



# UNIVERSIDAD RICARDO PALMA

## **FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

Análisis técnico-económico de una edificación  
multifamiliar con sistema dual frente a un sistema aislado  
en San Miguel

### **TESIS**

Para optar el título profesional de Ingeniero(a) civil

### **AUTORES**

Benites Jessen, Frances Veronica

ORCID: 0000-0002-8104-8553

Ingunza Bazan, Giancarlo Renzo

ORCID: 0000-0002-5248-0101

### **ASESOR**

Gárate Cáceres, Francisco Héctor

ORCID:0000-0003-0413-3399

**Lima, Perú**

**2022**

## **Metadatos Complementarios**

### **Datos de los autores**

Benites Jessen, Frances Veronica

DNI: 76406939

Ingunza Bazan, Giancarlo Renzo

DNI: 73379437

### **Datos de asesor**

Gárate Cáceres, Francisco Héctor

DNI: 07640930

### **Datos del jurado**

#### **JURADO 1**

Carmenates Hernandez, Dayma Sadami

DNI: 2944620

ORCID: 0000-0001-5482-7562

#### **JURADO 2**

López Silva, Maiquel

DNI: 2946058

ORCID: 0000-0002-0946-6160

#### **JURADO 3**

Donayre Córdova, Oscar Eduardo

DNI: 06162939

ORCID: 0000-0002-4778-3789

### **Datos de la investigación**

Campo del conocimiento OCDE: 2.01.01

Código del Programa: 732016

## **DEDICATORIA**

Dedico esta tesis a mi mamá Veronica Jessen por su apoyo incondicional y amor infinito, a mi mamita Esther por siempre acompañarme en todas las fases de mi vida y por siempre confiar en mí; a Fátima y Mariana, por ser una alegría y motivación constante en lo que me propongo; a Rocky y Lola, por su amor, lealtad y compañía en todas mis noches universitarias; al cielo a mi papito Víctor Jessen, que desde arriba me sigue guiando y protegiendo.

Benites Jessen, Frances Veronica

Esta tesis está dedicada a mis padres, mi madre que día a día ha estado apoyándome y a mi padre que desde el cielo ha estado guiándome, a mis hermanos que siempre me brindan y me dan sus mejores consejos, han sido el mejor soporte en este proceso de la tesis.

Ingunza Bazan, Giancarlo Renzo

## **AGRADECIMIENTO**

Nuestro agradecimiento a nuestra universidad Ricardo Palma, por habernos forjado como profesionales y como personas; al Ingeniero Francisco Garate e Ingeniera Dayma Carmentes por apoyarnos estos 6 meses en la elaboración de la tesis; y a todas personas que de alguna manera nos apoyaron e

Benites Jessen, Frances Veronica

Ingunza Bazan, Giancarlo Renzo

# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	i
ABSTRACT.....	ii
INTRODUCCIÓN.....	iii
<b>CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>1</b>
1.1 Descripción y formulación del problema general y específicos.....	2
1.2 Objetivo general y específico.....	2
1.2.1 Objetivo General.....	2
1.2.2 Objetivos específicos.....	2
1.3 Delimitación de la investigación: Temporal, espacial y temática.....	2
1.3.1 Delimitación temporal.....	2
1.3.2 Delimitación espacial.....	2
1.3.3 Delimitación de la temática.....	3
1.4 Justificación e importancia de la investigación.....	3
1.4.1 Justificación de la investigación.....	3
1.4.2 Importancia de la investigación.....	4
<b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>5</b>
2.1 Antecedentes del estudio de investigación.....	5
2.1.1 Antecedentes Internacionales.....	5
2.1.2 Antecedentes Nacionales.....	6
2.2 Bases Teóricas.....	8
2.3 Definición de términos básicos.....	25
<b>CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPOTESIS.....</b>	<b>26</b>
3.1 Hipótesis.....	26
3.1.1 Hipótesis general.....	26
3.1.2 Hipótesis específicas.....	26
3.2 Variables.....	26
3.2.1 Definición conceptual de las variables.....	26
3.2.2 Operacionalización de las variables.....	26
<b>CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>27</b>
4.1 Tipo y nivel.....	27
4.1.1 Tipo.....	27
4.1.2 Nivel.....	27

4.2	Diseño de la investigación.....	27
4.3	Población y muestra.....	27
4.3.1	Población.....	28
4.3.2	Muestra.....	28
4.4	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	28
4.4.1	Tipos de técnicas e instrumentos.....	28
4.4.2	Criterios de validez y confiabilidad de los instrumentos.....	28
4.4.3	Procedimientos de la recolección de datos.....	29
4.5	Técnicas para el procesamiento y análisis de la información.....	29
	<b>CAPÍTULO V: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....</b>	<b>30</b>
5.1	Descripción general y configuración estructural.....	30
5.1.1	Descripción general.....	30
5.1.2	Configuración estructural.....	30
5.1.3	Características de los materiales empleados.....	31
5.1.4	Dimensiones de elementos estructurales.....	31
5.1.5	Resumen de cargas empleadas.....	32
5.2	Análisis sísmico del sistema dual.....	32
5.2.1	Análisis Estático – Norma E. 030.....	32
5.2.2	Análisis Dinámico Modal Espectral.....	43
5.3	Análisis sísmico del sistema aislado.....	47
5.3.1	Descripción del sistema aislado de la edificación.....	49
5.3.2	Análisis Estático o Fuerzas equivalentes.....	49
5.3.3	Propiedades geométricas del aislador sísmico.....	52
5.3.4	Propiedades mecánicas del aislador sísmico.....	53
5.3.5	Verificación de la estabilidad de los aisladores sísmicos.....	60
5.3.6	Análisis Dinámico Modal Espectral.....	63
5.3.7	Análisis Tiempo-Historia.....	67
	<b>CAPÍTULO VI: COMPARACIÓN E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS..</b>	<b>72</b>
6.1	Comparación Técnica.....	72
6.1.1	Del Análisis Modal Espectral.....	72
6.1.2	Del Análisis Tiempo Historia.....	77
6.2	Comparación Económica.....	83
6.3	Contrastación de Hipótesis.....	86

<b>CONCLUSIONES</b> .....	88
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	89
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	90
<b>ANEXOS</b> .....	98
Anexo 1: Matriz de Operacionalización de las variables.....	103
Anexo 2: Matriz de Consistencia.....	104
Anexo 3: Catalogo Bridgestone 2018.....	105
Anexo 4: Presupuesto.....	106
Anexo 5: Metrados.....	107
Anexo 6: Planos.....	108
Anexo 7: Permiso para utilizar planos. ....	112

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Factor BM. ....	18
Tabla 2: Características de los materiales. ....	31
Tabla 3: Dimensiones de las columnas.....	31
Tabla 4: Dimensiones de las vigas.....	31
Tabla 5: Dimensiones de las losas.....	32
Tabla 6: Dimensiones de las placas y muros.....	32
Tabla 7: Cargas muertas empleadas.....	32
Tabla 8: Cargas vivas empleadas.....	32
Tabla 9: Perfiles de suelo.....	33
Tabla 10: Factor de uso.....	34
Tabla 11: Evaluación de Irregularidad de Rigidez en el Eje x.....	35
Tabla 12: Evaluación de Irregularidad de Rigidez en el Eje y.....	35
Tabla 13: Evaluación de Irregularidad por masa o peso.....	35
Tabla 14: Evaluación de Irregularidad por torsión en Eje x.....	36
Tabla 15: Evaluación de Irregularidad por torsión en Eje y.....	36
Tabla 16: Evaluación por esquinas entrantes.....	37
Tabla 17: Resumen de Irregularidades.....	37
Tabla 18: Coeficiente de reducción para Sistemas estructurales.....	37
Tabla 19: Modos de vibración y masa participativa de la edificación.....	39
Tabla 20: Periodos fundamentales.....	39
Tabla 21: Resumen de los parámetros sísmicos obtenidos.....	41
Tabla 22: Masa y peso de la edificación.....	42
Tabla 23: Distribución de la Fuerza sísmica.....	43
Tabla 24: Evaluación del sistema estructural.....	46
Tabla 25: Derivas obtenidas en la dirección x.....	47
Tabla 26: Derivas obtenidas en la dirección y.....	47
Tabla 27: Resumen de parámetros iniciales del sistema aislado.....	51
Tabla 28: Peso de la edificación con sistema aislado.....	59
Tabla 29: Modos de vibración del sistema aislado.....	65
Tabla 30: Fuerzas cortantes del análisis dinámico modal.....	65
Tabla 31: Derivas obtenidas en dirección x.....	66
Tabla 32: Derivas obtenidas en dirección y.....	66

Tabla 33: Registro sísmicos.....	67
Tabla 34: Promedio de derivas en x e y del sistema aislado.....	71
Tabla 35: Desplazamientos en x e y.....	72
Tabla 36: Derivas en x e y.....	74
Tabla 37: Aceleraciones en x e y.....	76
Tabla 38: Comparación de desplazamientos en x e y entre el sistema aislado y el dual...	78
Tabla 39: Derivas en x e y.....	80
Tabla 40: Comparación de aceleraciones en x e y entre el sistema aislado y el dual.....	82
Tabla 41: Presupuesto de la Edificación con Sistema Dual.....	83
Tabla 42: Estimación de costos de Aisladores.....	84
Tabla 43: Promedio de costo de Aisladores de las muestras.....	84
Tabla 44: Precio total de los Aisladores LRB.....	84
Tabla 45: Presupuesto del Sistema aislado.....	85
Tabla 46: Presupuesto total.....	85
Tabla 47: Comparación de Presupuestos.....	85

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación del proyecto.....	2
Figura 2: Tipos de sistemas constructivos.....	8
Figura 3: Edificio William Clayton.....	13
Figura 4: Variación porcentual de las aceleraciones entre el UCS Hospital y el Olive View Hospital.....	14
Figura 5: Variación porcentual de las aceleraciones entre el UCS Hospital y el Olive View Hospital.....	15
Figura 6: Variación porcentual de las aceleraciones de la torre aislada y convencional del edificio.....	15
Figura 7: Representación de las inversiones dentro de la construcción de edificaciones.....	20
Figura 8: Certificación Sísmica.....	21
Figura 9: Sistema de estado de la edificación tras evento sísmico.....	22
Figura 10: Aislador sísmico elastomérico tipo LDRB.....	23
Figura 11: Aislador sísmico elastomérico tipo HDRB.....	24
Figura 12: Aislador sísmico elastomérico tipo LRB.....	24
Figura 13: Aislador sísmico deslizante.....	25
Figura 14: Diagrama de flujo para el procesamiento de datos.....	29
Figura 15: Modelado de la edificación con sistema dual.....	30
Figura 16: Factor de zonificación.....	33
Figura 17: Factor de zona "Z".....	33
Figura 18: Factor de suelo "S".....	34
Figura 19: Periodos "Tp" y "Tl".....	34
Figura 20: Esquinas entrantes de la edificación.....	36
Figura 21: Ingreso de coeficientes al ETABS.....	41
Figura 22: Ingreso de coeficientes al ETABS.....	41
Figura 23: Espectro de pseudoaceleración en "x".....	43
Figura 24: Espectro de pseudoaceleración en "y".....	44
Figura 25: Set 3D View.....	44
Figura 26: V absorbida por los Muros en Dirección "x".....	45
Figura 27: V absorbida por las columnas en Dirección "x".....	45
Figura 28: V absorbida por los Muros en Dirección "y".....	45
Figura 29: V absorbida por las columnas en Dirección "y".....	46
Figura 30: Planta de la edificación con sistema aislado.....	48

Figura 31: Modelo tridimensional de la edificación con sistema aislado.....	48
Figura 32: Elevación de la edificación con sistema de aislamiento.....	49
Figura 33: Factor de amortiguamiento (BM).....	50
Figura 34: Propiedades nominales del modelo bilineal fuerza – deformación.....	53
Figura 35: Modelo bilineal – parámetros principales.....	54
Figura 36: Propiedades nominales del modelo bilineal de la fuerza–deformación del aislador sísmico.....	55
Figura 37: Distribución de los aisladores sísmicos en planta.....	59
Figura 38: Peso máximo por elemento.....	61
Figura 39: Vista en planta de la reducción del área del aislador con respecto al DTM...	62
Figura 40: Definición de los factores de escalamiento del análisis modal.....	64
Figura 41: Espectro de Pseudo-aceleraciones.....	65
Figura 42: Spectro de pseudoalerción con $R=1$ .....	67
Figura 43: Escalamiento Seismo Match.....	68
Figura 44: Escalamiento Seismo Match.....	68
Figura 45: Sismo Arequipa del 2001 – componente EW.....	69
Figura 46: Sismo Lima del 1966 – Componente EW.....	69
Figura 47: Sismo Ica del 2007 – Componente EW.....	69
Figura 48: Ingreso de propiedades del aislador sísmico.....	70
Figura 49: Rigidez efectiva del aislador.....	70
Figura 50: Ingreso de propiedades del aislador sísmico.....	71
Figura 51: Desplazamientos en x.....	73
Figura 52: Desplazamientos en y.....	73
Figura 53: Derivas en x.....	75
Figura 54: Derivas en y.....	75
Figura 55: Aceleración en x.....	77
Figura 56: Aceleración en y.....	77
Figura 57: Desplazamientos en el eje x.....	78
Figura 58: Desplazamiento en el eje y.....	79
Figura 59: Derivas en el eje x.....	80
Figura 60: Derivas en el eje y.....	81
Figura 61: Aceleraciones en x.....	82
Figura 62: Aceleraciones en y.....	83
Figura 63: Comparación de Presupuesto.....	86

## RESUMEN

La presente investigación expuso los aspectos técnicos y económicos al incluir un sistema de aislamiento sísmico a una edificación multifamiliar en la ciudad de Lima, el cual tuvo un desempeño sísmico óptimo.

Para el análisis técnico de la edificación, se emplearon normativas nacionales como la E. 030 correspondiente a Diseño Sismorresistente con respecto al Sistema dual y la Norma E 0.31 de Aislamiento sísmico. Las cuales permitieron la aplicación de los análisis del presente estudio, tales como, el análisis estático, dinámico modal espectral y tiempo historia. El Sistema aislado, permitió que se obtengan reducciones considerables en las derivas, llegando a reducir las en un 97% y 67% para ambas direcciones. Esto se debe principalmente a que el sistema de aislamiento sísmico permite independizar la subestructura de la superestructura, por lo cual las sollicitaciones sísmicas se ven reducidas considerablemente.

Para el análisis económico, se realizó una estimación mediante un muestreo de investigaciones previas que tuvieron la misma consideración que la presente investigación, con la finalidad de obtener un resultado más próximo referente al costo de los aisladores sísmicos. De esta manera, se obtuvo que la inclusión de un sistema de aislamiento sísmico incrementó en un 22% el presupuesto inicial.

De esta manera, se demostró mediante el análisis técnico-económico que el Sistema aislado representa ser una opción más viable y beneficiosa ante la exposición de eventos sísmicos.

Finalmente, la presente investigación servirá como aporte para futuras tesis o artículos referentes al sistema de aislamiento sísmico.

**Palabras Claves:** Sistema dual, Sistema aislado, superestructura, subestructura sollicitaciones sísmicas.

## ABSTRACT

The present investigation exposed the technical and economic aspects by including a seismic isolation system to a multi-family building in the city of Lima, which had an optimal seismic performance.

For the technical analysis of the building, national regulations were used, such as E. 030 corresponding to Seismic Resistant Design with respect to the Dual System and Standard E 0.31 of Seismic Isolation. Which allowed the application of the analyzes of the present study, such as the static analysis, dynamic modal spectral and time history. The isolated system allowed considerable reductions in drifts to be obtained, reducing them by 97% and 67% for both directions. This is mainly due to the fact that the seismic isolation system makes it possible to separate the substructure from the superstructure, for which the seismic stresses are considerably reduced.

For the economic analysis, an estimate was made through a sampling of previous investigations that had the same consideration as the present investigation, in order to obtain a closer result regarding the cost of seismic isolators. In this way, it was obtained that the inclusion of a seismic isolation system increased the initial budget by 22%.

In this way, it was demonstrated through the technical-economic analysis that the Isolated System represents a more viable and beneficial option when exposed to seismic events. Finally, this research will serve as a contribution for future theses or articles regarding the seismic isolation system.

**Key Words:** Dual system, Isolated system, superstructure, substructure, seismic solicitations.

## INTRODUCCIÓN

Debido al contexto sísmico del Perú, el cual es un país que se ubica en una zona altamente sísmica y propensa a atravesar eventos sísmicos de gran importancia, dado que se sitúa entre las Placas de Nazca y la Sudamericana, se debe tener mayor criterio y rigurosidad al diseñar y analizar una edificación, en la cual se priorice la reducción de daños estructurales y no estructurales, como también la operatividad de la estructura post-evento sísmico.

Ante esto, cabe resaltar que, los eventos sísmicos conllevan consecuencias devastadoras que se ven tangibles en pérdidas de vidas y económicas. Sin embargo, con el paso del tiempo, la tecnología y la ingeniería han caminado de la mano y han creado diversas metodologías y sistemas que brindan protección a la estructura en función, tal es el caso de los aisladores sísmicos, los cuales han demostrado a lo largo del tiempo que son una alternativa fiable ante un evento sísmico, no sólo reduciendo respuestas sísmicas, sino que disminuyen los daños producidos y mediante esto aseguran la operatividad, calidad de vida de los ocupantes.

La presente tesis dispone de seis capítulos, siendo el capítulo I correspondiente al planteamiento del problema en donde se define el problema general y específicos, objetivo general y específico, delimitaciones de la investigación y la justificación de esta misma; el capítulo II incluye los antecedentes nacionales e internacionales, las bases teóricas y la definición de términos básicos; el capítulo III corresponde al sistema de hipótesis en el cual se describen las hipótesis general y específicas, como también las variables y sus definiciones; el capítulo IV consta de la metodología de la investigación, la cual incluye el tipo, nivel, diseño, población y muestra de la investigación, como también las técnicas e instrumentos de recolección de datos; el capítulo V corresponde a la presentación y análisis de resultados y finalmente el capítulo VI corresponde a la comparación e interpretación de resultados, en donde se compara los resultados técnicos y económicos.

# **CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO Y DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA**

## **1.1 Descripción y formulación del problema general y específicos**

A nivel mundial, el Perú es uno de los países con mayor potencial sísmico debido a que se encuentra dentro del Cinturón de Fuego del Pacífico. Dentro de este contexto, la actividad sísmica está relacionada al proceso de subducción de la placa de Nazca bajo la Sudamericana. (INDECI, 2011).

De tal manera que, Alva y Castillo (1993) mencionan que el Perú está comprendido entre una de las regiones de más alta actividad sísmica que existe en la tierra, por lo tanto, está expuesto a este peligro, que trae consigo la pérdida de vidas humanas y pérdidas materiales.

Debido al contexto sísmico de nuestro país, se ha comenzado a implementar nuevas alternativas de protección sísmica como lo son los aisladores sísmicos, dispositivos que logran independizar la superestructura de la subestructura, permitiendo disipar la energía sísmica percibida, con ello se logra optimizar el desempeño sísmico de las edificaciones, reducir tiempos de inhabilitación y evitar daños en su contenido.

Sin embargo, este sistema de aislamiento sísmico ha sido aplicado hace décadas en países altamente sísmicos como Japón y Nueva Zelanda, puesto que, la respuesta ha sido exitosa, la popularidad e interés se extendió hasta Sudamérica, siendo Chile uno de los primeros países en implementarlo a raíz del sismo acontecido en el año 2010 en la ciudad de Maule.

Actualmente, la normativa peruana estipula que este sistema de aislamiento sísmico se emplee en edificaciones esenciales como son los establecimientos de salud que se encuentren en las zonas con mayor vulnerabilidad sísmica, por otra parte, este sistema de protección sísmica no es muy empleado en otro tipo de edificaciones, debido a que, existe un incremento inicial en el proyecto sin tomar en cuenta la relación costo/beneficio post un evento sísmico.

## 1.2 Objetivo general y específico

### 1.2.1 Objetivo General

Realizar el análisis técnico-económico de una edificación multifamiliar con sistema dual frente a un sistema aislado en San Miguel.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- a) Determinar cómo el sistema dual influye en el desempeño sísmico de la edificación multifamiliar.
- b) Determinar cómo el sistema aislado influye en el desempeño sísmico de la edificación multifamiliar.
- c) Determinar la variación económica de la edificación multifamiliar con sistema dual en comparación al sistema aislado.

## 1.3 Delimitación de la investigación: Temporal, espacial y temática

### 1.3.1 Delimitación temporal

La presente investigación se realizará en el presente año 2022 durante el periodo comprendido entre los meses de mayo hasta noviembre.

### 1.3.2 Delimitación espacial

Esta investigación se desarrolla en el Jirón Gran Mariscal Antonio José de Sucre N° 765 en el distrito de San Miguel, Provincia de Lima, Departamento de Lima. (-12.084384247597319, -77.07310565160525)



Figura 1: Ubicación del proyecto

Fuente: MAXI (2017)

### 1.3.3 Delimitación de la temática

La delimitación temática de la investigación corresponde al análisis técnico-económico de una edificación multifamiliar con sistema dual frente a un sistema aislado ubicado en San Miguel.

## 1.4 Justificación e importancia de la investigación

### 1.4.1 Justificación de la investigación

#### Teórica

Esta investigación se justifica teóricamente debido al contexto sísmico que caracteriza al Perú, la alternativa de inclusión de un sistema de aisladores sísmicos como parte de la protección sísmica en una edificación demuestra ser una alternativa sólida y tangible para optimizar el desempeño sísmico de esta misma.

#### Práctica

La presente investigación se justifica de manera práctica, ya que, se empleará un análisis técnico-económico de una edificación multifamiliar que cuenta con un sistema dual frente a un sistema de protección sísmica como lo son los aisladores sísmicos mediante el software Etabs V.2019.0.0, software que nos permitirá demostrar la eficiencia del desempeño sísmico al incluir este sistema de protección sísmica.

#### Social

Dentro del aspecto social, esta investigación se proyecta a beneficiar un estimado de 24 familias. Se justifica debido al sistema que se empleará dentro de este análisis, el cual denotará un comportamiento resiliente con probabilidades mínimas de daños estructurales, pérdidas de vidas, tiempos de inhabitabilidad y daños en el contenido.

#### Económica

La justificación de esta investigación dentro del contexto económico se centra en la inversión post evento sísmico que se convertirá en una consecuencia nula al implementar este sistema aislado a la edificación. Por otro lado, existirá un incremento inicial entre el 10-18% que se verá justificado, ya que, no existirá costos en reparaciones, desmontajes y alternativas de rehabilitación para dicha estructura.

#### 1.4.2 Importancia de la investigación

La importancia de esta investigación se centra en seguir promoviendo el interés y la aplicación de este sistema de protección sísmica, que ya han reflejado a través del tiempo su gran comportamiento, consiguiendo asegurar la vida de los ocupantes, minimizando los daños estructurales que se puedan generar después de un evento sísmico. Dentro del ámbito social y económico, se logra eliminar tiempos de inhabilitación o la producción de tiempos muertos en edificaciones de uso primario evitando el paro de la continuidad de las actividades, por otro lado, el ahorro significativo que se logrará producto que no se requerirá una post inversión en costo de reparaciones como parte de la consecuencia de un evento sísmico.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1 Antecedentes del estudio de investigación

#### 2.1.1. Antecedentes Internacionales

Toledo et al. (2018) en su artículo “Análisis dinámico no lineal de edificios de pórticos aislados sísmicamente usando un nuevo dispositivo” desarrollado en el Simposio de habilitación profesional en la Universidad Católica De La Santísima Concepción en Chile.

El objetivo de la investigación fue evaluar la efectividad del nuevo dispositivo de aislamiento en el desempeño sísmico de los tres edificios estudiados, la metodología aplicada se basó en el análisis tiempo historia realizado mediante el software Etabs. Los resultados determinaron que al implementar este sistema de aislamiento sísmico se logró disminuir las derivas entrepiso en un 32,55 y 36% correspondiente para las 3 edificaciones de distintas alturas, de igual manera, para el corte máximo basal que disminuyó en un 83%, 89% y 86%. Los autores concluyen que la inclusión de aisladores sísmicos en las tres edificaciones evaluadas logró un desempeño sísmico óptimo permitiendo reducir en un promedio del 30% en las derivas entrepiso y un 80% a nivel del corte basal. Finalmente concluimos que la aplicación de un sistema aislado demostrará una mejor performance dentro del desempeño sísmico permitiendo disminuir en valores considerables sin distinción alguna en cuestiones de altura de las edificaciones.

Giarlelis et al. (2018) en su artículo “Rehabilitación Sísmica de un Edificio con concreto reforzado mediante aislamiento sísmico” presentado en el 16th European Conference on Earthquake Engineering en Grecia, tuvo como objetivo demostrar la comparación de la respuesta sísmica entre la edificación existente de concreto reforzado y cuando cuenta con aislación sísmica, la metodología empleada se basó en la aplicación del GCI-2017 (Código Griego) y la simulación con el software Etabs. Los principales resultados determinaron que al incluir aislamiento sísmico a la edificación se presenta una disminución alrededor del 70% en las derivas entre piso y aproximadamente en un 60% en las fallas de columnas en la planta baja en su base por flexión. Los autores concluyen que la incorporación del sistema de aislamiento en el edificio existente permite que las derivas entre piso sean más bajas que las de la

edificación existente, así mismo, logra ser una alternativa de mejora sísmica sin la necesidad de intervenir estructuralmente en la parte superior del nivel de aislamiento sísmico. De esta manera, concluimos que la aplicación de este sistema de aislación sísmica en una edificación es una alternativa para reducir las solicitaciones sísmicas que se pueden producir ante un sismo, así mismo, logra conservar y asegurar el contenido de estas.

Ñáñez y Hernández (2019) realizaron una investigación para obtener el título de Ingeniero Civil en la Universidad Católica De Colombia que se titula “Estudio comparativo del diseño de la estructura de una edificación típica apoyada sobre aisladores sísmicos y apoyos rígidos”, la cual tiene como objetivo realizar un análisis comparativo entre la estructura existente bajo la NSR-10 y con la implementación de un sistema de aislación sísmica, la metodología empleada es de tipo experimental con la aplicación con el software Etabs. Los principales resultados demostraron que existe un aumento en las derivas y desplazamientos horizontales en la estructura con aislamiento sísmico a nivel del primer piso debido a la absorción de energía dispuesta por el mismo sistema y por lo cual se ve reflejado en el mismo comportamiento inelástico de esta misma por ende al incrementarse la altura la energía se va disipando. Los autores concluyen de esta manera que mediante el análisis comparativo realizado se logró obtener una respuesta de reducción en los esfuerzos y desplazamientos en la estructura con aislación sísmica. De tal manera concluimos que el sistema de aislación sísmica es una alternativa para optimizar el desempeño sísmico en una edificación, ya que logra que se absorba la mayor cantidad de energía percibida producto de un sismo.

#### 2.1.2. Antecedentes Nacionales

Davila y Hinojosa (2019) realizaron una investigación para obtener el título Ingeniero Civil en la Universidad San Martín De Porres en Lima, titulada “Análisis de la vulnerabilidad sísmica para una edificación de 10 pisos utilizando aisladores o el sistema dual, Av. República de Panamá-Lima”, la cual tuvo como objetivo principal demostrar la influencia del uso de aisladores sísmicos dentro del análisis de vulnerabilidad de un edificio. La metodología utilizada fue de carácter descriptivo porque se describieron el análisis y diseño, comparativo porque se compararon las respuestas sísmicas entre

ambos sistemas. Los principales resultados indicaron que a nivel de desplazamientos máximos entrepiso se logró disminuir en un 32% al implicar aisladores sísmicos, así mismo una disminución de un 51% con respecto a la cortante basal. De tal manera que, los autores concluyeron que existe una disminución en los resultados de sollicitación sísmica al incluir aislamiento sísmico a una edificación, sin embargo, recalcaron que esto depende de la estructuración de la edificación. Por eso mismo, concluimos que la implicación de este sistema de aislamiento sísmico a una edificación denota y demuestra una optimización en el desempeño sísmico, pues se logra disminuir en considerables porcentajes las sollicitaciones sísmicas, asegurando la performance de la edificación y el bienestar de los ocupantes.

Millones (2019) realizó una investigación para obtener el título de ingeniero civil ambiental por la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo en Chiclayo titulada “Estudio comparativo de una edificación de nueve niveles y dos sótanos, con y sin aisladores sísmicos”. teniendo como objetivo principal realizar un estudio comparativo y en base a ello determinar la relación costo-beneficio. La metodología es de carácter aplicativo, ya que, se aplicaron aisladores sísmicos y normativas internacionales, así mismo se empleó mediante el modelamiento el software Etabs. Los principales resultados determinaron que al implementar aisladores sísmicos en la edificación que tanto derivas, desplazamientos y aceleraciones se ven reducidos alrededor de un 70%-85%, por otro lado, se observa que al implementarlos existe un incremento de un 18% dentro del área de la especialidad de estructuras. Los autores concluyeron que existe el costo-beneficio al implementar los aisladores sísmicos a una edificación, ya que, su respuesta sísmica demuestra una eficiencia, sin embargo, esto implica que el costo del proyecto aumente en comparación al sistema tradicional. Por ello, concluimos que este tipo de sistema de aislamiento sísmico mantiene una óptima performance dentro el ámbito de desempeño sísmico, por otro lado, se justificaría el incremento inicial de la edificación, ya que, implícitamente no existirá costos en reparaciones o demoliciones debido al gran desempeño sísmico.

Flores y Ravelo (2019) realizaron una investigación para obtener el título de ingeniero civil en la Universidad Ricardo Palma que se titula “Comparación técnica y económica entre un sistema dual y un sistema con aislador

elastomérico con núcleo de plomo (LRB) para un edificio en el distrito de Surquillo” teniendo como objetivo demostrar mediante la comparación entre ambos sistemas que resultado es más favorable en el ámbito técnico y económico. La metodología empleada es de carácter tipo aplicativo de nivel descriptivo y explicativo, ya que, se emplea el software Etabs para el análisis y porque se estudiaron las causas que se generan con la aplicación de aisladores sísmicos en una edificación. Los principales resultados demostraron que las derivas se ven disminuidas en un rango de 80-85% igual para las aceleraciones, dentro del ámbito económico existe un incremento del 16% en la edificación con el sistema aislado en comparación del sistema dual. Los autores concluyen que el sistema de aislamiento sísmico es la propuesta más favorable para implementar a una edificación, por otro lado, comentan que el sistema dual tuvo una respuesta óptima siendo capaz de soportar sismos de gran intensidad, pero eso no asegura que, ante un evento sísmico de gran magnitud, la edificación colapse y por ende la habitabilidad de los usuarios se vea interrumpida. Por eso mismo, concluimos que este tipo de sistema de protección sísmica es una excelente alternativa para implementar en una edificación, esto nos asegura que continúen la operatividad de la edificación, de tal manera, que no se vea afectada las actividades primarias de los usuarios, así mismo, incrementa de manera considerable la calidad de vida de los ocupantes, ya que, no se verán expuestos a un colapso o que sufran lesiones producto a los daños en el contenido.

## 2.2 Bases Teóricas

### a) Tipos de sistemas constructivos

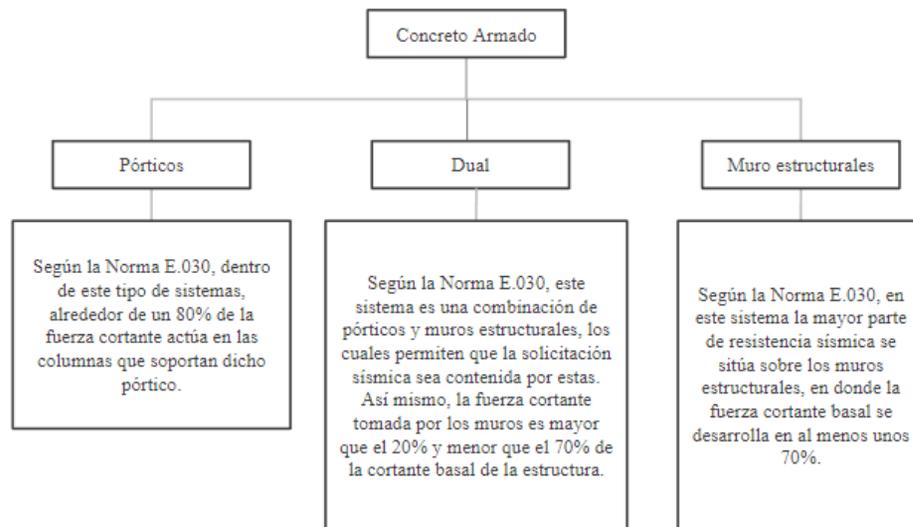


Figura 2: Tipos de sistemas constructivos

Fuente: Elaboración Propia

### b) Análisis y diseño sísmico de una edificación:

Bazán y Meli (2006) sostienen que, para poder emplear un diseño sísmico correcto de una edificación, se debe tomar en cuenta una serie de fases, entre ellas están:

Seleccionar un sistema estructural correcto: El sistema estructural elegido debe tener la capacidad de absorber y disipar la energía percibida por el sismo y que a su vez no se produzcan consecuencias poco favorables, tales como la concentración o la amplificación dinámica, ya que el buen desenvolvimiento de la estructura dependerá del correcto sistema estructural escogido.

