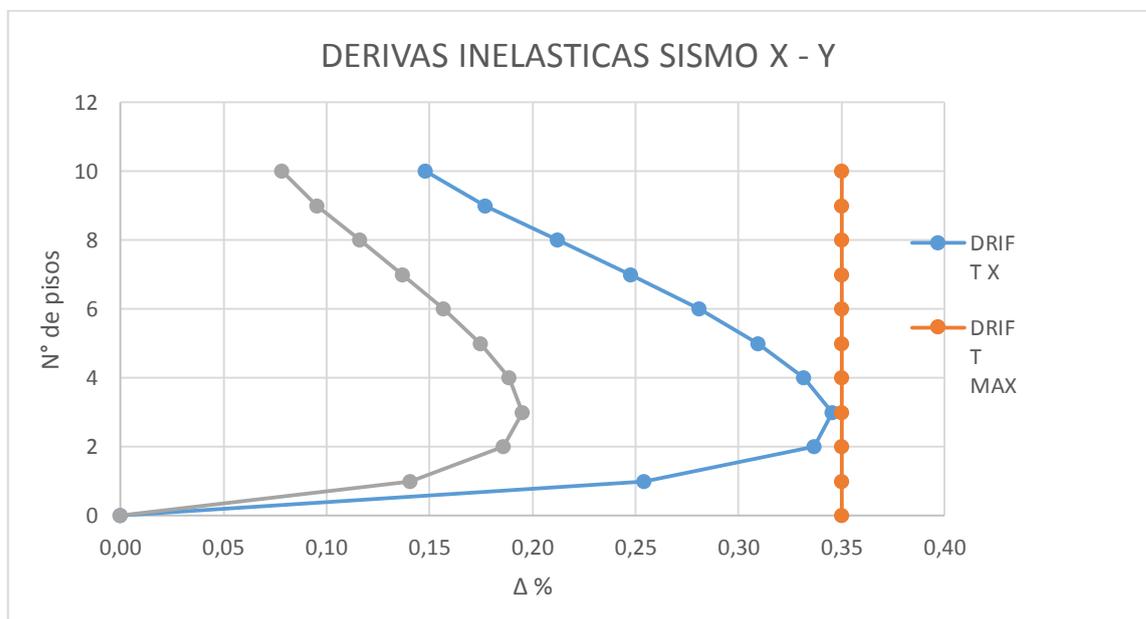


Figura 55: Derivas inelásticas sísmo X - Y

Fuente: elaboración propia, 2019.

De acuerdo al artículo 23 del proyecto de norma E.031 Aislamiento Sísmico, se tiene que para sísmo máximo MCE, límite superior de variación, con excentricidad accidental y obtenida a través de un análisis dinámico espectral,

la deriva máxima de entrepiso no debe exceder de 0.0035, de acuerdo al sistema de aislamiento planteado se cumple con esta exigencia. Siendo  $D_{xx} = 0.003457$  y  $D_{yy} = 0.00195$ .

Peso de la edificación

Tabla 55: Peso de la estructura

Carga estática	Tipo de carga	Dirección	Excentricidad (%)	planta	Peso (tn)
SEX	Seismic	X + Ecc. Y	5	Piso 1	2566.9535
SEY	Seismic	Y + Ecc. X	5	Piso 1	2566.9535

Fuente: Elaboración Propia, 2019.

Cortante estático

Tabla 56: Cortante estático de los 10 pisos

PLANTA	ALTURAS	Vx	Vy
Piso 10	28.00	73.0394	73.0394
Piso 9	25.20	145.7075	145.7075
Piso 8	22.40	210.3014	210.3014
Piso 7	19.60	266.8211	266.8211
Piso 6	16.80	315.2665	315.2665
Piso 5	14.00	355.6377	355.6377
Piso 4	11.20	387.9346	387.9346
Piso 3	8.40	412.1573	412.1573
Piso 2	5.60	428.3058	428.3058
Piso 1	2.80	436.3821	436.3821

Fuente: Elaboración Propia, 2019.

Cortante dinámico

Tabla 57: Cortante dinámico de los 10 pisos

PLANTA	ALTURAS	Vx	Vy
Piso 10	28.00	51.3259	48.1482
Piso 9	25.20	105.2132	99.3783
Piso 8	22.40	155.9918	148.412
Piso 7	19.60	203.6545	195.181
Piso 6	16.80	248.4518	239.8034
Piso 5	14.00	290.7934	282.5621
Piso 4	11.20	331.1854	323.8645
Piso 3	8.40	370.1860	364.188
Piso 2	5.60	408.3874	404.0278
Piso 1	2.80	446.4313	443.8695

Fuente: Elaboración Propia, 2019.

*Relación Cortante Basal – Peso*

Se obtiene la siguiente relación cortante basal – peso de acuerdo a sismo máximo y límite superior de variación (condición supuesta más rígida).

Tabla 58: Relación cortante basal / peso

<b>Lazo Superior</b>		
	<b>X-X (%)</b>	<b>Y-Y (%)</b>
<b>MCE</b>	18.7	17.7

Fuente: Elaboración Propia, 2019.

#### 4.2.14 Comportamiento no estructural

##### a) Aceleraciones de Entrepiso

De acuerdo a sismo máximo, con excentricidad accidental y para la condición más desfavorable supuesta (límite superior de variación) se tienen los siguientes niveles de aceleración máxima:

*Tabla 59: Aceleraciones de entre piso*

<b>PISO</b>	<b>X-X</b> (m/seg <sup>2</sup> )	<b>Y-Y</b> (m/seg <sup>2</sup> )
<b>P10</b>	2.167	2.0219
<b>P9</b>	2.0563	1.9463
<b>P8</b>	1.9464	1.8686
<b>P7</b>	1.8493	1.7969
<b>P6</b>	1.7783	1.7412
<b>P5</b>	1.737	1.7064
<b>P4</b>	1.7209	1.6940
<b>P3</b>	1.7269	1.7016
<b>P2</b>	1.7519	1.7233
<b>P1</b>	1.7879	1.7492

Fuente: Elaboración Propia, 2019.

#### 4.2.15 Cargas en Aisladores y Deslizadores

De acuerdo al análisis espectral y a las propiedades del lazo superior (Upper Bound, caso más crítico para verificar las cargas máximas) se han obtenido los siguientes valores:

Tabla 60: Cargas en aisladores y en deslizadores

LINK	CM (ton)	CV (ton)	$P=1.25\text{ cm}+1.25\text{cv}+\text{cs}$	TIPO
K1	130.20	22.97	361.86	LRB-A
K10	175.52	36.58	538.6541	LRB-A
K11	211.77	40.35	574.8246	LRB-A
K12	150.41	27.69	483.0194	LRB-A
K13	211.37	46.96	514.8301	LRB-A
K14	231.18	48.42	610.2784	LRB-A
K15	120.53	20.51	363.7697	LRB-A
K16	137.42	26.12	386.2445	LRB-A
K2	141.35	27.21	384.5809	LRB-A
K3	172.32	35.44	516.928	LRB-A
K4	215.93	39.80	583.752	LRB-A
K5	166.46	31.54	502.4578	LRB-A
K6	217.46	48.67	520.5063	LRB-A
K7	220.25	44.56	622.1048	LRB-A
K8	188.62	35.45	372.2983	Slider B
K9	158.51	28.75	287.5428	Slider B

Fuente: Elaboración Propia, 2019.

#### 4.2.16 Capacidad Axial del Aislador

##### Elastomérico

Se halla el índice de seguridad del aislador en su estado inicial (sin deformar) y en su estado de deformación total máxima (DTM) correspondiente al lazo inferior (Lower bound). El fabricante de los aisladores debe demostrar mediante cálculo que para diseñar los dispositivos hace uso de áreas reducidas y no áreas totales en las verificaciones por volteo y deformaciones del caucho en la condición de sismo máximo. Dicha verificación debe regirse bajo las mismas ecuaciones de esta memoria de cálculo.

### Capacidad por Volteo

$$P_{crit} = \frac{\pi}{\sqrt{8}} * G * S * \frac{B}{T_r} * A_r / FS$$

Donde:

P<sub>crit</sub>: Carga axial máxima a soportar por pandeo crítico.

G: Modulo de corte del caucho natural.

S: Factor de forma del aislador.

B: Diámetro efectivo del aislador, sin cobertura de caucho.

A<sub>r</sub>: Área efectiva del aislador, sin considera la cobertura exterior de caucho.  
Esta es un área reducida por efecto de la deformación.

T<sub>r</sub>: Altura total del caucho.

FS=3 para condiciones INICIALES (sin deformar) e igual a 1.10 para DTM correspondiente al lazo inferior o lower bound evaluado ante la carga axial máxima considerando el sismo MCE para el lazo superior o Upper Bound.

El A<sub>r</sub> (área efectiva) se calcula como:

$$A_r = \frac{B^2}{4} (\delta - \sin \delta)$$
$$\delta = 2 \cos^{-1} \left( \frac{d_t}{B} \right)$$

Donde “B” es el diámetro efectivo y “dt” es el desplazamiento total Máximo (DTM).

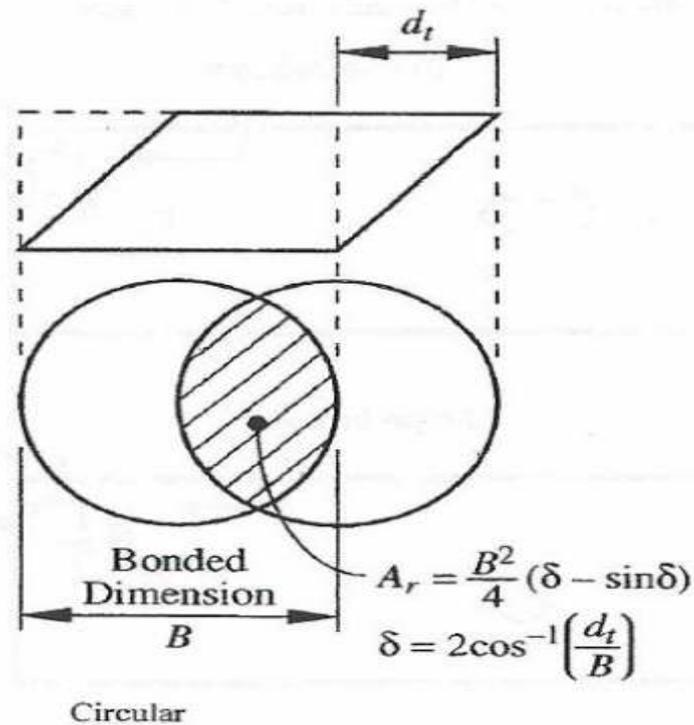


Figura 56: Vista en planta y vista en elevación (la reducción del área del aislador debido al desplazamiento total máximo)

Fuente: Kelly T., 2001

El factor de forma “S”, se halla con la siguiente expresión:

$$S = \frac{\pi * (B^2 - Dp^2)}{\pi * B * t_i}$$

El factor de Reducción R: Al sufrir una deformación el aislador, el área o región que soporta las cargas axiales disminuye, esta disminución o reducción está directamente ligado al diámetro del aislador y a la magnitud de deformación a la que se someterá.

Para verificar el porcentaje de disminución se usa la siguiente expresión:

$$R(\Delta) = 2 * \frac{B^2 * \text{Arcsen}\left(\frac{\sqrt{B^2 - \Delta^2}}{B}\right) - \Delta * \sqrt{B^2 - \Delta^2}}{\pi * B^2}$$

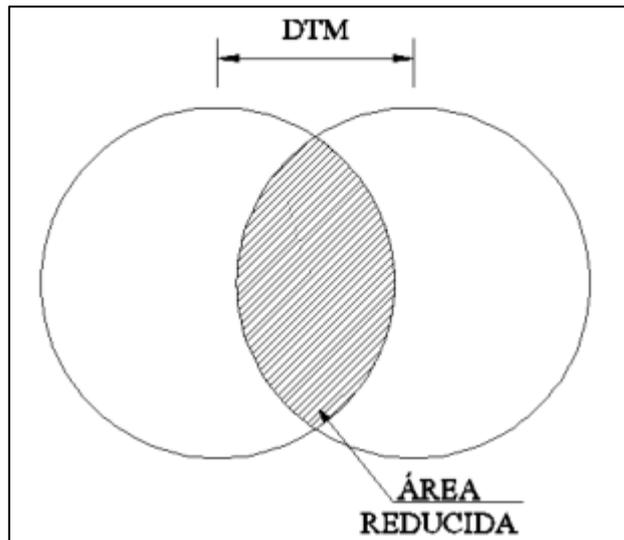


Figura 57: Vista (en planta) de la disminución del área del aislador debido a DTM.

Fuente: Kelly T., 2001

### 8.9.2 Capacidad por Deformación

Los aisladores presentan 3 tipos de deformación predominante, son:

#### 4.2.17. Deformación por corte

El que fabrica el aislador es el encargado de limitar esta deformación 250%, para que no se presenten deformaciones por corte. Se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\gamma_{\Delta} = \frac{\Delta}{T_r}$$

- *Deformación Angular*

**Donde:**

$\theta$ : Deformación angular.

$T_r$ : Altura total del caucho ( $N \cdot t_i$ ).

$B$ : Diámetro efectivo del aislador, sin cobertura de caucho.

### 8.9.2.3 Deformación por Compresión

$$\gamma_c = \frac{6 * P_c * S}{E_c * A_r}$$

Donde:

$E_c$ : Módulo de compresión del aislador.

$P_c$ : Carga axial máxima en el aislador.

El Módulo de compresión del aislador se calcula mediante la siguiente expresión.

$$E_c = E_0(1 + 2 * 0.85 * S^2)$$
$$E_0 = 4 * G$$

Para los 3 distintos niveles de deformación se deben verificar:

$$\gamma_\Delta + 0.5 * \gamma_\theta + \gamma_c \leq 6.0$$

Se tomará en cuenta que el caucho natural alcanza una deformación máxima de rotura de 600% por lo menos". Para comprobar la capacidad axial se debe considerar los siguientes factores de seguridad:

**$FS_{\Delta=0} = 3.00$**

**$FS_{\min_{\Delta=DTM}} = 1.10$** , usado solo para verificación de pandeo crítico.

Se debe considerar que los dispositivos de aislación no tendrán un esfuerzo axial en exceso, se debe comprobar que la máxima presión axial sea de 20.5 Mpa en un área de diámetro B. Esta importancia se fundamenta en que los aisladores esforzados en exceso no se comportan de forma histerético bilineal deseado.

