

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil

Tesis

**La influencia en el comportamiento sísmico del edificio  
residencial las terrazas con cimentación fija frente al uso  
del aislador elastomérico de alto amortiguamiento  
(HDR), Huancayo 2017**

William Félix Carhuacusma Chávez

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero Civil

Huancayo, 2020

Repositorio Institucional Continental  
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

**ASESOR**

Ing. Julio César Aliaga Arcos

## **AGRADECIMIENTO**

A mi asesor de tesis, Ing. Julio Cesar Aliaga Arcos por compartir sus conocimientos, experiencias profesionales que colaboraron en el desarrollo de la tesis.

## **DEDICATORIA**

A mis padres, Sonia y Moisés, por el apoyo incondicional en mi desarrollo personal y profesional. A mi hermano Moisés, por sus palabras y acciones que me motivan a seguir adelante y saber que siempre puedo contar con él.

A mi esposa Yohana, por todo el amor y comprensión que me brinda cada día para salir adelante superando cada obstáculo juntos.

A mis hijas Fabiana y Thaísa, mis motores de superación diaria.

A mis abuelitos Julia, Victoria, Jorge y Félix, por el amor inmenso e incondicional que siempre me demuestran.

## ÍNDICE

PORTADA.....	I
ASESOR .....	II
AGRADECIMIENTO .....	III
DEDICATORIA.....	IV
ÍNDICE .....	V
LISTA DE TABLAS .....	VIII
LISTA DE FIGURAS.....	X
RESUMEN.....	XI
ABSTRACT.....	XII
INTRODUCCIÓN.....	XIII
<b>CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO.....</b>	<b>14</b>
1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	14
1.1.1. Planteamiento del problema.....	14
1.1.2. Formulación del problema .....	15
1.2. OBJETIVOS .....	16
1.2.1. Objetivo general .....	16
1.2.2. Objetivos específicos.....	16
1.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.....	16
1.4. HIPÓTESIS Y DESCRIPCIÓN DE VARIABLES.....	17
1.4.1. Hipótesis .....	17
1.4.2. Variables.....	17
1.5. METODOLOGÍA.....	18
1.5.1. Descripción de la metodología.....	18
1.5.2. Método de la investigación .....	19
1.5.3. Diseño de la investigación.....	19
1.5.4. Población.....	19
1.5.5. Muestra.....	19
<b>CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>20</b>
2.1. ANTECEDENTE DEL PROBLEMA.....	20
2.1.1. Investigaciones internacionales .....	20
2.1.2. Investigaciones Nacionales .....	21
2.1.3. Características sísmicas del Perú .....	22
2.1.4. Historia y desarrollo de los aisladores.....	23
2.1.5. Principales edificios aislados.....	26
2.2. BASES TEÓRICAS .....	30
2.2.1. Principios de la aislación sísmica.....	30
2.2.2. Tipos de aisladores sísmicos .....	31
2.2.3. Reglamento nacional de edificación (E- 0.30 diseño sismorresistente) .....	35
2.2.4. Reglamento nacional de edificaciones - norma técnica peruana (E- 0.31 (Aislamiento sísmico). .....	36
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.....	40
2.3.1. Aislamiento sísmico.....	40
2.3.2. Aislador sísmico .....	41
2.3.3. Análisis sísmico .....	41
2.3.4. Análisis espectral.....	41
2.3.5. Comportamiento lineal.....	42
2.3.6. Control pasivo de vibraciones de la estructura .....	42
2.3.7. Límites de servicio de la estructura.....	43
2.3.8. Potencial sísmico.....	43
2.3.9. Sismología.....	44

<b>CAPÍTULO III ASPECTOS GENERALES DEL ANÁLISIS ESTRUCTURAL .....</b>	<b>45</b>
3.1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO .....	45
3.2. DESCRIPCIÓN DE LA ARQUITECTURA.....	46
3.3. REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES (RNE).....	47
3.4. CARGAS EMPLEADAS PARA EL ANÁLISIS.....	48
3.5. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES .....	48
3.6. ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS.....	49
<b>CAPÍTULO IV ANÁLISIS SÍSMICO DINÁMICO – EDIFICIO CON CIMENTACIÓN FIJA .....</b>	<b>50</b>
4.1. ESTRUCTURACIÓN DEL EDIFICIO .....	50
4.2. PREDIMENSIONAMIENTO DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES .....	50
4.2.1. Predimensionamiento de losa aligerada .....	50
4.2.2. Predimensionamiento de vigas .....	51
4.2.3. Predimensionamiento de columnas .....	52
4.2.4. Predimensionamiento de placas .....	53
4.3. METRADO DE CARGAS .....	55
4.4. PARÁMETROS DEL ANÁLISIS ESTRUCTURAL .....	57
4.4.1. Factor de zona (Z) .....	57
4.4.2. Factor de uso e importancia (U).....	58
4.4.3. Factor de suelo (S) .....	58
4.4.4. Factor de amplificación sísmica (C) .....	59
4.4.5. Coeficiente de reducción (R).....	60
4.5. ANÁLISIS ESPECTRAL .....	60
4.6. DESARROLLO DEL MODELO ESTRUCTURAL EN EL SAP – 2000.....	63
4.7. MODELAMIENTO ESTRUCTURAL – SAP 2000 .....	65
4.8. ANÁLISIS DE IRREGULARIDAD ESTRUCTURAL.....	66
4.8.1. Factores de irregularidad ( $I_a$ , $I_p$ ) .....	66
4.8.2. Irregularidad estructural en altura ( $I_a$ ).....	66
4.8.3. Irregularidad estructural en planta ( $I_p$ ) .....	72
4.8.4. Resumen de irregularidad en ambas direcciones.....	76
4.9. ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO SÍSMICO DEL EDIFICIO .....	77
4.10. CUADRO DE RESUMEN DE RESULTADOS .....	78
4.10.1. Control de desplazamientos laterales en ambas direcciones .....	78
4.10.2. Periodos y modos de vibración .....	80
4.10.3. Aceleración del piso superior .....	80
4.10.4. Fuerza cortante en la base.....	81
<b>CAPÍTULO V ANÁLISIS SÍSMICO DINÁMICO – EDIFICIO CON AISLADOR ELASTOMÉRICO DE ALTO AMORTIGUAMIENTO (HDR) .....</b>	<b>82</b>
5.1. PREDIMENSIONAMIENTO DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES .....	82
5.1.1. Predimensionamiento de vigas de amarre en la base .....	82
5.2. CRITERIO DE SELECCIÓN DE LOS AISLADORES .....	83
5.3. DATOS INICIALES PARA EL DESARROLLO DEL SISTEMA DE AISLAMIENTO ....	84
5.3.1. Código UBC – 97.....	84
5.3.2. Datos para el diseño del aislador .....	84
5.3.3. Parámetros necesarios para el inicio del diseño del aislador .....	86
5.3.4. Datos para el diseño del aislador según (código UBC - 97):.....	92
5.4. USO DE AISLADORES ELASTOMÉRICOS DE ALTO AMORTIGUAMIENTO (HDR).....	95
5.4.1. Procedimiento para el cálculo de cortantes y desplazamientos máximos.....	95
5.4.2. Procedimiento para determinar los detalles de los aisladores HDR .....	98
5.4.3. Verificación según norma UBC – 97 .....	101
5.4.4. Desplazamiento máximo del centro de rigidez del sistema de aislamiento en el caso del sismo máximo esperado .....	103

5.4.5.	Determinación del desplazamiento de rodamiento y verificación del volcamiento global	105
5.4.6.	Características finales del aislador HDR.....	106
5.5.	MODELAMIENTO DE LA ESTRUCTURA EN EL SOFTWARE SAP 2000 .....	107
5.5.1.	Determinación de los parámetros para el modelamiento bilineal de los aisladores HDR	107
5.5.2.	Desarrollo del modelo estructural en el SAP – 2000 .....	109
5.5.3.	Modelamiento con aislador HDR para estructura de sistema de muros estructurales en el SAP - 2000.....	111
5.6.	ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO SÍSMICO DEL EDIFICIO .....	112
5.7.	CUADRO DE RESULTADOS .....	113
5.7.1.	Control de desplazamientos laterales y derivas en ambas direcciones .....	114
5.7.2.	Periodos y modos de vibración .....	115
5.7.3.	Aceleración del piso superior .....	116
5.7.4.	Fuerza cortante en la base.....	116
5.8.	MODELAMIENTO CON AISLADOR HDR PARA ESTRUCTURA CON SISTEMA APORTICADO EN EL SAP – 2000 .....	117
5.9.	CUADRO DE RESULTADOS .....	118
5.9.1.	Control de desplazamientos laterales y derivas en ambas direcciones .....	119
5.9.2.	Periodos y modos de vibración .....	120
5.9.3.	Aceleración del piso superior .....	121
5.9.4.	Fuerza cortante en la base.....	122
<b>CAPÍTULO VI RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>		<b>123</b>
6.1.	COMPARACIÓN DE RESULTADOS DEL EDIFICIO CON CIMENTACIÓN FIJA FRENTE AL USO DEL AISLADOR ELASTOMÉRICO DE ALTO AMORTIGUAMIENTO (HDR)	123
6.1.1.	Desplazamientos laterales por niveles en ambas direcciones .....	123
6.1.2.	Control de derivas de la estructura para ambos sistemas.....	126
6.1.3.	Periodos de ambos modelos.....	128
6.1.4.	Aceleración del piso superior para ambos sistemas.....	129
6.1.5.	Fuerzas cortantes en la base para ambos sistemas.....	130
<b>CONCLUSIONES.....</b>		<b>132</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>		<b>133</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>		<b>134</b>
<b>ANEXOS .....</b>		<b>135</b>

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Los diez terremotos más devastadores que ocurrieron en el Perú .....	23
Tabla 2: Predimensionamiento de columnas .....	53
Tabla 3: Cálculo de cortante basal por niveles .....	53
Tabla 4: Peso específico de los elementos de acuerdo al material .....	56
Tabla 5: Cargas vivas máximas repartidas .....	56
Tabla 6: Peso por niveles .....	57
Tabla 7: Factores sísmicos de zona .....	58
Tabla 8: Categoría de las edificaciones y factor "U" .....	58
Tabla 9: Factor de suelo "S" .....	59
Tabla 10: Periodos "Tp", "Y", "T" .....	59
Tabla 11: Coeficiente básico de reducción Ro .....	60
Tabla 12: Cálculo de la masa en cada nivel .....	61
Tabla 13: Cálculo del momento polar de inercia .....	61
Tabla 14: Cálculo de la onda espectral de aceleración sísmica dirección X-X .....	62
Tabla 15: Cálculo de la onda espectral de aceleración sísmica dirección Y-Y .....	62
Tabla 16: Irregularidad de rigidez (piso blando) en la dirección x – x .....	67
Tabla 17: Irregularidad de rigidez (piso blando) en la dirección y-y .....	67
Tabla 18: Irregularidad de extrema rigidez en la dirección x-x .....	68
Tabla 19: Irregularidad extrema de rigidez en la dirección y-y .....	69
Tabla 20: Irregularidad de masa o peso .....	70
Tabla 21: Irregularidad geometría vertical .....	71
Tabla 22: Irregularidad torsional en la dirección x-x .....	73
Tabla 23: Irregularidad torsional en la dirección y-y .....	74
Tabla 24; Resumen de irregularidad en la dirección x-x .....	76
Tabla 25: Resumen de Irregularidad en la dirección y-y .....	77
Tabla 26 Limites para la distorsión del entrepiso .....	77
Tabla 27: Control de desplazamiento lateral y distorsión del eje X-X .....	79
Tabla 28: Control de desplazamientos lateral y distorsión del eje Y-Y .....	79
Tabla 29: Periodos y modos de vibración .....	80
Tabla 30: Aceleración sísmica en cada nivel .....	81
Tabla 31: Fuerzas cortantes en la base .....	81
Tabla 32: Reacciones en la base del edificio .....	85
Tabla 33: Datos de Inicio para diseño del aislador (HDR) .....	86
Tabla 34: Datos para el diseño del aislador (HDR) .....	86
Tabla 35: Tipos de perfiles de suelo .....	88
Tabla 36: Tipo de lugar de origen del sismo .....	89
Tabla 37: Factor de cercanía a la fuente Na .....	89
Tabla 38: Factor de cercanía a la fuente Nv .....	90
Tabla 39: Factor de seguridad para la tensión y el pandeo .....	90
Tabla 40: Coeficiente de sismicidad Ca .....	91
Tabla 41: Coeficientes de sismicidad Cvd .....	91
Tabla 42: Coeficientes de sismicidad Cvd .....	92
Tabla 43: Datos del proyecto .....	93
Tabla 44: Propiedades para el diseño de aislador .....	94
Tabla 45: Amortiguamiento efectivo .....	104
Tabla 46: Características finales del aislador HDR .....	106
Tabla 47: Propiedades del aislador HDR .....	109
Tabla 48: Limites para desplazamiento lateral de entrepiso .....	113
Tabla 49: Control de desplazamiento lateral del eje X-X .....	114
Tabla 50: Control de desplazamiento lateral del eje Y-Y .....	115
Tabla 51: Periodos y modos de vibración .....	115
Tabla 52: Aceleración sísmica en cada nivel .....	116

Tabla 53: Fuerzas cortantes en la base .....	117
Tabla 54: Control de desplazamiento lateral del eje X-X.....	119
Tabla 55: Control de desplazamiento lateral del eje Y-Y.....	120
Tabla 56: Periodos y modos de vibración .....	121
Tabla 57: Aceleración sísmica en cada nivel .....	121
Tabla 58: Fuerza cortante en la Base .....	122
Tabla 59: Comparación de desplazamientos laterales por piso para la dirección X-X.....	123
Tabla 60: Comparación de desplazamientos laterales por piso para la dirección Y-Y.....	124
Tabla 61: Comparación de derivas en la dirección X-X.....	126
Tabla 62: Comparación de derivas en la dirección Y-Y.....	127
Tabla 63: Comparación de periodos .....	128
Tabla 64: Aceleración sísmica en cada nivel .....	129
Tabla 65: Fuerzas cortantes en la base para ambos sistemas .....	131

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Cantidad de edificios con sistema de aislamiento sísmico.....	26
Figura 2: La Pirámide transámerica de San Francisco, California - EE.UU .....	27
Figura 3: Aeropuerto Sabiha Gokcen Turquía .....	27
Figura 4: Edificio Taipéi – Taiwán .....	28
Figura 5: Pabellón de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) .....	29
Figura 6: Edificio Atlantik Ocean Tower, San Miguel – Lima .....	29
Figura 7: Desplazamiento de edificio con cimentación fija y edificio con aislador sísmico .....	30
Figura 8: Aislador elastomérico de bajo amortiguamiento (LRD) .....	32
Figura 9: Aislador elastomérico con núcleo de plomo (LRB) .....	33
Figura 10: Aislador elastomérico de alto amortiguamiento (HDR).....	34
Figura 11: Aislador elastomérico de alto amortiguamiento .....	35
Figura 12: Detalle de sistema de aislamiento .....	37
Figura 13: Efecto de aislamiento sísmico .....	41
Figura 14: Desplazamiento de edificio con cimentación fija y edificio con aislador sísmico .....	43
Figura 15: Vista satelital de la ubicación del terreno.....	45
Figura 16: Vista de la elevación principal del edificio.....	46
Figura 17: Estructuración por niveles de la edificación.....	55
Figura 18: Propiedades y dimensionamiento de los elementos estructurales.....	63
Figura 19: Definición de los tipos de cargas para ambas direcciones.....	63
Figura 20: Ingreso del espectro de respuesta sísmica .....	64
Figura 21: Ingreso de datos para el sismo en cada dirección .....	64
Figura 22: Modelamiento de la estructura (SAP 2000).....	65
Figura 23: Mapa de zonificación sísmica de Estados Unidos.....	87
Figura 24: Mapa de zonificación sísmica del Perú.....	87
Figura 25: Propiedades del aislador .....	93
Figura 26: Propiedades del aislador .....	94
Figura 27: Dimensiones del aislador HDR .....	107
Figura 28: Ingreso de las propiedades del aislador HDR .....	109
Figura 29: Ingreso de las propiedades del aislador HDR .....	110
Figura 30: Ingreso de las propiedades del aislador .....	110
Figura 31: Ingreso de las propiedades del aislador HDR .....	111
Figura 32: Modelamiento de la estructura con aislador HDR .....	112
Figura 33: Modelamiento de la estructura con aislador HDR con sistema aporticado .....	118
Figura 34: Desplazamientos laterales por niveles eje X-X .....	124
Figura 35: Desplazamientos laterales por niveles ejes Y-Y.....	125
Figura 36: Derivas por niveles eje X-X.....	126
Figura 37: Derivas por niveles Y-Y.....	127
Figura 38: Comparación de periodos .....	128
Figura 39: Comparación de aceleración por nivel.....	130
Figura 40: Comparación de fuerza cortante en la base.....	131

## RESUMEN

El aislamiento de una estructura es la herramienta más potente de la ingeniería sísmica, basándose en la reducción de la demanda sísmica en lugar del incremento de la capacidad resistente de las estructuras, que consiste en desacoplar la estructura del suelo, que permite un control pasivo de las vibraciones de la estructura y provoca la reducción de las fuerzas sísmicas.

Los aisladores son elementos que se ubican en la interface del suelo y la estructura, los cuales proporcionan suficiente flexibilidad a la estructura reduciendo considerablemente la rigidez del sistema, provocando el incremento del periodo fundamental.

En la presente investigación se realiza el análisis sísmico de un edificio residencial de 8 pisos, donde se realizan tres modelos sísmicos: el primer modelo es un sistema de muros estructurales con cimentación fija, el segundo modelo es el mismo sistema de muros estructurales con el uso del aislador elastomérico (HDR) y el tercero modelo es un sistema aporticado con el uso del aislador elastomérico (HDR).

Al realizar el análisis dinámico con el uso de la aceleración espectral los resultados revelan que el desplazamiento absoluto para el edificio de sistema de muros estructurales con aislador se incrementa 519% y para el edificio de sistema aporticado con aislador se incrementa 705% en la dirección y, con respecto al desplazamiento absoluto del edificio de sistema de muros estructurales con cimentación fija. Respecto al desplazamiento relativo para el edificio de sistema de muros estructurales con aislador disminuye un 69% y para el edificio de sistema aporticado con aislador incrementa un 83% en la dirección y, con respecto a los desplazamientos relativos del edificio con cimentación fija. La deriva de piso para el edificio de sistema de muros estructurales con aislador se reduce un 69%, para el edificio de sistema aporticado con aislador se incrementa un 79% en la dirección y, con respecto a la deriva de piso del edificio de sistema de muros estructurales con cimentación fija. La aceleración en el piso para el edificio con sistema de muros estructurales con aislador se reduce un 81%, y para el edificio de sistema aporticado con aislador se reduce un 79%, con respecto a la aceleración en el piso superior del edificio de sistema de muros estructurales con cimentación fija. La fuerza cortante en la base para el edificio de sistema de muros estructurales con aislador se reduce un 58% y para el edificio de sistema aporticado con aislador se reduce un 59%, con respecto a la fuerza cortante en la base del edificio de sistema de muros estructurales con cimentación fija.

## ABSTRACT

The isolation of a structure is the most powerful tool in seismic engineering, based in the reduction of seismic demand instead of increasing the structure resistance capacity, which consists in uncouple the floor structure that allows a passive control of the structure vibration and causes the reduction of seismic forces.

The isolators are elements that are placed in the floor and structure interface, which provide enough flexibility to the structure, reducing the rigidity of the system considerably, producing a fundamental period increase.

In the present research, an eight floor residential building seismic analysis is made, where we use three seismic models: the first one is a structural wall system with a fixed foundation; the second model is the same structural wall system using the elastomeric isolator of High Dynamic Range (HDR) and the third model is a breached system using the elastomeric isolator of High Dynamic Range (HDR)

After doing the dynamic analysis, with the use of the spectral acceleration, the results reveal that the absolute displacement for the structural wall system building with the isolator, increases 519% and for the breached system with isolator, it increases 705%, compared with the absolute displacement of the structural wall system with a fixed foundation. About the relative displacement for the structural wall system building with isolator, it decreases 69% and for the breached system with isolator, it increases 83% in the Y direction, compared to the relative displacements of the building with a fixed foundation.

The floor drift for the structural wall system building with isolator is reduced in 69%, for the breached system with isolator it is increases by 79% in the Y direction, compared to the first one model. The floor acceleration for the structural wall system with isolator is reduced in 81% and for the breached system with isolator is reduced by 79%, compared with the building with a fixed foundation.

Shear force at the base for the structural wall system building with isolator is reduced by 58%, and for the breached system with isolator is reduced by 59%, compared with the shear force at the base of the structural wall system with fixed foundation.

## INTRODUCCIÓN

El Perú es un país con alto potencial sísmico debido a que está ubicado sobre la subducción de dos placas; la placa de Nazca y la placa Sudamérica.

En el siglo pasado, el Perú ha registrado por lo menos 15 sismos superiores a 7 grados, entre los más destructores se registra el de Chimbote en 1970, Lima 1974, Ocoña 2001, Moyobamba 2005, Ica 2007, entre otros. Por ende, toda estructura construida en el Perú debe considerar un diseño sismorresistente para poder resistir este tipo de sollicitaciones.

El propósito del diseño sismorresistente consiste en reducir los daños de la edificación y así mantener la funcionalidad de los servicios, y sobre todo evitar la pérdida de vidas humanas, en concordancia con la filosofía que establece el reglamento nacional de edificaciones (E-0.30). La estructura no deberá colapsar ni causar daños a las personas debido a movimientos sísmicos severos que pueden ocurrir en el sitio y que la estructura deberá soportar movimientos sísmicos moderados que pueden ocurrir en el sitio durante su vida de servicio, experimentando posibles daños dentro de los límites aceptables.

Por ello, el objetivo de la investigación es determinar la influencia en el comportamiento sísmico del edificio residencial Las Terrazas con cimentación fija frente al uso del aislador elastomérico de alto amortiguamiento (HDR), Huancayo-2017, a fin de determinar el grado favorable del desempeño de la estructura mediante la utilización del aislador HDR.

En la presente tesis se desarrolla la aplicación de un sistema con aislamiento sísmico y se compara con los resultados obtenidos del análisis sísmico de una edificación con cimentación fija (convencional).

# **CAPÍTULO I**

## **PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO**

### **1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

#### **1.1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La ocurrencia de un sismo no tiene hora, día, ni fecha indicada, pero de darse ocasiona grandes pérdidas tanto humanas como materiales, hasta hacer desaparecer ciudades enteras. La región Junín no está lejos de este tipo de peligros, ya que se registran tres fallas geológicas, las cuales son: El Gran Pajonal en la provincia de Satipo; la de Ricrán en la provincia de Jauja y la del Huaytapallana en la provincia de Huancayo, por lo que es considerada como una región de alta sismicidad.

Entre los sismos históricos en Junín, se registra el del año 1945 que fue de una gran magnitud con epicentro en la sierra central del Perú, mientras que, en el año 2019 a 21 km al sureste de Huancayo, se registró un sismo de 4.2 grados en la escala de Richter.

En Huancayo de darse un sismo de gran magnitud, provocaría que las viviendas y edificios sean dañados considerablemente. Estudios realizados advierten que el 80% de las edificaciones son vulnerables debido a la utilización de materiales deficientes y que no cumplen con la norma sismorresistente de diseño, donde solo el 5% de ellas son construidas o supervisadas por un profesional. Lo que hace que la población esté en peligro. (Fuente: Diario Correo)

Para realizar una correcta construcción de un edificio sismo resistente desde un proceso convencional con cimentación fija sin aislamiento, se considera muchos

aspectos que parten desde la elaboración del expediente técnico, que incluye el análisis y diseño de la estructura, teniendo en consideración la simetría de los elementos estructurales que generarán una correcta rigidez lateral del edificio, la correcta distribución y concentración de masas.

La cimentación es fundamental ya que se debe considerar con mucha importancia las características del suelo, la ubicación dentro del mapa de zonificación sísmica, el tipo de sistema estructural y la categoría de edificación a realizar. Teniendo en cuenta estas consideraciones se realizará una correcta edificación sismorresistente con cimentación fija (convencional).

Por lo tanto, para la mejora del comportamiento sísmico de las edificaciones y para el diseño a fin de disminuir el daño de la estructura, es conveniente considerar un sistema con aisladores sísmicos, donde se reducirán las fuerzas inducidas sobre la estructura durante un terremoto y se obtendrá un control pasivo de vibración de la estructura, para lo cual se pretende desacoplar la estructura del terreno, de forma que los movimientos de la superficie producidos durante un terremoto sean transmitidos en una pequeña parte a los elementos resistentes.

Considerando ambos tipos de análisis sismorresistente, tanto con cimentación fija como con el sistema de aislador elastomérico de alto amortiguamiento (HDR), se obtiene buenos resultados en cuanto al comportamiento sísmico de las edificaciones, pero se tiene en cuenta que al proceder con el análisis sismorresistente para una edificación utilizando el aislador elastomérico de alto amortiguamiento (HDR), los resultados serán más favorables con relación a una edificación con cimentación convencional ya que se incrementarán los desplazamientos horizontales, se reducirán las derivas, las fuerzas cortantes disminuirán y las aceleraciones en el último piso también se reducirán.

### **1.1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Cuál es la influencia en el comportamiento sísmico del edificio residencial Las Terrazas con cimentación fija frente al uso del aislador elastomérico de alto amortiguamiento (HDR), Huancayo 2017?

## **1.2. OBJETIVOS**

### **1.2.1. OBJETIVO GENERAL**

Determinar la influencia en el comportamiento sísmico del edificio residencial Las Terrazas con cimentación fija frente al uso del aislador elastomérico de alto amortiguamiento (HDR), Huancayo 2017.

### **1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- a. Analizar y comparar el comportamiento sísmico del edificio residencial Las Terrazas utilizando aislador elastomérico de alto amortiguamiento (HDR) y a su vez con la cimentación fija.
- b. Identificar y utilizar las variables del análisis dinámico según el reglamento nacional de edificaciones (RNE – E. 0.30).
- c. Realizar un análisis sísmico dinámico para el edificio residencial Las Terrazas aplicando el análisis espectral mediante el programa de modelación estructural SAP 2000.

## **1.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA**

La ciudad de Huancayo al ser considerada una zona con alto riesgo sísmico, está expuesta a sufrir daños severos en las edificaciones producto de un evento sísmico.

Actualmente las obras que se vienen ejecutando en la región Junín. específicamente de edificios residenciales multifamiliares, tienen en su criterio de análisis dinámico un estudio convencional en el que se basa específicamente estructuras con cimentación fija comprendidas con zapatas, vigas de conexión, plateas, etc.

En la actualidad en el Perú, se vienen realizando obras de gran envergadura con sistemas de aislamiento sísmico, que garantizan mejores resultados en cuanto al comportamiento dinámico de la estructura, específicamente en hospitales.

Es por ello que el propósito fundamental de la investigación se justifica en obtener el mejor comportamiento sísmico, realizando un análisis espectral de una edificación con cimentación fija frente al uso del aislador elastomérico de alto amortiguamiento del mismo sistema estructural, donde como finalidad se consiga evitar pérdidas humanas y materiales.

## **1.4. HIPÓTESIS Y DESCRIPCIÓN DE VARIABLES**

### **1.4.1. HIPÓTESIS**

#### **1.4.1.1. Hipótesis general**

La influencia en el comportamiento sísmico del edificio residencial Las Terrazas con cimentación fija frente al uso del aislador elastomérico de alto amortiguamiento (HDR), Huancayo-2017 será positiva, ya que se generarán mayores desplazamientos horizontales, menores derivas, disminución de las fuerzas cortantes en la base del edificio y la aceleración en el último nivel disminuirá, en relación a los resultados obtenidos por la cimentación fija.

### **1.4.2. VARIABLES**

#### **1.4.2.1. Variable dependiente**

##### **Comportamiento sísmico del edificio residencial Las Terrazas**

El comportamiento sísmico describe el correcto desempeño de una edificación sometida a fuerzas sísmicas de diferentes magnitudes. Es una expresión del comportamiento deseado o del desempeño objetivo que debe ser capaz de alcanzar un edificio sujeto a un determinado nivel de movimiento sísmico.

#### **1.4.2.2. Variable Independiente**

##### **a. Aislador elastomérico de alto amortiguamiento (HDR).**

Los aisladores elastomérico de alto amortiguamiento (HDR) son fabricados con material caucho modificado con aditivos (tales como aceites, carbón en polvo, resinas, polímeros) que permiten cambiar su comportamiento histeréticos alcanzando un mayor amortiguamiento. El amortiguamiento de este tipo de aisladores varía entre el 10% y 20% para deformaciones angulares menores a 2. Para producir ciclos estables pasa por un proceso llamado *scragging* en el cual se les somete a varios ciclos de deformación y

se logran ciclos estables para deformaciones menores. La relación entre la fuerza cortante y la deformación es lineal.

**b. Cimentación fija**

Es el conjunto de elementos estructurales tales como (zapatas, vigas de cimentación, plateas) cuya misión es transmitir sus cargas hacia el suelo. En cuanto a la selección del tipo de cimentación fija se considera principalmente las características del terreno a cimentar (cohesión, ángulo de rozamiento), que permitirán el cálculo de la capacidad portante necesario para el análisis y diseño de los elementos estructurales.

## **1.5. METODOLOGÍA**

### **1.5.1. DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA**

Para el desarrollo de la tesis se realizará el análisis del edificio residencial Las Terrazas, que consta de 8 niveles más azotea y está ubicado en el Jr. Alejandro O. Deustua N° 1181, distrito de El Tambo - Huancayo – Junín.

De acuerdo a la descripción arquitectónica el edificio presenta 08 niveles, destinados para el uso de departamentos donde el área del 1° nivel es de 282.39 m<sup>2</sup> que cuenta con 02 departamentos y consta de 3 dormitorios, sala, comedor, cocina, servicios higiénicos y terrazas; a partir del segundo hasta el último nivel es de 274.90 m<sup>2</sup> respectivamente, de la misma manera son 02 departamentos por nivel y consta de 3 dormitorios, sala, comedor, cocina servicios higiénicos y terrazas.

Se realizarán tres modelos de la edificación, para el primer modelo se considera la incorporación de una cimentación fija tradicional que estará sometida al criterio que establece la norma de diseño sismorresistente E - 0.30, donde se realizará el análisis dinámico mediante combinación modal espectral.

Para el segundo y tercer modelo se utilizará la misma descripción arquitectónica, pero en este caso se incorporará el uso de aisladores elastomérico de alto amortiguamiento (HDR) en la cimentación, con el desarrollo de los modelos se obtendrán resultados de cuan favorable es el comportamiento sísmico de la estructura de acuerdo al sistema y tipo de cimentación que se está utilizando.

El desarrollo del análisis sísmico para la edificación se realizará respetando las disposiciones establecidas en la norma técnica E 0.30 (diseño sismorresistente), la norma técnica E 0.31 (aisladores sísmicos), la norma UBC – 97 y la norma ASCE/SEI 7 – 10 (Minimum design loads for building and other structures).

## **1.5.2. MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.5.2.1. Tipo de investigación**

La investigación es aplicada, tiene como propósito dar solución a situaciones o problemas concretos e identificables.

### **1.5.2.2. Nivel de investigación**

El nivel es correlacional, porque identificaremos una problemática.

## **1.5.3. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN**

El diseño es experimental, ya que se va a determinar cómo influye en el comportamiento sísmico del edificio residencial Las Terrazas con cimentación fija y frente al uso del aislador elastomérico de alto amortiguamiento (HDR).

## **1.5.4. POBLACIÓN**

Comprende a los edificios residenciales multifamiliares que se vienen construyendo en la provincia de Huancayo, departamento de Junín.

## **1.5.5. MUESTRA**

Para la muestra se considera al edificio residencial Las Terrazas que cuenta con 08 niveles más azotea destinados al uso de departamentos. Se encuentra ubicado en el Jr. Alejandro O. Deustua N° 1181, distrito de El Tambo – Huancayo – Junín.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. ANTECEDENTE DEL PROBLEMA**

Se realizaron investigaciones referentes a sistemas de aislamiento sísmico en edificaciones. Para esta tesis se revisaron las siguientes investigaciones:

##### **2.1.1. INVESTIGACIONES INTERNACIONALES**

**Valerio Zacarías, Jacob (2012)**, desarrolló la investigación titulada, Análisis comparativo de un edificio fijo en la base vs un edificio aislado utilizando 4 tipos de aisladores sísmicos, tesis presentada para obtener el grado de Master en Ingeniería Civil Escola de Camins, Barcelona – España. El objetivo del presente trabajo es realizar un análisis comparativo estructural de un edificio fijo en la base versus un edificio aislado, utilizando cuatro tipos de aisladores sísmicos a través de un análisis tiempo – historia, utilizando el programa de cálculo estructuras ETABS 2013. Así como también compara el comportamiento que tiene la estructura con 4 tipos de aisladores sísmicos, los cuales son: HDRB, LRB, FPS y RNC, este último es un aislador de una tecnología inventada en la Universidad Politècnica de Catalunya.

**Peña Mora, Antonio (2007)**, desarrolló la investigación titulada: Análisis sísmico plano de estructuras con aisladores elastomérico, tesis presentada para obtener el grado de Ingeniero Civil, Escuela Politécnica del Ejército, Sangolqui – Ecuador. El objetivo fundamental del diseño de estructuras frente a acciones sísmicas es el de mantener la respuesta dentro de los límites de seguridad y confort humano. Dicho

objetivo se puede alcanzar aplicando los conceptos básicos del diseño antisísmico convencional, los cuales parten de la idea de que el movimiento del terreno se transmite a la estructura a través de su base fija. En todas las normativas de diseño sísmico del mundo se dan parámetros de diseño tradicional cuyo propósito es disipar una parte de la energía inducida por el terreno, a fin de evitar aceleraciones y corrimientos excesivos en la estructura.