Análisis sísmico: Mediante las normas y reglamentos se deben definir las acciones sísmicas, de las cuales se debe considerar para poder emplear el cálculo de la respuesta estructural ante un sismo. Se debe prestar mayor énfasis en el tipo de modelo analítico que hoy en día se podrá emplear mediante softwares, que permiten la simplificación del análisis.

### c) Consecuencias económicas y sociales después de un evento sísmico

Bedriñana (2019) en su investigación “Estado del arte en el aislamiento sísmico y sus principales aplicaciones” nos comenta que, a través del tiempo, los eventos sísmicos han originado en todo el mundo, una serie de pérdidas económicas, pero sobre todo pérdida de vidas, lo cual ha implicado un impacto social negativo.

Prueba de esto han sido las grandes pérdidas económicas originadas por los sismos de mayor relevancia como lo han sido:

Loma Prieta, California: la cual, la suma de pérdidas económicas alcanzó los \$7 billones, estimados en \$450 millones por segundo.

Northridge, California: La pérdida económica alcanzó los \$30 billones, estimados en \$2 billones por segundo.

Kobe, Japón: La pérdida económica alcanzó un rango de \$150-\$200 billones, estimados en \$7.5 billones por segundo.

d) Consecuencias del sismo Northridge, Los Ángeles (1994)

Económico:

Bozzo y Barbat (1999) en su libro “Diseño Sismorresistente de edificios” refieren que el sismo ocurrido en Northridge en el año 1994 causó una pérdida de alrededor de 30 000 millones de dólares, siendo de esta manera, el evento sísmico más devastador en la historia de EE.UU.

Social:

Kuroiwa (2002) en su libro “Reducción de desastres” menciona que la principal consecuencia dentro del ámbito social, fue la paralización de servicios básicos, como el servicio de agua potable. Dentro de este, nos explica que los mayores daños se dieron en las tuberías principales encargadas de la distribución del agua. Así mismo, recalca que fue un procedimiento lento, debido que, se tuvo que excavar para poder determinar los puntos de fallas para posteriormente realizar la reparación y las pruebas hidráulicas pertinentes. Por otro lado, agrega que, esta paralización con respecto al abastecimiento de agua perjudicó aproximadamente al 60% de los usuarios estimados en unos 100, 000 clientes.

Astroza (2007) en su tesis “Estudio de la respuesta sísmica de edificios mediante la dinámica de propagación de ondas” comenta que el sismo causó la muerte de 57 personas, dejando a 9000 lesionados y más de 20000 damnificados. Con respecto a los daños estructurales que se presentaron, menciona que fueron 1600 los edificios con presencia de severos daños, 7300 edificios con daños leves.

e) Consecuencias del sismo Maule, Chile (2010)

Económico:

El Gobierno De Chile (2010) menciona que, a raíz de este sismo, se calcularon la pérdida 10357 millones de dólares en el sector de infraestructura privada, 10538

millones de dólares en infraestructura pública y 9000 millones de dólares en el sector de bienes y servicios.

Social:

De La Llera et al. (2014) en su artículo “Post-Earthquake Data Collection: The 2010 Maule Earthquake In Chile” refieren que, tras el sismo, se registraron que alrededor de 3300 escuelas se vieron perjudicadas, tal cifra equivale al tercio del total de escuelas en Chile, lo cual determina que 1 250 000 niños se encontraban con actividades escolares paralizadas.

En consecuencia, La Organización Panamericana de la Salud (2010) comenta que, el evento sísmico causó la muerte de 512 personas, también la desaparición de 16 personas y ocasionó que, 800000 personas se encontraran en estado de damnificados. Así mismo, los daños en viviendas fueron estimados en un total de 370051, los cuales 81444 se derrumbaron, 108914 presentaron daños severos y 179693 daños leves.

f) Consecuencias económicas y sociales – Sismo Kobe, Japón (2011)

Económico:

MEF (2014) en el taller “Lecciones aprendidas del gran terremoto del este de Japón” mencionan que el costo estimado por daños estuvo valorizado en 17.105 mil millones de dólares, dentro de este se reparte los costos de la siguiente manera:

Instalaciones públicas (transporte e infraestructura): 1.815 mil millones de dólares.

Industria y comercio (Daños en el puerto): 2.684 mil millones de dólares.

Instalaciones municipales (Daños en las plantas de abastecimiento de agua y de gas): 4.088 mil millones de dólares.

Industria agrícolas y pesqueras: 0.911 mil millones de dólares.

Social:

Aguilar et al. (2012) en su artículo “Observaciones sobre el sismo de Tohoku, Japón” refieren que según el reporte de la AJPN (Agencia Japonesa de la Policía Nacional), tras el evento sísmico se registraron alrededor de 15 839 personas fallecidas, 5950 personas heridas y 3647 personas desaparecidas.

Así mismo, recalca que 120 239 estructuras se encontraron en colapso total, 189 697 dentro de colapso parcial y 598 212 con daños moderados-parciales. Dentro del aspecto estructural, las viviendas que presentaron mayores daños fueron las que se construyeron con las normas antiguas, es por ello, que Japón reestructuró sus normas y reglamentos después de aquella catástrofe.

g) Consecuencias económicas y sociales – Sismo Pisco, Perú (2007)

Económico:

INDECI (2011) estima que la pérdida económica generada tras el sismo, se ve calculada dentro de los sectores social, infraestructura y productivo, los cuales fueron aproximados a 3 977 812 millones de soles.

Social:

Dentro del aspecto social, INDECI (2011) comenta que el sector social fue el más perjudicado a nivel económico y de impacto. De tal manera que, en el sector de vivienda se estimaron un total de 139521 viviendas con daños, las cuales 45813 se encontraban afectadas y 93804 en estado inhabitables e inoperativas. Los sectores de educación y salud no fueron ajenos a dichas consecuencias, en el primero se registraron 662 salones con presencia de daños severos y 495 daños moderados. En el segundo se tiene registrado 2 hospitales principales con presencia de daño severo, 10 establecimientos de salud y 4 postas con daños leves-moderados.

Por otro lado, Bambarén y Gutiérrez (2009) nos indican que tras el sismo se estiman más de 519 personas fallecidas y 1500 heridos. Así mismo, nos refieren que una de las consecuencias indirectas fue la pérdida de trabajo, alrededor de 14 800 personas se quedaron desempleadas.

h) Daños no estructurales y estructurales tras un evento sísmico

Daños no estructurales:

Ghogare et al. (2016) nos explican que los elementos no estructurales son aquellos componentes como los arquitectónicos, mecánicos y eléctricos dentro de una edificación, que cuando están expuestos ante un sismo y no se tiene un buen control, estos afectan a las necesidades de los ocupantes debido a su inoperatividad. Cuando se hace referencia que surge una falla en uno de estos diversos componentes, implícitamente se hace referencia al posible riesgo en salud y seguridad de los ocupantes.

Así mismo, agregan que comúnmente dentro del diseño estructural lo que menos se considera son los elementos no estructurales. Esto es un gran problema ya que varios de estos influyen en el comportamiento de la estructura frente a un sismo.

Por otro lado, Taghavi et al. (2003) comentan que, dentro de estos daños no estructurales, encontramos los daños en el contenido de la edificación, sin importar el uso de esta. Tales como:

Establecimientos de salud:

Debido al movimiento sísmico y al contenido que se encuentra en este tipo de edificaciones, pueden surgir daños no previstos, los cuales no están dentro del parámetro de daño estructural. Es decir, cuando se produzca el sismo y este afecte al contenido, no solo se paralizarán los servicios que se brindan, sino que a su vez los gabinetes que se encuentren ahí pueden caer, de tal manera que, existirá un riesgo latente en la seguridad de los ocupantes. Así mismo, mediante esto pueden surgir derrames de sustancias que pueden ser riesgosas a la hora de limpiar.

Oficinas:

Dentro de este tipo de edificaciones, los daños en el contenido se dan en la parte de la mueblería, como lo son los escritorios y estantes que se encuentran dentro, cuando ocurre el sismo, estos no caen en su totalidad, sino que tienden a inclinarse en unos 45 grados. Esto implica que equipos tecnológicos y electrónicos presenten daños, de tal manera que la reparación o en caso de reemplazar tiene un valor de costo muy alto.

i) Aisladores sísmicos: Propuesta de solución ante eventos sísmicos

Korswagen et al. (2012) nos comenta por qué este sistema de aislamiento sísmico es una propuesta de solución ante un sismo. La implementación de estos dispositivos logra independizar la superestructura de la subestructura, estos llevan como característica ser elementos con mayor flexibilidad en dirección x e y a su vez disponen de rigidez en dirección y, de tal manera que, se permite una magna deformación en sentido en x ante la demanda sísmica.

j) Principios de aislamiento sísmico en Nueva Zelanda

Naeim y Kelly (1999) en su libro “Design of seismic isolated structures” nos hacen referencia que el primer edificio con aislamiento sísmico está ubicado en Nueva Zelanda. El Edificio William Clayton fue el pionero en incluir los aisladores tipo LRB (núcleo de plomo).



Figura 3: Edificio William Clayton

Fuente: Science Learning Hub Pokapu Akoranga Putaiao, 2019

k) Principios de aislamiento sísmico en Japón

Caxi (2018) comenta que la primera edificación de concreto armado en contar con aislamiento sísmico se dio en el año 1986. Esta edificación era de mediana altura (4 niveles). Así mismo para el año 2000, ya se tenía un registro de más de 20 puentes y 75 edificaciones con aislamiento sísmico.

l) Principios de aislamiento sísmico Estados Unidos

Gonzales y Tovar (2019) mencionan que, dentro de Estados Unidos, la primera edificación en contar con aislamiento sísmico fue el Foothill Communities Law and Justice Center en el año 1984, fueron los primeros en incorporar los aisladores tipo HDR (alto amortiguamiento), la edificación se encuentra sobre 98 dispositivos.

m) Principios de aislamiento sísmico en Perú

Benites y Vargas (2021) nos comenta que la búsqueda por aumentar la resiliencia en edificaciones se remonta desde épocas pasadas. El Perú no ha sido ajeno a ello y se vio reflejado en la cultura Caral, que debido a su ubicación y mediante los parámetros de zonificación dictaminados por la Norma E.030 “Diseño Sismorresistente”, se encuentra propensa a percibir movimientos sísmicos de mayor intensidad. De tal manera que, desde aquel momento, se aplicaban técnicas para “aislar” o “proteger” las construcciones piramidales que se construían.

Según Asencios (2009), la técnica era aislar las construcciones piramidales mediante la inclusión de bolsas o sacos tejidos que se denominaban “Shicras”, los cuales estaban compuestos de tejidos de mallas con soguillas a las cuales se le rellenaban de piedras.

Por otro lado, Vargas et al. (2012) explican que esta técnica sismorresistente permitió que la energía sísmica percibida se mermara y se lograra estabilizar las construcciones piramidales. De tal manera que, ha permitido que las construcciones piramidales del lugar, se conserven hasta la actualidad en un estado óptimo de conservación.

n) Aislamiento sísmico en la actualidad peruana

Benites y Vargas (2021) comentan que, en el año 2019, se decretó la norma E.031 de “Aislamiento sísmico” en el Perú. Norma que indica la aplicación obligatoria de aislamiento sísmico en edificaciones de uso esencial, tales como, establecimientos de salud que se ubiquen en las zonas sísmicas 3 y 4. Por otro lado, el uso de este sistema en edificaciones de distinto uso, no se encuentran dentro del régimen obligatorio.

Por otro lado, Talavera (2017) indica la cantidad de edificaciones en el Perú, que cuentan con el sistema de aislamiento sísmico. Dentro esta, se resalta que, en estado de “Culminados” se encuentran 19 edificaciones de uso variado; “en construcción”, 4 y “En proyecto”, 16.

o) Caso de éxito de aislamiento sísmico - Estados Unidos

Nagarajaiah y Xiaohong (2000) explican la respuesta del desempeño sísmico de una edificación la cual contaba con aislamiento sísmico en la base frente al sismo de Northridge, Los Ángeles en 1994. El edificio en cuestión es el USC Hospital que dispone de 7 niveles, con una estructuración en planta tipo asimétrica, en la base cuenta con 68 aisladores sísmicos LR y 81 tipo elastomérico. Por otro lado, Celebi (1996) realiza una comparación entre el USC Hospital (aislado) y el Olive View Hospital (Convencional) frente al sismo de Northridge en 1994.

Nivel	Aceleración (g)		% Var
	Hospital aislado USC Hospital	Hospital no aislado Olive View Hospital	
Techo	Dirección “x” 0.21	Dirección “x” 2.31	90.91%
Planta baja	0.13	0.82	84.15%
Terreno	0.49	0.91	46.15%

Figura 4: Variación porcentual de las aceleraciones entre el UCS Hospital y el Olive View Hospital

Fuente: Benites y Vargas, 2021

Desplazamientos (cm)			
Nivel	Hospital aislado		Hospital no aislado
	USC Hospital		Olive New Hospital
	Dirección "x"		Dirección "x"
Techo	3.9		34.1
Planta baja	2.8		28.3
Terreno	2.3		32.6
			%Var
			88.56%
			90.11%
			92.94%

Figura 5: Variación porcentual de las aceleraciones entre el UCS Hospital y el Olive View Hospital

Fuente: Benites y Vargas, 2021

p) Caso de éxito de aislamiento sísmico - Chile

Boroschek et al. (2012) describen la respuesta sísmica del edificio comunidad Andalucía. Esta edificación dispone de dos torres gemelas, la cual una se encuentra aislada sísmicamente y la otra mantiene la convencionalidad, demostraron su performance ante el sismo acontecido de Maule, Chile en 2010.

	Aceleración (g)								
	Torre Andalucía aislada			Torre Andalucía convencional			%Var		
	NS	EO	VERT	NS	EO	VERT			
Tech.	0,22	0,17	0,29	1,11	0,70	0,36	80,34	76,11	20,53

Figura 6: Variación porcentual de las aceleraciones de la torre aislada y convencional del edificio

Fuente: Benites y Vargas, 2021

q) Criterios para diseño sísmico de un sistema aislado:

Korswagen et al. (2012) mencionan las consideraciones que se deben emplear para realizar un diseño de un sistema aislado a nivel del sistema de aislación y nivel de la edificación:

Sistema aislación

La capacidad de carga es uno de los aspectos más importantes, ya que, cada tipo de aislador sísmico dispone de un valor máximo que está regido por las especificaciones técnicas de estos dispositivos. Por eso mismo, se es necesario que la carga de la estructura sea repartida de manera uniforme con la finalidad de sobrecargar a estos mismos.

La uniformización de desplazamientos se debe dar debido a que la flexibilización de la estructura en función no se podría dar, debido que, no pueden existir desplazamientos horizontales diferentes a nivel del sistema de aislamiento. De tal manera que, se debe rigidizar el diafragma del nivel de aislamiento.

Los efectos de torsión se deben evitar. Estos principalmente se generan debido a la separación que puede existir entre el centro de masas y de rigidez, de presentarse estos efectos de torsión implica que exista participación mayor del movimiento del sistema de aislamiento sísmico y por ende la finalidad de independización del movimiento en las direcciones se verán disminuidas.

La tracción en los aisladores dependerá de cada tipo. Por lo general, estos dispositivos presentan una resistencia a la tracción a la compresión oscilante en un rango del 10-15%, esto deberá de ser evaluado cada periodo con la finalidad de evitar modificar las propiedades de estos mismos y por consiguiente no llegar a dañarlos.

Las deformaciones verticales son un punto a tener en consideración, debido a que, se pueden originar deformaciones vastas en los elementos estructurales de la superestructura.

A nivel de la edificación

Los efectos P delta se pueden generar debido a los desplazamientos que se pueden generar a nivel de la interfase del sistema aislado, ya que, se produce una excentricidad a nivel de carga que puede resultar en momentos extras que serán considerados por la estructura.

Las juntas de separación se deben considerar dentro del desplazamiento de diseño, puede estar contemplado en unos 50 cm.

La vida útil de los aisladores sísmicos es un factor importante debido a la novedad de este sistema, a nivel general aún no existe una data variada de los cambios mecánicos que pueden generarse en estos dispositivos a lo largo del tiempo.

El factor de sitio es un indicador importante, porque debido a esto, se podrá determinar la combinación de aisladores sísmicos adecuada para la estructura.

(p.23-24)

r) Consideraciones de diseño sísmico del sistema aislado

Análisis estático o de la fuerza equivalente

Las normas Asce 7-16 y mediante su compatibilización con la E.031 dictaminan lo siguiente:

Que la estructura en función esté situada sobre un tipo de sitio clase A, B y C o D/ se debe encontrar sobre zonas sísmicas tipo 1 o 2, en las zonas 3 y 4 deben tener un tipo de suelo S1 o S2 y S1 respectivamente.

El periodo efectivo (TM) de un sistema aislado relacionado al desplazamiento traslacional debe ser menor o igual que los 5.0 s.

La superestructura que se encontrará sobre el sistema aislado, no debe disponer de más de 4 niveles ni exceder los 20 m de altura, teniendo como patrón ser medido desde la base de la superestructura.

El amortiguamiento (BM) para el sistema aislado debe ser respecto al desplazamiento traslacional, este tiene que ser menor igual al 30% del amortiguamiento crítico.

El periodo efectivo para este tipo de sistema aislado debe ser respecto al desplazamiento traslacional, el cual deberá ser mayor que el periodo de la estructura con base fija, es decir, la superestructura que se encuentra en la parte superior de este sistema.

La estructura ubicada en el nivel superior del sistema aislado no debe presentar irregularidades, deberá conservar una regularidad.

El sistema aislado debe considerar los siguientes requerimientos:

La rigidez efectiva del sistema aislado deberá ser mayor que 1/3 de la rigidez efectiva respecto al 20% del desplazamiento máximo.

El sistema aislado deberá producir una fuerza lateral que permita la restitución respecto al desplazamiento máximo (DM), es decir, que sea mayor en un 0.025 P en relación a la fuerza lateral al 50% del DM.

Procedimiento para el análisis de fuerzas equivalentes

Para el procedimiento de este tipo de método de análisis las normas ASCE 7-16 y E.031 mediante su compatibilización determinan lo siguiente:

Desplazamiento lateral:

Con el fin de poder diseñar un sistema aislado, se debe considerar un desplazamiento máximo lateral dentro del diseño, en los cuales se tomen en cuenta los límites superiores e inferiores de las propiedades de estos mismos.

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

En donde la Norma E.031 define que SaM son las aceleraciones que corresponden al sismo máximo, el TM es el periodo del sistema aislado que está asociado al DM (Desplazamiento traslacional) y el BM es el factor de amortiguamiento, para este han definido unos coeficientes:

Tabla 1: Factor BM.

Amortiguamiento Efectivo BM (En porcentaje del amortiguamiento crítico)	Factor BM
≤ 2	0.8
5	1
10	1.2
20	1.5
30	1.7
≥ 40	1.9

Fuente: Norma.031-Aislamiento sísmico

El periodo efectivo:

Una vez definido el desplazamiento lateral. Se procede con el periodo efectivo del sistema aislado, mediante la consideración del peso sísmico P, a raíz de esto se puede determinar la rigidez mínima efectiva para este sistema.

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

Desplazamiento total (DTM):

Dentro del cálculo de desplazamiento total se tomará en consideración los efectos de torsión originados por la excentricidad de la estructura.

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

En donde:

“b” y “d” son consideradas como el largo y ancho de la planta de la estructura.

“y” es la distancia entre los elementos y el centro de rigidez del sistema aislado.

“e” es la excentricidad total, es decir, la excentricidad producto del sistema aislado y la excentricidad accidental que es considerada como el 5% de la dimensión mayor de la configuración en planta.

“Pt”: valor definido por la relación del periodo traslacional del sistema aislado y el periodo rotacional de este mismo.

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

En donde, se define sus componentes de la siguiente manera:

N: Número total de aisladores sísmicos.

Xi e Yi: Distancias horizontales definidas entre el centro de masa del aislador sísmico y el sistema aislado.

Ra: Radio de giro del sistema aislado

$$r_a = \frac{1}{12} \sqrt{(b^2 + d^2)}$$

Definido por:

b: ancho de la configuración en planta de la estructura.

d: largo de la configuración en planta de la estructura.

Fuerzas laterales mínimas

Se debe tener en consideración no sólo para el sistema aislado sino para los elementos que se ubiquen debajo. Se debe diseñar la interfaz de aislación sísmica, elementos estructurales y cimentación con la finalidad que sean capaces de resistir una fuerza lateral  $V_b$ .

$$V_b = k_M D_M$$

En donde, se considera:

$K_M$ : La rigidez efectiva del sistema aislado en dirección horizontal del análisis.

$D_M$ : Desplazamiento traslacional dado en el centro de rigidez del sistema aislado en dirección del análisis.

#### s) Análisis Tiempo-Historia

Núñez (2017) comentan que este análisis se basa en determinar la respuesta dinámica de la estructura en determinados intervalos de tiempo, mediante la utilización de registros de acelerogramas reales. Este análisis nos permite tener una proyección de cuánto nuestra edificación podrá resistir. Debido a que, es un análisis lineal, las condiciones de la edificación no serán variadas con el transcurso del tiempo, mediante este análisis podemos tener un concepto más definido, ya que, se toma en cuenta las propiedades inelásticas de los materiales empleados.

t) Análisis económico de una edificación:

FEMA E-74 (2011) indica que, en edificaciones como establecimientos de salud, los componentes estructurales son la representación oscilante de un 5-15% del costo total de la edificación. Por otro lado, elementos no estructurales que están medidos dentro de la parte mecánica, eléctrica, arquitectónica están determinados entre un 85-95% de lo que resta del costo de la edificación. Así mismo, el contenido de las edificaciones, tales como, la tabiquería, mobiliarios, equipos médicos o de oficina significan un valor extra que se verá medido después del evento sísmico a través de las pérdidas. En realidad, la mayor parte del costo está en los elementos no estructurales y en el contenido que en el sistema en sí.

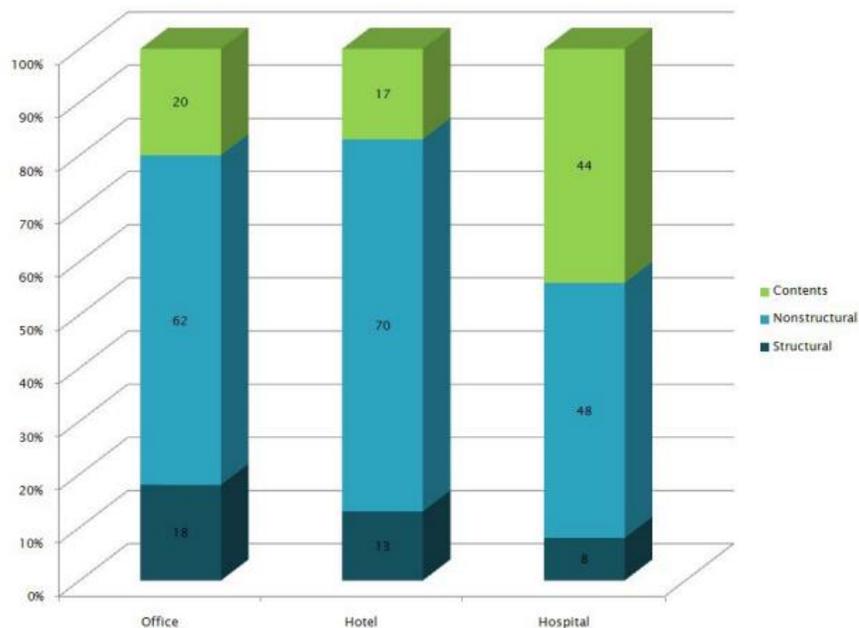


Figura 7: Representación de las inversiones dentro de la construcción de edificaciones.

Fuente: FEMA E-74, 2011

u) Análisis económico de un sistema aislado:

Luque (2016) indica algunas consideraciones para poder realizar un análisis económico de un sistema aislado en una edificación:

Costo de los aisladores sísmicos.

Costo del nivel de interfase para el sistema aislado.

Costo de la subestructura y de la superestructura parametrizadas para cumplir con el sistema aislado.

Por otro lado, Millones (2019) realizó en su tesis un análisis comparativo dentro del aspecto económico en donde señala que, no solo incrementa una edificación con sistema de aislación sísmica producto del costo de dichos dispositivos, sino que, hay

incremento dentro de la mano de obra e insumos. De forma general indica que dentro de la mano de obra se vio un aumento dentro del costo total de hh en casi un 7%, en relación a los materiales incrementó en un 50% respecto a los aisladores y el concreto a utilizar, pero también se presentó una disminución de un 31% en otros materiales. En líneas generales la edificación incrementó su valor al implementar este sistema aislado en un 14%.

v) Sistema de resiliencia en edificaciones



Figura 8: Certificación Sísmica

Fuente: Taboada, 2019

Taboada (2019) en su investigación “Aisladores sísmicos, protegemos tu vida e inversión” expuesto en el Congreso Peruano De Ingeniería en Lima, explicó acerca de la nueva tendencia por buscar la resiliencia sísmica en edificaciones, como se sabe en Perú las certificaciones leeds ya tiene un cierto espacio dentro de la industria inmobiliaria, las cuales apuestan por recursos eco amigables; De esa misma manera, sucede en la parte sísmica, puesto que, el USRC (United States Resiliency Council) ha determinado 4 niveles para ello: certificado, plata, oro y platino. Esto conforme la edificación cumpla con los parámetros dispuestos, obtendrá un nivel más alto, el cual determinará que esta se encuentra con mayor preparación para sobreponerse ante un evento sísmico.

Sistema de clasificación de edificios de la USRC	Seguridad	Daño	Recuperación
	Más rutas de salida libres	Daño mínimo	Inmediato a días
Lesiones serias poco probables	Daño moderado (<10%)	Dentro de días a semanas	
Pérdida de vida poco probable	Daño significativo (<20%)	Dentro de semanas o meses	
Pérdida de vida probable	Daño sustancial (<40%)	Dentro de meses a un año	
Pérdida de vida	Daño severo (>40%+)	Más de un año	

Figura 9: Sistema de estado de la edificación tras evento sísmico.

Fuente: Taboada, 2019

Por otro lado, Taboada (2019) nos detalla en qué se mide el componente de seguridad, este se verá medido en la probabilidad que tiene el edificio de generar ciertas fallas ante un sismo. Es decir, si la pérdida de vidas es considerable ante un evento sísmico, este estará calificado dentro de las 2 estrellas, sin embargo, si la pérdida de vida/ lesiones o daños es poco probable, la edificación puede escalar a obtener 4 estrellas. Desde el punto de vista del aspecto económico, si mi inversión post-sismo dentro de mi edificación supera el valor del 40%, este estaría calificado con 2 estrellas. Por otro lado, si la inversión económica es menor a un 10%, 5% o 3%, indica que la edificación estaría calificada en el rango de las 4 o 5 estrellas. Así mismo, desde el punto de vista de recuperación o operatividad luego de un sismo, si la edificación demora unos meses a un año, se considera una edificación dentro de la clasificación de 2 estrellas, pero, si tiene una recuperación próxima medida en cuestión de días, está calificada dentro de las 5 estrellas.

w) Tipos de aisladores sísmicos:

Aisladores Elastomérico:

Genatios y Lafuente (2016) los definen como aquellos capaces de soportar considerables deformaciones laterales. Se caracterizan por ser de forma cilíndrica compuestos de capas de materiales flexibles, especialmente, gomas vulcanizadas o láminas de acero. Se caracterizan por la capacidad de resistencia a las cargas verticales. Por otro lado, la presencia de los núcleos de plomo permite grandes

deformaciones y pueden producir alto amortiguamiento. Dentro de esta clasificación, existen diversos tipos de dispositivos elastomérico, tales como:

Aislador elastomérico de bajo amortiguamiento (LDRB)

CDT (2011) explican que este tipo de aisladores son considerados los más básicos dentro de la gama de elastoméricos. La principal característica es el bajo amortiguamiento que presentan, ya que está oscilando en un rango de 2 al 5%, es por ello que su utilización por lo general va en conjunto con la incorporación de disipadores de energía.



Figura 10: Aislador sísmico elastomérico tipo LDRB.

Fuente: CDT, 2011

Aislador elastomérico de alto amortiguamiento (HDRB):

Mullo (2014) comenta que este tipo de aislador posee la misma característica que los demás elastoméricos con respecto a la distribución de intercalación de las láminas de caucho y acero, con la diferencia que en este se le adiciona capas de goma que aportan mayor flexibilidad y rigidez, la diferencia principal es el alto amortiguamiento que poseen a través de la inclusión de sustancias químicas.

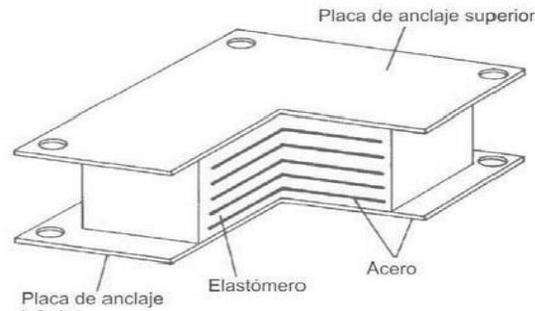
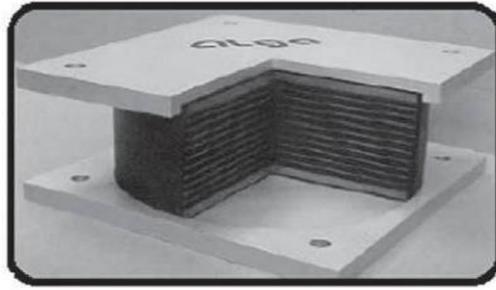


Figura 11: Aislador sísmico elastomérico tipo HDRB.

Fuente: Rico y Chio, 2012

#### Aislador elastomérico con núcleo de plomo (LRB)

Para Luque (2016) esta clase de aisladores mantienen la disposición entre las láminas existentes de los materiales de goma y acero, cuenta con la inclusión de un núcleo de plomo en la parte intermedia, la cual conlleva al aumento del amortiguamiento que oscilan un rango de 25-30%. Cuando se ven expuestos ante un evento sísmico, poseen la capacidad de restitución, es decir, vuelven a su posición inicial, por lo cual, se encuentra operativo para poder enfrentar un nuevo evento sísmico.

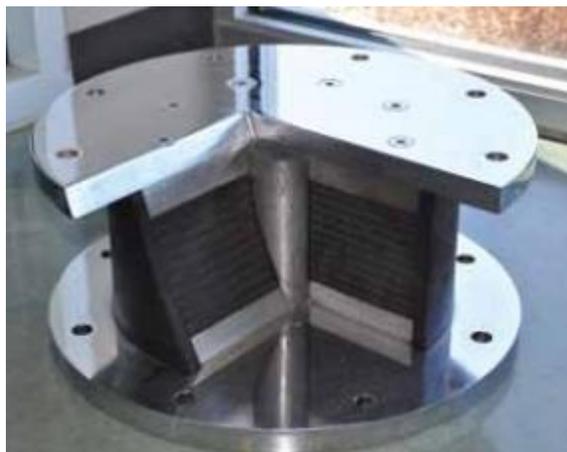


Figura 12: Aislador sísmico elastomérico tipo LRB.

Fuente: CDT, 2011

#### Aislador sísmico deslizante o “Sliders”

Para Janampa (2018) este tipo de aisladores están conformados por planchas paralelas de acero, por la cual entre ellas se desliza una placa de acero con revestimiento de

politetrafluoroetileno. Así mismo, agregan que cuando las fuerzas laterales exceden la fuerza de fricción estática, estos deslizantes no restringen el desplazamiento relativo dado entre las superficies que están en contacto, de tal manera que, la capacidad de restitución no se genera, es decir, no vuelve a su posición original. Se recomienda que la utilización de este tipo de dispositivos sea en conjunto con otro tipo de dispositivos, tales como, los elastoméricos.

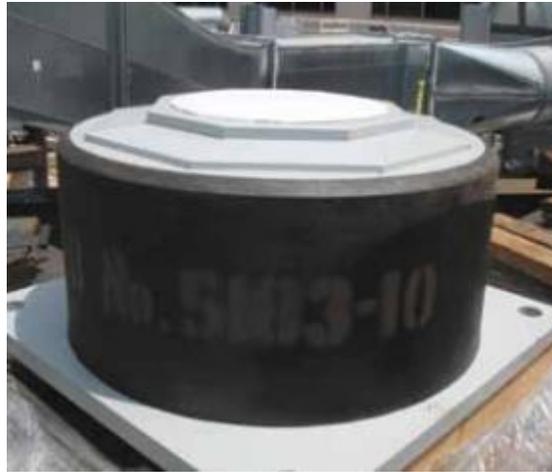


Figura 13: Aislador sísmico deslizante.