Verificación para Desplazamiento Cero

Tabla 61: Desplazamiento inicial del aislador (sin deformar)

<b>Dispositivo</b>	<b>N</b>	<b>S</b>	<b>B</b> (m)	<b><math>\Theta</math></b> (rad)	<b>R</b>	<b><math>P_{crit}</math></b> (ton)	<b><math>P_{def}</math></b> (ton)	<b><math>P_{sermax}</math></b> (ton)	<b>FS&gt;3.00</b>
<b>LRB-A</b>	39	26.54	0.76	0	1	1426	3480	243	5.7

Fuente: Elaboración Propia, 2019.

- Verificación para Desplazamiento Total Máximo (DTM)

Tabla 62: Desplazamiento total máximo del aislador (DTM)

<b>Dispositivo</b>	<b><math>A_r</math></b> (m <sup>2</sup> )	<b><math>\Theta</math></b> (rad)	<b>DTM- LOWER BOUND</b> (m)	<b><math>P_{crit}</math></b> (ton)	<b><math>P_{def}</math></b> (ton)	<b><math>P_{max}</math> – UPPER BOUND</b> (ton)	<b>FS&gt;1.10</b>
<b>LRB-A</b>	0.23	0.005	0.31	711	1324.6	622	1.14

Fuente: Elaboración Propia, 2019.

Se puede verificar que los dispositivos tienen la capacidad axial adecuada, tanto a desplazamiento cero como a máximo.

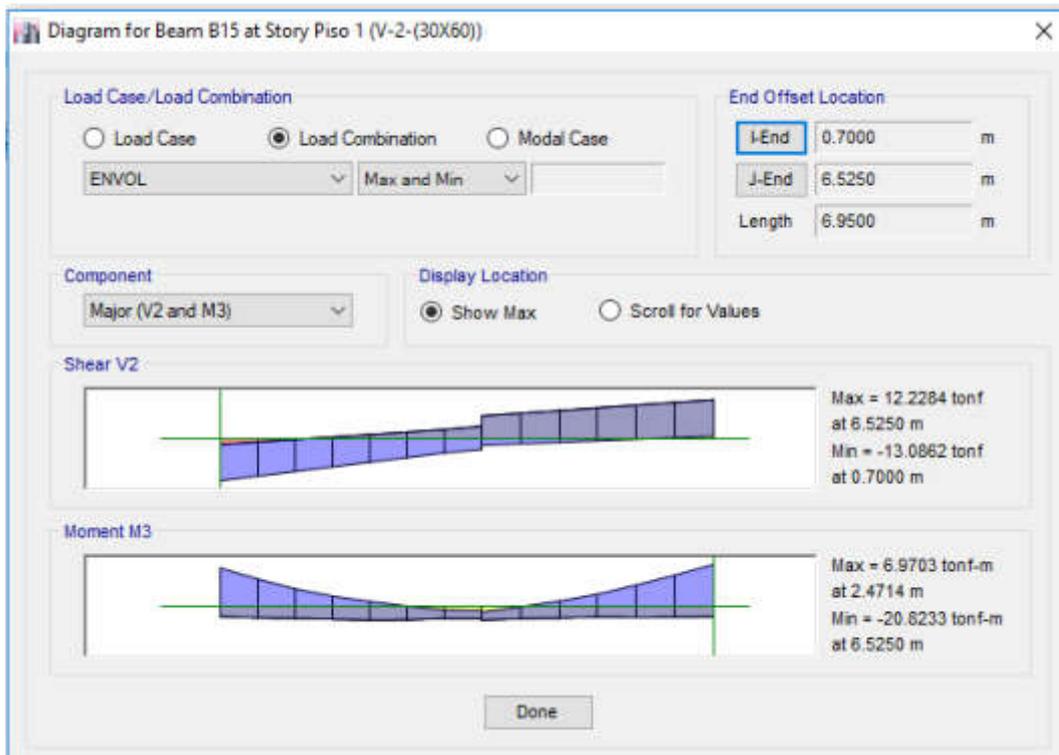


Figura 58: Gráfica del momento de flexión y corte (atrás)

Fuente: Software Etabs 2017

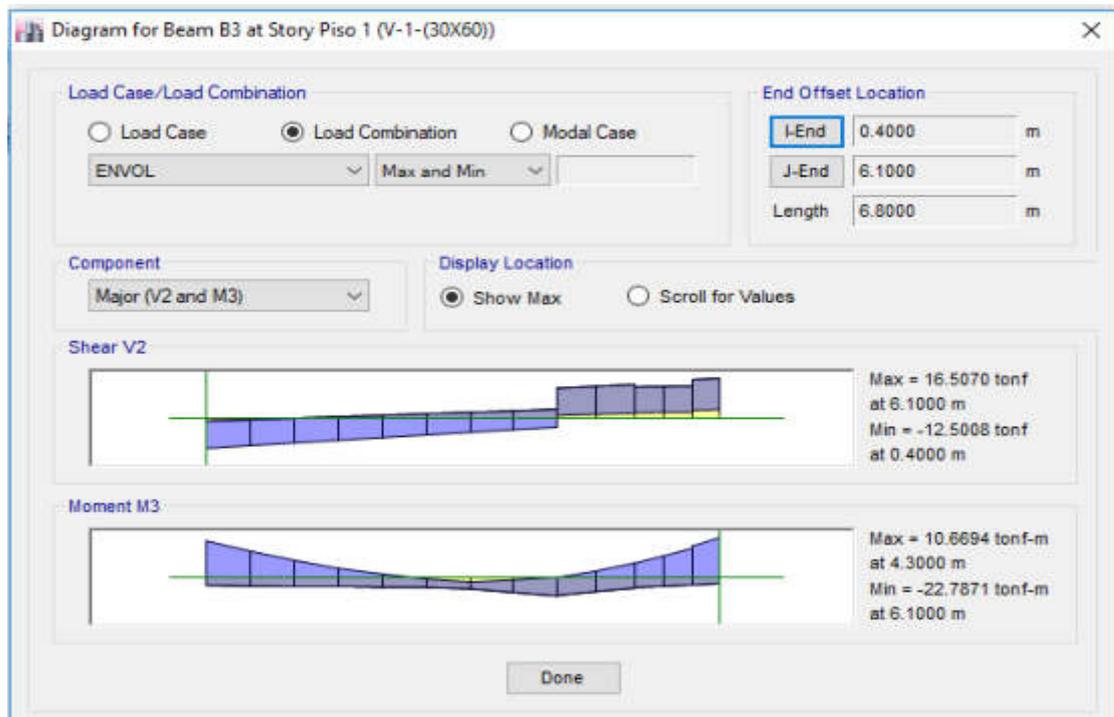


Figura 59: Gráfica del momento de flexión y corte (adelante)

Fuente: Software Etabs 2017

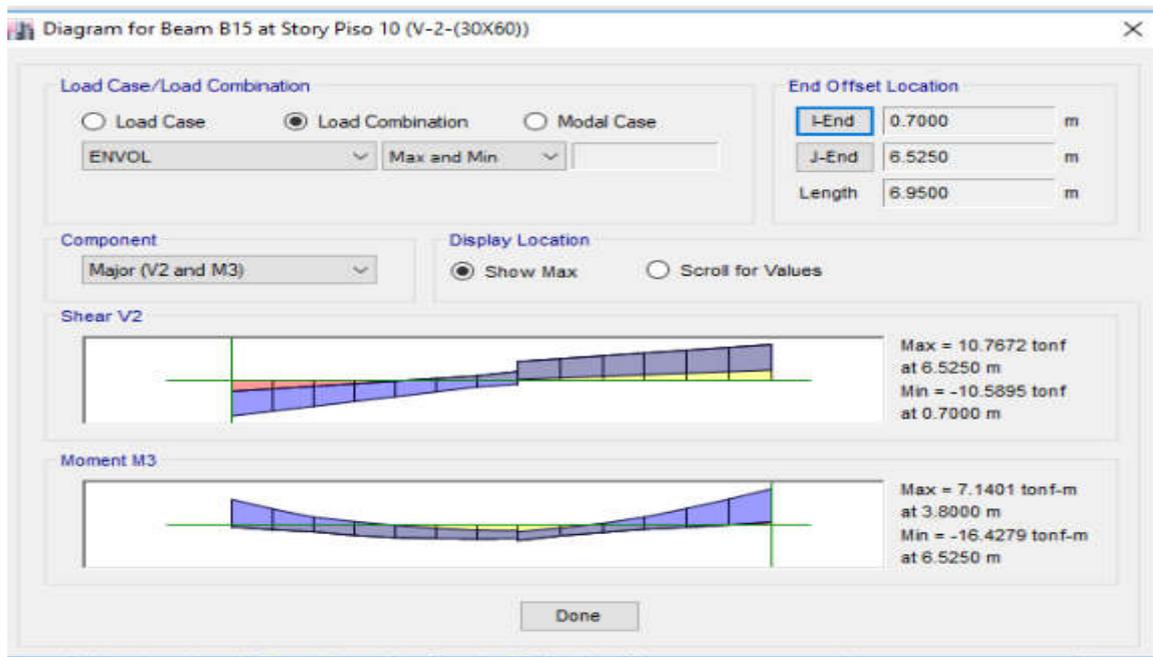


Figura 60: Graáfica del momento de flexión y corte (atrás)

Fuente: Software Etabs 2017

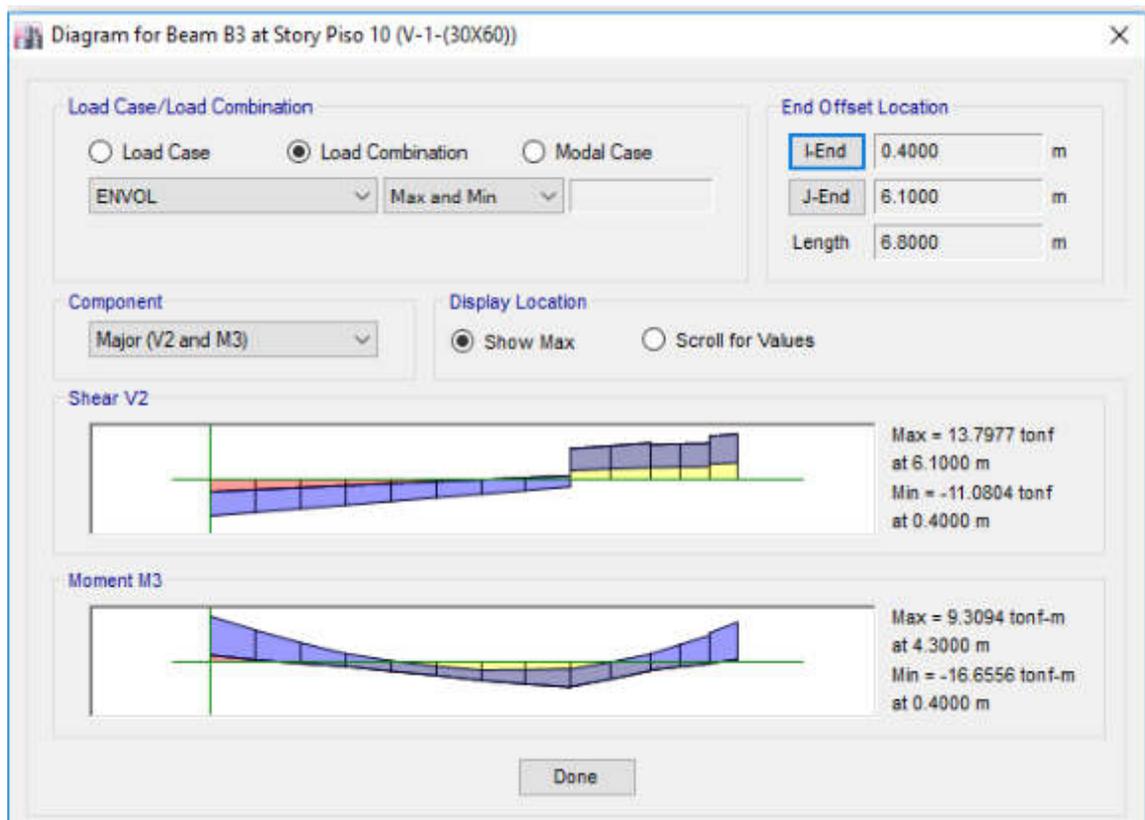


Figura 61: Gráfica del momento de flexión y corte (adelante)

Fuente: Software Etabs 2017

#### 4.2.18 Cálculo de fuerza cortante basal

Para el diseño de la estructura se toma la fuerza de corte más desfavorable que es en el lazo superior.

$$V_{est}^{(UP)} = K_{eff\ sist}^{(UP)} * DM^{(UP)}$$

$V_{est}^{(UP)}$ : Fuerza de corte estático para el lazo superior

$K_{eff\ sist}^{(UP)}$ : Rigidez efectiva del sistema de aislamiento para el lazo superior

$DM^{(UP)}$ : Desplazamiento a sismo máximo para el lazo superior

$$K_{eff\ sist}^{(UP)} = 2556.66 \text{ ton/m}$$

$$DM^{(UP)} = 0.22 \text{ m}$$

$$\mathbf{V_{est}^{(UP)} = 561.83 \text{ ton}}$$

W: Peso sísmico de la estructura (CM+0.25CV)

$$W = 2989.56 \text{ ton}$$

$$V_{est}^{(UP)}/W = 18.79 \%$$

*Fuerza de corte para la sub estructura:*

De acuerdo al proyecto de norma E-031 se tiene lo siguiente

$$V_b = V_{est}^{(UP)}$$

***Límites del  $V_b$  según la norma E-031***

##### **1.5 Qd sistema**

$$Qd_{sistema} = (Qd_{aislador}) * N_{(aisladores)} + (Qd_{slider}) * N_{(sliders)}$$

$$N_{(aisladores)} = 14$$

$$N_{(sliders)} = 2$$

$$Qd_{aislador} = 9.16 \text{ ton}$$

$$Qd_{slider} = 18.2 \text{ ton}$$

1.5 Qd Sistema = 246.96 ton.

$V_b = \max (V_{est}^{(UP)}, 1.5 \text{ Qd Sistema})$

**$V_b = 561.83 \text{ ton}$**

90%  $V_b = 505.65 \text{ ton}$

Del análisis dinámico espectral lineal se tiene:

**$V_x = 558.26 \text{ ton}$**   $\geq 505.65 \text{ ton}$ , por lo tanto, se toma el valor de  $V_x$  para el diseño de la sub estructura en la dirección X.

**$V_y = 529.99 \text{ ton}$**   $\geq 505.65 \text{ ton}$ , por lo tanto, se toma el valor de  $V_y$  para el diseño de la sub estructura en la dirección Y.