**Saavedra Quezada, Marcelo (2005)**, realizó la investigación titulada: Análisis de edificios con aisladores sísmicos mediante procedimientos simplificados, tesis presentada para obtener el grado de Ingeniero Civil, Universidad Austral, Valdivia – Chile. El objetivo principal es validar un procedimiento simplificado de análisis sísmico de estructuras con aislación sísmica basal de comportamiento lineal. Los buenos resultados que se obtengan permitirán realizar un buen prediseño y verificar el comportamiento de este tipo de estructuras, con el fin de obtener diseños más eficientes y seguros.

**Bonilla, L (2012)**, desarrolló la investigación titulada: Teoría del aislamiento sísmico para edificaciones, tesis presentada para obtener el grado de Ingeniero Civil, Universidad Nacional Autónoma, México. El objetivo principal es desarrollar los conocimientos que se tiene sobre los diferentes sistemas de control estructural en la actualidad, y con base en ello, comparar los beneficios obtenidos por estos sistemas en comparación con los apoyos convencionales. En especial, considerando el caso de los aisladores de base. Esta demostración se hizo con ayuda del software SAP 2000.

### **2.1.2. INVESTIGACIONES NACIONALES**

**Korswagen Paul, Arias Julio, Huaranga Pamela (2012)**, realizaron la investigación titulada: Análisis y diseño de estructuras con aisladores sísmicos en el Perú, tesis presentada para obtener el grado de Ingeniero Civil, Pontificia Universidad Católica, Lima – Perú. El Objetivo del presente trabajo consiste en elaborar una investigación bibliográfica compresiva acerca de los tipos de comportamiento y consideraciones en el uso de aisladores sísmicos, comparar el comportamiento de varios modelos para determinar la influencia de los aisladores,

rediseñar una estructura con el sistema de aisladores sísmicos y evaluar las diferencias en el diseño final y desarrollar pautas simplificadores para determinar la factibilidad estructural de inclusión de aisladores sísmicos en estructuras en el Perú.

**Carmona Pedro, Rosas Angello (2015)**, desarrollaron la investigación titulada: Análisis comparativo del comportamiento sísmico dinámico normativo sismo resistente de un sistema dual frente al modelo con aisladores elastomérico de alto amortiguamiento (HDR) de un sistema aportico, del edificio de Oficinas Schell de seis pisos ubicado en la provincia de Lima - Perú, tesis presentada para obtener el grado de Ingeniero Civil, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima – Perú. El objetivo del presente trabajo es realizar un análisis comparativo y diseño estructural utilizando aisladores sísmicos en la base (elastomérico de alto amortiguamientos, HDR), para estudiar el comportamiento estructural de un edificio de oficinas con un sistema dual bajo criterio normativo sismorresistente, utilizando un modelo sísmico mediante el programa de modelación estructural SAP 2000, el cual nos proporcionará resultados necesarios para elegir el mejor modelo ante un evento sísmico.

**Jacobo, Y, Quispe, Juan. (2014)**, realizó la investigación titulada: Diseño estructural comparativo entre los sistemas dual y con aislamiento sísmico en la base para una clínica de 8 pisos en la ciudad de Trujillo, tesis presentada para obtener el grado de Ingeniero Civil, Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo - Perú. El objetivo principal es desarrollar los conocimientos que se tiene sobre los diferentes sistemas de control estructural en la actualidad, y con base en ello, comparar los beneficios obtenidos por estos sistemas en comparación con los apoyos convencionales. En especial, considerando el caso de los aisladores de base. Esta demostración se hizo con ayuda del software SAP 2000.

### **2.1.3. CARACTERÍSTICAS SÍSMICAS DEL PERÚ**

Históricamente el Perú ha sido afectado por eventos sísmicos desde épocas antiguas con magnitudes de hasta 8.4 grados registrados en la escala de Richter.

La zona centro del Perú es una región de elevada actividad sísmica donde se pueden esperar eventos sísmicos de gran magnitud, donde las edificaciones

pueden sufrir daños severos. Según datos del Instituto Geofísico del Perú (IGP), estiman que se pueden alcanzar magnitudes de hasta 7.5 grados en la Escala de Richter.

En la tabla 1, se ubican los diez terremotos más devastadores que ocurrieron en el Perú donde las magnitudes superan a los 6 grados en la escala de Richter.

**Tabla 1: Los diez terremotos más devastadores que ocurrieron en el Perú**

EPICENTRO	TERREMOTOS DEVASTADORES DEL PERU	
	FECHA	MAGNITUD (Escala de Richter)
Callejon de Huaylas (Ancash)	31 de Mayo de 1970	7.8
Piura y Tumbes	09 de Diciembre de 1970	7.2
Lima	03 de Octubre de 1974	8.0
Arequipa	16 de Febrero de 1979	6.2
San Martin, Amazonas, Cajamarca	29 de Mayo de 1990	6.4
San Martin, Amazonas, La Libertad	04 de Abril de 1991	6.2
Ica, Pisco, Nasza	12 de Noviembre de 1996	6.4
Moquegua, Tacna, Arequipa	12 de Junio de 2001	6.2
Pisco	15 de Agosto de 2007	7.8
Loreto	24 de Agosto del 2011	7.0

**Fuente: Elaboración propia (datos del Instituto Geofísico del Perú - IGP) – Diario el Comercio.**

#### **2.1.4. HISTORIA Y DESARROLLO DE LOS AISLADORES**

El significado de aislamiento sísmico se ha ido desarrollando aproximadamente hace más de un siglo; pero se fue teniendo más conocimientos a partir de la década de los años 60, como consecuencia de los buenos resultados ante eventos sísmicos. Su uso se ha incrementado en estas dos últimas décadas.

En 1876 y 1895, el profesor inglés John Milne realizó varios experimentos en la Universidad de Tokyo, que consistían en someter a movimiento sísmico a una estructura aislada, donde los resultados fueron publicados en la Asociación Británica de Avance de la Ciencia en 1885. Al realizar el experimento se construyó una estructura sobre esferas de deslizamiento de 10 pulgadas de diámetro; pero la estructura no se comportaba correctamente frente a cargas de viento, por ende, tuvo que realizar varios modelos para llegar a la conclusión de que el diámetro de la esfera deberá ser de  $\frac{1}{4}$  de pulgada para que la estructura tenga buen comportamiento frente a cargas de viento. Los primeros edificios aislados sobre

esferas son: El edificio de México, el edificio de Sevastopol en Ucrania y el Observatorio Sismológico de Beijing que fue construido sobre una capa de arena.

En el último siglo se han tratado de mejorar mecanismos que nos permitan desligar a la estructura del suelo, con el fin de disminuir las fuerzas sísmicas y reducir los daños ocasionados a la estructura.

En 1959, se ejecutó un edificio en Ashkhabad, Turkmenistán, el cual, estaba suspendido por cables. En 1969 se construyó el primer edificio aislado con bloques de caucho: la Escuela Pestalozzi ubicado en Yugoslavia.

En 1978 se construyó un viaducto en Nueva Zelanda el cual fue la primera estructura que contaba con aisladores sísmicos LRB (Lead Rubber Bearing), hechos con capas intercaladas de caucho y acero, además de un núcleo de plomo en el centro para que ayude con la disipación de energía.

En 1981 se ejecutó el edificio William Clayton en Wellington que contaba con el sistema aislado mediante la utilización de Lead Rubber Bearing (LRB), ubicado también en Nueva Zelanda.

En 1985 se construyó el primer edificio con un sistema de aislamiento sísmico en los Estados Unidos es Foothills Communities Law and Justice Center (FCLJC) ubicado en el Rancho Cucamonga, Los Ángeles que utilizó aisladores de caucho con alto amortiguamiento natural.

En los Estados Unidos, la elaboración del código acerca del diseño con aisladores empezó con la presentación que realizó la Asociación de Ingenieros Estructurales del Norte de California, denominada Tentative Seismic Isolation Design Requirements (SEAOC 1986), que se concentra en el diseño con métodos estáticos. En 1990 el SEAOC decide adicionarlo al Blue Book como un capítulo de los requerimientos de General Requirement for the Design and Construction of Seismic Isolated Structures. Al año siguiente se realizan modificaciones y se incluye como un apéndice no obligatorio en el Uniform Building Code (UBC). Con el transcurrir de los años tanto el SEAOC y el UBC han ido teniendo actualizaciones donde llegaron a SEAOC 1996 y UBC 1994 y 1997, que se basan específicamente en el análisis dinámico de las estructuras.

En el año 1995 el Consejo de Seguridad Sísmica para edificios, introduce los requerimientos de diseño de estructuras con sistema de aislamiento y disipación de energía en los requerimientos de NEHRP (National Earthquake Hazard Reduction

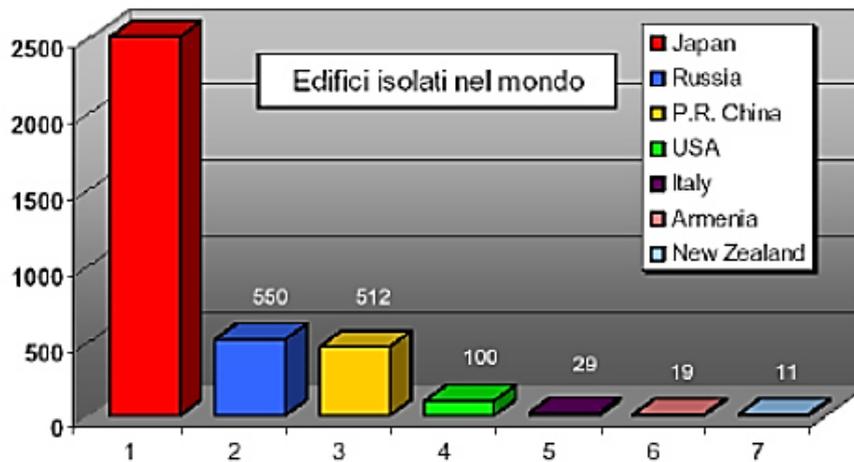
Program). De la misma forma en 1997 se compatibilizan los apéndices del SEAOC, UBC y NEHRP respectivamente.

En Estados Unidos el proceso de la elaboración de códigos que incluyeran pautas para el diseño con aisladores sísmicos empezó con una simple publicación de la Asociación de Ingenieros estructurales del norte de California llamada Tentative seismic isolation design requirements (SEAOC 1986), la cual, se basaba principalmente en el diseño con métodos estáticos. En el año 1990 los miembros del comité sismológico del SEAOC deciden incluir en su Blue Book, un apéndice con los requerimientos de General Requirements for the design and Construction of seismic isolated structures. Esta publicación fue considerablemente modificada y se incluyó como un apéndice no obligatorio del capítulo 23 en la versión del año 1991 del UBC (Uniform building code) con el nombre de Earthquake regulations for seismic-isolated structures. Tanto el comité sismológico del SEAOC como el del UBC han ido revisando periódicamente sus códigos y han ido actualizándolos (SEAOC 1996, UBC 1994 y 1997). En las últimas versiones el diseño se basa fundamentalmente en el análisis dinámico de las estructuras. Por otro lado, por encargo del Consejo de seguridad sísmica para edificios, se incorporaron los requerimientos para el diseño de estructuras con aislación sísmica y disipación de energía en los requerimientos de NEHRP (national earthquake hazard reduction program) en el año 1995. Esos requerimientos fueron modificados en la versión del año 1997, en la que los documentos del SEAOC, UBC y NEHRP fueron compatibilizados.

Con respecto a Sudamérica el primer país en introducir los sistemas de aislamiento sísmico fue Chile, donde en el año 2003 presenta su norma chilena NCh 2745-2003, que es una adaptación del código UBC - 97, y a su vez compatibilizada con la norma NCh433. Of1996. Los primeros edificios aislados en Chile fueron el conjunto habitacional Comunidad Andalucía iniciando la construcción en 1991 y terminando en 1992, que sirvió para estudios realizados por la Universidad Católica de Chile, así como también el Centro Médico San Carlos que fue construido en el año 2000 y el Hospital Militar en el año 2008.

En la figura 1, se observa el desarrollo del sistema de aislamiento sísmico a nivel mundial, teniendo a Japón como el país con la mayor cantidad de edificios que cuentan con un sistema de aislamiento sísmico a nivel mundial, seguidamente viene Rusia, China entre otros.

Figura 1: Cantidad de edificios con sistema de aislamiento sísmico.



Fuente: CeDeReTeC (Centro regional de desarrollo tecnológico para la construcción)

Durante la década de los años 90, existían 85 edificios con sistema de aislamiento sísmico en Japón, previo al terremoto de Kobe de 1995. El buen desempeño que tuvieron estos edificios aislados hizo que el uso de aisladores sísmicos se incrementara desmedidamente, donde se llegaban a realizar veinte edificios aislados por mes. Para 1998 ya existían 600 edificios aislados en Japón.

## 2.1.5. PRINCIPALES EDIFICIOS AISLADOS

### 2.1.5.1. Nivel internacional

En la figura 2, se observa La pirámide transámerica de San Francisco, California – Estados Unidos; estructura, donde utilizan una combinación de vigas superiores, columnas exteriores y amortiguadores viscosos para al mismo tiempo reducir el movimiento lateral del edificio al momento que llegan las fuerzas sísmicas.

**Figura 2: La Pirámide transámerica de San Francisco, California - EE.UU**



Fuente: Google ([www.jmhdezhdz.com](http://www.jmhdezhdz.com))

En la figura 3, se observa el Aeropuerto Sabiha Gokcen, Turquía con más de 185 mil metros cuadrados es uno de los más seguros del mundo ante terremotos. El edificio no está atado a la tierra con cimientos comunes, sino que la parte estructural cuenta con 300 aisladores sobre los cuales el edificio rueda cuando hay movimiento de la tierra. Los aisladores absorben el shock mientras la estructura rueda de un lado al otro lentamente y soporta el impacto de una magnitud de hasta 8.0 grados en la Escala de Richter.

**Figura 3: Aeropuerto Sabiha Gokcen Turquía**



Fuente: Google ([www.trt.net.tr](http://www.trt.net.tr))

En la figura 4, se observa el edificio llamado Taipei, Taiwan, que consta de 101 niveles, diseñada para sobrevivir no solo de terremotos, sino también de vientos huracanados. La edificación contiene un péndulo gigante de 662 toneladas suspendido dentro. Cuando ocurre un evento sísmico la bola de acero se columpia junto al edificio, el cual neutraliza los movimientos producidos por el sismo.

**Figura 4: Edificio Taipéi – Taiwán**



Fuente: Google ([www.ecured.cu](http://www.ecured.cu))

#### **2.1.5.2. Nivel nacional**

En la figura 5, se observa el primer edificio en nuestro país con un sistema de aislamiento sísmico ubicado en la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI). El pabellón de Ingeniería Civil consta de 4 niveles en su primera etapa, con proyección a 12 niveles, por ende, la tecnología que se aplicó en la construcción del edificio aislará la base para que ésta absorba el movimiento del sismo y el edificio no sufra mayor desplazamiento. El proyectista sustentó que, en cuanto a costos en un edificio con aislamiento sísmico, se incrementa entre en 4 o 5 por ciento su presupuesto, pero frente al desempeño de la estructura ante un evento sísmico el beneficio económico será mucho mayor debido a que los costos de reparación serán mínimos.

**Figura 5: Pabellón de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería (UNI)**



**Fuente: Google (andina.pe)**

En la figura 6, se observa el edificio Atlantik Ocean Tower, el cual es el primer edificio multifamiliar que cuenta con un sistema de aislamiento sísmico, ubicada en la avenida Bertoloto, en San Miguel, el cual albergará a 160 familias en un total de 15 pisos.

**Figura 6: Edificio Atlantik Ocean Tower, San Miguel – Lima**



**Fuente: Google (www.labok.com)**

## 2.2. BASES TEÓRICAS

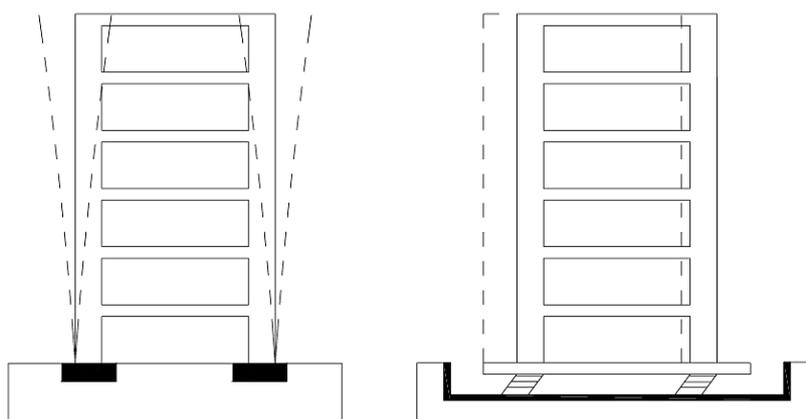
### 2.2.1. PRINCIPIOS DE LA AISLACIÓN SÍSMICA

El principio de la aislación sísmica se basa estrictamente en dos comportamientos, donde el primero tiene que ver con el incremento del periodo fundamental de la estructura que logra la inserción de un piso blando entre la superestructura y el suelo; donde se identifica que la rigidez lateral del piso blando es ampliamente mayor a la rigidez lateral de la superestructura para lo cual es sistema asumirá deformaciones en la interface de aislación generando la transmisión de esfuerzos cortantes mínimos a la superestructura.

El segundo comportamiento tiene que ver con el incremento del amortiguamiento debido al tipo de aislamiento sísmico utilizado, el cual tiene como objetivo disminuir las deformaciones sobre el sistema de aislamiento y reducir las aceleraciones en la superestructura. Es por ello que el aislamiento sísmico en la base es más recomendable en estructuras rígidas sobre terrenos firmes.

Como se muestra en la figura 7, al considerarse un sistema de aislamiento sísmico en la base de una estructura, se mejora el comportamiento sísmico y disminuyen los daños ocasionados por un evento sísmico de magnitud severa.

**Figura 7: Desplazamiento de edificio con cimentación fija y edificio con aislador sísmico**



Fuente: CeDeReTeC (Centro Regional de desarrollo tecnológico para la construcción)

## **2.2.2. TIPOS DE AISLADORES SÍSMICOS**

### **2.2.2.1. Aisladores elastomérico**

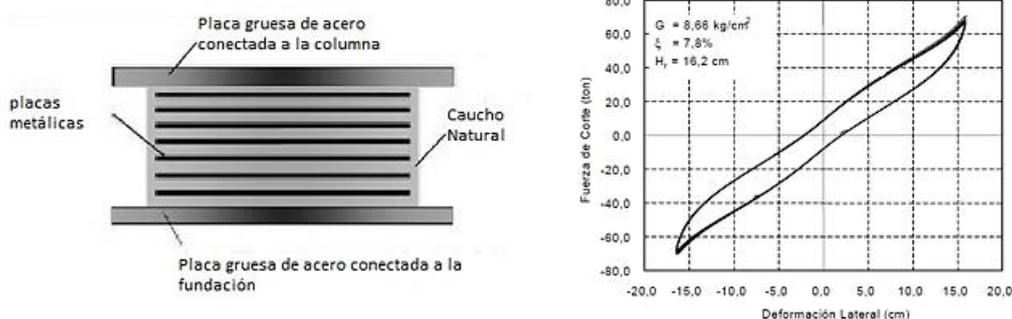
#### **2.2.2.1.1. Aisladores elastoméricos de bajo amortiguamiento (LRD)**

Son considerados como aisladores elastoméricos de caucho natural, donde a los inicios fueron usados sin ningún tipo de refuerzo ni placa de conexión; sin embargo, luego se notó que si se deseaba aumentar la rigidez vertical se debía reforzar intercalando láminas de acero con capas de caucho, así se obtenía una rigidez vertical que era mucho mayor que la rigidez horizontal.

El proceso de fabricación de los LRD consiste en intercalar capas de acero y caucho que se colocan en un molde y se aplica presión a una temperatura de 140 ° C por 6 horas aproximadas. Durante ese tiempo se produce la reacción de epóxico colocado entre las capas y el caucho se vulcaniza y adquiere su propiedad elástica. La adhesión entre el acero y el caucho debe ser tan resistente que antes que falle el pegamento debería fallar la goma. Al intercalar el caucho con el acero la capacidad para resistir cargas de gravedad aumenta y les da estabilidad a soportes laterales altos ante cargas laterales. Las placas de acero que se colocan en la zona superior e inferior sirven para confinar el núcleo y evitar la compresión del caucho ante cargas de gravedad.

En la figura 8, se muestra los componentes del LRD, donde el amortiguamiento esta entre el 5% y 10%, por lo que muchas veces es necesario el uso de sistemas de amortiguamiento adicionales. Las principales ventajas de usar este tipo de aisladores es que son fáciles de modelar y fabricar.

**Figura 8: Aislador elastomérico de bajo amortiguamiento (LRD)**



**Fuente: Tesis Análisis y diseño de estructuras con aisladores sísmicos en el Perú de Korswagen, Arias y Huaranga.**

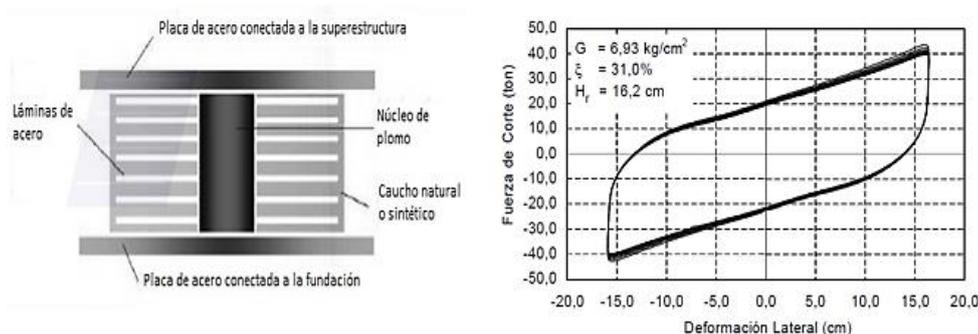
### **2.2.2.1.2. Aisladores elastomérico con núcleo de plomo (LRB)**

Los aisladores con núcleo de plomo (LRB) se construyen generalmente de caucho de bajo amortiguamiento intercalado con láminas de acero y en el centro se deja un agujero en el que se introduce el núcleo de plomo, que es un poco más ancho que el agujero, bajo presión y se convierten en una unidad. El núcleo de plomo se coloca para producir numerosos ciclos histeréticos estables ya que este fluye (a una tensión de 10 MPa) y recristaliza a temperatura ambiente; esto hace que tenga una buena resistencia a la fatiga.

En la figura 9, se muestra los componentes del LRB y el ciclo deformación del LRB donde se observa que la rigidez inicial es mucho mayor que la del LRD y en consecuencia el bucle encierra un área mucho mayor.

Entre las ventajas del LRB podemos encontrar que el amortiguamiento aumenta con respecto al LRD y varía entre el 15% y 35%. Además, produce de forma natural un nivel de rigidez inicial importante para las cargas de servicio o de viento.

**Figura 9: Aislador elastomérico con núcleo de plomo (LRB)**



**Fuente: Tesis Análisis y diseño de estructuras con aisladores sísmicos en el Perú, de Korswagen, Arias y Huaranga.**

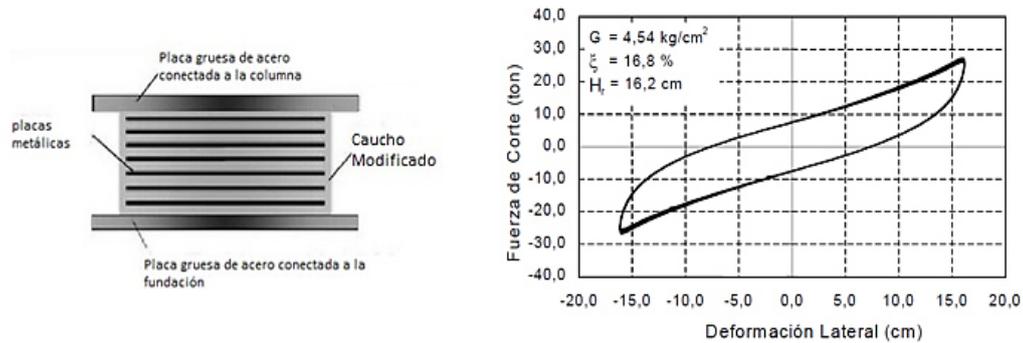
### **2.2.2.1.3. Aislador elastomérico de alto amortiguamiento (HDR)**

Los aisladores elastomérico de alto amortiguamiento (HDR) son fabricados de caucho modificado con aditivos (tales como aceites, carbón en polvo, resinas, polímeros), intercalado con láminas de acero y en la parte superior e inferior se coloca una placa de acero para confinar el núcleo, que permiten cambiar su comportamiento histerético, alcanzando un mayor amortiguamiento que varía entre el 10% y 20% para deformaciones angulares menores a 2. Para producir ciclos estables pasa por un proceso llamado scragging en el cual se les somete a varios ciclos de deformación y se logran ciclos estables para deformaciones menores. La relación entre la fuerza cortante y la deformación es lineal.

En la figura 10, se muestra los componentes del aislador elastomérico de alto amortiguamiento (HDR) y la relación entre la fuerza cortante con la deformación es lineal donde forma un bucle que encierra un área menos a los LRB.

Es importante notar que al agregarle aditivos al caucho se le modifican algunas propiedades mecánicas como la elongación a la ruptura. Otra desventaja es que este tipo de aisladores se deterioran más rápidamente.

**Figura 10: Aislador elastomérico de alto amortiguamiento (HDR)**



**Fuente: Tesis Análisis y diseño de estructuras con aisladores sísmicos en el Perú de Korswagen, Arias y Huaranga.**

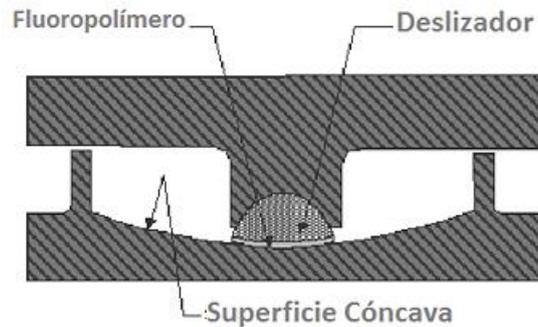
### **2.2.2.2. Sistema de péndulo friccional (Fps)**

Es un sistema de aislamiento que combina el efecto de deslizamiento con una fuerza restitutiva generada por las cargas de gravedad y la geometría. Consiste en un deslizador conectado a la superestructura que se mueve sobre una superficie cóncava.

En la figura 11, se muestran los componentes del FPS. El movimiento producido en la base debido al sismo producirá un desplazamiento en el deslizador, el cual disipará energía por fricción. Debido a la forma cóncava de la superficie de deslizamiento la fuerza vertical tendrá un componente tangencial impulsará a centrar el sistema.

La forma del deslizador es lenticular esférico, lo cual permite que un área esté en contacto con la superficie cóncava. El deslizador de acero está recubierto con un fluoropolímero de alta resistencia lo que le permite trabajar con presiones cercanas a  $500 \text{ kg/cm}^2$ .

**Figura 11: Aislador elastomérico de alto amortiguamiento**



**Fuente: Tesis Análisis y diseño de estructuras con aisladores sísmicos en el Perú de Korswagen, Arias y Huaranga.**

### **2.2.3. REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIÓN (E- 0.30 DISEÑO SISMORRESISTENTE)**

El diseño sismorresistente engloba elementos y condiciones que definen a una estructura como antisísmica, tales como la configuración estructural del edificio, la escala, la simetría, la altura, el tamaño, distribución, concentración de masas, densidad de la estructura, rigidez, torsión, ductilidad, etc.

De acuerdo con la filosofía del diseño sismorresistente se enfoca en 3 requisitos indispensables para el comportamiento de una estructura los cuales son:

1. Evitar pérdidas de vidas humanas, que específicamente se basa en que la estructura no debería colapsar ni causar daños graves a las personas, aunque podría presentar daños importantes, debido a los movimientos sísmicos calificados como severos.
2. Asegurar la continuidad de los servicios básicos, donde la estructura básicamente debería soportar movimientos del suelo calificados como moderados, pudiendo experimentar daños reparables dentro de los límites aceptables.
3. Minimizar los daños a la propiedad, tomando con mayor énfasis en edificaciones esenciales, las cuales permanezcan en condiciones operativas luego de un sismo severo.

Para el desarrollo de una estructura antisísmica el cuidado se basa desde la concepción del proyecto donde el proyectista debe tener sumo cuidado en todos los

procesos a realizar considerando todos los factores y condiciones de sitio donde estará cimentada la estructura.

#### **2.2.4. REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES - NORMA TÉCNICA PERUANA (E- 0.31 (AISLAMIENTO SÍSMICO)).**

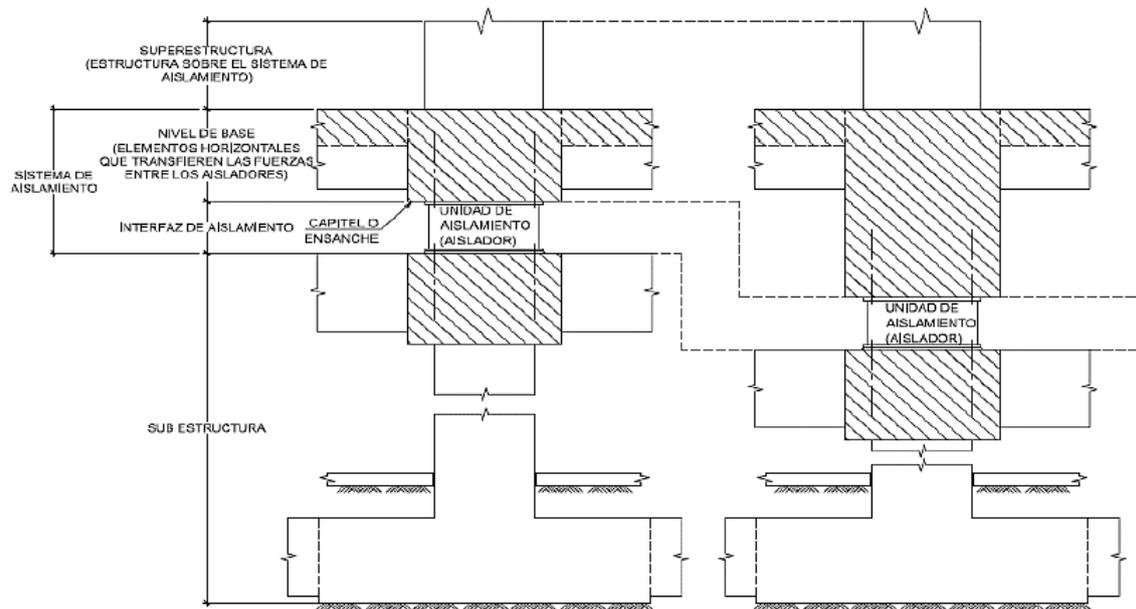
La norma técnica peruana E 0.31 (análisis sísmico), tiene como objetivo establecer los requisitos mínimos para el diseño y la construcción de edificios con cualquier tipo de sistema de aislamiento sísmico, así como las disposiciones aplicables de los ensayos necesarios para validar el comportamiento de los dispositivos del sistema de aislamiento.

La finalidad de la norma técnica es, mejorar el desempeño sísmico de las edificaciones, proteger su estructura y contenido, y buscar su operatividad continua.

##### **2.2.4.1. Sistema de aislamiento sísmico**

En consideración con la norma técnica se ilustra la operatividad del aislador sísmico ubicado en la subestructura y describe al sistema como el conjunto de elementos estructurales que incluye los aisladores, así como todos los elementos que transfieren fuerzas entre elementos del sistema, como vigas, losas, capiteles y sus conexiones

**Figura 12: Detalle de sistema de aislamiento**



**Fuente: Norma técnica E 0.31 (aislamiento sísmico)**

#### **2.2.4.2. Análisis dinámico**

El procedimiento de análisis dinámicos desarrollados se aplica conforme a las siguientes disposiciones:

**Análisis modal espectral:** Puede ser usado en el diseño de estructuras sísmicamente aisladas que cumplan con los criterios establecidos en el análisis estático o de fuerzas estáticas equivalentes.

**Análisis tiempo – historia:** Es permitido en el diseño de cualquier estructura aislada sísmicamente y debe ser necesariamente desarrollado para el diseño de todas las estructuras sísmicamente aisladas que no cumplan con los criterios del análisis modal espectral. En todos los casos los resultados usados para el diseño de los elementos de la estructura no serán menores que los obtenidos por el análisis dinámico modal espectral.

### **2.2.4.3. Modelo estructural de la edificación**

Sistema de aislamiento sísmico:

- a. El sistema de aislamiento sísmico se modela usando las características de deformación desarrolladas de acuerdo a los requerimientos de las propiedades del sistema de aislamiento sísmico.
- b. Los desplazamientos y fuerzas laterales deben ser calculados de forma separada para las propiedades límite superior e inferior del sistema de aislamientos sísmico tal como se define en el límite superior y límite inferior del comportamiento fuerza – desplazamiento de los componentes del sistema de aislamiento sísmico.
- c. El sistema de aislamiento sísmico se debe modelar de forma detallada de manera que permita considerar la distribución espacial de las unidades, estimar la traslación en ambas direcciones, evaluar los efectos del momento de volteo y considerar los efectos de carga vertical.
- d. El desplazamiento total (DTM) en el sistema de aislamiento sísmico, es calculado mediante un modelo matemático que incorpora el sistema resistente a fuerzas laterales y las características fuerza – deformación de los elementos no lineales del sistema de aislamiento sísmico.