Fuente: CDT, 2011

### 2.3 Definición de términos básicos

- a. Aisladores sísmicos: Dispositivos que tienen como fin brindar protección a la estructura mediante la independización de la superestructura y la subestructura, de tal manera que, cuando se produzca un sismo la estructura no se vea afectada.
- b. Elastomérico: Material polímero que tiene alta elasticidad y viscosidad.
- c. Restitución: Capacidad para regresar a su punto de partida.
- d. Sismo: Suceso producto de la liberación de energía que se genera por movimientos de placas tectónicas.
- e. Resiliencia: Capacidad de sobreponerse o superar adversidades.
- f. Elementos no estructurales: Aquel que no tiene intervención ni relevancia dentro de la configuración estructural de una estructura.
- g. Elemento estructural: Aquel que interviene o participa de manera directa en el sistema estructural de una estructura.
- h. Pórticos: Elemento estructural compuesto por una secuencia de columna y viga.
- i. Placas: Estructura de alta rigidez compuesto de concreto armado.
- j. Acelerogramas: Registros de aceleraciones producto de un evento sísmico.

## CAPÍTULO III: SISTEMAS DE HIPÓTESIS

### 3.1 Hipótesis

#### 3.1.1 Hipótesis general

La inclusión de un sistema aislado en una edificación multifamiliar con sistema dual en San Miguel optimizará el desempeño sísmico, así mismo, incrementará el costo inicial de esta.

#### 3.1.2 Hipótesis específicas

- a) Los resultados del desempeño sísmico de la edificación con sistema dual aumentarán en un 60-80% en comparación al sistema aislado.
- b) El sistema de aislación sísmica permitirá disminuir en un 60-80% las derivas entrepiso y aceleraciones e incrementará en la misma medida los desplazamientos en comparación del sistema dual.
- c) Existirá una variación económica de un 10-18% en comparación del sistema aislado frente al sistema dual en una edificación multifamiliar.

### 3.2 Variables

#### 3.2.1 Definición conceptual de las variables

##### Variable Independiente

Espinoza (2018) define que es aquella que como investigadores modificamos o manipulamos a criterio propio para poder determinar si dichas modificaciones alteran o producen cambios en la variable dependiente. Por ese lado, significa que influye o causa efecto en otras variables que son denominadas dependientes y son las que permiten explicar estas.

- a) Variable independiente 1: Sistema aislado
- b) Variable independiente 2: Sistema dual

##### Variable dependiente

Espinoza (2018) la define como aquellas son el resultado modificado por el investigador o experimentador con el fin de determinar si los cambios producidos en la variable independiente causaron efectos o consecuencias que dan inicio a los resultados de la investigación.

##### Variable dependiente:

Análisis técnico-económico de una edificación multifamiliar

#### 3.2.2 Operacionalización de las variables

Borja (2012) comenta que se caracteriza por ser el proceso que explica cómo se medirán las variables que se han formulado en las hipótesis.

## **CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

### **4.1 Tipo y nivel**

#### **4.1.1 Tipo**

Según la definición de Borja (2012) nos indica que una investigación es de tipo aplicada, cuando se busca conocer o construir la realidad problemática. Usualmente los proyectos ingenieriles están dentro de esta clasificación, ya que, se busca la solución de la problemática existente. Por otro lado, menciona que el enfoque cuantitativo es aquel que se mide a través de la recolección y análisis de datos que serán objeto de respuesta a las preguntas propuestas y de tal manera comprobar las hipótesis trazadas.

Por ello, la presente investigación se caracterizó por ser de tipo aplicada con enfoque cuantitativo.

#### **4.1.2 Nivel**

Borja (2012) menciona que una investigación es descriptiva cuando se determinan las propiedades que tiene el objeto de estudio en mención.

Por otro lado, define que es explicativa cuando va más allá de la definición o descripción de lo establecido en relación de las variables.

Por ello, la presente investigación se caracterizó por ser de nivel descriptivo y explicativo.

### **4.2 Diseño de la investigación**

Hernández, Fernández y Baptista (2014) definen como no experimental cuando la investigación se basa en la obtención de información sin alterar las variables. Por otro lado, define que el diseño transversal es aquel donde el análisis de datos se da en un momento determinado, haciendo inferencia sobre la ocurrencia, al igual que sus determinantes y consecuencias.

De tal manera, la presente investigación fue no experimental con diseño transversal.

### **4.3 Población y muestra**

#### **4.3.1 Población**

Arias (2006) menciona que la población es un conjunto finito o infinito del elemento de estudio con características similares.

La población estuvo determinada por todos los edificios multifamiliares con sistema dual y de características similares en estructuración en el distrito de San Miguel.

#### 4.3.2 Muestra

Hernández, Fernández y Baptista (2010) nos indican que la muestra es una parte de la población, es decir, una cantidad reducida del grupo de interés del cual se recolectó información de datos que deben delimitarse, de tal manera que sea representativo para la población.

La muestra se consideró al edificio multifamiliar “Grosseto” que cuenta con sistema estructural dual, con un área de 500 m<sup>2</sup>, 6 niveles y 1 sótano ubicado en el distrito de San Miguel.

#### 4.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

##### 4.4.1 Tipos de técnicas e instrumentos

Las técnicas empleadas fueron la recaudación de información mediante artículos científicos referentes al tema, manuales técnicos, libros de la especialidad y las normas correspondientes al diseño y la observación directa.

Los instrumentos que se emplearon para el modelamiento y el análisis sísmico de la edificación con sistema dual frente al sistema aislado serán las siguientes:

- a) Planos arquitectónicos y estructurales
- b) Software Etabs 2019 V 0.0.0

Por otro lado, los cálculos serán realizados mediante las siguientes herramientas:

- a) Microsoft Excel
- b) Reglamento Nacional de edificaciones (RNE)
- c) la Norma E.020 (Cargas)
- d) E.030 (Diseño Sismorresistente)
- e) E.060(Concreto Armado)
- f) E.031 (Aislamiento sísmico)

##### 4.4.2 Criterios de validez y confiabilidad de los instrumentos

Los instrumentos utilizados en esta investigación son válidos y confiables, ya que, la información empleada en la siguiente investigación se sostiene mediante el expediente técnico (planos, memorias descriptivas de las especialidades) de la edificación tomada como elemento de estudio y la aplicación del software Etabs 2019 v0.0.0 que ha sido realizado los investigadores, los cuales cuentan con los conocimientos de la aplicación de este programa. Se tomó en cuenta para validar los resultados del análisis las normas E.030 “Diseño

Sismorresistente”, Norma E.031 “Aislamiento sísmico”, Norma E.060 “Concreto Armado”, Norma E.020 “Cargas”.

#### 4.4.3 Procedimientos de la recolección de datos

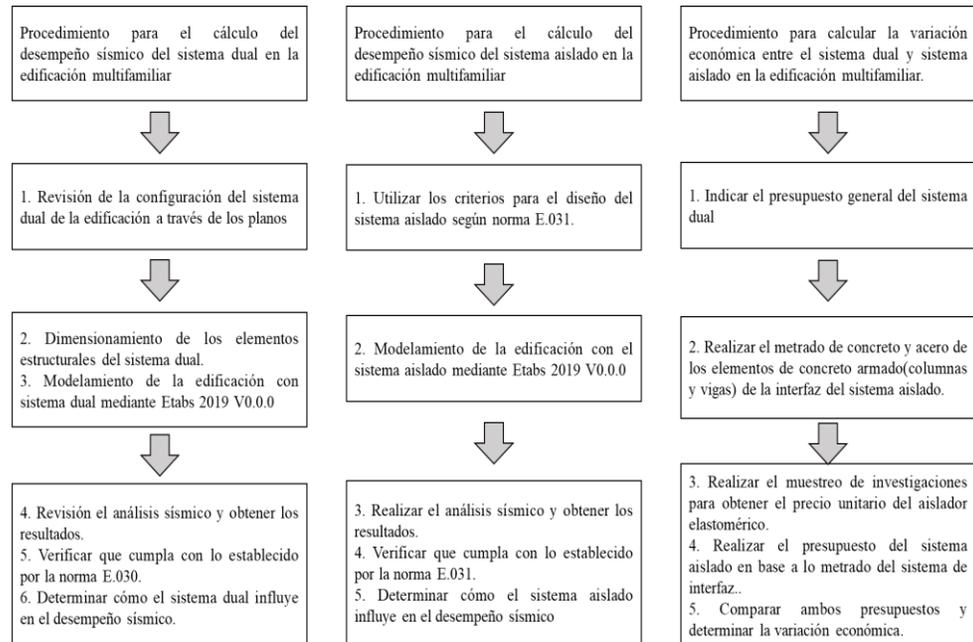


Figura 14: Diagrama de flujo para el procesamiento de datos.

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.5 Técnicas para el procesamiento y análisis de la información

Las técnicas para el procesamiento fueron:

Recopilación de información mediante boletines y normas.

Memorias descriptivas de las especialidades (Arquitectura y Estructura)

Para el análisis de la información:

- Utilización del software Etabs 2019 V 0.0.0
- Microsoft Excel

## CAPÍTULO V: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 5.1 Descripción general y configuración estructural

#### 5.1.1 Descripción general

La edificación multifamiliar cuenta con 6 niveles, azotea y dos sótanos. Esta estructura está destinada a un uso de viviendas y se encuentra ubicada en el distrito de San Miguel, provincia de Lima, departamento de Lima.

#### 5.1.2 Configuración estructural

La altura total de la edificación incluyendo sótanos es de 23.10 m, cuenta con una altura de entrepiso de 2.5 m.

La configuración estructural de la edificación se define como sistema dual en dirección “x” y de muros estructurales en dirección “y”.

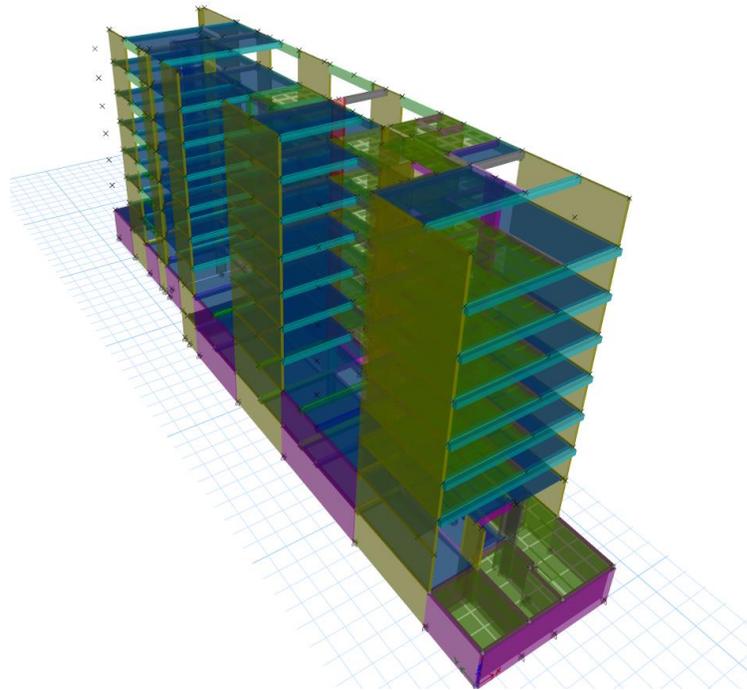


Figura 15: Modelado de la edificación con sistema dual

Fuente: Elaboración Propia.

### 5.1.3 Características de los materiales empleados

Tabla 2: Características de los materiales.

Características de los materiales	
Resistencia a la compresión del concreto (f'c)	f'c = 210 kg/cm <sup>2</sup> (para elementos estructurales)
Peso específico (γ)	γ = 2400 kg/m <sup>3</sup>
Resistencia a la fluencia del acero grado 60 (fy)	Fy = 4200 kg/cm <sup>2</sup>

Fuente: Elaboración Propia

### 5.1.4 Dimensiones de elementos estructurales

Tabla 3: Dimensiones de las columnas.

Sección de la columna (m)
L (0.75x0.80x0.25)
L (0.75x0.80x0.30)
0.85x0.30
0.90x0.25
1.00x0.25
0.85x0.30
0.85x0.25
0.60x0.35
1.00x0.30
1.40x0.20

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4: Dimensiones de las vigas.

Sección de la viga (m)
0.35x0.37
0.40x0.37
0.50x0.37
0.20x0.60
0.35x0.40
0.25x0.40
0.45x0.37
0.30x0.40
0.20x0.37
0.45x0.40
0.40x0.40
0.20x0.40
0.20x0.90

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 5: Dimensiones de las losas.

Espesor de las losas (m)	
Losa Aligerada	0.17
Losa Maciza	0.17

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 6: Dimensiones de las placas y muros

Espesor de las placas y muro (m)	
Muro	0.3
Placa	0.2

Fuente: Elaboración Propia

### 5.1.5 Resumen de cargas empleadas

Tabla 7: Cargas muertas empleadas.

Cargas muertas	
Peso propio elementos de concreto armado =	2400 kg/m <sup>3</sup>
Peso propio de muros de albañilería =	1800 kg/m <sup>3</sup>
Peso propio acabados (considerado) =	120 kg/m <sup>2</sup>
Peso propio tabiquería (considerado) =	150 kg/m <sup>2</sup>
Peso total (CM) =	270 kg/m <sup>2</sup>

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 8: Cargas vivas empleadas.

Cargas vivas	
Sobrecarga de techo (todos los niveles excepto azotea) =	200 kg/m <sup>2</sup>
Sobrecarga de techo (Azotea) =	100 kg/m <sup>2</sup>

Fuente: Elaboración Propia

## 5.2 Análisis sísmico del sistema dual

### 5.2.1 Análisis Estático – Norma E. 030

Para el presente análisis, se tiene en consideración la Norma E.030 de Diseño Sismorresistente, respecto a los criterios para la ejecución de los análisis estático y dinámico.

-Factor de zonificación (Z)



Figura 16: Factor de zonificación

Fuente: Norma Técnica E 0.30 – Diseño sismorresistente

ZONA	Z
4	0,45
3	0,35
2	0,25
1	0,10

Figura 17: Factor de zona "Z"

Fuente: Norma Técnica E 0.30 – Diseño sismorresistente

Se desprende de las imágenes N° 16 y 17, la clasificación de zonificación de la Norma E. 030. De esta manera, la edificación cuya ubicación es en San Miguel en Lima corresponde a:

$$Z(4) = 0.45$$

-Condiciones Geotécnicas

La Norma Técnica E.030 los clasifica de la siguiente manera:

Tabla 9: Perfiles de suelo.

Perfil Tipo S0	Roca dura
Perfil Tipo S1	Roca o suelos muy rígidos
Perfil Tipo S2	Suelos intermedios
Perfil Tipo S3	Suelos blandos
Perfil Tipo S4	Condiciones excepcionales

Fuente: Norma Técnica E 0.30 – Diseño sismorresistente

Por medio de la Tabla N° 9 se define que, de acuerdo a la ubicación de la edificación, el perfil de suelo que le corresponde es un S1 (Muy Rígidos).

-Parámetros de sitio (S, Tp y Tl)

Factor de suelo “S”

ZONA \ SUELO	S <sub>0</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>
	Z <sub>4</sub>	0,80	1,00	1,05
Z <sub>3</sub>	0,80	1,00	1,15	1,20
Z <sub>2</sub>	0,80	1,00	1,20	1,40
Z <sub>1</sub>	0,80	1,00	1,60	2,00

Figura 18: Factor de suelo “S”

Fuente: Norma Técnica E 0.30 – Diseño sismorresistente

Periodos “Tp” y “Tl”

	Perfil de suelo			
	S <sub>0</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>
T <sub>p</sub> (s)	0,3	0,4	0,6	1,0
T <sub>l</sub> (s)	3,0	2,5	2,0	1,6

Figura 19: Periodos “Tp” y “Tl”

Fuente: Norma Técnica E 0.30 – Diseño sismorresistente

Respecto a las Figuras N° 18 y 19 se define la zonificación de la edificación (Z=4) y la clasificación de perfil de suelo (S1) y se obtienen los siguientes parámetros:

$$S1=1$$

$$Tp= 0.40$$

$$Tl= 2.5$$

-Categorización de la edificación y factor de uso “U”

Tabla 10: Factor de uso.

Categoría de la edificación y el factor “U”		
Categoría	Descripción	Factor “U”
Edificaciones Comunes (C)	Edificaciones comunes tales como: viviendas, oficinas, hoteles, restaurantes, depósitos e instalaciones industriales cuya falla no acarree peligros adicionales de incendios o fugas contaminantes.	1

Fuente: Norma Técnica E 0.30 – Diseño sismorresistente

De acuerdo con la Tabla N° 10, la edificación se encuentra clasificada dentro de la categoría “C” de edificaciones comunes y con un valor de uso correspondiente de 1.0.

-Factores de irregularidad (Ia, Ip)

Mediante la Tabla N° 11, Tabla N° 12 y Tabla N° 13, se obtuvo los factores de irregularidad en altura, teniendo en consideración el artículo 20 de la Norma E. 030.

a) Irregularidad por rigidez

Tabla 11: Evaluación de Irregularidad de Rigidez en el Eje x.

Niveles	Ki (tonf/m)	$K_i < 0.7K_{i+1}$	Condición
Azotea	16017.334	-	Regular
6° piso	38945.135	-	Regular
5° piso	51169.443	1.313885367	Regular
4° piso	59666.356	1.166054436	Regular
3° piso	69402.155	1.163170665	Regular
2° piso	86614.377	1.248007025	Regular
1° piso	145848.751	1.683886164	Regular

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 12: Evaluación de Irregularidad de Rigidez en el Eje y.

Niveles	Ki (tonf/m)	$K_i < 0.7K_{i+1}$	Condición
Azotea	45057.87	-	Regular
6° piso	217898.879	-	Regular
5° piso	318981.921	1.46	Regular
4° piso	408347.235	1.28	Regular
3° piso	515896.835	1.26	Regular
2° piso	687021.336	1.33	Regular
1° piso	1175584.153	1.71	Regular

Fuente: Elaboración Propia

b) Irregularidad por masa o peso

Tabla 13: Evaluación de Irregularidad por masa o peso.

Niveles	Pi (Ton)	$P_i > 1.5P_{i+1}$	Condición
Azotea	328.569	-	Regular
6° piso	328.569	-	Regular
5° piso	332.558	1.01	Regular
4° piso	332.558	1.00	Regular
3° piso	332.558	1.00	Regular
2° piso	332.558	1.00	Regular
1° piso	332.558	1.00	Regular

Fuente: Elaboración Propia

Según lo observado previamente en la Tabla N° 11, Tabla N° 12 y Tabla N° 13, la estructura mantiene regularidad en altura.

A continuación, se comprueba los factores de irregularidad en planta mediante la Tabla N° 14, Tabla N° 15 y Tabla N° 16.

a) Irregularidad por torsión

Tabla 14: Evaluación de Irregularidad por torsión en Eje x.

Niveles	Dirección	Máximo (m)	Promedio	Ratio máx. prom	Condición (R>1.3)
Azotea	x	0.018359	0.01496	1.227	Regular
6° piso	x	0.016258	0.013156	1.236	Regular
5° piso	x	0.01383	0.01111	1.245	Regular
4° piso	x	0.010989	0.008767	1.253	Regular
3° piso	x	0.007841	0.006218	1.261	Regular
2° piso	x	0.004632	0.003659	1.266	Regular
1° piso	x	0.001754	0.001402	1.252	Regular

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 15: Evaluación de Irregularidad por torsión en Eje y.

Niveles	Dirección	Máximo (m)	Promedio	Ratio máx. prom	Condición (R>1.3)
Azotea	y	0.003799	0.003779	1.005	Regular
6° piso	y	0.003201	0.003189	1.004	Regular
5° piso	y	0.002605	0.002568	1.014	Regular
4° piso	y	0.001981	0.001932	1.026	Regular
3° piso	y	0.001359	0.00131	1.037	Regular
2° piso	y	0.000779	0.000744	1.047	Regular
1° piso	y	0.000296	0.000281	1.055	Regular

Fuente: Elaboración Propia

Mediante las Tablas N° 14 y 15, se comprueba que, la estructura no presenta irregularidad torsional en ambas direcciones.

b) Irregularidad por esquinas entrantes

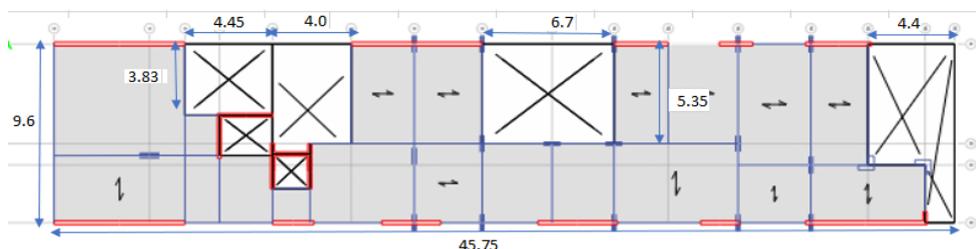


Figura 20: Esquinas entrantes de la edificación.

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 16: Evaluación por esquinas entrantes.

	x (m)	y (m)
Dt	45.75	9.6
Di	19.95	18.78

Fuente: Elaboración Propia

Se observa en la Figura N° 20, las esquinas entrantes que presenta la edificación. Asimismo, de acuerdo a la tabla N° 18, se desprende que:

$$\text{Eje "x": } 19.95 > 20\% \times 45.75 = 9.15$$

$$\text{Eje "y": } 18.78 > 20\% \times 19.95 = 1.92$$

Por lo tanto, se puede determinar mediante la Tabla N° 16 que, la estructura presenta irregularidad por esquinas entrantes tanto para la dirección "x" e "y".

Mediante lo expuesto, se podrá determinar los factores (Ia) y el factor (Ip) correspondientes a las irregularidades presentes en altura y en planta, respectivamente.

En relación la edificación, al no presentar irregularidad en altura, pero, sí en planta, se precisan los siguientes factores:

Tabla 17: Resumen de Irregularidades.

Irregularidades	
Irregularidad en altura (Ia) =	1.0
Irregularidad en planta (Ip) =	0.9

Fuente: Elaboración Propia

-Determinación el coeficiente básico de reducción de fuerza sísmica (R)

Mediante Tabla N° 18, se establece lo indicado por la Norma E 030 respecto al coeficiente de reducción de fuerza sísmica, el cual se determina de la siguiente manera:

$$R = R_o \times I_p \times I_a$$

Tabla 18: Coeficiente de reducción para Sistemas estructurales.

Sistema Estructural	Coeficiente Básico de Reducción R <sub>o</sub>
Concreto Armado:	
Pórticos	8
Dual	7
Muros estructurales	6
Muros de ductilidad limitada	4

Fuente: Norma Técnica E.030 – Diseño sismorresistente

En este caso, la edificación cuenta con un Sistema Dual para la dirección “x” y de Muros Estructurales para la Dirección “y”. Los factores  $R_o$  que les corresponde respectivamente serían, 7 y 6.

Se tiene en cuenta lo indicado en la Tabla N° 17 los factores de irregularidad correspondientes para la edificación, son los siguientes:

$$R_x = 0.90 \times 1.00 \times 7$$

$$R_x = 6.30$$

$$R_y = 0.90 \times 1.00 \times 6$$

$$R_y = 5.4$$

-Periodo fundamental de la edificación

Como se observa en la Tabla N° 19. Se establecen los modos de vibración y la verificación de masa participativa, según lo indica el artículo 29 de la Norma E. 030, el cual señala que, los modos de vibración se pueden determinar mediante procedimientos de análisis que consideren las características de rigidez y la distribución de las masas. Asimismo, se tomarán en consideración los modos de vibración que alcancen el 90% de la masa total, primordialmente tomándose en cuenta los primeros tres modos.

Tabla 19: Modos de vibración y masa participativa de la edificación.

Modo	Periodo (S)	%Masa Particip. X-X	Sum acum. %X-X	%Masa Particip. Y-Y	Sum acum. %Y-Y	%Masa Particip. Z-Z	Sum acum. %Z-Z
1	0.569	73%	73%	0%	0%	4%	4%
2	0.446	2%	75%	0%	0%	68%	68%
3	0.219	0%	75%	71%	71%	0%	0%
4	0.152	13%	88%	0%	72%	1%	1%
5	0.107	0%	89%	0%	72%	3%	3%
6	0.071	1%	94%	0%	72%	11%	11%
7	0.049	0%	94%	0%	88%	0%	0%
8	0.049	0%	94%	0%	90%	0%	0%
9	0.043	0%	96%	0%	90%	0%	0%
10	0.03	2%	96%	0%	90%	2%	2%
11	0.03	0%	97%	0%	90%	0%	0%
12	0.023	1%	98%	0%	90%	0%	0%
13	0.023	1%	98%	2%	95%	0%	0%
14	0.022	0%	98%	15%	95%	0%	0%
15	0.019	0%	98%	1%	95%	3%	3%
16	0.018	0%	98%	0%	95%	0%	0%
17	0.016	0%	98%	0%	95%	0%	0%
18	0.015	0%	98%	0%	97%	0%	0%
19	0.012	0%	98%	0%	98%	0%	0%
20	0.01	0%	98%	0%	98%	0%	0%
21	0.009	1%	98%	0%	98%	1%	1%
22	0.007	0%	98%	0%	98%	1%	1%
23	0.007	0%	98%	0%	98%	0%	0%
24	0.007	0%	98%	0%	98%	1%	1%

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 20: Periodos fundamentales.

	Periodo fundamental	Masa participativa	Modo
	l	a	
Ux	0.57	73%	1
Uy	0.219	71%	3
Rz	0.447	68%	2

Fuente: Elaboración Propia

Mediante la Tabla N° 20, se obtiene:

$$T_x = 0.57$$

$$T_y = 0.219$$

De lo descrito previamente, se indica que, se logra cumplir con el artículo 29 de la Norma E. 030, ya que, en el modo 8 se logra cumplir con el 90% de la masa participativa. Dicha obtención nos servirá para realizar a posterior el análisis dinámico.

-Factor de amplificación sísmica “C”

De acuerdo a las características del sitio, el artículo 14 de la Norma E. 030 indica que, el factor de amplificación sísmica se calcula de la siguiente manera:

$$T < T_p \quad C=2.5$$

$$T_p < T < T_L \quad C=2.5 \times \frac{T_p}{T}$$

$$T > T_L \quad C=2.5 \times \frac{T_p \times T_L}{T}$$

-Dirección “x”

$$T_p = 0.40 < T = 0.57 < T_L = 2.50$$

$$C_x = 2.5 \times (0.40 / 0.57)$$

$$C_x = 1.75$$

-Dirección “y”

$$0.22 < 2.50$$

$$C_y = 2.5$$

Asimismo, en el inciso 28.3 de la Norma E. 030, se indica que la relación C/R deber mayor igual al valor de 0.11, la cual se cumple en la siguiente expresión:

$$C_x = \frac{1.75}{6.30} = 0.27 \geq 0.11$$

$$C_y = \frac{2.5}{5.34} = 0.46 \geq 0.11$$

-Determinación de coeficientes para ingresar al ETABS

Para la Dirección “x”:

$$“C_x” = \frac{ZUC_xS}{R}$$

$$“C_x” = \frac{0.45 \times 1 \times 1.75 \times 1}{6.30}$$

$$C_x = 0.125 \text{ s}$$

Para la Dirección “y”:

$$“C_y” = \frac{ZUC_yS}{R}$$

$$“C_y” = \frac{0.45 \times 1 \times 2.50 \times 1}{5.40}$$

$$C_y = 0.208 \text{ s}$$

En el inciso 28.3.2 del artículo 28 de la Norma E 0.30, se indica lo siguiente:

$$T \leq 0.5 \text{ s, } K = 1.0$$

$$T > 0.5 \text{ s, } K = (0.75 + 0.5T) \leq 2.0$$

Para la Dirección “x”:

$$\text{Si } T_x = 0.57 \text{ s, entonces el } K_x = (0.75 + 0.5 \times 0.57) = 1.035$$

Para la Dirección “y”:

$$\text{Si } T_y = 0.22 \text{ s, entonces el } K_y = 0.22 \leq 0.5 = 1.000$$

Tal y como se observa el ingreso de los coeficientes mediante la Figura N° 20 Y Figura N° 21.

Figura 21: Ingreso de coeficientes al ETABS.

Fuente: Elaboración Propia

Figura 22: Ingreso de coeficientes al ETABS.

Fuente: Elaboración Propia

### Tabla resumen de los parámetros sísmicos

Tabla 21: Resumen de los parámetros sísmicos obtenidos.

Parámetros sísmicos		
Factor de Zonificación	Z	0.45
Uso	U	1
Factor de amplificación sísmica	Cx	1.75
	Cy	2.5
Perfil de suelo (S1)	S	1
Factor de reducción sísmica	Rx	6.3
	Ry	5.4
	Tp	0.4
Periodos fundamentales	Tl	2.5
	Tx	0.57
	Ty	0.22

Fuente: Elaboración Propia

-Masa y peso de la edificación

Mediante la Tabla N° 22, se extrae la masa de cada nivel de la edificación y por consiguiente el peso total de esta misma.

Tabla 22: Masa y peso de la edificación

Nivel	Masa (Ton-s2/m)	P (ton)
Azotea	13.08379	128.3519799
6° piso	33.4933	328.569273
5° piso	33.89987	332.5577247
4° piso	33.89987	332.5577247
3° piso	33.89987	332.5577247
2° piso	33.89987	332.5577247
1° piso	33.89987	332.5577247

Fuente: Elaboración Propia

$$\sum P = 2119.709876 \text{ Ton}$$

-Fuerza cortante de la edificación y distribución de la Fuerza Sísmica

Respecto a lo obtenido en la Tabla N° 22, se calculan los siguientes resultados:

Eje “x”:

$$V_x = \frac{ZUCS \times P}{R}$$

$$V_x = \frac{(0.45 \times 1 \times 1.75 \times 1)}{6.30} \times 2119.709 \text{ ton}$$

$$V_x = 264.96 \text{ ton}$$

Eje “y”:

$$V_y = \frac{ZUCS \times P}{R}$$

$$V_y = \frac{(0.45 \times 1 \times 2.5 \times 1)}{5.40} \times 2119.709 \text{ ton}$$

$$V_y = 441.606 \text{ ton}$$

Ante lo obtenido, se observa que, los resultados de las cortantes coinciden con los valores descritos en la Tabla N° 23.

-Distribución de la fuerza sísmica

Según la Norma E.030 se debe cumplir las siguientes ecuaciones para poder distribuir la fuerza sísmica:

$$F_i = \alpha_i \times V$$

$$\alpha_i = \frac{P_i \times h_i^{K_i}}{\sum P_i \times h_i^{K_i}}$$

Tabla 23: Distribución de la Fuerza sísmica.

Niveles	Pi	Hi	Pi(x)Hi	Pi(y)Hi	$\alpha_{ix}$	$\alpha_{iy}$	Fix	Fiy
Azotea	128.351	17.5	2482.829	2246.159	0.116	0.114	30.902	50.49
6	328.569	15	5418.528	4928.539	0.253	0.25	67.442	110.786
5	332.557	12.5	4541.181	4156.971	0.212	0.211	56.522	93.442
4	332.557	10	3604.682	3325.577	0.168	0.169	44.866	74.754
3	332.557	7.5	2676.427	2494.182	0.125	0.126	33.312	56.065
2	332.557	5	1759.142	1662.788	0.082	0.084	21.895	37.377
1	332.557	2.5	858.489	831.394	0.04	0.042	10.685	18.688
							265.63	441.61

Fuente: Elaboración Propia

Mediante la Tabla N° 23, se desprende que, la fuerza máxima para ambas direcciones se da en el 6 nivel, con un valor de 66.44 y 110.79 ton respectivamente.

### 5.2.2 Análisis Dinámico Modal Espectral

#### -Espectro de Pseudo Aceleración

Para ambas direcciones, se empleará un espectro inelástico de pseudo-aceleraciones definido por la siguiente expresión:

$$S_a = \frac{ZUCS}{R} \times g$$

La Norma E.030 señala que los parámetros “Sa” y “g” se definen como, la aceleración espectral y la gravedad. Con los parámetros sísmicos obtenidos previamente, se realizan los espectros correspondientes.