*Fuerza de corte para la sub estructura:*

De acuerdo al Proyecto de norma E-031 se tiene lo siguiente

$$V_s = \frac{V_{st}}{R_a}$$

$$V_{st} = V_b \left( \frac{P_s}{P} \right)^{(1-2,5\beta_M)}$$

$V_s$ : Fuerza de corte estático para diseño de la super estructura

$1 \leq R_a \leq 3/8(R_o) \leq 2$

$R_o$ : Coeficiente de reducción de fuerzas de la estructura de acuerdo a la norma E-030

$P$ : peso sísmico de la estructura

$P_s$ : peso sísmico de la estructura sin incluir el nivel de base

$B_m$ : Amortiguamiento del sistema de aislamiento

$P = W = 2989.56 \text{ ton}$

$P_s = 2592.30 \text{ ton}$

$B_m = 26.88\% = 0.2688$ , obtenido del diseño del sistema de aislamiento sísmico.

$R_o = 8$ , sistema de pórticos de acuerdo a la norma E-030

$R_a = 2$

$V_{st} = 268.08 \text{ ton}$

Obteniendo:

**$V_s = 268.08 \text{ ton}$**

Del análisis dinámico espectral lineal se tiene:

**$V_x = 558.26/2 \text{ ton} = 279.13 \text{ ton}$**   $\geq V_s$ , por lo tanto, se toma el valor de  $V_x$  para el diseño de la super estructura en la dirección X.

$V_y = 529.99/2 \text{ ton} = 265 \text{ ton}$   $\leq V_s$ , se escala al 100% del  $V_s$ , usando un factor de 1.01:

**$V_y = V_s = 268.08 \text{ ton}$** , por lo tanto, se toma el valor de  $V_y$  para el diseño de la super estructura en la dirección Y.

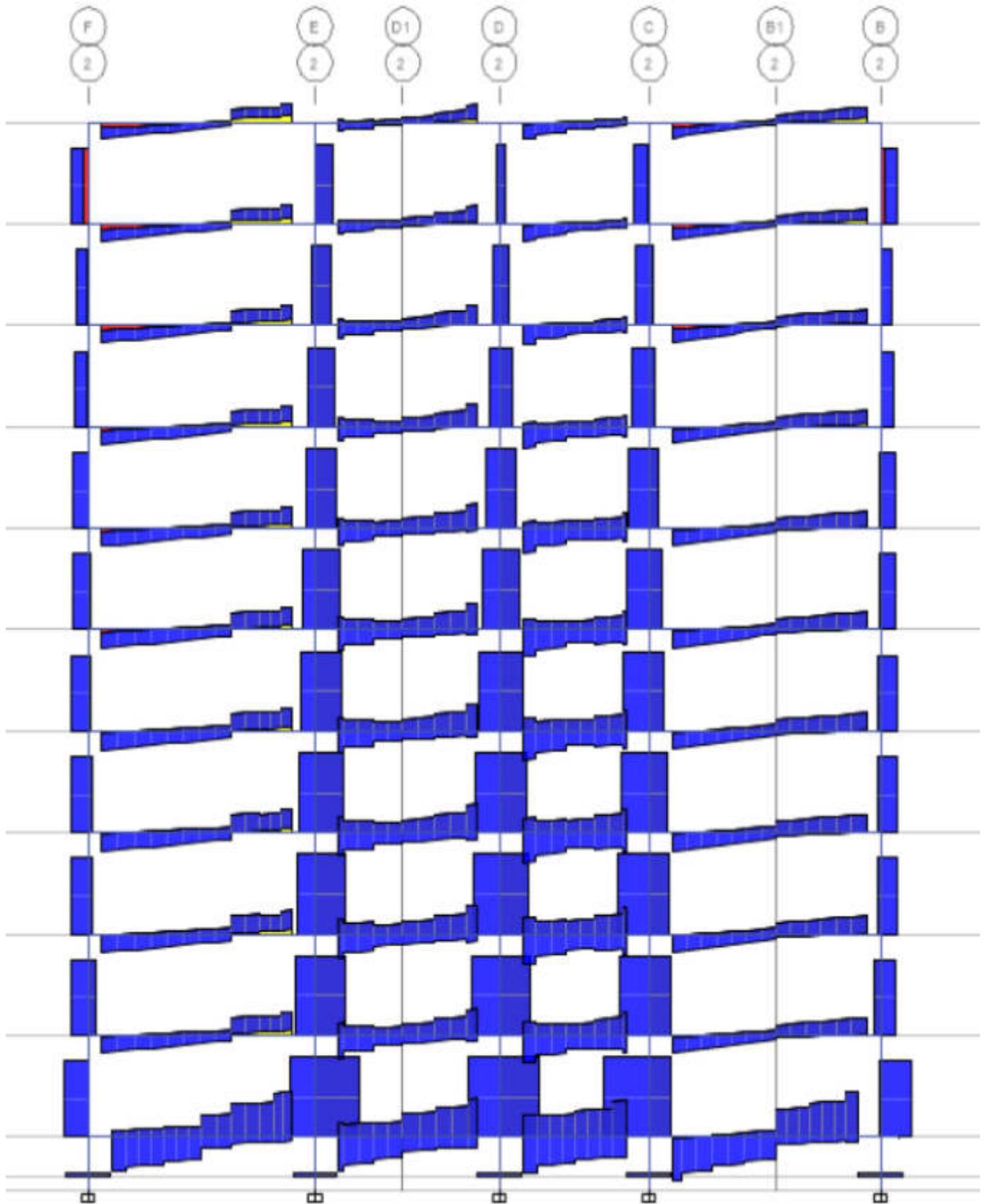
#### **4.2.19 Diseño de vigas**

Para el presente proyecto se diseña la viga de 30cm x 60 cm ubicado en el eje 2 en los techos desde el piso 1 hasta el piso 10, el resto de vigas se diseñan siguiendo la misma metodología.



Figura 62: viga ubicada en el eje 2

Fuente: Elaboración Propia mediante el programa Etabs 2017



*Figura 63: Diagrama de envolvente de cortante en el eje 2*  
 Fuente: Elaboración Propia mediante el programa Etabs 2017

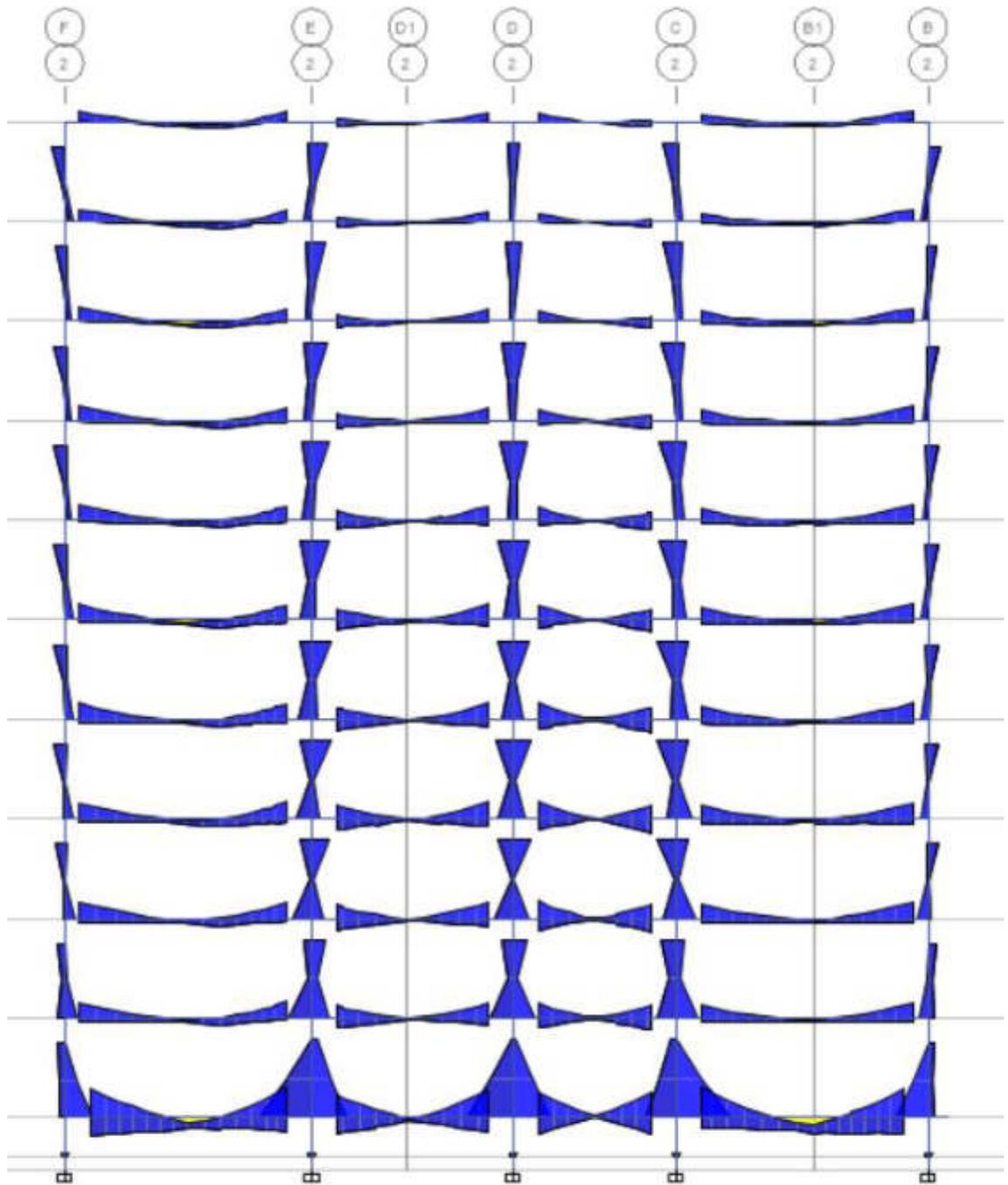


Figura 64: Diagrama de envolvente de momento flector en el eje 2

Fuente: Elaboración Propia mediante el programa Etabs 2017

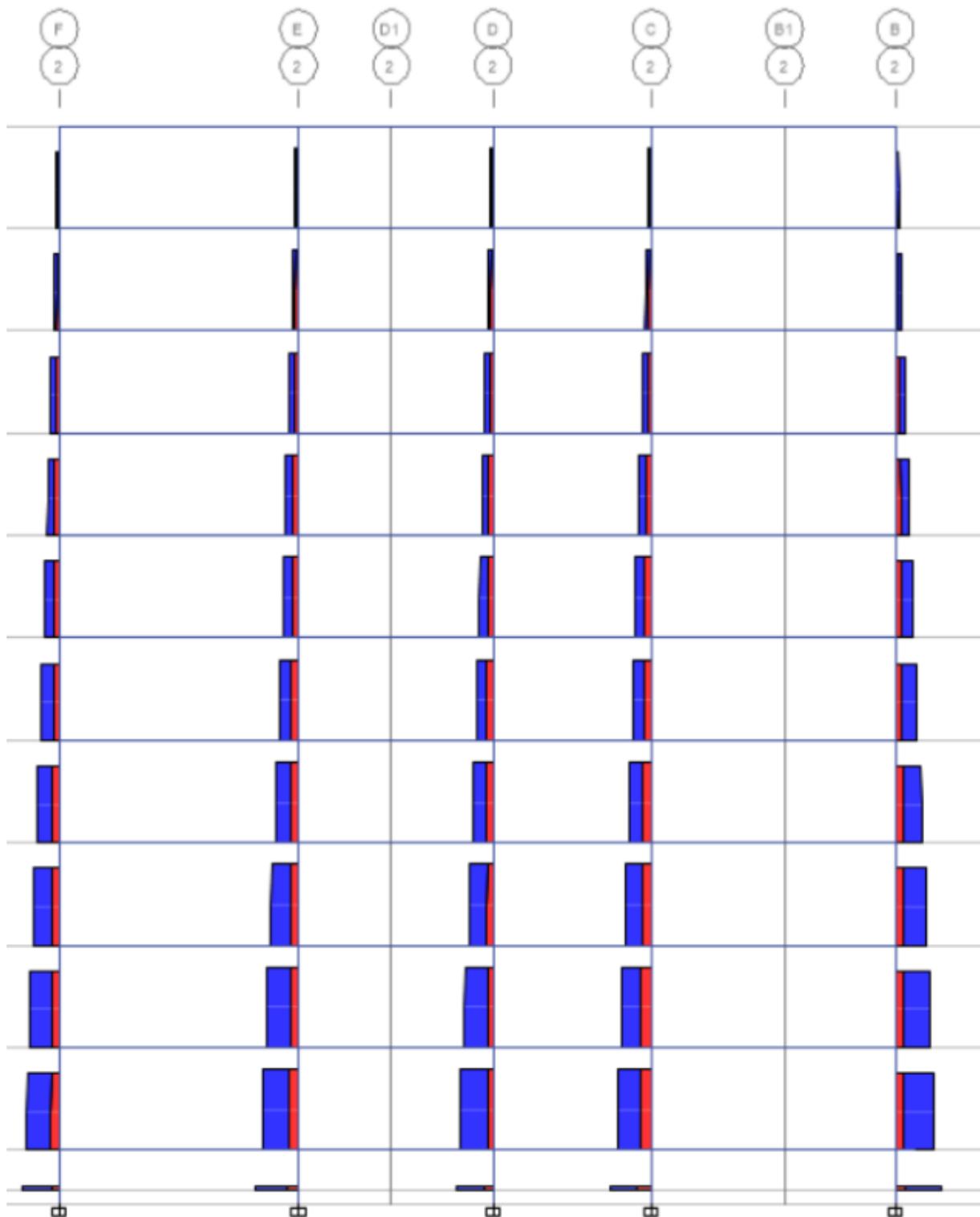


Figura 65: Diagrama de envolvente de fuerza axial en el eje 2

Fuente: Elaboración Propia mediante el programa Etabs 2017

### Diseño por flexión

Se toma las vigas del techo del piso 3, estos tienen mayores esfuerzos

- Cargas muertas

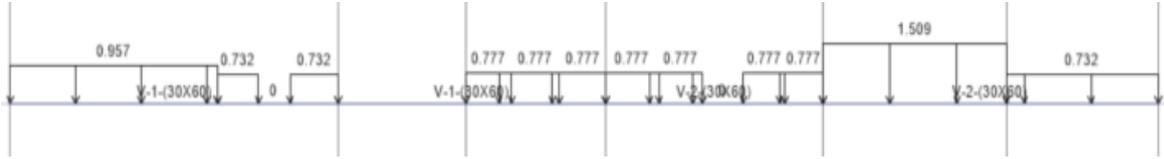


Figura 66: Distribución de las cargas muertas del techo del piso 3

Fuente: Elaboración Propia, 2019.