Estructura aislada:

- a. Se permite calcular el desplazamiento de cada nivel y las fuerzas de diseño en los elementos del sistema sismorresistente, mediante un modelo elástico lineal de la superestructura.
- b. El análisis del sistema de aislamiento sísmico y de la estructura realizara por separado para las propiedades límite superior e inferior y se usa para el diseño el resultado más crítico para cada parámetro de respuesta de interés.

#### **2.2.4.4. Descripción de procedimientos**

Los procedimientos de análisis dinámico modal espectral y análisis tiempo – historia se deben realizar de acuerdo a la norma técnica E 0.30 diseño sismorresistente y a los requerimientos siguientes:

Solicitud sísmica: El sismo máximo considerado se debe usar para calcular las fuerzas laterales, los desplazamientos de la superestructura, el desplazamiento total del sistema de aislamiento sísmico, las fuerzas en las unidades de aislamiento, las fuerzas en sus conexiones y las fuerzas en el sistema de vigas que se ubican sobre y por debajo del sistema de aislamiento sísmico para resistir el efecto P-delta.

Procedimiento modal espectral:

- a. Para los modos de vibración asociados al aislamiento sísmico, se debe emplear el menor valor entre el amortiguamiento efectivo del sistema de aislamiento sísmico y el 30 % del amortiguamiento crítico.
- b. Los valores de amortiguamiento modal para los otros modos deben ser seleccionados consistentemente con aquellos valores correspondientes a la estructura con base fija.
- c. El análisis modal espectral de cada dirección efectuarse empleando el espectro al 100% en la dirección de análisis más el 30% en la dirección perpendicular.
- d. En cada dirección de análisis, el desplazamiento máximo del sistema de aislamiento sísmico debe calcularse como la suma vectorial de los dos desplazamientos ortogonales.

La norma técnica tiene como normas referenciales:

- Norma de aislamiento sísmico de Chile.
- Minimum design loads for buildings and other structures, structural engineering Institute of the American Society of Civil Engineers – ASCE/SEI 7-10 y ASCE/SEI 7 – 17.
- Norma de diseño sismo resistente E 0.30 – 2016 del Reglamento Nacional de Edificaciones.

La norma técnica contiene exigencias mínimas que orientan al diseñador de edificios tales como:

- El diseño del sistema de aislamiento
- En la elaboración de especificaciones para la compra, control de calidad y ensayos.
- Lineamientos para la supervisión de las pruebas de los dispositivos.

La norma técnica E 0.31 (aislamiento sísmico), es aplicable para todo tipo de aislador.

## **2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS**

### **2.3.1. AISLAMIENTO SÍSMICO**

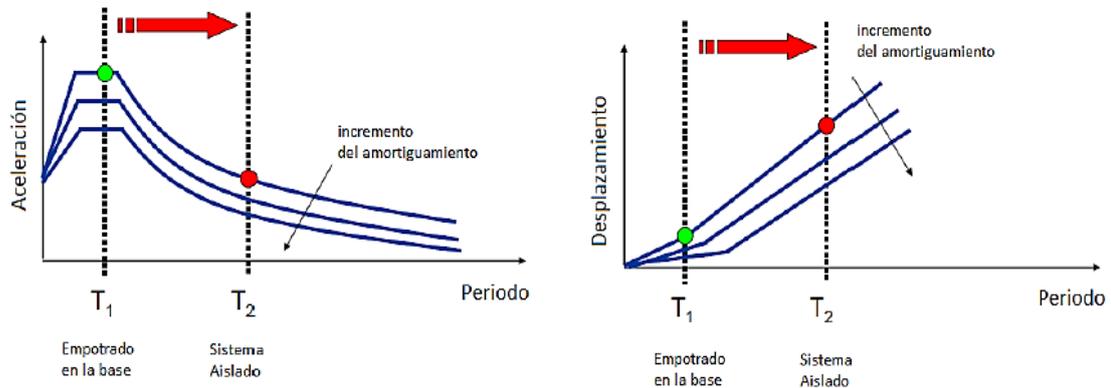
El aislamiento sísmico es el recurso más importante ingeniería sísmica, el cual reúne elementos estructurales que permiten desacoplar una estructura del suelo, teniendo como resultado el incremento del periodo fundamental y la disminución de las fuerzas que transmite el suelo a la estructura mediante un control pasivo de la vibración de la estructura. Esta herramienta es capaz de proteger a una estructura del efecto devastador del impacto sísmico.

Los sistemas de aislamiento sísmico consideran unidades de aislamiento que son elementos encargados de desacoplar la estructura del suelo a cimentar, y los componentes de aislamiento que tienen el propósito de conectar las unidades de aislamiento y las partes que no están desacopladas.

En la figura 13, se muestra cuando la estructura se vuelve más flexible, la aceleración espectral en el edificio disminuye y también las fuerzas sísmicas sobre la estructura.

Otra característica en una estructura aislada se rige al desplazamiento que incrementa debido a que la base es menos rígida. Es indispensable controlar este parámetro pues excesivos desplazamientos relativos de entre piso ocasionan daños en elementos estructuras y no estructurales. Se muestra también en la figura que el incremento de amortiguamiento genera disminución del desplazamiento.

**Figura 13: Efecto de aislamiento sísmico**



**Fuente: Tesis análisis y diseño de estructuras con aisladores sísmicos en el Perú de Korswagen, Arias y Huaranga.**

### **2.3.2. AISLADOR SÍSMICO**

El aislador sísmico es un elemento estructural que consigue desacoplar la estructura del terreno colocándose estratégicamente en partes específicas de la estructura, las cuales en un evento sísmico proveen a la estructura suficiente flexibilidad para diferenciar la mayor cantidad posible el periodo natural de la estructura con el periodo natural del sismo, evitando que se produzca resonancia, lo cual podría provocar daños severos o el colapso de la estructura.

### **2.3.3. ANÁLISIS SÍSMICO**

El análisis de la edificación tiene como objetivo encontrar las fuerzas y momentos internos debidos a la carga sísmica, en cada uno del elemento del sistema estructural para luego proceder al diseño. Las fuerzas inducidas por movimiento sísmico en una edificación son inerciales, es decir, dependen de la aceleración inducida por el sismo y de la masa a mover, en este caso, la masa de la edificación.

### **2.3.4. ANÁLISIS ESPECTRAL**

El análisis de espectro es una evaluación del rango de frecuencias en cantidades relacionadas, como la energía. El resultado que se obtiene en un análisis espectral se conoce como espectrograma. En determinadas áreas se puede referir a:

- a. Espectroscopia, el estudio de la interacción entre la radiación electromagnética y la materia, con absorción o emisión de energía radiante.
- b. Analizador de espectro, un equipo de medición electrónica que permite visualizar los componentes espectrales en un espectro de frecuencias de las señales presentes en la entrada, pudiendo ser este cualquier tipo de ondas eléctricas, acústicas u ópticas.

### **2.3.5. COMPORTAMIENTO LINEAL**

Los comportamientos lineales de las estructuras están relacionados con situaciones en los que la respuesta lineal enfoca una relación de causa – efecto, donde si las cargas aplicadas se incrementan en un 50%, los desplazamientos y fuerzas internas también tendrán ese mismo proceso de incremento. Las situaciones que no comprendan una relación de causa - efecto se clasifican como lineales.

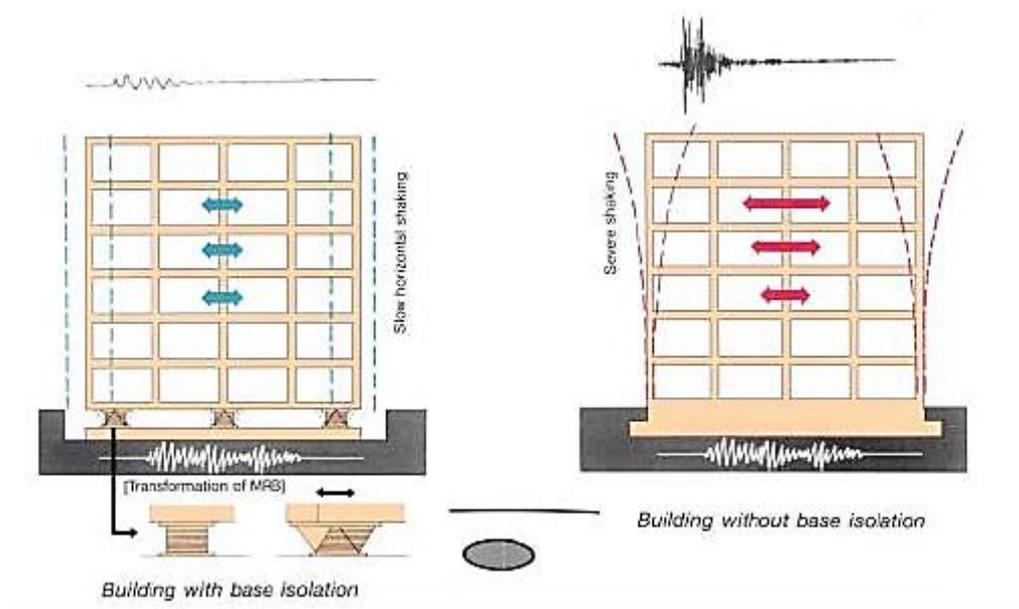
### **2.3.6. CONTROL PASIVO DE VIBRACIONES DE LA ESTRUCTURA**

Se tiene en cuenta que el aislamiento de vibraciones se basa en el procedimiento que permite disminuir los efectos no deseados que se asocian a toda la vibración. Principalmente se puede suponer la inserción de un elemento elástico (aislante) entre la masa vibrante y la fuente de vibración de tal manera que se obtenga la reducción de la magnitud de la respuesta dinámica de la estructura, tal como se muestra en la figura 14.

Un sistema de aislamiento de vibraciones puede ser activo o pasivo, dependiendo de si se precisa una fuente externa de potencia o no para que lleve a cabo su función.

**Un control pasivo**, está formado por un elemento elástico (que incorpora una rigidez) y un elemento disipador de energía (que aporta un amortiguamiento). Ejemplos de aislante pasivos son: un resorte neumático, un elastómero.

Figura 14: Desplazamiento de edificio con cimentación fija y edificio con aislador sísmico



Fuente: CeDeReTeC (centro regional de desarrollo tecnológico para la construcción)

### 2.3.7. LÍMITES DE SERVICIO DE LA ESTRUCTURA

Un estado límite de servicio (ELS) es un tipo de estado límite que de ser rebasado produce una pérdida de funcionalidad o deterioro de la estructura, pero no es un riesgo inminente a corto plazo. En general, los ELS se refieren a situaciones solventables, reparables o que admiten medidas paliativas o molestias no graves a los usuarios.

### 2.3.8. POTENCIAL SÍSMICO

El potencial sísmico de un lugar determinado es la posibilidad de que, en un intervalo de tiempo, pueda ocurrir en él un gran terremoto. Su determinación se basa en datos como los resultantes de estudios sísmicos, geológicos e históricos, que permitan identificar un lugar como sismogénico, aunque no sean suficientes como para poder determinar tiempos probables ni evaluar niveles de confianza sobre la ocurrencia de futuros sismos.

### **2.3.9. SISMOLOGÍA**

La sismología es una rama de la geofísica que se encarga del estudio de terremotos y la propagación de las ondas mecánicas (sísmicas) que se generan en el interior y la superficie de la tierra, asimismo que de las placas tectónicas. Estudiar la propagación de las ondas sísmicas incluye la determinación del hipocentro (o foco), la localización del sismo y el tiempo que este haya durado.

Sus principales objetivos son:

- El estudio de la propagación de las ondas sísmicas por el interior de la tierra a fin de conocer su estructura interna.
- El estudio de las causas que dan origen a los temblores.
- La prevención del daño sísmico.
- Alertar a la sociedad sobre los posibles daños en la región determinada.

## CAPÍTULO III

### ASPECTOS GENERALES DEL ANÁLISIS ESTRUCTURAL

#### 3.1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

La residencial multifamiliar Las Terrazas, se ubica en el departamento de Junín, provincia de Huancayo, distrito de El Tambo específicamente en el Jr. Alejandro O. Deustua N° 1181.

En la figura 15, se muestra la vista satelital de la ubicación del terreno donde será construido el edificio en mención.

**Figura 15: Vista satelital de la ubicación del terreno**

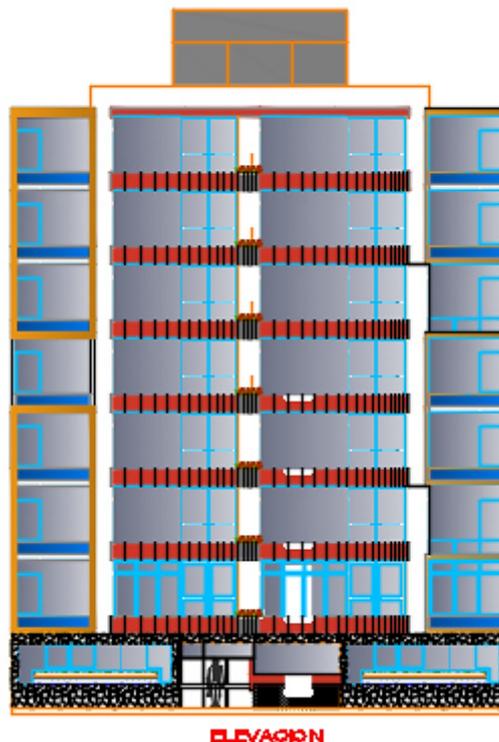


**Fuente: Vista satelital (Google maps)**

El área total del terreno es de 315.0 m<sup>2</sup> y su perímetro es 71.0 ml. Esta tiene las siguientes medidas perimétricas: Por el frente y el fondo 18.0 ml, en los lados laterales 17.50 ml.

El edificio constará de 8 niveles, donde el área construida del 1° nivel será de 282.39 m<sup>2</sup>, desde el 2° al 8° nivel tendrá un área de 274.80 m<sup>2</sup> cada uno. La altura de piso terminado a techo es de 2.80 m.

**Figura 16: Vista de la elevación principal del edificio**



Fuente: Elaboración propia

### **3.2. DESCRIPCIÓN DE LA ARQUITECTURA**

El edificio residencial Las Terrazas consta 08 niveles destinados para departamentos (dos por nivel).

La distribución en cada nivel:

El primer nivel, que consta de 02 departamentos en un área de 282.39 m<sup>2</sup>; cada departamento consta de 01 sala-comedor, 01 cocina, 01 patio de servicio, 03 dormitorios, 03 sshh y 01 terraza respectivamente.

El segundo, cuarto, sexto y octavo nivel que consta de 02 departamentos en un área de 274.80 m<sup>2</sup>; cada departamento consta de 01 sala-comedor, 01 cuarto de estudio, 01 cocina, 01 patio de servicio, 03 dormitorios y 03 sshh respectivamente.

El tercer, quinto y séptimo nivel que consta de 02 departamentos en un área de 274.80 m<sup>2</sup>; cada departamento consta de 01 sala-comedor, 01 cocina, 01 patio de servicio, 03 dormitorios y 03 sshh respectivamente.

### **3.3. REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES (RNE)**

Las normas empleadas en el desarrollo del estudio corresponden al reglamento nacional de edificaciones, los cuales son los siguientes:

#### **Norma técnica E.020 (cargas)**

En esta norma encontramos las cargas mínimas establecidas dadas en condiciones de servicio las cuales actuarán en combinaciones prescritas y no deberán causar esfuerzos ni deformaciones que excedan con lo señalado para cada elemento estructural. En ningún caso las cargas empleadas en el diseño serán menores que los valores mínimos establecidos en la norma.

#### **Norma técnica E.030 (diseño sismoresistente)**

Esta norma establece las condiciones mínimas para que las edificaciones diseñadas tengan un comportamiento sísmico adecuado. Se aplica al diseño de todas las edificaciones nuevas.

Dentro de la búsqueda de resultados del diseño sismorresistente se considera: Evitar las pérdidas humanas como principal objetivo, reducir los daños a la edificación a fin de mantener el desempeño de la estructura luego de un evento sísmico.

#### **Norma técnica E.031 (aislamiento sísmico)**

Esta norma técnica establece los requisitos mínimos para el diseño y construcción de edificaciones con cualquier tipo de sistema de aislamiento sísmico, así como las disposiciones aplicables de los ensayos necesarios para validar el comportamiento de los dispositivos del sistema de aislamientos sísmico.

La finalidad de esta norma técnica es mejorar el desempeño sísmico de las edificaciones, proteger su estructura y contenido y buscar su operatividad continua.

### **Norma técnica E.060 (concreto armado)**

Esta norma delimita los requisitos y consideraciones mínimas para el análisis y diseño de los elementos estructurales comprendidos en una edificación.

### **3.4. CARGAS EMPLEADAS PARA EL ANÁLISIS**

Para el análisis de la estructura se enfoca en la carga muerta, carga viva y carga de sismo respectivamente.

**Carga muerta (CM):** Es el peso propio de los elementos comprendidos en la estructura tales como son; las columnas, vigas, losas, escaleras, etc.

**Carga viva (CV):** También denominado sobrecarga, la cual es el peso de los elementos móviles tales como los ocupantes del edificio, equipos, muebles, etc.

**Carga de sismo (CS):** Son las cargas producidas por la acción del sismo, donde para el análisis de la estructura se toma la carga producida por el espectro de respuesta sísmica.

### **3.5. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES**

Para el análisis de la edificación, se considera las siguientes características de los elementos estructurales de concreto armado:

#### **CONCRETO**

Resistencia a compresión:  $F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

Módulo de poisson:  $= 0.15$

Módulo de elasticidad:  $E_c = 15000 F'c = 217371.65 \text{ kg/cm}^2$

#### **ACERO**

Límite de fluencia:  $F_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$

Módulo de elasticidad:  $E_s = 2000000 \text{ kg/cm}^2$

### **3.6. ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS**

En consideración con la norma E 0.50 (suelos y cimentaciones), para el análisis de la edificación se realizó el estudio de mecánica de suelos el cual es requisito primordial para el inicio del análisis de la estructura que tienen como finalidad asegurar la estabilidad y permanencia de la edificación.

Los resultados del análisis arrojan una capacidad portante de 4.11 kg/cm<sup>2</sup> a una profundidad de 4.50 m.

## **CAPÍTULO IV**

### **ANÁLISIS SÍSMICO DINÁMICO – EDIFICIO CON CIMENTACIÓN FIJA**

#### **4.1. ESTRUCTURACIÓN DEL EDIFICIO**

De acuerdo a los criterios de estructuración se tomaron los siguientes elementos estructurales: Columnas, vigas, losas aligeradas unidireccionales y placas para ambas direcciones (X, Y), las cuales al trabajar en conjunto se logren el adecuado comportamiento estructural de la edificación; por lo tanto, se toma los siguientes criterios:

- **Simetría:** La edificación es simétrica debido a que no presenta irregularidades tanto en planta como en altura posteriores.
- **Resistencia:** La resistencia frente a las condiciones de cargas de servicio y cargas sísmicas, los cuales son proporcionados por los elementos estructurales ya mencionados tales como son las columnas, vigas, losas y placas.
- **Diafragma rígido:** El elemento estructural que permite la idealización de la estructura como unidad es la losa aligerada, el cual permite que las fuerzas aplicadas a las estructuras sean distribuidas uniformemente a todos los elementos estructural y estos a su vez reacciones de una manera uniforme y distribuida.
- **Continuidad de la estructura:** La edificación presenta continuidad estructural tanto en planta como en elevación.

#### **4.2. PREDIMENSIONAMIENTO DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES**

##### **4.2.1. PREDIMENSIONAMIENTO DE LOSA ALIGERADA**

Para la edificación se utilizó una losa aligerada de una sola dirección. El sentido de la losa se realizó paralelo a la dirección X-X y perpendicular a la luz más larga de la dirección Y-Y.

De acuerdo con la arquitectura y estructuración de elementos estructurales se consideraron la siguiente luz típica en todos los paños:

$$\mathbf{L \text{ libre} = 5.60 \text{ m}}$$

Considerando los aportes del libro del Ingeniero Antonio Blanco Blasco (estructuración y diseño de edificaciones de concreto armado), tomamos los siguientes criterios:

$h = 17 \text{ cm}$  (luces menores de 4.0 m)

$h = 20 \text{ cm}$  (luces comprendidas entre 4.0 y 5.5 m)

$h = 25 \text{ cm}$  (luces comprendidas entre 5.0 y 6.5 m)

$h = 30 \text{ cm}$  (luces comprendidas entre 6.0 y 7.5 m)

Por lo tanto, el espesor de la losa aligerada unidireccional es:

$$\mathbf{E \text{ losa} = 25 \text{ cm}}$$

#### **4.2.2. PREDIMENSIONAMIENTO DE VIGAS**

Considerando los aportes del libro del Ingeniero Antonio Blanco Blasco (estructuración y diseño de edificaciones de concreto armado), se ha tomado los siguientes criterios.

$$h = 1/10 \text{ a } 1/12 \times (\text{luz libre})$$

$$b = h/2$$

Para la dirección Y-Y:

La luz representativa es de 6.55 m donde las dimensiones de la viga serán **(.30 x .60) ml.**

Para la dirección X-X:

La luz representativa es de 5.90 m donde las dimensiones de la viga son **(.25 x .50) ml**

#### **4.2.3. PREDIMENSIONAMIENTO DE COLUMNAS**

Para el predimensionamiento de las columnas se realizaron mediante los siguientes criterios:

$$A_{\text{col}} = P * AT * N / n (F'c)$$

**Donde:**

Para columnas mayores a tres pisos interiores

$$P = 1.10 PG \rightarrow n = 0.25 \text{ (PG: Cargas de gravedad)}$$

Para columnas perimetrales sin las esquinas para cualquier número de pisos

$$P = 1.25 PG \rightarrow n = 0.25 \text{ (PG: Cargas de gravedad)}$$

Para columnas de esquinas

$$P = 1.50 PG \rightarrow n = 0.20 \text{ (PG: Cargas de gravedad)}$$

En la Tabla 2, se muestra los resultados del predimensionamiento de cada columna, donde se considera el peso (PG.) de 910 kg/m<sup>2</sup>, el área tributaria será de acuerdo a la ubicación de la columna, el  $F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  y el número de pisos "N" será 8 para este caso.

**Tabla 2: Predimensionamiento de columnas**

UBICACIÓN DE COLUMNAS	PESO POR METRO CUADRADO (kg/m <sup>2</sup> )	NUMERO DE NIVELES	AREA TRIBUTARIA (m <sup>2</sup> )	AREA DE COLUMNAS REQUERIDA (cm <sup>2</sup> )	AREA DE COLUMNAS COLOCADA (cm <sup>2</sup> )
C-1	910	8	28.67	4373.13	5026.54
C-2	910	8	18.57	3218.8	3450
C-3	910	8	12.11	2099.06	4500
C-4	910	8	23.15	4012.66	4500
C-5	910	8	12.11	2518.88	2700
C-6	910	8	8.18	1701.44	2700

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.2.4. PREDIMENSIONAMIENTO DE PLACAS

Para el predimensionamiento de las placas se han asumido dimensiones tentativas para verificar la rigidez requerida. Para la distribución de las placas se ha considerado también el aporte de la caja del ascensor según diseño arquitectónico. Las placas tendrán que asumir el 80% de la cortante basal de la estructura para ambas direcciones y serán distribuidas de forma que no afecte a la arquitectura.

En la tabla 3, se muestra la distribución de la cortante basal en cada nivel para ambas direcciones (X-Y), donde “Z” factor de zona de acuerdo al mapa de zonificación sísmica del Perú, “U” factor de uso, “S” factor de suelo, “C” factor de amplificación sísmica, “h” es la sumatoria de altura por nivel y “W” es el peso en cada nivel.

**Tabla 3: Cálculo de cortante basal por niveles**

V=ZUSC/P		CORTANTE BASAL								
		AREA	AREA	h	W	h*w	h*w/Σ(h*w)	F <sub>1X</sub>	F <sub>1Y</sub>	
Z=	0.35	N8	275	24.40	275	6707.56	0.21	88.1	88.1	
U=	1	N7	275	21.60	275	5937.84	0.18	78.0	78.0	
S=	1.15	N6	275	18.80	275	5168.12	0.16	67.8	67.8	
C=	2.5	N5	275	16.00	275	4398.40	0.14	57.7	57.7	
W=	2199	N4	275	13.20	275	3628.68	0.11	47.6	47.6	
R <sub>x</sub> =	5.25	N3	275	10.40	275	2858.96	0.09	37.5	37.5	
R <sub>y</sub> =	5.25	N2	275	7.60	275	2089.24	0.07	27.4	27.4	
V <sub>x</sub> =	422	N1	275	4.80	275	1319.52	0.04	17.3	17.3	
V <sub>y</sub> =	422					<b>2199.20</b>	<b>32108.32</b>	<b>1.00</b>	<b>421.5</b>	<b>421.5</b>

Fuente: Elaboración propia

$$A \text{ placa} = 0.80 V_{\text{basal}} / 0.53 \sqrt{F'c}$$

**Para la dirección X – X:**

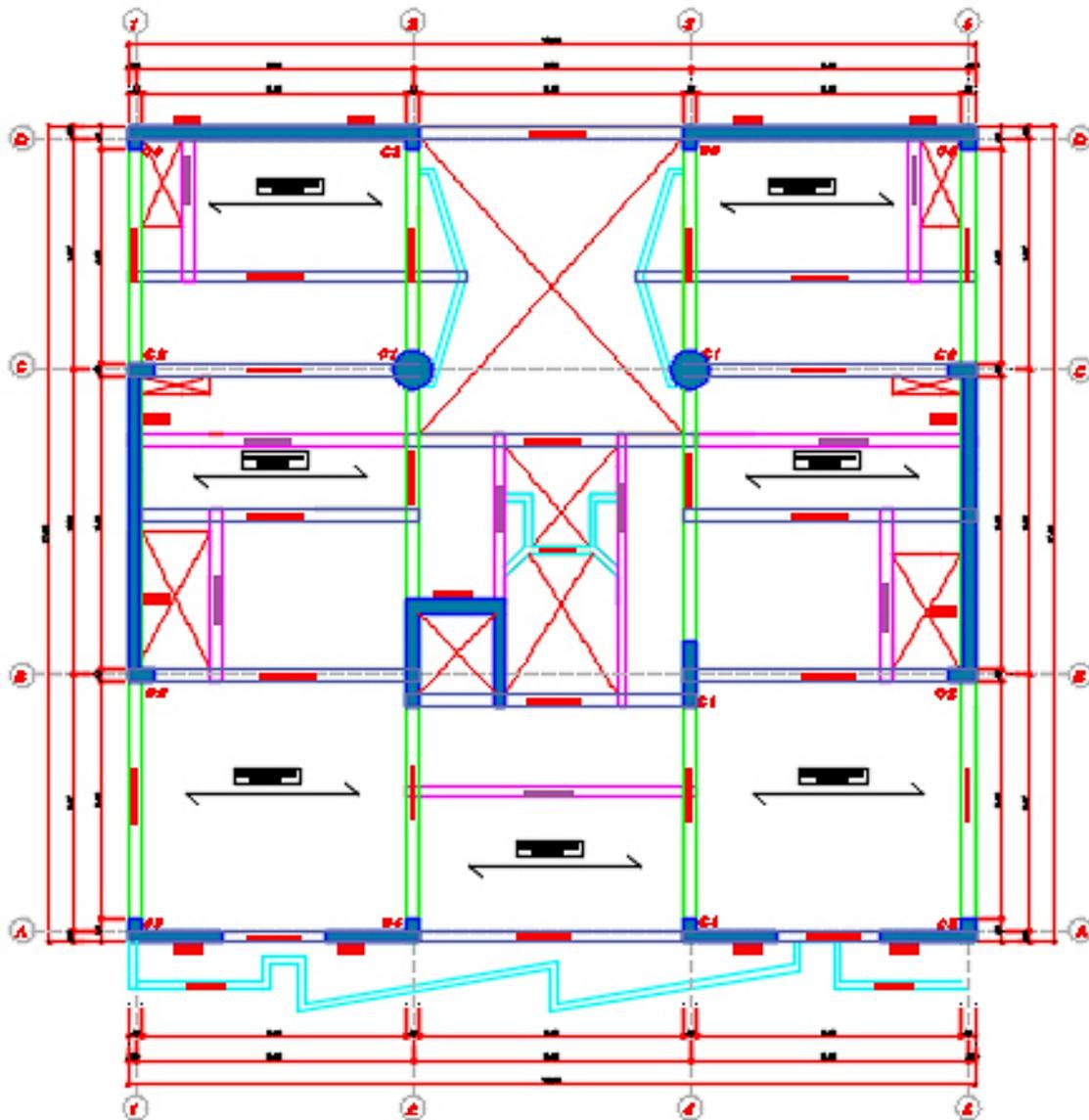
$$A \text{ placa} = 0.80 \times 421500 / 0.53 * \sqrt{210} = 439.03 \text{ cm}^2$$

**Para la dirección Y – Y:**

$$A \text{ placa} = 0.80 \times 421500 / 0.53 * \sqrt{210} = 439.03 \text{ cm}^2$$

En la figura 17, se muestra la distribución de los elementos estructurales (columnas, placas, vigas y sentido de losa aligerada)

Figura 17: Estructuración por niveles de la edificación



Fuente: Elaboración propia

### 4.3. METRADO DE CARGAS

Para el análisis de la estructura se consideraron 03 tipos de cargas: Carga muerta, carga viva y carga de sismo.

- **Carga muerta (CM):** Es el peso propio de los elementos comprendidos en la estructura tales como son; las columnas, vigas, losas, escaleras, etc. En la tabla 4, se muestran los pesos en relación al material utilizado.

**Tabla 4: Peso específico de los elementos de acuerdo al material**

Material	Peso (Ton/m <sup>3</sup> )
Concreto Armado	2.4
Concreto Simple	2.1
Muro de Albañilería	1.8
Muro de Albañilería Armada	2.0
Relleno, suelos, Jardines	2.0

**Fuente: RNE (E-0.60) concreto armado**

Para el modelamiento estructural se tiene en consideración el metrado de cargas de las vigas, donde se considera el peso propio de las vigas de (30 x 60) multiplicado por el peso específico del concreto armado que es 2400 kg/m<sup>3</sup>, se adiciona el peso de la losa aligerada de e = 25 cm (350 kg/m<sup>2</sup>) y los pesos que transmite la losa tales como los acabados y las tabiquerías fijas y móviles que cada una tiene un peso de (100 kg/cm<sup>2</sup>).

- **Carga viva (CV):** También denominado sobrecarga, que es el peso de los elementos móviles tales como los ocupantes del edificio, equipos, muebles, etc. En la tabla 5, se muestra las cargas vivas máximas repartidas de acuerdo al uso de la edificación.

Para el modelamiento estructural se consideró una sobrecarga de 200 kg/m<sup>2</sup>, considerando que la estructura está destinada para viviendas, así como también se consideró el peso de las escaleras de 200 kg/m<sup>2</sup>.

**Tabla 5: Cargas vivas máximas repartidas**

Viviendas	2,0 (200)
Corredores y escaleras	2,0 (200)

**Fuente: RNE (E-0.20) cargas**

- **Metrado de cargas por nivel:**

Con respecto a la estimación del peso de la estructura, el (P) se calculará adicionando a la carga permanente y total de la edificación un porcentaje de la carga viva o sobrecarga que se determinará de la siguiente manera:

Para nuestro proyecto se considera, que para las edificaciones de las categorías C, se tomara el 25% de la carga viva.

En la tabla 6, se muestra por niveles para el modelamiento estructural:

**Tabla 6: Peso por niveles**

N° PISO	PESO (Tn)
Az	137.45
8	274.90
7	274.90
6	274.90
5	274.90
4	274.90
3	274.90
2	274.90
1	274.90

**Fuente: Elaboración propia**

#### **4.4. PARÁMETROS DEL ANÁLISIS ESTRUCTURAL**

Para el desarrollo del análisis estructural se considera factores de amplificaciones de las fuerzas sísmicas que involucran varias características de la estructura, tales como la ubicación geográfica dentro del mapa sísmico del Perú. El uso al cual será destinado la estructura, el tipo de suelo donde será cimentado el edificio, las condiciones sísmicas y el sistema estructural empleado.

##### **4.4.1. FACTOR DE ZONA (Z)**

Considerando el mapa sísmico del Perú, el cual está dividido en 4 zonas sísmicas según el reglamento nacional de edificaciones (E 0.30 de diseño Sismorresistente).

Para el desarrollo de la tesis se tiene en cuenta la ubicación de la edificación que se encuentra en el departamento de Junín, provincia de Huancayo, de tal modo este se ubica en Zona 03 con un factor sísmico de 0.35 (ver Tabla 7).

**Tabla 7: Factores sísmicos de zona**

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

Fuente: RNE (E-0.30) diseño sismorresistente

#### 4.4.2. FACTOR DE USO E IMPORTANCIA (U)

La edificación al ser destinado para viviendas pertenece a la categoría C (edificaciones comunes). Para el desarrollo de la tesis se considera un factor de uso de 1.0 (Ver tabla 8).