Para Dirección “x”:

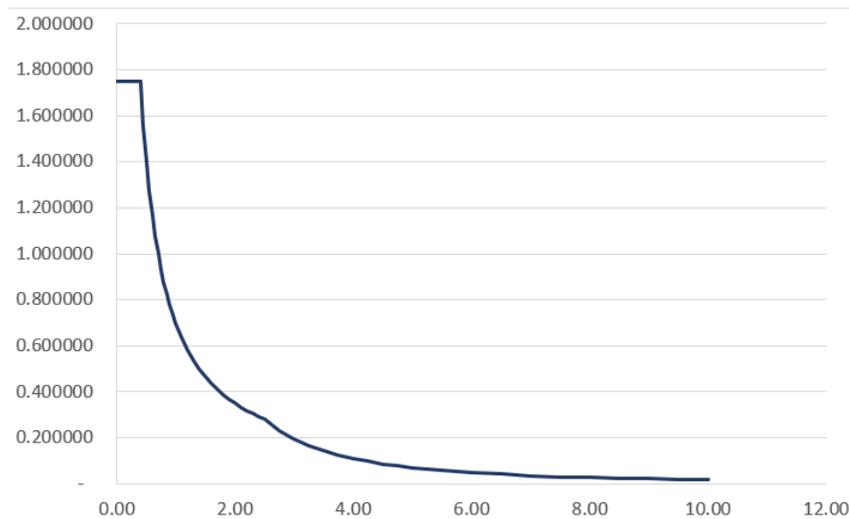


Figura 23: Espectro de pseudo aceleración en "x"

Fuente: Elaboración Propia

Para Dirección "y":

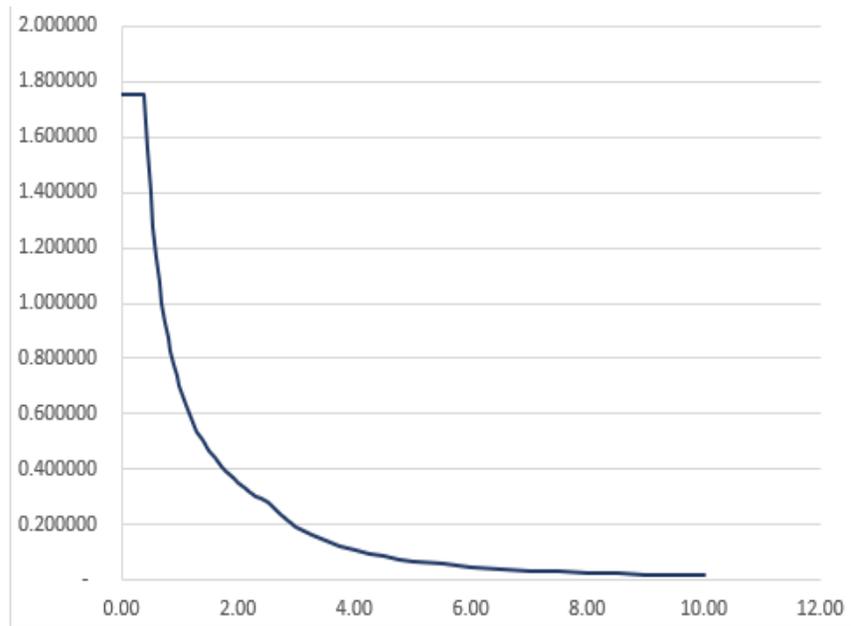


Figura 24: Espectro de pseudo aceleración en "y"

Fuente: Elaboración Propia

-Verificación del sistema estructural

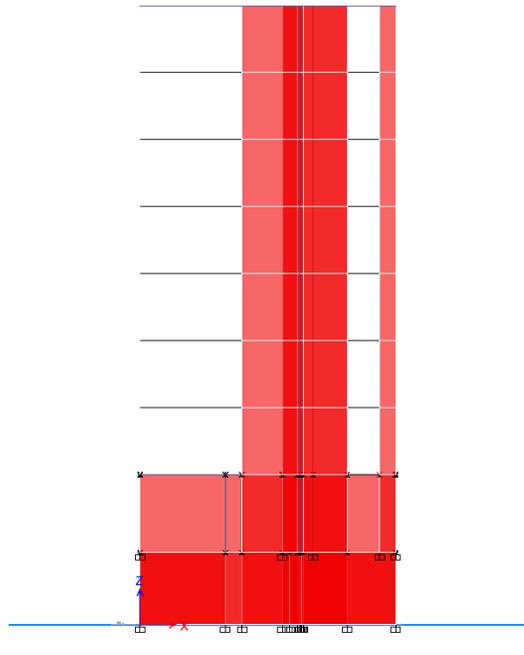


Figura 25: Set 3D View

Fuente: Elaboración Propia

Para poder verificar la cortante (V) absorbida por los muros y columnas, se aplica el comando Section Cut Forces a nivel de nuestra base de la edificación.

Resultados obtenidos para la Dirección "x":

Integrated Forces			
	Right Side		
	1	2	Z
Force	148.595	9.132	88.5231
Moment	3380.3426	3064.766	2439.3925
<input type="button" value="Save Right Side Cut"/>			

Figura 26: V absorbida por los Muros en Dirección “x”

Fuente: Elaboración Propia

Integrated Forces			
	Right Side		
	1	2	Z
Force	90.395	1.2794	88.5231
Moment	3317.8364	974.2357	2569.1216
<input type="button" value="Save Right Side Cut"/>			

Figura 27: V absorbida por las columnas en Dirección “x”

Fuente: Elaboración Propia

De las Figuras N° 26 y 27, se obtiene la cortante absorbida en los muros y en las columnas y se expresa de la siguiente manera:

$$V_{\text{muros } x} = 148.595 \text{ ton}$$

$$V_{\text{col } x} = 90.395 \text{ ton}$$

$$V_t = 238.99$$

$$\% \text{ Absorción del muro con respecto al total} = \frac{148.595}{238.99} \times 100 = 62\%$$

$$\% \text{ Absorción de las columnas con respecto al total} = \frac{90.395}{238.99} \times 100 = 38\%$$

Ante esto, podemos determinar que nuestro sistema estructural para la Dirección “x” es un Sistema Dual.

Resultados obtenidos para la Dirección “y”:

Integrated Forces			
	Right Side		
	1	2	Z
Force	12.1349	396.639	1.041E-06
Moment	6851.8238	157.5829	489.0883
<input type="button" value="Save Right Side Cut"/>			

Figura 28: V absorbida por los Muros en Dirección “y”

Fuente: Elaboración Propia

Integrated Forces			
	Right Side		
	1	2	Z
Force	6.6381	12.193	3.8858
Moment	577.4097	69.5321	217.3622
Save Right Side Cut			

Figura 29: V absorbida por las columnas en Dirección “y”

Fuente: Elaboración Propia

$$V \text{ muros } y = 396.639 \text{ ton}$$

$$V \text{ col } y = 12.193 \text{ ton}$$

$$V_t = 408.83$$

$$\% \text{ Absorción del muro con respecto al total} = \frac{396.639}{408.83} \times 100 = 97\%$$

$$\% \text{ Absorción de las columnas con respecto al total} = \frac{12.19}{408.83} \times 100 = 3\%$$

Ante esto, podemos determinar que nuestro sistema estructural para la Dirección “y” es de Muros Estructurales.

Tabla resumen de la verificación del sistema estructural:

Tabla 24: Evaluación del sistema estructural.

Elemento estructural	Vx (ton)	% Vx	Vy (ton)	% Vy
Columnas	90.395	38%	12.193	3%
Muros de corte (Placas)	148.595	62%	396.639	97%
Total	238.9	100%	408.93	100%

Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo con la Tabla N° 24 y lo señalado en el ítem 16.1 de la Norma E. 030, el cual señala que, se define que para determinar que un Sistema es de Muros estructurales se da cuando la cortante absorbida por los muros excede el 70% de la fuerza cortante de la estructura. Asimismo, para indicar si corresponde a un Sistema Dual, la fuerza cortante absorbida por los muros debe superar el 20%, sin embargo, no debe exceder el 70% de la fuerza cortante de la estructura.

Ante esto, se verifica que en la Dirección “x”, la fuerza cortante absorbida por los muros es mayor al 20% y menor que 70%, por lo cual, se clasifica como un Sistema Dual. Asimismo, para la dirección “y”, la fuerza cortante absorbida por los muros es superior al 70%, de esta manera, se clasifica como un Sistema de Muros estructurales

## Verificación de deriva

Cabe resaltar que, se toma en cuenta la amplificación en las derivas según lo indica el artículo 31 de la Norma E. 030, el cual establece que para estructuras irregulares como es el caso de la presente investigación, las derivas deberán ser amplificadas en un valor de 0.85 R.

Para Dirección “x”:

Tabla 25: Derivas obtenidas en la dirección x.

Niveles	Deriva elástica	Deriva inelástica (0.85Rx=6.3)	Condición $\Delta < 0.007$
Azotea	0.000928	0.00496944	Cumple
6° piso	0.001012	0.00541926	Cumple
5° piso	0.001183	0.00633497	Cumple
4° piso	0.001298	0.00695079	Cumple
3° piso	0.001313	0.00703112	Cumple
2° piso	0.001173	0.00628142	Cumple
1° piso	0.000713	0.00381812	Cumple

Fuente: Elaboración Propia

Para Dirección “y”:

Tabla 26: Derivas obtenidas en la dirección y.

Niveles	Deriva elástica	Deriva inelástica (0.85Ry=5.4)	Condición $\Delta < 0.007$
Azotea	0.000592	0.00271728	Cumple
6° piso	0.000259	0.00118881	Cumple
5° piso	0.000261	0.00119799	Cumple
4° piso	0.00025	0.0011475	Cumple
3° piso	0.000232	0.00106488	Cumple
2° piso	0.000193	0.00088587	Cumple
1° piso	0.000118	0.00054162	Cumple

Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo con las Tablas N° 25 Y 26 se verifica que, las derivas en ambas direcciones cumplen con lo señalado en la Norma E. 030, la cual indica que no debe superar el límite de 0.007.

## 5.3 Análisis sísmico del sistema aislado

### 5.3.1 Descripción del sistema aislado de la edificación

Se le considera un “sistema de aislamiento sísmico” o también llamado “sistema aislado” a aquella interfase que se ubicará a nivel de la subestructura, es decir,

en la base inferior de la superestructura, la cual logrará que esta tenga una performance como un bloque rígido.

Se consideró que la ubicación del nivel de aislamiento está a 1.5 m (véase Figura N° 32). Dentro de este nivel, se ubican los dispositivos de aislamiento sísmico, conocidos como “aisladores sísmicos” tipo elastoméricos “LRB”, los cuales permitirán que en la base se originen deformaciones superlativas ante el efecto de un evento sísmico.

Para efectos de esta investigación, con la finalidad de incluir este sistema y emplear los siguientes análisis, se ha mantenido las mismas características del sistema dual, optando por eliminar las placas que se encontraban presentes en la dirección “y”. Por otro lado, se ha mantenido algunas de estas que serían parte de los elementos, tales como, escaleras y ascensor. Asimismo, con el fin de mantener el mismo criterio original, se han replicado las columnas típicas a lo largo de la edificación a manera de “reemplazar” esta omisión de las placas.

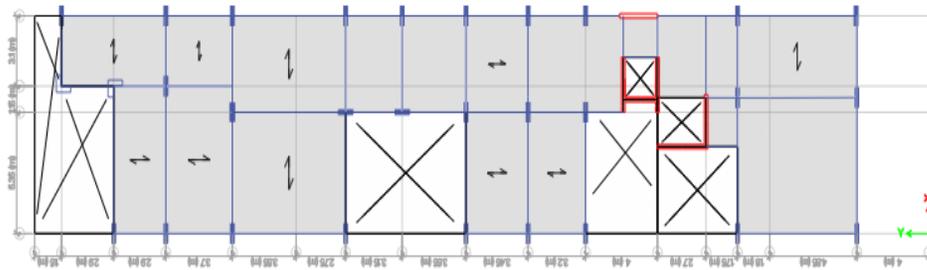


Figura 30: Planta de la edificación con sistema aislado

Fuente: Elaboración Propia

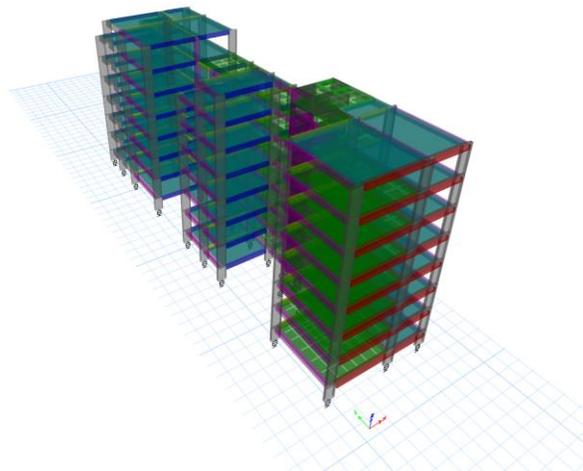


Figura 31: Modelo tridimensional de la edificación con sistema aislado

Fuente: Elaboración Propia

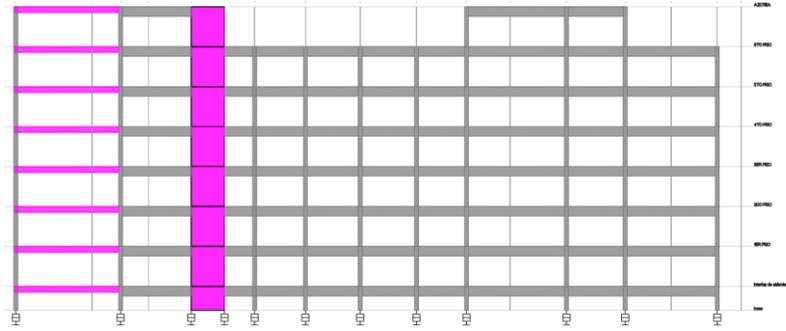


Figura 32: Elevación de la edificación con sistema de aislamiento

Fuente: Elaboración Propia

### Combinaciones de patrones de carga

Se tiene en cuenta por medio del inciso 12.2 del artículo 12 de la Norma E. 031 que, los elementos de la estructura aislada, incluidos los que no son parte del sistema sismorresistente, deben ser diseñados bajo las siguientes cargas establecidas:

- a) Carga vertical promedio:  $1.0 \text{ CM} + 0.5 \text{ CV}$
- b) Carga vertical máxima:  $1.25 \text{ CM} + 1.25 \text{ CV} + \text{CSH} + \text{CSV} + 0.2\text{CN}$
- c) Carga vertical mínima:  $0.9 \text{ CM} - \text{CSH} + \text{CSV}$

Siendo que:

CM = Carga muerta

CV = Carga viva

CSH = Carga sísmica horizontal

CSV = Carga sísmica vertical

CN = Carga de nieve

### 5.3.2 Análisis Estático o Fuerzas equivalentes

De acuerdo a lo establecido en la Norma E. 031 de “Aislamiento Sísmico”, establece los siguientes parámetros:

Desplazamiento traslacional (DM)

$$DM = \frac{SaM TM^2}{4\pi^2 BM}$$

La Norma E. 031 indica que un sistema aislado debe ser diseñado con la finalidad de soportar el desplazamiento máximo, en relación a los límites inferiores y superiores que contengan las propiedades y en la dirección más “crítica” para la respuesta horizontal.

Ante esto, definimos los siguientes factores:

$$SaM = 1.5ZUCS \times g$$

Para establecer el Coeficiente de amplificación sísmica “C”, se considera un T objetivo, el cual es correspondiente a un 2.5 s:

$$C = 2.5 \times \frac{T_p}{T_{\text{objetivo}}}$$

$$C = 2.5 \times \frac{0.40}{2.5}$$

$$C = 0.40$$

Tabla N° 5 Factor de amortiguamiento $B_M$	
Amortiguamiento Efectivo, $\beta_M$ (En porcentaje del amortiguamiento crítico) a,b	Factor $B_M$
$\leq 2$	0,8
5	1,0
10	1,2
20	1,5
30	1,7
$\geq 40$	1,9

Figura 33: Factor de amortiguamiento (BM)

Fuente: Norma E. 031 – Aislamiento sísmico

Se considerará un valor para el factor de amortiguamiento efectivo inicial. De esta manera, mediante un proceso de interpolación se desprende lo siguiente:

$$BM = 15\%$$

$$BM = 1.3$$

De esta manera, podemos definir el SaM y el DM correspondientemente:

$$SaM = 1.5 \times 0.45 \times 0.40 \times 1 \times 9.81$$

$$SaM = 2.295 \text{ m/s}^2$$

$$DM = \frac{2.295 \times 2.5^2}{4 \times \pi^2 \times 1.35}$$

$$DM = 0.269 \text{ m/s}^2$$

Desplazamiento total máximo (DTM)

$$DTM = DM \left[ 1 + \left( \frac{y}{PT^2} \right) \left( \frac{12ex}{b^2 + d^2} \right) \right]$$

Ante esto, la Norma E. 031 indica que, se debe definir la razón entre el periodo traslacional efectivo del sistema aislado y el periodo rotacional efectivo de este mismo (PT), de la siguiente manera:

$$PT = \frac{1}{ra} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Xi^2 + Yi^2)}{N}}$$

Donde la Norma E. 031 señala que:

Ra: radio de giro del sistema aislado, representado como  $\frac{1}{12}\sqrt{(b^2 + d^2)}$ , teniendo en cuenta que b y d corresponden a las dimensiones de la planta de la edificación.

Xi, Yi: Distancia horizontal entre el centro de masas del sistema aislado y el aislador más alejado.

N: Cantidad de aisladores.

Se procede a calcular el “ra”:

$$ra = \frac{1}{12}\sqrt{(b^2 + d^2)}$$

$$ra = \frac{1}{12}\sqrt{(44.75^2 + 9.60^2)}$$

$$ra: 3.81 \text{ m}$$

Se procede a calcular el “PT”:

$$PT = \frac{1}{3.81} \sqrt{\frac{7199.91}{41}}$$

$$PT = 3.47$$

Calculando el “DTM”

$$DTM1 = 0.26 \left[ 1 + \left( \frac{22.13}{3.47^2} \right) \left( \frac{12 \times 2.21}{45.75^2 + 9.60^2} \right) \right] = 0.32 \text{ m}$$

## Resumen de los parámetros iniciales del sistema aislado

Tabla 27: Resumen de parámetros iniciales del sistema aislado

Periodo objetivo del Sismo de Diseño	Tobj = 2.5 s
Amortiguamiento efectivo inicial	BD = 15%
Desplazamiento Traslacional	DM = 26.91 cm
Desplazamiento Total	DTM = 32 cm

Fuente: Elaboración Propia

### 5.3.3 Propiedades geométricas del aislador sísmico

#### a) Diámetro exterior:

Para establecer el diámetro exterior, se calculó de acuerdo a la carga máxima recibida en el dispositivo, en este caso, mediante el mayor peso recibido en la columna típica.

$$Pu \text{ max} = 1.25 \text{ CM} + 1.25 \text{ CV} + \text{Sismo}$$

$$Pu \text{ max} = 207 \text{ ton}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 Pu \text{ max}}{\pi \sigma_{perm}}}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \times 207}{\pi \times 815.77 \text{ ton/m}^2}}$$

$$D = 0.57 \text{ m}$$

Sin embargo, a manera de trazar criterios más rigurosos, se consideró propiedades del catálogo Bridgestone del 2018 (véase Anexo N° 05):

$$De = 60 \text{ cm}$$

#### b) Diámetro del núcleo de plomo:

Con respecto al diámetro del núcleo de plomo, se calcula de acuerdo al diámetro externo. Ante esto Flores y Ravelo (2019) sostuvieron que:

$$Di = De/5$$

$$Di = 60/5$$

$$Di = 12 \text{ cm}$$

c) Altura:

La altura del caucho se consideró de acuerdo a lo establecido en el catálogo, siendo de esta manera:

$$h = 20 \text{ cm}$$

Con los resultados expuestos y mediante el catálogo, se puede inferir el número de capas de caucho y de acero:

Espesor de la lámina de acero = 4 mm

Nº láminas de caucho = 50

Nº láminas de caucho x espesor de lámina de caucho = espesor total

$$50 \times 4 \text{ mm} = \text{espesor total}$$

$$20 \text{ mm} = \text{espesor total}$$

$$\text{Nº láminas de caucho} - 1 = \text{Nº capas de acero}$$

$$49 = \text{Nº capas de acero}$$

#### 5.3.4 Propiedades mecánicas del aislador sísmico

La Norma E.031 mediante la imagen Nº 39 detalla que, mediante este modelo bilineal se describe la relación existente entre la fuerza cortante y el desplazamiento lateral. Dentro de ello, se definen características relacionadas a la fuerza-deformación, las cuales implican las propiedades mecánicas de los dispositivos.

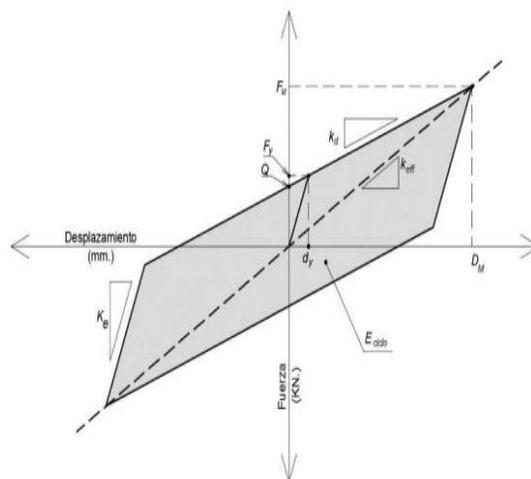


Figura 34: Propiedades nominales del modelo bilineal fuerza – deformación.

Fuente: Norma E.031- Aislamiento sísmico

a) Rigidez Post-Fluencia ( $K_p$ )

Rico y Chio (2012) indicaron la siguiente expresión para determinar el  $K_d$ :

$$K_p = \frac{A_e \times G}{t}$$

Donde:

A<sub>e</sub>: Área del caucho (obtenido del catálogo)

G: Módulo de cortante tangente del caucho (Obtenido del catálogo)

t: Grosor o altura total del caucho

$$K_p = \frac{0.27 \text{ m}^2 \times 39.26 \text{ ton/m}^2}{0.20 \text{ m}}$$

$$K_p = 53.28 \text{ ton/m}$$

b) Rigidez inicial (K<sub>e</sub>)

Rico y Chio (2012) indicaron la siguiente expresión para determinar el K<sub>e</sub>:

$$K_e \leq 10K_d$$

$$K_e \leq 10 \times 53.28 \text{ ton/m}$$

$$K_e \leq 532.76 \text{ ton/m}$$

c) Fuerza característica

Meza y Sanchez (2010) señala que, la fuerza característica o histerética “Q” de los aisladores sísmicos con núcleo de plomo (LRB) es controlada por la fuerza cortante de este mismo. Ante esto, la cortante de fluencia se da en el propio núcleo de plomo a bajos niveles de esfuerzo cortante; pero a pesar de que, el comportamiento histerético es sometido a diversos ciclos de carga, permanece estable.

$$Q = t_y \times A_p$$

Donde:

A<sub>p</sub> = Área de la sección del plomo

T<sub>y</sub> = Esfuerzo de fluencia del plomo

Por otro lado, a manera de un predimensionamiento, se consideró un valor genérico, el cual fue tomado de la investigación de Flores y Ravelo realizada en el 2019, la cual indica un valor de t<sub>y</sub> correspondiente a 812.41 ton/m<sup>2</sup>. De esta manera, calculamos lo siguiente:

$$Q = 812.41 \text{ ton/m}^2 \times \left(\frac{\pi}{4}\right) \times \left(\frac{12\text{cm}}{100\text{cm}}\right)^2 \text{m}^2$$

$$Q = 9.188 \text{ ton}$$

d) Fuerza de fluencia del aislador ( $f_y$ )

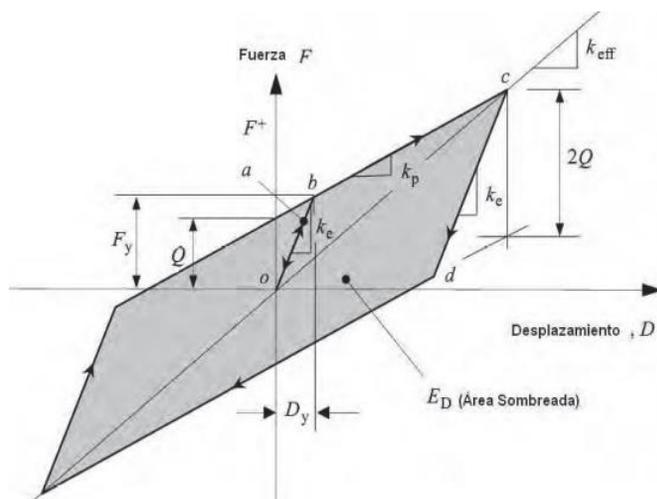


Figura 35: Modelo bilineal – parámetros principales.

Fuente: Meza y Sanchez., 2010

De la Figura N° 40, se puede desprender lo siguiente:

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

Por lo tanto, el  $D_y$  se expresa de la siguiente manera:

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

$$k_e = \frac{F_y - Qd}{D_y}; D_y = \frac{F_y - Qd}{K_d}$$

Mediante la igualdad de las ecuaciones previamente descritas:

$$\frac{F_y}{K_e} = \frac{F_y - Qd}{K_d}$$

$$F_y \left(1 - \frac{kd}{k_e}\right) = Qd; F_y = \frac{Qd}{\left(1 - \frac{kd}{k_e}\right)}$$

Por lo tanto:

$$F_y = \frac{Qd \times K_e}{K_e - K_d}$$

$$F_y = \frac{9.19 \times 532.75}{532.75 - 53.275}$$

$$F_y = 10.21 \text{ ton}$$

e) Desplazamiento de la fluencia del aislador ( $D_y$ )

Mediante la Figura N° 56, se desprende lo siguiente:

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

$$D_y = \frac{10.21 \text{ ton}}{532.75 \text{ ton/m}}$$

$$D_y = 0.019 \text{ m}$$

f) Rigidez Efectiva ( $K_{eff}$ )

La Norma E.031 indica que, las características de fuerza – deformación de un sistema aislado deben estar sujetas a ensayos de carga cíclica.

Ante esto; agrega que, la rigidez efectiva de un dispositivo de aislamiento sísmico, se debe calcular para cada ciclo de carga.

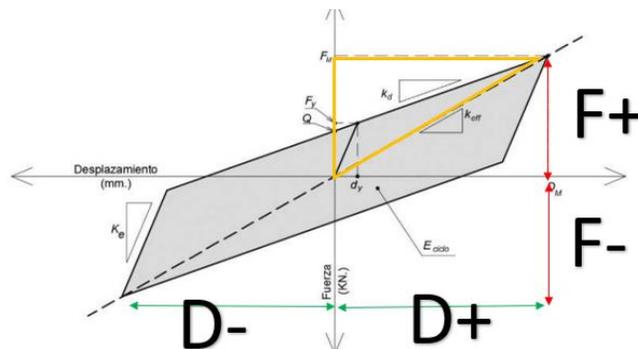


Figura 36: Propiedades nominales del modelo bilineal de la fuerza–deformación del aislador sísmico

Fuente: Norma E. 031 – Aislamiento sísmico

$$K_{eff} = \frac{F^+ + F^-}{D^+ + D^-}$$

Los valores de  $F^+$ ,  $F^-$ ,  $D^+$ ,  $D^-$ , corresponden a fuerzas y desplazamientos máximos.

De la Figura N° 34, se puede deducir lo siguiente:

$$K_d = \frac{F_{\text{máx}} - Q_d}{D_m}; F_{\text{máx}} = Q_d + K_d D_m$$

Mediante la igualdad de las ecuaciones previamente descritas, se obtiene:

$$K_{eff} = \frac{2 F_{\text{máx}}}{2 D_m}; K_{eff} = \frac{Q_d + K_d D_m}{D_m}$$

Por lo tanto:

$$K_{eff} = \frac{Q_d + K_d D_m}{D_m}$$

$$K_{eff} = \frac{9.188 \text{ ton} \frac{53.28 \text{ ton}}{\text{m}} \times 0.269 \text{ m}}{0.269 \text{ m}}$$

$$K_{eff} = 87.407 \text{ ton/m}$$

g) Amortiguamiento efectivo ( $B_{eff}$ )

La Norma E.031, señala que, que el amortiguamiento para cada aislador sísmico, se debe calcular para cada ciclo de carga mediante la siguiente expresión:

$$B_{eff} = \frac{1}{2\pi} \times \frac{E_c}{K_{eff} \times (D^+ + D^-)^2}$$

Siendo que:

$E_c$ : Energía disipada por ciclo

$K_{eff}$ : Rigidez efectiva

$D^+$ ,  $D^-$  corresponden a los desplazamientos máximos, expresados como DM.

h) Energía disipada por ciclo (EDC)

Meza y Sanchez (2010) indican que, el EDC se considera como el área por ciclo y está parametrizada por los  $D^+$ ,  $D^-$ .

$$EDC = 4Q \times (DM - DY)$$

$$EDC = 4 \times 9.188 \text{ ton} \times (0.269 \text{ m} - 0.019 \text{ m})$$

$$EDC = 9.189 \text{ tonm}$$

De esta manera, se calcula el amortiguamiento efectivo:

$$B_{eff} = \frac{1}{2\pi} \times \frac{9.189 \text{ tonm}}{87.407 \text{ ton/m} \times (0.269)^2} = 23\%$$

i) Coeficiente de amortiguamiento horizontal (C)

Flores y Ravelo (2019) indican la siguiente expresión para definir el coeficiente de amortiguamiento horizontal:

$$C = \frac{EDC \times T_{Objetivo}}{2\pi^2 \times DM^2}$$

$$C = \frac{9.189 \text{ tonm} \times 2.5 \text{ s}}{2\pi^2 \times 0.269\text{m}^2}$$

$$C = 50.45 \text{ tons/m}$$

j) Factor de forma del aislador sísmico (S)

Villavicencio (2015), Flores y Ravelo (2019) sostienen en sus investigaciones lo siguiente:

$$S = \frac{\frac{\pi}{4} \times D_e^2 - D_i^2}{\pi \times D_e \times t_r}$$

Siendo:

De = Diámetro exterior de la lámina de caucho

Di = Diámetro interior del plomo

Tr = Espesor de la lámina de caucho

$$S = \frac{\frac{\pi}{4} \times 0.60\text{m}^2 - 0.12\text{m}^2}{\pi \times 0.60 \times 0.004\text{m}}$$

$$S = 36$$

k) Módulo Elástico del aislador sísmico ( $E_o$ )

La Norma E. 031 indica lo siguiente:

$$E_o = f \times G$$

Donde:

F = Se recomienda usar el valor de 4; sin embargo, el proveedor demuestre mediante ensayo ASTM D945 otro valor distinto

G = Módulo de corte del caucho

$$E_o = 4 \times 39.26 \text{ ton/m}^2$$

$$E_o = 157.04 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2}$$

l) Módulo de compresión ( $E_c$ )

La Norma E. 031 indica lo siguiente:

$$E_c = E_o \times (1 + 2KS^2)$$

Donde:

K = La constante en función del módulo de corte.

S = Factor de forma

Eo = Módulo elástico del aislador sísmico

Para el factor "k":

Si G (módulo de corte)  $\leq$  50 psi, K = 0.90

Si G (módulo de corte)  $\leq$  70 psi, K = 0.85

(G = 39.26 ton/m<sup>2</sup> equivale a 55.84 psi)

Si G (módulo de corte)  $\leq$  90 psi, K = 0.75

Si G (módulo de corte)  $\leq$  150 psi, K = 0.65

$$E_c = 157.04 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2} \times (1 + 2 \times 0.85 \times 36^2) = 346147.568 \text{ ton/m}^2$$

m) Módulo de Rigidez vertical ( $E_v$ )

Dynamic Isolation Systems (2017), indica que:

$$E_v = \frac{1}{\frac{1}{E_c} + \frac{1}{K}}$$

Donde:

$E_c$  = Módulo de compresión del aislador sísmico

$K$  = Volumen del caucho

$$E_v = \frac{1}{\frac{1}{346147.568 \text{ ton/m}^2} + \frac{1}{119918.63 \text{ ton/m}^2}}$$

$$E_v = 89063.618 \text{ ton/m}^2$$

n) Rigidez vertical del aislador ( $K_v$ )

Arriagada (2005) sostiene que:

$$K_v = \frac{E_v \times A_n}{N \times t_d}$$

Donde:

$K_v$  = Rigidez vertical del aislador sísmico

$E_v$  = Módulo de rigidez vertical del aislador sísmico

$A_n$  = Área del aislador sísmico (Catálogo)

$N$  = Número de aisladores sísmicos

$$K_v = \frac{89063.618 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2} \times 0.2714 \text{ m}}{41 \times 0.004 \text{ m}}$$

$$K_v = 147389.427 \text{ ton/m}^2$$

o) Distribución geométrica de los aisladores sísmicos en planta

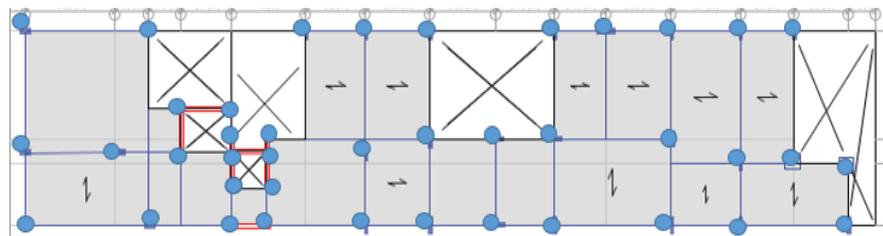


Figura 37: Distribución de los aisladores sísmicos en planta.