- Cargas vivas



Figura 67: Distribución de las cargas muertas del techo del piso 3

Fuente: Elaboración Propia, 2019.

- Cargas de sismo en la dirección Y, este es el caso más desfavorable.

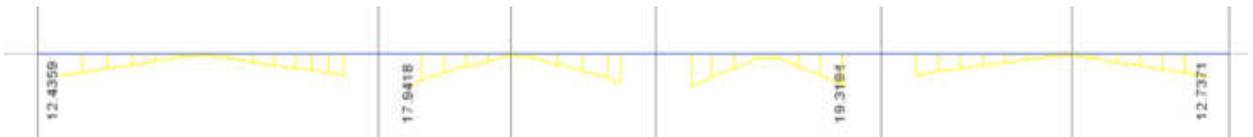


Figura 68: Cargas de sismo en dirección "Y"

Fuente: Elaboración Propia, 2019.

- ✓ Envoltente de momento

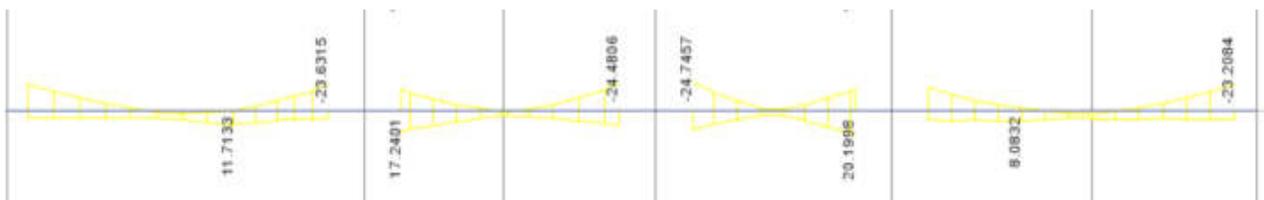


Figura 69: Diagrama de envoltente

Fuente: Elaboración Propia, 2019.

❖ Para los momentos negativos:

Se corre 3 varillas de acero de  $\Phi$  3/4" y se adiciona acero en los nudos

Tabla 63: parámetros de diseño

$f'c(kg/cm^2)$	210	210	210	210	210
$f_y(kg/cm^2)$	4200	4200	4200	4200	4200
$b(cm)$	30	30	30	30	30
$h(cm)$	60	60	60	60	60
$d(cm)$ (1 capa)	54	54	54	54	54
$d'(cm)$	6	6	6	6	6
$Mu(tn.m)$	23.4	23.6	24.7	20.1	23.2
$\beta_1$	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
$\phi$	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
$w$	0.16	0.16	0.17	0.13	0.15
$\rho$	0.0078	0.0080	0.0083	0.0066	0.0076
$As(cm^2)$	12.62	12.99	13.41	10.68	12.39

Fuente: Elaboración Propia, 2019.

❖ Para los momentos positivos:

Se corre 3 varillas de acero de  $\Phi$  3/4" y se adiciona acero en los nudos

Tabla 64: parámetros de diseño

$f'c(kg/cm^2)$	210	210	210	210	210
$f_y(kg/cm^2)$	4200	4200	4200	4200	4200
$b(cm)$	30	30	30	30	30
$h(cm)$	60	60	60	60	60
$d(cm)$ (1 capa)	54	54	54	54	54
$d'(cm)$	6	6	6	6	6
$Mu(tn.m)$	11	17	15.7	20	7
$\beta_1$	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
$\phi$	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
$w$	0.07	0.11	0.10	0.13	0.04
$\rho$	0.0035	0.0055	0.0050	0.0066	0.0022

$A_s(\text{cm}^2)$	5.62	8.91	8.18	10.62	3.52
--------------------	------	------	------	-------	------

Fuente: elaboración propia, 2019.

### Distribución de acero por flexión

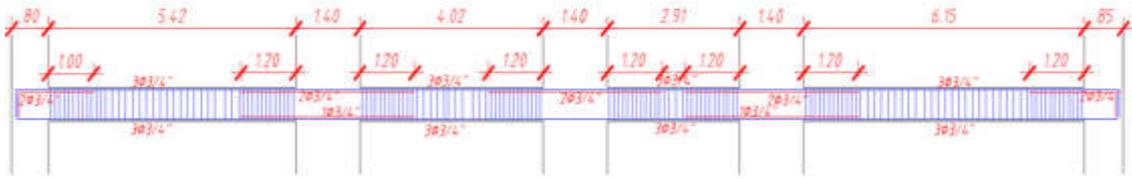


Figura 70: Distribución del acero por flexión

Fuente: Elaboración Propia, 2019.

### Diseño por Corte

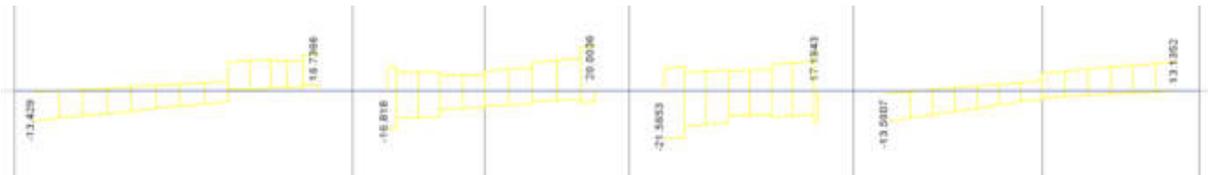


Figura 71: Momentos del diseño por corte

Fuente: Elaboración Propia, 2019.

### Fuerza de corte último

$V_u = 21.56 \text{ ton}$

### Fuerza cortante nominal de la sección:

$$V_c = 0,17 \sqrt{f'_c} b w d$$

$$V_s = \frac{A_v f_{yt} d}{s}$$

Tabla 65: parámetros de diseño

Parametros a usar

		Parametros para el diseño
b (cm)	30.00	Base
d (cm)	54.00	Altura
$f_c$ (kg/cm <sup>2</sup> )	210.00	
$V_n c$ (tn)	12.44	Resistencia del concreto
$A_s$ (cm <sup>2</sup> )	0.71	área de sección de acero
$f_y$ (kg/cm <sup>2</sup> )	4200.00	
n°	2.00	Número de líneas de acero
S (cm)	20.00	Separación máxima de estribo
$V_n s$ (tn)	16.10	Resistencia de acero estribo
$V_n$ (tn)	28.55	Resistencia nominal de la sección
$\phi V_n$ (tn)	22.84	Resistencia última de la sección

**$\phi V_n$  (tn) >  $V_u$  OK**

Fuente: elaboración propia, 2019.

*Estribos por confinamiento*

Para garantizar el comportamiento dúctil del elemento se debe colocar estribos por confinamiento.

De acuerdo al RNE E-060 de concreto armado, en el capítulo 21:

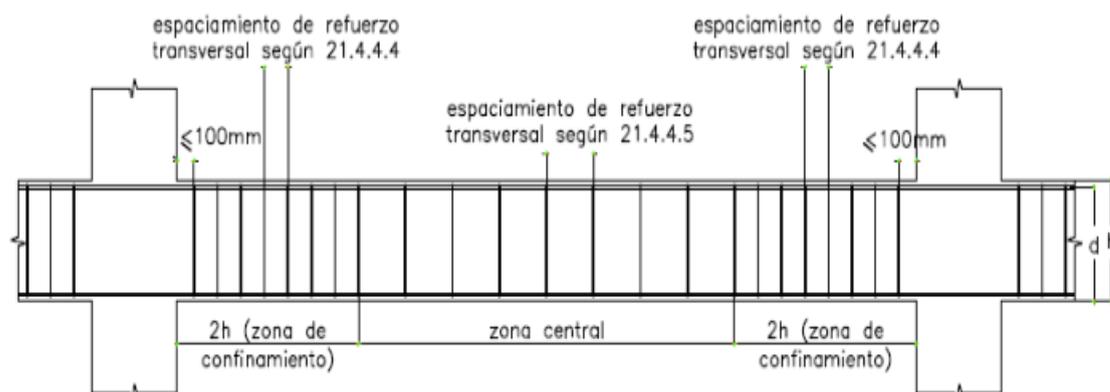


Figura 72: Requerimiento de estribos en vigas

Fuente: RNE E-060 de concreto armado

Se debe repartir el acero de confinamiento en una distancia mayor a  $2H$

$$2 \cdot H = 1.20 \text{ m}$$

La separación no debe ser menor a:

- a)  $d/4 = 54/4 = 13.5 \text{ cm}$
- b)  $8 (\Phi_{\min}) = 8(3/4") = 15.24 \text{ cm}$
- c)  $24(\Phi_{\text{estribo}}) = 24(3/8") = 22.9 \text{ cm}$
- d)  $30 \text{ cm}$

Por lo tanto, se toma  $10 \text{ cm}$ ,  $12$  estribos cada  $10 \text{ cm}$ .

Fuera de la zona de confinamiento se tomará la separación del estribo requerido por fuerza de corte,  $S = 20 \text{ cm}$ .

Quedando:

*1  $\square$   $\phi$ 3/8": 1@.05, 12@.10, RTO.@.20 C/EXT.*

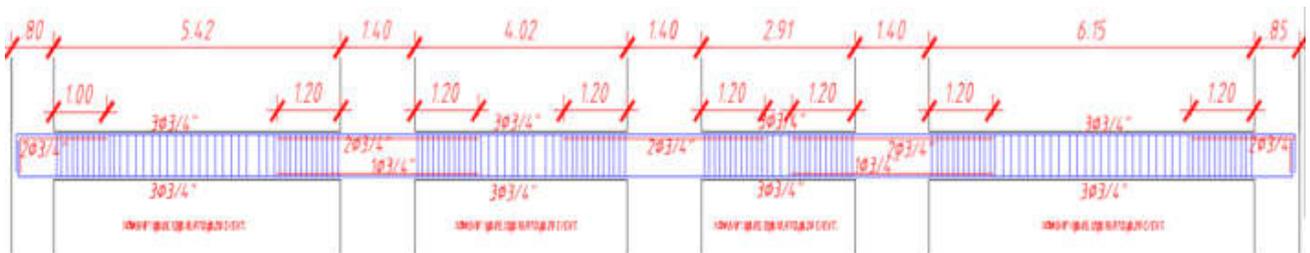


Figura 73: Requerimiento de estribos en vigas

Fuente: Elaboración Propia, 2019.

#### 4.2.20 Diseño de columnas

Se procede a diseñar la columna de las dimensiones  $30 \text{ cm} \times 140 \text{ cm}$  ubicado en la intersección de los ejes E y 2. El resto de columnas fueron diseñadas siguiendo la misma metodología.

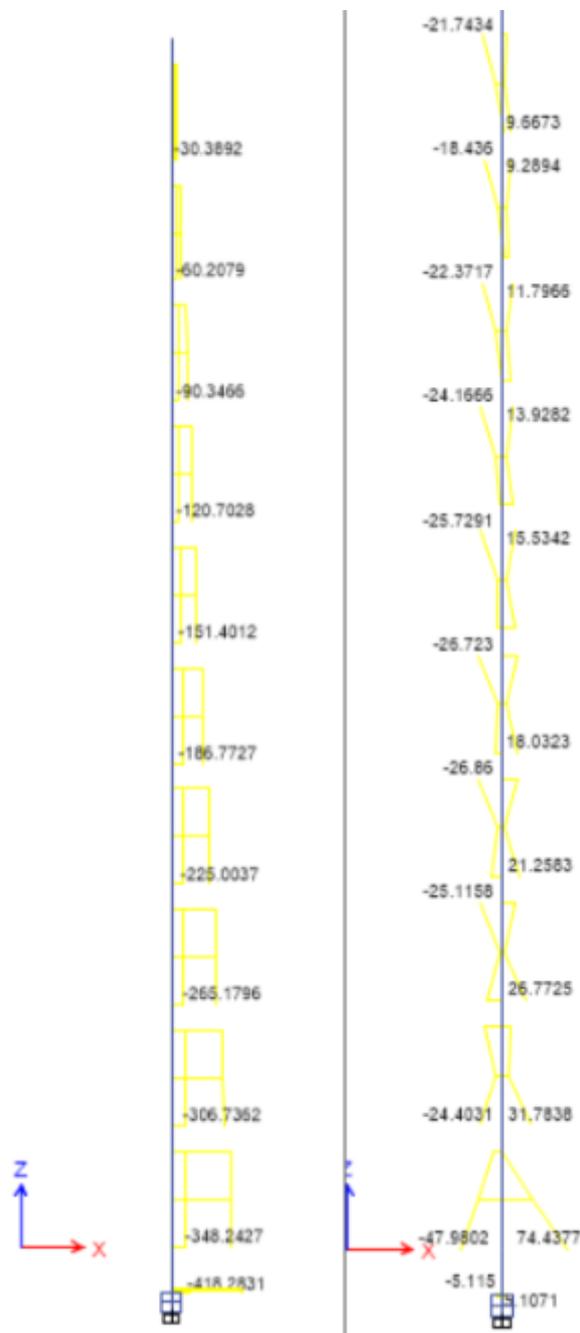


Figura 74: Diagrama de envolvente de fuerza axial y momento flector  
 Fuente: Elaboración Propia, 2019.



Figura 75: Planta de la edificación

Fuente: Elaboración Propia, 2019.

P M: carga axila muerta

P V: carga axial viva

P SX: carga axial de sismo en dirección X

P SY: carga axial de sismo en dirección Y

M M: momento por carga muerta

M V: momento por carga viva

M SX: momento por sismo en dirección X

M SY: momento por sismo en dirección Y

Tabla 66: Cargas y momentos

<i>Cargas y momentos</i>			
P M (ton)	181.36	M M (ton-m)	11.01
P V (ton)	35.60	M V (ton-m)	2.20
P SX (ton)	154.08	M SX (ton-m)	21.15
P SY (ton)	89.94	M SY (ton-m)	57.90
1.4 PM+1.7PV	314.42	1.4 MM+1.7MV	19.15
1.25(PM+PV)	348.24	1.25(MM+MV)	38
+PSX		+MSX	
1.25(PM+PV)	- 194.16	1.25(MM+MV)	- 5
PSX		MSX	
1.25(PM+PV)	316.17	1.25(MM+MV)	74
+PSY		+MSY	
1.25(PM+PV)	- 226.23	1.25(MM+MV)	- -41
PSY		MSY	
0.9PM+PSX	240.26	0.9MM+MSX	31
0.9PM-PSX	86.18	0.9MM-MSX	-11
0.9PM+PSY	208.19	0.9MM+MSY	68
0.9PM-PSY	118.25	0.9MM-MSY	-48
V M (ton)	0.90		
V V (ton)	0.20		
V SX (ton)	46.70		
V SY (ton)	14.30		
1.4 VM+1.7VV	1.60		
1.25(VM+VV)	48.08		
+VSX			
1.25(VM+VV)	- -45.33		
VSX			

1.25(VM+VV)	15.68
+PSY	
1.25(VM+VV)	- -12.93
VSY	
0.9VM+VSX	47.51
0.9VM-VSX	-45.89
0.9VM+VSY	15.11
0.9VM-VSY	-13.49

Fuente: Elaboración Propia, 2019.