**Tabla 8: Categoría de las edificaciones y factor "U"**

CATEGORÍA DE LAS EDIFICACIONES Y FACTOR "U"		
CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN	FACTOR U
C Edificaciones Comunes	Edificaciones comunes tales como: viviendas, oficinas, hoteles, restaurantes, depósitos e instalaciones industriales cuya falla no acarree peligros adicionales de incendios o fugas de contaminantes.	1,0

Fuente: RNE (E-0.30) Diseño sismorresistente

#### 4.4.3. FACTOR DE SUELO (S)

En consideración con el estudio de mecánica de suelos los resultados obtenidos arrojan que la edificación se cimentará sobre un suelo intermedio ( $S_2$ ), donde al relacionarse con el factor de zona (Z), se obtiene un factor de suelo (S) de 1.15 (ver tabla 9)

**Tabla 9: Factor de suelo "S"**

Tabla N° 3 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	1,10
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

Fuente: RNE (E-0.30) diseño sismorresistente

#### 4.4.4. FACTOR DE AMPLIFICACIÓN SÍSMICA (C)

En consideración con las características de sitio, se define al factor de amplificación sísmica (C) con las siguientes condiciones:

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

$$T_p < T < T_L \rightarrow C = 2.5 \times (T_p / T)$$

$$T > T_L \rightarrow C = 2.5 \times (T_p \times T_L / T_2)$$

Para el desarrollo de la tesis se consideraron los siguientes periodos de acuerdo al tipo de suelo (S2):

**Tabla 10: Periodos "Tp", "Y", "T"**

Tabla N° 4 PERÍODOS "T <sub>p</sub> " Y "T <sub>L</sub> "				
	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

Fuente: RNE (E-0.30) diseño sismorresistente

Para el periodo:

$$T = h_n / C_t$$

Por lo tanto, los periodos a utilizar en el desarrollo del proyecto serán:  $T_p$  (S): 0.6 y  $T_L$  (S): 2.0; por ende, el factor de amplificación sísmica será  $C = 2.5$  (ver tabla 10).

#### 4.4.5. COEFICIENTE DE REDUCCIÓN (R)

El reglamento nacional de edificaciones enfatiza en que los sistemas estructurales se dividen de acuerdo a los materiales y el sistema sismorresistente en cada dirección de análisis.

Por lo tanto, se tiene en consideración que la estructura en análisis cuenta con un sistema de muros estructurales en ambas direcciones, obtenemos el coeficiente de reducción de 6, (ver tabla 11).

**Tabla 11: Coeficiente básico de reducción  $R_o$**

Sistema Estructural	Coeficiente Básico de Reducción $R_o$ (*)
Concreto Armado:	
Pórticos	8
Dual	7
De muros estructurales	6
Muros de ductilidad limitada	4

**Fuente: RNE (E-0.30) diseño sismorresistente**

#### 4.5. ANÁLISIS ESPECTRAL

Según el reglamento nacional de edificaciones en consideración con los alcances del análisis dinámico de las edificaciones, se podrá realizar mediante procedimientos de combinación espectral o por medio de análisis tiempo – historia. Para el desarrollo de la tesis se considera un análisis de combinación espectral ya que se trata de una edificación convencional.

### Cálculo de la masa de la edificación por niveles:

En la tabla 12, se muestra el cálculo por cada nivel donde se divide el peso de cada nivel entre la aceleración de la gravedad:

Tabla 12: Cálculo de la masa en cada nivel

Elemento	Und	N1	N2,N4,N6,N8	N3,N5,N7	Az.
PESO/NIVEL	T	274.90	274.90	274.90	274.90
PESO/m2	T/m2	1.00	1.00	1.00	0.50
MASA	T.S <sup>2</sup> /m	28.02	28.02	28.02	14.01

Fuente: Elaboración propia

### Cálculo del momento polar de inercia:

En la tabla13, se muestra el cálculo del momento polar de inercia teniendo en consideración la masa por cada nivel.

Tabla 13: Cálculo del momento polar de inercia

PISO		N1	N2,N4,N6,N8	N3,N5,N7	Az
MASA	t.s <sup>2</sup> /m	28.02	28.02	28.02	14.01
I <sub>x</sub>	m <sup>4</sup>	8823.07	8823.07	8823.07	8823.07
I <sub>y</sub>	m <sup>4</sup>	9171.60	9171.60	9171.60	9171.60
A	m <sup>2</sup>	274.90	274.90	274.90	343.63
J <sub>m</sub>	m.t.s <sup>2</sup>	1834.32	1834.32	1834.32	733.73

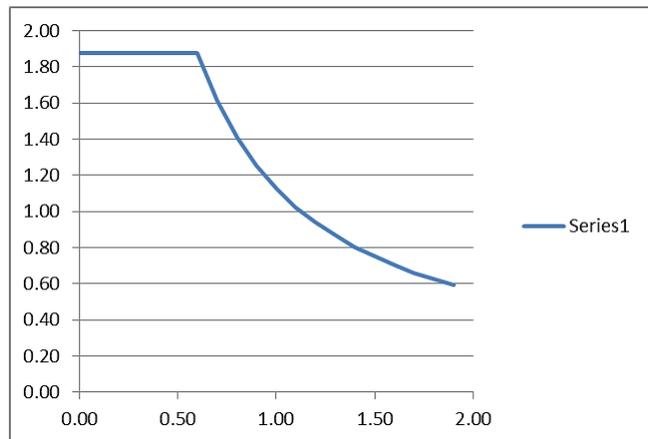
Fuente: Elaboración propia

### Cálculo del espectro de aceleración sísmica eje (X - X)

En la tabla 14, se muestra los resultados de la función espectral para un suelo intermedio.  $S_a = ZUSC * g / R$

**Tabla 14: Cálculo de la onda espectral de aceleración sísmica dirección X-X**

C	T	Sa
2.50	0.00	2.19
2.50	0.60	2.19
2.14	0.70	1.88
1.88	0.80	1.64
1.67	0.90	1.46
1.50	1.00	1.31
1.36	1.10	1.20
1.25	1.20	1.10
1.15	1.30	1.01
1.07	1.40	0.94
1.00	1.50	0.88
0.94	1.60	0.82
0.88	1.70	0.77
0.83	1.80	0.73
0.79	1.90	0.69



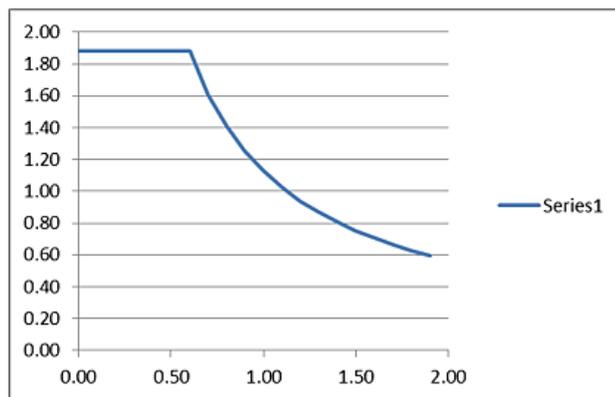
Fuente: Elaboración propia

**Cálculo del espectro de aceleración sísmica eje (Y - Y)**

En la tabla 15, se muestra los resultados de la función espectral para un suelo intermedio.  $Sa = ZUSC * g / R$

**Tabla 15: Cálculo de la onda espectral de aceleración sísmica dirección Y-Y**

C	T	Sa
2.50	0.00	2.19
2.50	0.60	2.19
2.14	0.70	1.88
1.88	0.80	1.64
1.67	0.90	1.46
1.50	1.00	1.31
1.36	1.10	1.20
1.25	1.20	1.10
1.15	1.30	1.01
1.07	1.40	0.94
1.00	1.50	0.88
0.94	1.60	0.82
0.88	1.70	0.77
0.83	1.80	0.73
0.79	1.90	0.69

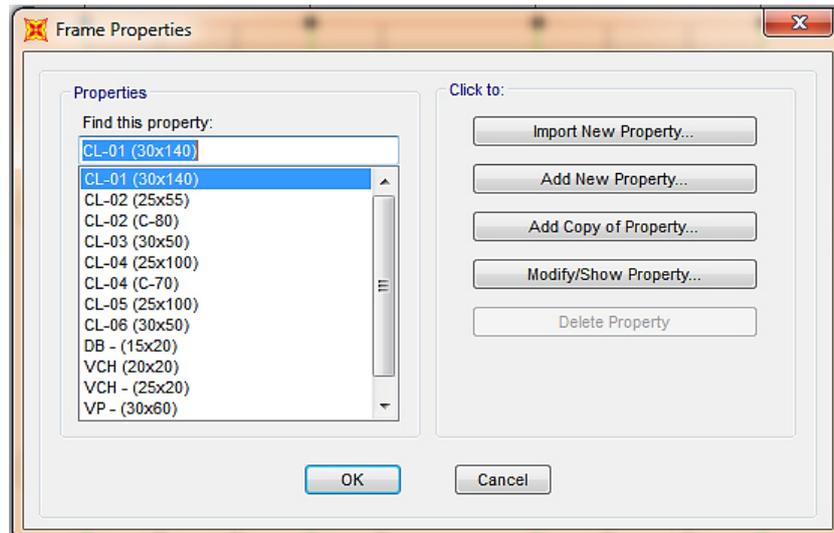


Fuente: Elaboración propia

#### 4.6. DESARROLLO DEL MODELO ESTRUCTURAL EN EL SAP – 2000

Se realiza el ingreso de los datos al software SAP – 2000. En la figura 18, se muestra la inserción de las propiedades y dimensionamiento de los elementos estructurales.

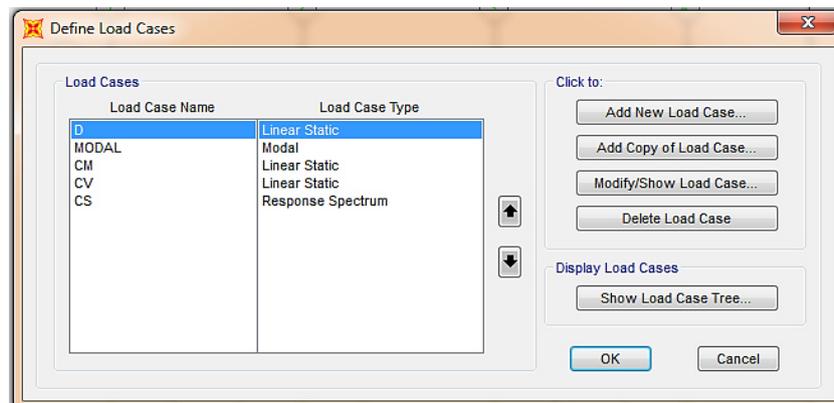
Figura 18: Propiedades y dimensionamiento de los elementos estructurales



Fuente: Elaboración propia (SAP - 2000)

En la figura 19, se muestra la definición de los tipos de cargas empleadas en el análisis sísmico (carga muerta, carga viva y carga de sismo) para ambas direcciones.

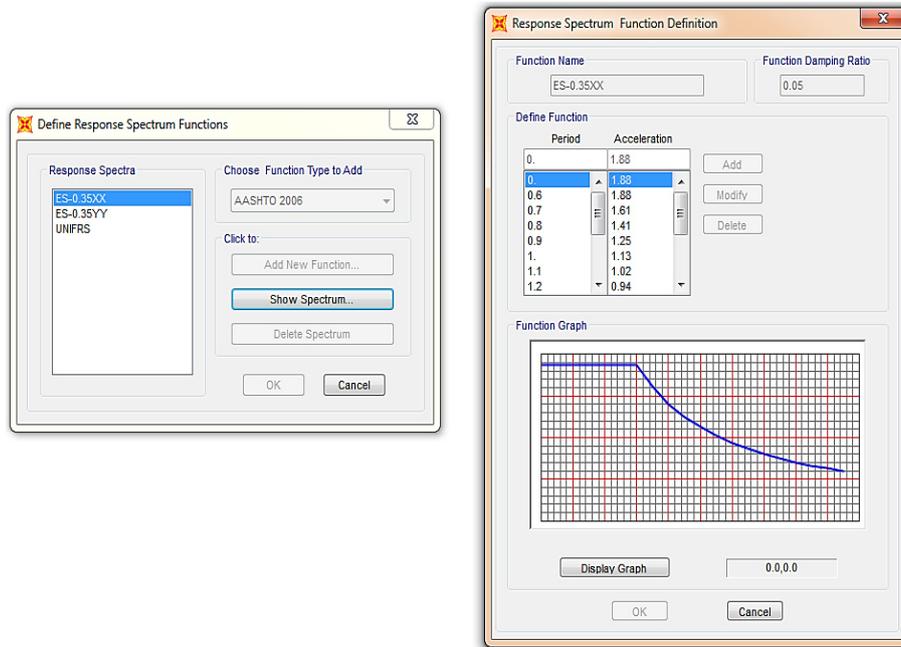
Figura 19: Definición de los tipos de cargas para ambas direcciones



Fuente: Elaboración propia (SAP - 2000)

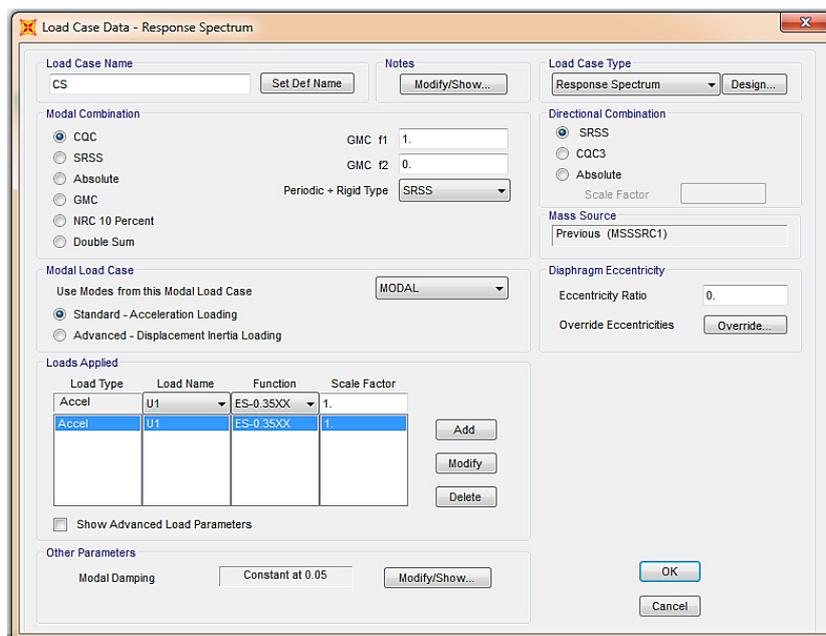
En la figura 20 y 21, se muestran el ingreso de los datos del espectro de respuesta sísmica, donde se observa la onda espectral del sismo.

**Figura 20: Ingreso del espectro de respuesta sísmica**



Fuente: Elaboración propia (SAP - 2000)

**Figura 21: Ingreso de datos para el sismo en cada dirección**

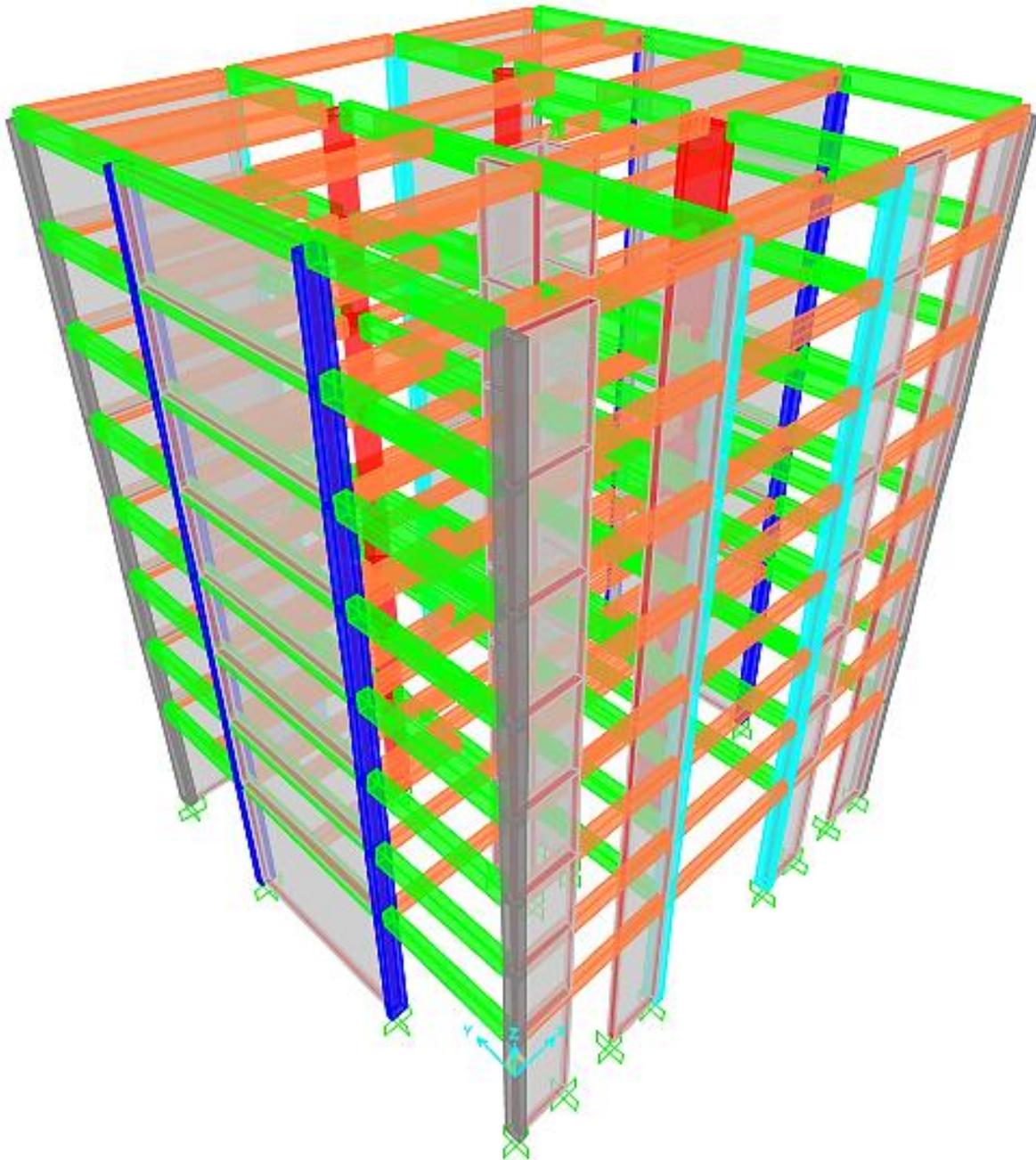


Fuente: Elaboración propia (SAP - 2000)

#### 4.7. MODELAMIENTO ESTRUCTURAL – SAP 2000

Después de haber obtenido los parámetros para el análisis sísmico dinámico mediante el espectro de respuesta, en la figura 22, se muestra el modelamiento de la estructura realizado en el programa SAP 2000.

Figura 22: Modelamiento de la estructura (SAP 2000)



Fuente: Elaboración propia (SAP - 2000)

#### 4.8. ANÁLISIS DE IRREGULARIDAD ESTRUCTURAL

Las estructuras deben ser clasificadas como regulares o irregulares para los siguientes fines:

- Cumplir las restricciones de irregularidad de la tabla N° 10 de la norma técnica E.030 (diseño sismorresistente).
- Establecer los procedimientos de análisis.
- Determinar el coeficiente R de reducción de fuerzas sísmicas.

##### 4.8.1. FACTORES DE IRREGULARIDAD (I<sub>A</sub>, I<sub>P</sub>)

De consideración con la norma técnica E 0.30, el factor **I<sub>a</sub>** se determina como el menor de los valores de la tabla N° 8 correspondiente a las irregularidades estructurales existentes en altura en las dos direcciones de análisis. De la misma manera para el factor **I<sub>p</sub>** se determina como el menor de los valores de la tabla N° 9, correspondiente a las irregularidades estructurales en planta en las dos direcciones de análisis.

Si al aplicar las tablas N° 8 y 9 se obtuvieron valores distintos de los factores **I<sub>a</sub>**, o **I<sub>p</sub>**, para las dos direcciones de análisis, se deberá tomar para cada factor el menor valor entre los obtenidos para las dos direcciones.

##### 4.8.2. IRREGULARIDAD ESTRUCTURAL EN ALTURA (I<sub>A</sub>)

###### Irregularidad de rigidez – piso blando.

Existe irregularidad de rigidez cuando, en cualquiera de las direcciones de análisis, la distorsión de entrepiso (deriva) es mayor que 1.4 veces el correspondiente valor en el entrepiso inmediato superior, o es mayor que 1.25 veces el promedio de las distorsiones de entrepiso en los tres niveles superiores adyacentes.

La distorsión de entrepiso se calculará como el promedio de las distorsiones en los extremos del entrepiso.

$$\frac{\Delta_i}{h_i} \geq 1.4 \left( \frac{\Delta_{i+1}}{h_{i+1}} \right) \quad \text{ó} \quad \frac{\Delta_i}{h_i} \geq \frac{1.25}{3} \left( \frac{\Delta_{i+1}}{h_{i+1}} + \frac{\Delta_{i+2}}{h_{i+2}} + \frac{\Delta_{i+3}}{h_{i+3}} \right)$$

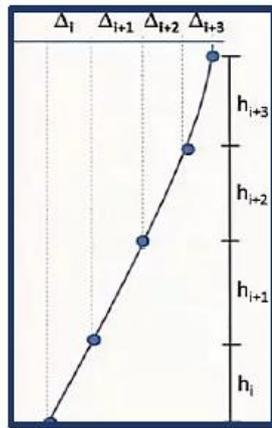


Tabla 16: Irregularidad de rigidez (piso blando) en la dirección x – x

IRREGULARIDAD DE RIGIDEZ - PISO BLANDO ( $I_a = 0.75$ )				
X - X	DISTORSION	$\frac{\Delta_i}{h_i} \geq 1.4 \left( \frac{\Delta_{i+1}}{h_{i+1}} \right)$	$\frac{\Delta_i}{h_i} \geq \frac{1.25}{3} \left( \frac{\Delta_{i+1}}{h_{i+1}} + \frac{\Delta_{i+2}}{h_{i+2}} + \frac{\Delta_{i+3}}{h_{i+3}} \right)$	VERIFICACION
8	0.0056			
7	0.0060	1.07		NO PRESENTA
6	0.0064	1.05		NO PRESENTA
5	0.0065	1.02	1.08	NO PRESENTA
4	0.0064	0.98	1.01	NO PRESENTA
3	0.0059	0.93	0.92	NO PRESENTA
2	0.0050	0.85	0.81	NO PRESENTA
1	0.0025	0.50	0.43	NO PRESENTA

Fuente: Elaboración propia

- $I_a$  direcc. x-x = 1.00

Tabla 17: Irregularidad de rigidez (piso blando) en la dirección y-y

IRREGULARIDAD DE RIGIDEZ - PISO BLANDO ( $I_a = 0.75$ )				
Y - Y	DISTORSION	$\frac{\Delta_i}{h_i} \geq 1.4 \left( \frac{\Delta_{i+1}}{h_{i+1}} \right)$	$\frac{\Delta_i}{h_i} \geq \frac{1.25}{3} \left( \frac{\Delta_{i+1}}{h_{i+1}} + \frac{\Delta_{i+2}}{h_{i+2}} + \frac{\Delta_{i+3}}{h_{i+3}} \right)$	VERIFICACION
8	0.0041			
7	0.0043	1.06		NO PRESENTA
6	0.0045	1.04		NO PRESENTA
5	0.0045	1.01	1.06	NO PRESENTA
4	0.0044	0.97	0.98	NO PRESENTA
3	0.0040	0.91	0.90	NO PRESENTA
2	0.0034	0.84	0.78	NO PRESENTA
1	0.0018	0.53	0.45	NO PRESENTA

Fuente: Elaboración propia

- $I_a$  direcc. y-y = 1.00

**Irregularidad de resistencia – piso débil.**

Existe irregularidad de resistencia cuando, en cualquiera de las direcciones de análisis, la resistencia de un entrepiso frente a fuerzas cortantes es inferior a 80% de la resistencia del entrepiso inmediato superior.

- De acuerdo con el proyecto, éste no presentará irregularidad de resistencia (piso débil), porque la estructura no presta ningún tipo de reducción en las secciones transversales de los elementos verticales resistentes en ambas direcciones. Por lo tanto:
  - **la direcc. x-x = 1.00**
  - **la direcc. y-y = 1.00**

**Irregularidad extrema de rigidez.**

Se considera que existe irregularidad extrema en la rigidez cuando, en cualquiera de las direcciones de análisis, la distorsión de entrepiso (deriva) es mayor que 1.6 veces el correspondiente valor del entrepiso inmediato superior o es mayor que 1.4 veces el promedio de las distorsiones de entrepiso en los tres niveles superiores adyacentes.

La distorsión de entrepiso se calculará como el promedio de las distorsiones en los extremos del entrepiso.

$$\frac{\Delta i}{h_i} \geq 1.6 \left( \frac{\Delta_{(i+1)}}{h_{(i+1)}} \right) \quad \text{ó} \quad \frac{\Delta i}{h_i} \geq \frac{1.40}{3} \left( \frac{\Delta_{(i+1)}}{h_{(i+1)}} + \frac{\Delta_{(i+2)}}{h_{(i+2)}} + \frac{\Delta_{(i+3)}}{h_{(i+3)}} \right)$$

**Tabla 18: Irregularidad de extrema rigidez en la dirección x-x**

IRREGULARIDAD DE RIGIDEZ (Ia = 0.50)				
X - X	DISTORSION	$\frac{\Delta i}{h_i} \geq 1.6 \left( \frac{\Delta_{(i+1)}}{h_{(i+1)}} \right)$	$\frac{\Delta i}{h_i} \geq \frac{1.40}{3} \left( \frac{\Delta_{(i+1)}}{h_{(i+1)}} + \frac{\Delta_{(i+2)}}{h_{(i+2)}} + \frac{\Delta_{(i+3)}}{h_{(i+3)}} \right)$	VERIFICACION
8	0.0056			
7	0.0060	1.07		NO PRESENTA
6	0.0064	1.05		NO PRESENTA
5	0.0065	1.02	1.08	NO PRESENTA
4	0.0064	0.98	1.01	NO PRESENTA
3	0.0059	0.93	0.92	NO PRESENTA
2	0.0050	0.85	0.81	NO PRESENTA
1	0.0025	0.50	0.43	NO PRESENTA

Fuente: Elaboración propia

- **Ia direcc. x-x = 1.00**

Tabla 19: Irregularidad extrema de rigidez en la dirección y-y

IRREGULARIDAD DE RIGIDEZ ( $I_a = 0.50$ )				
Y - Y	DISTORSION	$\frac{\Delta i}{h_i} \geq 1.6 \left( \frac{\Delta_{i+1}}{h_{i+1}} \right)$	$\frac{\Delta i}{h_i} \geq \frac{1.40}{3} \left( \frac{\Delta_{i+1}}{h_{i+1}} + \frac{\Delta_{i+2}}{h_{i+2}} + \frac{\Delta_{i+3}}{h_{i+3}} \right)$	VERIFICACION
8	0.0041			
7	0.0043	1.06		NO PRESENTA
6	0.0045	1.04		NO PRESENTA
5	0.0045	1.01	1.06	NO PRESENTA
4	0.0044	0.97	0.98	NO PRESENTA
3	0.0040	0.91	0.90	NO PRESENTA
2	0.0034	0.84	0.78	NO PRESENTA
1	0.0018	0.53	0.45	NO PRESENTA

Fuente: Elaboración propia

- $I_a$  direcc. y-y = 1.00

#### Irregularidad extrema de resistencia.

Existe irregularidad extrema de resistencia cuando, en cualquiera de las direcciones de análisis, la resistencia de un entrepiso frente a fuerzas cortantes es inferior a 65% de la resistencia del entrepiso inmediato superior.

- De acuerdo con el proyecto, este no presenta irregularidad extrema de resistencia, porque la estructura no presta ningún tipo de reducción en las secciones transversales de los elementos verticales resistentes en ambas direcciones. Por lo tanto:
  - $I_a$  direcc. x-x = 1.00
  - $I_a$  direcc. y-y = 1.00

#### Irregularidad de masa o peso.

Se tiene irregularidad de masa o peso cuando el peso de un piso, determinado según la estimación del peso que rige la norma en el numeral (4.3), es mayor que 1.5 veces el peso de un piso adyacente. Este criterio no se aplica en azoteas ni en sótanos.

<b>Irregularidad de Masa, <math>I_a = 0.90</math></b>
<i>Cuando <math>W_i &gt; 1.5 W_{i+1}</math> ó <math>W_i &gt; 1.5 W_{i-1}</math></i>

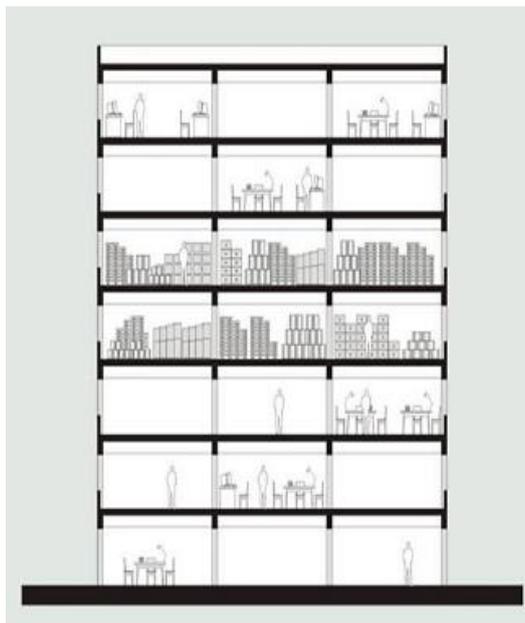


Tabla 20: Irregularidad de masa o peso

IRREGULARIDAD DE MASA O PESO - PISO BLANDO ( $I_a = 0.90$ )					
NIVEL	Mass X (tonf-s2/m)	Mass Y (tonf-s2/m)	Peso por Nivel - W (tonf)	$W_i \geq 1.5(W_{i+1})$	VERIFICACION
8	14.01	14.01	137.45		
7	28.02	28.02	274.90		
6	28.02	28.02	274.90	1.00	NO PRESENTA
5	28.02	28.02	274.90	1.00	NO PRESENTA
4	28.02	28.02	274.90	1.00	NO PRESENTA
3	28.02	28.02	274.90	1.00	NO PRESENTA
2	28.02	28.02	274.90	1.00	NO PRESENTA
1	28.02	28.02	274.90	1.00	NO PRESENTA

Fuente: Elaboración propia

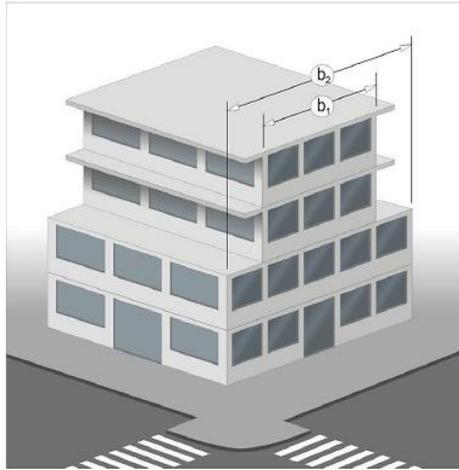
- $I_a$  direcc. x-x = 1.00
- $I_a$  direcc. y-y = 1.00

### Irregularidad geométrica vertical

La configuración es irregular cuando, en cualquiera de las direcciones de análisis, la dimensión en planta de la estructura resistente a cargas laterales es mayor que 1.3 veces la correspondiente dimensión en un piso adyacente. Este criterio no se aplica en azoteas ni en sótanos.

**Irregularidad de Geometría Vertical,  $I_a=0.90$**

*Cuando  $b_2 > 1.3 \times b_1$*



**Tabla 21: Irregularidad geometría vertical**

IRREGULARIDAD GEOMETRICA VERTICAL- PISO BLANDO ( $I_a = 0.90$ )					
NIVEL	DIAFRAGMA	b1 (m)	b2 (m)	$b1 \geq 1.3 * b2$	VERIFICACION
8	14.01		18.00		
7	28.02	18.00	18.00	1.00	NO PRESENTA
6	28.02	18.00	18.00	1.00	NO PRESENTA
5	28.02	18.00	18.00	1.00	NO PRESENTA
4	28.02	18.00	18.00	1.00	NO PRESENTA
3	28.02	18.00	18.00	1.00	NO PRESENTA
2	28.02	18.00	18.00	1.00	NO PRESENTA
1	28.02	18.00		1.00	NO PRESENTA

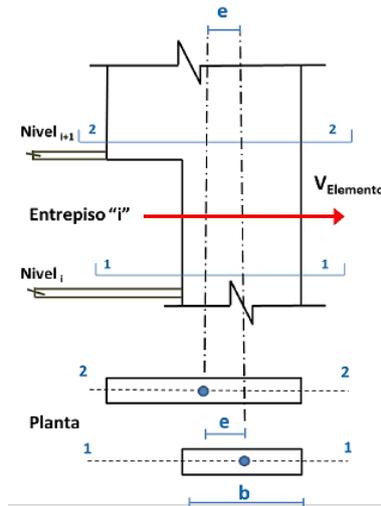
Fuente: Elaboración propia

- $I_a$  direcc. x-x = 1.00
- $I_a$  direcc. y-y = 1.00

**Discontinuidad en los sistemas resistentes**

Se califica a la estructura como irregular cuando en cualquier elemento que resista más de 10 % de la fuerza cortante se tiene un desalineamiento vertical, tanto por un cambio de orientación, como por un desplazamiento del eje de magnitud mayor que 25 % de la correspondiente dimensión del elemento.