Fuente: Elaboración Propia

p) Cálculo de la cortante del sistema de aislamiento ( $V_b$ )

La Norma E. 031 establece lo siguiente:

Donde:

P = Peso sísmico de la estructura

Ps = Peso sísmico de la estructura sobre la interfaz del sistema aislado

Tabla 28: Peso de la edificación con sistema aislado.

Niveles	Peso (ton)
Azotea	158.66
6° piso	305.9
5° piso	305.9
4° piso	305.9
3° piso	305.9
2° piso	305.9
1° piso	305.9
Sistema de aislamiento	282.47
Peso total superestructura	1994.099
Masa total superestructura	203.272 tons <sup>2</sup> /m

Fuente: Elaboración Propia

De la Tabla N° 28, extraemos lo siguiente:

Peso de cada aislador LRB = 0.69 ton (según catálogo Bridgestone 2018)

N° total de aisladores LRB = 41

Peso total del Sistema de aislamiento = 282.47 ton + 0.69 ton x 41

= 310.758 ton

Masa total del Sistema de aislamiento = 31.67 tons<sup>2</sup>m

La Norma E. 031 establece las siguientes ecuaciones:

$$V_b = K_M \times D_M$$

Donde:

KM = Rigidez efectiva del sistema aislado en la dirección horizontal del análisis

DM = Desplazamiento traslacional del centro de rigidez del sistema aislado

Por otro lado, la Norma E. 031 establece la siguiente expresión:

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

$$\left(\frac{T_M}{2\pi}\right)^2 = \frac{P}{K_M g}$$

$$K_M = \frac{4 \pi^2 \times \text{Masa total}}{T_M^2}$$

Con los valores previamente obtenidos, calculamos lo siguiente:

$$K_M = \frac{4 \pi^2 \times (203.27 \frac{\text{tons}^2}{\text{m}} + 31.67 \frac{\text{tons}^2}{\text{m}})}{2.5^2}$$

$$K_M = 1484.07 \frac{\text{tons}^2}{\text{m}}$$

De esta manera, se calcula la cortante del sistema de aislamiento:

$$V_b = 1484.07 \frac{\text{tons}^2}{\text{m}} \times 0.27 \text{ m}$$

$$V_b = 400.69 \text{ ton}$$

q) Cálculo de la cortante del sistema de la superestructura ( $V_{st}$ )

La Norma E. 031 establece la siguiente expresión:

$$V_{st} = V_b \times \left(\frac{P_S}{P}\right)^{(1-2.5 B_M)}$$

$$V_{st} = 400.69 \text{ ton} \times \left(\frac{1994.09 \text{ ton}}{2304.85 \text{ ton}}\right)^{(1-2.5 \times 0.15)}$$

$$V_{st} = 366.02 \text{ ton}$$

### 5.3.5 Verificación de la estabilidad de los aisladores sísmicos

a) Capacidad axial del aislador sísmico

La capacidad axial se define como la fuerza que ejerce a lo largo del eje longitudinal del elemento estructural. A fin de calcular ello, se analiza la carga o peso máximo que soporta mediante el cálculo de la envolvente de las combinaciones de carga indicadas en la Norma E. 031 y descritas previamente.

<b>Tonf</b>	<b>X (m)</b>	<b>Y (m)</b>	<b>X*Pi</b>	<b>Y*Pi</b>
127.3242	-	4.00	-	509.30
119.5829	-	10.65	-	1,273.56
118.8273	9.60	10.65	1,140.74	1,265.51
61.6023	6.13	12.40	377.62	763.87
71.1211	3.83	12.40	272.39	881.90
45.1285	3.83	15.10	172.84	681.44
41.232	7.78	15.10	320.78	622.60
40.7331	5.90	15.10	240.33	615.07
29.2029	5.35	17.00	156.24	496.45
34.4084	5.90	17.00	203.01	584.94
34.8017	7.78	17.00	270.76	591.63
34.3761	5.35	15.10	183.91	519.08
48.1813	9.60	15.10	462.54	727.54
70.4146	-	19.10	-	1,344.92
59.3505	-	25.75	-	1,528.28
88.4585	5.35	29.30	473.25	2,591.83
137.8123	5.35	32.45	737.30	4,472.01
98.6402	-	32.45	-	3,200.87
134.1771	-	38.75	-	5,199.36
176.8314	5.35	38.75	946.05	6,852.22
51.8995	9.60	48.25	498.24	2,504.15
84.4595	6.50	45.35	548.99	3,830.24
43.0996	6.50	48.25	280.15	2,079.56
144.5165	6.00	4.00	867.10	578.07
145.9193	5.99	10.65	874.06	1,554.04
43.8108	9.60	17.20	420.58	753.55
112.0837	9.60	38.75	1,076.00	4,343.24
63.4377	-	45.35	-	2,876.90
103.4849	9.60	32.45	993.46	3,358.09
92.9211	9.60	29.30	892.04	2,722.59
114.2045	5.35	25.75	610.99	2,940.77
83.7415	9.60	25.75	803.92	2,156.34
88.0341	-	22.30	-	1,963.16
130.8944	5.35	22.30	700.29	2,918.95
80.9785	9.60	22.30	777.39	1,805.82
98.1846	5.35	19.10	525.29	1,875.33
98.1103	-	42.45	-	4,164.78
130.9919	6.50	42.45	851.45	5,560.61
86.739	9.60	42.45	832.69	3,682.07
91.4923	9.60	4.05	878.33	370.54
69.1129	9.60	19.10	663.48	1,320.06
<b>3,530.32</b>			<b>19,052.20</b>	<b>88,081.21</b>

Figura 38: Peso máximo por elemento.

Fuente: Elaboración Propia

b) Capacidad al volteo

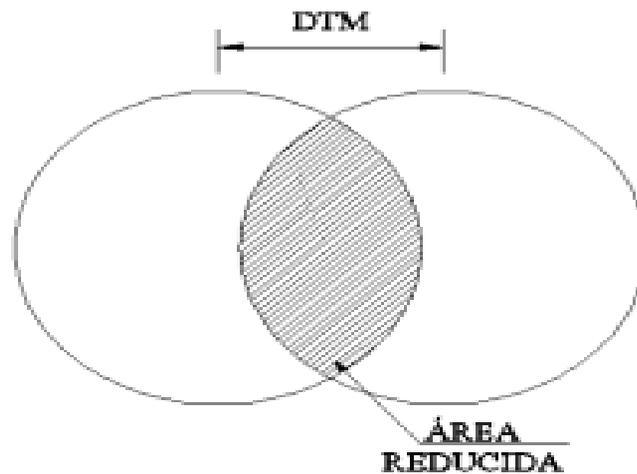


Figura 39: Vista en planta de la reducción del área del aislador con respecto al DTM.

Fuente: Dynamic Isolation Systems (2017)

La Norma E. 031 sostiene la siguiente expresión:

-Área reducida:

$$Ar = A_A \times 2 \times \left[ \frac{De^2 \times \text{Sen}^1 \left( \frac{\sqrt{De^2 - DTM^2}}{De} - DTM \times \sqrt{De^2 - DTM^2} \right)}{\pi \times De^2} \right]$$

Siendo que:

$A_a = \text{Área del aislador sísmico} = 0.279 \text{ m}^2$

$De = \text{Diámetro del aislador sísmico}$

$DTM = \text{Desplazamiento total}$

$$0.5858 \text{ m}^2 \times \left[ \frac{0.60 \text{ m}^2 \times \text{Sen}^1 \left( \frac{\sqrt{0.60 \text{ m}^2 - 0.32 \text{ m}^2}}{0.60 \text{ m}} - 0.32 \text{ m} \times \sqrt{0.60 \text{ m}^2 - 0.32 \text{ m}^2} \right)}{\pi \times 0.60 \text{ m}^2} \right]$$

$$Ar = 0.10 \text{ m}^2$$

-Peso crítico:

La Norma E. 031 sostiene la siguiente expresión:

$$p_T = \frac{\pi}{\sqrt{8}} \times G \times S \times \frac{De}{N \times tr} \times A_r$$

Siendo que:

$N = \text{Número de capas de caucho}$

$Tr = \text{Espesor de capa de caucho}$

$$p_T = \frac{\pi}{\sqrt{8}} \times 39.26 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2} \times 36 \times \frac{0.60 \text{ m}}{50 \times 0.004} \times 0.10 \text{ m}^2$$

$$p_T = 477.07 \text{ ton}$$

-Deformación por corte respecto a la deformación:

La Norma E. 031 sostiene la siguiente expresión:

$$\gamma_D = \frac{\text{DTM}}{\text{Hr}} \leq 2.5$$

Siendo que:

DTM = Desplazamiento total máximo

Hr = Altura del aislador

$$\gamma_D = \frac{0.32 \text{ m}}{0.20 \text{ m}} \leq 2.5$$

$$\gamma_D = 1.59 \leq 2.5$$

-Deformación por corte respecto a la compresión:

La Norma E. 031 sostiene la siguiente:

$$\gamma_\theta = \frac{0.375 \times \text{De}^2 \times \theta}{\text{Hr} \times \text{tr}}$$

Siendo que:

$$\theta \geq 0.003 \text{ rads}$$

$$\gamma_\theta = \frac{0.375 \times 0.60 \text{ m}^2 \times 0.003}{0.20 \text{ m} \times 0.004 \text{ m}}$$

$$\gamma_\theta = 0.844$$

-Deformación total por corte:

La Norma E. 031 sostiene la siguiente expresión para determinar deformación total por corte:

$$\gamma_\theta = \gamma_D + \gamma_C + 0.5 \gamma_\theta \leq 6$$

$$\gamma_\theta = 1.59 + 1.28 + 0.5 \times 0.84 \leq 6$$

$$\gamma_\theta = 3.29 \leq 6$$

### 5.3.6 Análisis Dinámico Modal Espectral

El análisis modal espectral para las direcciones “x” e “y”, se consideró el espectro a un 100% en dirección del análisis más un 30% en la dirección perpendicular.

**General**

Load Case Name: SDX - AISL [Design...]  
Load Case Type: Response Spectrum [Notes...]  
Mass Source: Previous (MsSrc1)  
Analysis Model: Default

**Loads Applied**

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U1	1.5ZUCS	9.8067
Acceleration	U2	1.5ZUCS	2.942

[Add] [Delete] [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 [Modify/Show...]  
Diaphragm Eccentricity: 0 for All Diaphragms [Modify/Show...]

[OK] [Cancel]

Figura 40: Definición de los factores de escalamiento del análisis modal

Fuente: Elaboración Propia

Dentro del programa Etabs V.2019.0.0, se va a considerar el factor del coeficiente de amortiguamiento; debido que, no se consideró dentro del espectro de diseño de pseudo aceleraciones.

#### a) Espectro pseudo aceleración

Para cada dirección se utilizará un espectro inelástico de pseudo aceleración definido en la siguiente ecuación:

$$S_a = 1.5 ZUCSg$$

Donde “Sa” y “g” corresponden a la aceleración espectral y la gravedad.



Figura 41: Espectro de Pseudo-aceleraciones.

Fuente: Elaboración Propia

b) Modos de vibración del sistema aislado

Tabla 29: Modos de vibración del sistema aislado

Modo	Periodo (s)	% Masa acumulada X-X	% Masa acumulada Y-Y	% Masa acumulada Z-Z
1	1.829	26.70	1.30	71.30
2	1.689	41.90	84.40	72.70
3	1.682	99.50	99.80	99.50
4	0.385	99.80	99.80	99.90
5	0.296	99.90	99.90	100
6	0.291	100	100	100
7	0.156	100	100	100

Fuente: Elaboración Propia

De este modo según la Tabla N° 29, se demuestra que en el tercer modo de vibración alcanza el 90% de la participación de la masa para el eje z.

c) Fuerzas cortantes Vb y Vs

Tabla 30: Fuerzas cortantes del análisis dinámico modal.

Dirección	Cortante del Sistema aislado			Cortante sobre la superestructura		
	Vb (ton)	Vb mín (ton)	Factor de escala	Vs (ton)	Vs mín (ton)	Factor de escala
X	446.38	400.69	1	388.67	364.87	1
Y	453.74	400.69	1	388.67	364.87	1

Fuente: Elaboración Propia

De la Tabla N° 30, se indica que no existe un factor de escala; debido que, las fuerzas cortantes en el sistema de aislamiento y sobre la superestructura son mayores a las requeridas por la Norma E. 031.

d) Desplazamientos y derivas

En las Tablas N° 33 y 34, se muestran las derivas obtenidas en ambas direcciones, las cuales se cumplen con lo indicado en la Norma E.031, la cual indica que, la condición es no superar el límite de 0.0035.

Tabla 31: Derivas obtenidas en dirección x.

Niveles	Desplaz. en x (m)	Desplaz. Relativo (m)	Altura de entrepiso (m)	Deriva inelástica (m)	Condición $\Delta < 0.0035$
Azotea	0.156168	0.000243	2.5	0.0000972	Cumple
6° piso	0.156411	0.002836	2.5	0.0011344	Cumple
5° piso	0.153575	0.003622	2.5	0.0014488	Cumple
4° piso	0.149953	0.004339	2.5	0.0017356	Cumple
3° piso	0.145614	0.005028	2.5	0.0020112	Cumple
2° piso	0.140586	0.005562	2.5	0.0022248	Cumple
1° piso	0.135024	0.005848	2.5	0.0023392	Cumple

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 32: Derivas obtenidas en dirección y.

Niveles	Desplaz. en y (m)	Desplaz. Relativo (m)	Altura de entrepiso (m)	Deriva inelástica (m)	Condición $\Delta < 0.0035$
Azotea	0.151856	0.002232	2.5	0.0008928	Cumple
6° piso	0.149624	0.002319	2.5	0.0009276	Cumple
5° piso	0.147305	0.002696	2.5	0.0010784	Cumple
4° piso	0.144609	0.003083	2.5	0.0012332	Cumple
3° piso	0.141526	0.003383	2.5	0.0013532	Cumple
2° piso	0.138143	0.003479	2.5	0.0013916	Cumple
1° piso	0.134664	0.003253	2.5	0.0013012	Cumple

Fuente: Elaboración Propia

### 5.3.7 Análisis Tiempo-Historia

Para realizar el análisis tiempo – historia, se consideró lo dictado por la Norma E. 031, la cual indica que, se debe tomar en cuenta siete pares de registros sísmicos, como se encuentra descrito en la Tabla N° 32.

Estos pares de registros han sido extraídos de la base de datos del Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID). Las componentes que fueron analizadas corresponden a NS y EW.

Tabla 33: Registro sísmicos.

Número	Fecha	País	Epicentro	Magnitud
1	22 de junio del 2021	Perú	Cañete	6.0 Mw
2	15 de agosto del 2007	Perú	Ica	7.0 Mw
3	25 de setiembre del 2005	Perú	Moyobamba	7.5 Mw
4	23 de junio del 2001	Perú	Arequipa	8.4 Mw
5	03 de octubre del 1974	Perú	Lima	7.7 Mw
6	31 de mayo del 1970	Perú	Áncash	7.9 Mw
7	17 de octubre de 1966	Perú	Lima	8.1 Mw

Fuente: Elaboración Propia

Se realizó el escalamiento de los siete pares de registros sísmicos mediante el software Seísmo Match 2022, en donde se ingresó un espectro de pseudo-aceleraciones con un  $R = 1$ , como se aprecia en la Figura N° 42.

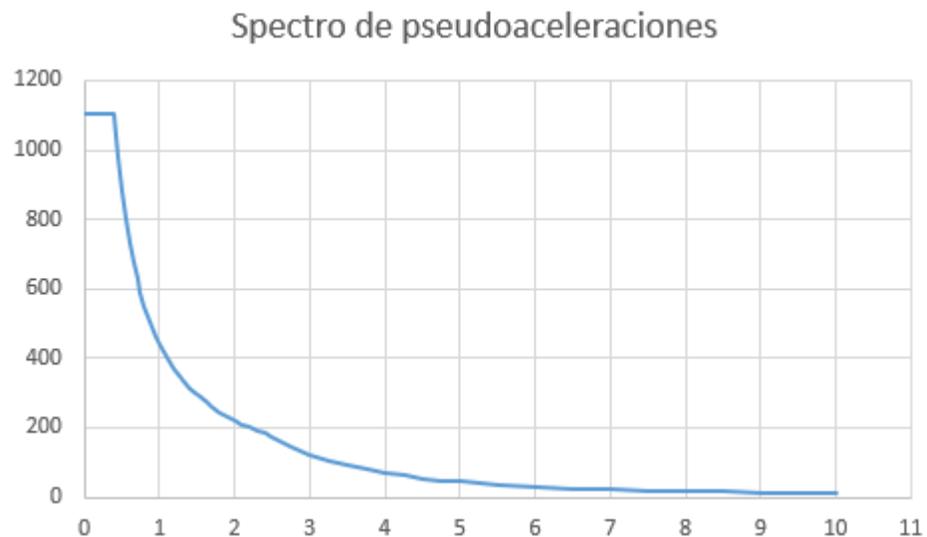


Figura 42: Spectro de pseudo aceleración con  $R=1$ .

Fuente: Elaboración Propia

Con respecto al escalamiento de los registros sísmicos en el software Seísmo Match 2022, se ingresó el espectro de pseudo aceleración con  $R=1$ . Asimismo, se ingresaron los parámetros máximos y mínimos, tal como indica el inciso 15.6 del artículo 15 de la norma E.031 en las siguientes expresiones:

$$\text{Min periodo} = 0.75 \times T_M$$

$$\text{Máx periodo} = 1.25 \times T_M$$

Con ello, se obtiene:

$$\text{Min periodo} = 0.75 \times 1.689 = 1.26 \text{ s}$$

$$\text{Máx periodo} = 1.25 \times 1.689 = 2.11 \text{ s}$$

Con relación a lo descrito previamente, se muestra un ejemplo del escalamiento de uno de los registros sísmicos, ingresando los valores previamente descritos. Mediante la Figura N° 43, se observa el escalamiento en el Seísmo Match, observándose el registro original. Sin embargo, en la Figura N° 44, se observa el escalamiento mediante el “match” del registro sísmico.

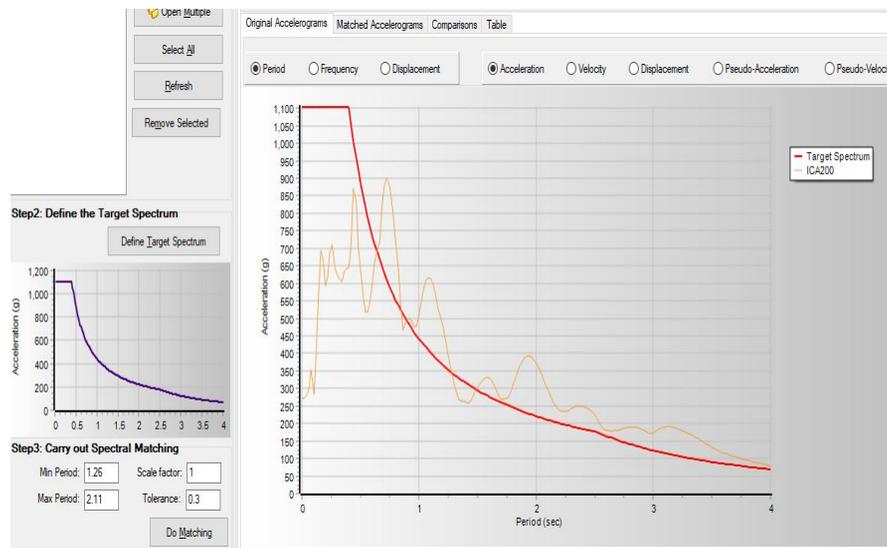


Figura 43: Escalamiento Seísmo Match.

Fuente: Elaboración Propia

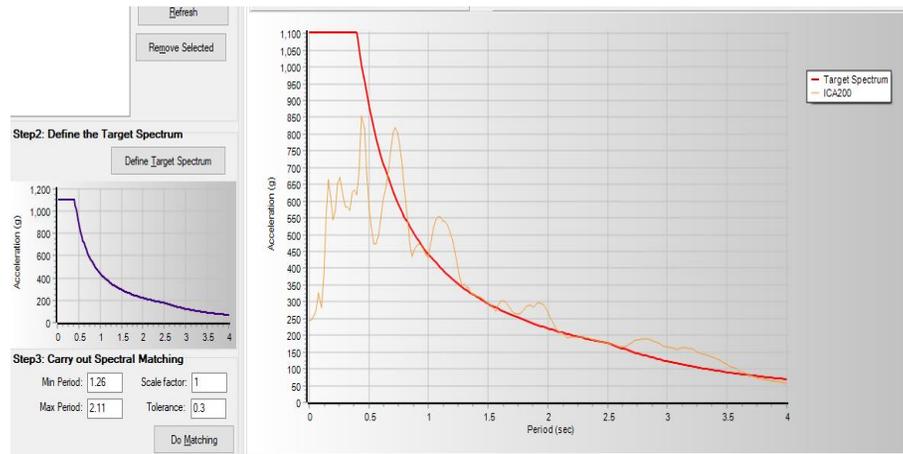


Figura 44: Escalamiento Seismo Match.

Fuente: Elaboración Propia

En ese sentido, se presentan los registros sísmicos escalados más representativos en las Figuras N° 41. 42 y 43.

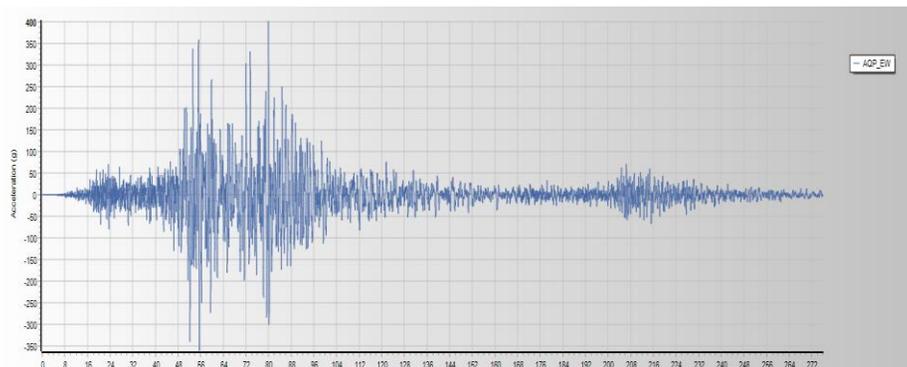


Figura 45: Sismo Arequipa del 2001 – componente EW.

Fuente: Elaboración Propia

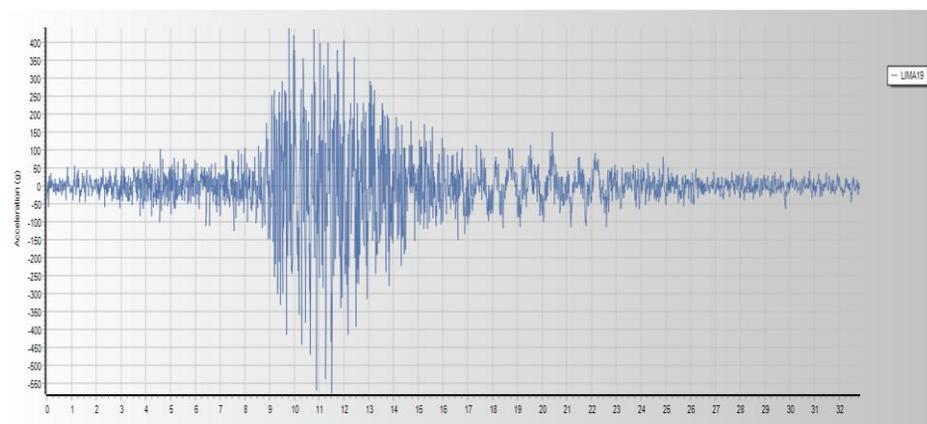


Figura 46: Sismo Lima del 1966 – Componente EW

Fuente: Elaboración Propia

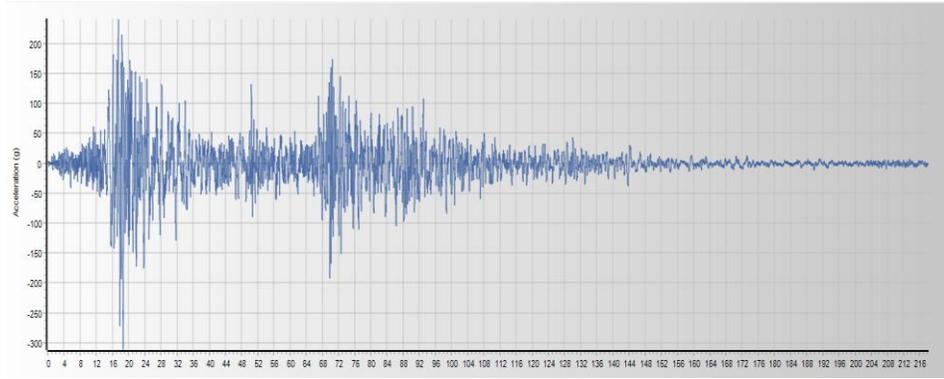


Figura 47: Sismo Ica del 2007 – Componente EW

Fuente: Elaboración Propia

a) Ingreso de los aisladores sísmicos al Etabs

Para realizar el proceso de ingreso de los aisladores sísmicos al Etabs, se consideró las siguientes propiedades obtenidas previamente:

Rigidez vertical del aislador ( $K_v$ ): 147389.427 ton/m<sup>2</sup>.

Rigidez efectiva ( $K_{eff}$ ): 87.41 ton/m.

El Coeficiente de amortiguamiento o damping ( $C$ ): 50.45 tons/m.

Rigidez inicial ( $K_d$ ): 532.75 ton/m.

Fuerza de Fluencia ( $F_y$ ): 10.21 ton.

Como se observa en las imágenes N° 48, 49 y 50, se definieron las propiedades descritas anteriormente.

Figura 48: Ingreso de propiedades del aislador sísmico

Fuente: Elaboración Propia

**E** Link/Support Directional Properties X

Identification	
Property Name	LRB
Direction	U1
Type	Rubber Isolator
NonLinear	No

Linear Properties	
Effective Stiffness	147389.43 tonf/m
Effective Damping	0 tonf-s/m

Figura 49: Rigidez efectiva del aislador.

Fuente: Elaboración Propia

**E** Link/Support Directional Properties

Identification	
Property Name	LRB
Direction	U2
Type	Rubber Isolator
NonLinear	Yes

Linear Properties	
Effective Stiffness	87.41 tonf/m
Effective Damping	50.45 tonf-s/m

Shear Deformation Location	
Distance from End-J	0 m

Nonlinear Properties	
Stiffness	532.76 tonf/m
Yield Strength	10.21 tonf
Post Yield Stiffness Ratio	0.1

Figura 50: Ingreso de propiedades del aislador sísmico

Fuente: Elaboración Propia

b) Derivas

Tabla 34: Promedio de derivas en x e y del sistema aislado.

Niveles	Promedio de derivas en x	Promedio de derivas en y	Condición $\Delta < 0.005$
Azotea	0.00117377	0.00089329	Cumple
6° piso	0.00150963	0.00080297	Cumple
5° piso	0.00190077	0.00090943	Cumple
4° piso	0.0020824	0.00102694	Cumple
3° piso	0.00214323	0.00105737	Cumple
2° piso	0.00228326	0.00112537	Cumple
1° piso	0.00234863	0.00111614	Cumple

Fuente: Elaboración Propia

Mediante la Tabla N° 34 se observa el promedio de derivas obtenidas de los siete pares de registros considerados en la presente investigación. Asimismo, estos resultados reflejan que se encuentran dentro del límite establecido en el ítem 26.4 de la Norma E. 031, la cual indica que estas no deben superar el límite de 0.005.

## **CAPÍTULO VI: COMPARACIÓN E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

### 6.1 Comparación Técnica

#### 6.1.1 Del Análisis Modal Espectral

##### Desplazamientos

Mediante la Tabla N° 35 y las Figuras N° 51 y 52, se observa que, la estructura con sistema dual presenta un menor desplazamiento correspondiente a un valor de 0.016 m en la dirección x en comparación al sistema aislado que alcanza el 0.156 m, de la misma manera para la dirección y, en la que la estructura con sistema dual presenta un menor desplazamiento con un valor de 0.0045 m en comparación al sistema aislado que alcanza el 0.152 m. El incremento promedio presentado en ambas direcciones se da en un 99%, tal y como refiere Nuñez (2014) en su investigación, los desplazamientos se incrementan debido a que, el sistema de aislamiento sísmico concentra la sollicitación sísmica percibida por medio de su interfaz de aislamiento. Por otro lado, se observa que, los resultados vistos en la Tabla N° 35 y las Figuras N° 51 y 52 coinciden con los resultados de Flores y Ravelo (2019), los cuales demuestran que existe un incremento en los desplazamientos al incluir aisladores sísmicos a una edificación.

Tabla 35: Desplazamientos en x e y.

Niveles	Desplaz. sistema dual en x (m)	Desplaz. sistema aislado en x (m)	% aumento en x	Desplaz. sistema dual en y (m)	Desplaz. sistema aislado en y (m)	% aumento en y
Azotea	0.016775	0.156168	89%	0.004542	0.151856	97%
6° piso	0.015093	0.156411	90%	0.003835	0.149624	97%
5° piso	0.012796	0.153575	92%	0.003092	0.147305	98%
4° piso	0.010118	0.149953	93%	0.002329	0.144609	98%
3° piso	0.007187	0.145614	95%	0.001581	0.141526	99%
2° piso	0.004234	0.140586	97%	0.000899	0.138143	99%
1° piso	0.001621	0.135024	99%	0.000339	0.134664	99%

Fuente: Elaboración Propia

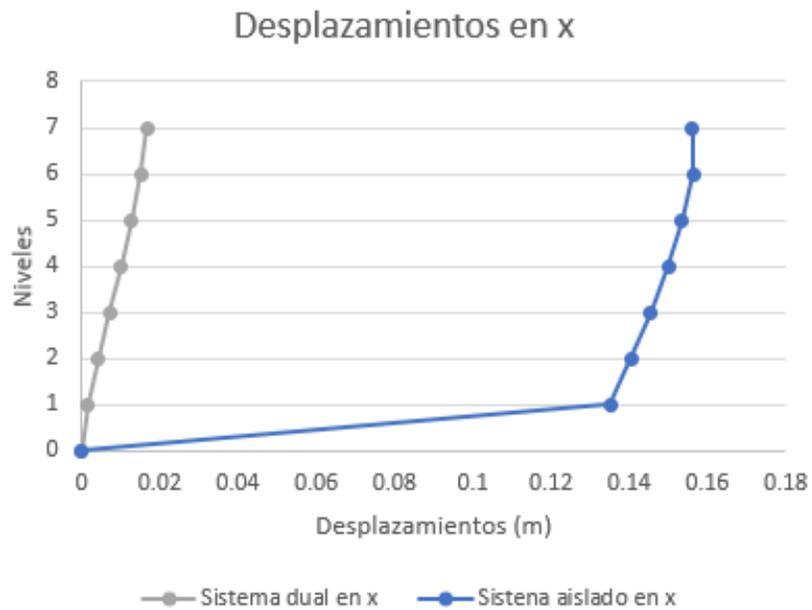


Figura 51: Desplazamientos en x

Fuente: Elaboración Propia

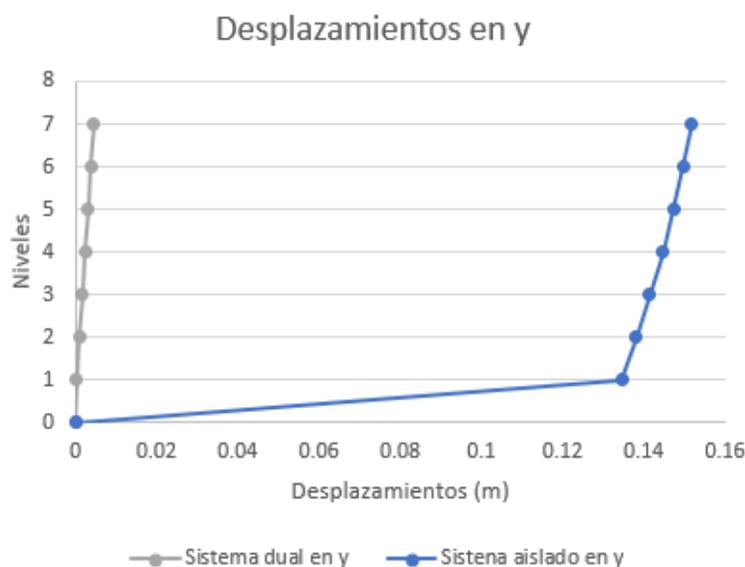


Figura 52: Desplazamientos en y

Fuente: Elaboración Propia

### Derivas

La comparación de las derivas que se obtuvieron entre ambos sistemas se observa mediante la Tabla N° 36. Por otro lado, mediante las Figuras N° 53 y 54, se visualiza la variación gráfica de las derivas para las direcciones x e y; demostrando que, para ambos sistemas se cumple con los límites de 0.007 de la Norma E 030 y 0.0035 para el análisis dinámico modal espectral de la Norma E 031. Sin embargo, el sistema aislado representa una reducción de un 97% en la dirección x, mientras que en la dirección y, presenta una disminución de un 67%. Siendo que, en esta última dirección, la reducción de derivas no se presenta con mucha amplitud, debido que, desde un inicio la edificación con sistema dual presentaba Muros estructurales a lo largo de este eje, lo cual aporta una rigidez importante, permitiendo que se obtenga un buen desempeño sísmico.