*Diseño por Flexo Compresión*

Cuantía 1.13% > 1.0%

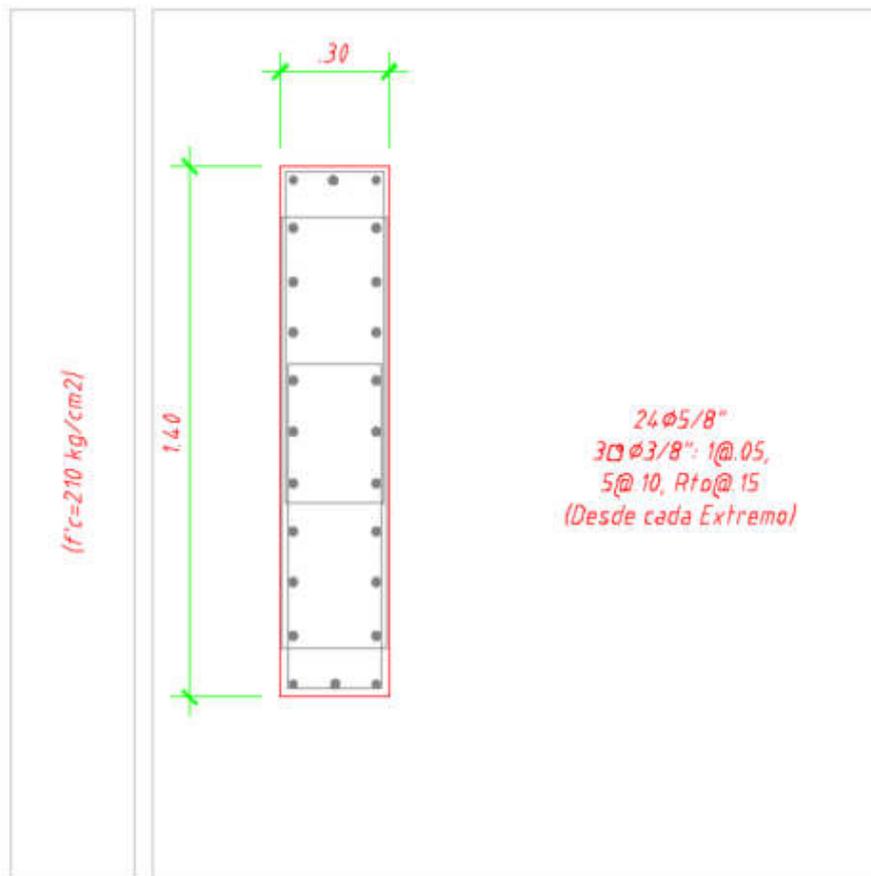


Figura 76: Fierro, espaciamiento desde cada extremo

Fuente: Elaboración Propia, 2019.

## Diagrama de iteración

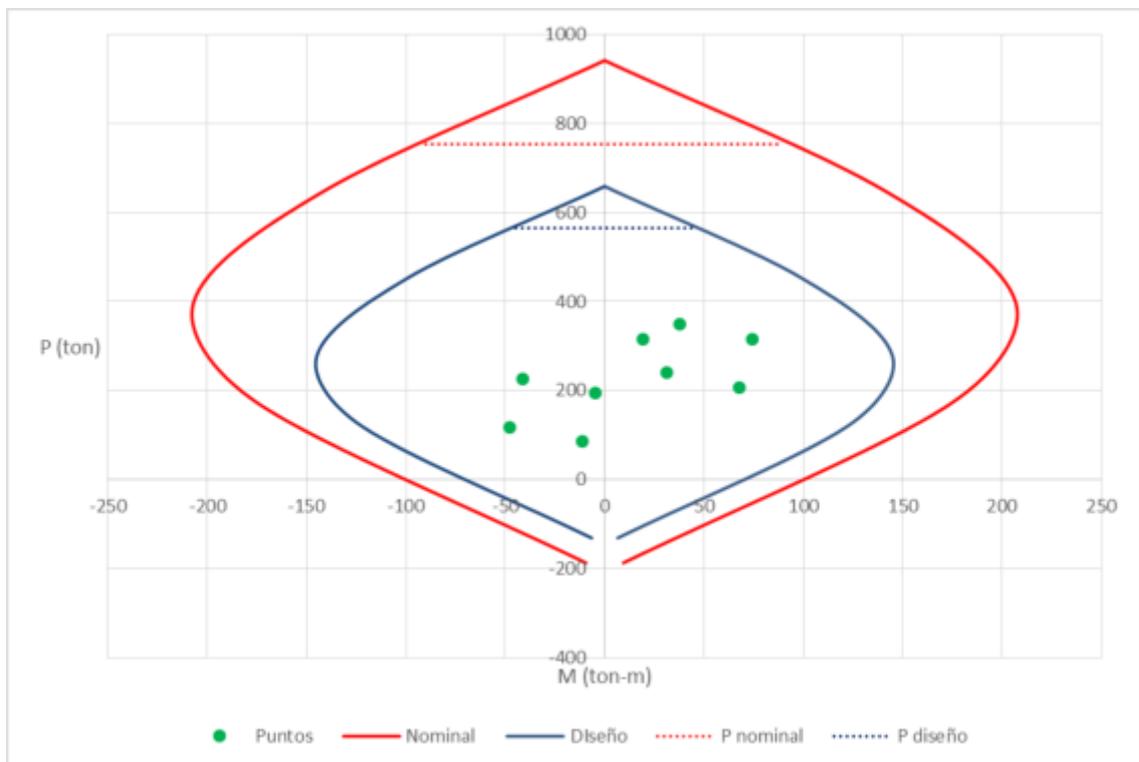


Figura 77: Diagrama de iteración

Fuente: Elaboración Propia, 2019.

### *Diseño por Corte*

Fuerza de corte último

$V_u = 48.08$  ton

Fuerza cortante nominal de la sección:

$$V_c = 0,17 \sqrt{f'_c} b w d$$

$$V_s = \frac{A_v f_y t d}{s}$$

Tabla 67: Diseño por corte

b (cm)	30.00	Base
d (cm)	134.00	Altura
fc (kg/cm <sup>2</sup> )	210.00	
Vn c (tn)	30.88	Resistencia del concreto
As (cm <sup>2</sup> )	0.71	área de sección de acero
fy (kg/cm <sup>2</sup> )	4200.00	
n°	2.00	Número de líneas de acero
S (cm)	25.00	Separación máxima de estribo
Vn s (tn)	31.97	Resistencia de acero estribo
Vn (tn)	62.84	Resistencia nominal de la sección
∅ Vn (tn)	50.27	Resistencia última de la sección
<b>∅ Vn (tn) &gt; Vu</b>		<b>OK</b>

Fuente: Elaboración Propia, 2019.

### ***Estribos por confinamiento***

Para garantizar el comportamiento dúctil del elemento se debe colocar estribos por confinamiento.

De acuerdo al RNE E-060 de concreto armado, en el capítulo 21:

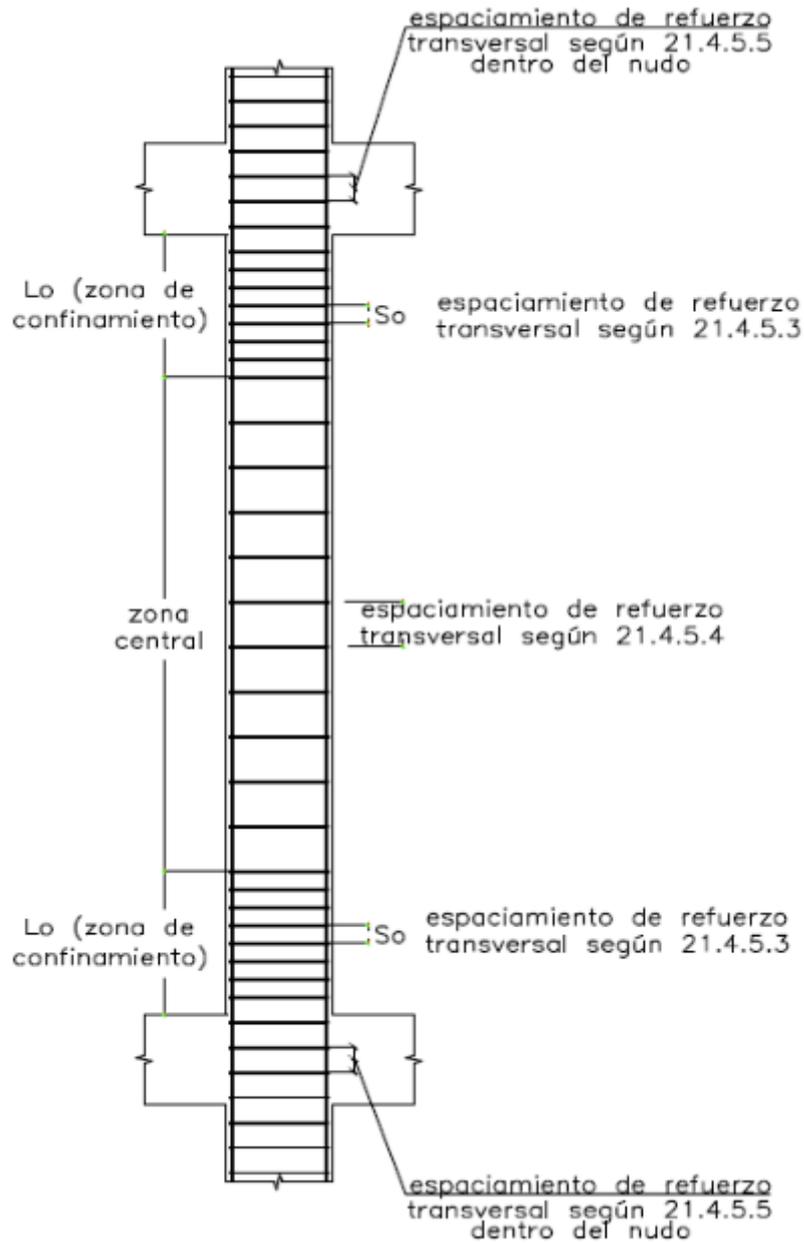


Figura 78: Espaciamientos de refuerzos

Fuente: Elaboración Propia, 2019.

Lo:

- a) 30 cm, menor dimensión de la sección
- b)  $1/6 (2.2) = 37$  cm, 1/6 de la luz libre
- c) 500 mm

Lo = 50 cm

La separación del refuerzo transversal en lo no debe ser menor de:

- a)  $1/3 (30) = 10$  cm, la tercera parte de menor longitud de la sección
- b)  $6 (1.6) = 10$  cm, 6 veces el diámetro del refuerzo longitudinal
- c) 10 cm

So = 10 cm

La distancia en la zona central es de:

- a)  $10(1.6) = 16$  cm
- b) 250 mm

Espaciamiento en la zona central es de 15 cm.

El estribamiento sería:  $3 \Phi 3/8": \underline{1@0.05}, \underline{5@0.10}, \underline{rto@0.15}$

## CAPÍTULO V. DISCUSIÓN Y APLICACIÓN

### CONCLUSIONES

- 1) Según el análisis de los desplazamientos de entrepisos de la edificación de 10 pisos del sistema dual, encontramos un desplazamiento de entrepiso máxima en el piso 6 de 0.01258m, lo cual al realizar el análisis de nos da un valor de 0.005 y está dentro de los límites establecidos en la norma E-030 de 0.007, mientras que al realizar el análisis del sistema aislado se llega a obtener un desplazamiento de entre piso máximo de 0.00968m y al analizar las distorsiones nos da un valor de 0.0034 está dentro de los límites recomendados por ASCE 7-16. Llegando a obtener una disminución de 32%.

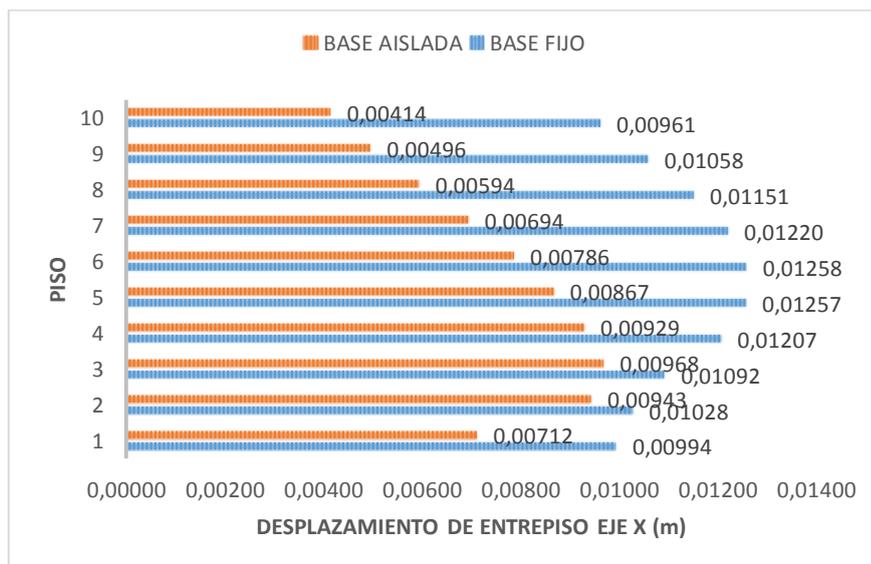


Figura 79: Comparación del desplazamiento de entrepiso en la dirección X

Fuente: Elaboración Propia, 2019.