Discontinuidad en Sistemas Resistentes, $I_a = 0.80$
$V_{elem} \geq 0.1V_{Edif} \text{ y } e > 0.25b$
Discontinuidad Extrema en Sistemas Resistentes, $I_{aext} = 0.60$
$V_{elem} \geq 0.25V_{Edif} \text{ y } e > 0.25b$



- De acuerdo con el proyecto, este no presenta discontinuidad en los sistemas resistentes porque ningún elemento vertical resistente presenta desplazamiento ni cambio de orientación.
  - $I_a$  direcc. x-x = 1.00
  - $I_a$  direcc. y-y = 1.00

### 4.8.3. IRREGULARIDAD ESTRUCTURAL EN PLANTA (IP)

#### Irregularidad torsional

Existe irregularidad torsional cuando, en cualquiera de las direcciones de análisis, el máximo desplazamiento relativo de entrepiso en un extremo del edificio, calculado incluyendo excentricidad accidental ( $\Delta_{max}$ ), es mayor que 1.2 veces el desplazamiento relativo del centro de masas del mismo entrepiso para la misma condición de carga ( $\Delta_{CM}$ ).

Este criterio solo se aplica en edificios con diafragmas rígidos y solos si el máximo desplazamiento relativo de entrepiso es mayor que 50% del desplazamiento permisible.

<b>Irregularidad Torsional, <math>I_p = 0.75</math></b>
$\Delta_{m\acute{a}x} > 1.2 \Delta_{CM}$ y $\Delta_{m\acute{a}x} > 0.5 \Delta$ permisible
<b>Irregularidad Torsional Extrema, <math>I_p = 0.60</math></b>
$\Delta_{m\acute{a}x} > 1.5 \Delta_{CM}$ y $\Delta_{m\acute{a}x} > 0.5 \Delta$ permisible

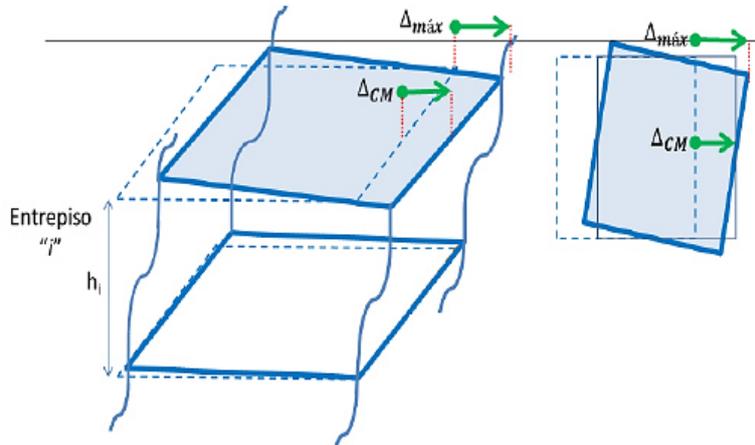


Tabla 22: Irregularidad torsional en la direcci3n x-x

IRREGULARIDAD TORSIONAL ( $I_p = 0.75$ )				
NIVEL	Distorsion de un punto Extremo X	Distorsion del CM X	$\frac{\Delta_{max}}{h_i} \geq 1.2 \frac{\Delta_{CM}}{h_i}$	VERIFICACION
8	0.0066	0.0056	1.17	NO PRESENTA
7	0.0070	0.0060	1.16	NO PRESENTA
6	0.0074	0.0064	1.16	NO PRESENTA
5	0.0074	0.0065	1.14	NO PRESENTA
4	0.0072	0.0064	1.13	NO PRESENTA
3	0.0068	0.0059	1.15	NO PRESENTA
2	0.0058	0.0050	1.15	NO PRESENTA
1	0.0028	0.0025	1.12	NO PRESENTA

Fuente: Elaboraci3n propia

- $I_a$  direcc. x-x = 1.00

Tabla 23: Irregularidad torsional en la dirección y-y

IRREGULARIDAD TORSIONAL ( $I_p = 0.75$ )				
NIVEL	Distorsion de un punto Extremo Y	Distorsion del CM Y	$\frac{\Delta_{max}}{hi} \geq 1.2 \frac{\Delta_{CM}}{hi}$	VERIFICACION
8	0.0045	0.0041	1.11	NO PRESENTA
7	0.0049	0.0043	1.13	NO PRESENTA
6	0.0049	0.0045	1.09	NO PRESENTA
5	0.0050	0.0045	1.10	NO PRESENTA
4	0.0050	0.0044	1.14	NO PRESENTA
3	0.0046	0.0040	1.15	NO PRESENTA
2	0.0038	0.0034	1.13	NO PRESENTA
1	0.0020	0.0018	1.12	NO PRESENTA

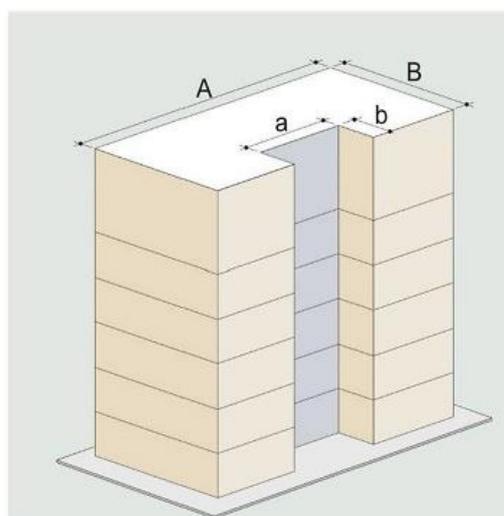
Fuente: Elaboración propia

- $I_a$  direcc. y-y = 1.00

### Esquinas entrantes

La estructura se califica como irregular cuando tiene esquinas entrantes cuyas dimensiones en ambas direcciones son mayores que 20% de la correspondiente dimensión total en planta.

Irregularidad por Esquinas Entrantes, $I_p = 0.90$
$(a > 0.2A)$ y $(b > 0.2B)$



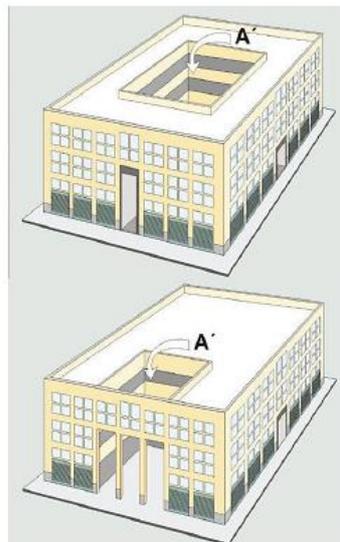
- De acuerdo con el proyecto, éste no presenta esquinas entrantes debido a que la estructura de análisis tiene una forma rectangular definida en todos sus niveles.
  - la direcc. x-x = 1.00
  - la direcc. y-y = 1.00

### Discontinuidad del diafragma

La estructura se califica como irregular cuando los diafragmas tienen discontinuidades abruptas o variaciones importantes en rigidez, incluyendo aberturas mayores que 50% del área bruta del diafragma.

También existe irregularidad cuando, en cualquiera de los pisos y para cualquiera de las direcciones de análisis, se tiene alguna sección transversal del diafragma con un área neta resistente menor que 25% del área de la sección transversal total de la misma dirección calculada con las dimensiones totales de la planta.

Irregularidad por Discontinuidad del Diafragma, $I_p = 0.85$	
Reducción del área del Diafragma.	$A' > 50\%A_{Total}$



- De acuerdo con el proyecto, este no presenta discontinuidad de diafragmas debido a que las plantas son típicas en todos los niveles y que las áreas de los ductos no superan el 50% del área total de un piso
  - **$I_a$  direcc. x-x = 1.00**
  - **$I_a$  direcc. y-y = 1.00**

### Sistemas no paralelos

Se considera que existe irregularidad cuando en cualquiera de las direcciones de análisis los elementos resistentes a fuerzas laterales no son paralelos. No se aplica si los ejes de los pórticos o muros forman ángulos menores que  $30^\circ$  ni cuando los elementos no paralelos resisten menos que 10% de la fuerza cortante del piso.

- De acuerdo con el proyecto, éste no presenta sistemas no paralelos debido a que los elementos estructurales están sobre los ejes en ambas direcciones, debido a la forma rectangular perfecta en cada nivel de la estructura.
  - **$I_a$  direcc. x-x = 1.00**
  - **$I_a$  direcc. y-y = 1.00**

### 4.8.4. RESUMEN DE IRREGULARIDAD EN AMBAS DIRECCIONES

En la tabla N° 24 se observa el resumen de los resultados de los distintos tipos de irregularidades en la dirección x – x, que presenta una estructura, tanto en altura como en planta.

**Tabla 24; Resumen de irregularidad en la dirección x-x**

Resumen de Analisis de Irregularidad en la Direccion x - x			
IRREGULARIDAD ESTRUCTURAL EN ALTURA ( $I_a$ )		IRREGULARIDAD ESTRUCTURAL EN PLANTA ( $I_p$ )	
Irregularidad de rigidez - Piso Blando	1.00	Irregularidad Torsional	1.00
Irregularidad de Resistencia - Piso Debil	1.00	Esquinas Entrantes	1.00
Irregularidad Extrema de rigidez	1.00	Discontinuidad del Diafragma	1.00
Irregularidad Extrema de Resistencia	1.00	Sistemas no Paralelos	1.00
Irregularidad de Masa o Peso	1.00		
Irregularidad Geométrica Vertical	1.00		
Discontinuidad en los Sistemas Resistentes	1.00		
Discontinuidad en los Sistemas Resistentes	1.00		
<b>TOTAL IRREGULARIDAD EN ALTURA (<math>I_a</math>)</b>	<b>1.00</b>	<b>TOTAL IRREGULARIDAD EN PLANTA (<math>I_p</math>)</b>	<b>1.00</b>

Fuente: Elaboración propia

En la tabla N° 25 se observa el resumen de los resultados de los distintos tipos de irregularidades en la dirección y – y, que presenta una estructura, tanto en altura como en planta.

**Tabla 25: Resumen de Irregularidad en la dirección y-y**

Resumen de Analisis de Irregularidad en la Direccion y - y			
IRREGULARIDAD ESTRUCTURAL EN ALTURA (Ia)		IRREGULARIDAD ESTRUCTURAL EN PLANTA (Ip)	
Irregularidad de rigidez - Piso Blando	1.00	Irregularidad Torsional	1.00
Irregularidad de Resistencia - Piso Debil	1.00	Esquinas Entrantes	1.00
Irregularidad Extrema de rigidez	1.00	Discontinuidad del Diafragma	1.00
Irregularidad Extrema de Resistencia	1.00	Sistemas no Paralelos	1.00
Irregularidad de Masa o Peso	1.00		
Irregularidad Geométrica Vertical	1.00		
Discontinuidad en los Sistemas Resistentes	1.00		
Discontinuidad en los Sistemas Resistentes	1.00		
<b>TOTAL IRREGULARIDAD EN ALTURA (Ia)</b>	<b>1.00</b>	<b>TOTAL IRREGULARIDAD EN PLANTA (Ip)</b>	<b>1.00</b>

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con los resultados obtenidos del análisis de irregularidad tanto en planta como en altura para ambas direcciones, se concluye que la estructura analizada es regular, por ende, los factores de reducción  $I_a$  y  $I_p$  serán iguales a 1.

#### 4.9. ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO SÍSMICO DEL EDIFICIO

Para el análisis sísmico del edificio se comprobaron los límites para la distorsión de entrepiso los cuales no deben exceder el 0.007 para edificaciones de concreto armado tal como lo establece el reglamento nacional de edificación en la norma E 0.30 (diseño sismorresistente), Ver tabla 26.

**Tabla 26 Limites para la distorsión del entrepiso**

LÍMITES PARA LA DISTORSIÓN DEL ENTREPISO	
Material Predominante	( $\Delta_e / h_{et}$ )
Concreto Armado	0,007
Acero	0,010
Albañilería	0,005
Madera	0,010
Edificios de concreto armado con muros de ductilidad limitada	0,005

Fuente: RNE (E– 0.60) concreto armado

#### **4.10. CUADRO DE RESUMEN DE RESULTADOS**

Dentro de los resultados se calcularon los desplazamientos laterales de entre piso, el cual no debe exceder el 0.007, debido a que el edificio es de concreto armado. Para el cálculo de la deriva la altura de entrepiso para el 1° nivel es 4.80 m (desde la cimentación) y del 2° al 8° es de 2.80 m.:

$$\text{DERIVA (p)} = \frac{\text{desplazamiento (p+1)} - \text{desplazamiento (p)}}{\text{altura de entrepiso}} < 0.007$$

Para estructuras regulares, los desplazamientos laterales se calcularán multiplicando por 0.75 R, donde R es igual a 6 (para un sistema estructural de muros estructurales). Los resultados obtenidos del análisis lineal elástico con las sollicitaciones sísmicas reducidas.

$$\text{DERIVA (Entrepiso)} = \text{Deriva} * R (0.75) < 0.007$$

##### **4.10.1. CONTROL DE DESPLAZAMIENTOS LATERALES EN AMBAS DIRECCIONES**

###### **Resultados de los desplazamientos laterales de entrepiso en la dirección (X):**

Se observa los desplazamientos y derivas en cada nivel para la dirección X, obtenidos del programa de modelación estructural SAP 2000, para el edificio con cimentación fija.

**Tabla 27: Control de desplazamiento lateral y distorsión del eje X-X**

Desplazamientos Laterales Direccion X - X			
Nivel	Desp. Lateral (cm)	(Di/H)	
8	2.463	0.0048	(OK)
7	2.162	0.0052	(OK)
6	1.84	0.0054	(OK)
5	1.501	0.0056	(OK)
4	1.154	0.0055	(OK)
3	0.814	0.0051	(OK)
2	0.498	0.0043	(OK)
1	0.2287	0.0021	(OK)

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 27, se aprecia claramente que el máximo desplazamiento de la edificación con cimentación fija es de 2.463 cm en el último nivel para la dirección X, así como también se aprecia que la máxima deriva de piso es 0.0056.

**Resultados de los desplazamientos laterales de entrepiso en la dirección (Y):**

Se observa los desplazamientos y derivas en cada nivel para la dirección Y, obtenidos del programa de modelación estructural SAP 2000, para el edificio con cimentación fija.

**Tabla 28: Control de desplazamientos lateral y distorsión del eje Y-Y**

Desplazamientos Laterales Direccion Y - Y			
Nivel	Desp. Lateral (cm)	(Di/H)	
8	1.721	0.0035	(OK)
7	1.504	0.0037	(OK)
6	1.273	0.0039	(OK)
5	1.033	0.0039	(OK)
4	0.791	0.0038	(OK)
3	0.557	0.0034	(OK)
2	0.343	0.0029	(OK)
1	0.163	0.0015	(OK)

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 28, se aprecia claramente que el máximo desplazamiento de la edificación con cimentación fija es de 1.721 cm en el último nivel para la dirección Y, así como también se aprecia que la máxima deriva de piso es 0.0039.

#### 4.10.2. PERIODOS Y MODOS DE VIBRACIÓN

En cada dirección se consideran aquellos modos de vibración cuya suma de masas efectivas sea por lo menos el 90% de la masa total donde como mínimo se tiene los tres primeros modos de vibración. Se muestran los periodos y modos de vibración obtenidos de la modelación estructural, para el edificio con cimentación fija.

**Tabla 29: Periodos y modos de vibración**

MODAL	EDIFICIO CON CIMENTACION FIJA		
	PERIODO (seg)	% MASA PARTICIPATIVA	DIRECCION
1	0.6047	0.69	X-X
2	0.4899	0.741	Y-Y
3	0.35	0.745	Z-Z
4	0.148	0.747	X-X
5	0.1193	0.891	Y-Y
6	0.0824	0.932	Z-Z

**Fuente: Elaboración propia**

En la tabla 29, se aprecia claramente que los modos de vibración principales son el 1 y 2, el modo 1 en el sentido X con un periodo de 0.6047 y un porcentaje de masa participativa de 69% y el modo 2 en el sentido Y con un periodo de 0.4899 y un porcentaje de masa participativa de 75%. Así mismo el porcentaje de masa participativa total fue de 96.31% para la dirección X y 97.78% en la dirección Y.

#### 4.10.3. ACELERACIÓN DEL PISO SUPERIOR

La aceleración en cada nivel obtenido del programa de modelación estructural SAP 2000, para el edificio con cimentación fija.

**Tabla 30: Aceleración sísmica en cada nivel**

MODAL	ACELERACION - EDIFICIO CON CIMENTACION FIJA, (m/s <sup>2</sup> )	
	X - X	Y - Y
8	2.876	3.1
7	2.347	2.511
6	1.964	2.082
5	1.71	1.821
4	1.487	1.6
3	1.299	1.408
2	1.075	1.195
1	0.649	0.789
0	0	0

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 30, se aprecia la máxima aceleración del piso superior del edificio es 2.876 m/s<sup>2</sup> para la dirección X y 3.10 m/s<sup>2</sup> para la dirección Y.

#### 4.10.4. FUERZA CORTANTE EN LA BASE

La fuerza cortante en la base obtenida del programa de modelación estructural SAP 2000, para el edificio con cimentación fija.

**Tabla 31: Fuerzas cortantes en la base**

FUERZAS CORTANTE EN LA BASE (ESTRUCTURA CON CIMENTACION FIJA)	
	FUERZA CORTANTE MAXIMA (Ton)
EJE X-X	436.01
EJE Y-Y	473.9

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 31, se aprecia la máxima fuerza cortante en la base del edificio con cimentación fija es de 436.01 Tn, para la dirección X y para la dirección Y es de 473.90 Tn, respectivamente.

## **CAPÍTULO V**

### **ANÁLISIS SÍSMICO DINÁMICO – EDIFICIO CON AISLADOR ELASTOMÉRICO DE ALTO AMORTIGUAMIENTO (HDR)**

Para el análisis dinámico del edificio con la utilización del aislador elastomérico de alto amortiguamiento (HDR), se tendrá en cuenta el mismo sistema de muros estructurales empleado para el análisis con cimentación fija, por lo tanto, se adiciona los siguientes datos:

#### **5.1. PREDIMENSIONAMIENTO DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES**

##### **5.1.1. PREDIMENSIONAMIENTO DE VIGAS DE AMARRE EN LA BASE**

Se deberá considerar vigas de amarre en la base de la estructura para el arriostre del sistema de aislamiento. Las vigas de amarre se consideran a la altura de los pedestales sobre los aisladores sísmicos, por lo cual adopta la siguiente fórmula para su predimensionamiento:

$$h = l / 14, b = h / 2$$

Dónde:

h = peralte de la viga de amarre

l = longitud de la viga de amarre

b = base de la viga de amarre

**Para la dirección Y-Y:**

La luz para los ejes entre (A - B y C - D) es de 5.48 m donde las dimensiones de la viga serán **(.25 x .40) ml.**

La luz para los ejes entre (B - C) es de 6.55 mts. Donde las dimensiones de la viga serán **(.25 x .50) ml.**

**Para la dirección X-X:**

La luz representativa es de 5.90 mts. Donde las dimensiones de la viga serán **(.25 x .45) ml.**

## **5.2. CRITERIO DE SELECCIÓN DE LOS AISLADORES**

Para la selección del tipo de aisladores, se tendrá en cuenta los siguientes aspectos primordiales:

- Los aisladores elastoméricos de alto amortiguamiento son instalados en el mundo con mayor frecuencia y utilizados según sus respectivos parámetros de comportamiento.
- La existencia de mayor cantidad de estudios realizados tanto a nivel internacional, así como también a nivel nacional y el respaldo teórico obtenido.
- Historial de edificios con resultados positivos, comprobados en respuesta de la estructura y en la operatividad post-sismo.
- Debido a su fácil instalación, operación y mantenimiento del elemento y el sistema de aislamiento sísmico.

Para el desarrollo de la tesis se ha tomado en consideración los aspectos ya mencionados y se decidió utilizar el aislador elastomérico de alto amortiguamiento (HDR).

### **5.3. DATOS INICIALES PARA EL DESARROLLO DEL SISTEMA DE AISLAMIENTO**

#### **5.3.1. CÓDIGO UBC – 97**

El código menciona dos tipos de modelos para el análisis y diseño de estructuras con aislamiento en la base: el primero, un análisis estático que se encuentra regulado por restricciones como altura y regularidad de la estructura; el segundo un análisis dinámico que comprende el análisis con el espectro de diseño con el tipo de zona donde ubica el proyecto.

#### **5.3.2. DATOS PARA EL DISEÑO DEL AISLADOR**

Para el inicio del desarrollo del diseño del aislador debemos definir las reacciones en la base del edificio con sistema de muros estructurales (ver tabla 32).

**Tabla 32: Reacciones en la base del edificio**

TABLE: Joint Reactions						
Joint	OutputCase	CaseType	F3	CM + 30%CV	TOTAL	PROMEDIO
Text	Text	Text	KN	KN	KN	KN
20	CM	Combination	1636.81	1744.29	28307.42	1769.21
20	CV	Combination	358.24			
29	CM	Combination	1638.69	1746.12		
29	CV	Combination	358.11			
38	CM	Combination	990.64	1062.29		
38	CV	Combination	238.83			
48	CM	Combination	3141.85	3362.87		
48	CV	Combination	736.75			
50	CM	Combination	990.40	1062.06		
50	CV	Combination	238.87			
59	CM	Combination	1357.43	1465.62		
59	CV	Combination	360.64			
68	CM	Combination	1350.83	1459.00		
68	CV	Combination	360.56			
77	CM	Combination	1621.29	1723.07		
77	CV	Combination	339.29			
86	CM	Combination	1610.62	1712.44		
86	CV	Combination	339.40			
98	CM	Combination	2618.68	2807.24		
98	CV	Combination	628.54			
107	CM	Combination	2613.84	2802.33		
107	CV	Combination	628.31			
128	CM	Combination	3120.15	3341.02		
128	CV	Combination	736.22			
137	CM	Combination	975.10	1029.16		
137	CV	Combination	180.20			
146	CM	Combination	975.63	1029.75		
146	CV	Combination	180.42			
155	CM	Combination	913.90	980.02		
155	CV	Combination	220.41			
164	CM	Combination	913.91	980.04		
164	CV	Combination	220.42			

Fuente: Elaboración propia (SAP - 2000)

Para el diseño del aislador necesitamos el total y el promedio de las reacciones de la edificación solicitadas en kilonewton (Kn) por lo tanto al realizar las conversiones obtenemos los siguientes resultados:

TOTAL (KN) =	28307.42
PROMEDIO (KN) =	1769.21

Continuando con la obtención de datos para el diseño del aislador necesitamos los siguientes valores:

**Tabla 33: Datos de Inicio para diseño del aislador (HDR)**

VALORES PARA EL DISEÑO DE AISLADORES	
Numero de Aisladores	23
Peso Edificio (CM + .30 CV) (Kn)	28307.42
Periodo Objetivo Deseado (s)	2
Carga Maxima en la Vida Util de los Aisladores mas Cargados	3500

Fuente: Código UBC-97

### 5.3.3. PARÁMETROS NECESARIOS PARA EL INICIO DEL DISEÑO DEL AISLADOR

Teniendo como punto de partida el uso del código UBC-97, donde encontraremos los parámetros necesarios que servirán de arranque para el diseño del aislador; en la tabla 34, se muestra los datos obtenidos.

**Tabla 34: Datos para el diseño del aislador (HDR)**

DATOS DEL PROYECTO SOLICITADO PARA EL CODIGO UBC - 97	
Sistema Estructural	Muros Estructurales
Zona Sismica	3
Prueba de Penetracion Estandar SPT (# de	50
Resistencia al corte sin drenar (Kpa)	80
Maxima Magnitud del Sismo esperado	7
Proporcion Deslizamiento de la placa (mm/año)	5
Distancia a la Falla (Km)	>15

Fuente: Código UBC-97

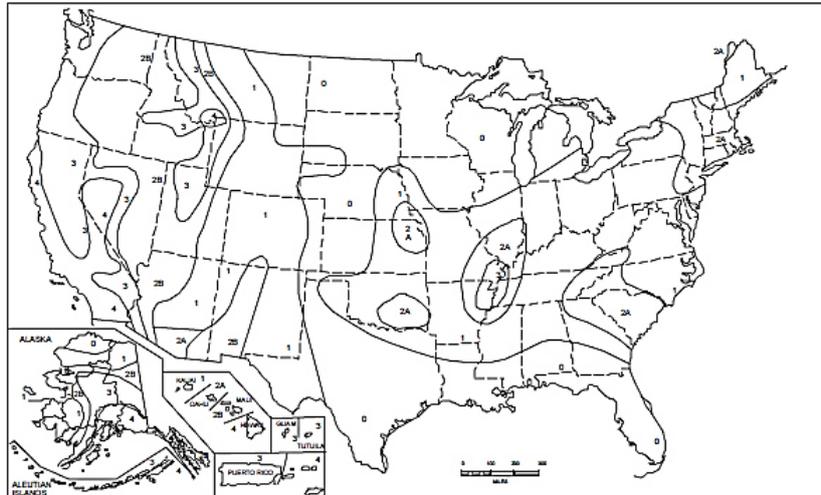
#### **Sistema estructural de muros estructurales:**

Es el conjunto de pórticos, muros de corte (placas) y vigas conectados por diafragmas rígidos los cuales transmiten las fuerzas hacia la cimentación.

### Zona sísmica:

En la figura 23, se observa el mapa que utiliza el código UBC – 97 es de los Estados Unidos el cual describe las zonas sísmicas, en consideración con el factor sísmico para el tipo de zona 4 es de 0.40.

Figura 23: Mapa de zonificación sísmica de Estados Unidos



Fuente: Código UBC-97

Figura 24: Mapa de zonificación sísmica del Perú



Fuente: RNE (E – 0.30) Diseño sismorresistente

En la figura 24, se observa el mapa de zonificación sísmica del reglamento nacional de edificaciones (E.0.30 – diseño sismoresistente) donde se obtiene un factor de zona sísmica para la Región Junín de 0.35 (zona 3); por lo tanto, para el proyecto utilizaremos zona 4 del código UBC-97 con el factor 0.40 debido a que es mayor al factor que adopta el RNE.

**Prueba de penetración estándar SPT (# de golpes/pie):**

De acuerdo con el tipo de suelo SE (suelo rígido), según el cuadro del código UBC – 97 el número de golpes por pie varía entre 15 a 50, por lo tanto, para el desarrollo del proyecto se tomarán 50 golpes/pie.

**Resistencia al corte sin drenar (Kpa):**

De acuerdo con el tipo de suelo SE (suelo rígido), según el cuadro del código UBC – 97 la resistencia al corte varía entre 50 a 100 Kpa, por lo tanto, para el desarrollo del proyecto se tomarán 80 Kpa, (ver tabla 35).

**Tabla 35: Tipos de perfiles de suelo**

TABLA 16-J- TIPO DE PERFILES DE SUELOS				
TIPO DE PERFIL DE SUELOS	NOMBRE DEL PERFIL DE SUELOS DESCRIPCIÓN GENÉRICA	PROPIEDADES DE SUELO PROMEDIO PARA LOS 30 m (100 ft) SUPERIORES DEL PERFIL DEL SUELO		
		Velocidad de onda de cortante, Vs pies/segundo (m/s)	Ensayo estándar de penetración N fo N ch para capas de suelo sin cohesión (golpes por pie)	Resistencia al cortante desagüe Su psf (kPa)
SA	Roca Dura	> 5,000 (1,500)	-	
SB	Roca	2,500 to 5,000 (760 to 1,500)	-	
SC	Suelo muy denso y roca blanda	1,200 to 2,500 (360 to 760)	> 50	>2,000 (100)
SD	Perfil de suelo rígido	600 to 1,200 (180 to 360)	15 to 50	1,000 a 2,000 (50 a 100)
SE	perfil de suelo sólido	< 600 (180)	< 15	< 1,000 (50)
SF	Suelo que requiere evaluación específica del lugar.			

**Fuente: Código UBC-97**

**Máxima magnitud del sismo esperado:**

Para el desarrollo de la tesis se considera que el tipo de lugar de origen del sismo es de tipo A debido a que en este lugar se presentará fallas que puedan producir eventos de gran magnitud y que tiene una alta relación de actividad sísmica.

**Proporción de deslizamiento de la placa (mm/año):**

En consideración con el tipo de lugar de origen del sismo A; se toma la máxima porción de deslizamiento SR (mm/año) igual a 5, (ver tabla 36).

**Tabla 36: Tipo de lugar de origen del sismo**

TABLA 16-U TIPO DE LUGAR DE ORIGEN DEL SISMO			
TIPO DE LUGAR DE ORIGEN DEL SISMO	DESCRIPCIÓN A LA FUENTE DEL SISMO	DEFINICIÓN A LA FUENTE DEL SISMO	
		Magnitud del momento máximo M	Proporción de deslizamiento, SR (mm/año)
A	Fallas que pueden producir eventos de gran magnitud y que tienen una alta relación de actividad sísmica	$M \geq 7.0$	$SR \geq 5$
B	Otras fallas además de los tipos A y C	$M \geq 7.0, M < 7.0, M \geq 6.5$	$SR < 5, SR > 2, SR < 2$
C	Fallas que pueden producir eventos de gran magnitud y que tiene una relación de actividad sísmica relativamente baja	$M < 6.5$	$SR \leq 2$
Observación: Tanto las condiciones de magnitud del momento máximo como de proporción de deslizamiento deben ser satisfechas simultáneamente cuando se determina el tipo de lugar de origen del sismo.			

Fuente: Código UBC-97

**Distancia a la falla (Km):**

En consideración con el tipo de lugar de origen del sismo es de tipo A, se considera una distancia a la falla mayor o igual a 15 Km.

En consideración con el tipo de lugar de origen del sismo A, y una distancia a la falla mayor a 15 km, se obtiene un factor de cercanía  $N_a$  equivalente a 1, (ver tabla 37).

**Tabla 37: Factor de cercanía a la fuente  $N_a$**

SEISMIC SOURCE TYPE	CLOSEST DISTANCE TO KNOWN SEISMIC SOURCE <sup>2,3</sup>		
	$\leq 2$ km	5 km	$\geq 10$ km
A	1.5	1.2	1.0
B	1.3	1.0	1.0
C	1.0	1.0	1.0

Fuente: Código UBC-97

En consideración con el tipo de Lugar de origen del sismo A, y una distancia a la falla mayor a 15 km, se obtiene un factor de cercanía  $N_v$  equivalente a 1, (ver tabla 38).

**Tabla 38: Factor de cercanía a la fuente  $N_v$**

TABLE 16-T—NEAR-SOURCE FACTOR  $N_v$ <sup>1</sup>

SEISMIC SOURCE TYPE	CLOSEST DISTANCE TO KNOWN SEISMIC SOURCE <sup>2,3</sup>			
	≤ 2 km	5 km	10 km	≥ 15 km
A	2.0	1.6	1.2	1.0
B	1.6	1.2	1.0	1.0
C	1.0	1.0	1.0	1.0

**Fuente: Código UBC-97**

El coeficiente de seguridad para deformación y pandeo se obtiene considerando un Maximum considered earthquake (MCE), igual a 1.5, (ver tabla 39).

**Tabla 39: Factor de seguridad para la tensión y el pandeo**

Table 7. Factor of safety for strain and buckling.		
	Factor of safety	Remark
Gravity	>3.0 for both strain and buckling	>6.0 for high seismic zone
DBE	>1.5 for both strain and buckling	2.0 preferable
MCE	>1.25 for both strain and buckling	1.5 preferable

**Fuente: Código UBC-97**

Se considera un factor de zona  $Z = 0.4$ , y un tipo de suelo rígido (Sd) aplicamos la fórmula de 0.44  $N_a$  para hallar el coeficiente de sismicidad ( $C_{ad}$ ), donde  $N_a = 1$  por lo tanto  $C_{ad} = 0.44$ , (ver tabla 40).

**Tabla 40: Coeficiente de sismicidad  $C_a$**

TABLE 16-Q—SEISMIC COEFFICIENT  $C_a$

SOIL PROFILE TYPE	SEISMIC ZONE FACTOR, $Z$				
	$Z = 0.075$	$Z = 0.15$	$Z = 0.2$	$Z = 0.3$	$Z = 0.4$
$S_A$	0.06	0.12	0.16	0.24	$0.32N_a$
$S_B$	0.08	0.15	0.20	0.30	$0.40N_a$
$S_C$	0.09	0.18	0.24	0.33	$0.40N_a$
$S_D$	0.12	0.22	0.28	0.36	$0.44N_a$
$S_E$	0.19	0.30	0.34	0.36	$0.36N_a$
$S_F$	See Footnote 1				

**Fuente: Código UBC-97**

Se considera un factor de zona  $Z = 0.4$ , y un tipo de suelo rígido ( $S_d$ ) aplicamos la fórmula de  $0.64 \times N_v$  para hallar el coeficiente de sismicidad ( $C_{vd}$ ), donde  $N_v = 1$  por lo tanto  $C_{ad} = 0.64$ , (ver tabla 41).

**Tabla 41: Coeficientes de sismicidad  $C_{vd}$**

TABLE 16-R—SEISMIC COEFFICIENT  $C_v$

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

**Fuente: Código UBC-97**

Se considera un factor de zona  $Z = 0.4$ , y un tipo de suelo rígido ( $S_d$ ) aplicamos la fórmula de  $M_m \times C_{ad}$  para hallar el coeficiente de sismicidad máximo ( $C_{am}$ ), donde  $M_m = 1.5$  y  $C_{ad} = 0.44$  por lo tanto  $C_{am} = 0.64$ .

Considerando un factor de zona  $Z = 0.4$ , y un tipo de suelo rígido ( $S_d$ ) aplicamos la fórmula de  $M_m \times C_{vd}$  para hallar el coeficiente de sismicidad máximo ( $C_{vm}$ ), donde  $M_m = 1.5$  y  $C_{vd} = 0.64$  por lo tanto  $C_{vm} = 0.96$ .