De esta manera, se contrasta con los resultados vistos en otras investigaciones, como sostiene Baldeón (2020) dentro de su tesis, el sistema de aislamiento sísmico con aisladores de núcleo de plomo participa en la reducción de las derivas, debido a la inclusión del aislamiento sísmico, la cual produce un aumento en el periodo de la estructura, permitiendo disminuir de manera considerable los desplazamientos entrepisos llevando a una disminución de las derivas.

Tabla 36: Derivas en x e y.

Niveles	Derivas sistema dual en x (m)	Derivas sistema aislado en x (m)	% reducción en x	Derivas sistema dual en y (m)	Derivas sistema aislado en y (m)	% reducción en y
Azotea	0.00496944	0.0000972	97%	0.00271728	0.0008928	67%
6° piso	0.00541926	0.0011344	79%	0.00118881	0.0009276	22%
5° piso	0.00633497	0.0014488	77%	0.00119799	0.0010784	10%
4° piso	0.00695079	0.0017356	75%	0.0011475	0.0012332	0%
3° piso	0.00703112	0.0020112	71%	0.00106488	0.0013532	0%
2° piso	0.00628142	0.0022248	65%	0.00088587	0.0013916	0%
1° piso	0.00381812	0.0023392	39%	0.00054162	0.0013012	0%

Fuente: Elaboración Propia

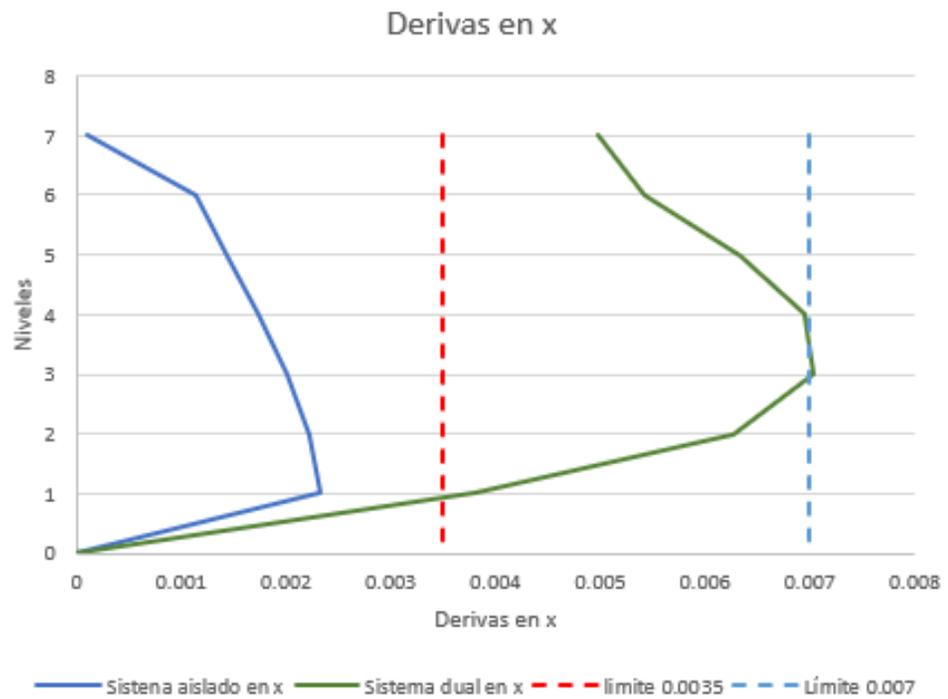


Figura 53: Derivas en x

Fuente: Elaboración Propia

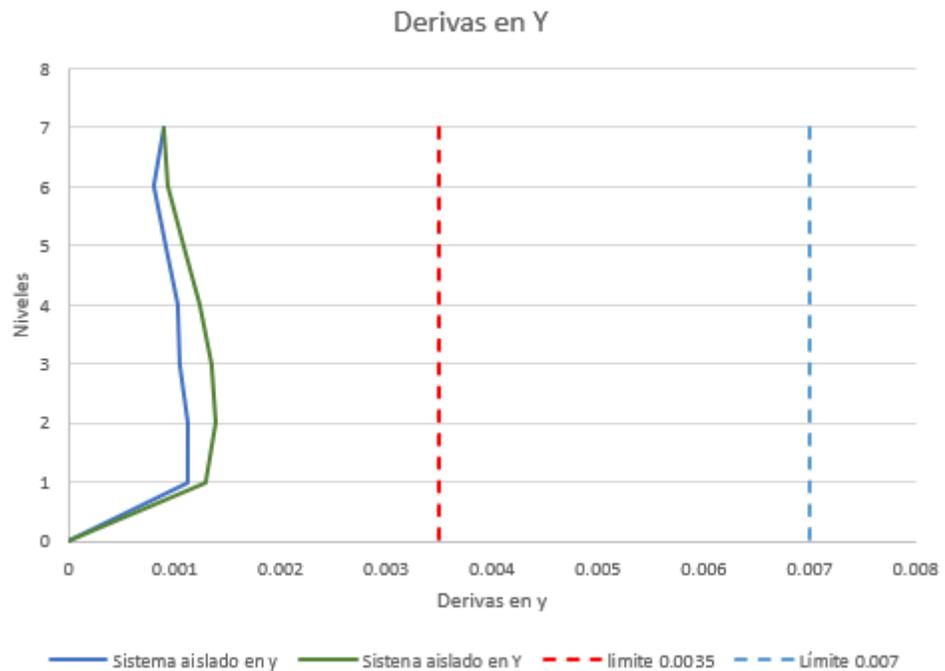


Figura 54: Derivas en y

Fuente: Elaboración Propia

#### Aceleraciones

La comparación de las aceleraciones que se obtuvieron entre ambos sistemas se observa mediante la Tabla N° 37. Por otro lado, mediante las Figuras N° 55 y 56, se visualiza la variación gráfica de las aceleraciones para las direcciones x e y.

Existe una reducción con respecto a ambas direcciones; debido que, la inclusión de un sistema aislado genera un aumento de periodo en la estructura, lo que da a lugar que las aceleraciones que se presenten sean menores. Para la dirección x, se obtuvo una reducción del 41% y un 52% para la dirección y.

De esta manera, se contrasta con los resultados indicados por Quispe y Quispe (2021), en los cuales se observa que, las aceleraciones obtenidas por parte del sistema aislado se ven reducidas en una sexta parte con respecto a las aceleraciones del sistema convencional, en ese caso, un sistema aporticado. Asimismo, indica que esto se debe principalmente a que la estructura aislada representa mayores periodos, los cuales hacen que las aceleraciones se vean reducidas.

Tabla 37: Aceleraciones en x e y.

Niveles	Aceleración sistema dual en x (cm2/s)	Aceleración sistema aislado en x (cm2/s)	% reducción en x	Aceleración sistema dual en y (cm2/s)	Aceleración sistema aislado en y (cm2/s)	% reducción en y
Azotea	3.7692	2.2201	41%	4.373	2.0862	52%
6° piso	3.6373	2.15161	18%	3.3035	2.042	38%
5° piso	2.2214	2.1037	36%	2.6834	2.009	25%
4° piso	2.0613	2.0629	0%	2.3049	1.9867	14%
3° piso	1.9274	2.032	0%	2.0098	1.9767	0%
2° piso	1.703	2.0087	0%	1.6559	1.9775	0%
1° piso	1.0993	2.1142	0%	1.1179	1.9834	0%

Fuente: Elaboración Propia

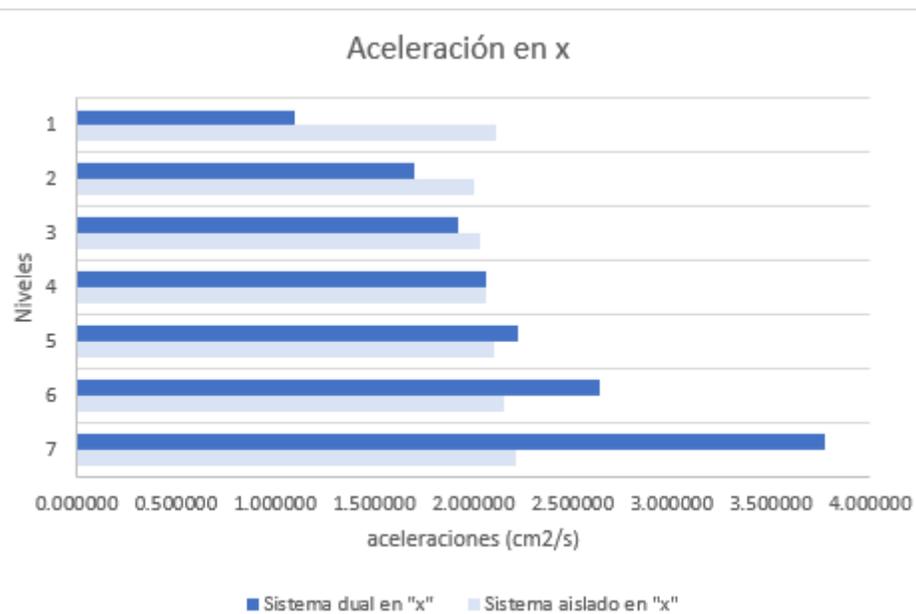


Figura 55: Aceleración en x

Fuente: Elaboración Propia

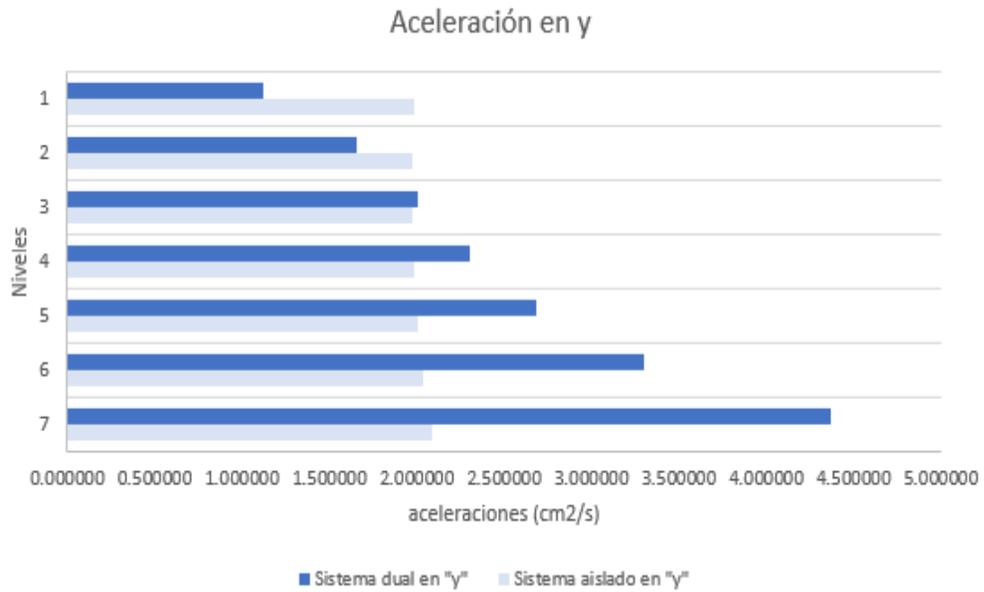


Figura 56: Aceleración en y

Fuente: Elaboración Propia

### 6.1.2 Del Análisis Tiempo Historia

#### Desplazamientos

La comparación de los desplazamientos se observa mediante la Tabla N° 38 y en la Figura N° 57 y Figura N° 58 en las cuales se muestra que, la inclusión del sistema aislado a la edificación permite que los desplazamientos sean mayores. Con respecto a la dirección x, se observa que, el aumento está medido en un 97% en comparación al sistema dual; por otro lado, en la dirección y, el incremento se da en un 99%.

Los resultados vistos coinciden con los de Flores y Ravelo (2019), los cuales demuestran que existe un incremento en los desplazamientos al incluir aisladores sísmicos a una edificación.

Tabla 38: Comparación de desplazamientos en x e y entre el sistema aislado y el dual.

Niveles	Desplaz. sistema dual en x (m)	Desplaz. sistema aislado en x (m)	% aum. en x	Desplaz. sistema dual en y (m)	Desplaz. sistema aislado en y (m)	% aum. en y
Azotea	0.016775	0.08146707	79%	0.004542	0.07346457	94%
6° piso	0.015093	0.08326993	82%	0.003835	0.07123136	95%
5° piso	0.012796	0.07949586	84%	0.003092	0.06922393	96%
4° piso	0.010118	0.07474393	86%	0.002329	0.06695036	97%
3° piso	0.007187	0.06953793	90%	0.001581	0.064383	98%
2° piso	0.004234	0.06411798	93%	0.000899	0.06173957	99%
1° piso	0.001621	0.05847171	97%	0.000339	0.05892614	99%

Fuente: Elaboración Propia

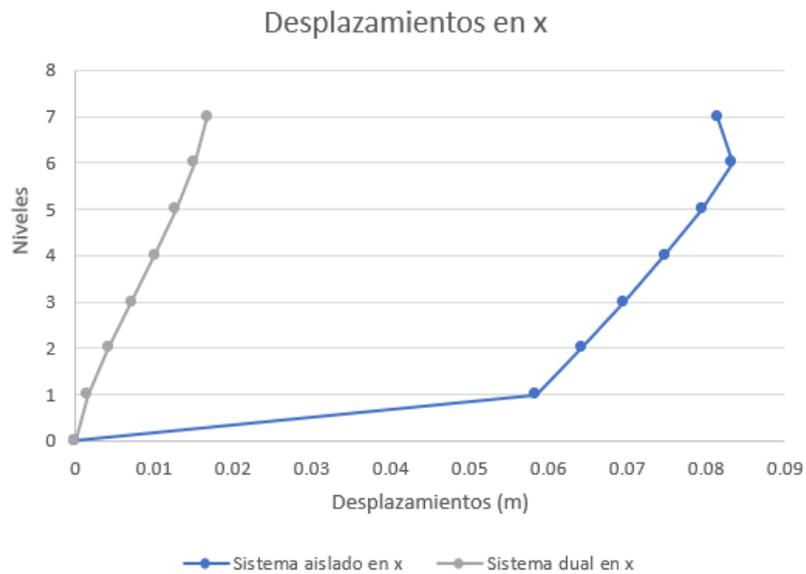


Figura 57: Desplazamientos en el eje x

Fuente: Elaboración Propia



Figura 58: Desplazamiento en el eje y

Fuente: Elaboración Propia

### Derivas

La comparación de las derivas que se obtuvieron entre ambos sistemas se observa mediante la Tabla N° 39. Por otro lado, mediante las Figuras N° 59 y 60, se visualiza la variación gráfica de las derivas para las direcciones x e y; demostrando que, para ambos sistemas se cumple con los límites de 0.007 de la Norma E 030 y 0.005 para el análisis Tiempo - Historia de la Norma E 031. Sin embargo, el sistema aislado representa una reducción de un 76% en la dirección x, mientras que en la dirección y, presenta una disminución de un 67%.

En esta última dirección, la reducción de derivas no se presenta con mucha amplitud, debido que, desde un inicio la edificación con sistema dual presentaba Muros estructurales a lo largo de este eje, lo cual aportaba una rigidez importante, permitiendo que se obtenga un buen desempeño sísmico. Asimismo, los resultados obtenidos referente a la reducción de las derivas se contrastan con los resultados de Davila y Hinojosa (2019), los cuales demuestran que, las derivas obtenidas en la estructura con sistema aislado disminuyen en un 56% para la dirección x y un 70% en la dirección y.

Tabla 39: Derivas en x e y.

Niveles	Derivas sistema dual en x (m)	Derivas sistema aislado en x (m)	% Reduc. en x	Derivas sistema dual en y (m)	Derivas sistema aislado en y (m)	% Reduc. en y
Azotea	0.00496944	0.00117377	76%	0.00271728	0.00089329	67%
6° piso	0.00541926	0.00150963	72%	0.00118881	0.00080297	32%
5° piso	0.00633497	0.00190077	70%	0.00119799	0.00090943	24%
4° piso	0.00695079	0.0020824	70%	0.0011475	0.00102694	11%
3° piso	0.00703112	0.00214323	70%	0.00106488	0.00105737	1%
2° piso	0.00628142	0.0028326	55%	0.00088587	0.00112537	0%
1° piso	0.00381812	0.00234863	38%	0.00054162	0.00111614	0%

Fuente: Elaboración Propia

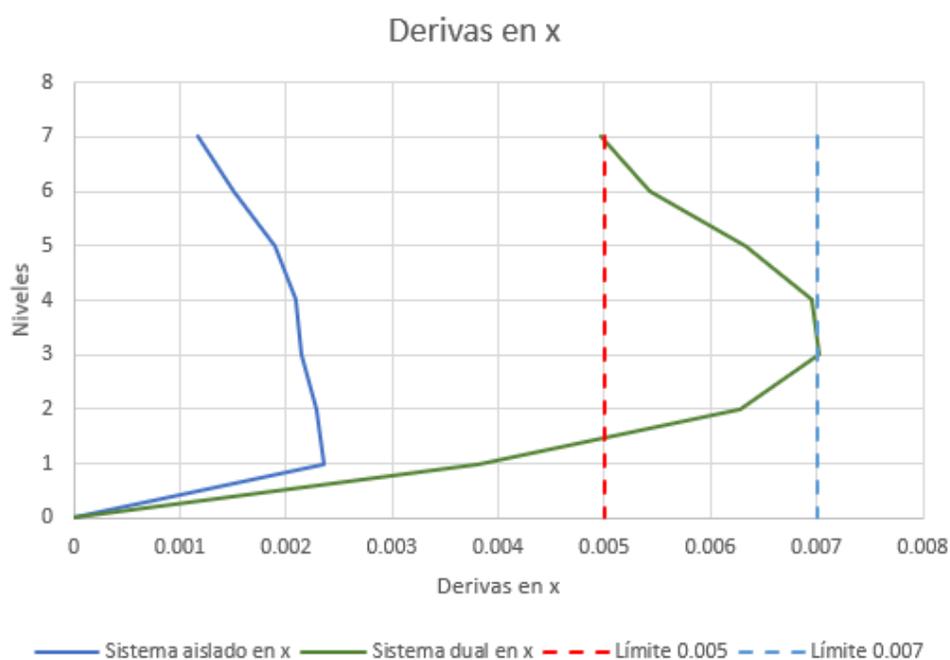


Figura 59: Derivas en el eje x

Fuente: Elaboración Propia

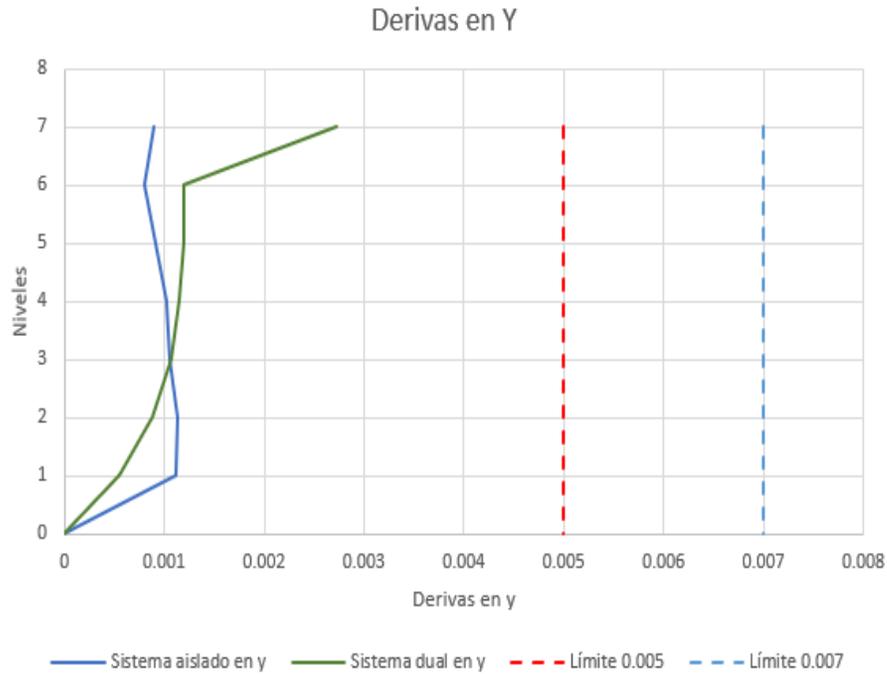


Figura 60: Derivas en el eje y

Fuente: Elaboración Propia

#### Acercaciones

La comparación de las aceleraciones que se obtuvieron entre ambos sistemas se observa mediante la Tabla N° 40. Por otro lado, mediante la Figura N° 61 y Figura N° 62, se visualiza la variación gráfica de las aceleraciones para las direcciones x e y. De esta manera, se observa que no existe una reducción en aceleraciones dentro de ambas direcciones. Sin embargo, la diferencia en las aceleraciones de la dirección “y” es mínima. Cabe precisar que, mediante los resultados obtenidos previamente del Análisis Modal Espectral, se obtuvo una reducción del 50% en aceleraciones, esto último se alinea a lo mencionado por Muñoz (2015), quien comparó respuestas entre los Análisis correspondientes al Tiempo Historia y el Dinámico Modal Espectral, sosteniendo que para este último las respuestas son menores, debido que, se considera una reducción por amortiguamiento. Asimismo, se tiene en cuenta que, un Análisis Modal Espectral es un análisis de tipo lineal que no variará en el tiempo, dentro de este análisis se le considera un amortiguamiento fijo, lo cual permite que su espectro se reduzca; sin embargo, en un Análisis Tiempo Historia no lineal se ingresa propiedades no lineales, los cuales no consideran un factor de amortiguamiento a la estructura, sino que, trabaja bajo la disipación de

energía como se puede observar en el diagrama bilineal (véase Figura N° 35), dentro de este se observa cómo trabaja la disipación de energía del aislador que vendría a ser el amortiguamiento, sin embargo, este está sujeto a la variación temporal. Asimismo, cabe agregar que, los resultados del Análisis Tiempo Historia corresponden al promedio de siete pares de registros sísmicos, los cuales representan diversas respuestas y de esta manera se presentan valores magnificados.

Tabla 40: Comparación de aceleraciones en x e y entre el sistema aislado y el dual.

Niveles	Aceleración sistema dual en x (cm2/s)	Aceleración sistema aislado en x (cm2/s)	% Reduc. en x	Aceleración sistema dual en y (cm2/s)	Aceleración sistema aislado en y (cm2/s)	% Reduc. en x
Azotea	3.7692	7.433685714	0	4.373	5.333792857	0
6° piso	3.6373	6.177307143	0	3.3035	4.123607143	0
5° piso	2.2214	4.15475	0	2.6834	3.1111	0
4° piso	2.0613	3.170114286	0	2.3049	2.407114286	0
3° piso	1.9274	3.676714286	0	2.0098	2.507535714	0
2° piso	1.703	4.703728571	0	1.6559	2.939892857	0
1° piso	1.0993	5.823935714	0	1.1179	3.350771429	0

Fuente: Elaboración Propia

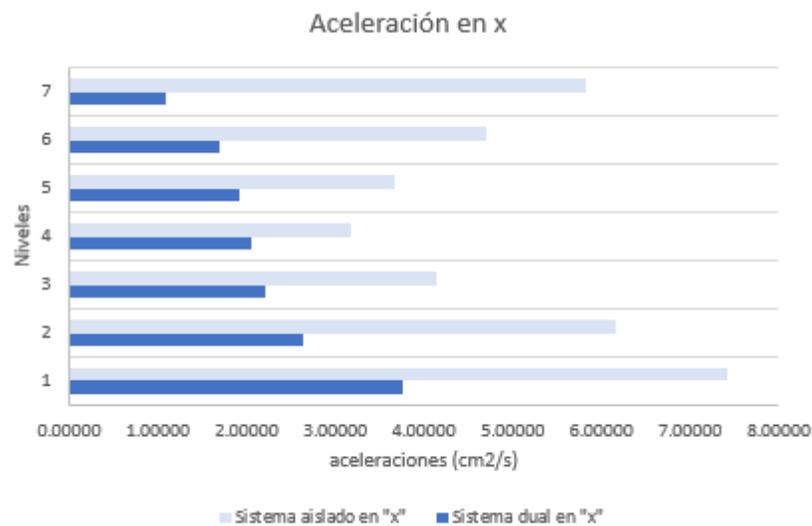


Figura 61: Aceleraciones en x

Fuente: Elaboración Propia

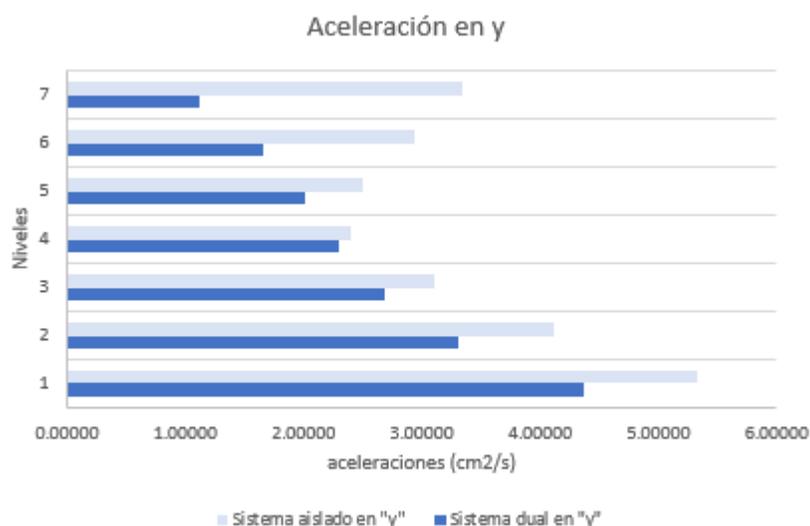


Figura 62: Aceleraciones en y

Fuente: Elaboración Propia

## 6.2 Comparación Económica

### a) Presupuesto del sistema Dual

Tabla 41: Presupuesto de la Edificación con Sistema Dual.

Presupuesto del Sistema Dual	
Descripción	Precio S/.
Movimiento de Tierras	220,206.02
Concreto Simple	66,549.21
Concreto Armado	1,924,657.18
Cimientos	139,366.39
Zapatas	25,206.73
Cisterna y cuarto de bombeo	60,984.15
Muros de contención	150,417.86
Columnas	185,158.78
Placas	450,042.20
Vigas	295,755.97
Losas Aligeradas	297,167.78
Losas Macizas	109,244.99
Escaleras	26,153.56
<b>Total</b>	<b>2,026,253.64</b>

Fuente: Elaboración Propia

### b) Presupuesto del sistema aislado

Mediante la Tabla N° 41, se observa el presupuesto general de la edificación con sistema dual. Asimismo, cabe precisar que, se tomó en consideración como base de muestreo a un total de 2 modelos de investigaciones nacionales con la finalidad de obtener el precio unitario de los aisladores sísmicos tipo elastoméricos (LRB)

con un D=60 mm, especificaciones que fueron consideradas en la presente investigación.

Modelo 01: Alexander Gómez, Llallahui (2017) Análisis comparativo de costos de una edificación con y sin la incorporación de aisladores sísmicos de base, utilizando el ASCE/SEI 7-10 y la E 030-2014.

Modelo 02: Gonzales y Tovar (2019) Evaluación de la estructura aislada y no aislada en el proyecto aulario PUCP y protocolo constructivo del sistema de aislación.

Tabla 42: Estimación de costos de Aisladores.

Estimación de Costos de Aisladores LRB (S/.)		
	Modelo 01	Modelo 02
	Edificación A	Edificación B
N° Aisladores	12	30
Costo Total	307,647.60	624,392.10
Costo Unitario	25,637.30	20,813.07
Costo en soles	25,637.30	20,813.07

Fuente: Elaboración propia

Según lo expuesto en la Tabla N° 43, se muestra el costo unitario promedio que se obtuvo de los aisladores sísmicos por cada muestra de edificación considerada.

De esta manera mediante la Tabla N° 44, se muestra el costo de los aisladores sísmicos tipo elastoméricos LRB aplicados al caso de la presente investigación.

Tabla 43: Promedio de costo de Aisladores de las muestras.

Edificación	Costo (S/.)
Edificación 1 - Aislador	25,637.30
Edificación 2 - Aislador	20,813.07
Costo promedio	23,225.18

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 44: Precio total de los Aisladores LRB.

Precio total con los Aisladores Elastoméricos (LRB) (S/.)	
N° de Aisladores	41
Precio Total	952,232.585

Fuente: Elaboración Propia

Mediante Tabla N° 45 se observa cual es el costo del sistema aislado que se incluirá en la edificación.

Tabla 45: Presupuesto del Sistema aislado.

Presupuesto de la Edificación con Sistema Aislado (S/.)	
Descripción	Precio
Movimiento de Tierras	220,206.02
Concreto Simple	66,549.21
Concreto Armado	1,358,156.83
Cimientos	139,366.39
Zapatas	25,206.73
Cisterna y cuarto de bombeo	60,984.15
Muros de contención	150,417.86
Columnas	172,465.06
Placas	61,208.47
Vigas	332,412.25
Losas Aligeradas	297,167.78
Losas Macizas	109,244.99
Costo de Aisladores Sísmicos	952,232.585
<b>Total</b>	<b>2,587,461.49</b>

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 46: Presupuesto total

Presupuesto total (S/.)	
Presupuesto del Sistema Dual	2,206,253.64
Presupuesto del Sistema Aislado	2,597,144.71
% Variación	22%

Fuente: Elaboración Propia

Según lo expuesto en la Tabla N° 46, el Sistema Aislado representa un incremento del 22% con respecto al Sistema Dual.

Tabla 47: Comparación de Presupuestos

	Presupuesto de la Edificación con Sistema Dual (S/.)	Presupuesto de la Edificación con Sistema Aislado (S/.)	% Variación
Columnas	185,158.78	172,465.06	6.86
Vigas	295,755.97	332,412.25	11
Placas	450,042.20	61,208.47	86
Aislador	-	952,232.59	

Fuente: Elaboración Propia

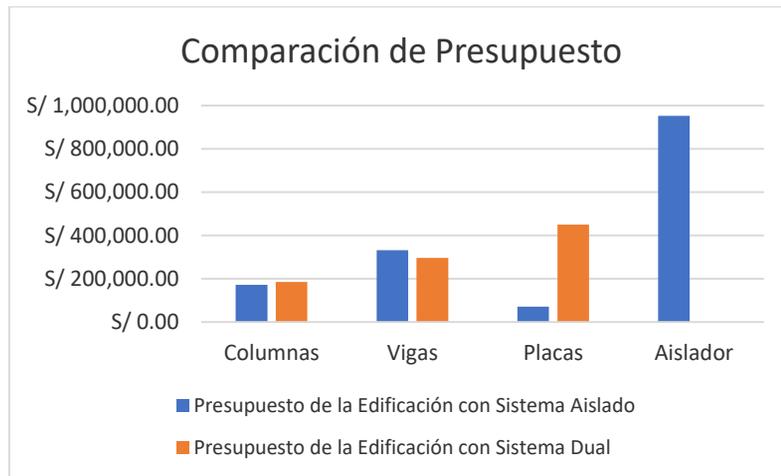


Figura 63: Comparación de Presupuesto

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la Tabla 47 y en la Figura 63, el sistema aislado representa una disminución de 86% referente al costo de las placas, este se debe a que, este sistema no representa la cantidad significativa de placas debido a que, solo se conservó para el análisis las placas correspondientes al ascensor y la escalera. Por otro lado, se observa que, el costo de las columnas se ve disminuido en un 6.86%, cabe resaltar que el presupuesto del sistema dual engloba los niveles de la superestructura y los niveles de los sótanos, sin embargo, el análisis del sistema aislado sólo se evalúa a niveles de la superestructura. Cabe precisar que este sistema en comparación al sistema dual contiene un mayor número de columnas, por lo que los costos referentes a las columnas son similares. Asimismo, la variación más resaltante se da por la inclusión de los dispositivos de aislamiento sísmico.

### 6.3 Contrastación de Hipótesis

#### a) Hipótesis General

La inclusión de un sistema aislado en una edificación multifamiliar con sistema dual en San Miguel optimizará el desempeño sísmico, así mismo, incrementará el costo inicial de esta.

Si se cumple la hipótesis, la inclusión de un sistema aislado en una edificación con sistema dual, optimiza el desempeño sísmico al reducir considerablemente las derivas y las aceleraciones. Por otro lado, dentro del ámbito económico existe un incremento; ya que, se consideró la inclusión de los dispositivos de aislamiento sísmico.

## b) Hipótesis Específicas

Hipótesis Específica 1: Los resultados del desempeño sísmico de la edificación con sistema dual aumentarán en un 60-80% en comparación al sistema aislado.