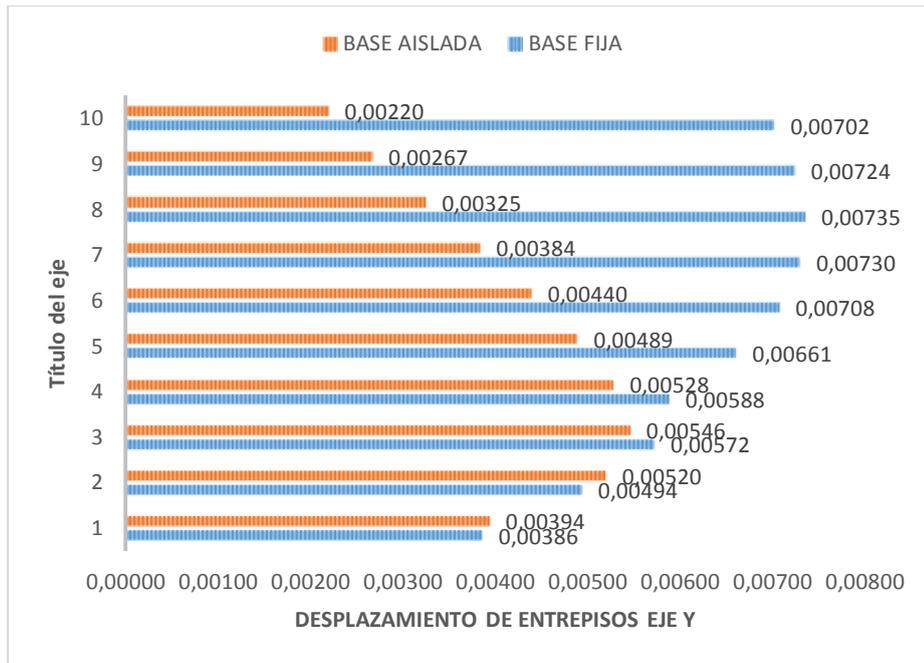


Figura 80 comparación del desplazamiento de entrepiso en la dirección Y  
 Fuente: Elaboración Propia, 2019.

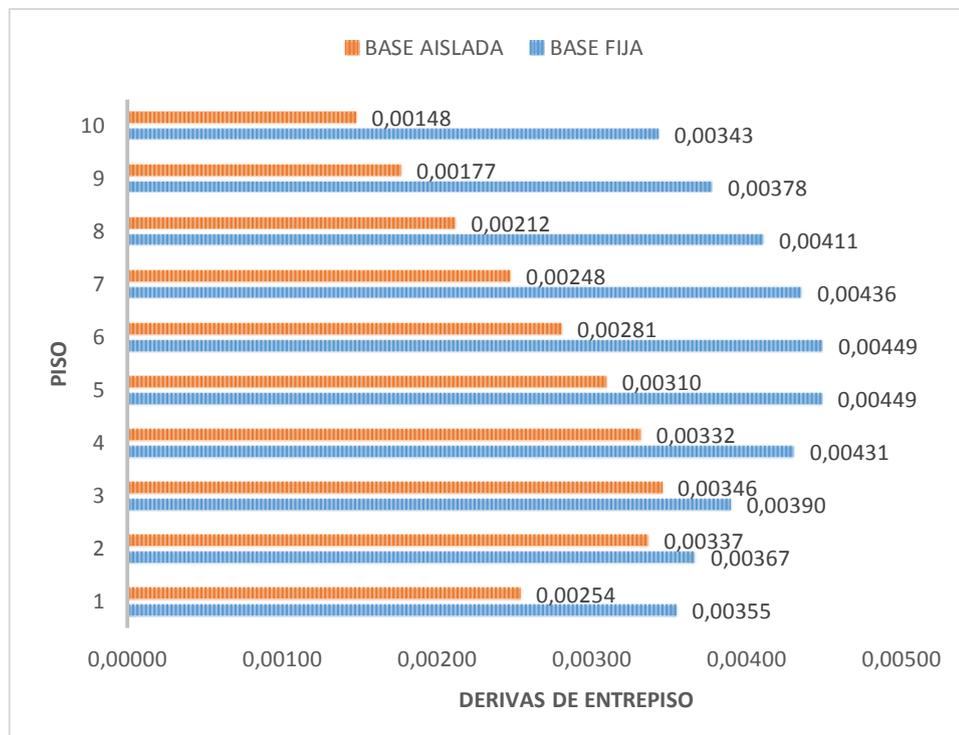


Figura 81: Comparación de derivas de entrepiso en la dirección X  
 Fuente: Elaboración Propia, 2019.

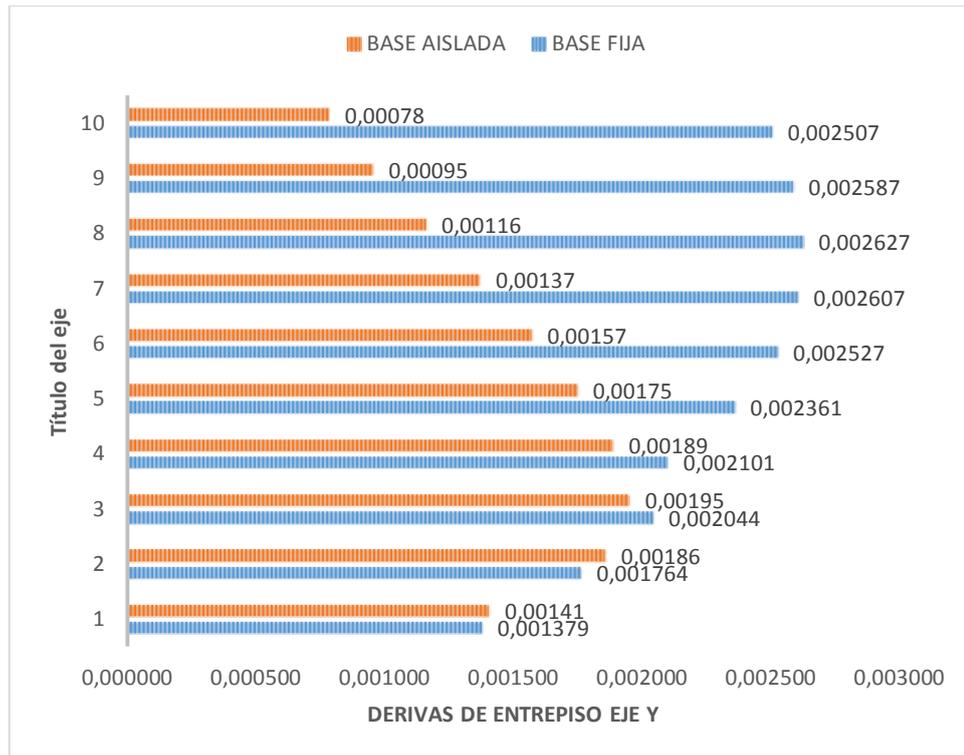


Figura 82: Comparación de derivas de entrepiso en la dirección Y

Fuente: Elaboración Propia, 2019.

- 2) Según el análisis estático y dinámico realizado a la edificación del sistema dual con respecto a los desplazamientos que puede experimentar esta edificación, se llegó a obtener un desplazamiento máximo en el nivel 10 de 0.112m en la dirección X con un periodo de vibración de 0.6 segundos, mientras que al realizar el análisis de la edificación con dispositivos elastomericos con núcleo de plomo y deslizante se llegó a obtener un desplazamiento máximo en el nivel 10 de 0.074m en la dirección X con un periodo de vibración de 2.5 segundos, para un sismo máximo esperado con un periodo de retorno de 2475 años, llegando a obtener una disminución del 35%

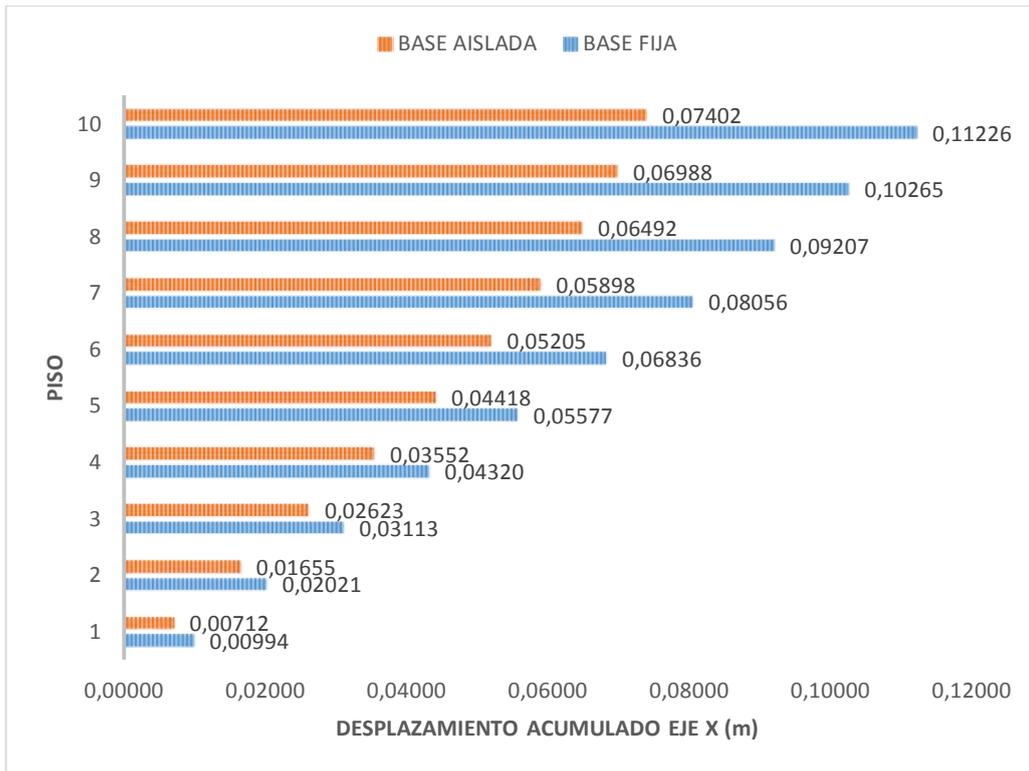


Figura 83: Comparación del desplazamiento acumulado en la dirección X

Fuente: Elaboración Propia, 2019.

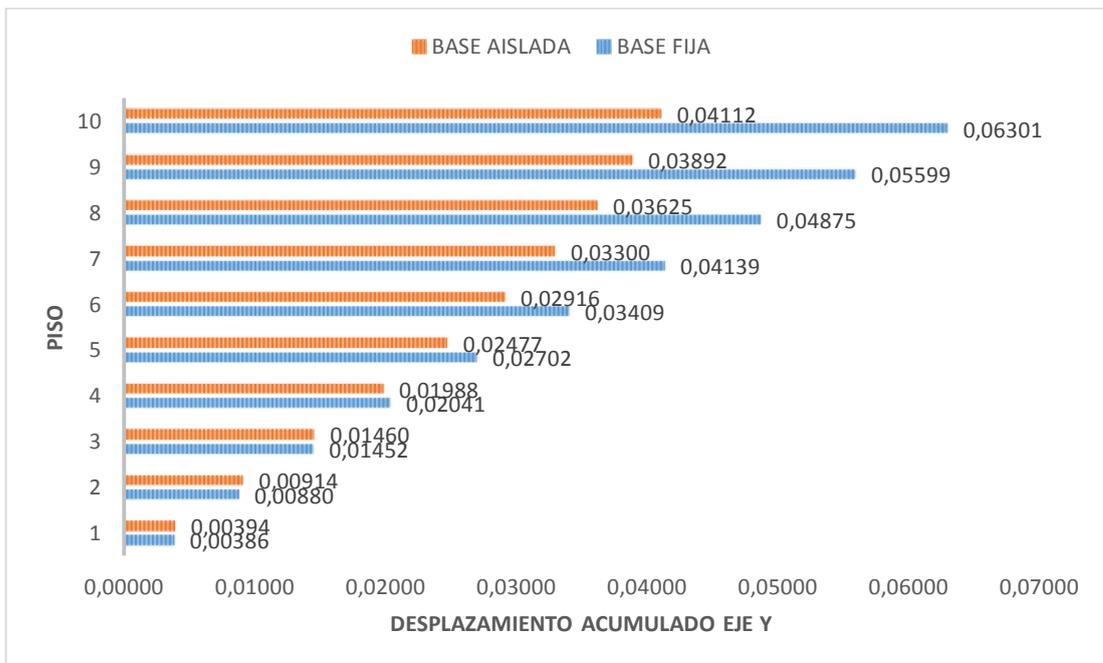


Figura 84: Comparación del desplazamiento acumulado en la dirección Y

Fuente: Elaboración Propia, 2019.

3) El diseño del aislamiento sísmico desarrollado permite reducir el cortante basal en un 51% de la superestructura al valor mínimo requerido según la norma E.030, aumentando, las diferentes ventajas de una edificación aislada como son: seguridad de la estructura y protección del contenido.

Los requerimientos de ductilidad máximas proyectada de la estructura para el sismo de diseño es de 1.276, tal valor es considerado bajo respecto a los valores estipulados por la Norma E.030 para sistemas convencionales. Esto nos dice que la edificación aislada ante un evento sísmico, prácticamente no será incluido en el rango no lineal (solicitud de ductilidad igual a 1 indica comportamiento elástico, una edificación tradicional presenta una demanda de ductilidad que esta entre 4 y 9).

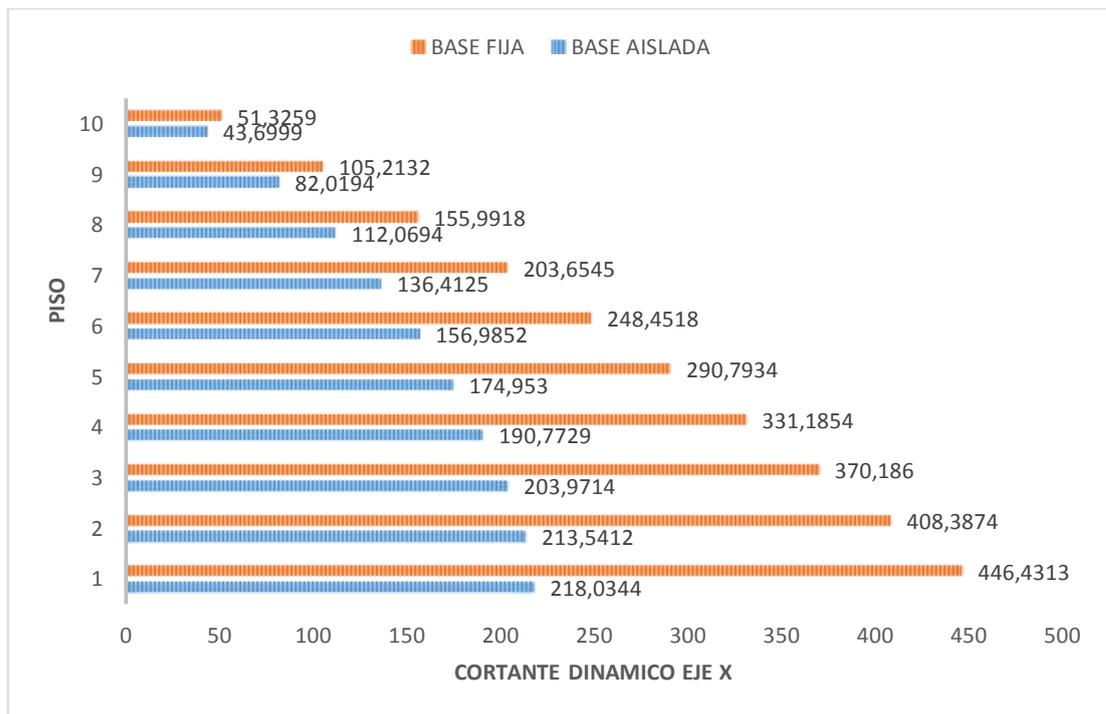


Figura 85: Comparación del cortante dinámico en la dirección X

Fuente: Elaboración Propia, 2019.