Se considera un coeficiente de reducción sísmica ( $R_i$ ) igual a 2 debido al uso de aisladores sísmicos, (ver tabla 42).

Tabla 42: Coeficientes de sismicidad Cvd

Structural system	Lateral force resisting system	Fixed base R	Isolated base R <sub>i</sub>
<b>Bearing wall system</b>	Concrete shear Walls	6	2.0
	Masonry shear Walls	6	2.0
<b>Building frame system</b>	Steel eccentrically braced frame (EBF)	10	2.0
	Concrete shear walls	8	2.0
	Masonry shear walls	8	2.0
	Special steel concentric braced frame	8	2.0
	Special moment resisting frame (SMRF)		
	Steel	12	2.0
	Concrete	12	2.0
<b>Moment resisting frame</b>	Intermediate moment resisting frame (IMRF)		
	Concrete	8	2.0
	Ordinary moment resisting frame (OMRF)		
	Steel	6	2.0
	Shear walls		
	Concrete with SMRF	12	2.0
	Concrete with steel OMRF	6	2.0
	Masonry with SMRF	8	2.0
Masonry with steel OMRF	6	2.0	
<b>Dual system</b>	Steel EBF		
	With steel SMRF	12	2.0
	With steel OMRF	6	2.0
	Concentric braced frame		
	Steel with Steel SMRF	10	2.0
	Steel with Steel OMRF	6	2.0

Fuente: Código UBC-97

#### 5.3.4. DATOS PARA EL DISEÑO DEL AISLADOR SEGÚN (CÓDIGO UBC - 97):

En la tabla 43, se muestra el resumen de los resultados donde se hallaron los parámetros necesarios para el proyecto.

**Tabla 43: Datos del proyecto**

DATOS DEL PROYECTO		
Factor Sismico de Zona	0.4	Zona 4
Tipo de Perfil de Suelo	Sd	Suelo Rigido
Factor de cercania a la Fuente (Na)	1	
Factor de Cercania a la Fuente (Nv)	1	
Mm (coef. De Maxima capacidad Sismica)	1.5	
Coeficiente de sismicidad (Cad)	0.44	
Coeficiente de sismicidad (Cvd)	0.64	
Coeficiente de sismicidad maximo (Cam)	0.66	
Coeficiente de sismicidad maximo (Cvm)	0.96	
Ri	2	

Fuente: Código UBC-97

Para el proyecto se tomaron las propiedades del aislador de la empresa dynamic isolation systems.

**Figura 25: Propiedades del aislador**

Propiedades del aislador: Unidades métricas									
TAMAÑO DEL DISPOSITIVO				DIMENSIONES DE LA PLACA DE SOPORTE					
Diametro Aislador, D <sub>i</sub> (mm)	Altura Aislador, H (mm)	Número de capas de caucho, N	Diametro del plomo, D <sub>p</sub> (mm)	L (mm)	t (mm)	Cantidad Orificios	Orificio Ø (mm)	A (mm)	B (mm)
305	125-280	4-14	0-100	355	25	4	27	50	-
355	150-305	5-16	0-100	405	25	4	27	50	-
405	175-330	6-20	0-125	455	25	4	27	50	-
455	175-355	6-20	0-125	510	25	4	27	50	-
520	205-380	8-24	0-180	570	25	8	27	50	50
570	205-380	8-24	0-180	620	25	8	27	50	50
650	205-380	8-24	0-205	700	32	8	27	50	50
700	205-430	8-30	0-205	750	32	8	33	65	75
750	230-455	8-30	0-230	800	32	8	33	65	75
800	230-510	8-33	0-230	850	32	8	33	65	75
850	230-535	8-35	0-255	900	38	12	33	65	95
900	255-560	9-37	0-255	955	38	12	33	65	95
950	255-585	10-40	0-280	1005	38	12	33	65	95
1000	280-635	11-40	0-280	1055	38	12	40	75	115
1050	305-660	12-45	0-305	1105	44	12	40	75	115
1160	330-760	14-45	0-330	1205	44	12	40	75	115
1260	355-760	16-45	0-355	1335	44	16	40	75	115
1360	405-760	18-45	0-380	1435	51	16	40	75	115
1450	430-760	20-45	0-405	1525	51	20	40	75	115
1550	455-760	22-45	0-405	1625	51	20	40	75	115

(1) Las capacidades de carga axial corresponden a los máximos desplazamientos basados en los límites de diseño del 250% de tensión de corte del caucho o 2/3 del diámetro del aislador. El desplazamiento real de un aislador y la capacidad de carga dependen del módulo y número de capas de caucho.

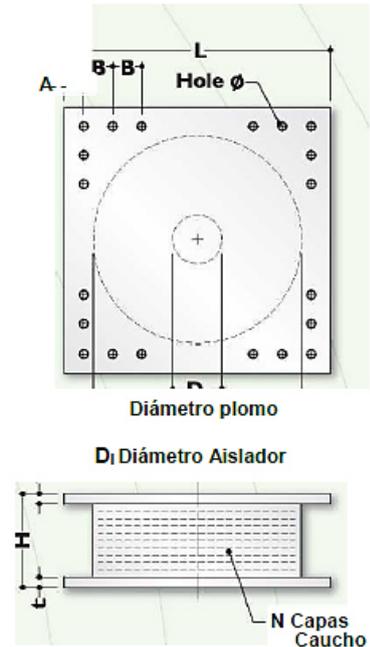
(2) Los Módulos de Corte del Caucho (G) están disponibles desde 0.38 N/mm<sup>2</sup> hasta 0.70 N/mm<sup>2</sup>.

(3) Para el modelado analítico bilineal de la rigidez elástica, utilice  $K_e=10 \cdot K_d$ .

Fuente: Dynamic isolation systems

Figura 26: Propiedades del aislador

Diámetro Aislador, $D_1$ (mm)	PROPIEDADES DE DISEÑO			Desplazamiento Máximo, $D_{max}$ (mm)	Capacidad Carga Axial $P_{max}$ (kN)
	Rigidez Producida, $K_d$ (kN/mm)	Resistencia Características $Q_d$ (kN)	Rigidez a la compresión, $K_v$ (kN/mm)		
305	0.2-0.9	0-65	>50	150	450
355	0.2-1.2	0-65	>100	150	700
405	0.3-1.6	0-110	>100	200	900
455	0.3-2.0	0-110	>100	250	1,150
520	0.4-2.3	0-180	>200	300	1,350
570	0.5-2.8	0-180	>500	360	1,800
650	0.5-3.5	0-220	>700	410	2,700
700	0.5-4.2	0-220	>800	460	3,100
750	0.7-4.7	0-265	>900	460	3,600
800	0.7-5.3	0-265	>1,000	510	4,000
850	0.7-6.1	0-355	>1,200	560	4,900
900	0.7-6.1	0-355	>1,400	560	5,800
950	0.7-6.1	0-490	>1,800	610	6,700
1000	0.8-6.3	0-490	>1,900	660	7,600
1050	0.9-6.3	0-580	>2,100	710	8,500
1160	1.1-6.5	0-665	>2,800	760	13,800
1260	1.2-6.7	0-755	>3,700	810	20,500
1360	1.4-7.0	0-890	>5,100	860	27,600
1450	1.6-7.2	0-1,025	>5,300	910	33,400
1550	1.8-7.4	0-1,025	>6,500	910	40,000



Fuente: Dynamic isolation systems

Para el inicio del proceso de iteración y así verificar el cumplimiento de los mínimos permisibles se utilizó un diámetro de 900 mm.

Las propiedades de inicio para el diseño del aislador HDR, se muestra en la tabla 44.

Tabla 44: Propiedades para el diseño de aislador

Propiedades de Inicio para el Diseño de Aislador HDR		
Propiedades	Unidades	A
Prom. De Carga del Peso propio mas 30 % de carga viva.	Kn	1769.21
Modulo de Rigidez a Cortante (G)	Mpa	0.4
Deformacion Lateral a Cortante (Y)		1.5
Presion de Apoyo Admisibles	Mpa	9.12
Modulo de Elasticidad Volumetrico	Mpa	2000
Carga Maxima Admisible	Kn	5800
Desplazamiento Maximo	mm	560

Fuente: Elaboración propia

## 5.4. USO DE AISLADORES ELASTOMÉRICOS DE ALTO AMORTIGUAMIENTO (HDR)

### 5.4.1. PROCEDIMIENTO PARA EL CÁLCULO DE CORTANTES Y DESPLAZAMIENTOS MÁXIMOS

Para iniciar el procedimiento se calcula la rigidez horizontal del aislador, la cual servirá para hallar el área que necesita el aislador y definirá el diámetro del aislador. Se debe calcular el desplazamiento de diseño del centro de rigidez del sistema aislado, considerando el 20 % de amortiguamiento. Luego se procede a hallar las alturas de capas de caucho usando el desplazamiento obtenido anteriormente. Por último, se compara el área que necesita el aislador, con el área del aislador elegido (diámetro 900 mm).

1. Cálculo de la rigidez horizontal del aislador HDR ( $K_h$ )

Datos:

$m$ : Carga Promedio del Edificio ( $K_n$ ) = 1769.21

$T$ : Promedio Objetivo = 2 seg

$$K_h = m \times (2\pi/T)^2 = 1769.21 \times (2\pi/2)^2 = 1.74 \text{ Mn/m}$$

2. Cálculo del desplazamiento de diseño del centro de rigidez del sistema de aislamiento  $D_d$  con un amortiguamiento de 20%.

Datos:

$C_{vd}$ : Coeficiente de sismicidad = 0.64

$T$ : Periodo Objetivo = 2 seg.

$B_d$ : Damping Coefficient = 1.5

$$D_d = \frac{\frac{g}{4 \times \pi^2} \times C_{vd} \times T}{B_d} = \frac{\frac{9.81}{4 \times \pi^2} \times 0.64 \times 2}{1.5} = 0.212 \text{ m}$$

3. Cálculo de la suma de las alturas de las capas de caucho (tr).

Datos:

Dd: Desplazamiento de diseño del centro de rigidez = 0.212 m

Y: Deformación lateral a cortante = 1.5

$$tr = Dd / Y = 0.212 / 1.5 = 0.141 \text{ m}$$

4. Calculo del área que necesita el aislador HDR.

Datos:

Kh: Rigidez horizontal del aislador = 1.74 Mn/m

tr: Alturas de capas de caucho = 0.141 m

G: Módulo de rigidez a cortante = 0.4 Mpa

$$A = (Kh \times tr) / G = (1.74 \times 0.141) / 0.4 = 0.613 \text{ m}^2 < 0.636 \text{ ..... OK}$$

Se seleccionó el aislador de diámetro 0.900 m, el cual tiene un área de 0.613 m<sup>2</sup>, considerando en este caso un solo tipo de aislador HDR.

Luego de verificar el área requerida se procede a comprar la presión de apoyo. Para ello se halla la presión de apoyo dividiendo la carga máxima en la vida útil del aislador, y el área del aislador elegido es (A: 0.636 m<sup>2</sup>), el valor que resulte debe ser menos a la presión de apoyo admisible.

5. Cálculo de la presión de apoyo del aislador (p).

Datos:

Carga máx.: Carga máxima en la vida útil del aislador = 3500 Kn

A: Área del aislador según tablas del fabricante = 0.636 m<sup>2</sup>

$$p = \text{Carga max.} / A = 3500 / 0.636 = 5.50 < 9.12 \text{ Mpa..... OK}$$

Teniendo los datos comerciales del aislador, se procede a hallar la rigidez horizontal del aislador utilizando la misma fórmula del paso 4. Además, hallamos una rigidez compuesta que, en este caso, por ser solo un tipo de aislador, la rigidez mencionada se multiplicara por el número de aisladores. El objetivo es hallar el periodo real del sistema aislado y comprobar la similitud con el periodo objetivo.

6. Cálculo de la rigidez horizontal del aislador ( $K_h$ ).

Datos:

G: Modulo de rigidez a cortante = 0.4 Mpa

A: Área del aislador según tablas del fabricante = 0.636 m<sup>2</sup>

tr: Altura de capas de caucho según tablas del fabricante = 0.255 m

$$K_h = \frac{G \times A}{tr} = \frac{0.4 \times 0.636}{0.255} = 0.98 \text{ Mn/m}$$

7. Cálculo de la rigidez compuesta del sistema de aislamiento ( $K_c$ ).

Datos:

n: Cantidad de aisladores en el sistema = 16

$K_h$ : Rigidez horizontal del aislador = 0.98 Mn/m

$$K_c = n \times K_h = 16 \times 0.98 = 15.68 \text{ Mn/m}$$

8. Cálculo del periodo real del sistema de aislamiento ( $T_d$ ).

Datos:

m: Carga del edificio = 28307.42 Kn

$K_c$ : Rigidez compuesta del sistema de aislamiento = 15.68 Mn/m

$$T_d = 2\pi \times \sqrt{\frac{m}{g \times K_c}} = 2\pi \times \sqrt{\frac{28307.42}{9.81 \times 1000 \times 15.68}} = 2.67 \text{ seg.}$$

Por último, se halla el desplazamiento de diseño del centro de rigidez utilizando el periodo real, y se le amplifica un 10 % según el código UBC 97. Este valor se compara con el desplazamiento máximo.

9. Desplazamiento de diseño del centro de rigidez con periodo real (Dd).

Datos:

Cvd: Coeficiente de sismicidad = 0.64

Td; Periodo real de aislamiento = 2.67 seg.

Bd: Damping coefficient = 1.5

$$D_d = \frac{\frac{g}{4 \times \pi^2} \times C_{vd} \times T}{B_d} = \frac{\frac{9.81}{4 \times \pi^2} \times 0.64 \times 2.67}{1.5} = 0.283 \text{ m}$$

10. Desplazamiento de diseño del centro de rigidez con periodo real considerando efectos de torsión según norma (Dtd norma).

Datos:

Dd: Desplazamiento de diseño del centro de rigidez.

$$D_{td \text{ norma}} = 1.1 \times D_d = 1.1 \times 0.283 = 0.3113 < 0.560 \text{ m..... OK}$$

#### 5.4.2. PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR LOS DETALLES DE LOS AISLADORES HDR

Para determinar los detalles del aislador HDR, se debe estimar el factor de forma S de cada aislador, el cual debe ser mayor a 10 según el código UBC 97. Además, se debe obtener el módulo de compresión caucho – acero el cual nos servirá para hallar rigidez vertical compuesta del sistema aislado. El objetivo del caucho es asegurar que la frecuencia natural vertical sea mayor a 10 Hz.

1. Estimación del factor de forma S de cada aislador y el número de capas de caucho (nc).

Datos:

Altura de capas de caucho real (tr) = 0.255 m

Altura de cada capa de caucho (t) = 0.01 m

Diámetro de capa de caucho (θ) = 0.90 m

$$nc = \frac{tr}{t} = \frac{0.255}{0.01} = 25.5 \approx 26 \text{ Mn/m}$$

$$S = \frac{\theta}{4 \times t} = \frac{0.90}{4 \times 0.01} = 22.5 > 10 \text{ ..... OK}$$

2. Cálculo del módulo de compresión del compuesto caucho y acero para el aislador HDR (Ec).

Datos:

Módulo de elasticidad volumétrica (K) = 2000 Mpa

Módulo de rigidez a cortante (G) = 0.40 Mpa

Factor de forma (S) = 22.5 m

$$Ec = \left( \frac{1}{6 \times G \times S^2} + \frac{4}{3 \times K} \right)^{-1} = \left( \frac{1}{6 \times 0.4 \times 22.5^2} + \frac{4}{3 \times 2000} \right)^{-1} = 671.27 \text{ Mpa}$$

3. Cálculo de la rigidez vertical compuesta del sistema de aislamiento (Kv).

Datos:

Módulo de compresión del compuesto caucho y acero (Ec) = 671.27 Mpa

Suma de alturas de capas de caucho (tr) = 0.255 m

Área requerida del aislador (A) = 0.636 m<sup>2</sup>

Cantidad de aisladores (n) = 16 und.

$$E_c = \left( \frac{E_c \times A \times n}{tr} \right) = \left( \frac{671.27 \times 0.636 \times 16}{0.255} \right) = 26787.62 \text{ Mn/m}$$

4. Verificación de la frecuencia natural vertical ( $f_v$ ).

Datos:

Carga del edificio = 28307.42 Kn

Rigidez vertical compuesta ( $K_v$ ) = 26787.62 Mn/m

$$T_d = 2\pi \times \sqrt{\frac{m}{g \times K_v}} = 2\pi \times \sqrt{\frac{28307.42}{9.81 \times 1000 \times 26787.62}} = 0.065 \text{ seg.}$$

Para calcular la frecuencia:

$$f_v = 1 / T = 1 / 0.065 = 15.33 > 10.0 \text{ Hz ..... OK}$$

Para calcular la altura del aislador y el diámetro de los discos de acero sin tener en cuenta el recubrimiento en cada extremo.

5. Calculo de la altura del aislador ( $h$ ).

Datos:

Espesor capa de anclaje = 38 mm

Espesor de discos de acero = 3 mm

Numero de capas de caucho ( $n_c$ ) = 26

Suma alturas de capas de caucho = 0.255 m

Diámetro de las capas de caucho = 0.90 m

Recubrimiento = 5 mm

$$h = 2 \times \text{Esp. Plac} + tr + (n_c - 1) \times \text{Esp. Discos} = 2 \times 38 + 255 + (26 - 1) \times 3 = 406 \text{ mm}$$

Al tener los discos un recubrimiento de 5.0 mm el diámetro de cada disco de acero es de 890 mm.

### 5.4.3. VERIFICACIÓN SEGÚN NORMA UBC – 97

El objetivo de esta verificación es determinar la carga crítica de pandeo para el aislador Elastomérico de alto amortiguamiento (HDR) y dividirlo sobre la carga máxima respectiva para poder obtener el factor de seguridad, él debe ser mayor para poder ser aceptado.

1. Cálculo de la carga de pandeo de Euler  $P_e$  de cada aislador.

Datos:

Diámetro final del aislador = 890 mm

(Se utilizó el diámetro del disco de acero y no del aislador con esto se estará en el lado de seguridad.)

Inercia de disco de acero.

$$I = \frac{\pi \times (\emptyset/2)^4}{4} = \frac{\pi \times (0.89/2)^4}{4} = 0.0307 \text{ m}^4$$

Suma de alturas de capas de caucho (tr) = 0.255 m

Módulo de compresión del compuesto caucho – acero = 671.27 Mpa

La carga de pandeo de Euler  $P_e$  de cada aislador es:

$$P_e = \frac{\pi^2 \times E_c \times I}{3 \times tr^2} = \frac{\pi^2 \times 671.27 \times 0.0307}{3 \times 0.255^2} = 1042.64 \text{ Mn}$$

2. Cálculo de la rigidez efectiva a cortante por unidad de longitud  $P_s$  de cada aislador.

Datos:

Suma de alturas de capas de caucho ( $tr$ ): 0.255 m

Área requerida del aislador = 0.636 m<sup>2</sup>

Áltura total del disco de acero = (26 - 1) x 0.003 m = 0.075 m

Área efectiva a cortante de cada aislador  $A_s$  es:

$$A_s = A \times \frac{tr + \text{discos}}{tr} = 0.636 \times \frac{0.255 + 0.075}{0.255} = 0.823 \text{ m}^2$$

Módulo de rigidez a cortante = 0.40 Mpa

La rigidez cortante del aislador es:

$$P_s = G \times A_s = 0.40 \times 0.823 = 0.329 \text{ Mn}$$

3. Cálculo de la carga crítica de cada aislador

Debido a que el  $P_e$  es muy superior que el  $P_s$ , se utilizará la siguiente ecuación para hallar la carga crítica.

$$P_{crit} = \sqrt{P_e \times P_s} = \sqrt{1042.64 \times 0.329} = 10.52 \text{ Mn}$$

4. Cálculo del coeficiente de seguridad al Pandeo SF de cada aislador.

Datos:

Carga máxima en la vida útil de los aisladores más cargados (con el 50% de  $C_v$ ) = 3500 Kn.

Carga crítica de cada aislador ( $P_{crit}$ ) = 18520 Kn

El coeficiente de seguridad a Pandeo SF de cada aislador es:

$$P_{crit} = \frac{P_{crit.}}{P_{max.}} = \frac{18520}{3500} = 5.29 > 2.0 \dots \dots OK$$

#### 5.4.4. DESPLAZAMIENTO MÁXIMO DEL CENTRO DE RIGIDEZ DEL SISTEMA DE AISLAMIENTO EN EL CASO DEL SISMO MÁXIMO ESPERADO

Según la norma se debe obtener el periodo y el amortiguamiento en el máximo sismo, para poder obtener un desplazamiento mayor que el de diseño.

1. Incremento de los módulos de deformación cortante y decremento de los amortiguadores efectivos.

El aislador experimenta un incremento del 20% de deformación a cortante y un decremento de amortiguamiento de 1%.

$$G = 0.40 \times 1.20 = 0.48 \text{ Mpa}$$

$$\beta = 0.20 - 0.01 = 0.19 \text{ (19\%)}$$

2. Cálculo de la rigidez horizontal del sistema de aislamiento.

Datos:

Área requerida del aislador = 0.636 m<sup>2</sup>

Deformación a cortante = 0.48 Mpa

Suma de alturas de capas de caucho (tr) = 0.255 m

Cantidad de aisladores = 16

La rigidez horizontal de cada aisladores es:

$$K_n = \frac{G \times A}{tr} = \frac{0.48 \times 0.636}{0.255} = 1.197 \text{ Mn/m}$$

La rigidez compuesta del sistema de aislamiento es:

$$K_H = 16 \times K_h = 16 \times 1.197 = 19.152 \text{ Mn/m}$$

3. Determinación del coeficiente de amortiguamiento  $\beta_m$ . El amortiguamiento del sistema de aislamiento es:

Datos:

Cantidad de aisladores = 16

Rigidez horizontal ( $K_h$ ) = 1.197 Mn/m

Rigidez compuesta ( $K_H$ ) = 19.152 Mn/m

Amortiguamiento del aislador ( $\beta$ ) = 19%

$$\beta_m = \frac{16 \times \beta \times K_h}{K_m} = \frac{16 \times 0.19 \times 1.197}{19.152} = 19\%$$

Aplicando Damping Reduction Factor y por interpolación se obtiene:

**Tabla 45: Amortiguamiento efectivo**

$\beta_m = 1.47$

Amortiguamiento Efectivo	$\beta_d$
$\leq 2$	0.8
5	1
10	1.2
20	1.5
30	1.7
40	1.9
$\geq 50$	2

**Fuente: In-Structure Damping and Energy – Holmes**

4. Cálculo del periodo efectivo en el máximo desplazamiento del sistema.

Datos:

Carga del edificio = 28307.42 Kn

Rigidez compuesta  $K_H$  = 19152 Kn/m

$$T_m = 2\pi \times \sqrt{\frac{m}{g \times K_H}} = 2\pi \times \sqrt{\frac{28307.42}{9.81 \times 1000 \times 19152}} = 2.438 \text{ seg.}$$

5. Cálculo del desplazamiento máximo del centro de rigidez del sistema de aislamiento.

Datos:

Coeficiente sísmico  $C_{vm} = 0.96$

Periodo efectivo ( $T_m$ ) = 2.438 seg.

Coeficiente de amortiguamiento ( $\beta_m$ ) = 1.47

$$D_m = \frac{\frac{g}{4 \times \pi^2} \times C_{vm} \times T_m}{\beta_m} = \frac{\frac{9.81}{4 \times \pi^2} \times 0.96 \times 2.438}{1.47} = 0.396 \text{ m}$$

6. Cálculo del desplazamiento máximo del centro rigidez del sistema de aislamiento con efectos de torsión según norma:

$$DTM \text{ norma} = 1.1 \times D_m = 1.1 \times 0.396 = 0.436 \text{ m}$$

#### 5.4.5. DETERMINACIÓN DEL DESPLAZAMIENTO DE RODAMIENTO Y VERIFICACIÓN DEL VOLCAMIENTO GLOBAL

Las conexiones del aislamiento a la cimentación y superestructura son emperradas, sin embargo, se verifica el comportamiento de inestabilidad de rodamiento que está asociado con un desplazamiento máximo, que si se sobrepasa el mismo aislador rodaría.

Datos:

Diámetro final del aislador + recubrimiento = 0.90 m

Rigidez horizontal de cada aislador ( $K_h$ ) = 997.64 Kn/m

Carga promedio del edificio = 1769.21 Kn

Altura total de aisladores ( $h$ ) = 0.406 m

$$D_{max.} = \frac{\phi}{1 + K_h \times \frac{h}{\text{carga promedio}}} = \frac{0.900}{1 + 997.64 \times \frac{0.406}{1769.21}} = 0.732 \text{ m}$$

El desplazamiento obtenido es mayor al obtenido anteriormente.

$$0.732 \text{ m} > 0.436 \text{ m} \dots\dots \text{OK}$$

#### 5.4.6. CARACTERÍSTICAS FINALES DEL AISLADOR HDR

En la tabla 46, se muestra las características finales del aislador:

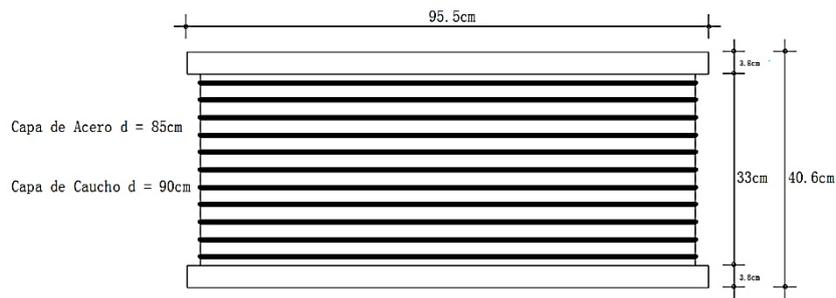
**Tabla 46: Características finales del aislador HDR**

Características Finales de los Aisladores HDR		
Características	Unidades	Aislador
Numero de Aislador del Sistema	und	23
Altura Total	cm	40.6
Diametro de Caucho	cm	90
Altura de Caucho	cm	25.5
Numero de Capas de Caucho	und	26
Espesor de Capas de Caucho	cm	1
Diametro del Disco de Acero	cm	89
Altura Total del Disco de Acero	cm	7.5
Numero de Disco de Acero	und	25
Espesor de Cada Disco de Acero	cm	0.3
Espesor de Placa de Anclaje + Interfase	cm	3.8
Longitud de Placas de Anclaje	cm	95.5
Modulo de Rigidez a Cortante	Mpa	0.4
Rigidez Horizontal	Kn/m	997.64
Rigidez Vertical	Kn/m	1674226

**Fuente: Elaboración propia**

En la figura 25, se muestran las principales características del aislador, donde se aprecia la longitud de la placa de anclaje = 95.5 cm, el ancho de placa = 3.8 cm incluyendo las placas de anclaje = 40.6 cm, el diámetro de discos de acero = 85 cm y el diámetro del aislador =90 cm.

**Figura 27: Dimensiones del aislador HDR**



**Fuente: Elaboración propia**

## **5.5. MODELAMIENTO DE LA ESTRUCTURA EN EL SOFTWARE SAP 2000**

### **5.5.1. DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS PARA EL MODELAMIENTO BILINEAL DE LOS AISLADORES HDR**

#### **Datos iniciales:**

Rigidez efectiva lineal ( $K_{eff}$ ) = 997.64 Kn/m

Desplazamiento de diseño del sistema ( $D_d$ ) = 0.311 m

Amortiguamiento ( $\beta$ ) = 0.20

Altura de caucho ( $t_r$ ) = 0.255 m

Periodo real del sistema ( $T_{real}$ ) = 2.67 seg.

**Se procede a calcular los parámetros principales.**

1. Desplazamiento de fluencia

$$D_y = \beta \times t_r = 0.20 \times 0.255 = 0.051 \text{ m}$$

2. Energía disipada

$$W_d = 2 \times \pi \times K_{eff} \times D_d^2 \times \beta = 2 \times \pi \times 997.64 \times 0.311^2 \times 0.20$$

$$W_d = 121.25 \text{ Kn.m}$$

3. Fuerzas de disipación nula

$$Q = \frac{Wd}{4 \times (Dd - Dy)} = \frac{121.25}{4 \times (0.311 - 0.05)} = 116.59 \text{ Kn}$$

4. Rigidez de disipación nula

$$K2 = K_{eff} - \frac{Q}{Dd} = 997.64 - \frac{116.59}{0.311} = 622.75 \text{ Kn/m}$$

5. Rigidez inicial

$$K1 = \frac{Q}{Dd} + K2 = \frac{116.59}{0.051} + 622.75 = 2908.83 \text{ Kn/m}$$

6. Fuerza de fluencia

$$Fy = Q + K2 \times Qy = 116.59 + 622.75 \times 0.051 = 148.35 \text{ Kn}$$

7. Frecuencia angular

$$\omega = \frac{2 \times \pi}{T_{real}} = \frac{2 \times \pi}{2.69} = 2.35 \text{ rad/seg}$$

8. Amortiguamiento efectivo

$$C = \frac{Wd}{\pi \times Dd^2 \times \omega} = \frac{121.25}{\pi \times 0.311^2 \times 2.35} = 169.80 \text{ Kn x seg / m}$$

A continuación, se muestra un resumen de los parámetros calculados que serán necesarios para el ingreso de propiedades de los aisladores en el programa SAP 2000, Los valores hallados anteriormente se deben convertir en toneladas y metros debido a que en el programa se trabaja con dichas unidades.

## Parámetros de modelación bilineal de los aisladores tipo HDR

Tabla 47: Propiedades del aislador HDR

Propiedades de Inicio para el Diseño de Aislador HDR		
Propiedades del Aislador	Unidades	Aislador
Rigidez Vertical	Ton/m	170665.24
Rigidez Efectiva Lineal	Ton/m	101.7
Rigidez Inicial	Ton/m	296.52
Fuerza de Fluencia	Ton/m	15.12
Relacion Rigidez Post - Fluencia / Rigidez Inicial		0.214
Amortiguamiento Efectivo	Ton x seg / m	17.31
Energia Disipada	Ton x m	12.36

Fuente: Elaboración propia

### 5.5.2. DESARROLLO DEL MODELO ESTRUCTURAL EN EL SAP – 2000

Se realiza la inserción de las propiedades al programa estructural SAP – 2000, donde se inicia con la creación del aislador Elastomérico, (ver figura 26).

Figura 28: Ingreso de las propiedades del aislador HDR

Fuente: Elaboración propia (SAP - 2000)

Se procede a ingresar los parámetros obtenidos en la tabla 36, donde en las figuras 27, 28 y 29, se muestra la introducción de las propiedades de inicio para el análisis al programa de modelación estructural SAP - 2000.

**Figura 29: Ingreso de las propiedades del aislador HDR**

The screenshot shows a dialog box titled "Link/Support Directional Properties" with a close button (X) in the top right corner. The dialog is divided into two main sections. The first section, "Identification", contains four input fields: "Property Name" with the value "AISLADOR HDR", "Direction" with "U1", "Type" with "Rubber Isolator", and "NonLinear" with "No". The second section, "Properties Used For All Analysis Cases", contains two input fields: "Effective Stiffness" with the value "170665.24" and "Effective Damping" with "0.2". At the bottom of the dialog are two buttons: "OK" and "Cancel".

Fuente: Elaboración propia (SAP - 2000)

**Figura 30: Ingreso de las propiedades del aislador**

The screenshot shows a dialog box titled "Link/Support Directional Properties" with a close button (X) in the top right corner. The dialog is divided into three main sections. The first section, "Identification", contains four input fields: "Property Name" with "AISLADOR HDR", "Direction" with "U2", "Type" with "Rubber Isolator", and "NonLinear" with "Yes". The second section, "Properties Used For Linear Analysis Cases", contains two input fields: "Effective Stiffness" with "101.7" and "Effective Damping" with "0.2". The third section, "Shear Deformation Location", contains one input field: "Distance from End-J" with "0.". The fourth section, "Properties Used For Nonlinear Analysis Cases", contains three input fields: "Stiffness" with "296.52", "Yield Strength" with "15.12", and "Post Yield Stiffness Ratio" with "0.214". At the bottom of the dialog are two buttons: "OK" and "Cancel".

Fuente: Elaboración propia (SAP - 2000)

**Figura 31: Ingreso de las propiedades del aislador HDR**

Identification	
Property Name	AISLADOR HDR
Direction	U3
Type	Rubber Isolator
NonLinear	Yes

Properties Used For Linear Analysis Cases	
Effective Stiffness	101.7
Effective Damping	0.2

Shear Deformation Location	
Distance from End-J	0.