Sí, se cumple parcialmente con la hipótesis; el desempeño sísmico de la edificación con sistema dual presenta mayores porcentajes en los resultados. Con respecto al Análisis Dinámico Modal Espectral, las derivas presentaron un aumento del 92% y 67% para las direcciones x e y; las aceleraciones aumentaron en un 41% y 52% en ambas direcciones. Asimismo, en el Análisis Tiempo-Historia presentó un aumento de 76% y 67% para las direcciones x e y, sin embargo, en las aceleraciones no se presentó un aumento.

Hipótesis Específica 2: El sistema de aislación sísmica permitirá disminuir en un 60-80% las derivas entrepiso y aceleraciones en comparación del sistema dual e incrementará en la misma medida los desplazamientos.

Sí, se cumple parcialmente con la hipótesis; el sistema de aislación sísmica disminuyó de manera considerable las derivas y las aceleraciones. Con respecto al Análisis Dinámico Modal Espectral, las derivas se redujeron en un 97% y 67% en dirección x e y, las aceleraciones en un 41% y 52% en las direcciones correspondientes y los desplazamientos aumentaron en un 99% en ambas direcciones. Asimismo, con respecto al Análisis Tiempo Historia, las derivas se redujeron en un 76% y 67% en ambas direcciones, las aceleraciones no presentaron reducción y los desplazamientos aumentaron en un 97% y 99% en ambas direcciones.

Hipótesis Específica 3: Existirá una variación económica de un 10-18% en comparación del sistema aislado frente al sistema dual en una edificación multifamiliar.

Sí, se cumple parcialmente con la hipótesis; ya que, el sistema aislado representa un incremento del 22% con respecto al sistema dual. Esto último se debe a la inclusión de los aisladores sísmicos, debido a que estos representan el 37% del presupuesto total. Así mismo, al incluir una interfaz en donde se sostiene el sistema de aislamiento sísmico, se incrementó el costo en las vigas y columnas. El incremento al incluir un sistema aislado a través del tiempo resulta una relación costo beneficio, producto que, al ser sometida a sismos de gran magnitud, estas estructuras no se verán afectadas y, por lo tanto, no se generará un impacto económico debido que no se requerirá reparar la estructura.

## CONCLUSIONES

1. El desempeño sísmico del Sistema Dual resulta ser correcto y cumple con lo indicado por la Norma E. 030, ello se ve reflejado en las respuestas de las derivas. En ambas direcciones se observa que estas se encuentran por debajo del límite establecido, el cual corresponde a 0.007, sobre todo en la dirección y que se caracteriza por ser un sistema de muros estructurales, lo cual aporta una rigidez considerable a la estructura y permite que esta responda de manera idónea. Sin embargo, esto no asegura su operacionalidad ni la reducción de daños estructurales y no estructurales.
2. El Sistema Aislado representa un mejor desempeño sísmico con respecto al Sistema Dual. Esto se manifiesta en las respuestas sísmicas obtenidas, mediante un Análisis Modal Espectral, las derivas se vieron reducidas en un 97% y 67% en ambas direcciones, las aceleraciones en un 41% y 52% y en relación a los desplazamientos obtenidos se observó que existe un aumento de un 99% en ambas direcciones, esto se ve justificado y correlacionado a la inclusión de un sistema aislado, puesto que, este sistema aporta una mayor flexibilidad a la estructura. De la misma manera, mediante el Análisis Tiempo Historia, el cual representa un análisis no lineal se obtuvieron que, las derivas se ven reducidas en un 76% y 67% para las direcciones x e y, en relación a las aceleraciones no se mostró una disminución porcentual, lográndose apreciar que el contraste indica un aumento, esto último se puede entender que se debe a que el análisis desarrollado implica una variabilidad temporal en las cuales influyen las propiedades no lineales de los aisladores sísmicos, a esto mismo se le agrega que las respuestas obtenidas son producto del promedio de siete pares de registros sísmicos, los cuales representan valores diversos, debiéndose recalcar que se tomó en cuenta lo señalado por la normativa E. 031, precisándose que debido a la poca data de registros sísmicos que se suscitan en las mismas condiciones y parámetros que la estructura es baja, por lo cual, estos valores se han visto magnificados de cierta manera. En relación a los desplazamientos se logró observar un aumento del 97% y 99% en ambas direcciones, siendo esto último justificado al hecho que, al implementar un sistema de aislamiento sísmico, los aisladores sísmicos representan una rigidez lateral menor, llevando de esta manera que los desplazamientos se vean aumentados, ya que, la superestructura solo se comportaría como un sólido rígido. Concluyéndose que, la implementación de un sistema de aislamiento sísmico desacopla a la superestructura, por lo que las sollicitaciones sísmicas se ven considerablemente reducidas.

3. Se produce una variación económica entre un Sistema Dual y un Sistema Aislado, en la cual este último incrementa en un 22%, esto se debe principalmente a la inclusión de los aisladores elastoméricos LRB. Sin embargo, se debe tener en consideración que, en relación al tiempo, este aumento se convierte en una inversión costo-beneficio. Tal y como se ha visto a lo largo del tiempo, las estructuras aisladas no solo han demostrado responder con mayor positividad ante eventos sísmicos, sino que, minimizan daños estructurales y no estructurales, siendo este uno de los principales factores que originan accidentes, de tal manera que aumentan la seguridad y calidad de vida de los ocupantes.

## RECOMENDACIONES

1. Se recomienda que, se opte con mayor frecuencia la implementación de aislamiento sísmico en edificaciones multifamiliares, debido a su óptima funcionalidad y que esta otorga una relación beneficiosa en cuestión al aspecto técnico y económico, en consideración que este tipo de estructuras albergan a una cantidad importante de habitantes.
2. Se recomienda que cada vez más se priorice la funcionalidad, operatividad y sobre todo la calidad de vida de los ocupantes de una estructura mediante la inclusión de las nuevas tecnologías y sistemas de protección sísmica, independientemente del uso de la estructura.
3. Se recomienda, optar en la inclusión de aisladores sísmicos a una estructura como un sistema de protección sísmica, aunque esto signifique un incremento inicial de un proyecto. Sin embargo, esta aportará una mayor seguridad de la respuesta sísmica ante cualquier evento sísmico y evitará que se originen daños estructurales o en su contenido, pérdidas de vidas y pérdidas económicas.
4. Se recomienda que, a nivel académico se cultive con mayor énfasis la cultura antisísmica y los nuevos métodos de protección sísmica, sobre todo la aplicación técnica de la Norma E. 030 y E. 031 en los softwares de análisis estructural como el ETABS u otros. De esta manera, existirán más profesionales con criterio técnico que divulguen la temática mencionada.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abreo, G. y Real, F. (2013). Estudio técnico y financiero para la construcción de la unidad residencial Alamos Parque en el Municipio De Barrancabermeja. Universidad Industrial De Santander, Bucaramanga, Colombia. Recuperado de: <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2013/150801.pdf>
- Aguilar, G., Aguirre, J., Ávila, J., Botero, E. y Muriá, D. (2012). Observaciones sobre el sismo de Tohoku, Japón. IC, 1(513), 1-2. Recuperado de: [https://www.researchgate.net/publication/296844800\\_Observaciones\\_sobre\\_el\\_sismo\\_de\\_Tohoku\\_Japon](https://www.researchgate.net/publication/296844800_Observaciones_sobre_el_sismo_de_Tohoku_Japon)
- Alva, J. y Castillo, J. (1993). Peligro Sísmico En El Perú (tesis de pregrado). Universidad Nacional De Ingeniería, Lima. Recuperado de: [http://www.jorgealvahurtado.com/files/redacis15\\_a.pdf](http://www.jorgealvahurtado.com/files/redacis15_a.pdf)
- Arias, D. y Quijada, C. (2019). Comparación de aspectos estructurales y económicos entre un edificio de 8 pisos para vivienda de muros de ductilidad limitada y sistema dual tipo I optimizado (tesis de pregrado). Universidad Católica Del Perú, Lima, Perú. Recuperado de:
- Arias, F. (2006). El Proyecto de investigación, introducción a la metodología científica. Caracas, Venezuela: Episteme. Recuperado de: [https://www.researchgate.net/publication/301894369\\_EL\\_PROYECTO\\_DE\\_INVESTIGACION\\_6a\\_EDICION](https://www.researchgate.net/publication/301894369_EL_PROYECTO_DE_INVESTIGACION_6a_EDICION)
- Arriagada, J. (2005). Aislación Sísmica de un Edificio de Oficinas de Siete Pisos. (Análisis Comparativo de Comportamiento y Costos con un Edificio Tradicional) (tesis de pregrado). Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile. Recuperado de: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2006/bmfcia775a/doc/bmfcia775a.pdf>
- Asencios, R. (2009). Investigaciones de las shicras en el sitio precerámico de Cerro Lampay (tesis de pregrado). Universidad Nacional Mayor De San Marcos, Lima, Perú. Recuperado de: <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/3366>
- Astroza, R. (2007). Estudio de la respuesta sísmica de edificios mediante la dinámica de propagación de ondas (tesis de maestría). Universidad De Chile, Chile. Recuperado de: [https://www.researchgate.net/publication/30753865\\_Estudio\\_de\\_la\\_respuesta\\_sismica\\_de\\_edificios\\_mediante\\_la\\_dinamica\\_de\\_propagacion\\_de\\_ondas](https://www.researchgate.net/publication/30753865_Estudio_de_la_respuesta_sismica_de_edificios_mediante_la_dinamica_de_propagacion_de_ondas)
- Bambarén, V. y Gutiérrez, M. (2009). Estimación del impacto socioeconómico del terremoto en Pisco en el sector salud peruano. Medica Herediana, 20(2), 1-2. Recuperado de:

[http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1018-130X2009000200006#:~:text=Resultados%3A%20El%20impacto%20del%20terremoto,y%205%25%20a%20las%20p%C3%A9rdidas](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1018-130X2009000200006#:~:text=Resultados%3A%20El%20impacto%20del%20terremoto,y%205%25%20a%20las%20p%C3%A9rdidas)

Bazán, E. y Meli, R. (2006). *Diseño Sísmico De Edificios*. Ciudad de México, México: Limusa. Recuperado de:

[https://www.academia.edu/36401028/Diseno\\_Sismico\\_de\\_Edificios\\_Bazan\\_y\\_Meli](https://www.academia.edu/36401028/Diseno_Sismico_de_Edificios_Bazan_y_Meli)

Bedriñana, L. (agosto del 2019). Estado del arte en el aislamiento sísmico y sus principales aplicaciones. XXII Simposio nacional de prevención de desastres. Simposio llevado a cabo en la Universidad Nacional De Ingeniería, Lima, Perú. Recuperado de: [http://www.cismid.uni.edu.pe/wp-content/uploads/2019/12/1\\_bedrinana\\_.pdf](http://www.cismid.uni.edu.pe/wp-content/uploads/2019/12/1_bedrinana_.pdf)

Benites, F. y Vargas, E. (2021). Resiliencia en edificaciones con aisladores sísmicos. *Perfiles de Ingeniería*, 17(17), 26-31. [https://doi.org/10.31381/perfiles\\_ingenieria.v17i17.4574](https://doi.org/10.31381/perfiles_ingenieria.v17i17.4574)

Borja, M. (2012). *Metodología de investigación científica para ingenieros*. Chiclayo, Perú. Recuperado de:

[https://www.academia.edu/33692697/Metodolog%C3%ADa\\_de\\_Investigaci%C3%B3n\\_Cient%C3%ADfica\\_para\\_ingenier%C3%ADa\\_Civil](https://www.academia.edu/33692697/Metodolog%C3%ADa_de_Investigaci%C3%B3n_Cient%C3%ADfica_para_ingenier%C3%ADa_Civil)

Boroschek, R., Retamales, R. y Aguilar, A, (2012). Seismic Response Of Isolated Structures Subjected To Mw 8.8 Chile Earthquake Of February 27,2010. The international symposium for CISMID 25th Anniversary. Simposio llevado a cabo en CISMID, Lima, Perú. Recuperado de: <https://bit.ly/3qcPhFJ>

Bozzo, L. y Barbat, A (1999). *Diseño Sismorresistente de edificios*. Barcelona, España: Reverté. Recuperado de:

[https://books.google.com.pe/books?id=4h4DEAAQBAJ&pg=PA10&lpg=PA10&dq=perdidas+economicas+sismo+northridge+1994&source=bl&ots=ZptD1jOdkZ&sig=ACfU3U2mghTO9CFbsAvrKA\\_K5j1H0bs10A&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwiNwaGR8b\\_4AhVgkZUCHXsMB1YQ6AF6BAg4EAM#v=onepage&q=perdidas%20economicas%20sismo%20northridge%201994&f=false](https://books.google.com.pe/books?id=4h4DEAAQBAJ&pg=PA10&lpg=PA10&dq=perdidas+economicas+sismo+northridge+1994&source=bl&ots=ZptD1jOdkZ&sig=ACfU3U2mghTO9CFbsAvrKA_K5j1H0bs10A&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwiNwaGR8b_4AhVgkZUCHXsMB1YQ6AF6BAg4EAM#v=onepage&q=perdidas%20economicas%20sismo%20northridge%201994&f=false)

BRIDGESTONE (2018). *Seismic Isolator for Buildings*. Recuperado de

[http://www.bridgestone.com/products/diversified/antiseismic\\_rubber/index.html](http://www.bridgestone.com/products/diversified/antiseismic_rubber/index.html)

Caxi, B. (2019). *La eficiencia de los aisladores sísmicos aplicando en el mega laboratorio clínico universitario de salud humana (tesis de pregrado)*. Universidad Nacional Del

- Altiplano, Puno, Perú. Recuperado de: <https://1library.co/document/zwvm4w1q-eficiencia-aisladores-sismicos-aplicado-laboratorio-clinico-universitario-humana.html>
- CDT (2011). Protección sísmica de estructuras sistemas de aislación sísmica y disipación de energía. Recuperado de: [http://descargas.coreduc.cl/Proteccion\\_Sismica\\_de\\_Estructuras\\_-\\_Febrero\\_2012\\_CLR\\_v4.1.pdf](http://descargas.coreduc.cl/Proteccion_Sismica_de_Estructuras_-_Febrero_2012_CLR_v4.1.pdf)
- Celebi, M. (junio del 1996). Comparison of Northridge Earthquake Response of a Base-Isolated and a conventional Hospital Building. Eleventh World Conference on Earthquake Engineering. Conferencia llevada a cabo por la Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica, Acapulco, México. Recuperado de: [https://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/11\\_25.PDF](https://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/11_25.PDF)
- Davila, E, y Hinojosa, C. (2019). Análisis de la vulnerabilidad sísmica para una edificación de 10 pisos utilizando aisladores o el sistema dual, Av. República de Panamá-Lima (tesis de pregrado). Universidad San Martín de Porres, Lima, Perú. Recuperado de: [https://repositorio.usmp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12727/5616/davila\\_hinojosa%20%28abierto%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.usmp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12727/5616/davila_hinojosa%20%28abierto%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- De la Llera, J., Rivera, F., Junemann, R., Mitrani-Reiser, J., Fortuño, C., Hube, M., Hindenburg, J. (Julio del 2014). Post-Earthquake Data Collection: The 2010 Maule Earthquake In Chile. Tenth U.S. National Conference. Conferencia llevada a cabo en Earthquake Engineering Frontiers of Earthquake Engineering, Anchorage, Alaska.
- Dynamic Isolation Systems. (2017). Base isolators. Recuperado de <http://www.dynamic-isolation.com/index.html>
- Espinoza, E. (2018). Las variables y su operacionalización en la investigación educativa. Parte I. Conrado, 14(65), 36-46. Recuperado de: [https://www.researchgate.net/publication/328268666\\_Las\\_variables\\_y\\_su\\_operacionalizacion\\_en\\_la\\_investigacion\\_educativa\\_Parte\\_I](https://www.researchgate.net/publication/328268666_Las_variables_y_su_operacionalizacion_en_la_investigacion_educativa_Parte_I)
- FEMA E-74 (2011). Reducing the risks of nonstructural earthquake damage - A practical guide. Recuperado de: [https://www.calhospitalprepare.org/sites/main/files/file-attachments/pages\\_from\\_fema\\_e\\_74\\_part1.pdf](https://www.calhospitalprepare.org/sites/main/files/file-attachments/pages_from_fema_e_74_part1.pdf)
- Fernandez, V. y Mendo, A. (enero del 2017). Base for standard analysis and design of base isolation system for building in Perú. 16 th World Conference on Earthquake (16WCEE). Conferencia llevada a cabo en Santiago, Chile. Recuperado de: [https://www.researchgate.net/publication/312610761\\_BASES\\_FOR\\_STANDARD\\_](https://www.researchgate.net/publication/312610761_BASES_FOR_STANDARD_)

## OF\_ANALYSIS\_AND\_DESIGN\_OF\_BASE\_ISOLATION\_SYSTEM\_FOR\_BUI LDINGS\_IN\_PERU

- Flores, D. y Ravelo, M. (2019). Comparación técnica y económica entre un sistema dual y un sistema con aislador elastomérico con núcleo de plomo (LRB) para un edificio en el distrito de Surquillo (tesis de pregrado). Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú. Recuperado de: [http://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/URP/2789/CIV\\_T030\\_47891847\\_T%20%20RAVELO%20ARCOS%20MAYRA%20ANDREA.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/URP/2789/CIV_T030_47891847_T%20%20RAVELO%20ARCOS%20MAYRA%20ANDREA.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Genatios, C. y Lafuente, M. (2016). Introducción al uso de aisladores y disipadores en estructuras. Caracas, Venezuela: CAF- Banco de Desarrollo de América Latina. Recuperado de: <https://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1213/Usodeaisladores%20y%20disipadoresenestructuras.pdf>
- Ghogare, K., Gupta, A. y Nikumbh, A. (2016). Behavior of non-structural elements during an earthquake. IJARSET, 3(3), 1-3. Recuperado de: [https://www.ijarset.com/upload/2016/march/9\\_IJARSET\\_kavitha.pdf](https://www.ijarset.com/upload/2016/march/9_IJARSET_kavitha.pdf)
- Giarlelis, C., Koufalis, D., y Antoniadis, P. (junio del 2018). Seismic rehabilitation of a RC building through seismic isolation. En K. Pitilakis (Presidencia). 16th European Conference on Earthquake Engineering (16ECEE). Conferencia llevada a cabo en la Universidad de Thessaloniki, Grecia. Recuperado de: [https://www.equidas.com/EQ\\_files/papers/2018\\_ECEE\\_Seismic\\_Rehabilitation\\_through\\_Seismic\\_Isolation\\_11771.pdf](https://www.equidas.com/EQ_files/papers/2018_ECEE_Seismic_Rehabilitation_through_Seismic_Isolation_11771.pdf)
- Gobierno de Chile. (2010). Plan de reconstrucción Terremoto y maremoto del 27 de febrero del 2010. Recuperado de: <https://www.desarrollosocialyfamilia.gob.cl/pdf/e60b893eb66a10139bfe68d2c6005636.pdf>
- Gonzalez, H. y Tovar, R. (2019). Evaluación de la estructura aislada y no aislada en el proyecto aulario Pucp y protocolo constructivo del sistema de aislación (tesis de pregrado). Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú. Recuperada de: <https://repositorio.urp.edu.pe/handle/URP/2393>
- Gomez, A. (2017). Análisis comparativo de costos de una edificación con y sin la incorporación de aisladores sísmicos de base, utilizando el ASCE/SEI 7-10 y la E

- 030-2014. Universidad Nacional San Cristóbal De Huamanga, Ayacucho, Perú.  
Recuperado de: <http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/1976>
- Hernández, R., Fernández, C y Baptista, P. (2014). Metodología de la investigación. Obregón, México: McGraw-Hill. Recuperado de: <https://www.esup.edu.pe/wp-content/uploads/2020/12/2.%20Hernandez,%20Fernandez%20y%20Baptista-Metodolog%C3%ADa%20Investigacion%20Cientifica%206ta%20ed.pdf>
- INDECI (2011). Impacto socioeconómico y ambiental del sismo del 15 de agosto de 2007. Recuperado de: <http://bvpad.indeci.gob.pe/doc/pdf/esp/doc1742/doc1742-contenido.pdf>
- INDECI (2011). Riesgo sísmico y medidas de reducción del riesgo en el centro histórico de Lima. Recuperado de: <http://bvpad.indeci.gob.pe/doc/pdf/esp/doc2136/doc2136.htm>
- Janampa, B. (2018). Diseño del sistema de aislamiento sísmico de un edificio hospitalario usando dispositivos HDR (tesis de pregrado). Universidad Católica Del Perú, Lima, Perú. Recuperado de: <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/13234/TESIS-BRAYAN%20BERNAB%c3%89%20JANAMPA%20SALAS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Korswagen, P., Arias, J. y Huaranga, P. (2012). Análisis y diseño de estructuras con aisladores sísmicos en el Perú (tesis de pregrado). Universidad Católica Del Perú, Lima, Perú. Recuperado de: [https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/1631/KORSWAGEN\\_ARIAS\\_HUARINGA\\_AISLADORES\\_SISMICOS\\_PERU.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/1631/KORSWAGEN_ARIAS_HUARINGA_AISLADORES_SISMICOS_PERU.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Kuroiwa, J. (2002). Reducción de desastres. Lima, Perú: Cecosami. Recuperado de: <https://es.scribd.com/document/514974936/Reduccion-de-Desastres-Julio-Kuroiwa>
- Los Reglamentos de la Unión Europea (2013). Guía del análisis costes-beneficios de los proyectos de inversión. Recuperado de: [https://ec.europa.eu/regional\\_policy/sources/docgener/guides/cost/guide02\\_es.pdf](https://ec.europa.eu/regional_policy/sources/docgener/guides/cost/guide02_es.pdf)
- Luque, M. (2016). Evaluación del desempeño estructural con sistemas de aislamiento de base para el edificio 15 niveles de la ciudad universitaria de Puno (tesis de pregrado). Universidad Nacional Del Altiplano, Puno, Perú. Recuperado: [https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/RNAP\\_51aeaa4f6393b5d636532cbb671bdd91](https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/RNAP_51aeaa4f6393b5d636532cbb671bdd91)

- Meza, R. y Sanchez, E. (2010). “Guía del Diseño Sísmico de Aisladores Sísmicos Elastoméricos y de Fricción para la República de Nicaragua” (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Ingeniería, Managua, Nicaragua. Recuperado de: <https://es.scribd.com/document/410851253/GUIA-DISENO-DE-AISLADORES-SISMICOS-SEGUN-ASCE-pdf>
- MEF (2014). Lecciones aprendidas del gran terremoto del este de Japón. Recuperado de: [https://www.mef.gob.pe/contenidos/inv\\_publica/docs/eventos-taller/taller-internacional-03y04-julio-2014/files/primer-d%C3%ADa/03-Exposici-de-experto-Pa%C3%ADs-Jap%C3%B3n.pdf](https://www.mef.gob.pe/contenidos/inv_publica/docs/eventos-taller/taller-internacional-03y04-julio-2014/files/primer-d%C3%ADa/03-Exposici-de-experto-Pa%C3%ADs-Jap%C3%B3n.pdf)
- Millones, D. (2019). “Estudio comparativo de una edificación de nueve niveles y dos sótanos, con y sin aisladores sísmicos” (tesis de pregrado). Universidad Católica Santo Toribio De Mogrovejo, Chiclayo, Perú. Recuperado de: <https://tesis.usat.edu.pe/handle/20.500.12423/1970>
- Mullo, C. (2014). Análisis y diseño de un edificio con aisladores sísmicos, modelamiento en Etabs (tesis de pregrado). Universidad Central Del Ecuador, Quito, Ecuador. Recuperado de: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/2997/1/T-UCE-0011-117.pdf>
- Muñoz, J. (2015). Lineamientos para el análisis y diseño de edificaciones sísmicamente aisladas en el Perú (tesis de posgrado). Universidad Católica del Perú, Lima, Perú. Recuperado de: <https://core.ac.uk/download/pdf/196532403.pdf>
- Naeim, F. y Kelly, J. (1999). Design of seismic isolated structures from theory to practice. Toronto, Canada: John Wiley & sons. Recuperado de: [https://www.academia.edu/16803801/Design\\_of\\_Seismic\\_Isolated\\_Structures\\_From\\_Theory\\_to\\_Practice](https://www.academia.edu/16803801/Design_of_Seismic_Isolated_Structures_From_Theory_to_Practice)
- Nagarajaiah, S. y Xiaohong, S. (2000). Response Of Base-Isolated USC Hospital Building In Northridge Earthquake. Structural Engineering, 126(10), 1177-1186. Doi: 10.1061/(ASCE)0733-9445(2000)126:10(1177)
- Norma ASCE/SEI 7-16. (2016). Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures. USA: American Society of Civil Engineers. Recuperado de: <https://www.udocz.com/apuntes/125994/asce-7-16>
- Norma E.020 (2016). Norma Técnica de Cargas. Recuperado de: [https://cdn-web.construccion.org/normas/rne2012/rne2006/files/titulo3/02\\_E/RNE2006\\_E\\_020.pdf](https://cdn-web.construccion.org/normas/rne2012/rne2006/files/titulo3/02_E/RNE2006_E_020.pdf)

- Norma E.030 (2018). Norma Técnica de Diseño Sismorresistente. Recuperado de:  
<https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2366641/51%20E.030%20DISE%20C3%91O%20SISMORRESISTENTE%20RM-043-2019-VIVIENDA.pdf>
- Norma E.031 (2019). Norma Técnica de Aislamiento Sísmico. Recuperado de:  
[https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/421564/DS\\_030-2019-VIVIENDA.pdf](https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/421564/DS_030-2019-VIVIENDA.pdf)
- Núñez, A. (2017). Diseño por desempeño de un edificio de hormigón armado utilizando el método de análisis tiempo-historia (tesis de pregrado). Universidad Técnica De Ambato, Ecuador. Recuperado de:  
<https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/27236/1/Tesis%201219%20-%20N%c3%ba%c3%bliz%20Palacios%20Alba%20Beatriz.pdf>
- Ñañez, A. y Hernández, S. (2019). Estudio comparativo del diseño de la estructura de una edificación típica apoyada sobre aisladores sísmicos y apoyos rígidos (tesis de pregrado). Universidad Católica De Colombia, Colombia. Recuperado de:  
<https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/23873/1/ESTUDIO%20COMPARATIVO%20DE%20DISE%20C3%91O%20DE%20LA%20ESTRUCTURA%20DE%20UNA%20EDIFICACI%20C3%93N%20T%20C3%8DPICA%20APOYADA%20SOBRE%20AISLADORES.pdf>
- Organización Panamericana de la Salud (2010). El terremoto y tsunami del 27 de febrero en Chile. Recuperado de:  
<https://www.paho.org/disasters/dmdocuments/CronicaTerremotoChile2010.pdf>
- Quispe, B. y Quispe, J (2021). Análisis comparativo entre el aislador elastomérico con núcleo de plomo y el aislador friccionante de péndulo simple en una edificación multifamiliar de 7 niveles en el distrito de pueblo libre. Recuperado de:  
[file:///C:/Users/Frances/Downloads/T030\\_72489876\\_T%20%20%20QUISPE%20PALOMINO%20JOSEPH%20JAIRO%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Frances/Downloads/T030_72489876_T%20%20%20QUISPE%20PALOMINO%20JOSEPH%20JAIRO%20(1).pdf)
- Rico, L. y Chio, G. (2012). Uso de aisladores de base en puentes de concreto simplemente apoyados. *Tecnura*, 16(34), 103-124. Recuperado de:  
[http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0123-921X2012000400009](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-921X2012000400009)
- Science Learning Hub Polapu Akoranga Putaiao (2019). Recuperado de:  
<https://www.sciencelearn.org.nz/>
- Taboada, D. (2019). Aisladores sísmicos, protegemos tu vida y tu inversión. Expo Arcon. Congreso llevado a cabo en el COPEIN (Congreso Peruano De Ingeniería), Lima,

- Perú. Recuperado de: <https://expoarcon.com/wp/wp-content/uploads/2019/08/Diego-Taboada.pdf>
- Taghavi, S., Miranda, E. y Pacific Earthquake Engineering Research Center. (2003). Response assessment of nonstructural building elements. Berkeley: Pacific Earthquake Engineering Research Center. Recuperado de: [https://peer.berkeley.edu/sites/default/files/0305\\_s.\\_taghavi\\_e.\\_miranda\\_.pdf](https://peer.berkeley.edu/sites/default/files/0305_s._taghavi_e._miranda_.pdf)
- Talavera, A. (octubre del 2017). Experiencia Nacional En Edificaciones Con Sistemas De Protección Sísmica. En gallegos, Casabonne, Arango y Quesada, Ingenieros Civiles. Recuperado de: [http://www3.vivienda.gob.pe/dnc/archivos/difusion/eventos/2017/5.Experiencia%20Nacional%20en%20Sist.%20de%20protec.%20s%C3%ADsmica%20\(Alvaro%20Talavera\).pdf](http://www3.vivienda.gob.pe/dnc/archivos/difusion/eventos/2017/5.Experiencia%20Nacional%20en%20Sist.%20de%20protec.%20s%C3%ADsmica%20(Alvaro%20Talavera).pdf)
- Toledo, A., Maureira, N. y Oyarzo, C. (enero del 2018). Análisis dinámico no lineal de edificios de pórticos aislados sísmicamente usando un nuevo dispositivo. Simposio de habilitación profesional. Simposio llevado a cabo en la Universidad Católica De La Santísima Concepción. Chile. Recuperado de: [https://www.researchgate.net/profile/Alvaro-Toledo-Lopez-2/publication/322446619\\_NONLINEAR\\_DYNAMIC\\_ANALYSIS\\_OF\\_SEISMICALLY\\_ISOLATED\\_PORTICO\\_BUILDINGS\\_USING\\_A\\_NEW\\_DEVICE/links/5a590cc4a6fdcc3bfb5ab104/NONLINEAR-DYNAMIC-ANALYSIS-OF-SEISMICALLY-ISOLATED-PORTICO-BUILDINGS-USING-A-NEW-DEVICE.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Alvaro-Toledo-Lopez-2/publication/322446619_NONLINEAR_DYNAMIC_ANALYSIS_OF_SEISMICALLY_ISOLATED_PORTICO_BUILDINGS_USING_A_NEW_DEVICE/links/5a590cc4a6fdcc3bfb5ab104/NONLINEAR-DYNAMIC-ANALYSIS-OF-SEISMICALLY-ISOLATED-PORTICO-BUILDINGS-USING-A-NEW-DEVICE.pdf)
- Vargas, J., Iwaki, C. y Rubiños, A. (2012). Sismo Resistencia en las entrañas de Caral. Recuperado de: <https://silo.tips/download/sismo-resistencia-en-las-entraas-de-caral#:~:text=Inventaron%20unas%20bolsas%20de%20fibra,eran%20est%C3%A9ticas%2C%20enlucidas%20y%20decoradas.>
- Villavicencio, E. (2015). “Análisis Sísmico Estructural Comparativo para Edificios con Aisladores de Base Tipo Elastoméricos y Friccionantes, para los diferentes tipos de suelos del Ecuador” (tesis de posgrado). Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador Recuperado de: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/15639/1/CD-7073>.