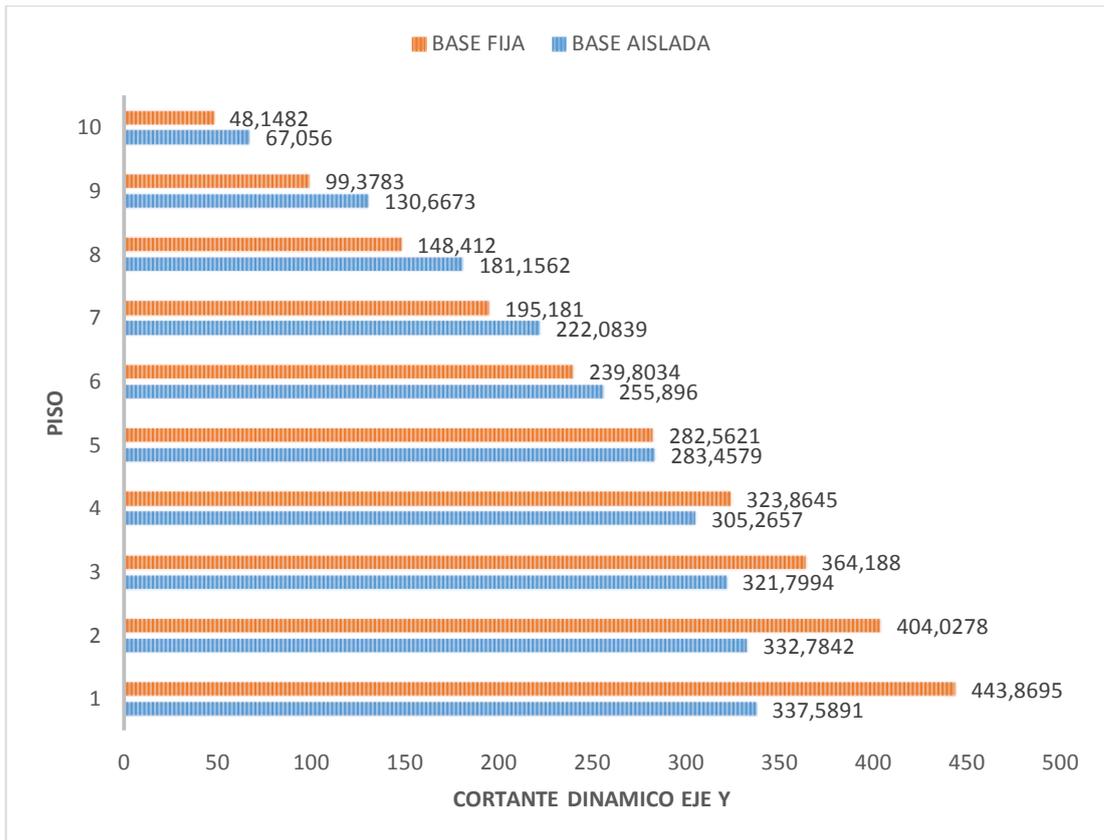


Figura 86: Comparación del cortante dinámico en la dirección X

Fuente: Elaboración Propia, 2019.

## DISCUSIONES

Revisando la investigación de Carmona, p. y Rosas en su investigación análisis comparativo del comportamiento sísmico dinámico del diseño normativo sismo-resistente de un sistema dual frente al modelo con aisladores llega a la concluir que los desplazamientos son de menor tamaño en un 45%, mientras que en nuestra investigación llegamos a obtener resultados menores, pero esos resultados son menores en un 35%, si bien es cierto que muchos de los autores con investigaciones similares llegan a la misma conclusión, esto dependerá de la forma de estructuración de cada proyecto.

Según la investigación de Maza, D.N. en su tesis análisis comparativo del comportamiento estructural de edificaciones con cimentación convencional y con aislamiento elastomérico en la cimentación, llega a concluir que en la interface de sistema de aislación sucede casi todo el desplazamiento lo que hace que no tenga desplazamiento máximo de la estructura obteniendo una disminución de casi el 100% y que el comportamiento de la estructura sea de un cuerpo rígido, en nuestra investigación la estructura no se comporta del todo un cuerpo rígido sino que tiene una disminución del 50% del desplazamiento máximo de un sistema dual. Esto es debido a que la estructura de Maza es regular y nuestra estructura es irregular.

Núñez, L.B en su investigación análisis comparativo y costos con un edificio tradicional, indica que el sistema aislado da como resultado una cortante en la base de un 84% menor frente a un sistema convencional, en nuestra investigación se llega a obtener un resultado del 50% menor frente al sistema dual cabe resaltar que el sistema convencional en nuestra investigación es dual por lo cual no se aprecia una disminución considerable respecto a la investigación de Núñez, Que es un sistema de porticas además la estructuración y el peso es diferente.

## RECOMENDACIONES

Luego de realizar un análisis detallado de las conclusiones de la investigación se llegó a dar algunas recomendaciones con respecto a la investigación desarrollada.

- 1) Se recomienda hacer un análisis tiempo historia con la cantidad mínima de registros recomendados por la norma E-030 para controlar mejor los desplazamientos y las derivas de entre pisos el cual genera mayor exactitud, si bien es cierto el uso del espectro de respuesta en nuestro proyecto nos da una diferencia favorable, esto podría aumentar la variación con un análisis tiempo historia.
- 2) Es recomendable usar no más de tres tipos de aisladores y de cada tipo poder uniformizar para no tener variabilidad en las dimensiones y características dinámicas, el cual conllevaría a realizar una mayor cantidad de ensayos para su verificación y un mayor tiempo para la fabricación, así como para el proceso de instalación en campo el cual conllevaría a mayores sobrecostos.
- 3) Se recomienda realizar investigaciones cambiando los dispositivos elastoméricos de núcleo de plomo por otros tipos de aisladores al igual que los aisladores deslizantes para realizar la comparación de la variabilidad de desplazamientos de entre pisos, fuerzas cortantes y los esfuerzos de flexión y corte frente a este tipo de sistemas.
- 4) Se recomienda implementar el sistema de aislación para futuros proyectos de edificación que puedan ser viables, para así poder disminuir la vulnerabilidad estructural, el cual, conlleva a disminuir los daños materiales, eliminar los costos por paralización de actividades y lucro cesante, así como también, disminuir y eliminar la pérdida de vidas humanas
- 5) Tomar en cuenta los resultados de esta investigación para realizar proyectos de ejecución con este tipo de sistema de aislación, con

configuraciones estructurales similares y que tengan parámetros de estructuración iguales en zonas aledañas a la ubicación de esta edificación y así proyectarse a posibles resultados.

- 6) Se recomienda realizar un estudio con sistemas de aislación activos que constan de sensores de movimiento el cual sirve para un mejor control y procesado de datos, así como actuador dinámico, el sistema activo permite obtener resultados como el periodo fundamental de vibración para así poder ajustar los resultados con el fin de hacer más óptimo el comportamiento de nuestro proyecto con un sistema aislado.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aguiar, R., Almazan, J., Dechent, P. & Suarez, V. (2008). *Aisladores de Base Elastoméricos y FPS*. Quito, Ecuador: Centro de Investigaciones Científicas.
- Alonso, J. (2014). *Vulnerabilidad Sísmica de Edificaciones*. Recuperado de <https://pe56d.s3.amazonaws.com/p194bfbl2n1obn1gab14591p7d1q42b.pdf>
- Barrientos, S. (2014). *Terremoto de Iquique, Mw=8.2* 1 de Abril del 2014. Recuperado de [http://www.sismologia.cl/pdf/informes/terremoto\\_iquique\\_2014.pdf](http://www.sismologia.cl/pdf/informes/terremoto_iquique_2014.pdf)
- Bazan, E. & Meli, R. (2001) *Diseño Sísmico de Edificios*. Mexico: Limusa S.A.
- Bozzo, L. & Barbat, A. (2000). *Diseño Sismorresistente de Edificios*. Barcelona, España: Reverté, s.a.
- Carmona, P. & Rosas, A. (2015). “*Análisis Comparativo del Comportamiento Sísmico Dinámico del diseño normativo sismorresistente de un sistema dual frente al modelo con aisladores elastoméricos de alto amortiguamiento (HDR) de un sistema aporticado, del Edificio de Oficinas Schell de seis pisos ubicado en la Provincia de Lima – Perú*”. (Tesis para optar por el título de Ingeniero Civil). Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Perú.
- CENAPRED (1999). *Curso Sobre Diseño y Construcción Sismorresistente de Estructuras*. México: Tomas A. Sanchez.
- Corporación de Desarrollo Tecnológico – Cámara Chilena de LA Construcción (2011). *Sistemas de Aislación Sísmica y Disipación de Energía*. Protección Sísmica de Estructuras. (29), 43.
- Cutimbo, W. (2016). *Ingeniería Sismorresistente* (1st ed.). Moquegua, Perú: Universidad José Carlos Mariátegui.
- Oviedo, J. & Duque, M. (2006). *Sistemas de Control de Respuesta Sísmica en Edificaciones*. EIA. 6, p. 109.

- Feron, S., Heinrichs, H., & Cordero, R. (2016). *Sustainability of rural electrification programs based on off-grid photovoltaic (PV) systems in Chile*. *Energy, Sustainability And Society*, 6(1). doi: 10.1186/s13705-016-0098-4
- FIP Industriale: (2012). Vasoflon ® Bearings. Italia. [http://www.fipindustriale.it/public/B01\\_VASOFLON-eng.pdf](http://www.fipindustriale.it/public/B01_VASOFLON-eng.pdf)
- Genatios, C. & Lafuente, M. (2016). *Introducción al uso de aisladores y disipadores en estructuras*. Caracas, Venezuela: CAF-Banco de Desarrollo de América Latina.
- Harmsen, T. (2002). *Diseño de Estructuras de Concreto Armado*. 3a ed. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Maza, D.N. (2016). "Análisis comparativo del comportamiento estructural de edificaciones con cimentaciones convencionales y edificaciones con aislamiento elastoméricos en la cimentación, en el distrito de Independencia, provincia de Huaraz, departamento de Ancash, 2012". (Tesis para optar el grado de Maestro). Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, Perú.
- Mamani, A. (2017). "Evaluación del comportamiento sísmico, sistemas de aisladores con respecto al sistema convencional para las edificaciones esenciales, del hospital del Callao – Lima – Callao 2017". (Tesis para optar por el título profesional de ingeniería civil). Universidad Cesar Vallejo, Perú.
- Maldonado, R. & Chio, G. (2009). *Estimación de las funciones de vulnerabilidad sísmica en edificaciones en tierra*. *Ingeniería y Desarrollo*, (25), 180-199.
- Mageba international (2013). *Protección antisísmica mageba – preservación fiable de estructuras*. New York.
- Mc Cormac, J. & Brown, R. (2011). *Diseño de Concreto Reforzado*. 8a ed. Mexico: Alfaomega Grupo Editor.
- Morales, R. (2011). *Diseño de Concreto Armado*. Lima, Perú: ICG.
- Nilson, A. (2001). *Diseño de Estructuras de Concreto*. 12 th ed. Bogotá, Colombia: Mc Graw Hill.
- Núñez, L.B. (2014). "Aislación sísmica de un edificio (análisis comparativo del comportamiento y costos con un edificio

- tradicional*)". (Tesis de grado). Universidad Central del Ecuador, Ecuador.
- Reglamento Nacional de Edificaciones; E.020, E.030, E.060, E.070, SENCICO.
- Rochel, R. (2012). *Análisis y Diseño Sísmico de Edificios*. 2a ed. Medellín, Colombia: Universidad Eafit.
- Salinas, Torres y Vallejos (2014). "*Estudio Comparativo Técnico-Económico Sobre el Uso de Aislamiento Sísmico en la Base*"; para optar al Título de Ingeniero Civil.
- Sistemas de Protección Sísmica. (2011). Mageba, (12). Retrieved from <http://file:///C:/Users/ARQUI10/Desktop/libros%20%20RB/13%20%20SISTEMAS%20DE%20PRTECCION%20SISMICA.pdf>
- Tavera, H. (2004). *Evaluación del peligro asociado a los sismos y efectos secundarios en el Perú*. Dirección de Sismología, IGP.
- Valerio, J.J. (2015). "Análisis comparativo de un edificio fijo en la base vs un edificio aislado utilizando 4 tipos de aisladores sísmicos". (Tesis de master). Universidad Politécnica de Cataluña, España.
- Villarreal, G. & Oviedo, R. (2009). *Edificaciones con Disipadores de Energía* (1st ed). Lima, Perú.