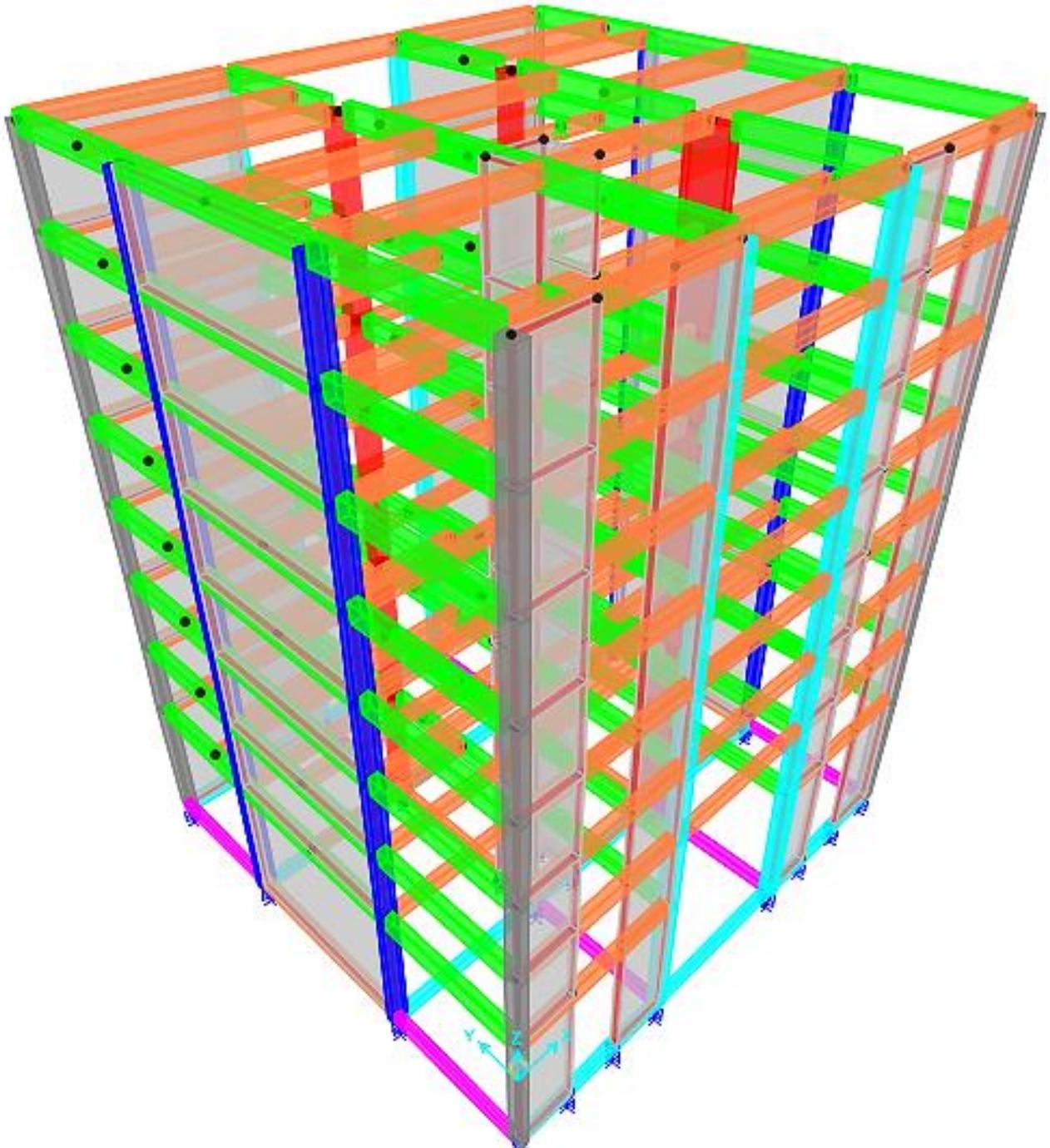
Properties Used For Nonlinear Analysis Cases	
Stiffness	296.52
Yield Strength	15.12
Post Yield Stiffness Ratio	0.214

Fuente: Elaboración propia (SAP - 2000)

### **5.5.3. MODELAMIENTO CON AISLADOR HDR PARA ESTRUCTURA DE SISTEMA DE MUROS ESTRUCTURALES EN EL SAP - 2000**

Después de haber obtenido los parámetros para el modelamiento bilineal con la utilización de los aisladores HDR, se realizó la inserción de los parámetros obtenidos del diseño del aislador, en primera instancia se considera la misma estructura de muros estructurales del modelo con cimentación fija al software SAP 2000 y se obtuvo los siguientes resultados, (ver figura 30).

**Figura 32: Modelamiento de la estructura con aislador HDR**



Fuente: Elaboración propia SAP – 2000

### **5.6. ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO SÍSMICO DEL EDIFICIO**

Para el análisis sísmico del edificio se comprobaron los límites para la distorsión de entrepiso los cuales no deben exceder el 0.0035 para edificaciones de concreto armado tal

como lo establece el reglamento nacional de edificación en la norma E 0.31 (aislamiento sísmico), (ver tabla 48).

**Tabla 48: Límites para desplazamiento lateral de entrepiso**

<p>26.4 Límites de la deriva:</p> <p>La deriva máxima de entrepiso correspondiente al SMC y un factor de reducción <math>R_a=1</math>, incluyendo el desplazamiento ocasionado por la deformación vertical del sistema de aislamiento sísmico, debe cumplir con alguno de los siguientes límites:</p> <p>a) La máxima deriva de entrepiso de la superestructura calculado por el análisis modal espectral no debe exceder 0,0035.</p> <p>b) La máxima deriva de entrepiso de la superestructura calculado por el análisis tiempo-historia, considerando las características de fuerza-deformación no lineales de la interfaz de aislamiento, no debe exceder 0,005.</p>
---

Fuente: RNE (E- 0.31) aislamiento sísmico

## 5.7. CUADRO DE RESULTADOS

En consideración con la deriva máxima de entrepiso de la superestructura calculado por el análisis modal espectral no debe exceder el 0.0035, debido a que el edificio es de concreto armado. Para el cálculo de la deriva la altura de entrepiso para el 1° nivel es 4.20 m (desde el fondo de cimentación) y del 2° al 8° es de 2.80 m.

$$\text{DERIVA} = \frac{\text{Desplazamiento (p+1)} - \text{Desplazamiento (p)}}{\text{Altura de entrepiso}} < 0.0035$$

**Altura de entrepiso**

Para estructuras regulares, los desplazamientos laterales se calculan multiplicando por 0.75 R, donde R es igual a 6 (para un sistema estructural de muros estructurales). Los resultados obtenidos del análisis lineal elástico con las solicitaciones sísmicas reducida.

$$\text{DERIVA (Entrepiso)} = \text{Deriva} * R (0.75) < 0.0035$$

### 5.7.1. CONTROL DE DESPLAZAMIENTOS LATERALES Y DERIVAS EN AMBAS DIRECCIONES

#### Resultados de los desplazamientos laterales de entrepiso en la dirección (X):

Los desplazamientos laterales y derivas para la dirección X, obtenidos del programa de modelación estructural SAP 2000 para el edificio con aislador elastomérico de alto amortiguamiento (HDR).

Tabla 49: Control de desplazamiento lateral del eje X-X

Desplazamientos Laterales Direccion X - X			
Nivel	Desp. Lateral (cm)	(Di/H)	
8	8.14	0.0014	(OK)
7	8.055	0.0015	(OK)
6	7.964	0.0015	(OK)
5	7.87	0.0016	(OK)
4	7.77	0.0015	(OK)
3	7.676	0.0015	(OK)
2	7.584	0.0013	(OK)
1	7.503	0.0007	(OK)
0	7.43		

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 49, se aprecia claramente que el máximo desplazamiento de la edificación con cimentación fija es de 8.14 cm en el último nivel para la dirección X, así como también se aprecia que la máxima deriva de piso es 0.0016.

#### Resultados de los desplazamientos laterales de entrepiso en la dirección (Y):

Los desplazamientos laterales y derivas para la dirección Y, obtenidos del programa de modelación estructural SAP 2000 para el edificio con aislador elastomérico de alto amortiguamiento (HDR).

**Tabla 50: Control de desplazamiento lateral del eje Y-Y**

Desplazamientos Laterales Direccion Y - Y			
Nivel	Desp. Lateral (cm)	(Di/H)	
8	8.943	0.0011	(OK)
7	8.877	0.0011	(OK)
6	8.807	0.0012	(OK)
5	8.734	0.0012	(OK)
4	8.658	0.0012	(OK)
3	8.584	0.0011	(OK)
2	8.513	0.0010	(OK)
1	8.451	0.0006	(OK)
0	8.388		

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 40, se aprecia claramente que el máximo desplazamiento de la edificación con cimentación fija es de 8.943 cm en el último nivel para la dirección Y, así como también se aprecia que la máxima deriva de piso es 0.0012.

### 5.7.2. PERIODOS Y MODOS DE VIBRACIÓN

En cada dirección se consideran aquellos modos de vibración cuya suma de masas efectivas sea por lo menos el 90% de la masa total donde como mínimo se tiene los tres primeros modos de vibración. Se muestran los periodos y modos de vibración obtenidos de la modelación estructural, para el edificio con aislador elastomérico de alto amortiguamiento (HDR).

**Tabla 51: Periodos y modos de vibración**

MODAL	EDIFICIO CON AISLADOR ELASTOMERICO DE ALTO AMORTIGUAMIENTO (HDR)		
	PERIODO (seg)	% MASA PARTICIPATIVA	DIRECCION
1	2.549	0.71	X-X
2	2.426	0.98	Y-Y
3	2.223	0.99	Z-Z

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 51, se aprecia claramente que los modos de vibración principales son el 1 y 2, el modo 1 en el sentido X con un periodo de 2.549 y un porcentaje de masa participativa de 71% y el modo 2 en el sentido Y con un periodo de 2.426 y un porcentaje de masa participativa de 98%. Así mismo el Porcentaje de masa participativa total fue de 100% para la dirección X y 99.99% para la dirección Y.

### 5.7.3. ACELERACIÓN DEL PISO SUPERIOR

La aceleración en cada nivel obtenido del programa de modelación estructural SAP 2000, para el edificio con aislador elastomérico de alto amortiguamiento (HDR).

**Tabla 52: Aceleración sísmica en cada nivel**

MODAL	ACELERACION - EDIFICIO CON AISLADOR ELASTOMERICO DE ALTO AMORTIGUAMIENTO (HDR), (m/s <sup>2</sup> )	
	X - X	Y - Y
8	0.526	0.599
7	0.518	0.594
6	0.51	0.589
5	0.503	0.584
4	0.497	0.579
3	0.493	0.575
2	0.488	0.571
1	0.485	0.567
0	0.482	0.564

**Fuente: Elaboración propia**

En la tabla 52, se aprecia la máxima aceleración del piso superior del edificio es 0.526 m/s<sup>2</sup> para la dirección X y 0.599 m/s<sup>2</sup> para la dirección Y.

### 5.7.4. FUERZA CORTANTE EN LA BASE

La fuerza cortante en la base obtenida del programa de modelación estructural SAP 2000, para el edificio con aislador elastomérico de alto amortiguamiento (HDR).

**Tabla 53: Fuerzas cortantes en la base**

<b>FUERZAS CORTANTE EN LA BASE (ESTRUCTURA CON AISLADOR HDR)</b>	
	<b>FUERZA CORTANTE MAXIMA (Ton)</b>
<b>EJE X-X</b>	170.56
<b>EJE Y-Y</b>	196.09

**Fuente: Elaboración propia**

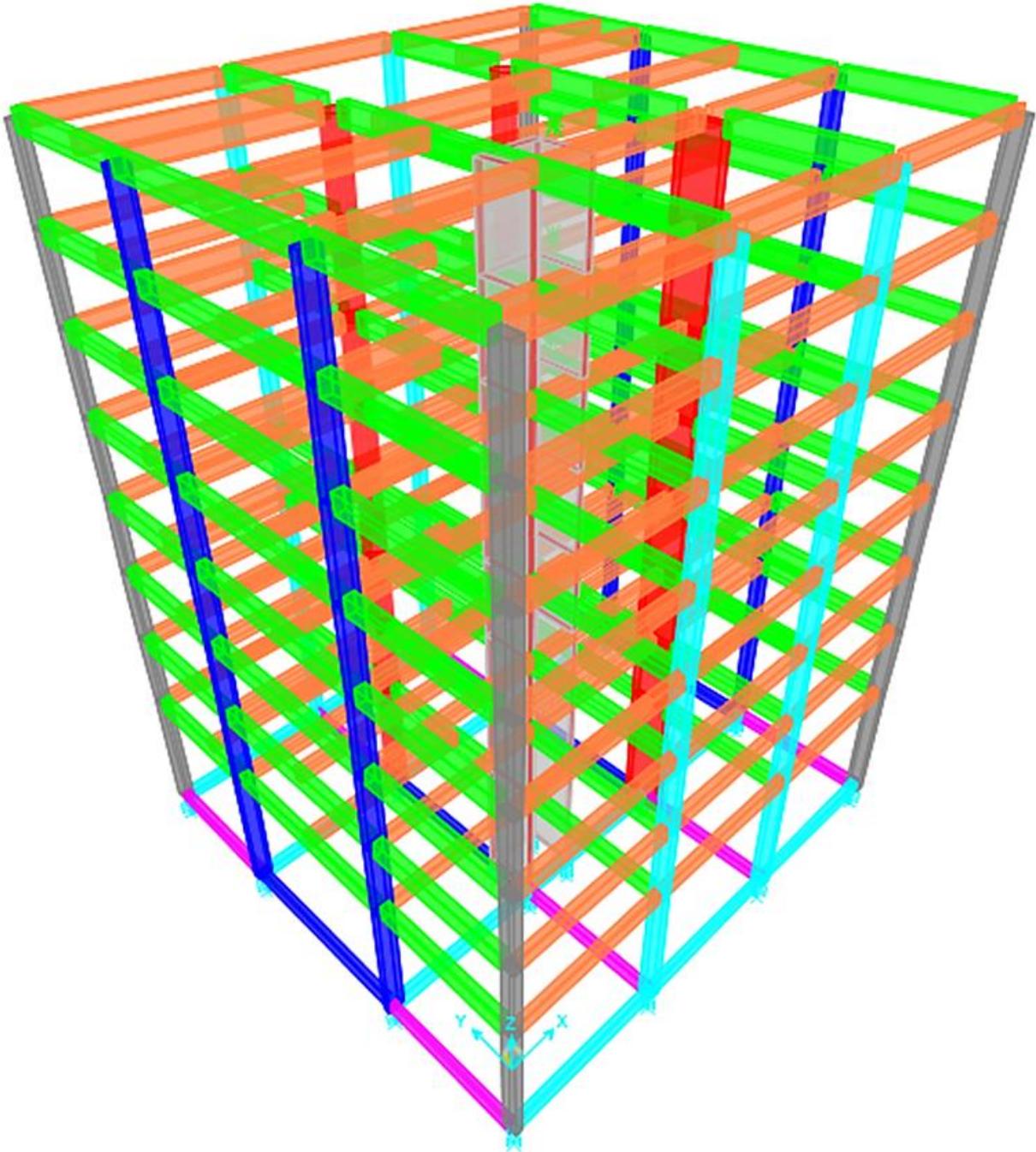
En la tabla 53, se aprecia la máxima fuerza cortante en la base del edificio con cimentación fija es de 170.56 Tn, para la dirección X y para la dirección Y es de 196.09 Tn, respectivamente.

### **5.8. MODELAMIENTO CON AISLADOR HDR PARA ESTRUCTURA CON SISTEMA APORTICADO EN EL SAP – 2000**

Debido al análisis realizado a la estructura con sistema de muros estructurales y con la incorporación del aislador elastomérico de alto amortiguamiento se obtuvo como resultados las distorsiones menores a 2‰, por ende se realiza el nuevo análisis de la estructura para un sistema aporticado con la intención de disminuir la densidad de los elementos que rigidizan la estructura y obtener un resultado óptimo de acuerdo con las restricciones y parámetros que establece la norma E 0.30 (Diseño Sismorresistente) y E.031 (aislamiento sísmico) del reglamento nacional de edificaciones.

Después de haber obtenido los parámetros para el modelamiento bilineal con la utilización de los aisladores HDR se realizó la inserción de los parámetros obtenidos del diseño del aislador, en esta oportunidad para la estructura con sistema aporticado al software SAP 2000 y se obtuvo los siguientes resultados, (ver figura 31).

Figura 33: Modelamiento de la estructura con aislador HDR con sistema aporticado



Fuente: Elaboración propia SAP – 2000

## 5.9. CUADRO DE RESULTADOS

En consideración con la deriva máxima de entrepiso de la superestructura calculado por el análisis modal espectral no debe exceder el 0.0035, debido a que el edificio es de concreto

armado. Para el cálculo de la deriva la altura de entrepiso para el 1° nivel es 4.20 m (desde el fondo de cimentación) y del 2° al 8° es de 2.80 m

$$\text{DERIVA} = \frac{\text{desplazamiento (p+1)} - \text{desplazamiento (p)}}{\text{altura de entrepiso}} < 0.0035$$

Para estructuras regulares, los desplazamientos laterales se calcularán multiplicando por 0.75 R, donde R es igual a 8 (para un sistema estructural aperturado). Los resultados obtenidos del análisis lineal elástico con las solicitaciones sísmicas reducida.

$$\text{DERIVA (entrepiso)} = \text{deriva} * R (0.75) < 0.0035$$

### 5.9.1. CONTROL DE DESPLAZAMIENTOS LATERALES Y DERIVAS EN AMBAS DIRECCIONES

#### Resultados de los desplazamientos laterales de entrepiso en la dirección (X):

Los desplazamientos laterales y derivas para la dirección X, obtenidos del programa de modelación estructural SAP 2000 para el edificio con aislador elastomérico de alto amortiguamiento (HDR).

Tabla 54: Control de desplazamiento lateral del eje X-X

Desplazamientos Laterales Direccion X - X			
Nivel	Desp. Lateral (cm)	(Di/H)	
8	12.071	0.0029	(OK)
7	11.935	0.0036	(OK)
6	11.765	0.0045	NO CUMPLE
5	11.554	0.0054	NO CUMPLE
4	11.302	0.0062	NO CUMPLE
3	11.013	0.0067	NO CUMPLE
2	10.700	0.0067	NO CUMPLE
1	10.385	0.0051	NO CUMPLE
0	9.974		

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 54, se aprecia claramente que el máximo desplazamiento de la edificación con cimentación fija es de 12.071 cm en el último nivel para la dirección

X, así como también se aprecia que la máxima deriva de piso es 0.0067, que de acuerdo con la norma técnica E 0.31 (aislamiento sísmico), no está dentro del límite establecido en dicha norma.

**Resultados de los desplazamientos laterales de entrepiso en la dirección (Y):**

Los desplazamientos laterales y derivas para la dirección Y, obtenidos del programa de modelación estructural SAP 2000 para el edificio con aislador elastomérico de alto amortiguamiento (HDR).

**Tabla 55: Control de desplazamiento lateral del eje Y-Y**

Desplazamientos Laterales Direccion Y - Y			
Nivel	Desp. Lateal (cm)	(Di/H)	
8	12.138	0.0025	(OK)
7	12.020	0.0033	(OK)
6	11.866	0.0042	NO CUMPLE
5	11.671	0.0051	NO CUMPLE
4	11.432	0.0060	NO CUMPLE
3	11.153	0.0067	NO CUMPLE
2	10.841	0.0070	NO CUMPLE
1	10.512	0.0056	NO CUMPLE
0	10.068		

**Fuente: Elaboración propia**

En la tabla 55, se aprecia claramente que el máximo desplazamiento de la edificación con cimentación fija es de 12.138 cm en el último nivel para la dirección Y, así como también se aprecia que la máxima deriva de piso es 0.0070, que de acuerdo con la norma técnica E 0.31 (aislamiento sísmico), no está dentro del límite establecido en dicha norma.

**5.9.2. PERIODOS Y MODOS DE VIBRACIÓN**

En cada dirección se consideran aquellos modos de vibración cuya suma de masas efectivas sea por lo menos el 90% de la masa total donde como mínimo se tiene los tres primeros modos de vibración. Se muestran los periodos y modos de vibración obtenidos del modelamiento estructural, para el edificio con aislador elastomérico de alto amortiguamiento (HDR).

**Tabla 56: Periodos y modos de vibración**

MODAL	EDIFICIO CON AISLADOR ELASTOMERICO DE ALTO AMORTIGUAMIENTO (HDR)		
	PERIODO (seg)	% MASA PARTICIPATIVA	DIRECCION
1	2.84	0.49	X-X
2	2.78	0.89	Y-Y
3	2.65	0.99	Z-Z

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 56, se aprecia claramente que los modos de vibración principales son el 1 y 2, el modo 1 en el sentido X con un periodo de 2.84 y un porcentaje de masa participativa de 49% y el modo 2 en el sentido Y con un periodo de 2.78 y un porcentaje de masa participativa de 89%. Así mismo el porcentaje de masa participativa total fue de 100% para la dirección X y 99.99% para la dirección Y.

### 5.9.3. ACELERACIÓN DEL PISO SUPERIOR

La aceleración en cada nivel obtenido del programa de modelación estructural SAP 2000, para el edificio con aislador elastomérico de alto amortiguamiento (HDR).

**Tabla 57: Aceleración sísmica en cada nivel**

MODAL	ACELERACION - EDIFICIO CON AISLADOR ELASTOMERICO DE ALTO AMORTIGUAMIENTO (HDR), (m/s <sup>2</sup> )	
	X - X	Y - Y
8	0.617	0.621
7	0.605	0.611
6	0.592	0.6
5	0.578	0.588
4	0.566	0.576
3	0.554	0.565
2	0.544	0.555
1	0.535	0.545
0	0.524	0.532

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 57, se aprecia la máxima aceleración del piso superior del edificio es 0.617 m/s<sup>2</sup> para la dirección X y 0.621 m/s<sup>2</sup> para la dirección Y.

#### 5.9.4. FUERZA CORTANTE EN LA BASE

La fuerza cortante en la base obtenida del programa de modelación estructural SAP 2000, para el edificio con aislador elastomérico de alto amortiguamiento (HDR).

Tabla 58: Fuerza cortante en la Base

FUERZA CORTANTE EN LA BASE	
	AISLADOR HDR (Ton)
EJE X-X	190.43
EJE Y-Y	194.34

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 58, se aprecia la máxima fuerza cortante en la base del edificio con cimentación fija es de 190.43 Tn, para la dirección X y para la dirección Y es de 194.34 Tn, respectivamente.

## CAPÍTULO VI

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 6.1. COMPARACIÓN DE RESULTADOS DEL EDIFICIO CON CIMENTACIÓN FIJA FRENTE AL USO DEL AISLADOR ELASTOMÉRICO DE ALTO AMORTIGUAMIENTO (HDR)

##### 6.1.1. DESPLAZAMIENTOS LATERALES POR NIVELES EN AMBAS DIRECCIONES

Las deformaciones laterales obtenidas del programa de modelación estructural SAP 2000 tanto para el edificio con cimentación fija, así como también con la utilización del aislador elastomérico de alto amortiguamiento (HDR).

**Tabla 59: Comparación de desplazamientos laterales por piso para la dirección X-X**

EJE X-X	EDIFICIO DE SISTEMA DE MUROS ESTRUCTURALES CON CIMENTACION FIJA (cm)	EDIFICIO DE SISTEMA DE MUROS ESTRUCTURALES CON AISLADOR ELASTOMERICO DE ALTO AMORTIGUAMIENTO (cm)	EDIFICIO DE SISTEMA APORTICADO CON AISLADOR ELASTOMERICO DE ALTO AMORTIGUAMIENTO (cm)
8	2.463	8.140	12.071
7	2.162	8.055	11.935
6	1.84	7.964	11.765
5	1.501	7.870	11.554
4	1.154	7.770	11.302
3	0.814	7.676	11.013
2	0.498	7.584	10.7
1	0.2287	7.503	10.385
0	0	7.430	9.974

Fuente: Elaboración propia

**Figura 34: Desplazamientos laterales por niveles eje X-X**



Fuente: Elaboración propia

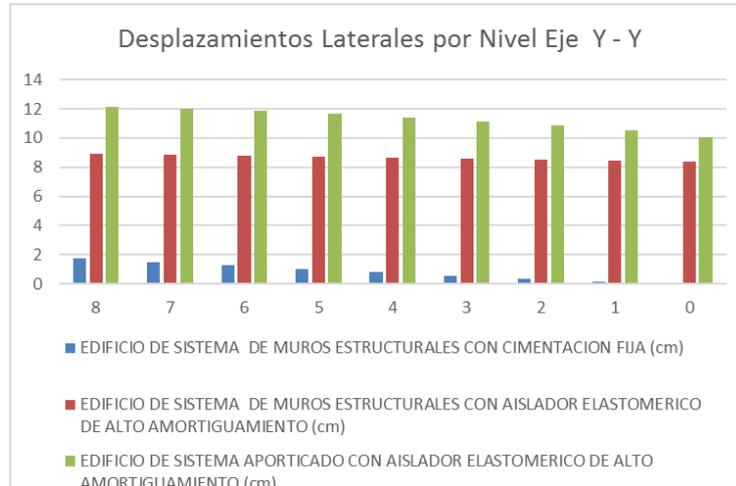
En la tabla 59, se aprecia claramente que el máximo desplazamiento en la dirección X para el edificio con cimentación fija es de 2.463 cm en el último nivel, para el edificio de sistema de muros estructurales con aislador HDR es de 8.14 cm y para el edificio de sistema aporticado con aislador HDR es de 12.07 cm, así también se puede apreciar que el desplazamiento absoluto máximo del edificio de sistema de muros estructurales con aislador se incrementó un 330% y en el edificio de sistema aporticado con aislador se incrementó 490% con respecto al edificio con cimentación fija. Con respecto a los desplazamientos relativos para el edificio de sistema de muros estructurales con aislador disminuyó un 70% y en el edificio de sistema aporticado con aislador disminuyó un 10% con respecto al edificio con cimentación fija.

**Tabla 60: Comparación de desplazamientos laterales por piso para la dirección Y-Y**

EJE Y-Y	EDIFICIO DE SISTEMA DE MUROS ESTRUCTURALES CON CIMENTACION FIJA (cm)	EDIFICIO DE SISTEMA DE MUROS ESTRUCTURALES CON AISLADOR ELASTOMERICO DE ALTO AMORTIGUAMIENTO (cm)	EDIFICIO DE SISTEMA APORTICADO CON AISLADOR ELASTOMERICO DE ALTO AMORTIGUAMIENTO (cm)
8	1.721	8.943	12.138
7	1.504	8.877	12.02
6	1.273	8.807	11.866
5	1.033	8.734	11.671
4	0.791	8.658	11.432
3	0.557	8.584	11.153
2	0.343	8.513	10.841
1	0.163	8.451	10.512
0	0	8.388	10.068

Fuente: Elaboración propia

Figura 35: Desplazamientos laterales por niveles ejes Y-Y



Fuente: Elaboración propia

En la tabla 60, se aprecia claramente que el máximo desplazamiento en la dirección Y para el edificio con cimentación fija es de 1.721 cm en el último nivel, para el edificio de sistema de muros estructurales con aislador HDR es de 8.943 cm y para el edificio de sistema aporticado con aislador HDR es de 12.138 cm. Así también se puede apreciar que el desplazamiento absoluto máximo del edificio de sistema de muros estructurales con aislador se incrementó un 519% y en el edificio de sistema aporticado con aislador se incrementó 705% con respecto al edificio con cimentación fija. Con respecto a los desplazamientos relativos para el edificio de sistema de muros estructurales con aislador disminuyó un 69% y en el edificio de sistema aporticado con aislador incremento un 83% con respecto al edificio con cimentación fija.

La estructura aislada presenta mayor desplazamiento absoluto en la interface de aislación y que en los pisos superiores se observa poco incremento entre ellos, este se debe a que la absorción de la energía ocurre principalmente en el nivel de aislación con gran deformación de la interface, logrando un mejor comportamiento de la estructura.

La estructura con cimentación fija no presenta desplazamiento en la base, pero si mayores desplazamientos relativos y menor desplazamiento máximo con relación al sistema aislado. Esto sucede, debido a que la base de la edificación esta empotrada y su movimiento está restringida.

## 6.1.2. CONTROL DE DERIVAS DE LA ESTRUCTURA PARA AMBOS SISTEMAS

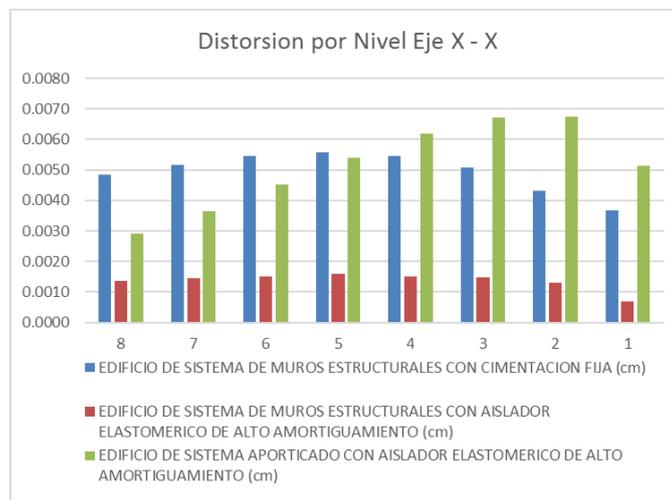
Las derivas obtenidas del programa de modelación estructural SAP 2000, tanto para el edificio con cimentación fija, así como también con la utilización del aislador elastomérico de alto amortiguamiento (HDR).

**Tabla 61: Comparación de derivas en la dirección X-X**

EJE X-X	EDIFICIO DE SISTEMA DE MUROS ESTRUCTURALES CON CIMENTACION FIJA (cm)	EDIFICIO DE SISTEMA DE MUROS ESTRUCTURALES CON AISLADOR ELASTOMERICO DE ALTO AMORTIGUAMIENTO (cm)	EDIFICIO DE SISTEMA APORTICADO CON AISLADOR ELASTOMERICO DE ALTO AMORTIGUAMIENTO (cm)
8	0.0048	0.0014	0.0029
7	0.0052	0.0015	0.0036
6	0.0054	0.0015	0.0045
5	0.0056	0.0016	0.0054
4	0.0055	0.0015	0.0062
3	0.0051	0.0015	0.0067
2	0.0043	0.0013	0.0067
1	0.0037	0.0007	0.0051

Fuente: Elaboración propia

**Figura 36: Derivas por niveles eje X-X**



Fuente: Elaboración propia

En la tabla 61, se aprecia claramente que la máxima deriva de piso en la dirección X para el edificio con cimentación fija es 0.0056, para el edificio de sistema de muros

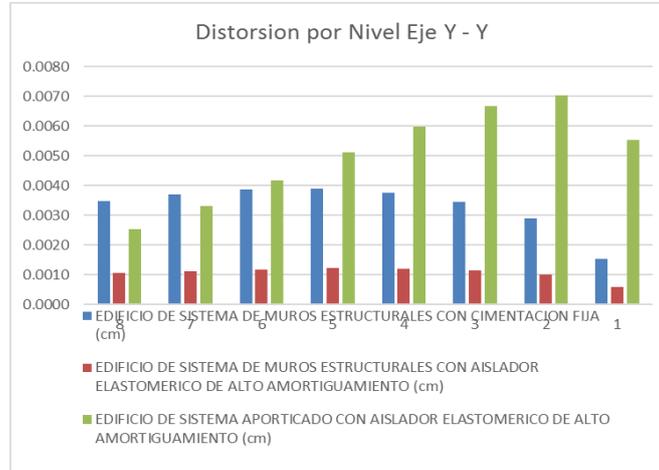
estructurales con aislador HDR es de 0.0016 y para el edificio de sistema aporticado con aislador HDR es de 0.0067. Así también se puede observar que la deriva de piso del edificio de sistema de muros estructurales con aislador se reduce 71% y la deriva de piso del edificio de sistema aporticado con aislador se incrementa 19% con respecto a las derivas del edificio con cimentación fija.

**Tabla 62: Comparación de derivas en la dirección Y-Y**

EJE Y-Y	EDIFICIO DE SISTEMA DE MUROS ESTRUCTURALES CON CIMENTACION FIJA (cm)	EDIFICIO DE SISTEMA DE MUROS ESTRUCTURALES CON AISLADOR ELASTOMERICO DE ALTO AMORTIGUAMIENTO (cm)	EDIFICIO DE SISTEMA APORTICADO CON AISLADOR ELASTOMERICO DE ALTO AMORTIGUAMIENTO (cm)
8	0.0035	0.0011	0.0025
7	0.0037	0.0011	0.0033
6	0.0039	0.0012	0.0042
5	0.0039	0.0012	0.0051
4	0.0038	0.0012	0.0060
3	0.0034	0.0011	0.0067
2	0.0029	0.0010	0.0070
1	0.0015	0.0006	0.0056

Fuente: Elaboración propia

**Figura 37: Derivas por niveles Y-Y**



Fuente: Elaboración propia

En la tabla 62, se aprecia claramente que la máxima deriva de piso en la dirección Y para el edificio con cimentación fija es 0.0039, para el edificio de sistema de muros estructurales con aislador HDR es de 0.0012 y para el edificio de sistema aporticado con aislador HDR es de 0.0070. Así también se puede observar que la deriva de piso del edificio de sistema de muros estructurales con aislador se reduce 69% y la deriva de piso del edificio de sistema aporticado con aislador se incrementa 79% con respecto a las derivas del edificio con cimentación fija.

Según la norma técnica E0.31 – (aislamiento sísmico), para el análisis modal espectral este no debe exceder el 0.0035 para estructural aisladas, por ende, la estructura de sistema aporticado no cumpliría con los parámetros de distorsión restringidos por la norma.