## ANEXOS

Anexo 1: Matriz de Operacionalización de las variables

Variables independientes	Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores	Instrumentos
Sistema dual	Fernández y Mendo (2017) acotan que un sistema aislado tiene por objetivo independizar la estructura de la subestructura a través de la instalación de dispositivos flexibles (aisladores sísmicos), los cuales son capaces de deformarse para disipar el desplazamiento del suelo. Este sistema incrementa el periodo fundamental de vibración, de tal manera que, aumenta los desplazamientos de los dispositivos y terminan siendo iguales al desplazamiento del suelo.	Características estructurales del sistema dual	Pórticos de concreto armado, placas	Norma Peruana Sismorresistente E.030, Norma Peruana de cargas E.020, Norma Peruana de aislamiento sísmico E.031, Norma Americana ASCE 7-16, Reportes, fichas y artículos.
Sistema aislado	Arias y Quijada (2019) lo define como un sistema de combinación entre pórticos y placas, donde usualmente las losas son aligeradas o macizas. Los pórticos aportan a la estructura la capacidad de desarrollar mayor ductilidad durante un evento sísmico. Por otro lado, los muros estructurales aportan una mayor resistencia.	Criterios para el diseño del sistema aislado	. Capacidad de carga. Uniformización de desplazamientos. Efectos de torsión. Tracción en los aisladores. Deformaciones verticales	
		Tipos de aisladores sísmicos	. Aislador LRB. . Aislador deslizante .Aislador HDRB	
		Criterios de los métodos para el análisis	. Análisis estático o de fuerzas equivalentes . Análisis tiempo historia	
Variables Dependientes	Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores	Instrumentos
Análisis técnico-económico de una edificación multifamiliar	Los Reglamentos de la Unión Europea (2013) definen que un análisis económico examina y estima los costos y beneficios sociales que conllevará un proyecto. De igual manera, brinda la orientación para calcular la tasa de rendimiento económico y permite comprender el significado económico de esta misma respecto a la evaluación del proyecto.	Zonificación sísmica	Zona 1,2,3 y 4	Norma Peruana Sismorresistente E.030, Norma Peruana de cargas E.020, Norma Peruana de aislamiento sísmico E.031, Norma Americana ASCE 7-16, Reportes, fichas y artículos.
		Categorización y factor de uso	Categoría A, B, C y D	
		Metrado de cargas	Carga muerta y Carga viva	
		Análisis sísmico	Aceleraciones Desplazamientos Derivas de entrepiso Metrado Unidad	Etabs 2019 v.0.0.0
		Presupuesto del sistema dual	Precio Unitario	Microsoft Excel
		Presupuesto del sistema aislado	Costo de importación Costo del aislador sísmico	

Fuente: Elaboración Propia

**ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO DE UNA EDIFICACIÓN MULTIFAMILIAR CON SISTEMA DUAL FRENTE A UN SISTEMA AISLADO EN SAN MIGUEL**

<b>Problema general</b>	<b>Objetivo general</b>	<b>Hipótesis Principal</b>	<b>Variable Independiente</b>	<b>Indicadores</b>
¿Cuáles serán los resultados del análisis técnico-económico de una edificación multifamiliar con sistema dual frente a un sistema aislado en San Miguel?	Realizar el análisis técnico-económico de una edificación multifamiliar con sistema dual frente a un sistema aislado en San Miguel.	La inclusión de un sistema de aislación sísmica en un edificio multifamiliar con sistema dual en San Miguel reducirá los desplazamientos, derivas entrepiso y aceleraciones, así mismo, incrementará el costo inicial de esta.	Sistema Dual  Sistema Aislado	Pórtico de concreto armado, placas Capacidad de carga. Uniformización de desplazamientos. Efectos de torsión. Tracción en los aisladores. Deformaciones Verticales . Aislador LRB. Aislador deslizante. Aislador HDRB Análisis de fuerzas equivalentes y modal espectral. Análisis tiempo historia
<b>Problemas específicos</b>	<b>Objetivos específicos</b>	<b>Hipótesis Especifico</b>	<b>Variable Dependiente</b>	<b>Indicadores</b>
¿De qué manera el sistema dual influye en el desempeño sísmico de la edificación multifamiliar?	Demostrar como el sistema dual influye en el desempeño sísmico de la edificación multifamiliar	Los resultados del desempeño sísmico de la edificación con sistema dual aumentarán en un 80% en comparación al sistema aislado.		Zona 1,2,3 y 4  Categoría A, B, C y D Carga muerta y Carga viva Aceleraciones Desplazamientos
¿De qué manera el sistema aislado influye en el desempeño sísmico de la edificación multifamiliar?	Demostrar como el sistema aislado influye en el desempeño sísmico de la edificación multifamiliar	El sistema de aislación sísmica permitirá disminuir en un 60-80% las derivas entrepiso y aceleraciones e incrementará en la misma medida los desplazamientos en comparación del sistema dual.	Análisis Técnico - económico de una edificación multifamiliar	Derivas de entrepiso  Metrado Unidad
¿Cuál será la variación económica de la edificación multifamiliar con sistema dual en comparación al sistema aislado?	Determinar la variación económica de la edificación multifamiliar con sistema dual en comparación al sistema aislado.	Existirá una variación económica de un 10-18% en comparación del sistema aislado frente al sistema dual en una edificación multifamiliar		Muestreo  Precio Unitario  Costo del aislador sísmico

### Anexo 3: Catálogo Bridgestone 2018

**Description of the product designation**

$\Delta$  - Lead plug diameter (Standard Δ)  
 $\Delta$  (D% of rubber bearing outer diameter)  
 Compound name (refer to shear modulus)  
 Outer diameter (cm)  
 Series (Shape)  
 Type of bearing (Lead rubber bearing)

**Type of lead plug** (mm)

Type	T	S	P	E	D	C	B	A	G	H	I	J	K	L	M
Lead plug diameter	Δ-70	Δ-80	Δ-90	Δ-90	Δ-90	Δ-100									

\*Assessment of lead plug diameter is depending on the size of rubber bearing.

Certification number MVBR-0517

Code

**●LH Series (Total Rubber Thickness 20cm)**

Compound name	Rubber code	Shear modulus [N/mm <sup>2</sup> ]
GR	GD-40	0.385

Characteristics		LH06004										LH06504											
		T	O	C	B	A	G	H	I	J	T	O	C	B	A	G	H	I	J				
Physical Dimensions	Outer diameter (mm)	600										650											
	Lead plug diameter (mm)	80	90	100	110	120	130	140	150	160	90	100	110	120	130	140	150	160	170				
	Effective plane area (×10 <sup>6</sup> mm <sup>2</sup> )	2777	2764	2749	2732	2714	2695	2673	2651	2628	3255	3240	3223	3205	3186	3164	3142	3117	3091				
	Thickness of one rubber layer (mm)	40										44											
	Number of rubber layers	50										45											
	Total rubber thickness (mm)	2000										1980											
	First shape factor	37.5										36.9											
	Second shape factor	3.00										3.28											
	Diameter of flange (mm)	900										950											
	Thickness of flange*1 (edge/center) (mm)	22/28										22/28											
	Connecting bolt PCD (mm)	775										825											
	Diameter of connecting bolt hole × qty	∅33 × 12										∅33 × 12											
	Bolt size (assumption)	M30										M30											
	Thickness of each reinforced steel plate (mm)	31										31											
Total height (mm)	407.9										390.4												
Total weight (tonf)	0.67	0.68	0.68	0.69	0.69	0.70	0.70	0.71	0.71	0.74	0.74	0.74	0.75	0.75	0.76	0.77	0.77	0.78					
Total weight (kN)	6.6	6.6	6.7	6.7	6.8	6.8	6.9	6.9	7.0	7.2	7.2	7.3	7.3	7.4	7.4	7.5	7.6	7.6					
Compression Properties	Critical stress (N/mm <sup>2</sup> )	24										30											
	Ultimate compressive stress (N/mm <sup>2</sup> )	[ $\gamma_{cr}$ , $\sigma_{cr}$ ]		(0.0024)										(0.0030)									
		[ $\gamma_{cr}$ , $\sigma_{cr}$ ]		(0.0024)										(0.0030)									
		[ $\gamma_{cr}$ , $\sigma_{cr}$ ]		(3.002)										(3.283)									
	Compressive stiffness (×10 <sup>4</sup> kN/m)	1670										1970											
	Nominal long term compressive stress (N/mm <sup>2</sup> )	6.0										7.3											
Nominal long term column load (kN)	1670	1690	1650	1640	1630	1620	1600	1590	1580	2370	2360	2350	2330	2320	2300	2290	2270	2250					
Allowable tensile stress ( $\gamma = 100\%$ ) (N/mm <sup>2</sup> )	1.0										1.0												
Shear Properties ( $\gamma = 100\%$ )	Initial stiffness (×10 <sup>4</sup> kN/m)	714	716	719	720	722	725	727	730	733	847	849	851	853	856	859	862	865	868				
	Post yield stiffness ( $\gamma = 100\%$ ) (×10 <sup>4</sup> kN/m)	0.549	0.551	0.552	0.554	0.555	0.557	0.560	0.562	0.564	0.652	0.653	0.655	0.657	0.658	0.661	0.663	0.665	0.668				
	Characteristic Strength (kN)	40.0	50.7	62.6	75.7	90.1	106	123	141	160	50.7	62.6	75.7	90.1	106	123	141	160	181				
	Equivalent shear stiffness (×10 <sup>4</sup> kN/m)	0.749	0.804	0.855	0.932	1.01	1.09	1.17	1.27	1.37	0.908	0.969	1.04	1.11	1.19	1.28	1.37	1.47	1.58				
	Equivalent damping ratio	0.165	0.163	0.219	0.244	0.266	0.285	0.302	0.317	0.339	0.174	0.199	0.223	0.246	0.266	0.284	0.300	0.314	0.326				

\*1 Special thickness for flange is available. Please refer to the table on page 29 for more details.

Fuente: Bridgestone (2018)

## Anexo 4: Presupuesto

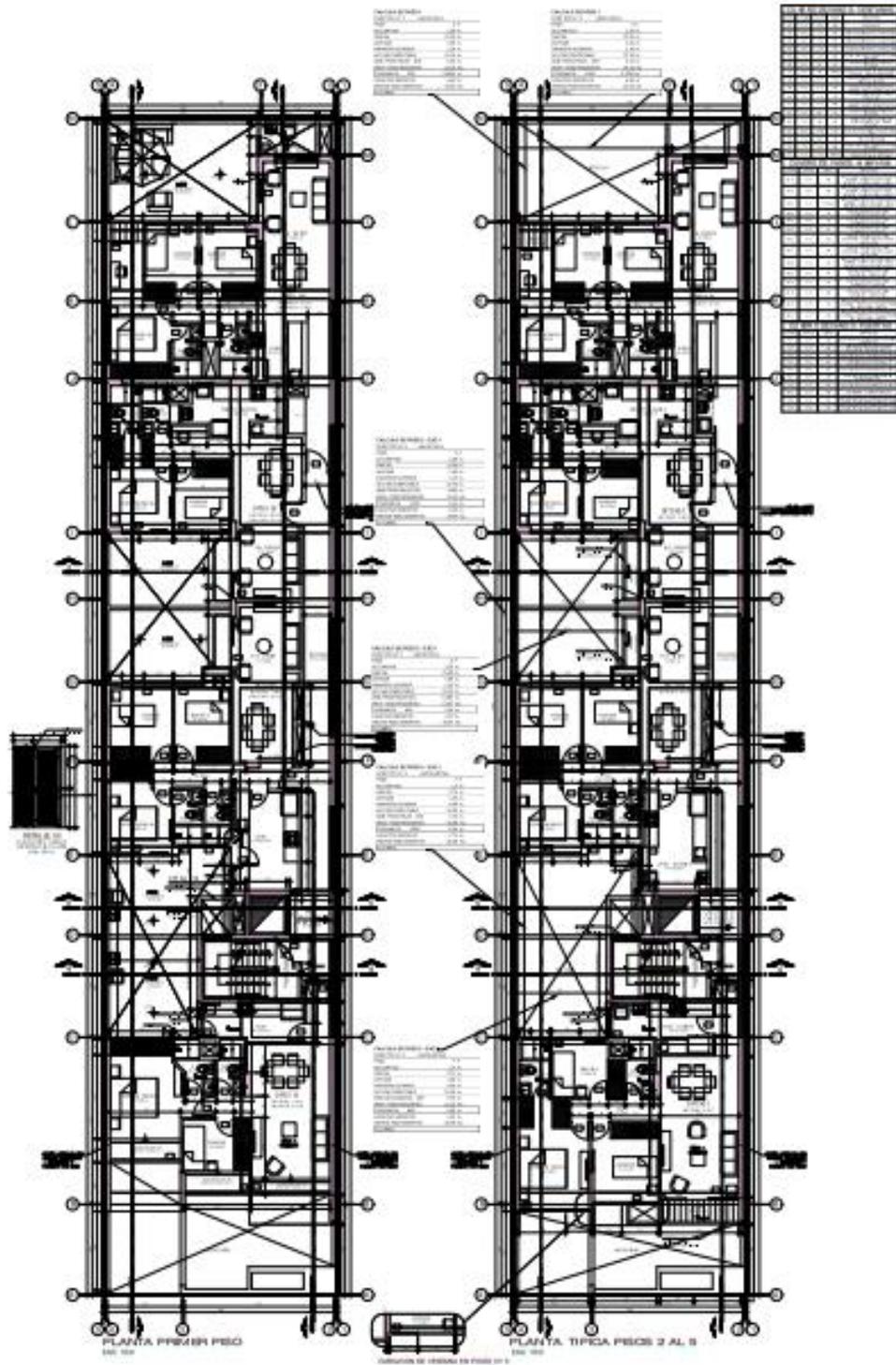
Item	Descripción	Und.	Metrado		Parcial S/.
<b>01</b>	<b>ESTRUCTURAS</b>				
<b>1.01</b>	<b>MOVIMIENTO DE TIERRAS</b>				
01.01.01	EXCAVACION MANUAL DE ZANJAS PARA CIMIENTOS	m3	393.68	68.00	26,770.24
01.01.02	EXCAVACIONES MENORES DE ZAPATAS	m3	50.31	68.00	3,421.05
01.01.03	EXCAVACIÓN PARA PISTÓN MONTACOCHE	m3	21.70	76.00	1,648.90
01.01.04	EXCAVACIÓN MASIVA	m3	2,825.00	25.60	72,325.65
01.01.05	RELLENO COMPACTADO CON MATERIAL PROPIO	m3	375.00	198.22	74,332.50
01.01.06	RELLENO COMPACTADO CON MATERIAL DE PRESTAMO	m3	se aprecia en el proy	0.00	0.00
01.01.07	NIVELACION RIEGO Y COMPACTACION PARA RECIBIR BASE DE MATERIAL PROPIO	m2	500.00	14.25	7,123.00
01.01.08	ELIMINACIÓN DE MATERIAL EXCEDENTE	m3	628.68	55.01	34,584.69
<b>1.02</b>	<b>CONCRETO SIMPLE</b>				
01.02.01	CONCRETO PARA FALSO SUBCIMIENTO 1:12 + 30% P.G. f <sub>c</sub> = 100 kg/cm <sup>2</sup>	m3	2.10	193.12	405.55
01.02.02	CONCRETO PARA CIMIENTO ESCALONADO f <sub>c</sub> = 210 kg/cm <sup>2</sup>	m3	9.35	327.69	3,063.92
01.02.03	CONCRETO SOLADO e= 2" f <sub>c</sub> =100 kg/cm <sup>2</sup>	m2	76.03	36.07	2,742.71
01.02.04	CONCRETO FALSO PISO BARRIDO e=0.15 m	m2	500.00	71.47	35,734.00
01.02.05	ENCOFRADO DE LOSA DE PISO	m2	85.08	56.71	4,825.06
01.02.06	BRUÑADO EN RANPA a cada 20cm	ml	169.68	37.23	6,317.19
01.02.07	JUNTA DE CONTRACCION (JC)	ml	383.50	23.73	9,101.22
01.02.08	JUNTA ALREDEDOR DE COLUMNA (JAC)	ml	160.00	23.73	3,797.12
01.02.09	JUNTA DE DILATACIÓN (JD)	ml	23.70	23.73	562.45
<b>1.03</b>	<b>CONCRETO ARMADO</b>				
<b>01.04.01</b>	<b>CIMIENTOS</b>				
01.04.01.01	CONCRETO PREMEZCLADO CIMENTACIONES f <sub>c</sub> = 210 kg/cm <sup>2</sup>	m3	393.68	326.98	128,724.70
01.04.01.02	ENCOFRADO DE CIMIENTO ARMADO	m2	199.22	37.81	7,532.11
01.04.01.03	ACERO CORRUGADO FY= 4200 kg/cm <sup>2</sup> GRADO 60	kg	613.81	5.07	3,109.58
01.04.01.04	CURADO	m2	199.22	2.41	
<b>01.04.02</b>	<b>ZAPATAS</b>				
01.04.02.01	CONCRETO PREMEZCLADO ZAPATAS f <sub>c</sub> =210 kg/cm <sup>2</sup>	m3	50.31	326.98	16,450.10
01.04.02.02	ENCOFRADO DE ZAPATAS	m2	44.55	37.81	1,684.35
01.04.02.03	ACERO CORRUGADO FY= 4200 kg/cm <sup>2</sup> GRADO 60	kg	1,396.03	5.07	7,072.29
01.04.02.04	CURADO	m2			
<b>01.04.03</b>	<b>CISTERNA Y CUARTOS DE BOMBAS</b>				
01.04.03.01	CONCRETO PREMEZCLADO CISTERNA f <sub>c</sub> =280 kg/cm <sup>2</sup>	m3	48.19	374.00	18,021.82
01.04.03.02	ENCOFRADO PARA MUROS DE CISTERNA C/MADERA	m2	427.65	57.22	24,470.99
01.04.03.03	ENCOFRADO PRELOSAS MACIZAS	m2	54.46	36.79	2,003.47
01.04.03.04	ACERO CORRUGADO FY= 4200 kg/cm <sup>2</sup> GRADO 60	kg	3,114.86	5.07	15,779.88
01.04.03.05	COLOCACION DE PRELOSAS MACIZAS	m2	54.46	13.00	707.98
01.04.03.06	CURADO	m2			
<b>01.04.05</b>	<b>MUROS DE CONTENCIÓN Y PLACAS PERIMÉTRICAS</b>				
01.04.05.01	PERFILADO Y PAÑETO DE MURO DE CONTENCIÓN	m2	678.12	42.77	29,004.55
01.04.05.02	CONCRETO PREMEZCLADO MURO DE CONTENCIÓN f <sub>c</sub> =210 kg/cm <sup>2</sup>	m3	169.53	378.52	64,170.83
01.04.05.03	ENCOFRADO MURO DE CONTENCIÓN 1 CARA	m2	678.12	57.22	38,803.38
01.04.05.04	ACERO CORRUGADO FY= 4200 kg/cm <sup>2</sup> GRADO 60	kg	3,521.60	5.24	18,439.10
<b>01.04.06</b>	<b>COLUMNAS</b>				
01.04.06.02	CONCRETO PREMEZCLADO COLUMNAS f <sub>c</sub> =210 kg/cm <sup>2</sup>	m3	161.34	465.76	75,145.72
01.04.06.03	ENCOFRADO NORMAL EN COLUMNAS	m2	789.59	60.37	47,667.55
01.04.06.04	ACERO CORRUGADO FY= 4200 kg/cm <sup>2</sup> GRADO 60	kg	12,306.65	5.07	62,345.51
					185,158.78
<b>01.04.07</b>	<b>PLACAS</b>				
01.04.07.02	CONCRETO PREMEZCLADO PLACAS f <sub>c</sub> =210 kg/cm <sup>2</sup>	m3	253.42	465.76	118,032.90
01.04.07.03	ENCOFRADO NORMAL EN PLACAS	m2	2,072.07	61.30	127,017.89
01.04.07.04	ENCOFRADO PERDIDO EN PLACAS	m2	621.50	65.29	40,577.74
01.04.07.05	ACERO CORRUGADO FY= 4200 kg/cm <sup>2</sup> GRADO 60	kg	32,454.34	5.07	164,413.68
<b>01.04.08</b>	<b>VIGAS</b>				
01.04.08.01	CONCRETO PREMEZCLADO VIGAS Y CORTES f <sub>c</sub> =210 kg/cm <sup>2</sup>	m3	170.15	510.38	86,841.16
01.04.08.02	ENCOFRADO DE VIGAS Y CORTES	m2	1,163.82	76.39	88,904.21
01.04.08.03	ACERO CORRUGADO FY= 4200 kg/cm <sup>2</sup> GRADO 60	kg	23,689.42	5.07	120,010.60
<b>01.04.10</b>	<b>LOSAS ALIGERADAS</b>				
01.04.10.01	CONCRETO PREMEZCLADO PRELOSAS ALIGERADAS f <sub>c</sub> =210 kg/cm <sup>2</sup>	m3	203.23	424.43	86,255.25
01.04.10.02	ENCOFRADO DE PRELOSAS ALIGERADAS	m2	1,847.51	44.12	81,512.14
01.04.10.03	ACERO CORRUGADO FY= 4200 kg/cm <sup>2</sup> GRADO 60	kg	13,136.22	5.07	66,548.09
01.04.10.04	COLOCACION DE PRELOSAS ALIGERADAS	m2	1,847.51	34.02	62,852.29
<b>01.04.11</b>	<b>LOSAS MACIZAS</b>				
01.04.11.01	CONCRETO PREMEZCLADO PRELOSAS MACIZAS f <sub>c</sub> =210 kg/cm <sup>2</sup>	m3	66.35	429.61	28,504.28
01.04.11.02	ENCOFRADO PRELOSAS MACIZAS	m2	552.91	45.74	25,290.10
01.04.11.03	ACERO CORRUGADO FY= 4200 kg/cm <sup>2</sup> GRADO 60	kg	7,232.65	5.07	36,640.60
01.04.11.04	COLOCACION DE PRELOSAS MACIZAS	m2	552.91	34.02	18,810.00
<b>01.04.12</b>	<b>ESCALERAS</b>				
01.04.12.01	CONCRETO PREMEZCLADO ESCALERA f <sub>c</sub> =210 kg/cm <sup>2</sup>	m3	15.99	554.85	8,872.05
01.04.12.02	ENCOFRADO NORMAL EN ESCALERA	m2	126.34	79.38	10,028.87
01.04.12.03	ACERO CORRUGADO FY= 4200 kg/cm <sup>2</sup> GRADO 60	kg	1,431.63	5.07	7,252.64

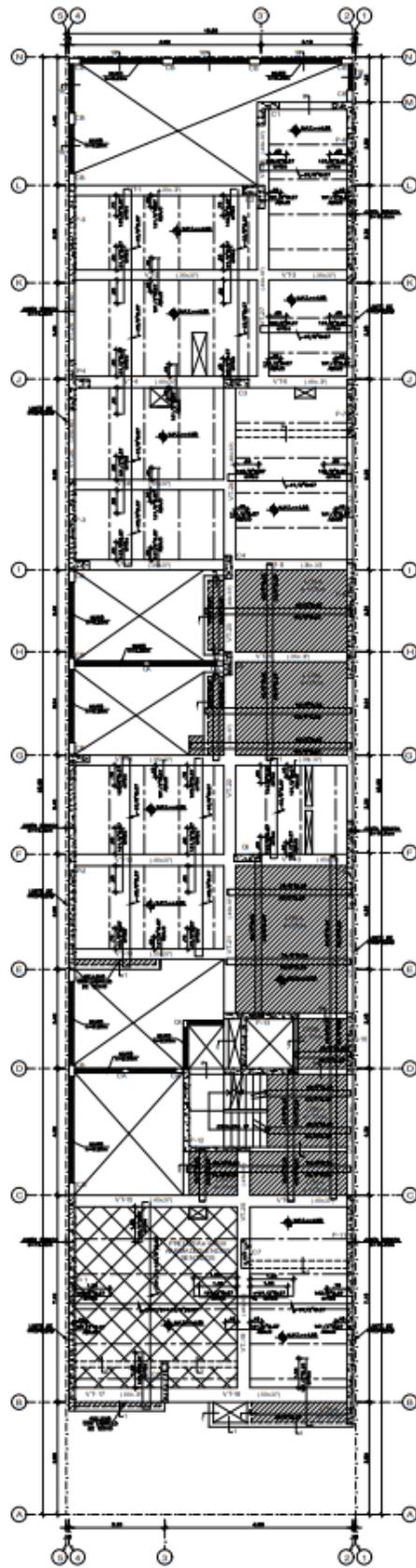
Anexo 5: Metrados

Metrado Base Aislada						
Partida N°	Descripción	N° veces	Medidas (m)			Parcial (m3)
			Largo	Ancho	Altura	
<b>01.01.00</b>	<b>Columna Típica</b>					
	Columna (90x25)	240	0.90	0.25	2.50	135.00
<b>01.02.00</b>	<b>Placas</b>					
	Ascensor	6	6.76	0.30	2.50	30.42
	Muro	6	2.10	0.30	2.50	9.45
	Escalera	6	5.00	0.30	2.50	22.50
Partida N°	Descripción	N° veces	Longitud total	Ancho	Alto	Parcial (m3)
<b>02.01.00</b>	<b>Viga Típica</b>					
	Viga (45x37) - Y	22	41.4	0.45	0.37	155.09
	Viga (50x37) - X	72	9.60	0.50	0.37	126.54

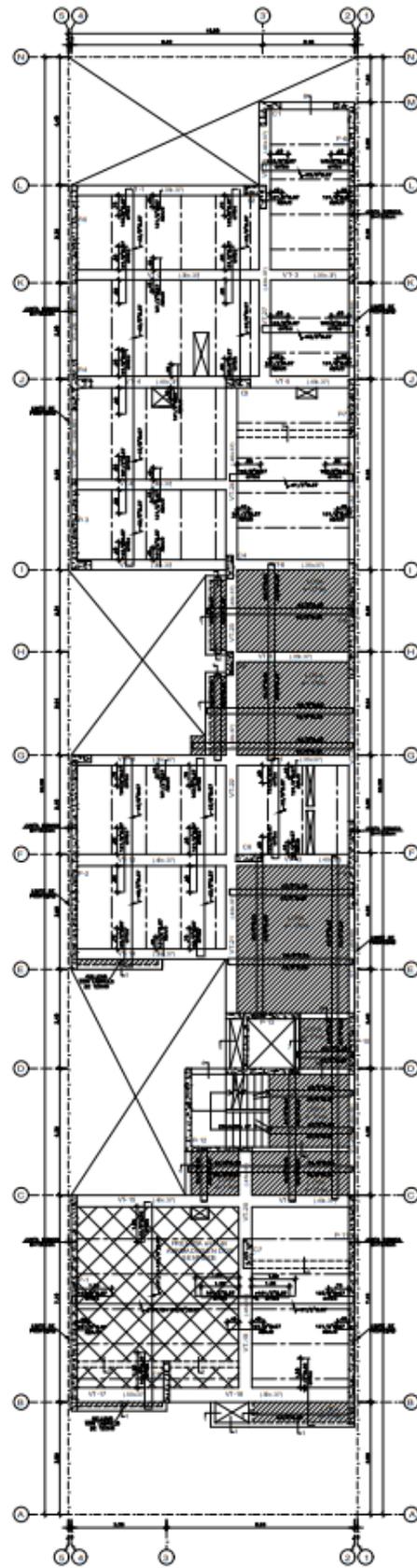
DESCRIPCION DEPARTIDAS	Ø	N° elementos iguales	N° piezas x elemento	Long. Pieza	Peso lineal	PARCIAL	total	%DESP	total d/ desperdicio	UND
<b>Viga Direccion Y-Y</b>										kg
VT-15 (45x37) (L=9.80m)						-			208.46	kg
Acero Longitudinal						-	158.20			
Positivo Largo	5/8"	1	4	9.91	1.552	61.52				
Positivo Corto	5/8"	1	3	3.70	1.552	17.23				
Negativo Largo	5/8"	1	4	10.21	1.552	63.38				
Negativo Corto	5/8"	1	3	3.45	1.552	16.06				
Estribos						-	50.27			
	3/8"	1	68	1.32	0.56	50.27				
						-				
						-				
<b>Viga Direccion X-X</b>										
VT-15 (50x37) (L=9.80m)						-			249.70	kg
Acero Longitudinal						-	180.52			
Positivo Largo	5/8"	1	4	10.16	1.552	63.07				
Positivo Corto	5/8"	1	3	4.39	1.552	20.44				
Negativo Largo	5/8"	1	4	10.21	1.552	63.38				
Negativo Corto	5/8"	1	3.5	6.19	1.552	33.62				
Estribos						-	69.18			
	3/8"	1	87	1.42	0.56	69.18				
						-				
						-				
<b>C (90x25)</b>						-	2,884.26		2,884.26	kg
Acero Longitudinal	3/4"	30	4	2.50	2,235	670.50				
	5/8"	30	6	2.50	1,552	698.40				
Estribos						-				
	3/8"	30	22	4.10	0.56	1,515.36				
						-				
						-				
ASCENSOR						-	2,293.44			
elementos de borde	5/8"	1	36	20.00	1,552	1,117.44				
Estribos	5/8"				1,552					
Alma	3/8"	1	34	20.00	0.56	380.80				
estribos	3/8"	12.5	8	14.20	0.56	795.20				

Anexo 6: Planos

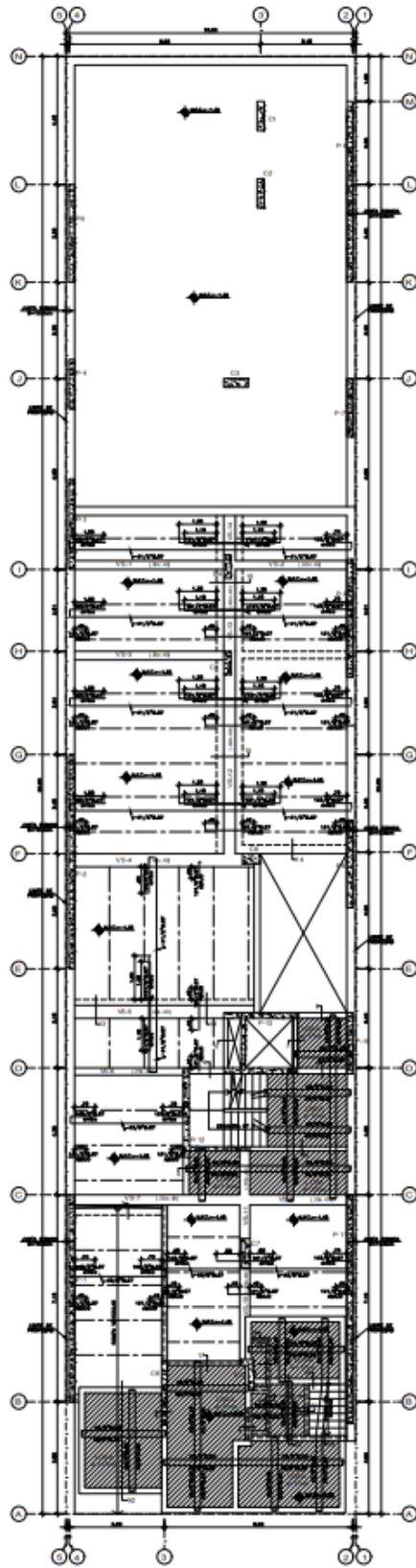




ENCOFRADO TECHO 2º PISO  
PROYECTO DE OBRAS DE RECONSTRUCCIÓN Y REFORMA DEL EDIFICIO DE LA UNIVERSIDAD DE VALLECAJAL  
SECCION 101



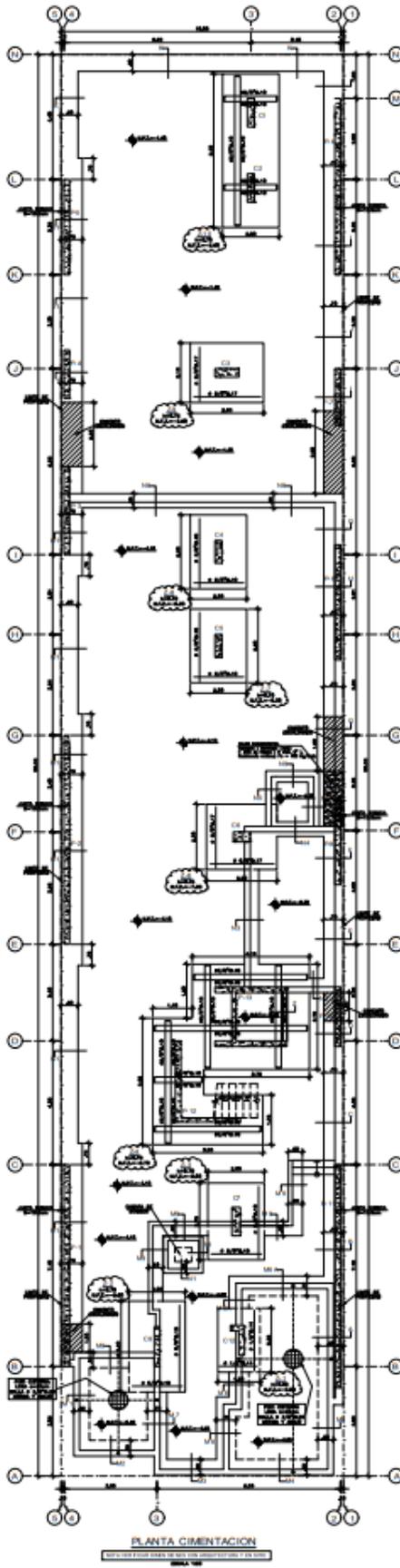
ENCOFRADO TECHO 4º PISO  
PROYECTO DE OBRAS DE RECONSTRUCCIÓN Y REFORMA DEL EDIFICIO DE LA UNIVERSIDAD DE VALLECAJAL  
SECCION 101



ENCOFRADO TECHO 1º SOTANO  
PROYECTO DE OBRAS DE RECONSTRUCCIÓN DEL CENTRO DE INVESTIGACIONES Y DESARROLLO TECNOLÓGICO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARCO



ENCOFRADO TECHO SEMISOTANO  
PROYECTO DE OBRAS DE RECONSTRUCCIÓN DEL CENTRO DE INVESTIGACIONES Y DESARROLLO TECNOLÓGICO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARCO



## Anexo 7: Permiso para utilizar planos

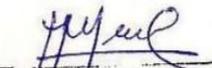


Lima, 14 de octubre de 2022

Por la presente, autorizamos al Sr Giancarlo Renzo Ingunza Bazan a fin de que pueda utilizar los datos, figuras, o fotografías de la empresa para la elaboración de su tesis.

Sin otro particular, me despido

Atentamente,



Hiladio Moises Mendez Castillejo  
INGENIERO CIVIL  
Reg. CIP 30631