**Anexo N 01**  
**Matriz de consistencia**

Problema	Objetivo	Hipotesis	Variables	Indicadores	Indice	Diseño metodológico
<b>PROBLEMA GENERAL</b>	<b>OBJETIVO GENERAL</b>	<b>HIPOTESIS GENERAL</b>	<b>V. INDEPENDIENTE (X)</b>			<b>Tipo de investigacion</b>
¿De qué manera influiría el uso de aisladores sísmicos en el análisis de la vulnerabilidad sísmica para el edificio de 10 pisos ubicado en la Av. República de Panamá-Lima?	Determinar cuánto influye el uso de aisladores sísmicos en el análisis de la vulnerabilidad sísmica para el edificio de 10 pisos ubicado en la av. República de Panamá-Lima.	El uso de aisladores sísmicos influye en el análisis de la vulnerabilidad sísmica para el edificio de 10 pisos ubicado en la av. República de Panamá-Lima.	Aisladores sísmicos	<b>Características físicas</b>	Tipo de aislador	<b>Descriptiva: realiza una descripción general del marco conceptual.</b>
					Tipo de nucleo	
					Material de construccion	
				<b>Características mecánicas</b>	Resistencia	<b>Comparativa: mediante la obtención de resultados realiza una comparación.</b>
					Flexibilidad	
<b>PROBLEMA ESPECIFICO</b>	<b>OBJETIVOS ESPECIFICOS</b>	<b>HIPOTESIS ESPECIFICOS</b>	<b>V. DEPENDIENTE (Y)</b>			<b>Nivel de investigacion</b>
¿De qué manera influiría el uso de aisladores sísmicos en el desplazamiento de entre pisos para el edificio de 10 pisos ubicado en la Av. República de Panamá-Lima?	Determinar cuánto influye el uso de aisladores sísmicos en el desplazamiento de entrepisos para el edificio de 10 pisos ubicado en la Av. Republica de Panamá-Lima.	El uso de aisladores sísmicos influye en el desplazamiento de entre pisos para el edificio de 10 pisos ubicado en la Av. Republica de Panamá-Lima.	Vulnerabilidad sísmica de la edificación	<b>Desplazamiento de entrepisos</b>		<b>Descriptivo: en el desarrollo de la investigación se responden interrogantes del proceso y análisis.</b>
¿De qué manera influiría el uso de aisladores sísmicos en el desplazamiento máximo para el edificio de 10 pisos ubicado en la Av. Republica de Panamá-Lima?	Determinar cuánto influye el uso de aisladores sísmicos en el desplazamiento máximo para el edificio de 10 pisos ubicado en la Av. República de Panamá-Lima.	El uso de aisladores sísmicos influye en el desplazamiento máximo para el edificio de 10 pisos ubicado en la Av. Republica de Panamá-Lima.	Vulnerabilidad sísmica de la edificación	<b>Desplazamientos máximos</b>		<b>Diseño de la investigacion</b>
¿De qué manera influiría el uso de aisladores sísmicos en la reducción de la magnitud de las fuerzas cortantes de piso para el edificio de 10 pisos ubicado en la Av. República de Panamá-Lima?	Determinar cuánto influye el uso de aisladores sísmicos en la reducción de la magnitud de las fuerzas cortantes de piso para el edificio de 10 pisos ubicado en la Av. Republica de Panamá-Lima.	El uso de aisladores sísmicos reduce la magnitud de las fuerzas cortantes de piso en el edificio de 10 pisos ubicado en la Av. República de Panamá-Lima.	Vulnerabilidad sísmica de la edificación	<b>Fuerza cortante de piso</b>		<b>No experimental: no realiza una manipulación deliberada de las variables.</b>

**Anexo N 02**  
**Formato de metrados**

DETALLE	DESCRIPCION	DISEÑO DEL ACERO	φ	CADA ELEMENTO			LONGITUD TOTAL POR DIAMETRO							
				CANT.	N°	LONG.	12 mm	1/4"	3/8"	1/2"	5/8"	3/4"	1"	1 3/8"
COLUMNAS Tipo: C-3 (30 x 140)	Acero vertical		5/8"	08	012	28.00	--	--	--	--	14541.00	--	--	--
	Acero vertical		5/8"	08	012	53.00	--	--	--	--	3229.10	--	--	--
<b>1 NIVEL</b>														
	Estribos @ 0.05 m =	01	0.75	Gancho										
	Estribos @ 0.10 m =	05	0.75	0.150										
	Estribos @ 0.15 m =	Resto												
	Altura total	H = 2.80 m												
<b>1 NIVEL</b>														
	Estribos @ 0.05 m =	01	0.75	Gancho										
	Estribos @ 0.10 m =	05	0.75	0.150										
	Estribos @ 0.15 m =	Resto												
	Altura total	H = 2.80 m												
<b>2 NIVEL</b>														
	Estribos @ 0.05 m =	01	0.75	Gancho										
	Estribos @ 0.10 m =	05	0.75	0.150										
	Estribos @ 0.15 m =	Resto												
	Altura total	H = 2.80 m												
<b>3 NIVEL</b>														
	Estribos @ 0.05 m =	01	0.75	Gancho										
	Estribos @ 0.10 m =	05	0.75	0.150										
	Estribos @ 0.15 m =	Resto												
	Altura total	H = 2.80 m												
<b>4 NIVEL</b>														
	Estribos @ 0.05 m =	01	0.75	Gancho										
	Estribos @ 0.10 m =	05	0.75	0.150										
	Estribos @ 0.15 m =	Resto												
	Altura total	H = 2.80 m												
<b>5 NIVEL</b>														
	Estribos @ 0.05 m =	01	0.75	Gancho										
	Estribos @ 0.10 m =	05	0.75	0.150										
	Estribos @ 0.15 m =	Resto												
	Altura total	H = 2.80 m												
<b>6 NIVEL</b>														
	Estribos @ 0.05 m =	01	0.75	Gancho										
	Estribos @ 0.10 m =	05	0.75	0.150										
	Estribos @ 0.15 m =	Resto												
	Altura total	H = 2.80 m												
<b>7 NIVEL</b>														
	Estribos @ 0.05 m =	01	0.75	Gancho										
	Estribos @ 0.10 m =	05	0.75	0.150										
	Estribos @ 0.15 m =	Resto												
	Altura total	H = 2.80 m												
<b>8 NIVEL</b>														
	Estribos @ 0.05 m =	01	0.75	Gancho										
	Estribos @ 0.10 m =	05	0.75	0.150										
	Estribos @ 0.15 m =	Resto												
	Altura total	H = 2.80 m												
<b>9 NIVEL</b>														
	Estribos @ 0.05 m =	01	0.75	Gancho										
	Estribos @ 0.10 m =	05	0.75	0.150										
	Estribos @ 0.15 m =	Resto												
	Altura total	H = 2.80 m												
<b>10 NIVEL</b>														
	Estribos @ 0.05 m =	01	0.75	Gancho										
	Estribos @ 0.10 m =	05	0.75	0.150										
	Estribos @ 0.15 m =	Resto												
	Altura total	H = 2.80 m												
<b>INTERSECCION</b>														
	Estribos @ 0.10 m =	Resto	0.75	Gancho										
	Altura total	H = 0.25 m		0.150										
				Desperdicio:	5%	TOTAL	0.00	0.00	6465.80	0.00	17770.10	0.00	0.00	0.00
<b>DIAMETRO</b>			1/4"	3/8"	1/2"	5/8"	3/4"	1"	1 3/8"					
LONGITUD TOTAL x DIAMETRO			0.00	6465.80	0.00	17770.10	0.00	0.00	0.00					
PESO kg/m			0.25	0.56	0.99	1.55	2.24	3.97						
TOTAL (kg)			0.00	3620.85	0.00	27579.20	0.00	0.00						
<b>TOTAL DE ACERO EN PESO (KG)</b>			<b>31200.04 kg</b>											

**Anexo N 03**  
Estudio de suelos



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

## Facultad de Ingeniería Civil Laboratorio N° 2 - Mecánica de Suelos y Pavimentos

Av. Túpac Amaru N° 210 - Lima 25 - Perú    Telefax: 381-3842

### INFORME N° S16-256-1

SOLICITANTE : ING. WILLIAM EBERTH CABANILLAS VALENZUELA Y J. PESO CIA  
 PROYECTO : EDIFICIO MULTIFAMILIAR  
 UBICACIÓN : BARRANCO  
 FECHA : 08 DE ABRIL DEL 2016

#### ENSAYO DE CORTE DIRECTO ASTM D 3080

Estado : Remoldeado (material < Tamiz N° 4)  
 Calicata : C-1  
 Prof. (m.) : 6.50 - 12.00

Especimen N°	I	II	III
Diametro del anillo (cm.)	6.36	6.36	6.36
Altura inicial de la muestra (cm.)	2.16	2.16	2.16
Densidad húmeda inicial (g/cm <sup>3</sup> .)	1.875	1.875	1.875
Densidad seca inicial (g/cm <sup>3</sup> .)	1.810	1.810	1.810
Cont. de humedad inicial (%)	3.6	3.6	3.6
Altura de la muestra antes de aplicar el esfuerzo de corte (cm.)	2.15	2.12	2.10
Altura final de la muestra (cm.)	2.13	2.09	2.07
Densidad húmeda final (g/cm <sup>3</sup> .)	2.213	2.225	2.228
Densidad seca final (g/cm <sup>3</sup> .)	1.834	1.871	1.893
Cont. de humedad final (%)	20.7	18.9	17.7
Esfuerzo normal (kg/cm <sup>2</sup> .)	0.5	1.0	1.5
Esfuerzo de corte máximo (kg/cm <sup>2</sup> .)	0.319	0.629	0.952
Angulo de fricción interna :	32.3 °		
Cohesión (Kg/cm <sup>2</sup> .) :	0.00		

*Nota : Los especimenes se remoldearon con la densidad proporcionada por el cliente.  
 Muestra remitida e identificada por el solicitante*

Realizado por:  
 Revisado por:

Téc. R. Córdaz N.  
 Ing. D. Sasurto R.



Msc. Ing. LUISA E. SHUAN LUCAS  
 Jefe (a) del Laboratorio N° 2  
 Mecánica de Suelos y Pavimentos - UNI FIC

Ing. William Eberth Cabanillas Valenzuela  
 Ingeniero Civil  
 CIP N° 51134  
 Presidente de Obra



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

## Facultad de Ingeniería Civil Laboratorio N° 2 - Mecánica de Suelos y Pavimentos

Av. Túpac Amaru N° 210 - Lima 25 - Perú    Telefax: 381-3842

### INFORME N° S16-256-1

SOLICITANTE : ING. WILLIAM EBERTH CABANILLAS VALENZUELA Y J. PESO CIA  
PROYECTO : EDIFICIO MULTIFAMILIAR  
UBICACIÓN : BARRANCO  
FECHA : 06 DE ABRIL DEL 2016

### REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Calicata : C-1  
Prof. (m.) : 0.60 - 12.00

### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO - ASTM D 422

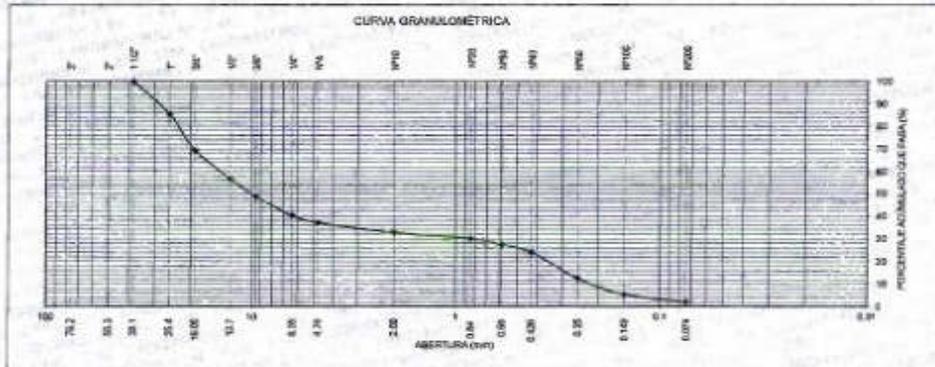
Tamiz	Abertura (mm)	(% Parcial Retenido)	(% Acumulado)	
			Retenido	Pasa
3"	76.200	-	-	-
2"	50.300	-	-	-
1 1/2"	38.100	-	-	100.0
1"	25.400	14.8	14.8	85.2
3/4"	19.050	15.9	30.7	69.3
1/2"	12.700	12.7	43.4	56.6
3/8"	9.525	7.9	51.3	48.7
1/4"	6.350	6.4	57.6	42.4
N°4	4.750	3.2	60.8	39.2
N°10	2.000	4.4	65.2	34.8
N°20	0.840	2.8	68.0	32.0
N°30	0.590	2.6	70.6	29.4
N°40	0.425	3.4	74.0	26.0
N°60	0.250	11.6	85.6	14.4
N°100	0.149	7.0	92.4	7.6
N°200	0.074	3.6	96.0	4.0
FONDO		2.0		

% Grava	62.8
% Arena	35.2
% Finos	2.0

### LIMITES DE CONSISTENCIA ASTM D 4318

Límite Líquido (%)	NP
Límite Plástico (%)	NP
Índice Plástico (%)	NP

Clasificación SUCS ASTM D 2487 : GP



Nota: Muestra remitida e identificada por el Solicitante

Ejecución : Tsc. R. Cordero R.  
Revisión : Ing. D. Sasurto R.



*J. E. L.*  
Msc. Ing. LUISA E. SHUAN LUCAS  
Jefe (e) del Laboratorio N° 2  
Mecánica de Suelos y Pavimentos - UNI FIC

*William Eberth Cabanillas Valenzuela*  
Ing. William Eberth Cabanillas Valenzuela  
Ingeniero Civil  
CIP N° 63164  
Responsable de Obra

**Anexo N 04**  
Cotización de aisladores

## INFORMACIÓN CON FINES ACADÉMICOS

Lima, 14 de Mayo del 2019

**PARA :** Bach. Erlík David Dávila Díaz  
Bach. Carlos Hinojosa Orejon  
(ALUMNOS SAN MARTIN DE PORRES)

**ATENCIÓN :** Ing. Rodolfo Marquina Callacna (ASESOR)

**14 AISLADORES SÍSMICOS LRB A DIS**  
**2 DESLIZADORES SISMICOS Slider C DIS**

**PRECIO GLOBAL: 151 000.00 DOLARES USA**

### CONSIDERACIONES:

1. La presente información se entrega para fines de desarrollo del proyecto de fin de carrera: "Vulnerabilidad sísmica de una edificación de 10 pisos utilizando aisladores sísmicos elastoméricos con núcleo de plomo y el sistema dual".
2. CDV está colaborando con el presente trabajo mediante la emisión de costos referenciales de los dispositivos previamente diseñados por el tesista. CDV no asume ninguna responsabilidad por el diseño y las metodologías empleadas en el desarrollo de la misma.
3. El precio de los aisladores es muy sensible con las cantidades que se requieren, el precio variará si se modifican dichas cantidades.
4. Estos precios no son fijos en el tiempo, por lo tanto no podrán ser usados para trabajos académicos posteriores a estas fechas. La actualización de precios se da mensualmente.
5. La información presentada es únicamente para fines educativos, no podrá ser usada como referencia oficial por alguna empresa o entidad, tampoco para el desarrollo de otra investigación. Se prohíbe la difusión cuyo objetivo sea diferente a los fines de la presente tesis.

### NOTAS:

6. Los precios NO incluyen IGV.
7. Precios dados en US\$ dólares USA.
8. Aisladores Sísmicos fabricados en su totalidad en EE.UU. por DYNAMIC ISOLATION SYSTEM INC.
9. Las cantidades y características de los aisladores usadas para la presente cotización fueron tomadas en base a **INFORMACIÓN ENTREGADA POR EL TESISTA.**

Atentamente,

Ing. Jhon Chiroque P. | Departamento de Ingeniería – Unidad de Negocios  
Protección Antisísmica | C. 340384848 T. 346 1002  
Av. Javier Prado Este 3349, San Borja  
[jchiroque@cdvperu.com](mailto:jchiroque@cdvperu.com)