### 6.1.3. PERIODOS DE AMBOS MODELOS

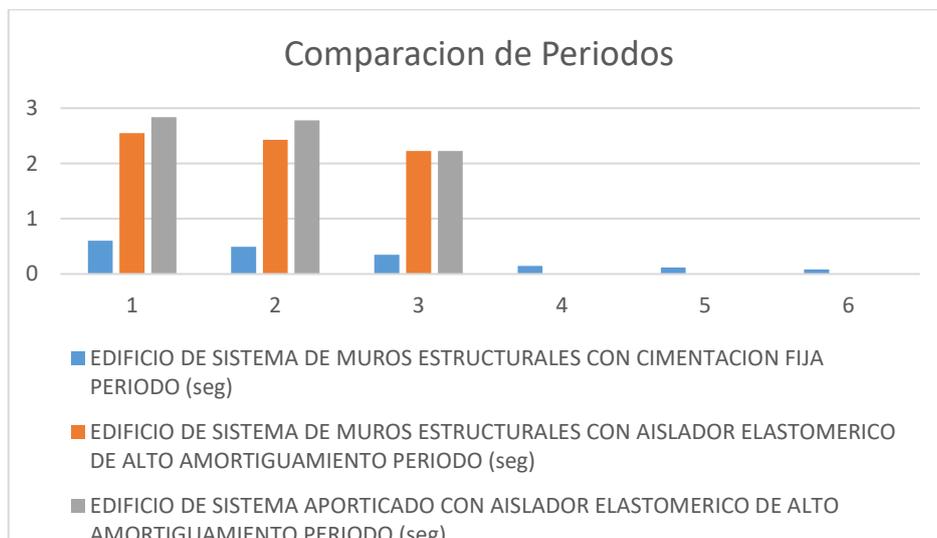
Los periodos y modos de vibración obtenidos del programa de modelación estructural SAP 2000, tanto para el edificio con cimentación fija, así como también con la utilización del aislador elastomérico de alto amortiguamiento (HDR).

**Tabla 63: Comparación de periodos**

MODAL	EDIFICIO DE SISTEMA DE MUROS ESTRUCTURALES CON CIMENTACION FIJA	EDIFICIO DE SISTEMA DE MUROS ESTRUCTURALES CON AISLADOR ELASTOMERICO DE ALTO AMORTIGUAMIENTO	EDIFICIO DE SISTEMA APORTICADO CON AISLADOR ELASTOMERICO DE ALTO AMORTIGUAMIENTO
	PERIODO (seg)	PERIODO (seg)	PERIODO (seg)
1	0.6047	2.549	2.84
2	0.4899	2.426	2.78
3	0.35	2.223	2.65
4	0.148		
5	0.1193		
6	0.0824		

Fuente: Elaboración propia

**Figura 38: Comparación de periodos**



Fuente: Elaboración propia

En la tabla 63, se aprecia claramente que el periodo máximo de la edificación con cimentación fija es 0.6047 s en el primer modo de vibración y para la edificación de sistema de muros estructurales con aislador es 2.549 s y para la edificación de sistema aporticado con aislador es 2.84 s respectivamente. El periodo es mayor para la estructura de sistema aporticado con aislador HDR debido a que los aisladores actúan amortiguando el movimiento, por lo que la estructura demorará más tiempo en volver a su estado inicial. Esto ocurre porque los aisladores absorben parte de las fuerzas sísmicas disminuyendo la aceleración de la estructura.

#### 6.1.4. ACELERACIÓN DEL PISO SUPERIOR PARA AMBOS SISTEMAS

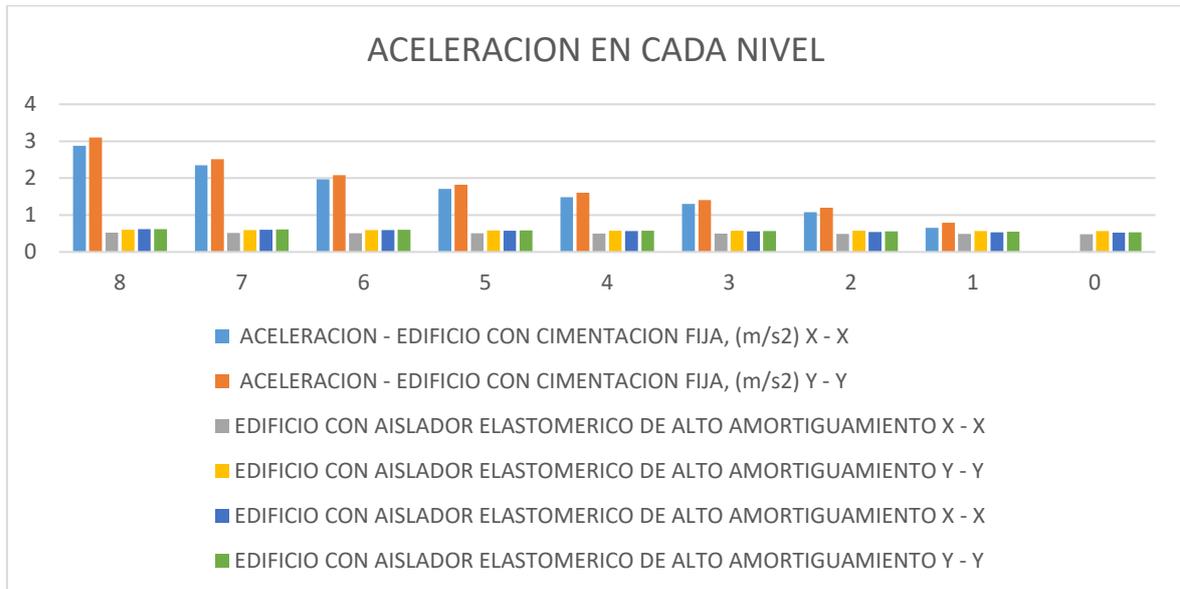
La aceleración en cada nivel obtenido del programa de modelación estructural SAP 2000, tanto para el edificio con cimentación fija, así como también con la utilización del aislador elastomérico de alto amortiguamiento (HDR).

Tabla 64: Aceleración sísmica en cada nivel

MODAL	ACELERACION - EDIFICIO CON CIMENTACION FIJA, (m/s <sup>2</sup> )		EDIFICIO CON AISLADOR ELASTOMERICO DE ALTO AMORTIGUAMIENTO		EDIFICIO CON AISLADOR ELASTOMERICO DE ALTO AMORTIGUAMIENTO	
	X - X	Y - Y	X - X	Y - Y	X - X	Y - Y
8	2.876	3.1	0.526	0.599	0.617	0.621
7	2.347	2.511	0.518	0.594	0.605	0.611
6	1.964	2.082	0.51	0.589	0.592	0.6
5	1.71	1.821	0.503	0.584	0.578	0.588
4	1.487	1.6	0.497	0.579	0.566	0.576
3	1.299	1.408	0.493	0.575	0.554	0.565
2	1.075	1.195	0.488	0.571	0.544	0.555
1	0.649	0.789	0.485	0.567	0.535	0.545
0	0	0	0.482	0.564	0.524	0.532

Fuente: Elaboración propia

**Figura 39: Comparación de aceleración por nivel**



**Fuente: Elaboración propia**

En la tabla 64, se puede apreciar la máxima aceleración del piso superior para el edificio fijo es de 3.1 m/s<sup>2</sup>, para el edificio de sistema de muros estructurales con aislador es 0.599 m/s<sup>2</sup> y para el edificio de sistema aporticado con aislador es 0.621 m/s<sup>2</sup>. Así también se puede observar que la aceleración máxima en el piso superior del edificio de sistema de muros estructurales con aislador se reduce un 81% y del edificio de sistema aporticado con aislador se reduce un 79% con respecto al edificio con cimentación fija.

### **6.1.5. FUERZAS CORTANTES EN LA BASE PARA AMBOS SISTEMAS**

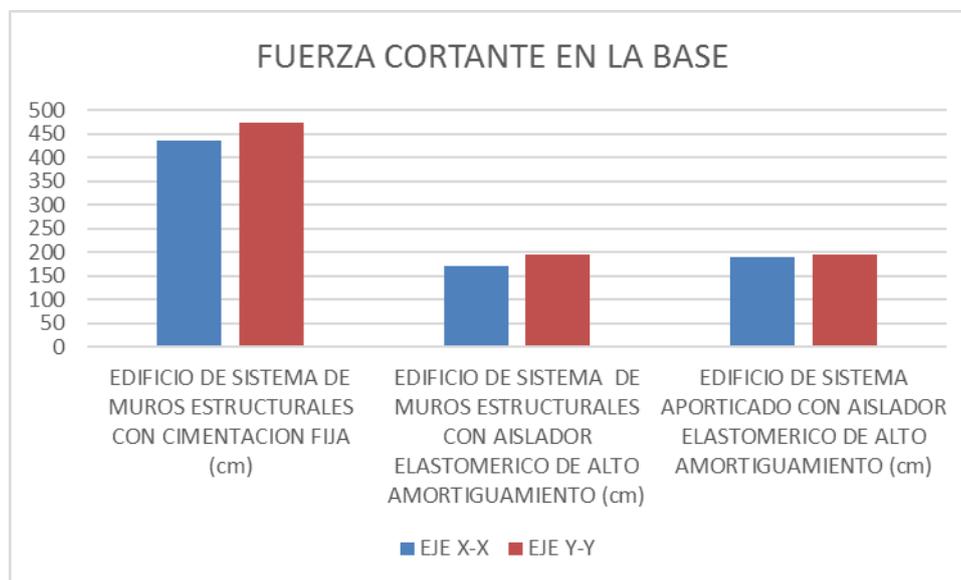
Las fuerzas cortantes en la base obtenida del programa de modelación estructural SAP 2000, tanto para el edificio con cimentación fija, así como también con la utilización del aislador elastomérico de alto amortiguamiento (HDR).

**Tabla 65: Fuerzas cortantes en la base para ambos sistemas**

FUERZA CORTANTE EN LA BASE			
	EDIFICIO DE SISTEMA DE MUROS ESTRUCTURALES CON CIMENTACION FIJA (cm)	EDIFICIO DE SISTEMA DE MUROS ESTRUCTURALES CON AISLADOR ELASTOMERICO DE ALTO	EDIFICIO DE SISTEMA APORTICADO CON AISLADOR ELASTOMERICO DE ALTO AMORTIGUAMIENTO
EJE X-X	436.01	170.56	190.43
EJE Y-Y	473.9	196.09	194.34

Fuente: Elaboración propia

**Figura 40: Comparación de fuerza cortante en la base**



Fuente: Elaboración propia

En la tabla 65, se puede apreciar la máxima fuerza cortante en la base para el edificio fijo es de 473.9 Ton, para el edificio de sistema de muros estructurales con aislador es 196.06 Ton y para el edificio de sistema aporticado con aislador es 194.34 Ton. Así también se puede observar que fuerzas cortantes en la base del edificio de sistema de muros estructurales con aislador se reduce un 58% y del edificio de sistema aporticado con aislador se reduce 59% con respecto al edificio con cimentación fija.

## CONCLUSIONES

El objetivo de la tesis ha sido determinar la influencia en el comportamiento sísmico del edificio residencial Las Terrazas con cimentación fija frente al uso del aislador elastomérico de alto amortiguamiento (HDR). Se ha realizado el análisis dinámico mediante el espectro de respuesta, donde se evaluaron cuatro factores de desempeño, el desplazamiento del edificio, la deriva, la aceleración en el piso superior y la fuerza cortante en la base. Las principales conclusiones para cada factor de desempeño fueron:

1. Para el factor de desempeño del desplazamiento absoluto para el edificio de sistema de muros estructurales con aislador se incrementa 519% y para el edificio de sistema aporticado con aislador se incrementa 705% en la dirección y, con respecto al desplazamiento absoluto del edificio de sistema de muros estructurales con cimentación fija. De acuerdo con el desplazamiento relativo para el edificio de sistema de muros estructurales con aislador disminuye un 69% y para el edificio de sistema aporticado con aislador incrementa un 83% en la dirección y, con respecto a los desplazamientos relativos del edificio con cimentación fija.
2. Para el factor de desempeño de la deriva de piso para el edificio de sistema de muros estructurales con aislador se reduce un 69% y para el edificio de sistema aporticado con aislador se incrementa 79% en la dirección y, con respecto a la deriva de piso del edificio de sistema de muros estructurales con cimentación fija.
3. Según la norma técnica E 0.31 – (Aislamiento sísmico), para el análisis modal espectral este no debe exceder el 0.0035 para estructuras aisladas, por ende, la estructura de sistema aporticado no cumpliría con los parámetros de distorsión establecidos por la norma vigente.
4. Con respecto al factor de desempeño de la aceleración en el piso superior para el edificio de sistema de muros estructurales con aislador se reduce un 81% y para el edificio de sistema aporticado con aislador se reduce un 79%, con respecto a la aceleración en el piso superior del edificio de sistema de muros estructurales con cimentación fija.
5. Con respecto al factor de desempeño de la fuerza cortante en la base para el edificio de sistema de muros estructurales con aislador se reduce un 58% y para el edificio de sistema aporticado con aislador se reduce un 59% con respecto a la fuerza cortante en la base del edificio de sistema de muros estructurales con cimentación fija.

## RECOMENDACIONES

1. Para el análisis estructural de proyectos se recomienda el mayor cuidado en los procesos de empleo del programa SAP – 2000, sobre todo en la inserción de los parámetros estructurales tanto para la subestructura, en este caso los aisladores, así como también para la superestructura.
2. Sabiendo que nuestra región es altamente sísmica se recomienda el uso de aisladores elastoméricos de alto amortiguamiento en edificaciones multifamiliares debido a la gran demanda en la ejecución de este tipo de proyectos y debido a la gran cantidad de vidas humanas que albergan estas estructuras. También se recomienda el uso de los aisladores no solo en hospitales sino también en instituciones educativas debido a que son edificaciones esenciales.
3. Se recomienda realizar un análisis de costo – beneficio de la estructura con sistema de aislamiento sísmico con respecto de la edificación convencional, donde se estime la variación economía para los edificios antes de la ocurrencia de un evento sísmico severo y posterior a la ocurrencia del mismo.

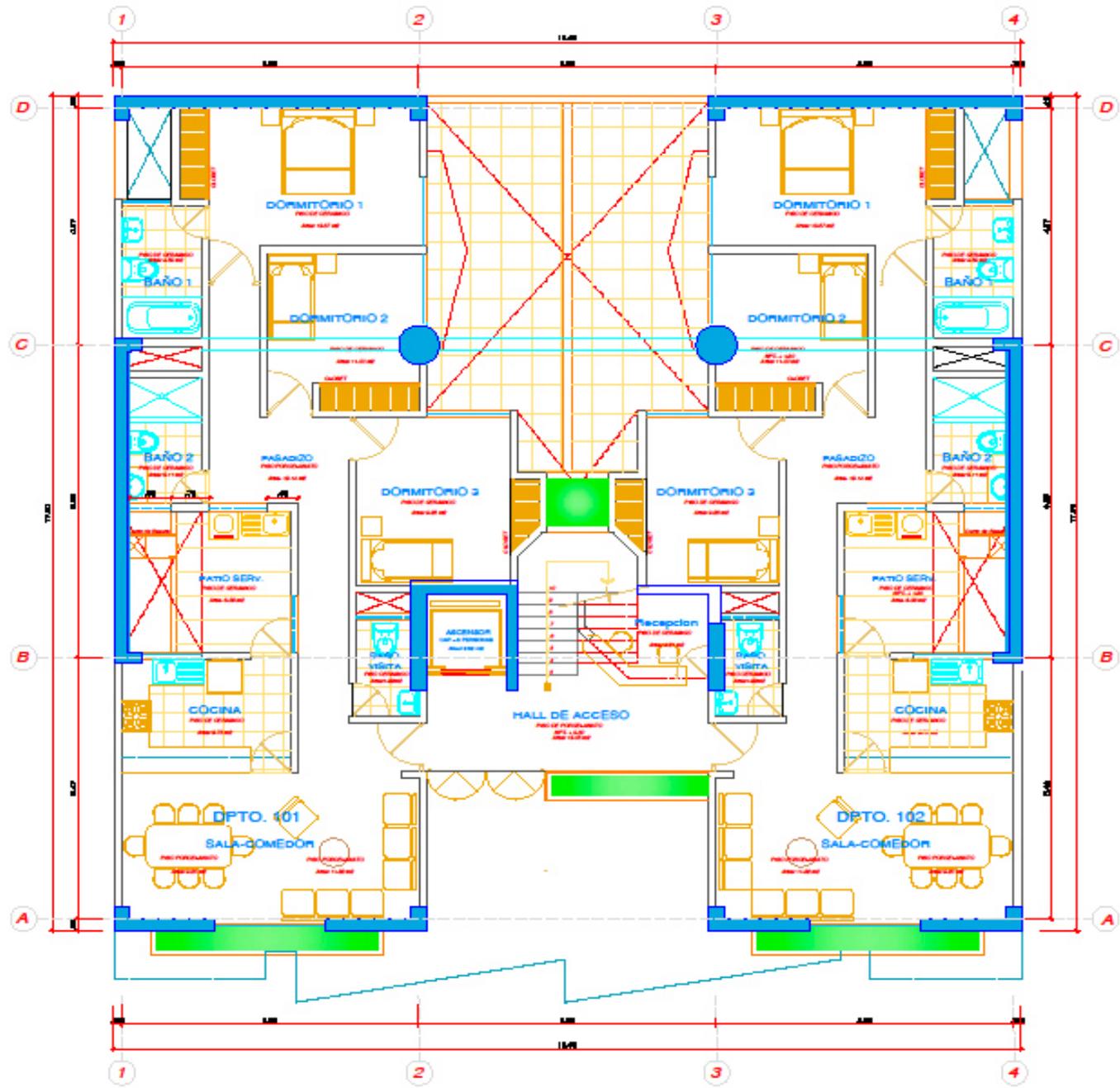
## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Zacarias, V, (2012). Análisis comparativo de un edificio fijo en la base vs un edificio aislado utilizando 4 tipos de aisladores sísmicos. Tesis, Escola de Camins, Barcelona, España.
- Peña, A, (2007). Análisis sísmico plano de estructuras con aisladores elastoméricos. Tesis, Escuela Politécnica del Ejército, Sangolqui, Ecuador.
- Saavedra, M, (2005). Análisis de edificios con aisladores sísmicos mediante procedimientos simplificados. Tesis, Universidad Austral, Valdivia, Chile.
- Ottazzi, G (2007). Apuntes de concreto armado, Pontificia Universidad Católica, Lima, Perú.
- Korswagen, P, Arias, J & Huaranga, P. (2012). Análisis y diseño de estructuras con aisladores sísmicos en el Perú. Tesis, Pontificia Universidad Católica, Lima, Perú.
- Oviedo, R, (2008). Dispositivos pasivos de disipación de energía para díselo sismorresistente de estructuras. Tesis magistral, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
- Aguiar, R, Almazan, J.L. Dechent, P. (2008). Aisladores de base elastomérico y FPS. Quito, Ecuador: Editorial Centro de Investigaciones Científicas Politécnica del Ejército.
- Código uniforme de la edificación. (1997), Requisitos de diseño estructural, capítulo 16.
- Reglamento nacional de edificaciones. (2006), Norma técnica de edificaciones. E .020. Cargas. Lima: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.
- Reglamento nacional de edificaciones. (2018), Norma técnica de edificaciones. E .030. Diseño sismorresistente. Lima: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.

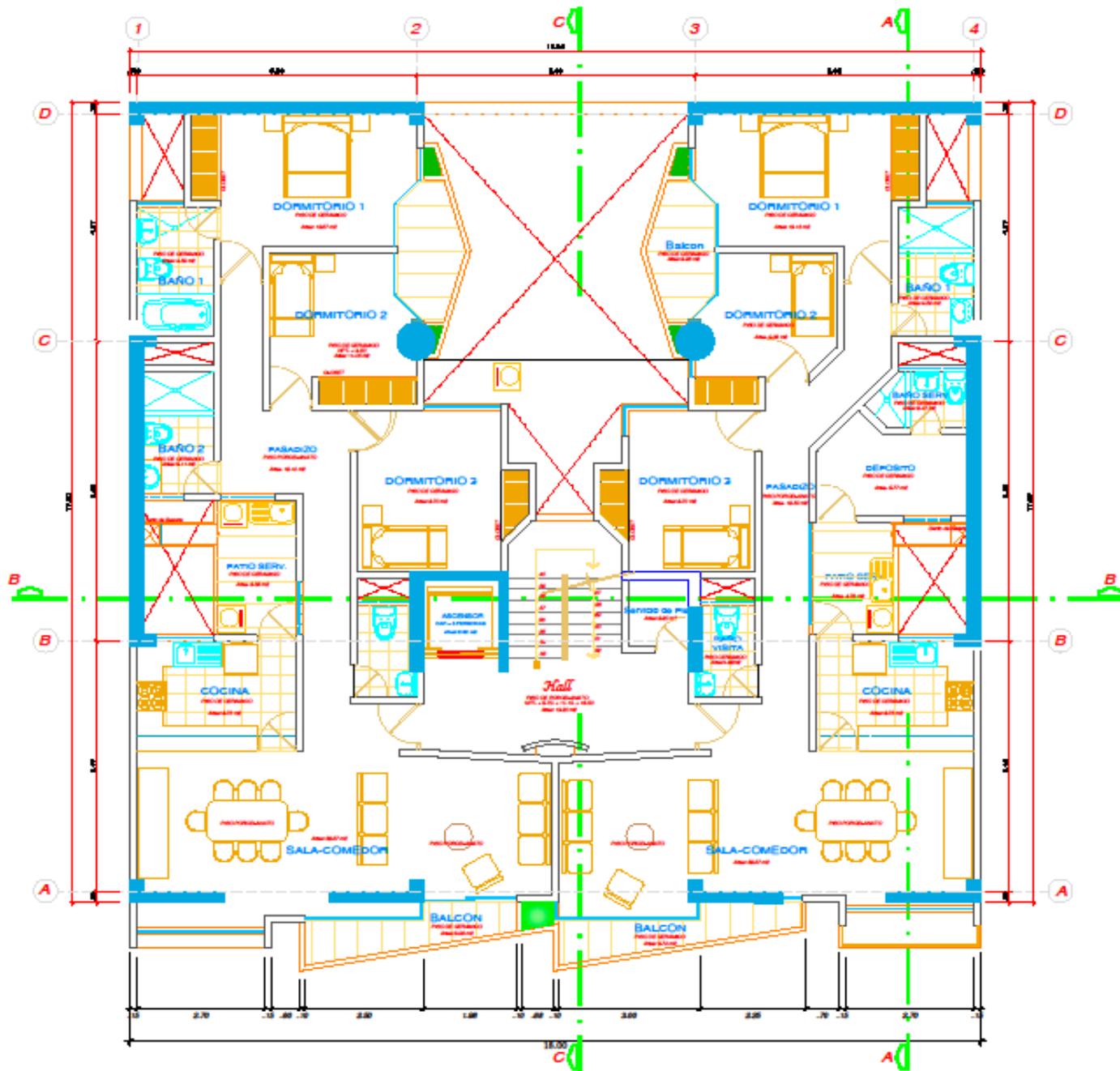
## **ANEXOS**



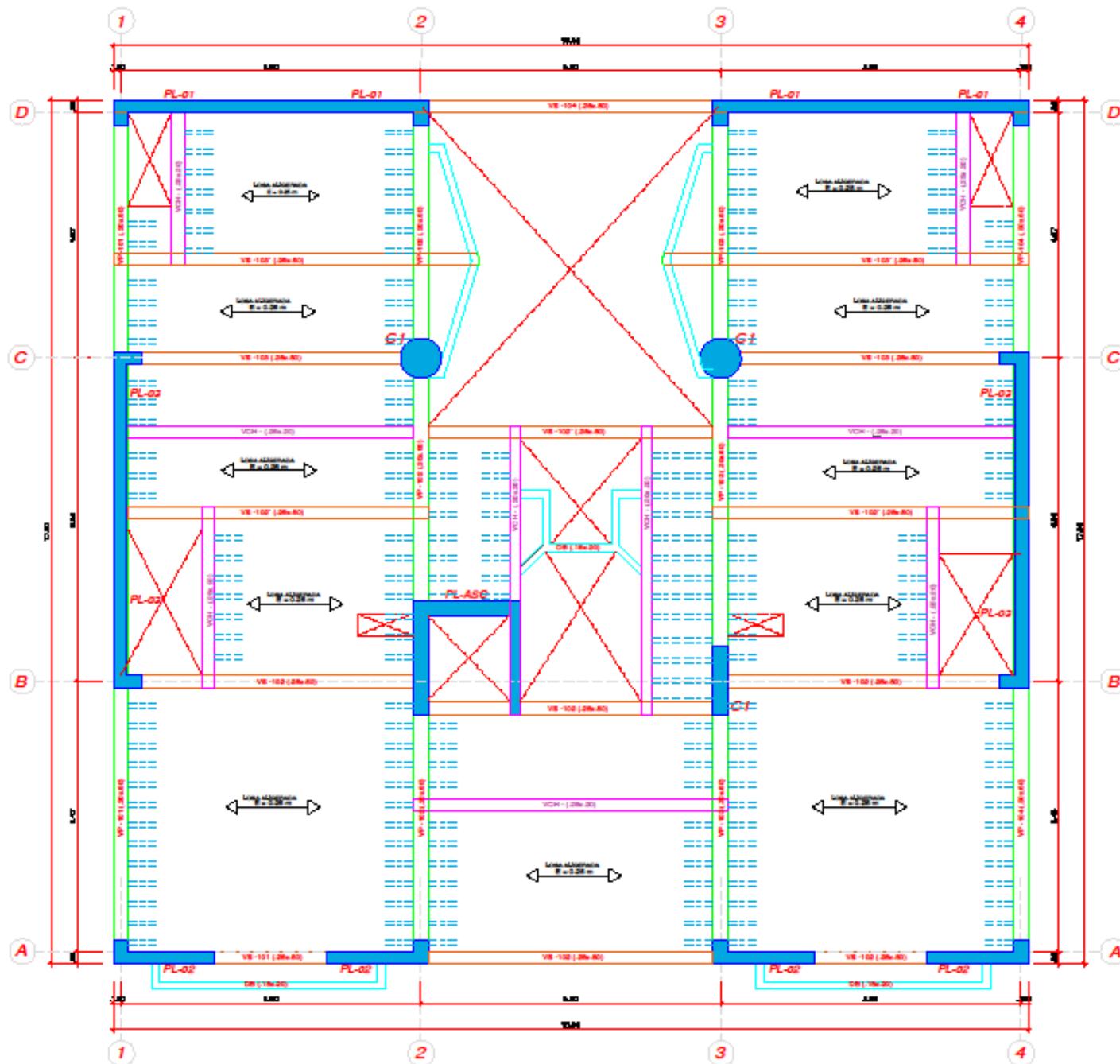




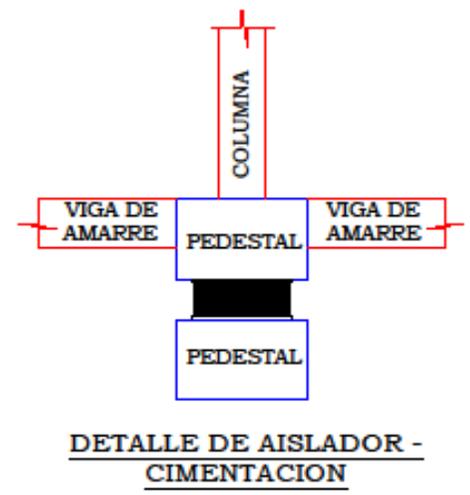
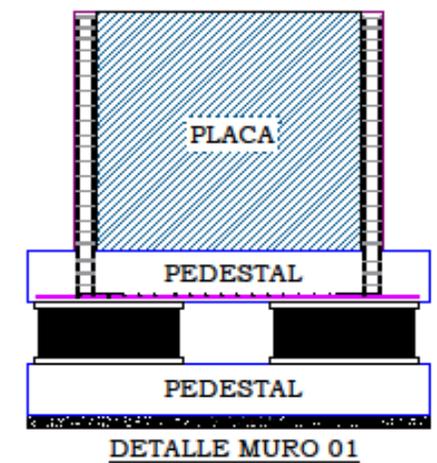
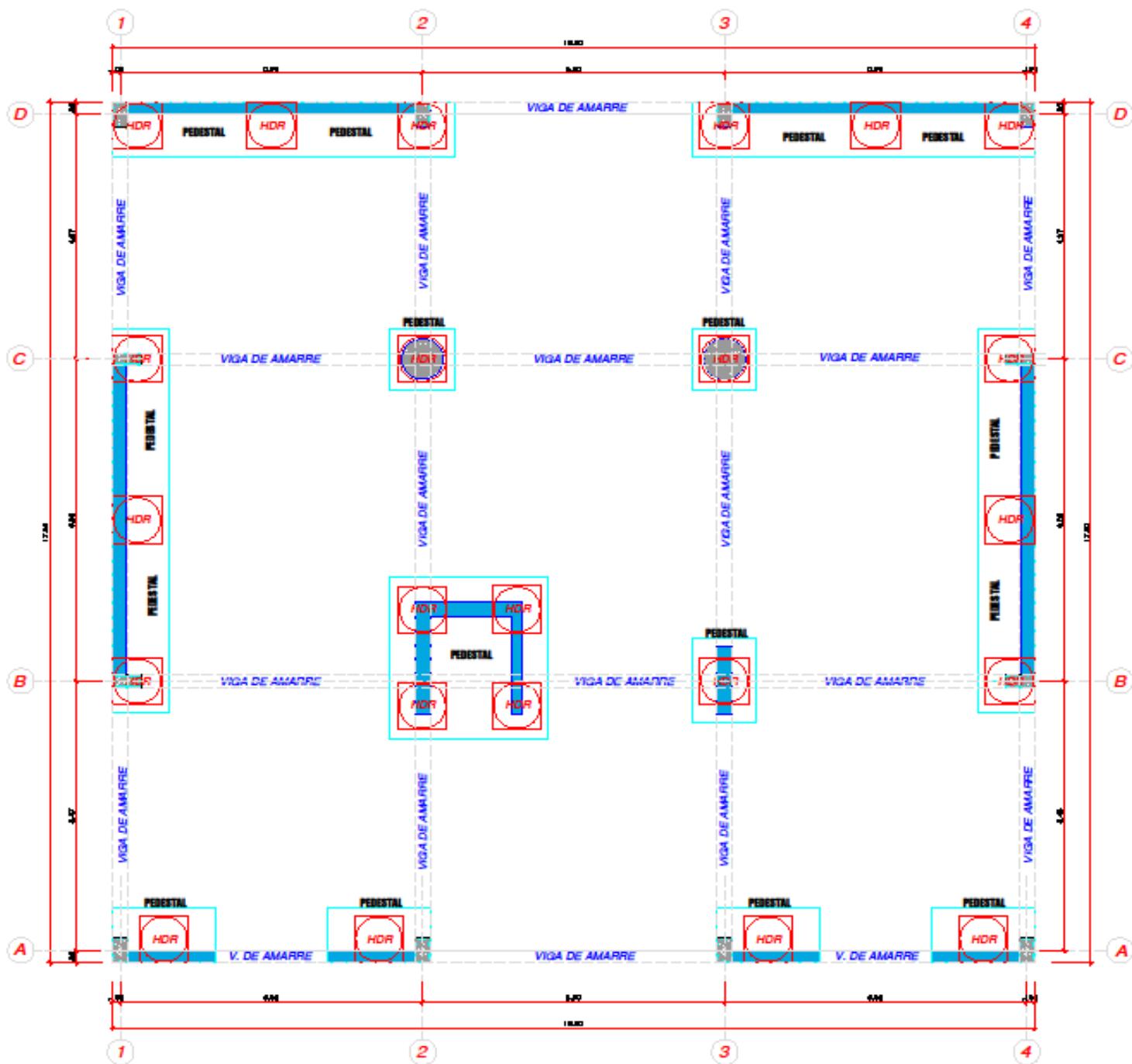
PROYECTO	EDIFICIO RESIDENCIAL "LAS TERRAZAS"
ESTRUCTURA	ESTRUCTURA
SISTEMA DUAL	SISTEMA DUAL
ARQUITECTURA	ARQUITECTURA
1° NIVEL	1° NIVEL
PROYECTADO POR	J. A. SUAREZ O. DEBARRA S. 194
VERIFICADO POR	M. GONZALEZ
PROYECTADO POR	M. GONZALEZ
VERIFICADO POR	J. A. SUAREZ O. DEBARRA S. 194
PROYECTADO POR	M. GONZALEZ
VERIFICADO POR	J. A. SUAREZ O. DEBARRA S. 194
ESCALA	1/50
FECHA	2024
PROYECTO	A-01



PROYECTO	EDIFICIO RESIDENCIAL "LAS TERRAZAS"
PROYECTO	ESTRUCTURA
PROYECTO	SISTEMA DUAL
PROYECTO	ARQUITECTURA 2º - 3º NIVEL
PROYECTO	Dr. SUBIRANO G. (Estructura) y ARQUITECTURA: M. MARRASO S. VILLASO PROYECTA: M. MARRASO DISEÑADOR: J. JARA
ESCALA	1/50
PROYECTO	A-02



PROYECTO	EDIFICIO RESIDENCIAL "LAS TERRAZAS"
PROYECTO	ESTRUCTURA
SISTEMA	SISTEMA DUAL
TÍTULO	ESTRUCTURACIÓN DEL NIVEL TÍPICO LOSA TÍPICA 11' - 8" NIVEL
PROYECTADO POR	JR. ALCÁZAR & GARCÍA No. 114
VERIFICADO POR	ALBERTO GARCÍA
PROYECTADO POR	ALBERTO GARCÍA
VERIFICADO POR	JUAN
ESCALA	1:50
HOJA	E-01



PROYECTO	EDIFICIO RESIDENCIAL "LAS TERRAZAS"
OPERA	ESTRUCTURA
SISTEMA	SISTEMA DUAL
DESCRIPCION	ESTRUCTURACION DEL SISTEMA DE AISLAMIENTO SISMICO
PROYECTADO POR	DR. AUBANDRO G. OLIVERA No. 148
VERIFICADO POR	INGENIERIA: M. OLIVERA G. / E. YUSMAY
PROYECTADO POR	INGENIERIA: AUBANDRO G. OLIVERA
VERIFICADO POR	INGENIERIA: JUAN
ESCALA	1/50
FECHA	E-02